

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

GERSON LOURENÇO JUNIOR
PAULO HENRIQUE COUTINHO MARQUES

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM FREIO MECÂNICO
AUTOMATIZADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2012

GERSON LOURENÇO JUNIOR
PAULO HENRIQUE COUTINHO MARQUES

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM FREIO MECÂNICO
AUTOMATIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Diplomação, do curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Esp. Giovano Mayer
Co-Orientador: Me. Ivair Marchetti

MEDIANEIRA

2012



Ministério Da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Gerência de Ensino
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em
Manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO E EXECUÇÃO DE UM FREIO MECÂNICO AUTOMATIZADO

Por:

Gerson Lourenço Junior

Paulo Henrique Coutinho Marques

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 9:00 hs do dia 3 de Julho de 2012 como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo no Curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Os candidatos foram argüidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Esp. Giovano Mayer
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr^a. Cristiane Lionço Zeferino
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Yuri Ferruzi
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Ivair Marchetti
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

A Folha de Aprovação devidamente assinada deste documento encontra-se na Coordenação do Curso no Câmpus Medianeira

“conhece-te, aceita-te, supera-te.”

(Santo Agostinho)

AGRADECIMENTOS

O nosso primeiro agradecimento é para Deus, por ter nos dado força e coragem.

Aos professores Giovano Mayer e Ivair Marchetti pela paciência e pelo apoio prestado em todas as etapas da consecução deste trabalho.

As nossas famílias, por nos mostrar que tudo é possível quando se tem fé e por provarem que jamais estaremos sozinhos.

Aos amigos e colegas pelo compartilhamento das incertezas, das idéias, das preocupações e por fim, por obtermos mais uma vitória.

A todos os professores pelo carinho e por terem sido pessoas decisivas para nosso crescimento enquanto futuros profissionais.

A todos que com boa intenção colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

RESUMO

LOURENÇO JUNIOR, Gerson; MARQUES, Paulo Henrique Coutinho. Projeto e Execução de um Freio Mecânico Automatizado. 2012. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2012.

Este trabalho consiste no projeto e execução de um dispositivo de frenagem acoplado a um motor elétrico de indução. Para a execução deste trabalho foi utilizado um freio mecânico a disco, que ao ser acionado produz a frenagem do motor e por consequência produz carga mecânica ao mesmo. Um freio a disco convencional possui pastilhas que comprimem o disco, transmitindo a força hidráulicamente através de uma pinça por intermédio de um cilindro hidráulico principal. O cilindro hidráulico principal é acionado através da variação de pressão aplicada a um cilindro pneumático acoplado ao mesmo. A variação da pressão no cilindro pneumático provoca a frenagem e a aplicação de carga mecânica ao motor que pode, portanto, ser variada com o aumento ou com a diminuição do valor de pressão aplicada neste cilindro. O controle da pressão e, portanto do freio, pode ser feita de forma manual através de um regulador de pressão convencional ou de forma automática via CLP e com o auxílio de uma válvula proporcional. Com o uso do *software Easy Soft Codesys* utilizado para o desenvolvimento da programação do CLP, foi criado um sistema de supervisão que permite ao usuário o acesso a uma interface homem-máquina. Com essa interface é possível acionar até cinco tipos de partidas do motor, aumentar ou diminuir a pressão do cilindro pneumático e da carga mecânica, além de permitir também a visualização do comportamento da corrente nas três fases do motor dependendo do tipo da partida selecionada. O freio e toda a sua montagem eletromecânica, denominada bancada do freio, foi ensaiada para diferentes tipos de partida e carga mecânica. As respostas da aplicação de carga mecânica ao motor mostraram-se satisfatórias, logo a bancada pode ser utilizada em aulas práticas de acionamentos de máquinas elétricas, pois permite a visualização do comportamento da corrente para os diversos tipos de partida com carga nula, carga nominal e sobrecarga aplicada ao eixo do motor.

Palavras-chave: Freio mecânico. Sistema Supervisório. CLP.

ABSTRACT

LOURENÇO JUNIOR, Gerson; Marques, Paulo Henrique Coutinho. Design and Execution of an Automatized Mechanical Brake. 2012. 68f. Completion of course work (Industrial Maintenance Technology) - Federal Technological University of Paraná. Medianeira 2012.

This research is the design and implementation of a braking device coupled to an induction electric motor. To implement this study we used a mechanical brake disc, which when clicked produces the braking of the motor and therefore produces the same mechanical load. A conventional disc brake pads has to compress the disc, hydraulically transmitting the force of forceps by a main hydraulic cylinder which is driven by varying the pressure applied to an air cylinder attached to it. The variation of pressure in the pneumatic cylinder causes the brake and application of mechanical load to the engine can therefore be varied by increasing or by reducing the pressure value applied in the cylinder. The pressure and therefore the brake can be done manually by a conventional pressure regulator automatically or by PLC, and with the aid of a proportional valve. Using Easy Soft CoDeSys, utilized software for the development of programming plc, was created a monitoring system that allows the user access to a man-machine interface. With this interface can drive up to five types of motor starts, increase or decrease the pressure of the pneumatic cylinder and the mechanical load, and also enable the visualization of the behavior of current in the three motor phases depending on the type of the selected starting . The brake and all its electromechanical assembly, called bench brake was tested for different types of mechanical loading and departure. The responses to the application of mechanical load to the engine proved to be satisfactory, so the bench can be used in practical classes of electrical drives because it allows the visualization of the behavior of the chain for the various types of game with no load, rated load and overload applied to the motor shaft.

Keywords: Mechanical brake. Supervisory System. CLP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhe de partes de um freio a disco e sua adequação ao projeto proposto	17
Figura 2 - Válvula reguladora de pressão proporcional.....	19
Figura 3 - Vista lateral esquerda do protótipo inicial.....	21
Figura 4 - Corrente do motor obtida pela variação da pressão aplicada ao cilindro pneumático	22
Figura 5 - Cilindro pneumático utilizado nos testes do protótipo inicial.....	23
Figura 6 - Exaustor axial.....	24
Figura 7 - <i>Cooler</i>	24
Figura 8 - Projeto da estrutura desenvolvida em ferramenta de desenho computacional	25
Figura 9 - Estrutura da bancada do freio	26
Figura 10 - Leiaute do painel esquerdo e direito.....	26
Figura 11 - Painéis montados	27
Figura 12 - Bancada finalizada	30
Figura 13 - Bloco de função <i>Datascale</i>	32
Figura 14 - Interface da partida compensada.....	33
Figura 15 - Interface "Gráficos"	34
Figura 16 - Pressão enviada ao sistema via IHM (curva azul) e pressão medida no manômetro (curva marrom).....	35
Figura 17 - Variação da corrente do motor em função do aumento da pressão.....	37
Figura 18 - Variação da corrente do motor em função da diminuição da pressão	38
Figura 19 - Variação da carga do motor em função da pressão aplicada	39
Figura 20 - Ligação da bancada	41
Figura 21 - Partida à vazio	41
Figura 22 - Partida com carga.....	42
Figura 23 - Partida compensada à vazio	43
Figura 24 - Partida compensada com carga.....	43
Figura 25 - Aplicação de carga mecânica em degrau	44

Figura 26 - Ensaio de sobrecarga	45
Figura 27 - Curva do relé de sobrecarga	46
Figura 28 - Curva de disparo do disjuntor.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da corrente do motor em função da pressão aplicada ao cilindro	22
Tabela 2 - Endereçamento das variáveis e suas funções no sistema	32
Tabela 3 - Variação da corrente do motor em função do aumento da pressão	36
Tabela 4 - Variação da corrente do motor em função da diminuição da pressão	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ampéres
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CV	Cavalo Vapor
IHM	Interface Homem-Máquina
mA	Miliampéres
mm	Milímetros
NA	Normal Aberto
NF	Normal Fechado
NBR	Normal Brasileira Regulamentadora
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Vca	Tensão Alternada
Vcc	Tensão Contínua
MIG	<i>Metal inert gas</i>
MAG	<i>Metal active gas</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
TC	Transformador de corrente

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 EQUIPAMENTOS E DISPOSITIVOS.....	15
2.1 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	15
2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E <i>SOFTWARE</i> SUPERVISÓRIO	16
2.3 FREIOS A DISCO	17
2.4 CILINDRO PNEUMÁTICO	18
2.5 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO PROPORCIONAL	18
2.6 TRANSDUTORES DE CORRENTE	19
2.7 COOLER E EXAUSTOR AXIAL.....	20
3 PROTÓTIPO E ESTUDOS INICIAIS	21
3.1 PROJETO MECÂNICO	23
3.1.1 DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO.....	28
3.2 PROJETO ELÉTRICO.....	28
3.3 MODO DE FUNCIONAMENTO DA BANCADA	29
4 PROGRAMAÇÃO E SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	31
4.1 PROGRAMAÇÃO.....	31
4.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	33
5 ENSAIOS GERAIS.....	35
5.1 ENSAIO DA VÁLVULA PROPORCIONAL	35
5.2 ENSAIO DA RESPOSTA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE DO MOTOR EM FUNÇÃO DA PRESSÃO	36
5.3 ENSAIO DE ANÁLISE DE PARTIDAS	40
5.3.1 PARTIDA DIRETA.....	40
5.3.2 PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO	40
5.3.3 PARTIDA COMPENSADA	42
5.4 ENSAIO DE APLICAÇÃO DE CARGA MECÂNICA EM DEGRAU	44
5.5 ENSAIO DE SOBRECARGA	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A - Diagrama de Comando da Bancada	52
APÊNDICE B - Diagrama de Força da Bancada.....	54
APÊNDICE C - Diagrama do Circuito Pneumático	55

APÊNDICE D - Partida Direta. (a) Diagrama de Força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.	56
APÊNDICE E - Partida estrela triângulo. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.	58
APÊNDICE F - Partida Compensadora. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.	60
APÊNDICE G - Partida Soft-Starter. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.	62
APÊNDICE H - Diagrama de ligação da partida com inversor de frequência. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.	64
APÊNDICE I - Simbologia dos Componentes Elétricos e Pneumáticos.....	66
ANEXO A - Forças Teóricas do Cilindro Pneumático	68

1 INTRODUÇÃO

Nas atividades práticas de acionamentos de máquinas elétricas, os motores de indução podem ser acionados a vazio ou com carga mecânica. A utilização de uma carga mecânica variável torna-se interessante, pois permite a análise das respostas de corrente e tensão durante os diferentes tipos de partida e configurações de carga aplicada ao motor.

Nos laboratórios, as cargas mecânicas são obtidas geralmente via freios magnéticos ou mecânicos.

Neste trabalho foi desenvolvida uma bancada que permite ao usuário aplicar carga mecânica variável a um motor de indução durante as aulas práticas de acionamentos de máquinas e CLP. Com esta bancada é possível verificar na prática o funcionamento dos dispositivos de proteção e a visualização gráfica das correntes do motor. A bancada é constituída por um freio mecânico, que consiste em um sistema de freio a disco, onde o disco foi acoplado diretamente ao eixo do motor. Quando o freio é acionado, a força é transmitida hidraulicamente pelo cilindro hidráulico principal até a pinça do freio. Isso faz com que as pastilhas comprimam o disco fazendo com que o mesmo reduza a sua velocidade e por consequência a velocidade do motor que está acoplado ao mesmo.

A força aplicada ao cilindro hidráulico principal é proveniente de um cilindro pneumático, que são normalmente utilizados em sistemas de ar comprimido.

O sistema de freio proposto utiliza um cilindro pneumático de pressão nominal de 10bar que atua linearmente, podendo ser controlado de forma manual através de uma válvula reguladora de pressão ou de forma automática por uma válvula reguladora de pressão proporcional controlada via CLP.

Quando operado de forma automática, o freio utiliza um CLP (Controlador Lógico Programável) e um programa supervisor que permite ao usuário selecionar diferentes tipos de partida do motor. Através deste supervisor, o usuário pode também variar a carga mecânica aplicada ao motor, com o aumento ou diminuição da pressão imposta ao cilindro pneumático através de uma saída analógica do CLP e da válvula proporcional. Um sistema supervisor permite a visualização gráfica das correntes do motor para diferentes configurações de partida e carga mecânica aplicadas ao eixo do motor. Os dados de corrente elétrica do motor foram obtidos

com o auxílio de sensores de corrente com saídas proporcionais RMS de 4 a 20mA. Os sinais provenientes de tais sensores são adquiridos em três entradas analógicas do CLP.

2 EQUIPAMENTOS E DISPOSITIVOS

Para o desenvolvimento da bancada do freio foram necessários vários equipamentos e dispositivos, dentre eles destacam-se: um motor de indução, transdutores de corrente, sistema de freio mecânico, cilindro pneumático e um CLP.

As especificações técnicas e a aplicação destes dispositivos e equipamentos são apresentadas de forma detalhada a seguir.

2.1 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor utilizado na bancada do freio é do tipo indução trifásico com potência de 5CV. Este modelo apresenta corrente nominal de 14A, seis terminais, tensão de alimentação 220Vca ou 380Vca, 2 pólos e fator de sobrecarga de 1.15.

Segundo Geraldo Carvalho (2011), o motor de indução trifásico é o tipo mais utilizado na indústria por ser robusto, possuir fácil manutenção e apresentar torque de partida que atende a maioria das necessidades.

O seu funcionamento baseia-se na indução de um campo magnético no rotor da máquina. Tal campo é produzido por um campo magnético girante proveniente da alimentação trifásica dos enrolamentos do estator.

Franchi (2008), explica que quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, cria-se um campo magnético girante como se houvesse um único par de pólos girantes com intensidade constante. Esse campo girante, criado pelo enrolamento trifásico no estator, faz com que linhas de fluxo atravessem as barras do rotor o que induz tensões nessas barras gerando correntes elétricas. Essas correntes causam um campo magnético no rotor de polaridade oposta a do campo girante do estator. Como tais campos opostos se atraem, o campo girante do rotor tende a acompanhar a rotação do campo desenvolvido pelo estator o que cria um conjugado motor que faz com que o rotor gire.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E SOFTWARE SUPERVISÓRIO

Segundo Catálogo técnico da Siemens (2003), os controladores lógicos programáveis ou CLPs, são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação flexível. São ferramentas de trabalho muito úteis e versáteis para aplicações em sistemas de acionamentos e controle e por isso são utilizados em grande escala no mercado industrial. Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, é possível associar diversos sinais de entrada para controlar diversos atuadores ligados nos pontos de saída.

Silveira Santos (2010), diz que os sinais variáveis de entrada são sinais externos recebidos pelo CLP os quais podem vir de fontes pertencentes ao processo (chaves fim de curso, sensores) ou podem ser um comando gerado pelo operador via sistemas supervisórios (sinais oriundos do computador). Este mesmo autor também menciona que o programa pode ser definido como uma sequência específica de instruções selecionadas de um conjunto de opções oferecidas pelo CLP em uso, que efetuam ações de controle desejadas, ativando ou não memórias internas e os pontos de saída do CLP a partir da monitoração do estado das mesmas memórias internas e os pontos de entrada do CLP.

