

## **TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

# **DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS PARA O LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

**Rafael Soares Bezerra**

**Brasília, setembro de 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS PARA O  
LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

**Rafael Soares Bezerra**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Eletricista

**Banca Examinadora**

Prof. Mauro Moura Severino, ENE/UnB  
(Orientador)

---

Prof. Rafael Amaral Shayani, ENE/UNB  
(Examinador interno)

---

Prof. Marcus Vinícius Borges Mendonça  
(Examinador interno)

---

**Dedicatória(s)**

*Dedico este trabalho o todos aqueles que  
de uma forma direta ou indireta me  
ajudaram neste trabalho*

*Rafael Soares Bezerra*

## **Agradecimentos**

*Quero agradecer primeiramente a Deus, que é sempre fiel. Agradecer à minha família e aos mestres que me ajudaram neste trabalho*

*Rafael Soares Bezerra*

---

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de criar novos experimentos para a utilização das bancadas didáticas da WEG adquiridas pelo departamento de engenharia elétrica. O foco dos experimentos está na matéria de Instalações Elétricas, porém os ensaios poderão ser utilizados em outras disciplinas como por exemplo: Instalações Elétricas Industriais, Acionamento de Motores e Proteção de Sistemas Elétricos. Os experimentos desenvolvidos neste projeto abordaram os seguintes tópicos: partida de motores com tensão reduzida, controlador lógico programável (CLP), correção de fator de potência utilizando banco de capacitores, interruptores diferenciais residuais (DR) e quadro de transferência automática (QTA). Este trabalho dá continuidade ao trabalho de conclusão de curso desenvolvido em 2005 pelos alunos Rafael Costa Abreu e Renato Marques Batista. Alguns experimentos elaborados por esses alunos foram revisados e testados e também fazem parte deste projeto de graduação. Esses ensaios estão devidamente identificados. Os roteiros estão apresentados no anexo deste trabalho.

---

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS .....	1
1.2 ETAPA 1 – ESTUDO DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	1
1.3 ETAPA 2 – REVISÃO DOS ENSAIOS DESENVOLVIDOS ANTERIORMENTE .....	2
1.4 ETAPA 3 – DESENVOLVIMENTO DE NOVOS ENSAIOS .....	2
<b>2 EXPLICAÇÃO DAS BANCADAS DIDÁTICAS DA WEG .....</b>	<b>3</b>
2.1 ASPECTOS GERAIS .....	3
2.2 BANCADA DE MEDIDAS ELÉTRICAS .....	3
2.3 BANCADA DE ELETROTÉCNICA INDUSTRIAL .....	5
2.4 BANCADA DE AUTOMAÇÃO COM CLP .....	6
2.5 BANCADA DE ACIONAMENTO DE MOTORES .....	8
2.6 BANCADA DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA PARA PARTIDA DIRETA .....	10
2.7 BANCADA DE SIMULAÇÃO DE DEFEITOS .....	11
<b>3 ASPECTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 ASPECTOS GERAIS .....	13
3.2 PARTIDA DIRETA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS .....	13
3.3 PARTIDA DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO .....	17
3.4 PARTIDA DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM AUTOTRANSFORMADOR .....	17
3.5 SOFT STARTER .....	19
3.5.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	19
3.5.2 ACIONAMENTO DE MOTORES EM RAMPA DE TENSÃO .....	21
3.5.3 DESACELERAÇÃO EM RAMPA DE TENSÃO .....	22
3.5.4 PULSO DE TENSÃO DE PARTIDA .....	23
3.5.5 LIMITAÇÃO DA CORRENTE DE PARTIDA .....	24
3.6 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA USANDO BANCO DE CAPACITORES .....	24
3.6.1 PARÂMETROS DO CONTROLADOR DO FATOR DE POTÊNCIA RVC6 .....	25
3.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	26
3.7.1 ARQUITETURA E CICLO DE FUNCIONAMENTO DO CLP .....	26
3.8 INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	27
3.8.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	27
3.8.2 TIPOS DE CONTROLE .....	28
3.8.2.1 CONTROLE ESCALAR .....	29
3.8.2.2 CONTROLE VETORIAL .....	29
<b>4 ENSAIOS PARA O LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....</b>	<b>30</b>
4.1 ASPECTOS GERAIS .....	30
4.2 CURVA $V_{xi}$ DE UMA RESISTÊNCIA (REVISADO) .....	31
4.3 MEDIÇÃO DE DEFASAGEM TENSÃO/CORRENTE EM INDUTORES E CAPACITORES (REVISADO) .....	38
4.4 Cascata de contadores (REVISADO) .....	44
4.5 Detecção de erros em um circuito (REVISADO) .....	48
4.6 Ensaio comparativo entre partida direta, estrela-triângulo e por autotrafo .....	55
4.7 Acionamento de motor de indução trifásico com partida direta .....	60
4.8 cionamento de motor de indução trifásico com chave reversora .....	67
4.9 Partida de um motor de indução trifásico com chave estrela-triângulo .....	72
4.10 Partida de um motor de indução trifásico com autotrasformador .....	82
4.11 SOFT-STARTER .....	92
4.12 Inversor de frequência .....	103
4.13 Controlador lógico programável (CLP) .....	109
4.14 Correção do fator de potência através do uso de banco de capacitores .....	119
4.15 Quadro de transferência automática (QTA) .....	133
4.16 Interruptor diferencial residual (DR) .....	139
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>

1.1	ASPECTOS GERAIS .....	1
1.2	ETAPA 1 – ESTUDO DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	1
1.3	ETAPA 2 – REVISÃO DOS ENSAIOS DESENVOLVIDOS ANTERIORMENTE.....	2
1.4	ETAPA 3 – DESENVOLVIMENTO DE NOVOS ENSAIOS.....	2
<b>2</b>	<b>EXPLICAÇÃO DAS BANCADAS DIDÁTICAS DA WEG.....</b>	<b>3</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS .....	3
2.2	BANCADA DE MEDIDAS ELÉTRICAS.....	3
2.3	BANCADA DE ELETROTÉCNICA INDUSTRIAL .....	5
2.4	BANCADA DE AUTOMAÇÃO COM CLP .....	6
2.5	BANCADA DE ACIONAMENTO DE MOTORES .....	8
2.6	BANCADA DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA PARA PARTIDA DIRETA .....	10
2.7	BANCADA DE SIMULAÇÃO DE DEFEITOS.....	11
<b>3</b>	<b>ASPECTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>13</b>
3.1	ASPECTOS GERAIS .....	13
3.2	PARTIDA DIRETA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS .....	13
3.3	PARTIDA DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO .....	17
3.4	PARTIDA DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM AUTOTRANSFORMADOR .....	17
3.5	SOFT STARTER.....	19
3.5.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	19
3.5.2	ACIONAMENTO DE MOTORES EM RAMPA DE TENSÃO.....	21
3.5.3	DESACELERAÇÃO EM RAMPA DE TENSÃO .....	22
3.5.4	PULSO DE TENSÃO DE PARTIDA .....	23
3.5.5	LIMITAÇÃO DA CORRENTE DE PARTIDA .....	24
3.6	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA USANDO BANCO DE CAPACITORES.....	24
3.6.1	PARÂMETROS DO CONTROLADOR DO FATOR DE POTÊNCIA RVC6 .....	25
3.7	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	26
3.7.1	ARQUITETURA E CICLO DE FUNCIONAMENTO DO CLP.....	26
3.8	INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	27
3.8.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	27
3.8.2	TIPOS DE CONTROLE .....	28
3.8.2.1	CONTROLE ESCALAR.....	29
3.8.2.2	CONTROLE VETORIAL .....	29
<b>4</b>	<b>ENSAIOS PARA O LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....</b>	<b>30</b>
4.1	ASPECTOS GERAIS .....	30
4.2	CURVA VxI DE UMA RESISTÊNCIA (REVISADO) .....	31
4.3	MEDIÇÃO DE DEFASAGEM TENSÃO/CORRENTE EM INDUTORES E CAPACITORES (REVISADO) .....	38
4.4	Cascata de contadores (REVISADO) .....	44
4.5	Deteção de erros em um circuito (REVISADO) .....	48
4.6	Ensaio comparativo entre partida direta, estrela-triângulo e por autotrafo .....	55
4.7	Acionamento de motor de indução trifásico com partida direta.....	60
4.8	Acionamento de motor de indução trifásico com chave reversora.....	67
4.9	Partida de um motor de indução trifásico com chave estrela-triângulo.....	72
4.10	Partida de um motor de indução trifásico com autotransformador.....	82
4.11	SOFT-STARTER .....	92
4.12	Inversor de frequência .....	103
4.13	Controlador lógico programável (CLP).....	109
4.14	Correção do fator de potência através do uso de banco de capacitores .....	119
4.15	Quadro de transferência automática (QTA).....	133
4.16	Interruptor diferencial residual (DR).....	139
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>145</b>
5.1	CONCLUSÃO .....	145
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	145
5.2.1	DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PROJETOS UTILIZANDO AS BANCADAS DIDÁTICA .....	145
5.2.2	APLICAÇÃO DO SOFT START .....	145
5.2.3	INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	146
5.2.4	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	146

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>148</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>149</b>
---------------------	------------

ANEXO I – TABELA CONTENDO OS DEFEITOS DA BANCADA DE SIMULAÇÃO DE DEFEITOS.....	149
ANEXO II – DIAGRAMA ELÉTRICO DA ENTRADA DE ENERGIA DA BANCADA DIDÁTICA .....	150
ANEXO III – DIAGRAMA ELÉTRICO DA BANCADA PARA CORREÇÃO DO FP .....	151
ANEXO IV – PARÂMETRO “FASE” DO CONTROLADOR DE CORREÇÃO DE FP .....	152

<b>APÊNDICES .....</b>	<b>153</b>
------------------------	------------

APÊNDICE I – EXPLICAÇÃO GERAL SOBRE AS BANCADAS DIDÁTICAS .....	153
APÊNDICE II – EXPLICAÇÃO RÁPIDA DA BANCADA DE CORREÇÃO DE FP .....	154
APÊNDICE III – EXPLICAÇÃO RÁPIDA DA BANCADA DE CPL.....	155
APÊNDICE IV – EXPLICAÇÃO RÁPIDA DA BANCADA UTILIZANDO O SOFTSTARTER .....	156
APÊNDICE V– REUNIÃO COM A EQUIPE DE LABORATÓRIO .....	157
APÊNDICE VI – EXPLICAÇÃO RÁPIDA DO VÍDEO DO QTA.....	160



# LISTA DE FIGURAS

2.1	Código de identificação.....	3
2.2	Bancada de medidas elétricas .....	4
2.3	Bancada de eletrotécnica industrial.....	5
2.4	Bancada de automação com CLP .....	6
2.5	Entradas digitais do CLP .....	7
2.6	Saída digital do CLP .....	8
2.7	Bancada de acionamento de motores .....	8
2.8	Bancada de correção de fator de potência.....	10
2.9	Bancada de simulação de defeitos.....	11
2.10	Quadro de simulação de defeitos .....	11
3.1	Partida direta de um MIT .....	14
3.2	Configuração estrela .....	16
3.3	Diagrama de força. Partida estrela-triângulo .....	16
3.4	Configuração triângulo .....	17
3.5	Diagrama de força para partida com autotransformador .....	18
3.6	Corrente x velocidade no MIT.....	20
3.7	Funcionamento do soft-starter .....	21
3.8	Ponte tiristorizada na configuração anti paralelo .....	21
3.9	Curva obtida a atuação do <i>soft- starte</i> .....	22
3.10	Rampa de subida [4].....	22
3.11	Comportamento da corrente de rampa de tensão .....	23
3.12	Corrente x velocidade no MIT.....	20
3.13	Desaceleração em rampa de tensão .....	24
3.14	Rampa de tensão de parada .....	24
3.15	Pulso de tensão de partida .....	25
3.16	Limitação da corrente de partida .....	25
3.17	Controlador de fator de potência RVC6 .....	26
3.18	Arquitetura do CLP.....	27
3.19	Inversor de frequência .....	20
3.20	Inversor de frequência .....	29
3.11	Comportamento da corrente de rampa de tensão .....	23
3.12	Corrente x velocidade no MIT.....	20
3.13	Desaceleração em rampa de tensão .....	24
5.1	Rede Field Bus .....	146
5.2	Módulo Analógico.....	147
5.3	Conexão com o computador .....	147
5.4	Conexão de dados .....	147
Anexo II Fig1 - Diagrama elétrico da bancada didática .....		150
Anexo III Fig1 - Diagrama elétrico da bancada para correção de fator de potência.....		151
Apêndice I Fig1 - Bancada didática .....		153
Apêndice II Fig1 - Bancada Correção FP e Partida Direta .....		154
Apêndice II Fig2 – Conexão do controlador de FP .....		154
Apêndice III Fig1 – Bancada CLP .....		155
Apêndice III Fig2 – Energização da Entrada do CLP.....		155
Apêndice III Fig3 – Chave de saída do CLP .....		155
Apêndice IV Fig1 – Módulo SOFT STARTER .....		156
Apêndice V Fig1 – Bancada tradicionalmente usada no laboratório.....		159
Apêndice VII Fig1 – Montagem da Partida estrela triângulo e autotrafo .....		161

Apêndice VI Fig2 – Montagem da Partida estrela triângulo e autotrafo.....	162
Apêndice VI Fig3 – Montagem da Partida estrela triângulo e autotrafo.....	162

# LISTA DE TABELAS

4.1	Ensaios para o laboratório de instalações elétricas .....	31
Anexo I	Tabela 1 -Tabela contendo os defeitos da bancada de simulação de defeitos ..	159
Anexo IV	Tabela 1- Parâmetro fase.....	152

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos

$\omega$                     velocidade angular                    [rpm]

## Subscritos

$p$                     pico

## Siglas

CLP	Controlador lógico programável
DR	Interruptor diferencial residual
R1	Resistor número 1
IHM	Interface homem máquina
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
VCA	Volts em corrente alternada
VCC	Volts em corrente contínua
FP	Fator de potência
MIT	Motor de indução trifásico
K1	Contator 1
$V_{LL}$	Tensão de linha
$V_{\phi}$	Tensão de fase
Trafo	Transformador
SCR	<i>Silicon Controller Rectifier</i>
RMS	<i>Root men square</i>
QTA	Quadro de transferência automática
UnB	Universidade de Brasília

# 1 INTRODUÇÃO

*Este capítulo tem o objetivo de mostrar as etapas em que este trabalho foi desenvolvido, dar uma visão geral do objetivo do trabalho e de como ele está organizado*

## 1.1 ASPECTOS GERAIS

Este trabalho de graduação tem o objetivo de desenvolver novos ensaios para o laboratório de instalações elétricas. O desenvolvimento dos trabalhos podem ser divididos em 3 etapas citadas a seguir.

## 1.2 ETAPA 1: ESTUDO DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Antes de estudar as bancadas da WEG foi feito um estudo dos experimentos utilizados atualmente na disciplina, consistindo a primeira parte deste trabalho. Todos os experimentos foram refeitos na bancada tradicionalmente utilizada do laboratório de instalações elétricas. Esta etapa inicial foi muito importante pois à partir dela pôde-se ter uma melhor visão do laboratório de instalações, quais são os objetivos do laboratório, o que precisa mudar, o que precisa acrescentar ou melhorar.

Após a realização dos experimentos foi feita uma reunião com os técnicos que usam o laboratório e auxiliam a realização dos experimentos dos alunos. Participou também a engenheira eletricitista responsável pelos laboratórios, o fato de ela ser ex-aluna contribuiu bastante para a reunião. No apêndice 1 é apresentada a ata desta reunião. Este apêndice foi acrescentado a este trabalho pois, como o objetivo fundamental deste trabalho é a melhoria do laboratório de instalações, a opinião daqueles que trabalham diariamente e que conhecem bem os recursos que o laboratório oferece torna-se muito importante para a evolução deste projeto.

Com o objetivo de incrementar o laboratório algumas empresas foram procuradas. O intenção era conseguir doações de novos equipamentos para o laboratório. Porém até o fim deste trabalho não foi possível conseguir nenhuma doação

## 1.3 ETAPA 2: REVISÃO DE ENSAIOS DESENVOLVIDOS ANTERIORMENTE

Em 2004 o departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília adquiriu novas bancadas didáticas da WEG para treinamento. Essas bancadas foram criadas com o objetivo de auxiliar no processo de treinamento e desenvolvimento de pessoas ligadas a área de engenharia elétrica. Juntamente com as bancadas o departamento recebeu manuais com algumas sugestões de ensaios laboratoriais. No entanto os roteiros estão muito simplificados e não estão em um formato adequado para o laboratório, com introdução, desenvolvimento e perguntas pertinentes no final. Tornou-se então necessário o desenvolvimento de projetos que visassem a elaboração de novos ensaios para o laboratório de instalações elétricas utilizando as bancadas da WEG.

Assim que as bancadas WEG chegaram na universidade e foram devidamente instaladas, em 2004, foi desenvolvido o trabalho de conclusão do curso – Desenvolvimento de Ensaios para o Laboratório de Conversão de Energia [1]– visando formular novos roteiros laboratoriais. Porém na época, não foi possível testá-los no laboratório. Então como segunda parte deste trabalho foi feita a revisão, teste e/ou formatação de 7 desses roteiros segundo o padrão do laboratório de Instalações Elétricas do primeiro semestre de 2010. Os ensaios revisados estão no capítulo 4 deste trabalho.

Para auxiliar o entendimento das bancadas adquiridas foi criado o capítulo 2. Este capítulo tem o objetivo de explicar de forma simplificada os componentes e a forma de operar as bancadas adquiridas. Com este capítulo o leitor terá uma noção melhor do material disponível para a elaboração e execução dos ensaios.

### **1.3 ETAPA 3: DESENVOLVIMENTO DE NOVOS ENSAIOS UTILIZANDO AS BANCADAS DIDÁTICAS DA WEG**

Por fim, a terceira etapa deste trabalho foi elaborar novos roteiros para o laboratório utilizando as bancadas didáticas da WEG. Foram criados 8 ensaios. Alguns experimentos criados substituíram ensaios criados no projeto citado [1]. Estes roteiros também estão no capítulo 4.

A maior parte do assunto abordado nos ensaios já foram vistos nas matérias obrigatórias do curso de engenharia elétrica. Para os temas não explorados ou que foram dados pouco enfoque nas matérias obrigatórias foi criado o capítulo 3.

## 2 EXPLICAÇÃO DAS BANCADAS DIDÁTICAS DA WEG

*Este capítulo visa dar uma explicação básica do funcionamento das bancadas da WEG.*

### 2.1 ASPECTOS GERAIS

Foram adquiridas pelo departamento de engenharia elétrica 6 bancadas didáticas: Medidas Elétricas, Eletrotécnica Industrial, Automação com Controladores Lógicos Programáveis, Acionamentos de Motores, Correção do Fator de Potência e Simulação de Defeitos.

O apêndice 1 trás uma explicação geral das bancadas didáticas. É interessante que o leitor leia primeiramente este apêndice para, assim, continuar a leitura deste capítulo. Este apêndice deverá ser anexado ao roteiro do primeiro ensaio em que o aluno utilizará a bancada didática.

Cada *kit individual* possui um código como mostrado na Fig.(2.1). Nos roteiros em anexo no item “material utilizado” os componentes estão listados por este código de identificação.

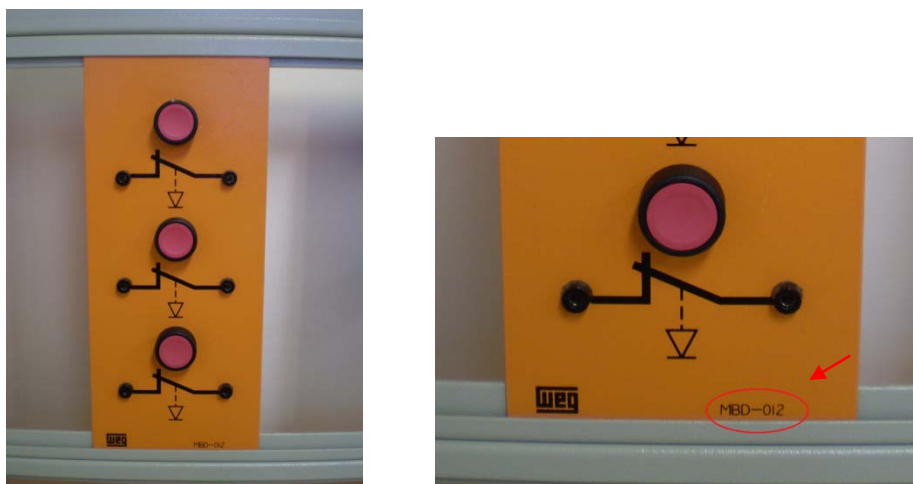


Figura 2.1. Código de identificação

Cada *kit individual* possui um código como mostrado na Fig. (2.1) Nos roteiros em anexo no item “material utilizado” os componentes estão listados por este código de identificação.

As próximas seções deste capítulo trazem ilustração e explicação básica de cada bancada.

### 2.2 BANCADA DE MEDIDAS ELÉTRICAS

A bancada de medidas elétricas está mostrada na Fig. (2.2).

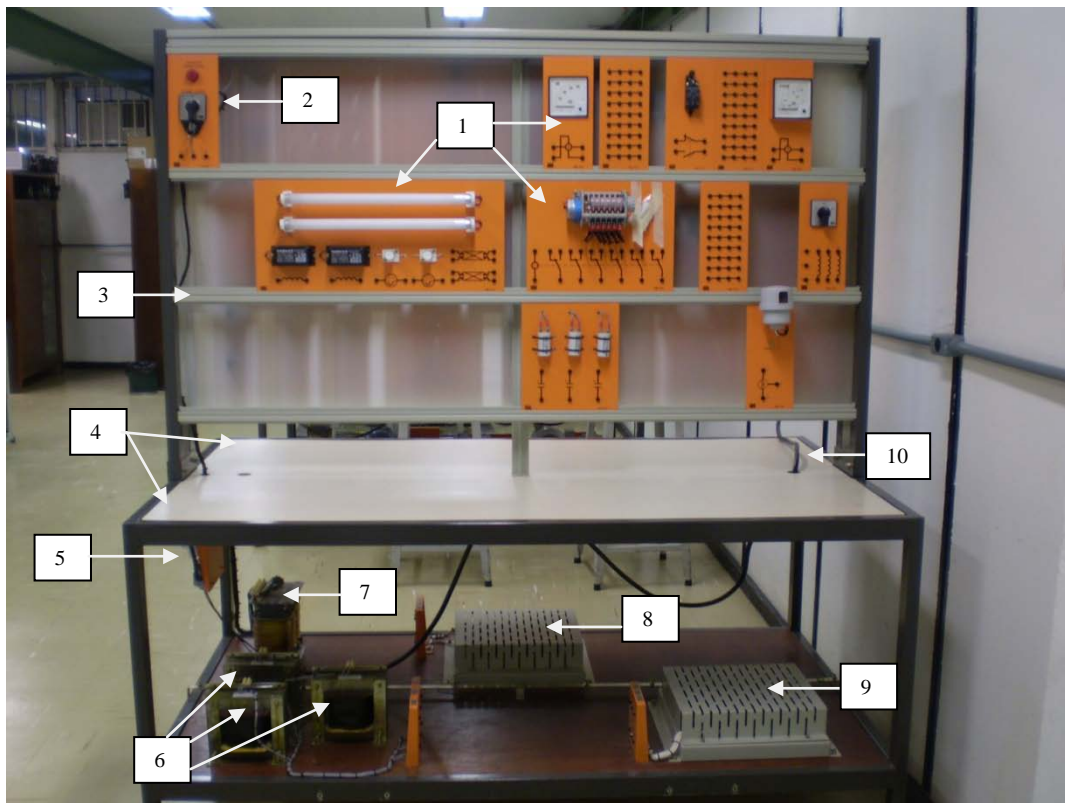


Figura 2.2. Bancada de medidas elétricas

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

- 1 – kit individual;
- 2 – chave seccionadora;
- 3 – estrutura de alumínio. Onde serão fixados os kits individuais;
- 4 – Dois postos de trabalho da bancada;
- 5 – disjuntor e DR, sistema de proteção da bancada;
- 6 – três indutores monofásicos de 300mH;
- 7 – auto trafo trifásico de 3kVA;
- 8 – módulo de resistores R1, R2 e R3 de 50 $\Omega$  cada;
- 9 – módulo de resistores R4, R5 e R6 de 100 $\Omega$  cada;
- 10 – cabo de entrada de energia.

No laboratório de conversão de energia, onde as bancadas estão instaladas a tensão que chega na bancada é trifásica, de 380VAC, como visto no diagrama e no item 10 (Fig. 2.2). A alimentação chega ao auto trafo, o secundário do auto trafo libera uma tensão de 220VAC fase-fase. Em seguida a alimentação passa pelo disjuntor, interruptor DR e chave seccionadora até chegar aos bornes tipo banana-banana disponíveis para o aluno.