As variáveis de entrada e saída podem ser digitais ou analógicas. As entradas digitais são aquelas que fornecem apenas dois estados ao controlador, ou seja, estado ligado ou desligado. Já as entradas analógicas, permitem a medição de grandezas que admitem infinitos valores ao longo do tempo, como por exemplo, temperatura e pressão. O CLP assim como os computadores, necessita de um programa para o seu funcionamento. Qualquer programa requer uma linguagem de programação através do qual o usuário pode se comunicar com a máquina. Para os CLPs, as linguagens definidas em norma são: lista de instruções, texto estruturado, SFC (*Sequential Function Chart*), bloco de funções e linguagem Ladder. Neste trabalho foi utilizada a linguagem Ladder, pois é a mais comum, estando presente em quase todos os CLPs.

A programação Ladder utilizada para controlar o freio foi desenvolvida com o auxílio do *software Easy Soft CodeSys*, que permite a criação de telas de supervisão.

2.3 FREIOS A DISCO

Segundo Karim Nice (2000), “em um freio a disco, as pastilhas de freio comprimem o disco e a força é transmitida hidraulicamente até a pinça. O atrito entre as pastilhas e o disco reduz a velocidade deste último”.

A força transmitida hidraulicamente até a pinça é feita através de um cilindro mestre que é acionado pelo cilindro pneumático. A figura 1 mostra as partes de um freio a disco de um automóvel e a parte de controle e atuação do freio desenvolvida neste trabalho.

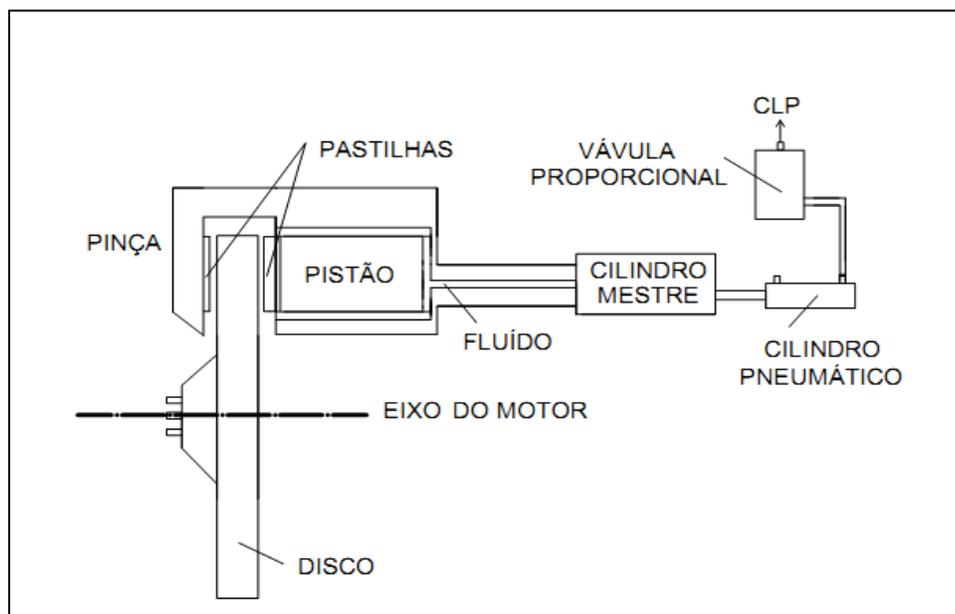


Figura 1 - Detalhe de partes de um freio a disco e sua adequação ao projeto proposto

A pinça pode ser acionada de várias formas (pneumática, hidráulica, elétrica, magnética e por esforço centrífugo) e quando atua pressiona as pastilhas do freio sobre o disco fazendo a frenagem. Os discos podem ser sólidos, para menores potências de frenagem, ou ventilados. Esses últimos podem ser ventilados por aletas internas ou por furos na superfície de atrito. Devido ao grande torque a ser transmitido, normalmente até duas ou três vezes maior do que a do motor ou

máquina a ser parada, os discos necessitam de grande área de resfriamento, por isso podem apresentar as configurações ventiladas mencionadas anteriormente.

O sistema de freio utilizado neste trabalho é o mais comum, composto por um disco liso, (refrigeração natural). Para auxiliar no resfriamento do mesmo, foi utilizado um *cooler* que ajuda na ventilação do conjunto mecânico de frenagem.

2.4 CILINDRO PNEUMÁTICO

Segundo Parker (2010), “O cilindro pneumático é o elemento usado para transformar a energia do ar comprimido em movimento linear.” É o responsável, dentro de indústrias e outras instalações, por pelo menos uma das três operações básicas: movimentar, prender ou formar alguma peça. Ele se movimenta (avançando ou retornando o conjunto haste-pistão) através do ar comprimido que é injetado em suas câmaras traseira ou dianteira, por meio de válvulas direcionais ou elementos controladores.

Os cilindros pneumáticos, construídos nas mais diversas formas e tamanhos, são os mais comuns e os mais utilizados nas instalações de automação pneumáticas e se dividem em dois grupos principais: de simples ação e o de dupla ação. Neste trabalho foi utilizado um cilindro de dupla ação, que como comentado no item 2.3, é responsável por pressionar o cilindro mestre do freio, como pode ser observado na figura 1.

2.5 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO PROPORCIONAL

Segundo Manual Técnico da Festo (2011), a válvula proporcional de pressão disponibiliza em sua saída uma pressão proporcional ao sinal elétrico de entrada analógica, sendo esta uma grandeza em tensão ou corrente elétrica. O modelo de válvula proporcional utilizada no trabalho é o MPPE 3-1/4-420B, que possibilita o ajuste preciso e proporcional da pressão e portanto, da força aplicada ao cilindro. A disposição desta válvula pode ser verificado na figura 1.

Neste tipo de válvula a variação da pressão pneumática é efetuada através de uma membrana, cuja posição é influenciada por uma força variável gerada pelo solenóide proporcional. A magnitude da pressão de saída é proporcional à força magnética ou também à corrente do solenóide. Se a pressão de saída supera o valor ajustado, ocorre a exaustão através de uma saída secundária. A figura 2 mostra a válvula reguladora de pressão proporcional utilizada no projeto.



Figura 2 - Válvula reguladora de pressão proporcional
Fonte: http://www.festo.com/cms/pt-br_br/index.htm

2.6 TRANSDUTORES DE CORRENTE

Segundo Albuquerque (2008), transdutor é um dispositivo que transforma um tipo de energia em outro utilizando para isso um elemento sensor. Por exemplo, um sensor pode traduzir informação não elétrica (velocidade, posição, temperatura, pH) em informação elétrica como variação de corrente, tensão ou resistência.

Existem vários tipos de transdutores de corrente para diferentes aplicações. Neste estudo foram utilizados três transdutores de corrente janelados.

Segundo Manual Técnico da Secon (2012), transdutores de corrente janelados possuem um sistema de medida direta que dispensa a utilização de TCs ou SHUNTS. Basta a passagem do condutor da corrente pela janela, localizada no próprio encapsulamento do transdutor para se ter uma medida CA ou CC com total isolamento galvânico.

Os transdutores de corrente alternada utilizados no projeto são do tipo janelado modelo 25C420ALF-376 da marca Secon, cuja finalidade é medir a corrente das três fases do motor e converter esse valor em um sinal proporcional RMS de corrente elétrica que varia de 4 a 20mA. O sinal medido através de tais sensores é enviado para o CLP, que via programação permite a visualização gráfica das correntes do motor no sistema supervisorio.

2.7 COOLER E EXAUSTOR AXIAL

Como mencionado no item 2.3, para diminuir o aquecimento entre o disco e as pastilhas do freio, foi utilizado um *cooler*. Este dispositivo consiste de um microventilador de pequena dimensão que é responsável pela insuflação de ar sobre o disco, auxiliando no resfriamento do mesmo. Por ser alimentado em 12Vcc, foi utilizada uma fonte 127Vca/12Vcc para o acionamento do mesmo.

Durante o processo de frenagem, o aquecimento provoca o desprendimento de fumaça. Para evitar que a mesma se espalhe no ambiente (laboratório), foi instalado um pequeno exaustor axial na parte superior traseira da bancada, com o objetivo de succionar a fumaça expelindo-a através de uma mangueira, com aproximadamente 3m de comprimento para alcançar o ambiente externo e 3pol de diâmetro, que é a dimensão do acoplamento do exaustor axial. Este sistema de succionamento e refrigeração será apresentado no item 3.1.

3 PROTÓTIPO E ESTUDOS INICIAIS

Inicialmente montou-se um protótipo para avaliar as características mecânicas do projeto.

O protótipo tinha apenas o objetivo de frear o motor (acoplado ao disco do freio) de forma constante e fazer a leitura da corrente elétrica do mesmo com auxílio de um multímetro. Nos testes iniciais, no lugar de um cilindro pneumático foi utilizada uma cuíca pneumática proveniente de um sistema de frenagem de caminhões. Nas primeiras tentativas de frear o motor, o ar comprimido era regulado manualmente através de um regulador pneumático. O objetivo era controlar a pressão do ar da entrada da cuíca a fim de possibilitar a frenagem do motor. Não houve êxito nas primeiras tentativas, pois não era possível a obtenção de um controle entre a pressão aplicada e a corrente do motor e o resultado era a frenagem total do motor.

A figura 3 mostra o protótipo utilizado nos estudos iniciais.

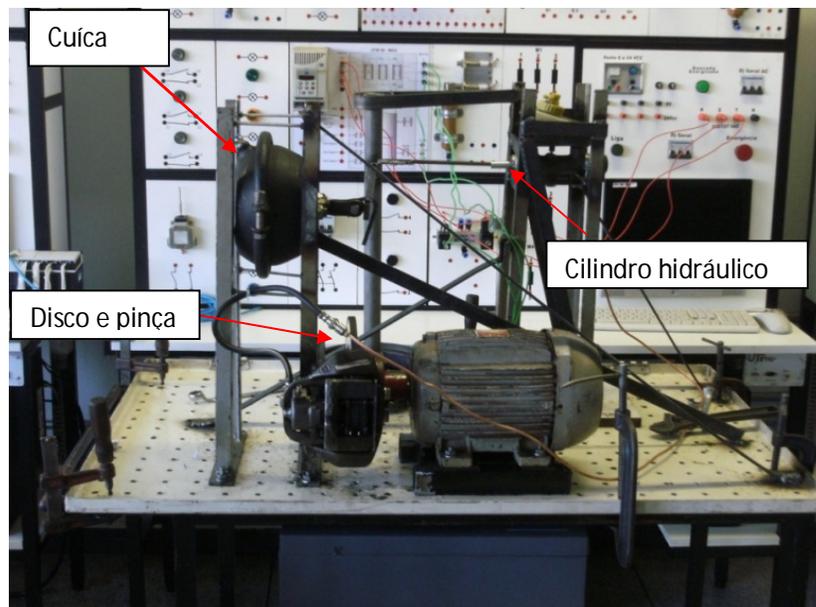


Figura 3 - Vista lateral esquerda do protótipo inicial

Como a cuíca proporcionava uma força maior por possuir área maior, foi realizada a troca da cuíca por um cilindro pneumático com pressão nominal de 8bar. O mesmo procedimento foi seguido com o uso do cilindro no lugar da cuíca, ou seja,

o ar comprimido era regulado através de um regulador pneumático e o cilindro avançava conforme a pressão aplicada ao mesmo era aumentada ou diminuída manualmente. A tabela 1 e o gráfico da figura 4 são provenientes do teste com o cilindro pneumático.

Tabela 1 - Variação da corrente do motor em função da pressão aplicada ao cilindro

Pressão (bar)	Corrente (A)
1,00	14,00
1,50	14,30
2,00	15,00
2,50	15,60
3,00	16,50
3,50	17,00
4,00	19,00
4,50	21,40
5,00	24,00

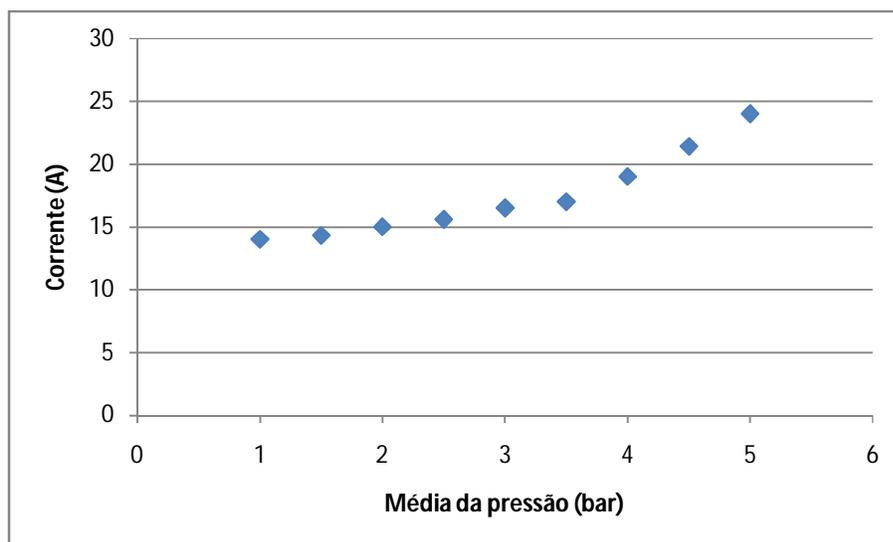


Figura 4 - Corrente do motor obtida pela variação da pressão aplicada ao cilindro pneumático

Foram realizados cinco testes com o protótipo mecânico e os resultados verificados na tabela 1 e no gráfico da figura 4 são resultados de uma média feita entre os valores lidos nos testes realizados.

O objetivo dos testes iniciais foi alcançado, uma vez que foi possível verificar o comportamento entre a pressão aplicada e a carga ou corrente medida no motor elétrico, através de um manômetro e um multímetro.

A figura 5 mostra o cilindro pneumático montado no protótipo inicial no lugar da cuíca.



Figura 5 - Cilindro pneumático utilizado nos testes do protótipo inicial

3.1 PROJETO MECÂNICO

Baseado nos estudos iniciais, o projeto mecânico foi desenvolvido de tal forma a proporcionar rigidez nas partes fixas do freio, o que não havia sido obtido no protótipo inicial.