O objetivo desta bancada é fazer ensaios para a medição de grandezas elétricas. Além dos indutores e resistores, itens 6, 8 e 9 (Fig. 2.2), fixados na parte inferior da bancada, esta contém *kits individuais*, item 1 (Fig. 2.2), de capacitores, wattímetros, amperímetros, voltímetros, medidores de frequência, medidor de fator de potência, lâmpadas, entre outros. Esses inúmeros componentes permitem a montagem de circuitos CC e CA para a verificação e comprovação da leis e teoremas como a lei ohm, lei de kirchhoff, divisor de corrente e tensão, teorema de Thévenin. E para vários tipos de medição como medição de potência ativa e reativa, medição da defasagem tensão/corrente, método dos dois wattímetros.



Essa bancada está mais voltada para experiências envolvendo a teoria básica de circuitos elétricos em CA e CC.

## 2.3 BANCADA DE ELETROTÉCNICA INDUSTRIAL

A bancada de eletrotécnica industrial está ilustrada na Fig. (2.3). Esta bancada permite a montagem de diversas experiências de eletrotécnica, desde os mais simples circuitos de iluminação até os mais diversificados circuitos de partida de motores.

Além dos motores e do autotransformador fixados na parte inferior da bancada, esta contém *kits individuais* de componentes essenciais para a formulação de diferentes ensaios: fusíveis, contadores tripolares, relés térmicos, disjuntores, sinaleiros, temporizadores, botoiras, lâmpadas, diodos, medidores, entre outros.

Com esta gama de componentes é possível fazer uma infinidade de experimentos como: variados tipos de ligação de lâmpadas, diversos tipos de partida de motores, reversão de motores, correção do fator de potência, retificação de meia onda e onda completa, entre outros.

É aconselhável que se use um sistema de proteção para todos circuitos utilizando motores. A bancada contém fusíveis, disjuntores e relés térmicos para esta função.

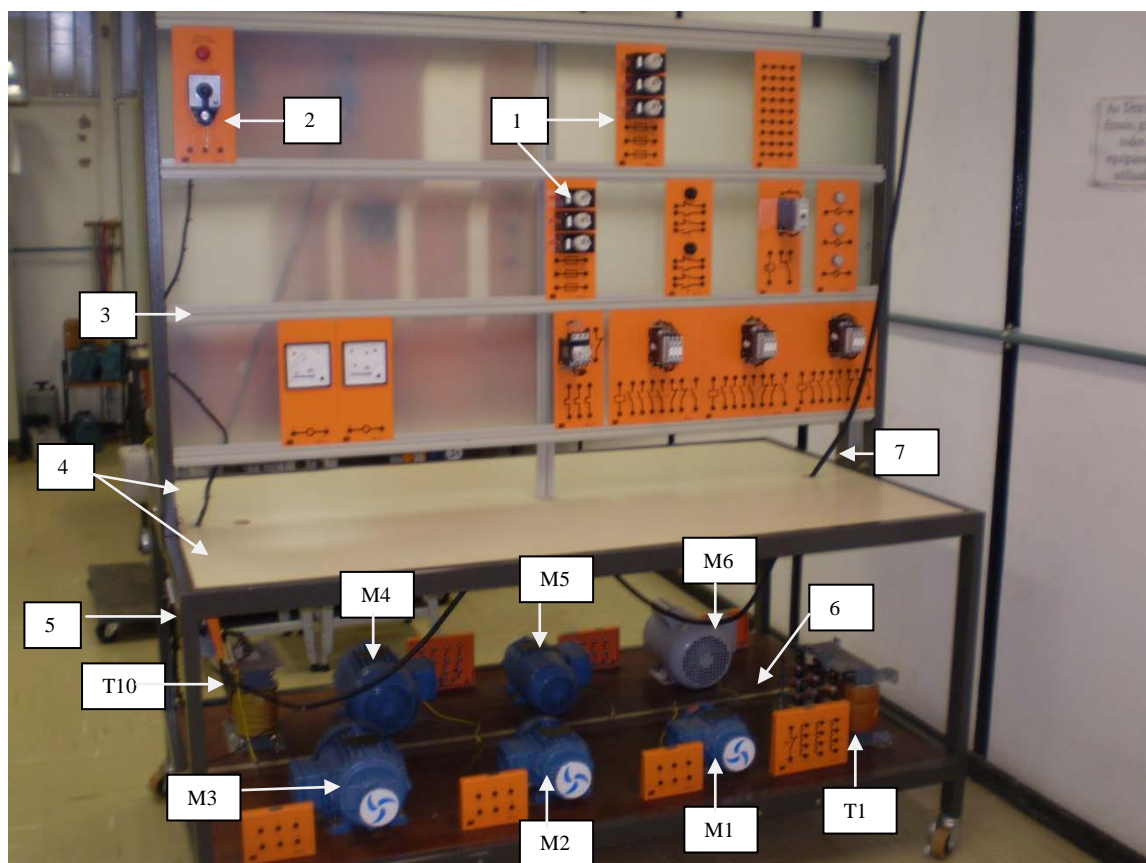


Figura 2.3. Bancada de eletrotécnica industrial

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

- 1 – kit individual;
- 2 – chave seccionadora;
- 3 – estrutura de alumínio. Onde serão fixados os kits individuais;

- 4 – dois postos de trabalho da bancada;
- 5 – disjuntor e DR, sistema de proteção da bancada;
- 6 – barra de aterramento;
- 7 – cabo de entrada de energia;
- T10 – auto trafo trifásico de 3kVA. Usado na alimentação da bancada;
- T1 – autotransformador de partida trifásica 220V;
- M1 – motor de indução trifásico tipo gaiola, 0,8CV, 6 cabos, próprio para partida estrela-triângulo;
- M2 – motor de indução trifásico tipo gaiola, enrolamento único 0,4CV;
- M3 – motor de indução trifásico tipo gaiola, enrolamento independente, 0,8 CV;
- M4 – motor de indução trifásico tipo gaiola, 10 cabos;
- M5 – motor de indução trifásico tipo gaiola, motofreio;
- M6 – motor monofásico, partida de 6 cabos;

## 2.4 BANCADA DE AUTOMAÇÃO COM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

A bancada de automação com CLP está mostrada na Fig. (2.4).

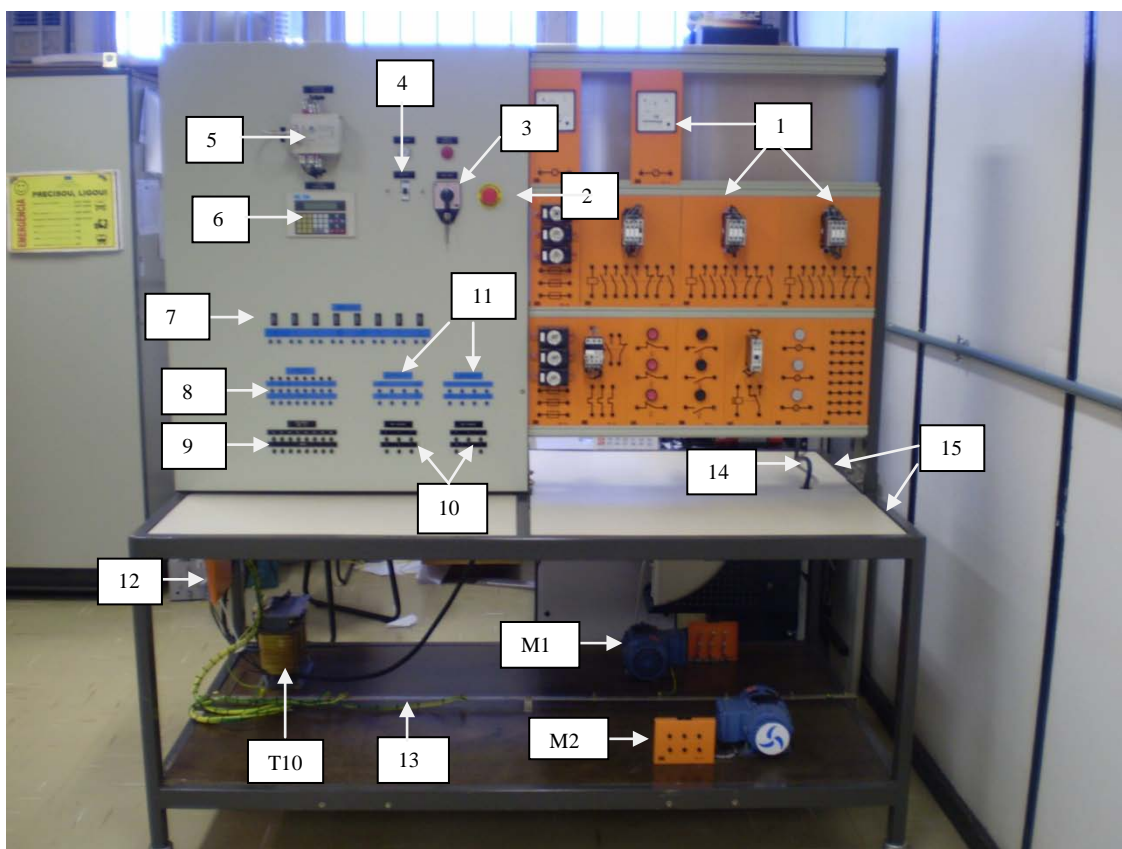


Figura 2.4. Bancada de automação com CLP

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

- 1 – kit individual;
- 2 – botão de emergência;

- 3 – chave seccionadora;
- 4 – minidisjuntor monopolar, liga e desliga o CLP;
- 5 – CLP, modelo TP02/20MR;
- 6 – IHM, modelo OP05;
- 7 – chave de simulação;
- 8 – entrada digital do CLP, 24Vcc;
- 9 – saída digital, 220V – 2A;
- 10 – fonte 220VCA;
- 11 – fonte 24VCC;
- 12 – disjuntor e DR, sistema de proteção da bancada;
- 13 – barra de aterramento;
- 14 – cabo de entrada de energia;
- 15 - dois postos de trabalho da bancada;
- T10 – auto trafo trifásico de 3kVA. Usado na alimentação da bancada;
- M1 – motor de indução trifásico tipo gaiola, 0,8CV, 6 cabos, próprio para partida estrela-triângulo;
- M2 – motor de indução trifásico tipo gaiola, 0,8CV, 6 cabos, próprio para partida estrela-triângulo;

O objetivo desta bancada é permitir o aprendizado da automação de processos industriais através do conhecimento das características, do princípio de funcionamento e da programação do CLP.

Para ser programado o CLP deve ser conectado a um computador. O CLP se comunica com o computador ou IHM através de um conector RS-485. Para a comunicação com a porta RS-232 do computador é utilizado um conversor RS-232C/RS-485.

A WEG disponibiliza o *software* TP-02-PC12 para a programação do CLP. Este programa pode ser baixado gratuitamente pelo sítio da WEG descrito na bibliografia. No PC12 é possível programar em *LADDER* ou na linguagem *Boolean* – utilização de portas lógicas.

Com a IHM é possível visualizar dados programados no CLP e fazer alterações. Para ligar o IHM basta conectá-lo diretamente na porta RS-485 do CLP.

As chaves de simulação, item 7 (Fig.2.5) são utilizadas para simular entradas digitais do CLP. Elas são somente chaves liga-desliga e devem ser conectadas à fonte de 24VCC, item 11 (fig. 2.4) e à entrada do CLP, item. O TP02/20MR possui 12 entradas digitais porém somente 8 estão disponíveis na entrada.

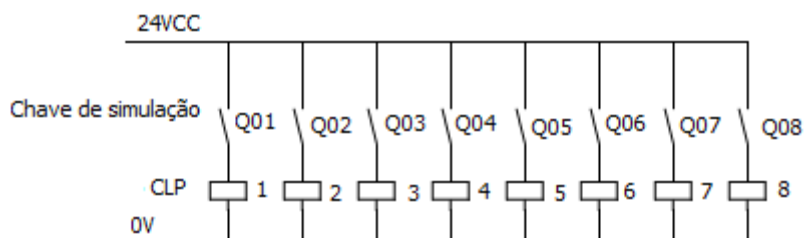


Figura 2.5. Entrada digital do CLP

A saída digital do CLP, item 9, Fig (2.4), é uma chave abre-fecha com capacidade de 2A de corrente. Para atuar em algum equipamento ela deve ser ligada em série com uma fonte e com o equipamento que receberá o sinal de liga ou desliga. Na figura 2.5 um contator K1 é acionado pela saída 1 digital do CLP.

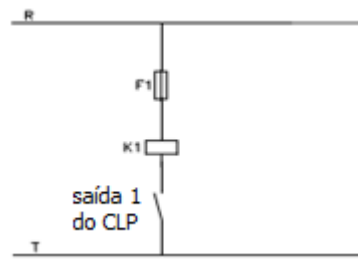


Figura 2.6. Acionamento do contator K1 utilizando a saída digital 1 do CLP

Além do CLP a bancada em questão também possui uma armação de alumínio para encaixar os *kits individuais*. Os *kits* da bancada são: fusíveis, contatores, sinaleiros, relés térmicos, lâmpadas, botões pulsadores. No entanto os *kits individuais* das outras bancadas também podem ser utilizadas nesta bancada.