Analisando os resultados obtidos dos estudos iniciais, foram necessárias algumas alterações do projeto como por exemplo, a construção de uma estrutura com maior resistência devido às vibrações e isolação do freio com chapas de poliestireno cristal. A utilização das chapas possuem duas finalidades: evitar que os usuários tenham acesso às partes móveis do freio ou partes energizadas e evitar que a fumaça produzida pela frenagem espalhe-se pelo ambiente externo do laboratório. As figuras 6 e 7, mostram o *cooler* e o exaustor axial na bancada do

freio. Tais dispositivos auxiliam na refrigeração do disco e no succionamento da fumaça gerada pelo freio durante o processo de frenagem, como mencionado no item 2.7.



Figura 6 - Exaustor axial

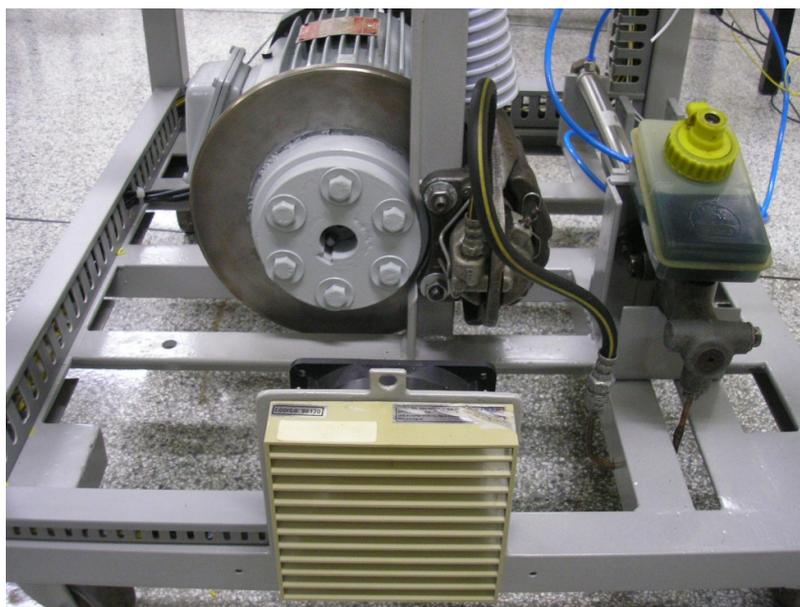


Figura 7 - Cooler

O projeto da estrutura foi desenvolvido com o auxílio de uma ferramenta de desenho computacional. O leiaute pode ser verificado na figura 8.

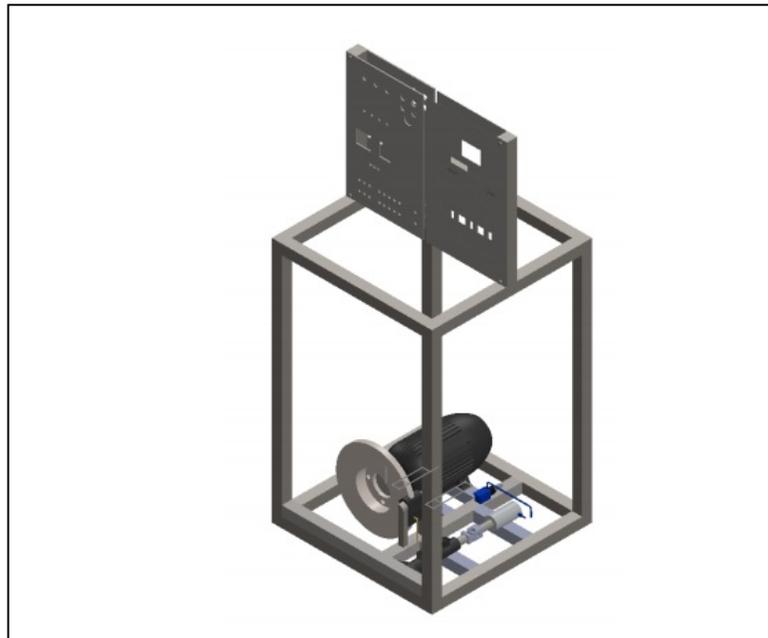


Figura 8 - Projeto da estrutura desenvolvida em ferramenta de desenho computacional

A estrutura metálica dá suporte a todos os componentes utilizados no projeto. Na base da estrutura, foram fixadas quatro rodas de *nylon* sendo as duas posteriores fixas e as duas da frente giratórias, para facilitar a movimentação da bancada.

A execução do projeto mecânico iniciou-se com a montagem da estrutura. Inicialmente foram cortados os materiais como as cantoneiras de aço 40x40mm (3 mm de espessura) e tubos de seção quadrada de 40mm. Em seguida, os perfis foram soldados com solda do tipo mig/mag até que a configuração vista na figura 8 fosse montada. Foram cortadas ainda duas chapas de aço, utilizadas para a montagem e fixação dos dispositivos de acionamento/proteção, aquisição de sinais e controle. A execução da estrutura mecânica do projeto resultou na montagem que pode ser verificada na figura 9.

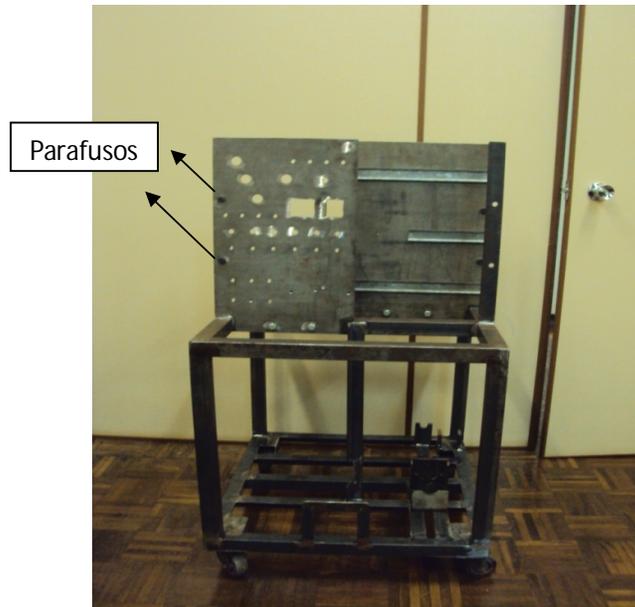


Figura 9 - Estrutura da bancada do freio

As chapas de aço foram fixadas nas laterais da estrutura por meio de parafusos, como pode ser verificado na figura 9. A figura 10 mostra o leiaute dos dispositivos de montagem dispostos nas duas chapas, sendo definidas com os nomes de painel esquerdo e painel direito.

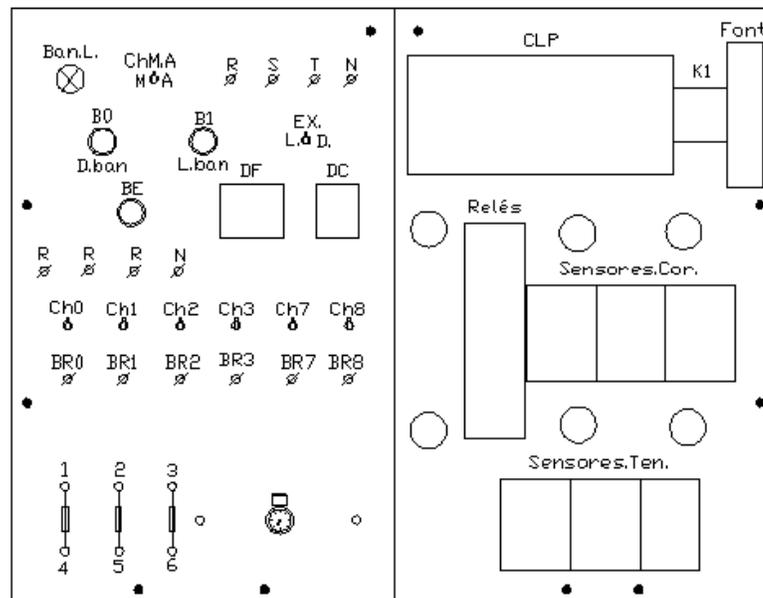


Figura 10 - Leiaute do painel esquerdo e direito

No painel esquerdo foram fixados os disjuntores de comando e de força da bancada, as chaves e os bornes de acesso aos terminais do motor e relés auxiliares. No painel direito, trilhos DIN foram fixados para dar suporte aos seguintes componentes: CLP, contatora de acionamento geral da bancada, fonte de alimentação 24Vcc, relés auxiliares e transdutores de corrente. Para evitar o contato acidental com partes energizadas, a parte frontal do painel direito e a parte posterior do painel esquerdo foram protegidas por chapas de acrílico.

O painel da esquerda é o que permite ao usuário o acionamento do circuito de força e comando da bancada e a escolha da opção manual ou automático. Em manual, chaves do tipo *tic-tac* acionam os relés auxiliares fazendo com que os contatos NA destes sejam acionados e possibilitem a ligação de um circuito de comando externo (montado nas bancadas dos laboratórios) para o acionamento do motor. A figura 11 mostra os dois painéis montados.

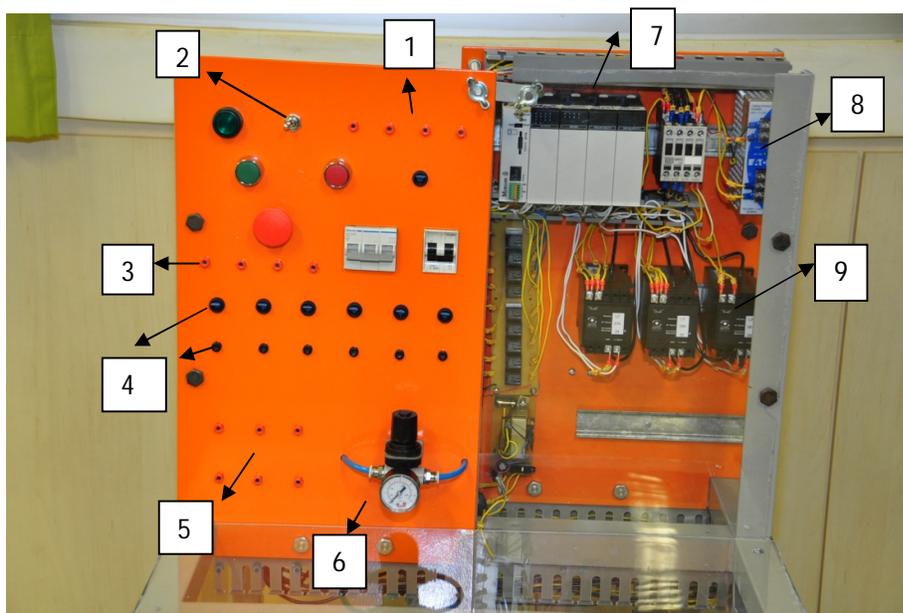


Figura 11 - Painéis montados

- 1 - Alimentação da bancada
- 2 - Manual/automático

- 3 - Saídas em 127Vca dos contatos NA dos relés auxiliares
- 4 - Bornes e chaves tic-tac dos relés auxiliares
- 5 - Bornes do motor
- 6 - Válvula reguladora de pressão manual
- 7 - CLP
- 8 - Fonte 24Vcc
- 9 - Transdutores de corrente

3.1.1 DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO

Após a verificação nos testes iniciais de que o cilindro pneumático de menor área e curso não foi suficiente para acionar de forma satisfatória o freio, decidiu-se utilizar um novo cilindro pneumático com haste prolongada e pressão nominal de trabalho de 10bar. A força aplicada por este cilindro é de 294,52N no avanço e 247,40N no retorno. A força exercida pelo cilindro tanto no avanço quanto no recuo foi obtida da tabela do fabricante que pode ser vista no anexo A.

3.2 PROJETO ELÉTRICO

O passo seguinte foi o desenvolvimento dos diagramas elétricos de força e de comando da bancada e que podem ser vistos nos apêndices A e B.

A proteção geral da bancada foi executada com disjuntor trifásico de 25A e a proteção do circuito de comando foi utilizado um disjuntor bifásico de 20A. Para a proteção do circuito de comando era necessário um disjuntor de 10A, porém, não havia disponível na universidade. Para o acionamento do circuito de força, foi utilizada uma contatora da marca WEG CWM18 de 4,5kW (12,8A em 220Vca). Uma lâmpada sinalizadora 220Vca foi utilizada para mostrar ao operador que a bancada está ou não acionada. A alimentação da bancada é feita através dos bornes R,S,T e N montados na parte superior do painel esquerdo (ver figura 11). O circuito de força foi montado com condutores flexíveis de 4mm² e o circuito de comando com condutores flexíveis de 0.75mm².

3.3 MODO DE FUNCIONAMENTO DA BANCADA

Como mencionado no item 3.1, existem dois painéis na bancada. O da esquerda é o painel que o usuário tem acesso e pode controlar o freio tanto na forma manual quanto na forma automática.

Na opção manual, todas os tipos de partidas e o controle da pressão, podem ser feitas de forma manual sem ajuda da interface homem máquina que será explicada no item 4. Existe disponível no painel da bancada 5 relés para o acionamento manual e uma válvula reguladora de pressão, como pode ser visto na figura 11. As chaves do tipo tic-tac, ao serem acionadas no modo manual, fecham os contatos NA dos relés auxiliares. Os relés 0,1,2 e 3 fornecem 127Vca e os relés 7 e 8 fornecem 24Vcc. Tais saídas dos relés, podem ser utilizadas para a montagem de um sistema de comando convencional nas bancadas existentes nos laboratórios.

Já na opção automática, o controle de todas as partidas disponíveis é feito com o uso de um supervisor, e o CLP faz o chaveamento dos relés auxiliares da bancada de forma automática. Desta forma, os contatos NA de tais relés, podem ser conectados diretamente as bobinas das contadoras fixadas nas bancadas existentes dos laboratórios e fazer o acionamento de determinado tipo de partida através do sistema supervisor.

A bancada possui uma válvula duplo solenóide 5/2 vias cuja função é liberar ar comprimido para a válvula proporcional (controle automático) ou para a válvula manual reguladora de pressão (controle manual). Com a chave seletora na opção automática, uma das bobinas da válvula 5/2 vias é acionada juntamente com a bobina de acionamento da válvula proporcional, permitindo assim o controle via *software* da pressão no cilindro pneumático.

A figura 12 mostra a bancada finalizada com todos os seus componentes.



Figura 12 - Bancada finalizada

4 PROGRAMAÇÃO E SISTEMA SUPERVISÓRIO

4.1 PROGRAMAÇÃO

Para a programação do CLP utilizado para fazer o controle da bancada em modo automático, foi utilizado o *software Easy Soft Codesys*, que permite a programação em linguagem Ladder.

Segundo R.W.Lewis (1998), a linguagem Ladder é baseada nas lógicas de comando convencionais que utilizam relés e contatos NA e NF. Estes diagramas já eram utilizados para documentar antigos armários de relés antes da existências dos CLPs. Sua notação é bastante simples: Uma linha vertical à esquerda representa um barramento energizado e uma linha paralela à direita, representa uma barra de referência.