No capítulo 3 será dada uma introdução teórica sobre os CLP's.

## 2.5 BANCADA DE ACIONAMENTO DE MOTORES

A bancada de acionamento de motores está mostrada na Fig. (2.7).

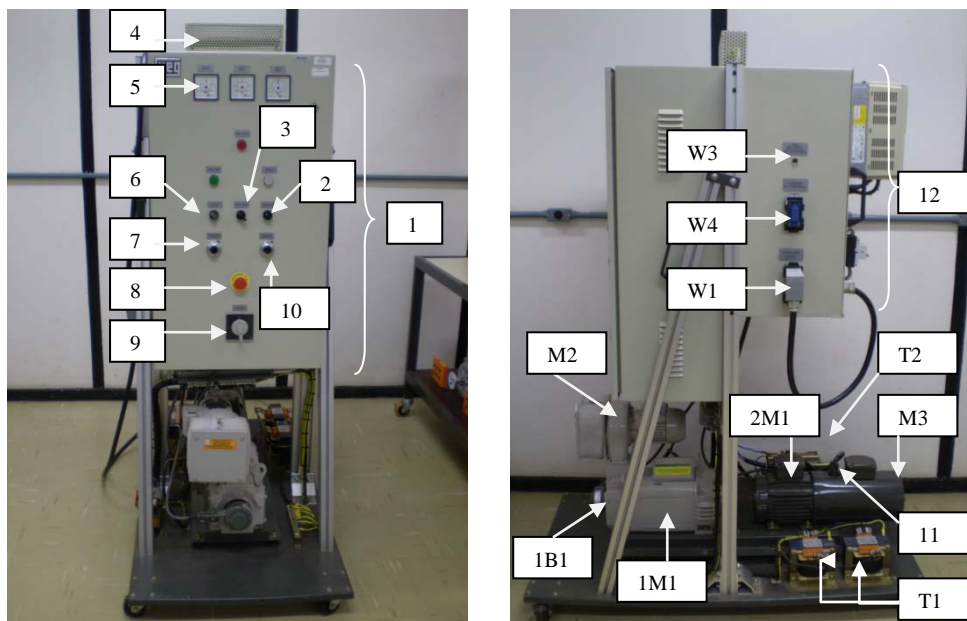


Figura 2.7. Bancada de acionamento de motores. Mostra a vista frontal e lateral da bancada.

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

- 1 – Comando do acionamento do motor CC, parte fixa na bancada;
- 2 – chave desliga/desligado;
- 3 – ajuste no sentido de rotação (horário/ anti-horário);
- 4 – resistor de fio fixo, 50Ω;
- 5 – medidores do motor CC – velocidade, tensão de armadura e corrente de armadura;
- 6 – chave liga/ligado;
- 7 – ajuste da velocidade do motor CC;
- 8 – botão de emergência;
- 9 – chave geral, energização de toda a bancada;

- 10 – ajuste de carga do motor CC;
- 11 – encoder;
- 12 – módulo de partida do motor;
- 1M1 – motor CC, 2,2kW;
- 2M1 – motor de indução trifásico, 6 cabos;
- M2 – motor de indução trifásico;
- M3 – motor para ventilação forçada;
- T1 – transformador monofásico religável, 550kVA;
- T2 – autotransformador de partida trifásico;
- 1B1 – tacogerador de pulso;
- W1 – conexão entre a bancada e o módulo de partida para a alimentação dos módulos 380/220V – 60Hz
- W3 – conexão entre a bancada e o módulo de partida para a alimentação para os tacômetros/ módulo de partida direta/ módulo de partida compensada/ módulo de partida estrela-triângulo;
- W4 – interconexão do auto-transformador de partida ao módulo de partida compensada;

A bancada de acionamento de motores é constituída de uma parte com corrente contínua e outra com corrente alternada.

O item 1 (Fig.2.7) representa a parte de comando do acionamento do motor CC, por ele é possível controlar a velocidade do motor (item 7), ajustar a carga no motor (item 10), mudar o sentido de rotação (item 3) e medir a velocidade de rotação, a tensão de armadura e a corrente de armadura (item 5). O comando da parte CC da bancada é fixo.

A parte CA da bancada possui uma maior versatilidade que a parte CC. Sua robustez está na possibilidade de trocar os módulos de partida do motor (item 12 – Fig.2.7). Os tipos de módulo de partida que podem ser acoplados à bancada são: partida direta, partida compensada, partida estrela-triângulo, *soft-starter* e inversora. O departamento adquiriu somente os módulos de partida direta e inversora, o que já permite a observação de vários fenômenos e teoremas envolvendo motores elétricos.

Abaixo estão descritas as características principais de cada módulo.

1 – Módulo de partida direta: permite a partida do motor alimentado diretamente pela rede. Com este módulo é possível fazer a correção do fator de potência à partir da conexão da bancada de correção de FP, como mostrado na Fig. 1 do apêndice 2.

2 – Módulo de partida compensada: neste módulo, utilizando o transformador T2 (Fig.2.7) é possível partir o motor com uma redução de tensão. O secundário de T2 fornece uma tensão menor do que a rede. Alguns segundos após a partida a carga passa a ser alimentada diretamente pela tensão da rede. O módulo se conecta à bancada à partir de W1 (Fig 2.7) – por onde entra a alimentação do módulo e sai a alimentação para o motor. O tacômetro é alimentado à partir de W3 (Fig. 2.7). E através de W4 (Fig. 2.27) o módulo é conectado ao autotransformador T2.

3 – Módulo de partida estrela-triângulo: permite a partida do motor (em estrela) com uma corrente 3 vezes menor que em delta. Assim como no módulo de partida compensada este módulo utiliza as conexões W1 e W3 para as mesmas funções.

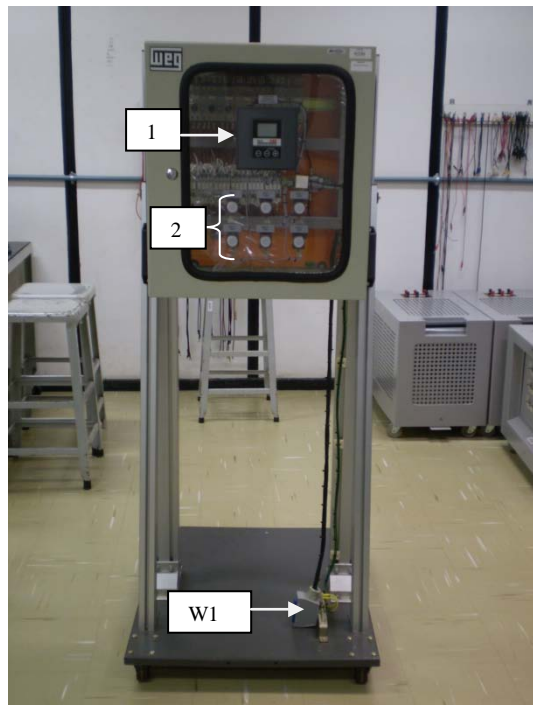
4 – Módulo com *soft-starter*: conhecer as características de partida, funcionamento, parada e proteção que uma chave de partida estática (*soft-starter*) oferece. A conexão com a bancada é toda feita à partir da conexão W1.

5 – Módulo com inversor de frequência: permite o controle escalar e o controle vetorial de velocidade. Com ele o aluno poderá realizar o ajuste e a parametrização de diversas funções disponíveis atualmente nos inversores. Este módulo está ilustrado na Fig. (2.27) – item 12. Sua comunicação com a bancada é feita somente através da conexão W1 como mostrado na figura.

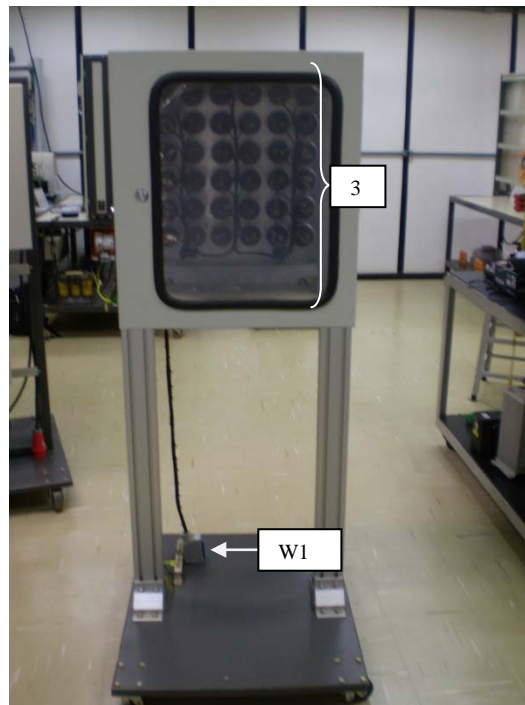


## 2.6 BANCADA DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA PARA PARTIDA DIRETA

A bancada de correção de FP está mostrada na Fig. 2.8. A figura mostra a vista de frente e de trás da bancada.



a) Vista de frente da bancada de correção de FP



b) Vista de trás da bancada de correção de FP

Figura 2.8. Bancada de correção de fator de potência para partida direta.

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

- 1 – Controlador de fator de potência monofásico, tipo RVC-06;
- 2 – 6 lâmpadas de sinalização dos estágios de ativação;
- 3 – banco de capacitores;

W1 – conexão entre a bancada de correção de FP e o módulo de partida direta da bancada de acionamentos.

Esta bancada foi projetada para atuar na correção do fator de potência da bancada de acionamento usando o módulo de partida direta. A conexão entre essas bancadas pode ser vista na figura 1 do apêndice 2. O apêndice 2 deve ser anexado ao roteiro em que o aluno irá utilizar a bancada.

Esta bancada possui 6 estágios de acionamento do banco de capacitores. Um estágio possui 6 capacitores e cada capacitor possui uma potência reativa capacitiva de 0,8kVar.

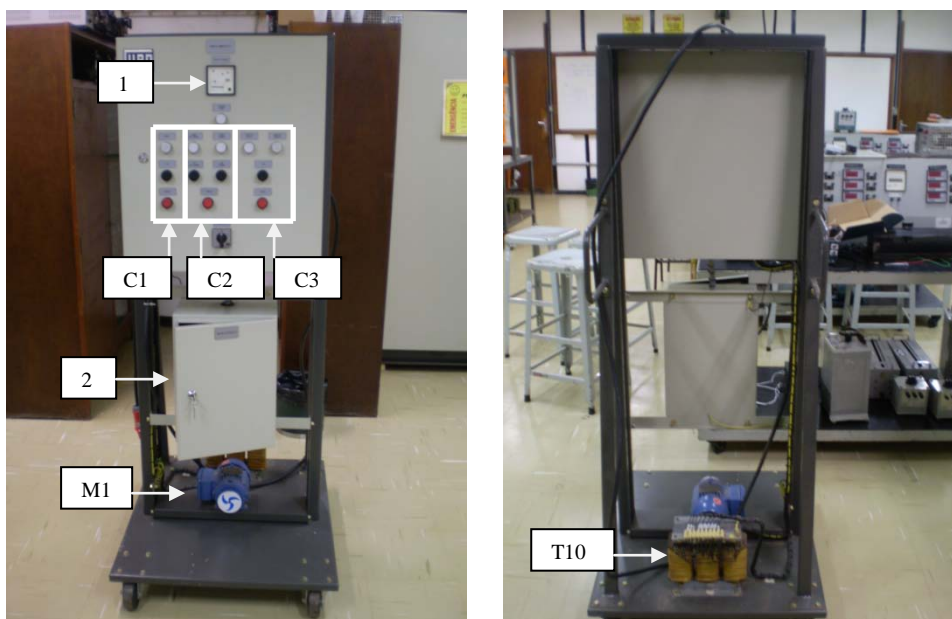
O controlador de fator de potência, item 1 (Fig. 2.8), possui parâmetros que devem ser ajustados manualmente ou automaticamente. Os parâmetros são: fator de potência desejado, sensibilidade, fase, intervalo mínimo de acionamento entre os estágios (*delay*), saída e sequência. Esses parâmetros serão melhor explicados no capítulo 3.

Através da conexão W1 (Fig 2.8) a bancada de correção de FP recebe do módulo de partida direta: as 3 fases que alimentam o motor, uma fase e o neutro para alimentar o controlador de FP e as informações do transformador de corrente.

O banco de capacitores é conectado à linha através da conexão estrela. O diagrama elétrico desta conexão está representado no anexo do roteiro da seção 4.14

## 2.7 BANCADA DE SIMULAÇÃO DE DEFEITOS

A bancada de simulação de defeitos está mostrada na Fig. 2.9.



a) Vista de frente

b) vista de trás

Figura 2.9. Bancada de simulação de defeitos

A bancada é formada pelos seguintes componentes:

1 – Tensão de comando;

2 – simulador de defeitos;

T10 – auto trafo trifásico de 3kVA. Usado na alimentação da bancada;

M1 – motor de indução trifásico tipo gaiola, 0,8CV, 6 cabos, próprio para partida estrela-triângulo;

C1 – comando 1, liga e desliga o motor em partida direta;

C2 – comando 2, liga e desliga o motor M1 no sentido horário e anti-horário em partida direta;

C3 – comando 3, liga e desliga o motor M1 em partida estrela-triângulo,

A bancada de simulação de defeitos possui um quadro chamado simulador de defeitos, item 2, Fig. (2.9). Esse quadro possui vários interruptores que quando acionados simulam algum defeito na bancada. A parte interna deste quadro pode ser vista na Fig. (2.10).



Figura 2.10. Quadro de simulação.

A bancada deve ser acionada conforme com todas as chaves de simulação de defeito desligadas. Depois de ligada o professor deverá acionar algum defeito e, com o quadro de simulação de defeitos fechado, pedir para o aluno descobrir o defeito.

Esse sistema permite que o aluno desenvolva uma capacidade de resolver problemas, analisando esquemas elétricos e fazendo medições.

A bancada dá a possibilidade de 24 alternativas de defeito. No anexo I encontra-se uma tabela contendo a lista dos defeitos possíveis.



## 3 ASPECTOS TEÓRICOS

*Este capítulo apresenta uma discussão teórica sobre temas utilizados em ensaios e que não foram, ou que foram muito pouco abordados durante o curso de engenharia elétrica.*

### 3.1 ASPECTOS GERAIS

Grande parte dos fundamentos teóricos necessários para a realização dos ensaios propostos já foram discutidos durante o curso de engenharia elétrica em várias matérias. Para evitar repetições de conceitos este capítulo prioriza os fundamentos teóricos que venham acrescentar, trazer algo de novo ao conhecimento obtido durante o curso. Foi dado um enfoque voltado para a prática, para a aplicação de resultados, que é o objetivo deste trabalho.

Os temas abordados neste capítulo são: partida direta de um MIT, partida de um MIT com chave estrela-triângulo, partida de um MIT com autotransformador, Soft-Starter, CLP correção do FP com o uso de banco de capacitores.

### 3.2 PARTIDA DIRETA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

A partida direta para o MIT é o método de partida mais simples onde são empregados poucos componentes como mostrado na Fig. (3.1).

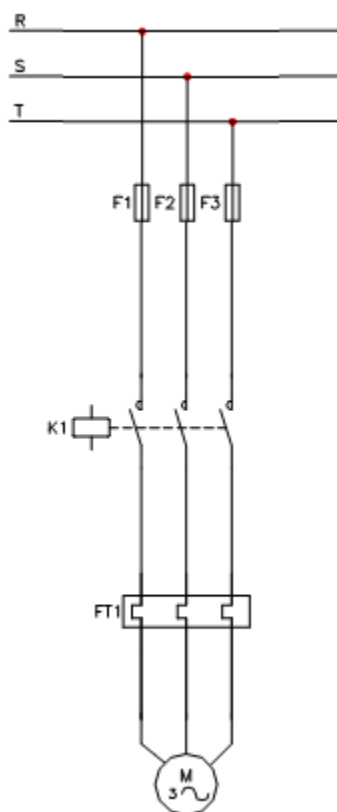


Figura 3.1. Partida direta de um MIT

Uma das características do MIT é uma elevada corrente de partida que pode chegar entre 4 e 10 vezes a corrente nominal do motor [6]. O conjugado pode chegar até a 200% do valor nominal [6]. Os métodos mais difundidos. Na partida direta não há nenhum método de redução da corrente de partida.

A alta corrente de partida possuem algumas desvantagens:

- Sobrecarga instantânea nos componentes do circuito de partida (fusíveis, contator, relé térmico e condutores).
- Brusca variação da tensão da rede elétrica.
- Aquecimento momentâneo dos condutores e componentes de partida.
- Necessidade de utilizar componentes que suportam uma corrente maior, tornando o projeto mais caro.

É aconselhável a utilização da partida direta quando [3]:

- a corrente nominal da rede é tão elevada que a corrente de partida não é relevante;
- motor de potência pequena gerando uma corrente de partida de baixo valor;
- a partida do motor é feita sem carga, diminuindo o tempo de partida direta.

Quando a potência do motor é superior ao máximo exigido pela concessionária local, geralmente 5CV [3], é aconselhável utilizar métodos de redução na corrente de partida. Quando é necessário um acionamento com um menor conjugado de partida, como por exemplo uma esteira de transporte de uma indústria carregando garrafas que não podem ser derrubadas, também são utilizados métodos que reduzem a corrente de partida e consequentemente o conjugado de partida.

Com a diminuição da tensão na partida ocorre a diminuição da corrente e o do conjugado. A corrente é relacionada com a tensão à partir da lei de Ohm:  $I = E/Z$ . E o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão aplicada ao motor:  $T = kV^2$ . Onde  $k$  é uma constante que depende das características do motor.

Existem vários métodos de redução da corrente de partida através da redução da tensão na partida dentre elas: chave estrela-triângulo, partida compensada – autotransformador e chaves estáticas (*SOFTSTARTER*). Esses três métodos foram utilizados para o desenvolvimento de roteiros neste trabalho e seus aspectos teóricos mais importantes estão descritos na 3 seções seguintes.

### 3.3 PARTIDA DE MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE ESTRELA - TRIÂNGULO

A partida estrela-triângulo requer acesso aos 2 terminais de cada fase do estator totalizando em 6 terminais como mostra a Fig. (3.1). Com acesso a esses terminais será possível conectar o MIT em estrela ou em delta.

A figura 3.2 trás o diagrama de força usado neste trabalho para a partida com chave estrela-triângulo. Quando os contadores  $K_1$  e  $K_3$  são acionado o motor é ligado na configuração estrela. Quando os contadores  $K_1$  e  $K_2$  estiverem acionadas o motor será ligado em triângulo.

O relé de tempo é utilizado para fazer a troca automática da ligação de estrela para delta após o período ajustado no relé.

A tensão aplicada na bobina na configuração estrela é:  $\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}$ , onde  $V_{LL}$  é a tensão de linha. Para a configuração delta a tensão aplicada na bobina é  $V_{LL}$ .

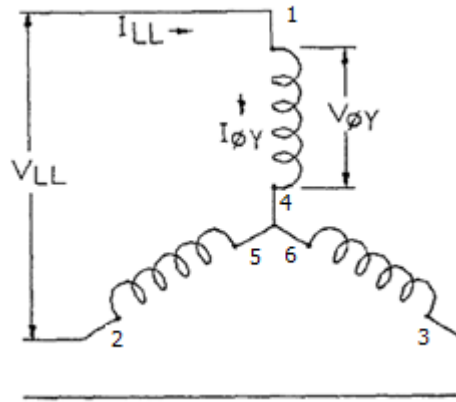


Figura 3.2. Configuração Estrela

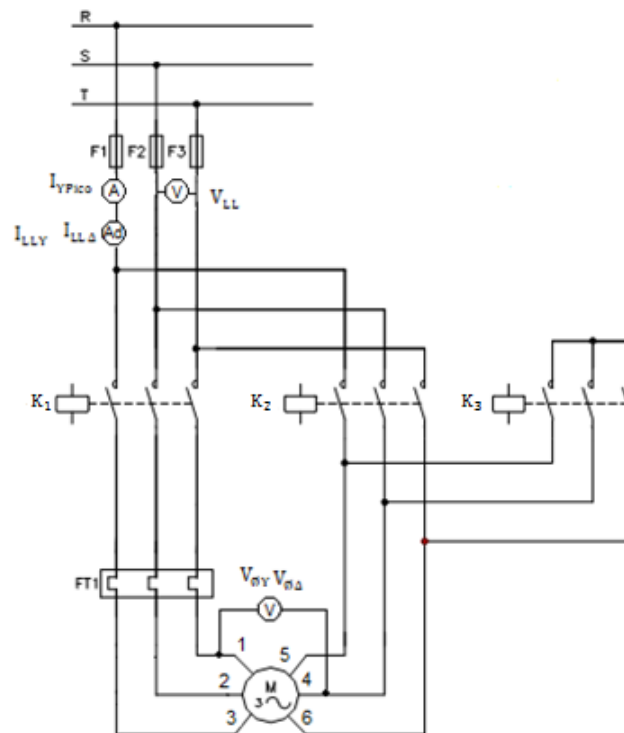


Figura 3.3. Diagrama elétrico de força da partida estrela-triângulo

Para a configuração em triângulo (Fig. 3.2) observa-se as seguintes relações :

$$V_{LL} = \text{constante} \quad (3.1)$$

$$V_{\phi Y} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

$$I_{\phi Y} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}Z_{\phi}} \quad (3.3)$$

$$I_{LL} = I_{\phi Y} \quad (3.4)$$

$$I_{LL} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}Z_{\phi}} \quad (3.5)$$

Para a configuração em delta (Fig. 3.4) observa-se as seguintes relações:

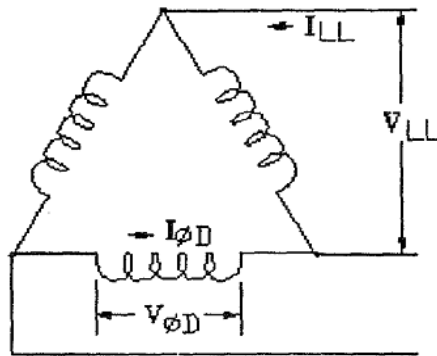


Figura 3.4 – Configuração triângulo

$$V_{LL} = \text{constante} \quad (3.6)$$

$$V_{\phi D} = V_{LL} \quad (3.7)$$

$$I_{\phi D} = \frac{V_{LL}}{Z_{\phi}} \quad (3.8)$$

$$I_{\phi D} = \frac{I_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (3.9)$$

$$I_{LL} = \frac{V_{LL}}{Z_{\phi}} \cdot \sqrt{3} \quad (3.10)$$

Comparando a corrente de linha nos dois casos temos:

$$\frac{I_{LLD}}{I_{LLY}} = \frac{(V_{LL}/Z_{\phi})\sqrt{3}}{V_{LL}/(\sqrt{3}Z_{\phi})} \quad (3.11)$$

$$\frac{I_{LLD}}{I_{LLY}} = 3 \quad (3.12)$$

$$I_{LLY} = \frac{I_{LLD}}{3} \quad (3.13)$$

A corrente de linha em estrela é 3 vezes menor que em delta. Como o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão,  $T = kV^2$ , o conjugado em estrela diminui  $(\sqrt{3})^2$  em relação ao triângulo, ou seja, também diminui 3 vezes.

As vantagens e desvantagens de se utilizar a partida através da chave estrela-triângulo estão descritas a seguir.

Vantagens:

- Dimensões relativamente reduzidas. Só é acrescentado um contator ao sistema de partida direta.
- Custo reduzido.

- Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal

Desvantagens:

- Partida estrela-triângulo só é possível para motores adaptados para esse tipo de partida. 6 terminais.
- O conjugado de partida é 3 vezes menor na configuração estrela. Devido a esse pequeno valor essa partida é mais utilizada em motores cuja partida se dá em vazio.
- Tensão de rede deve coincidir com a tensão em triângulo.

### 3.4 PARTIDA DE MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM AUTOTRANSFORMADOR

O autotransformador possui o seu primário ligado na rede e o secundário ligado no motor. Pelo esquema elétrico da Fig. (3.4) observa-se que quando as contadoras  $K_A$  e  $K_{AT}$  estão ligadas e  $K_M$ , desligada, dependendo do ajuste do TAP do autotransformador, o motor pode receber 100, 80, 65 ou 0% da tensão da linha. Quando somente a contadora  $K_M$  é energizada temos a linha de alimentação ligada diretamente no motor. O relé de tempo KT1 tem a função de após um tempo determinado mudar a alimentação do motor da tensão reduzida para a tensão de suprimento.