Os blocos de programação constituídos por contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados e bobinas são dispostos na horizontal, formando malhas em série ou em paralelo.

A configuração final de um diagrama Ladder se parece com uma escada, onde as laterais são as linhas de alimentação e os degraus representam a lógica. Cada contato está associado ao estado de uma variável lógica. Se a variável associada a um contato normalmente aberto (NA) está em *TRUE*, então o contato estará ativo e se fechará, possibilitando desta forma o acionamento de uma memória interna ou de uma saída física do CLP. Se a variável associada a um contato normalmente aberto (NA) está em *FALSE*, então o contato estará aberto e o circuito será interrompido.

O *software* também proporciona o uso de blocos de função que permitem conversões entre tipos de variáveis. Vários desses blocos foram utilizados durante a programação. A figura 13 mostra parte da programação desenvolvida e o bloco *DataScale* que serve como um conversor de valores.

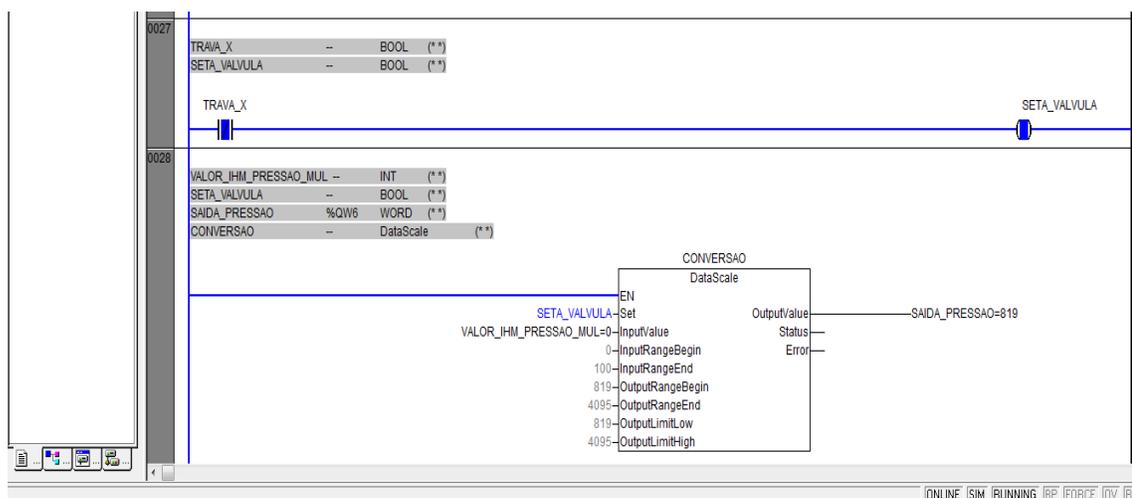


Figura 13 - Bloco de função *Datascale*

A tabela 2 mostra o endereçamento das entradas físicas e saídas digitais/analógicas atribuídas ao CLP.

Tabela 2 - Endereçamento das variáveis e suas funções no sistema

Variável associada	Endereço da variável	Função no sistema
Manual-Entrada digital	IX0.2	Passa para modo manual
Automático-Entrada digital	IX0.0	Passa para modo automático
Saida_Rele_0 - Saída digital	QX2.0	Aciona R0 (127V)
Saida_Rele_1 - Saída digital	QX2.1	Aciona R1 (127V)
Saida_Rele_2 - Saída digital	QX2.2	Aciona R2 (127V)
Saida_Rele_3 - Saída digital	QX2.3	Aciona R3 (127V)
Saida_Rele_4 - Saída digital	QX2.4	Aciona Bobina modo manual
Saida_Rele_5 - Saída digital	QX2.5	Aciona válvula proporcional
Saida_Rele_6 - Saída digital	QX2.6	Aciona bobina modo automático
Saida_rele_7 - Saída digital	-----	Aciona R7 (24Vcc auxiliar comando externo)
Saida_Rele_8 - Saída digital	QX2.7	Aciona R8 (24Vcc auxiliar comando externo)
FASE_R - Entrada analógica	IW2	Sinal do sensor de corrente R
FASE_S - Entrada analógica	IW4	Sinal do sensor de corrente S
FASE_T - Entrada analógica	IW6	Sinal do sensor de corrente T
SAIDA_PRESSAO - Saída analógica	QW4	Envia comando para válvula proporcional

4.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO

O *Software Easy Soft Codesys* permite a criação de telas para a supervisão de processos. Esta ferramenta permite que os desenhos e diagramas dispostos no supervisório, alteram-se de acordo com o estado das variáveis declaradas na programação em Ladder. No supervisório desenvolvido para o freio, foram inseridos nas telas botões de comando (acionamento do motor por exemplo), indicadores numéricos e gráficos que mostram os valores de corrente do motor.

Foram desenvolvidas duas telas chamadas de interfaces. A primeira, chamada de “Seleciona partidas”, possibilita a escolha do tipo de partida e o acionamento do motor. Nesta mesma interface, o operador pode visualizar o diagrama de força da partida escolhida e o fechamento das contadoras e do motor. Indicadores numéricos mostram o valor da corrente RMS medida pelos transdutores de corrente.

Quando em modo automático, os acionamentos são feitos através dos botões virtuais mostrados no supervisório “Seleciona partidas”. A tela deste supervisório pode ser verificada na figura 14.

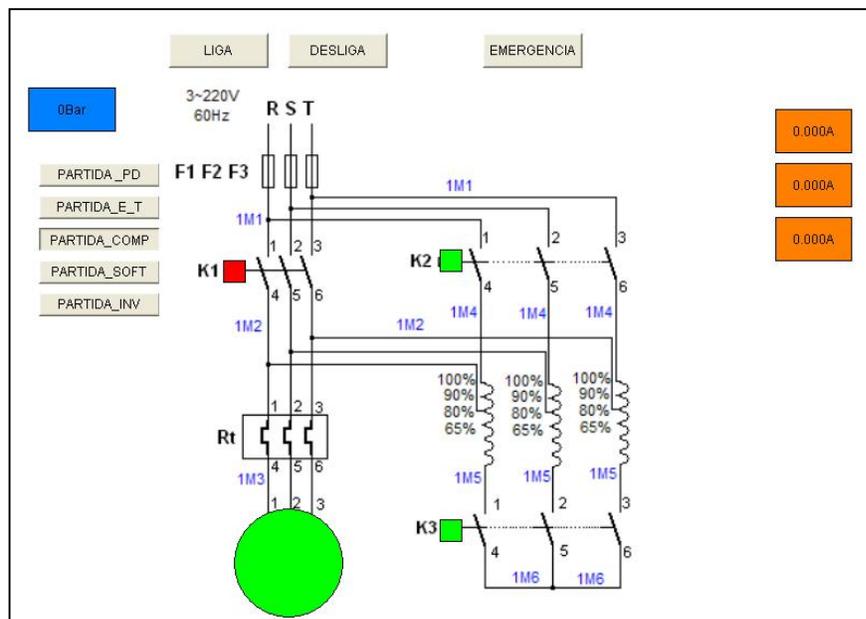


Figura 14 - Interface da partida compensada

As seguintes partidas podem ser selecionadas na interface “Seleciona partidas”: partida direta, estrela-triângulo, compensada, partida com soft-starter e partida com inversor de frequência. Existe na programação um intertravamento que permite mudar o tipo de partida somente mediante o encerramento da partida anterior, evitando assim possíveis curto-circuitos.

A criação de tais partidas neste supervisório, possui a finalidade de permitir ao usuário a visualização do fechamento dos elementos da partida e o acompanhamento do valor da corrente do motor durante o acionamento.

A segunda interface chamada de “gráficos”, permite a visualização gráfica da corrente (nas três fases do motor) em função do tempo. Aparecem também nesta interface, indicadores numéricos que mostram os valores das respectivas correntes em cada fase do motor e o valor de pressão a ser inserida no freio. Através da figura 15 é possível visualizar a interface “Gráficos”.

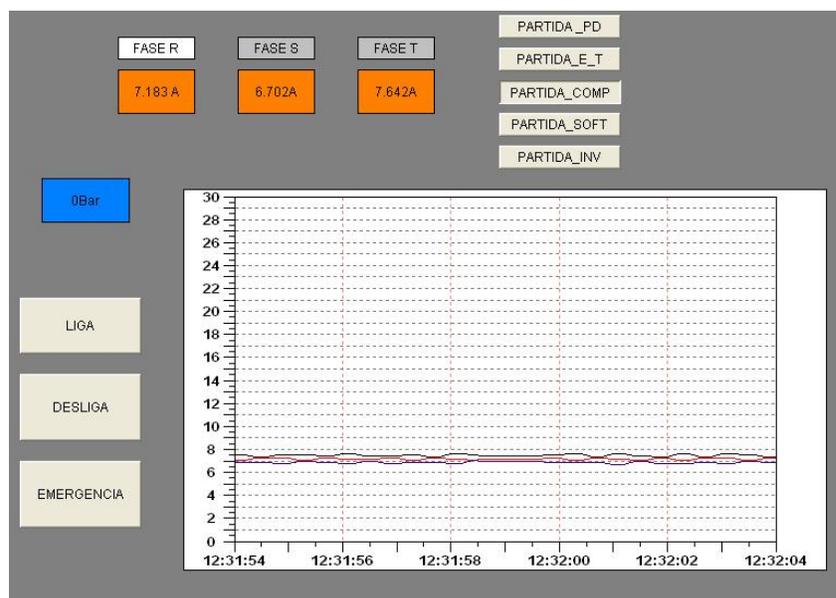


Figura 15 - Interface "Gráficos"

Na figura 15, as cores vermelho, roxo e preto representam as fases R, S e T respectivamente.

Em ambas as interfaces apresentadas, o operador controla a pressão enviada para o cilindro pneumático através de um indicador numérico de cor azul, logo o aumento da pressão enviada até a válvula proporcional via sistema supervisório, proporciona o aumento da carga mecânica imposta ao motor.

5 ENSAIOS GERAIS

Foram realizados cinco tipos de ensaios:

- Ensaio da válvula proporcional;
- Resposta da variação da corrente do motor em função da pressão;
- Ensaio das partidas;
- Aplicação de carga mecânica em degrau;
- Teste de sobrecarga.

5.1 ENSAIO DA VÁLVULA PROPORCIONAL

Com a finalidade de verificar se o valor da pressão enviada via CLP e válvula proporcional era de fato uma medição coerente, foi realizado um teste de medição da pressão. Este teste consistiu em enviar pressão via CLP para a válvula proporcional e fazer a leitura manual do sistema pneumático via um manômetro convencional. A figura 16 mostra o gráfico obtido através da pressão inserida no supervisor e a pressão medida no manômetro da válvula reguladora de pressão manual.

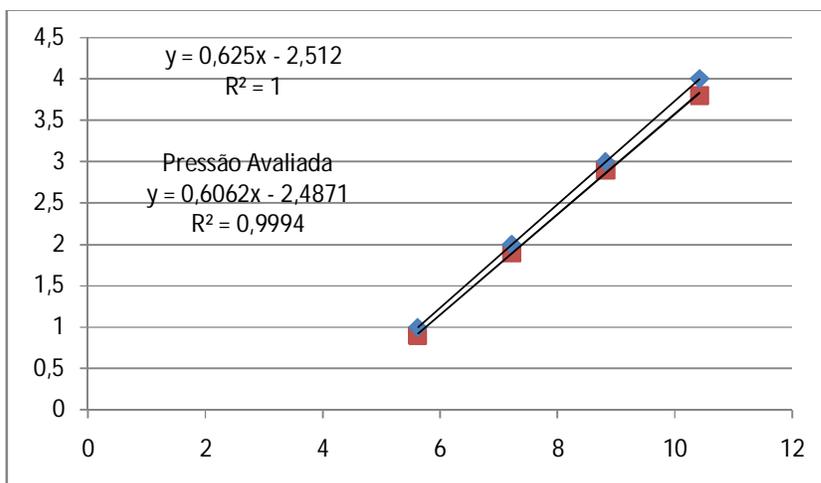


Figura 16 - Pressão enviada ao sistema via IHM (curva azul) e pressão medida no manômetro (curva marrom).

O gráfico da figura 16 mostra que tanto a válvula proporcional quanto o manômetro respondem de forma semelhante, logo as medições de pressão podem ser consideradas coerentes.

5.2 ENSAIO DA RESPOSTA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE DO MOTOR EM FUNÇÃO DA PRESSÃO

O objetivo deste ensaio é verificar o comportamento da carga mecânica aplicada pelo freio ao motor com o aumento da pressão imposta ao cilindro pneumático. Com o motor funcionando em regime permanente, a pressão foi aumentada gradativamente de 0 a 3.9bar.

Com o auxílio do supervisor, foi possível obter várias medições de corrente e pressão. Tais medições foram distribuídas na tabela 3 e resultaram no gráfico da figura 17.

Tabela 3 - Variação da corrente do motor em função do aumento da pressão

Pressão (bar)	Corrente (A)
0	6,0
1	6,0
2	6,0
2,5	6,0
3	7,0
3,1	7,0
3,2	7,0
3,3	7,0
3,4	8,0
3,5	8,0
3,6	8,0
3,7	9,0
3,8	11,0
3,84	16,0
3,9	17,0

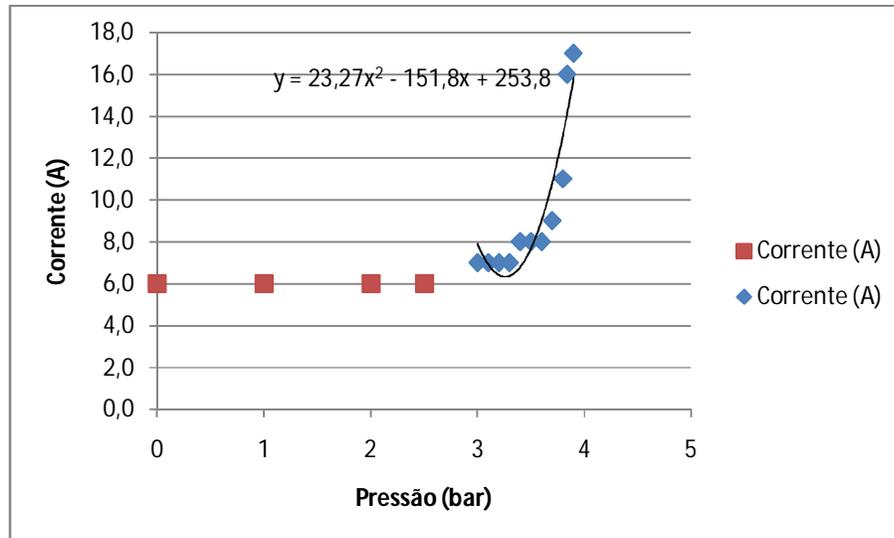


Figura 17 - Variação da corrente do motor em função do aumento da pressão

Através da figura 17, é possível verificar que com uma pressão de aproximadamente 3.84bar é obtida a corrente de 16A, que é próxima a corrente de sobrecarga máxima admitida pelo motor.

Na sequência deste ensaio, a pressão foi diminuída gradativamente de 3.9 bar à 0bar. Tal ensaio foi realizado para verificar o comportamento da carga mecânica com a diminuição da pressão imposta ao cilindro pneumático. Este ensaio resultou nos pontos da tabela 4 e no gráfico da figura 18.

Tabela 4 - Variação da corrente do motor em função da diminuição da pressão

Pressão (bar)	Corrente (A)
3,9	17,00
3,84	16,02
3,8	11,71
3,7	9,02
3,6	8,15
3,5	8,12
3,4	8,12
3,3	7,08
3,2	7,08
3,1	7,06
3	7,06
2,5	6,16
2	6,16
1	6,16
0	6,16

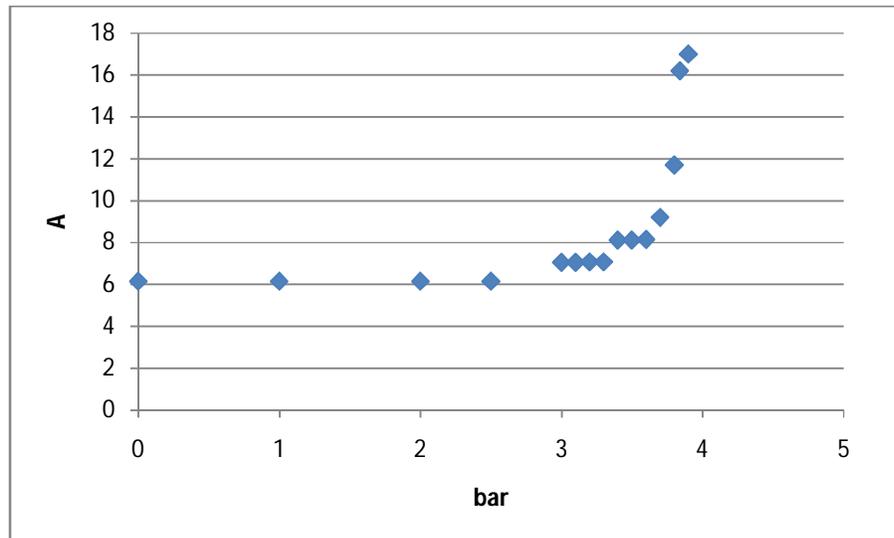


Figura 18 - Variação da corrente do motor em função da diminuição da pressão

Da análise das figuras 17 e 18, é possível verificar que a resposta do freio ocorre para pressões compreendidas entre 3.0 e 3.8bar. O teste de aumento e diminuição da pressão mostra que as curvas excursionam quase que pelo mesmo caminho.

O gráfico da figura 19 mostra a variação da pressão em função da porcentagem do carregamento mecânico do motor. Tais curvas mostram a pressão a partir de 2.5bar. Os pontos na cor azul mostram o comportamento da carga mecânica durante o aumento da pressão e os pontos marrons, mostram o comportamento durante a diminuição da pressão. Neste gráfico é possível observar que as curvas excursionam no mesmo percurso.

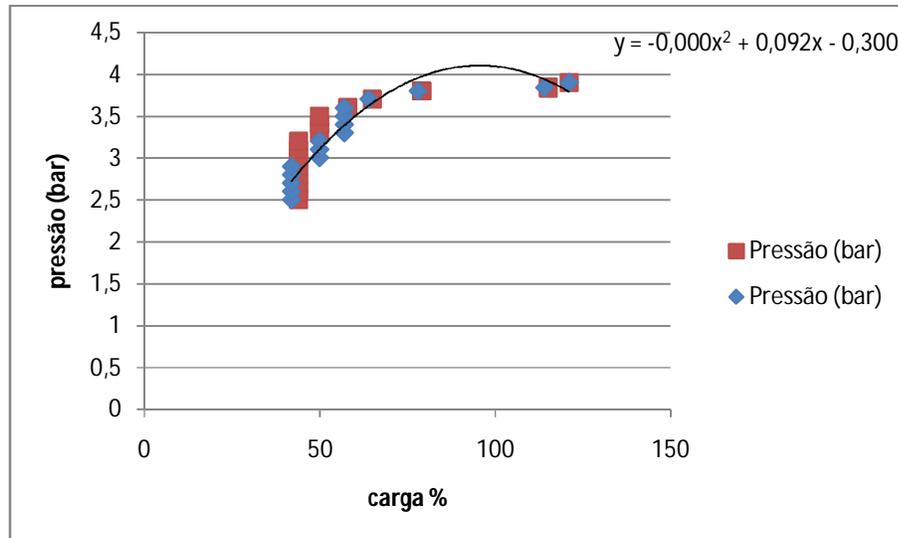


Figura 19 - Variação da carga do motor em função da pressão aplicada

A partir de 3.8bar é possível observar no ensaio prático que a corrente elétrica estabiliza-se durante um certo período de tempo e então aumenta gradativamente de acordo com a temperatura do disco. Isso se deve ao fato de ocorrer a dilatação do disco com o aumento do aquecimento gerado pelo atrito entre este e as pastilhas do freio.

A equação (1) mostra um ajuste polinomial dos pontos vistos no gráfico da figura 19.

$$P = -0.0005C^2 + 0.0923C - 0.3005 \quad (1)$$

Sendo C a carga em porcentagem.

A aproximação por um polinômio de segunda ordem pode ser utilizado para o cálculo da carga a ser inserida no motor em função da pressão aplicada no cilindro, pois é uma boa aproximação. Por exemplo, se o operador desejar inserir uma sobrecarga de 20% no motor, seria necessário ajustar uma pressão de aproximadamente 3.9bar no cilindro. Utilizando a equação, o resultado é um valor bem próximo do desejado.

$$Y = -0.0005 \cdot (120)^2 + 0,0923 \cdot 120 - 0,3005 = 3.5755 \text{ bar}$$

5.3 ENSAIO DE ANÁLISE DE PARTIDAS

Os ensaios descritos a seguir mostram a flexibilidade da utilização da bancada do freio, onde é possível a visualização do comportamento das correntes do motor para diferentes tipos de partida e carregamento mecânico da máquina.

5.3.1 PARTIDA DIRETA

Não foi possível realizar ensaios com a partida direta devido aos dispositivos de proteção disponíveis no laboratório serem de baixa capacidade e as curvas dos dispositivos como relés e disjuntores atuarem numa faixa menor que o tempo de partida do motor. Além disso, não é recomendada a partida de motores com potência igual ou superior a 5CV de forma direta, pois esta pode ocasionar quedas de tensão elevadas nos circuitos internos da instalação.

5.3.2 PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

Para a montagem desta partida, foram seguidos os circuitos de comando e força apresentados no apêndice E, essas ligações foram feitas com o auxílio dos componentes da bancada do laboratório de automação. A figura 20 mostra esta montagem.

Inicialmente o motor foi partido com carga nula e o gráfico da figura 21, mostra o comportamento da corrente durante esta partida.

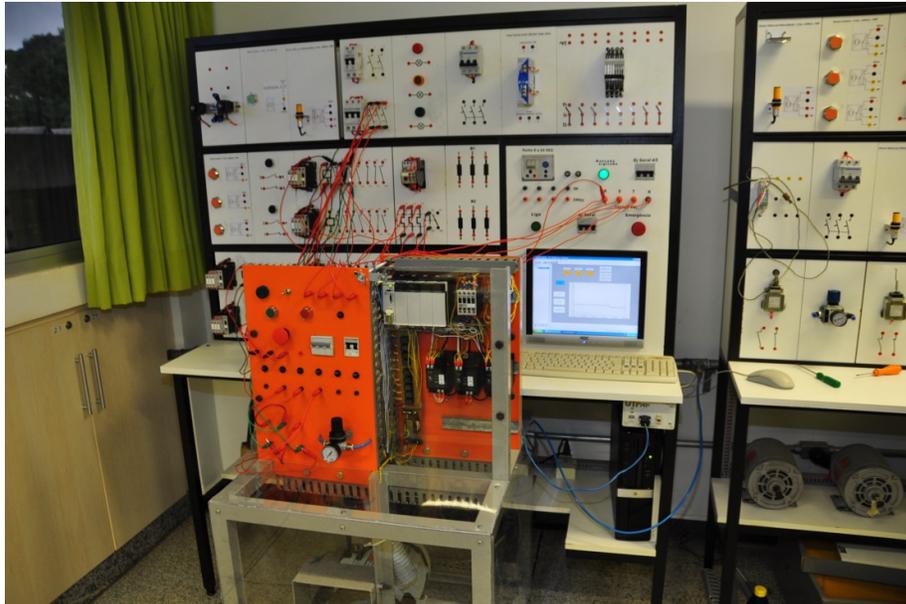


Figura 20 - Ligação da bancada

O corte verificado no pico de corrente da figura 21, ocorre pois os transdutores possuem range máximo de medição de 25A e a corrente de partida neste caso ultrapassa 40A.

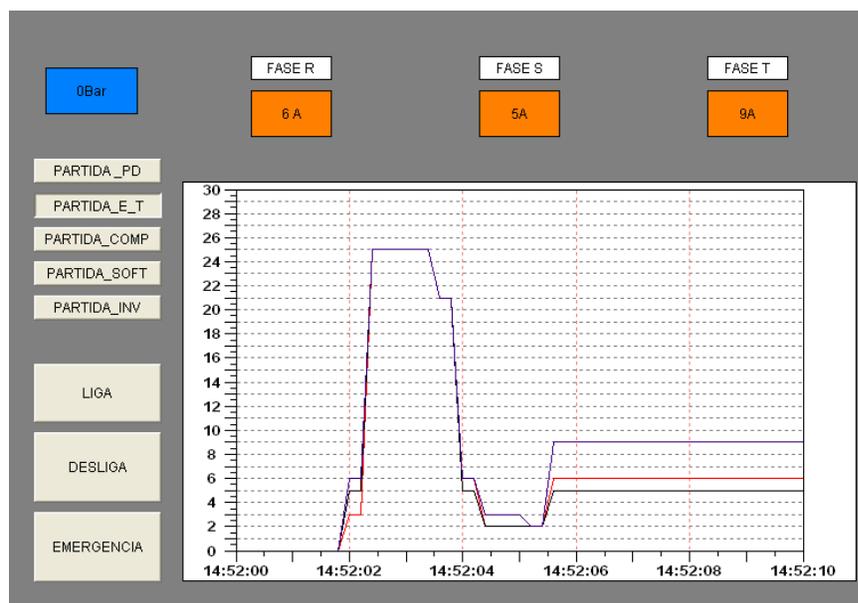


Figura 21 - Partida à vazio

Em seguida foi aplicada uma pressão de 3bar, que corresponde a uma carga de 50% da carga nominal do motor e a partida foi repetida. O gráfico da figura 22, mostra o comportamento das correntes do motor durante a partida.



Figura 22 - Partida com carga

Observando os gráficos das figuras 21 e 22, é possível verificar que com carga os valores de corrente elétrica são superiores aos da partida à vazio. Com carga, a corrente elétrica permaneceu alta por aproximadamente 6s e à vazio cerca de 2s.

A partida foi feita com uma carga de apenas 3bar, pois o conjugado da carga imposta pelo freio é muito elevado, o que solicita elevadas correntes de partida e por consequência a abertura dos dispositivos de proteção.

Durante todos os testes, foi utilizado um multímetro para fazer a medição da corrente, mostrando que a medição efetuada via transdutores/CLP está correta.

5.3.3 PARTIDA COMPENSADA

Para este tipo de ligação, os bornes do motor foram ligados conforme diagrama de força e comando apresentados no apêndice F.

Com carga nula no freio, a resposta de corrente de partida e de regime permanente pode ser observada no gráfico da figura 23.

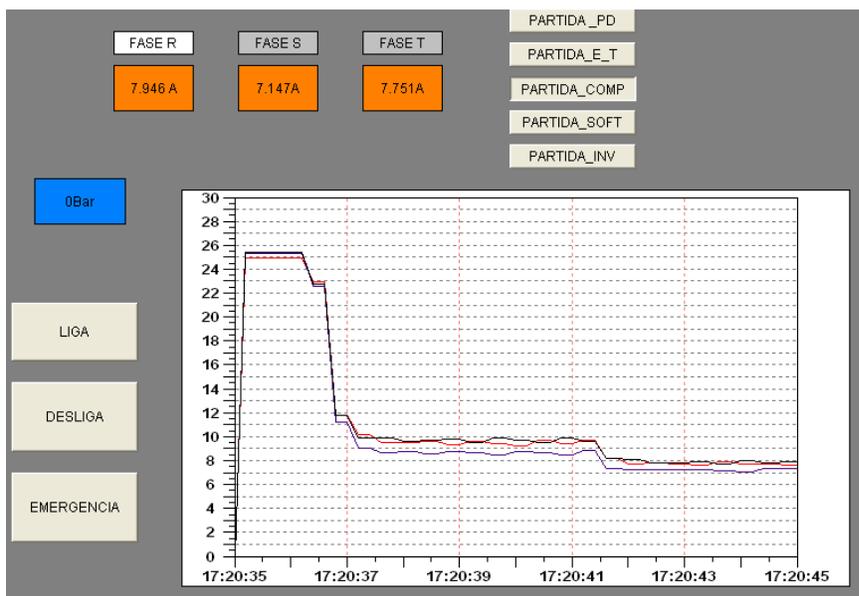


Figura 23 - Partida compensada à vazio

Após o ensaio com partida à vazio, foi realizado o teste da partida com carga de, aproximadamente 50%. Os resultados das respostas das correntes podem ser visualizados na figura 24. Os gráficos das figuras 23 e 24 mostram que a vazio, durante a aplicação da menor tensão de acionamento, a corrente de partida permaneceu elevada durante aproximadamente 1.55s e com carga, permaneceu elevada por aproximadamente 2.5s. Com a corrente estabilizada, foi possível verificar que com carga a corrente se alterou pouco (2A) se comparado com a partida à vazio.