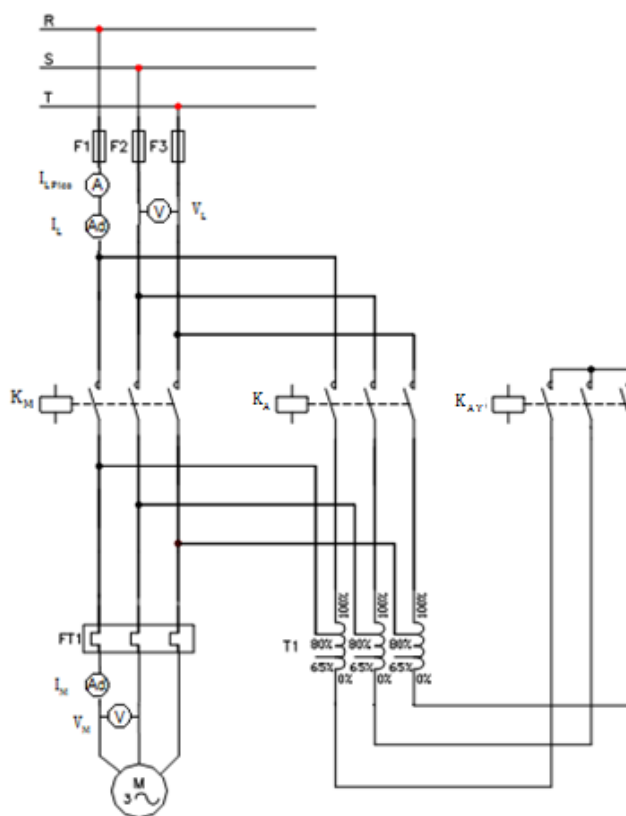


Figura 3.5. Diagrama elétrico de força da partida com autotransformador

Quando o secundário do trafo aplica 80 ou 65% da corrente da tensão a corrente NO MOTOR diminui da mesma forma para 80 ou 65%, porém, nesses casos a corrente DE LINHA tem um valor ainda menor que a corrente no motor devido à relação de transformação das espiras.

No caso em que o TAP está ajustado para 65% a tensão no motor será 65% da tensão de linha. Pela lei de ohm a corrente NO MOTOR será 65% da corrente na partida direta. O índice “PD” significa Partida Direta. Então:

$$V_M = 0,65 \cdot V_L \quad (3.14)$$

$$I_M = 0,65 \cdot I_{PD} \quad (3.15)$$

Com o TAP em 65% a relação de transformação do autotransformador é de 1:0,65. Então a corrente vista pela linha, no primário do autotransformador será:

$$I_L = (0,65)I_M, \quad (3.16)$$

ou seja

$$I_L = (0,65)^2 \cdot I_{PD} \quad (3.17)$$

Da mesma forma a corrente de linha para o TAP ajustado em 80% será  $I_L = 0,80^2 I_{PD}$ . A pequena corrente de linha é a grande razão da popularidade do autotransformador.

Esse método produz maior conjugado por ampère de corrente de linha quando comparado a todos os outros métodos de partida por redução de tensão. Por isso esse tipo de partida é utilizado em motores que necessitam de um alto conjugado de partida como britadeiras, máquinas acionadas por correias transportadoras e outros.

Pela Fig. (3.6) observa-se que na partida direta a corrente atinge 600% do valor nominal. Usando o autotransformador ajustado em 65% a corrente de linha será  $(65\%)^2$  da corrente de partida direta, ou seja, 253,5% como mostrado na figura.

Ainda na Fig. (3.6), quando o motor chegou a 90% da velocidade síncrona o relé de tempo atuou fazendo com que o motor fosse alimentado diretamente pela rede. Na transferência a corrente atingiu aproximadamente 250% da corrente nominal, que é um valor bem próximo da corrente inicial. Se a transferência ocorresse a 80% da velocidade síncrona a corrente atingiria um valor de 400% da corrente nominal, que é um valor alto. Para que a corrente de transição não seja elevada é muito importante escolher um ponto adequado de transferência.

A seguir estão listadas as vantagens e desvantagens do método:.

Vantagens:

- Na configuração 65% a corrente de linha se aproxima à corrente de linha da partida estrela triângulo, no entanto o conjugado da partida compensadora é maior.
- Produz um grande conjugado para cada unidade de corrente de linha.
- Na transferência da tensão reduzida para a tensão de suprimento o autotransformador serve como uma impedância limitando o valor da corrente.

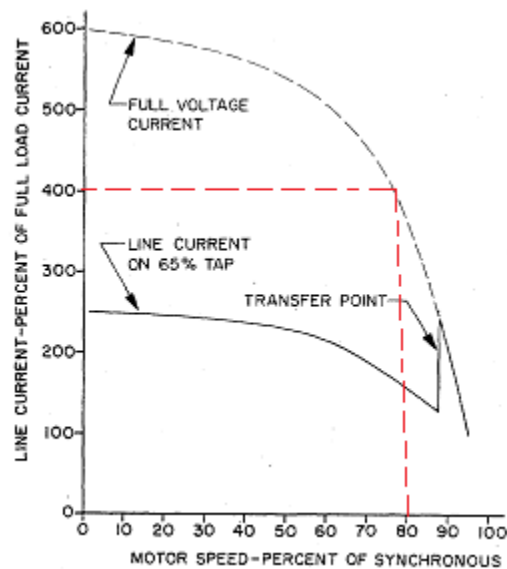


Figura 3.6. Variação da corrente do motor em função de sua velocidade

Desvantagens:

- Custo superior ao da chave estrela-triângulo.
- Dimensões superiores ao da chave estrela-triângulo acarretando um maior espaço ocupado.

### 3.5 **SOFT STARTER**

As principais funções do *SOFT STARTER* (que do inglês significa “partida suave”) são partida e parada suave de motores de indução trifásico. Assim como nas chaves estrela-triângulo e chaves compensadas, o *SOFT STARTER* utiliza o método da redução de tensão. Como dito nos outros métodos de partida, o conjugado do motor varia de forma quadrática com a tensão e a corrente se relaciona com a tensão conforme a lei de ohm. O *SOFT STARTER* é também conhecido como chave de partida estática

As chaves de partida estáticas possui outras funções importantes como a geração de um pulso de tensão de partida e corrente limitada de partida, que serão explicadas nessa seção.

#### 3.5.1 **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

O *SOFT STARTER* é composto por um conjunto de tiristores e um sistema de controle como mostrado na Fig (3.7).

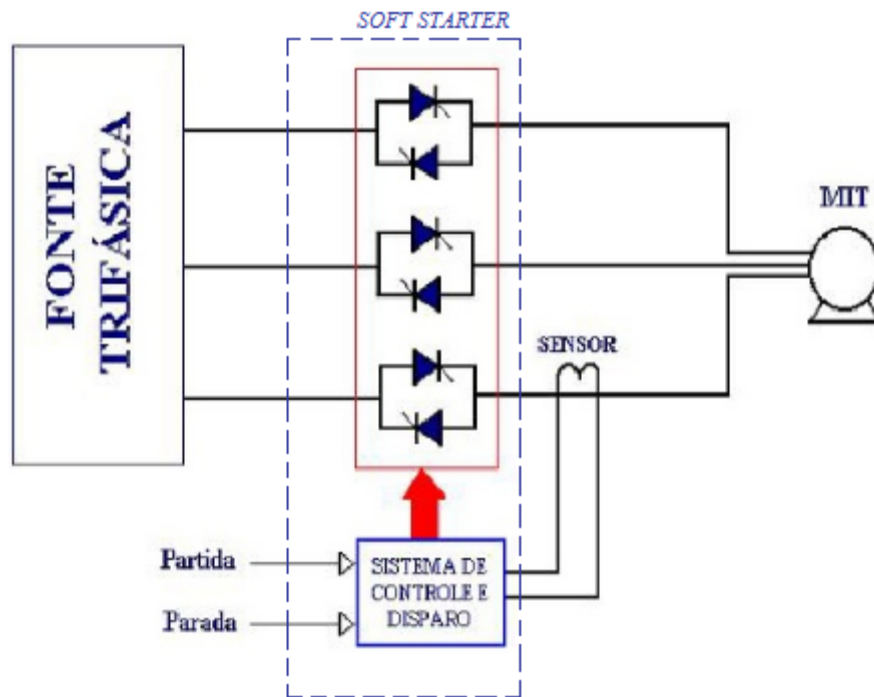


Figura 3.7

Em cada fase é utilizada uma ponte tiristorizada na configuração anti-paralelo como mostrado na Fig. (3.8). O tiristor mais utilizado neste tipo de equipamento é o SCR (*Silicon Controller Rectifier*). Explicando de forma simplificada, o SCR, Fig. (3.8), funciona como uma chave que somente conduz corrente em um sentido, e para que ela conduza corrente é preciso que o gatilho esteja ativado.

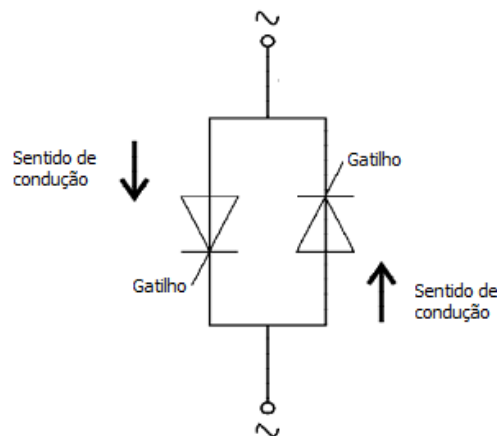


Figura 3.8. Ponte tiristorizada na configuração anti paralelo

O sistema de controle, Fig. (3.7), atua na ativação e desativação do gatilho de cada tiristor SCR, dependendo do ângulo de disparo dos tiristores o **SOFT STARTER** obtém variados valores para a tensão, podendo assim fazer o controle da tensão de partida e de parada. A Fig. (3.9) mostra o resultado de uma tensão senoidal após passar pela ponte de tiristores da Fig. (3.8) com diferentes ângulos de ativação do gatilho do tiristor. Cada senóide da Fig. (3.9) possui uma tensão RMS diferente. As formas de onda obtidas representam apenas um das fases do sistema trifásico.



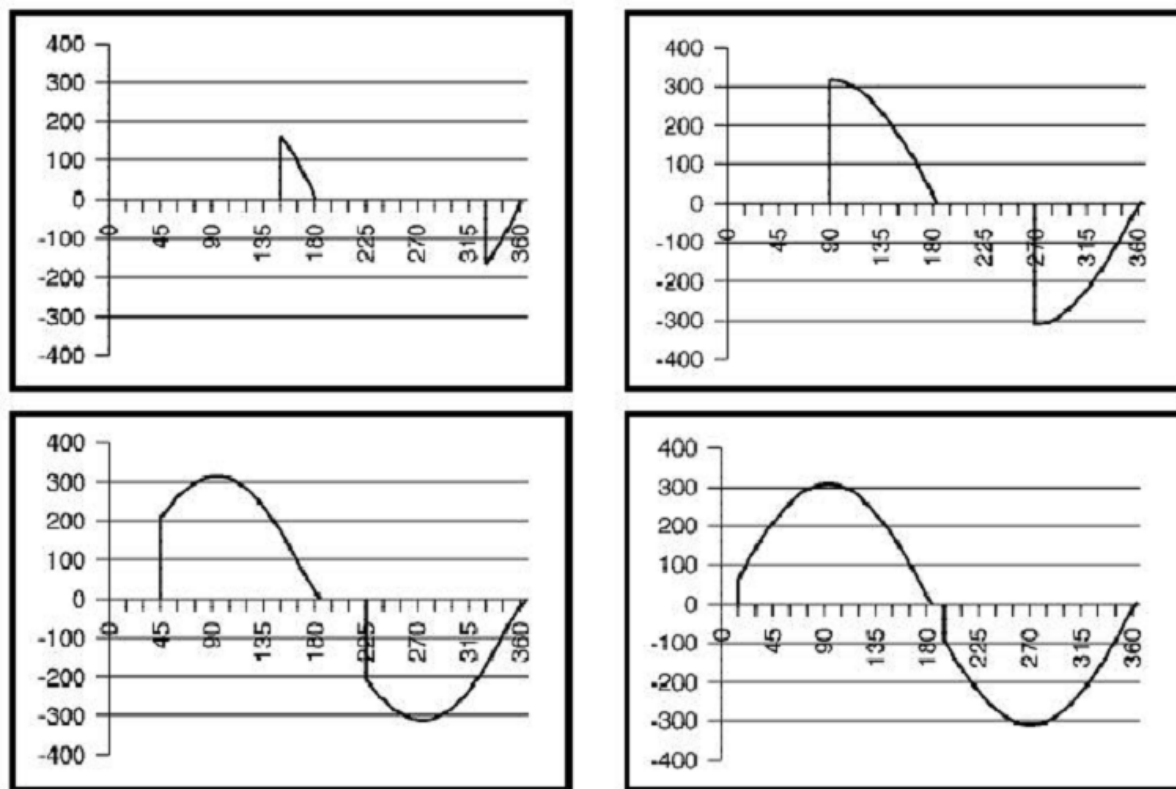


Figura 3.9. Curva senoidal de tensão obtida para diferentes ângulos de atuação dos SCR de uma ponte na configuração anti-paralela.