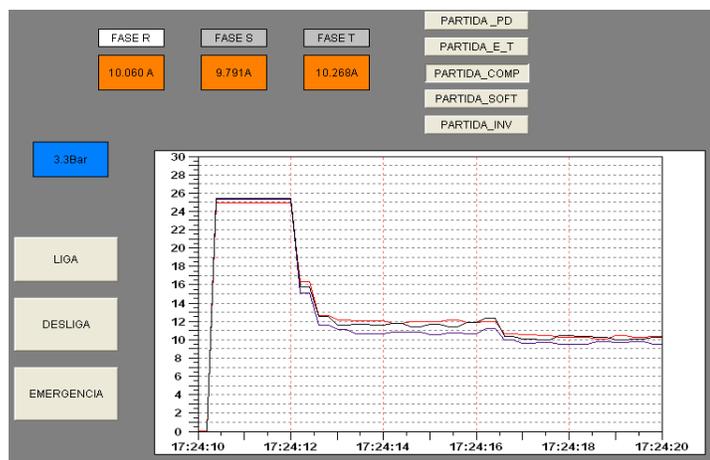


Figura 24 - Partida compensada com carga

Foi possível verificar que na partida compensada a corrente apresenta valor elevado para um intervalo de tempo bem menor do que na partida estrela-triângulo.

5.4 ENSAIO DE APLICAÇÃO DE CARGA MECÂNICA EM DEGRAU

Este ensaio mostra o comportamento da corrente do motor quando degraus de carga mecânica são aplicados ao eixo da máquina. Após a partida do motor, foi aplicada uma carga de 57% da carga nominal (3.4 bar), com a estabilização da corrente elétrica, aplicou-se um aumento de mais 85% de carga (3.9 bar) o que resultou numa sobrecarga final de 42% levando em consideração a fase T. As cargas foram aplicadas nos instantes de 11.2s (entre 9:49:10 e 9:49:12) e 15.5s (entre 9:49:14 e 9:49:16), conforme mostra o gráfico da figura 25

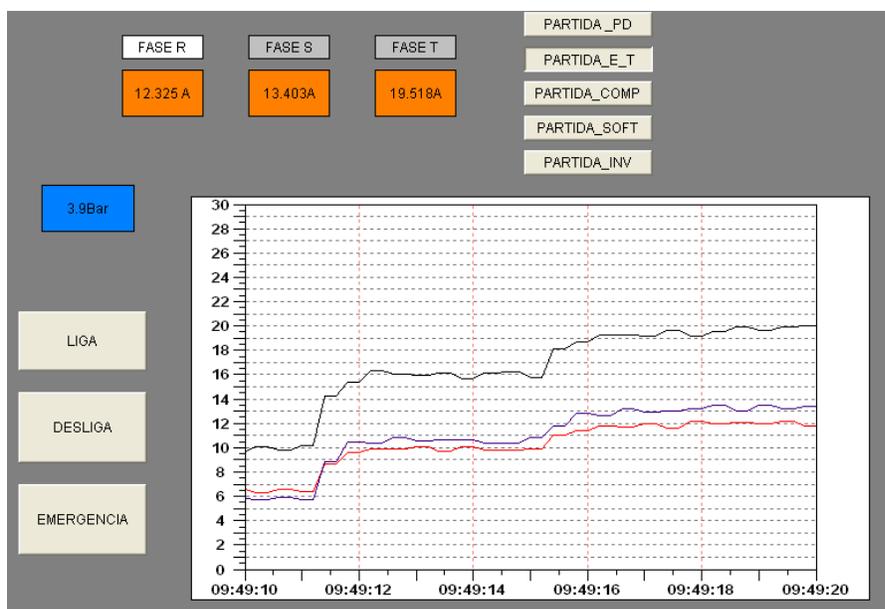


Figura 25 - Aplicação de carga mecânica em degrau

5.5 ENSAIO DE SOBRECARGA

A finalidade deste ensaio é demonstrar que é possível realizar testes de sobrecarga e mostrar na prática como os dispositivos de proteção atuam. Para realizar este ensaio, um relé de sobrecarga e um disjuntor termomagnético foram

utilizados. O relé foi ajustado em 10A, para atuar mais rápido e demonstrar no gráfico o comportamento da corrente. O motor foi partido à vazio

Após a corrente elétrica se estabilizar foi aplicada uma carga de 3.9bar, atingindo uma sobrecarga de 42% (aproximadamente 20A), fazendo com que a proteção atuasse depois de 48s. Isso mostra que os resultados estão de acordo com a curva do relé apresentado na figura 26. Nesta curva, com a corrente de sobrecarga de 20A o relé deveria atuar em aproximadamente 1 minuto. Para encontrar o valor do múltiplo da corrente e consequentemente o tempo de atuação do relé de sobrecarga, dividiu-se o valor da corrente de sobrecarga (20A) pelo valor ajustado do relé (10A), resultando no múltiplo 2 e que resulta no tempo de 1 minuto mencionado anteriormente.

A figura 26 mostra o gráfico no momento em que a proteção atua, em um dos testes de sobrecarga.

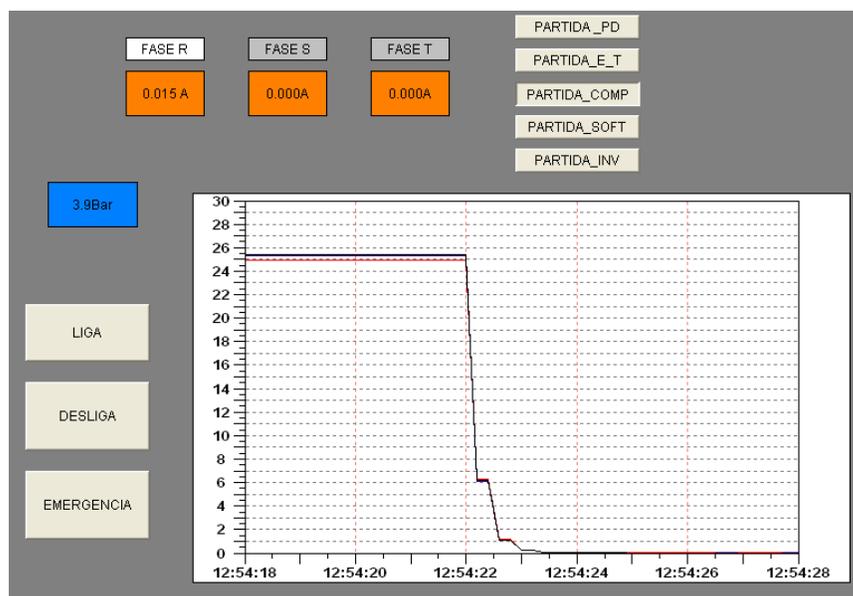


Figura 26- Ensaio de sobrecarga

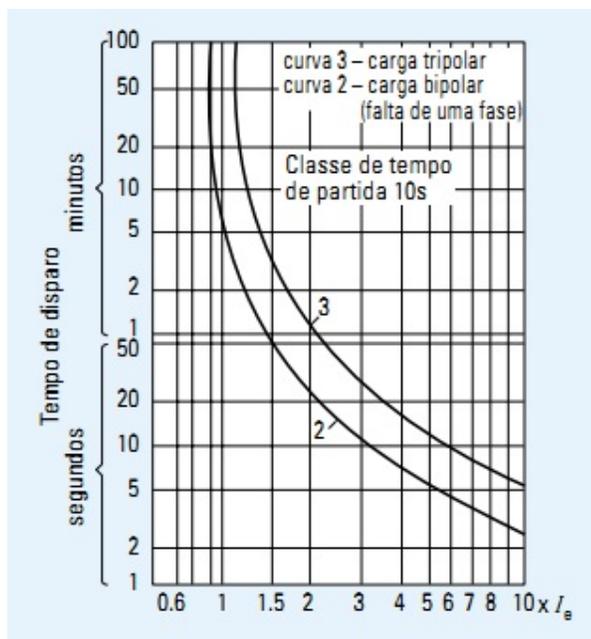


Figura 27 - Curva do relé de sobrecarga
 Fonte: <http://www.eletricabrasilia.com.br>

O disjuntor não desarmou, pois o relé de sobrecarga atuou primeiro devido à sua faixa de atuação. A curva do disjuntor utilizado pode ser vista na figura 27.

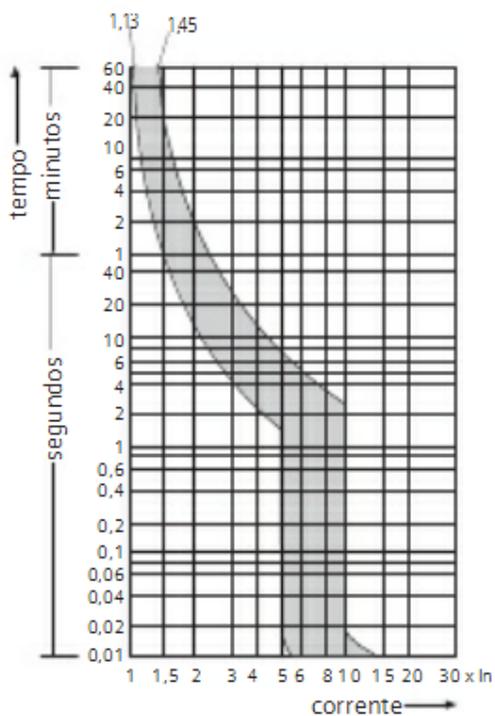


Figura 28 - Curva de disparo do disjuntor
 Fonte: Siemens

Para encontrar o valor do múltiplo da corrente e conseqüentemente o tempo de atuação do disjuntor, dividiu-se o valor da corrente de sobrecarga (20A) pelo valor do disjuntor (25A), resultando no múltiplo 0.8. Neste caso não chegou nem ao valor nominal do disjuntor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste projeto, foi possível coletar dados de corrente do motor em condições reais de funcionamento do mesmo, o que permitiu a visualização dos fundamentos teóricos de acionamentos de máquinas elétricas. Logo, a bancada do freio mecânico pode auxiliar no aprendizado dos alunos, servindo como um material didático de apoio. A bancada se mostrou satisfatória através dos ensaios realizados.

Com as diversas partidas observadas no *software* supervisor da bancada, permitiu-se acompanhar o funcionamento do motor desde o momento da partida à vazio até atingir sobrecargas.

Para que a resposta do freio ocorra durante o intervalo de 3.0 e 3.9bar, o disco precisa estar frio. Com altas temperaturas ocorre a dilatação do disco do freio que entra em contato com as pastilhas gerando atrito e conseqüentemente o aumento gradativo da corrente elétrica. Para se obter dados acima de 3.9bar seria necessário um sistema mais complexo de refrigeração.

O equipamento pode ser usado para aplicar diferentes cargas mecânicas ao motor em função da variação da pressão aplicada no cilindro pneumático.

Novos ensaios com a temperatura do freio já estabilizada podem ser realizados a fim de verificar para esta condição estável de temperatura, como é o comportamento da variação da corrente do motor em função da pressão do cilindro pneumático.

As medições de corrente aquisitadas via CLP e transdutores e os gráficos são confiáveis, pois durante as medições de corrente elétrica, foi utilizado também um multímetro para comparar as medidas.

Com a utilização da bancada, é possível mostrar para os alunos o acionamento das proteções de um sistema de comando e força.

Para futuros projetos, sugere-se a implantação de um novo *software* como o E3 a fim de comparar o desempenho, o *design* e a aplicabilidade de uma nova IHM com o CLP utilizado.

As curvas obtidas através dos gráficos da resposta da variação da corrente em função tanto do aumento de pressão quanto da diminuição não excursionaram exatamente pelo mesmo caminho, o que poderia ser solucionado através de um

novo sistema de controle do ar para inserir pressão no recuo do cilindro pneumático, tendo assim um maior controle sobre todo o sistema de frenagem.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga de; THOMAZINI, Daniel. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5 ed. São Paulo: Érica, 2008.

CURSO TÉCNICO DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL. **Apostila Siemens Simatic S7-200**. Disponível em: <<http://dc167.4shared.com/doc/AJvpGqbg/preview.html>>. Acesso em: 12 de Mar. de 2012

Elétrica Brasília. Disponível em : <www.eletricabrasilia.com.br/public/imgs/up/siemens_3tf4_3tf5_3tf6_3ua4_3ua5_3ua6_3rb12_catalogog.pdf>. Acesso em: 05 Jun de 2012.

Festo. Disponível em: <www.festo.com.br>. Acesso em: 10 Mar. de 2012.
FRANCHI, Claiton Moro; **Acionamentos Elétricos**. 3 ed. São Paulo: Érica, 2008.

Karim Nice, como funcionam os freios mecânicos. Disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/freios.htm>>. Acesso em: 10 Mar. de 2012.

LEWIS, R.W. **Programming industrial control system using IEC 1131-3**. London. IEE, 1998.

Nascimento Junior, Geraldo Carvalho do. **Máquinas elétricas: teoria e ensaios**. 4ed. São Paulo. Érica, 2011.

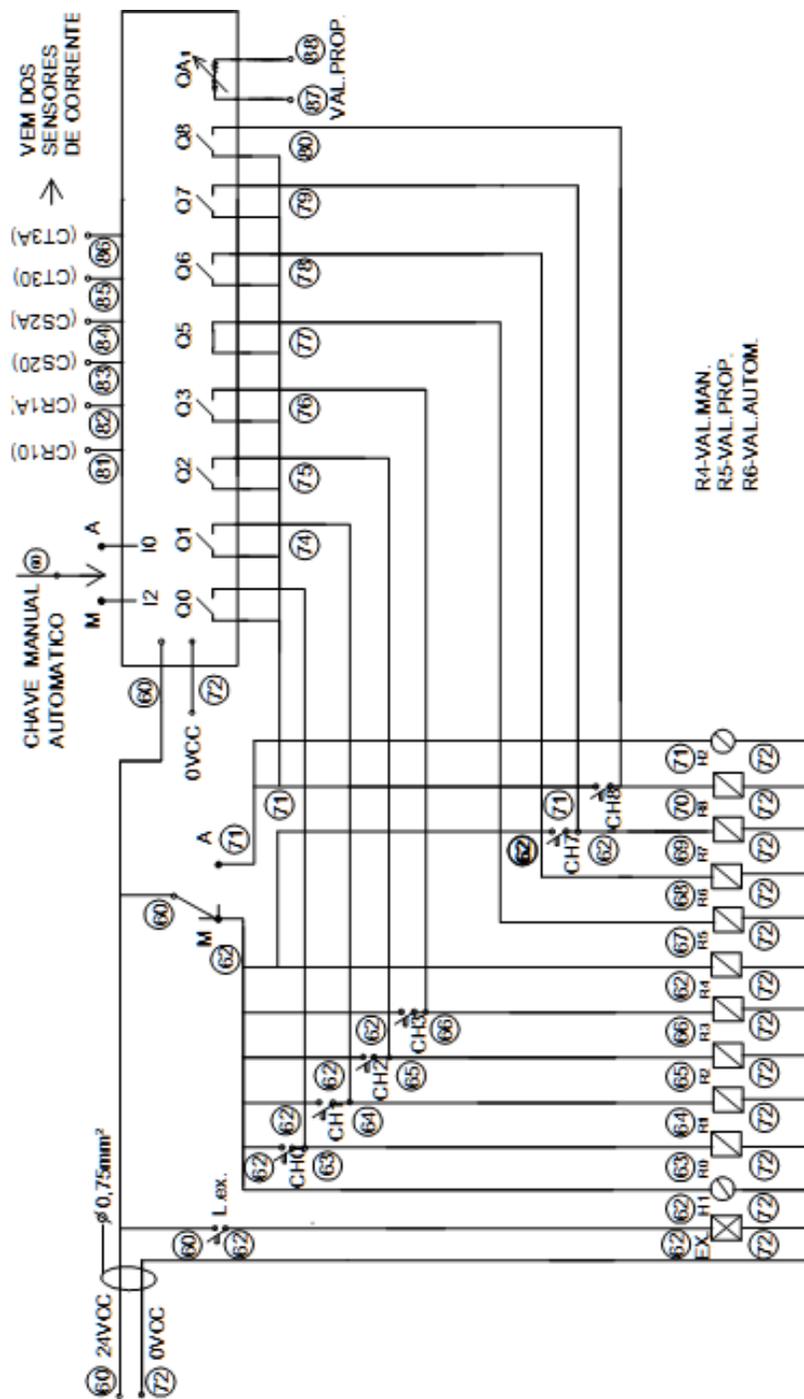
Parker. Disponível em: <http://www.extranetparker.com.br/download/automation/pdf/man_perfilado32_100_por.pdf> . Acesso em: 05 Mar. de 2012

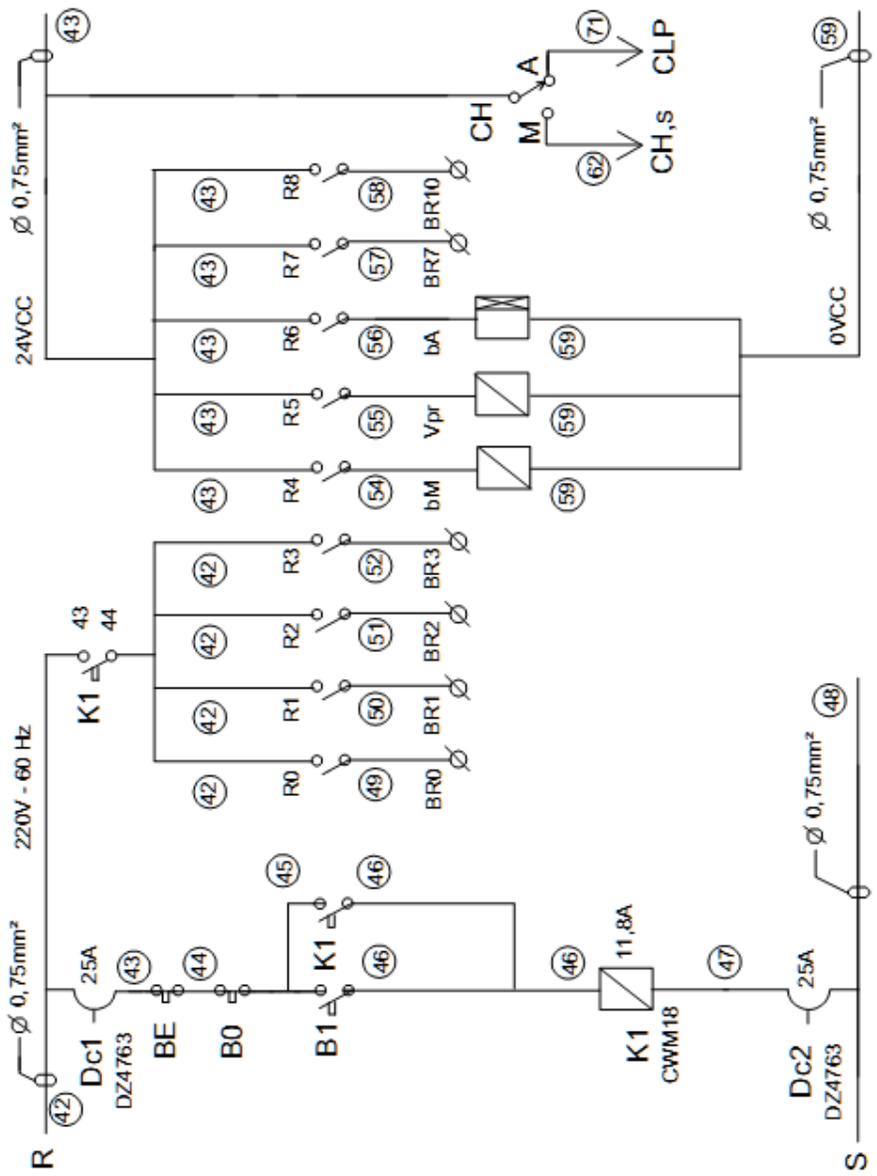
Secon. Disponível em: <www.secon.com.br>. Acesso em: 10 Mar. de 2012

SILVEIRA, Paulo R. da; SANTOS, Winderson E. **Automação e Controle Discreto**. 9. Ed. São Paulo: Érica, 2010.

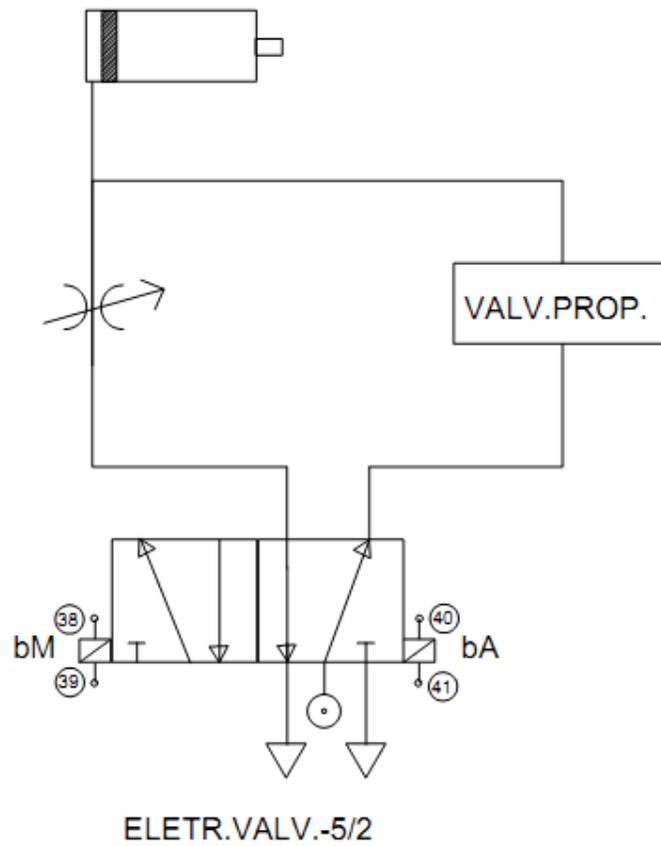
APÊNDICES

APÊNDICE A - Diagrama de Comando da Bancada

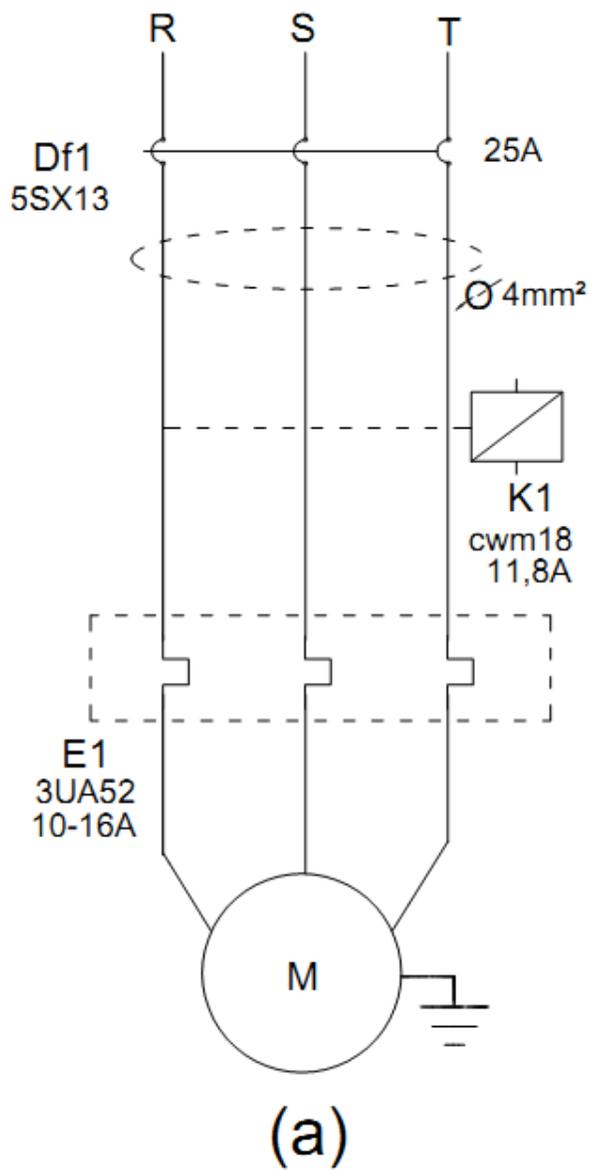


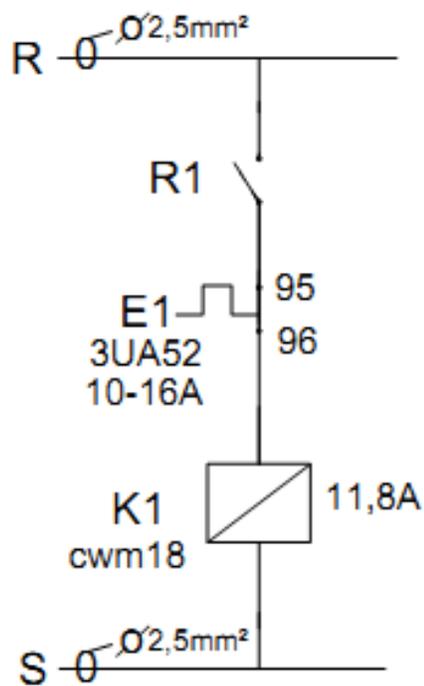


APÊNDICE C - Diagrama do Circuito Pneumático

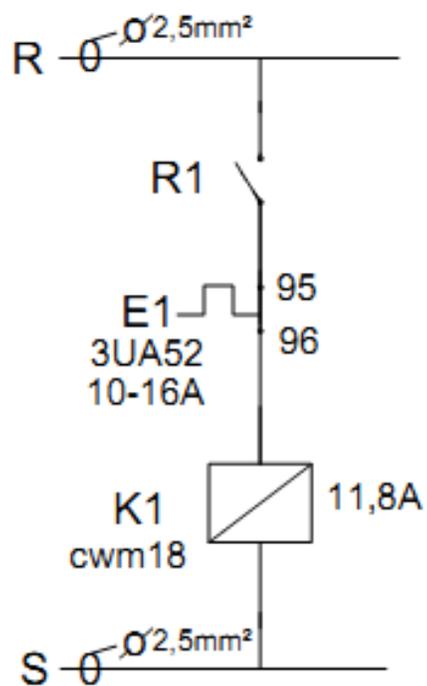


APÊNDICE D - Partida Direta. (a) Diagrama de Força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.



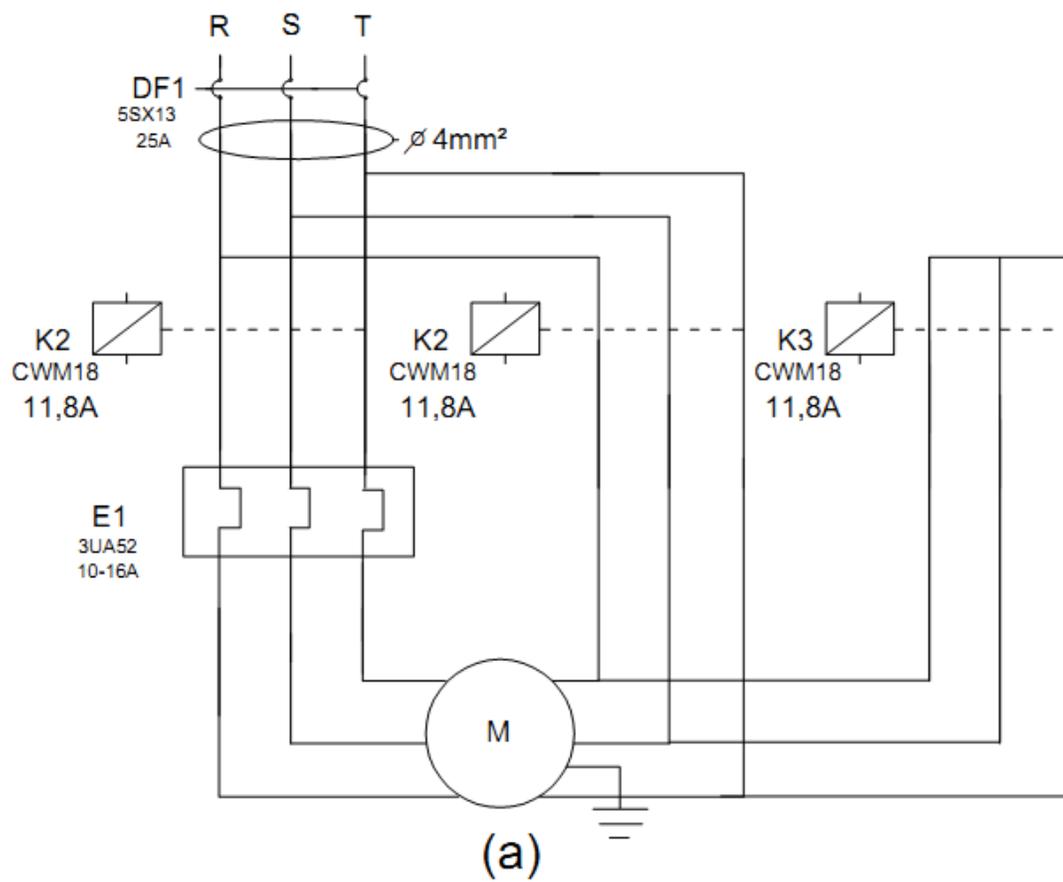


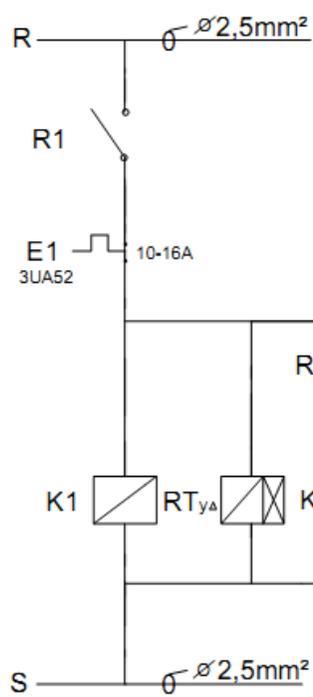
(b)



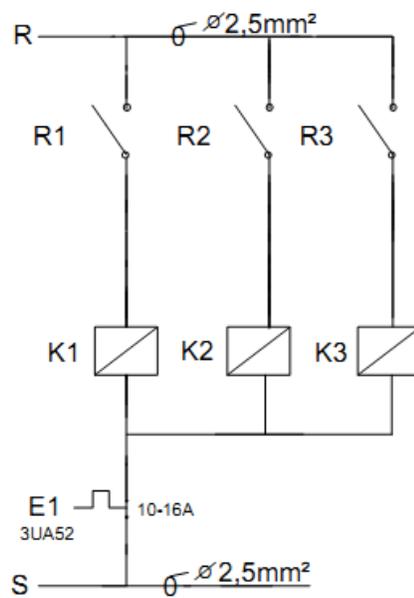
(c)

APÊNDICE E - Partida estrela triângulo. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.