### 3.5.2 ACIONAMENTO DE MOTORES EM RAMPA DE TENSÃO

Através do controle do acionamento dos tiristores, como mostrado na seção 3.5.1, o *SOFTSTARTER* parte o motor com uma tensão de partida reduzida  $V_p$  e, durante um tempo de partida ajustado  $T_p$ , faz o valor da tensão aumentar gradativamente até a tensão nominal  $V_N$ . O acionamento em rampa pode ser visto na figura 3.10.

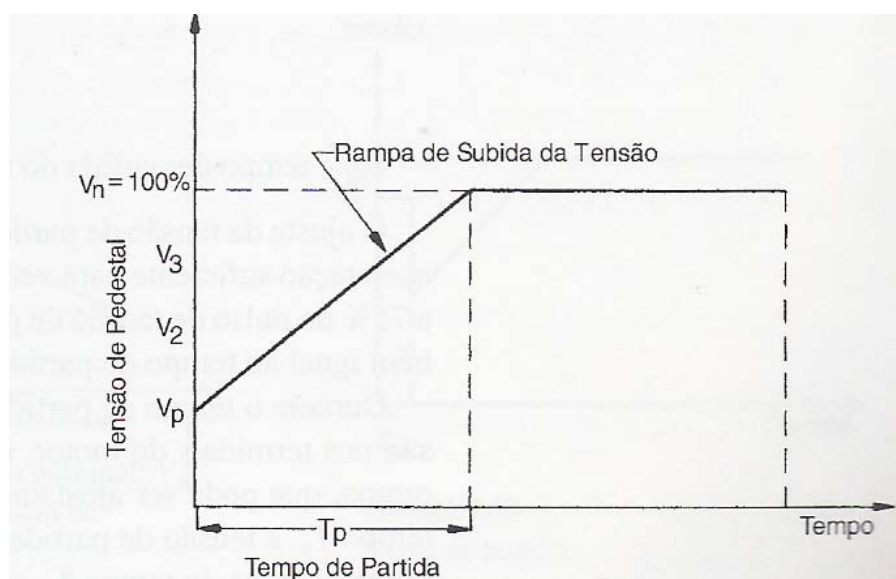
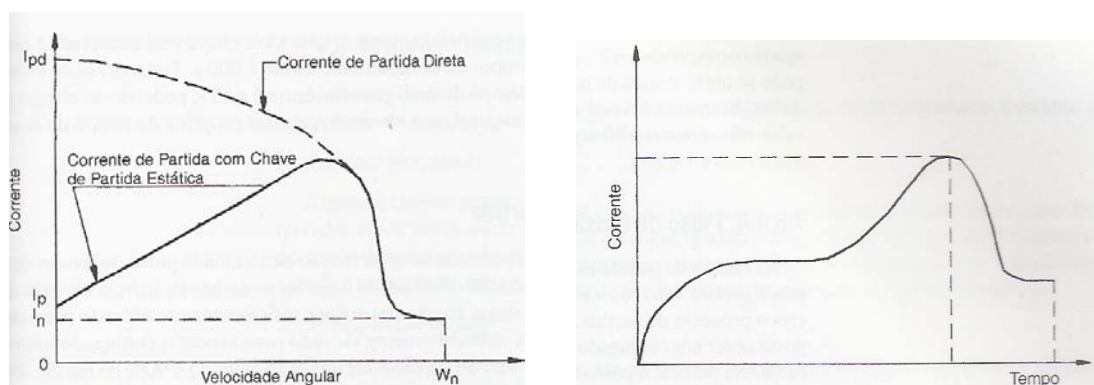


Figura 3.10. Rampa de subida de tensão.

O valor de  $V_P$  deve ser o menor possível porém deve gerar um conjugado de partida maior que o conjugado da carga.

Os valores de  $V_P$  e  $T_P$  são ajustáveis pelo controlador, mostrado na Fig. (3.9).

O efeito da rampa de subida de tensão no gráfico corrente×velocidade e corrente×tempo pode ser vista nas Figs. (3.11a e 3.11b).



a) corrente×velocidade

b) corrente×tempo

Figura 3.11. Comportamento da corrente na rampa de subida de tensão.

Na rampa de subida o sistema de controle e disparo atua no ângulo de disparo de cada SCR, alterando linearmente o valor da tensão RMS de saída. Pode-se observar este fato na Fig. (3.12)



Figura 3.12. Alteração no ângulo de disparo dos SCR's na rampa de subida.

### 3.5.3 DESACELERAÇÃO EM RAMPA DE TENSÃO

A desaceleração do motor de indução trifásico usando o *SOFT STARTER* pode ser feita de 2 formas: desligando repentinamente a tensão de alimentação do motor e através da diminuição da tensão de forma contínua durante um tempo  $T_P$ , como mostrado na Fig. (3.13).

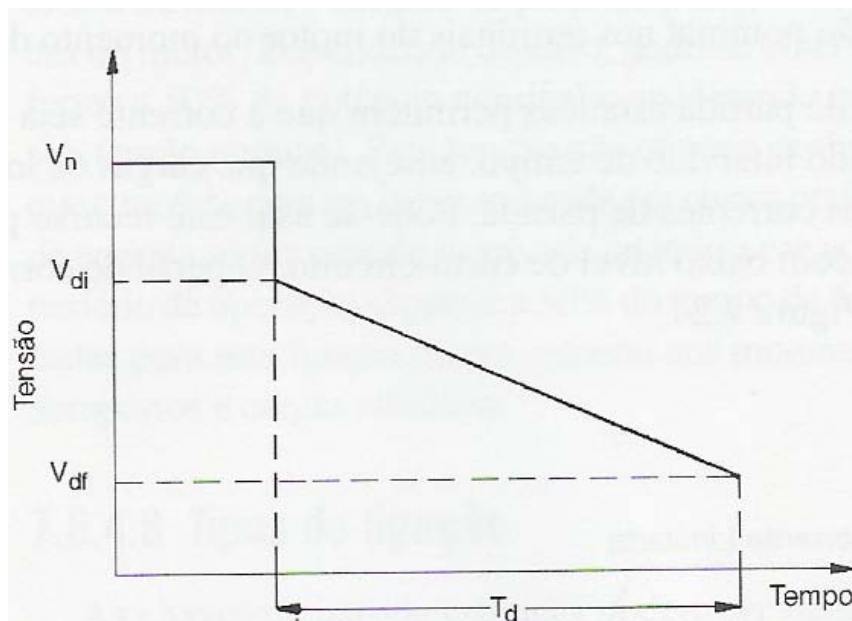


Figura 3.13. Desaceleração em rampa de tensão

Na desaceleração em rampa de tensão, a tensão RMS é abaixada para um degrau de tensão inicial  $V_{di}$  (em geral 90% da tensão nominal  $V_n$  [4]). A tensão é então diminuída em forma de rampa durante um tempo ajustável  $T_p$  até um valor de desligamento final  $V_{df}$  (cerca de 85% da tensão de partida direta [4]), neste instante a tensão é desligada do motor.

A atuação dos SCR's na senóide da curva de tensão durante a rampa de descida pode ser vista na Fig. (3.14).



Figura 3.14. Variação da tensão na rampa de descida à partir da variação do ângulo de atuação dos gatilhos dos SCR's.

Nas bombas hidráulicas a partida e o desligamento do MIT em rampa de tensão atenua o fenômeno conhecido como golpe de aríete. Este fenômeno ocorre quando a coluna de líquido sofre uma variação abrupta da sua vazão (partida e desligamento da bomba) isso causa uma variação da pressão podendo provocar a ruptura da tubulação ou defeitos na bomba.

### 3.5.4 PULSO DE TENSÃO DE PARTIDA

Nos casos em que é necessário um conjugado grande durante um curto período inicial para atuar em cargas de inércia elevada utiliza-se a configuração pulso de tensão na partida.

Essa configuração está mostrada na Fig. (3.15). O valor da tensão inicial  $V_{aj}$  deverá ser suficiente elevado para se obter um conjugado maior que o conjugado inicial da carga. Depois de um tempo ajustável  $T_{aj}$  a tensão é diminuída e a partir daí ocorre uma aceleração em rampa de tensão.

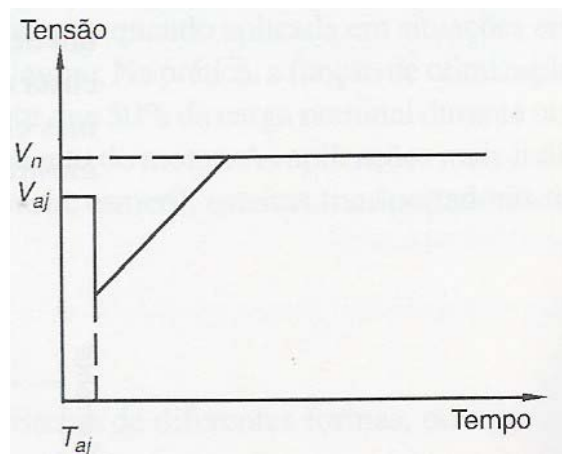


Figura 3.15. Pulso de tensão de partida.

Um exemplo de aplicação são bombas utilizadas em estações de saneamento, que muitas vezes acumulam lama ou detritos em seu interior e precisam de um elevado conjugado de partida para vencer a inércia inicial. Pela figura pode-se ver que nesta configuração o *SOFT STARTER* não limita a corrente de partida.

### 3.5.5 LIMITAÇÃO DA CORRENTE DE PARTIDA

A chave de partida estática pode ser configurada para limitar a corrente do motor durante um determinado período de tempo como mostrado na Fig. (3.16). Esse sistema faz com que cargas de alta inércia sejam aceleradas a custo de baixas correntes.

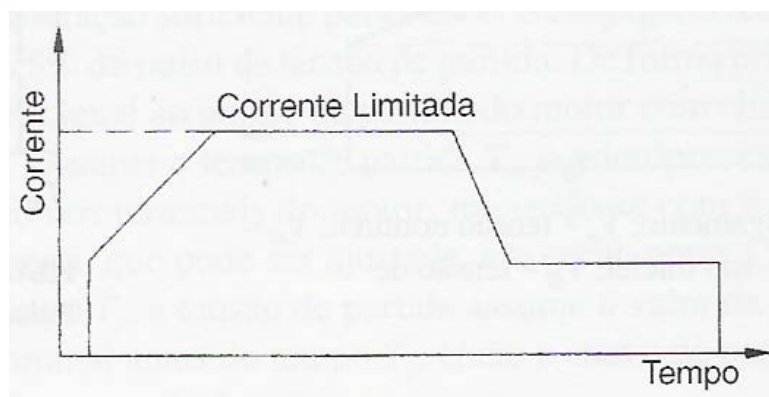


Figura 3.16

## 3.6 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA USANDO BANCO DE CAPACITORES

O objetivo desta seção é dar uma explicação sobre os parâmetros de ajuste do controlador de FP RVC6.

### 3.6.1 PARÂMETROS DO CONTROLADOR DE FATOR DE POTÊNCIA RVC6

O controlador RVC 6, mostrado na Fig. (3.17), possui 6 saídas podendo acionar até 6 estágios do banco de capacitores. Antes de iniciar sua utilização na Bancada de Correção de FP o aluno deverá configurar os seus parâmetros para o correto funcionamento do equipamento.

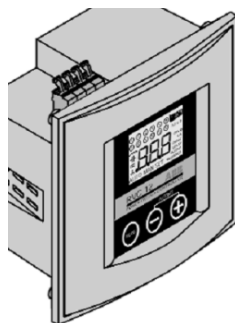


Figura (3.17) Controlador de FP. Modelo RVC6

O RVC 6 possui 6 parâmetros que devem ser ajustados pelo usuário para o correta atuação do banco de capacitores:

**1- COS  $\phi$ .** É o fator de potência almejado pelo usuário. Na legislação brasileira o fator de potência exigido é de 0,92

**2- C/k.** É a sensibilidade do controlador de FP. Representa o valor limite para o controlador ativar ou desativar um estágio de capacitor. Para rede trifásica o valor de C/k é calculado pela seguinte equação:

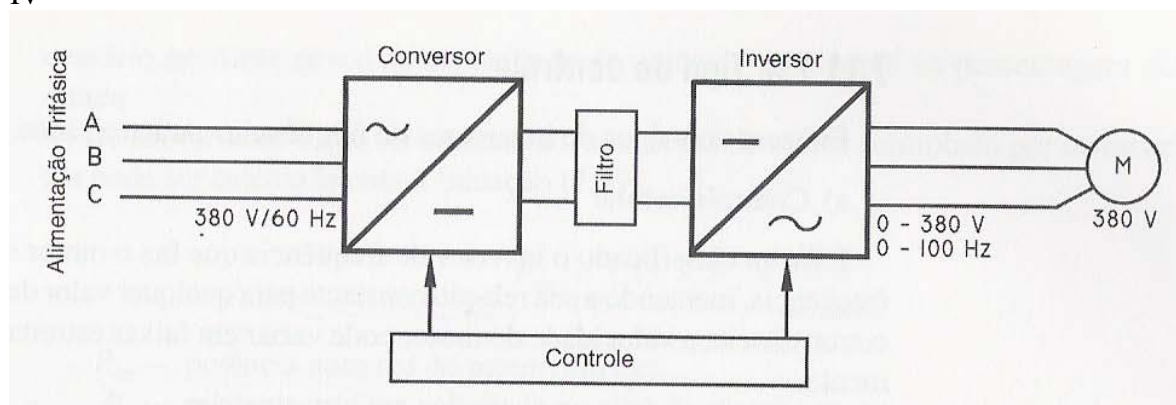
$$\frac{C}{k} = 0,62 \cdot \frac{Q \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k} \quad (3.18)$$

Onde Q: potência trifásica reativa de um estágio (kvar)

U: Tensão do sistema (V)

K: Relação do transformador de corrente.