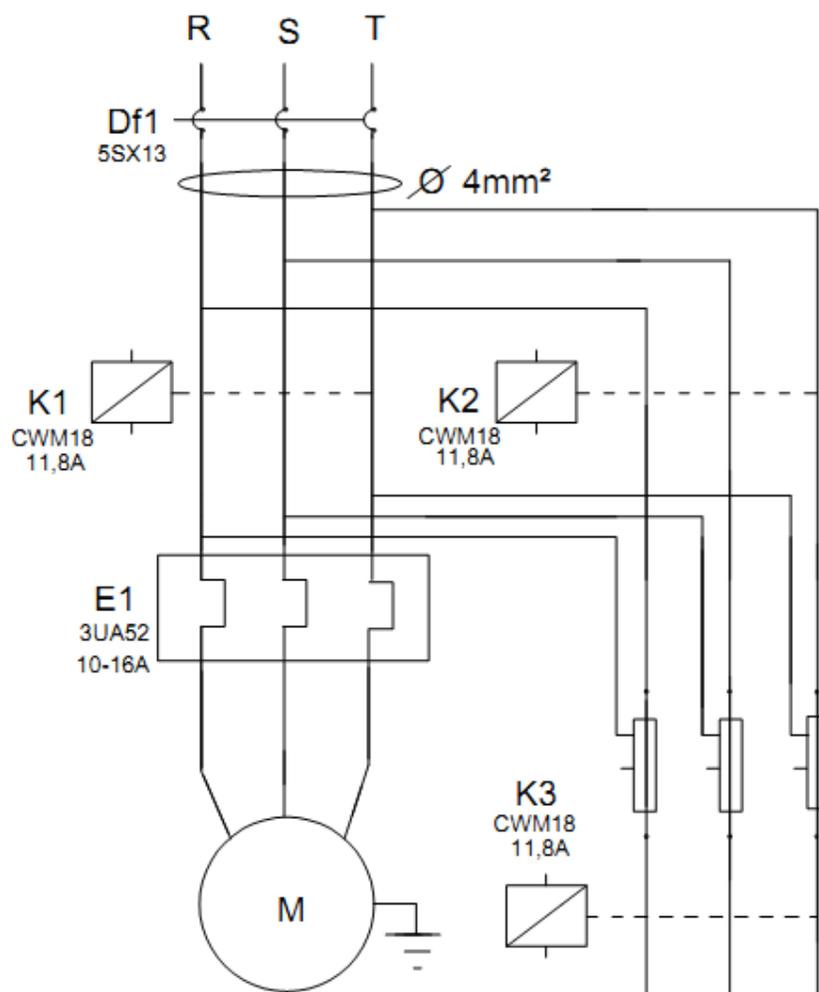


(b)

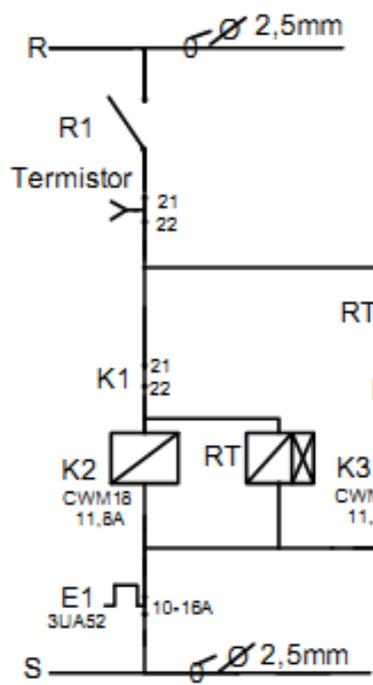


(c)

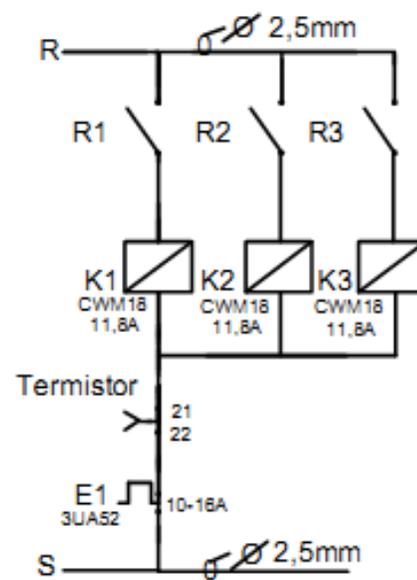
APÊNDICE F - Partida Compensadora. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.



(a)

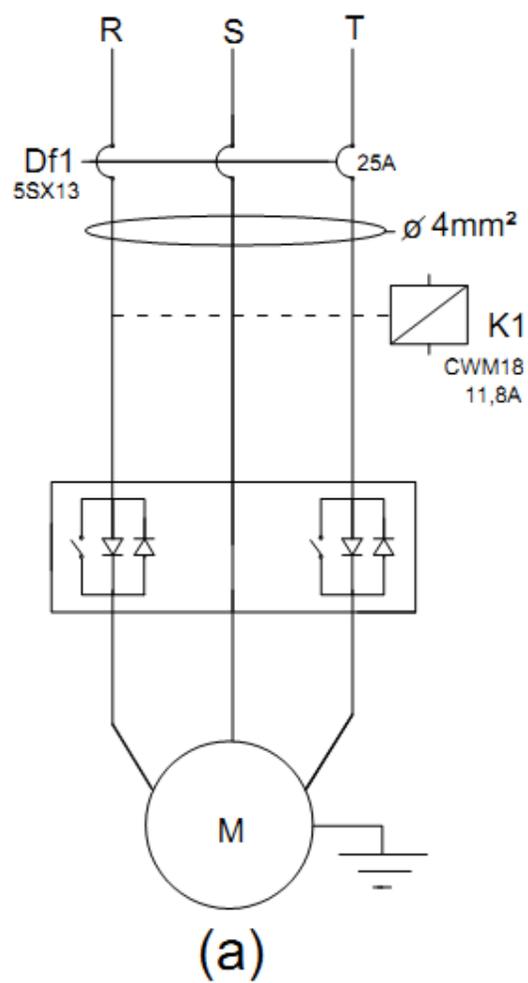


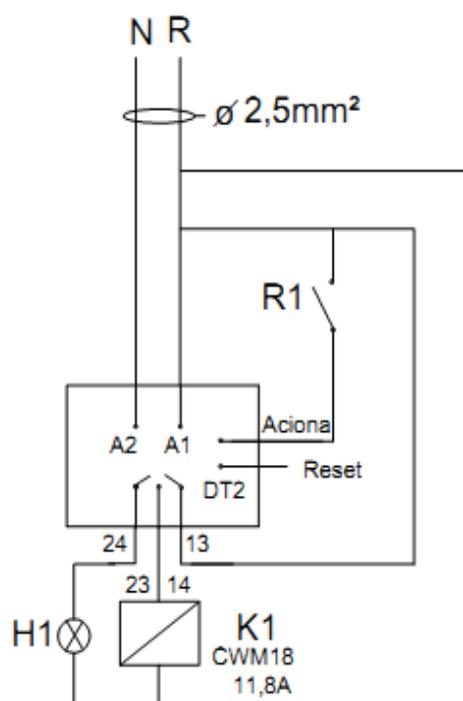
(b)



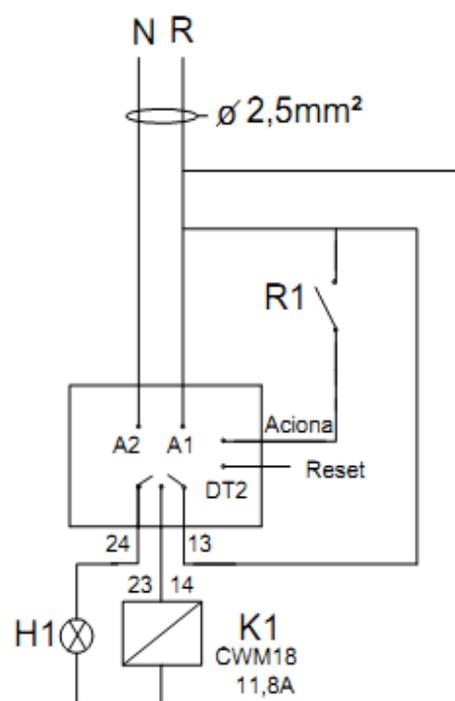
(c)

APÊNDICE G - Partida Soft-Starter. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.



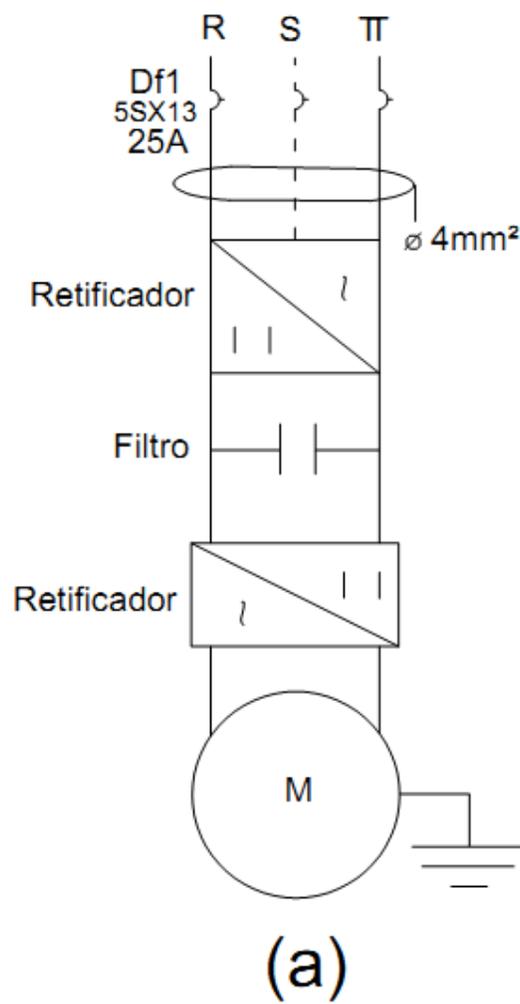


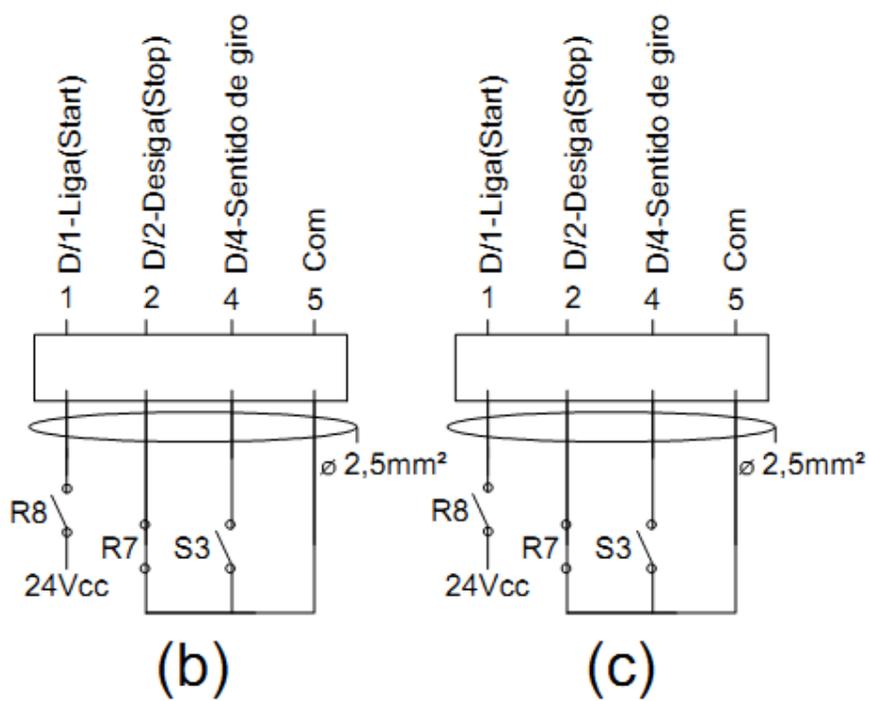
(b)



(c)

APÊNDICE H - Diagrama de ligação da partida com inversor de frequência. (a) Diagrama de força. (b) Diagrama de Comando em Manual. (c) Diagrama de Comando em Automático.





APÊNDICE I - Simbologia dos Componentes Elétricos e Pneumáticos

Denominação	Símbolo
Cilindro de Duplo Efeito	
Válvula de Controle Direcional 5/2	
Válvula de Controle de Fluxo Variável	
Fonte de Pressão (Alimentação)	
Linhas de Fluxo	
Fluxo Pneumático	
Sinalizador Luminoso	
Motor Elétrico	
Anilhas (Identificação)	
Sensor de Corrente Elétrica	
Contato Normalmente Aberto (NA)	
Contato Normalmente Fechado (NF)	
Disjuntor	
Bobina (Contatora, Relé Auxiliar)	
Relé de Tempo	

ANEXOS

ANEXO A - Forças Teóricas do Cilindro Pneumático

FORÇAS TEÓRICAS (N)					
Diâmetro do Cilindro (mm)	Diâmetro da Haste (mm)	Área Efetiva (mm ²)		Força Teórica A 6 bar (N)	
		Avanço	Retorno	Avanço	Retorno
10	4	78,54	65,98	47,12	39,59
12	6	113,10	84,82	67,85	50,89
16	6	201,06	172,79	120,64	103,67
20	8	314,16	263,89	188,50	158,33
25	10	490,87	412,33	294,52	247,40

$$F = \frac{P \times A}{10}$$

F = Força (N)

P = Pressão Manométrica (bar)

A = Área do êmbolo (mm²)