**3- Fase.** A fase é escolhida de acordo com o esquema de conexão da alimentação do RVC e da conexão do sinal que vem do TC e é conectado no controlador. Para escolher a fase correta o usuário deverá comparar o esquema elétrico descrito no anexo 3 com a tabela descrita no anexo IV



**4- Tempo de espera.** É o tempo mínimo entre o acionamento de 2 banco de capacitores. É recomendado um tempo mínimo de 40s.

**5- Saída.** Determina a quantidade máxima de acionamentos para o banco de capacitores.

**6- Sequência.** Este parâmetro se refere à sequência de acionamentos do banco de capacitores.

### 3.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Nesta seção será dada uma introdução geral sobre CLP e serão abordados os componentes da linguagem *LADDER* utilizados neste trabalho.

#### 3.7.1 ARQUITETURA E CICLO DE FUNCIONAMENTO DO CLP

O CLP é dividido em 4 partes básicas citadas na Fig. (3.18a) e descritas a seguir:

1 – Unidade Central de Processamento (CPU). É composta por microcontroladores ou micriprocessadores. Recebe as informações dos cartões de entrada e, de acordo com a programação gravada na memória, processa a informação e atualiza os cartões de saída.

2 – Memória. Em geral são classificadas em 3 tipos:

- Memória do programa supervisor: responsável pelo gerenciamento de todas as atividades do CLP. Não pode ser apagado pelo usuário.

- Memória do usuário: armazena programa desenvolvido pelo usuário que possui a lógica de programação

- Memória de dados: armazena valores do programa do usuário e valores de entrada e saída

3 - Módulo/cartão de entrada e saída (E/S). Possibilita a comunicação entre o processo ou máquina controlada e o PLC. As entradas e saídas podem ser digitais ou analógicas. Os sinais digitais são utilizados como contatos abertos ou fechados, liga ou desliga. Os sinais analógicos são utilizados quando é necessário comparar o valor do sensor com um valor padrão setado pelo usuário.

4 – Fonte de alimentação. Converte a tensão de rede de 110 ou 220V para tensão contínua, geralmente 24V, para a alimentar os circuitos eletrônicos, entradas e saídas.

O ciclo de funcionamento do CLP está descrito na Fig. (3.18b) e citado a seguir:

- Início: Verifica o funcionamento da C.P.U, memórias, circuitos auxiliares, estado das chaves, existência de um programa de usuário, emite aviso de erro em caso de falha. Desativa todas as saídas.

- Verifica o estado das entradas: Lê cada uma das entradas, verificando se houve acionamento. O processo é chamado de ciclo de varredura.

- Compara com o programa do usuário: Através das instruções do usuário sobre qual ação tomar em caso de acionamento das entradas o CLP atualiza a memória das saídas.

- Atualiza as saídas: As saídas são acionadas ou desativadas conforme a determinação da CPU. Um novo ciclo é iniciado.

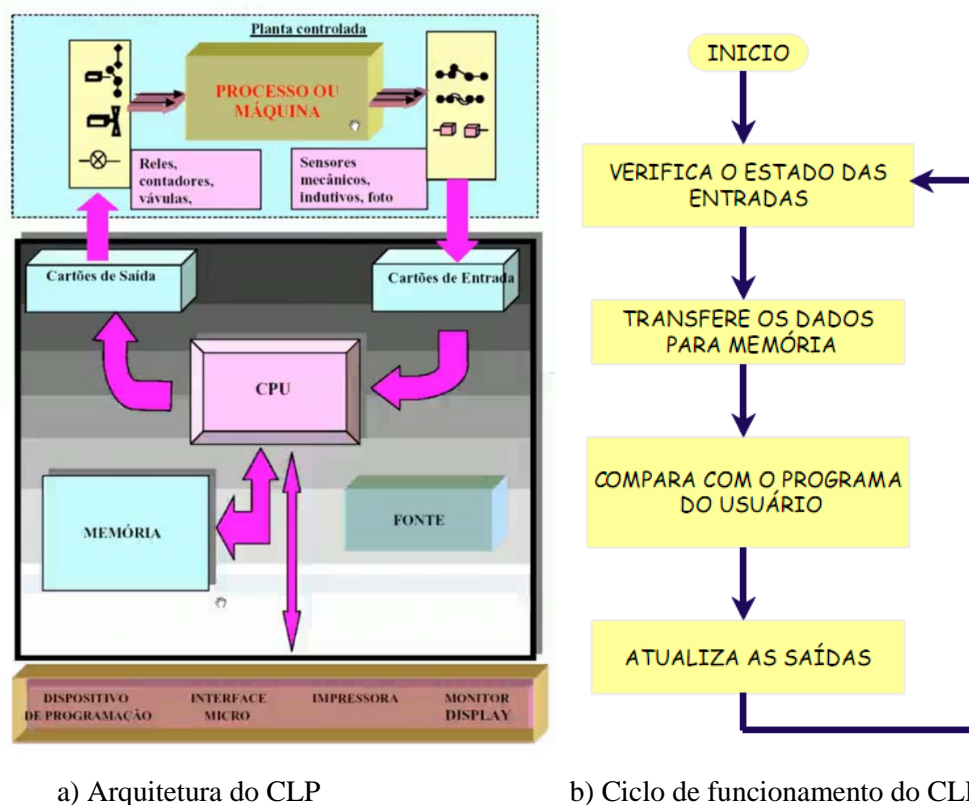


Figura 3.18. Arquitetura do CLP

A linguagem de programação usada neste experimento é o *LADDER*.

### 3.8 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Em vários processos industriais o controle de velocidade de motores elétricos é utilizado. Até alguns anos atrás os motores de corrente contínua eram amplamente utilizados, porém com o desenvolvimento da eletrônica de potência surgiram os inversores de frequência que permitem o controle de velocidade de motores de indução. Os motores de indução são mais baratos e de fácil manutenção comparados aos motores CC.

Esta seção irá abordar dois aspectos: princípios básicos de funcionamento do inversor de frequência e as formas de controle, que podem ser escalar ou vetorial.

#### 3.8.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência é constituído basicamente por um conversor (ou retificador), um inversor e um sistema de controle, Fig. (3.19). O conversor retifica a tensão alternada em tensão contínua e o inversor transforma a tensão contínua em alternada. A tensão e a frequência gerada podem assumir valores variados de acordo com o sistema de controle.



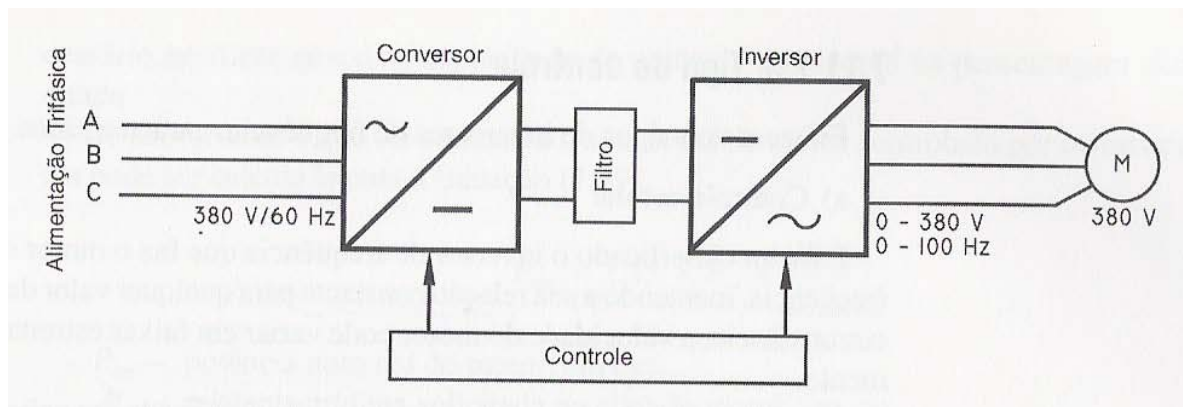


Figura 3.19. Inversor de frequência

O conversor e o inversor são formados por chaves estáticas como mostrado na Fig. (3.20). A atuação coordenada do sistema de controle em cada gatilho do tiristor gera uma tensão contínua na saída. No inversor o controle de atuação das suas chaves propiciam a variação das grandezas: tensão e frequência. A manipulação dessas grandezas permitem manter o conjugado constante, reduzir a potência de operação, fazer a partida em rampa, entre outras aplicações

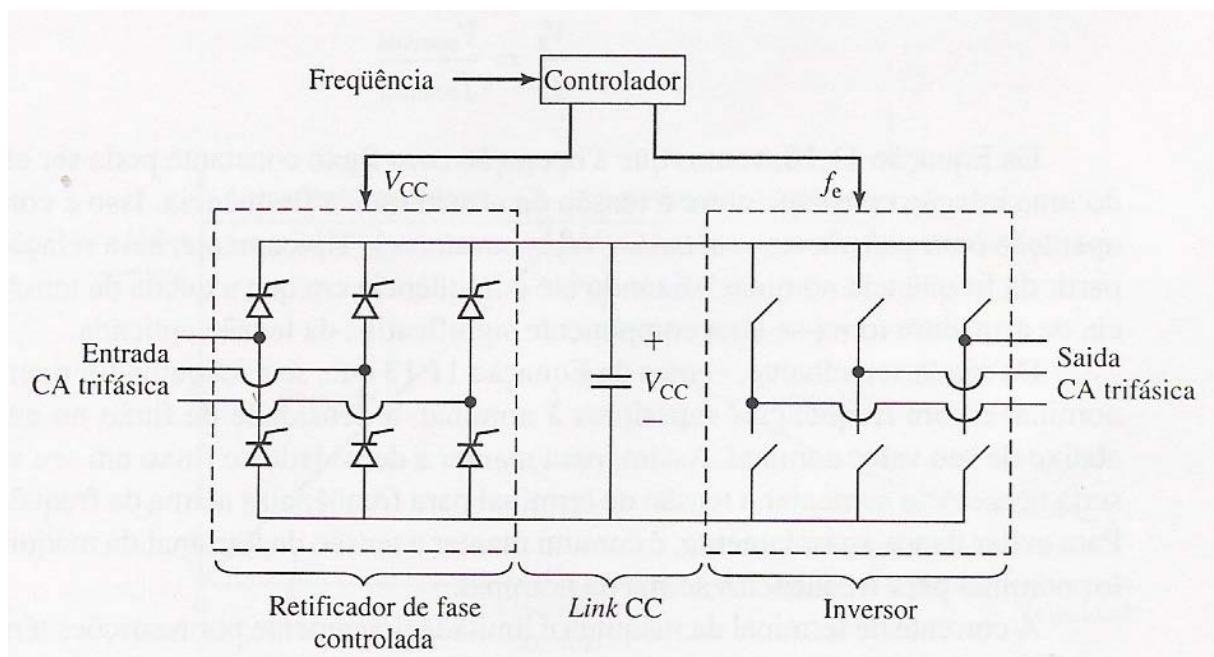


Figura 3.20. Inversor

### 3.8.2 TIPOS DE CONTROLE

Existem 2 formas de controle usadas pelo inversor de frequência: controle escalar e controle vetorial.



### 3.8.2.1 CONTROLE ESCALAR

Neste tipo de controle o motor opera com a relação tensão/ frequência constante para qualquer valor da velocidade de operação. Quando  $V/f = \text{constante}$  o valor do conjugado permanece constante. O conjugado é dado pela seguinte equação [3]:

$$C = K \cdot \Phi \cdot I_r \cdot \cos\psi \quad (3.19)$$

$K$  – constante de conjugado

$I_r \cdot \cos\psi$  – componente da corrente do motor

O fluxo  $\Phi$  é dado pela seguinte equação [3]:

$$\Phi = \frac{V_m}{K \cdot f_m \cdot N} \quad (3.20)$$

$V_m$  - tensão aplicada nos terminais do motor

$K$  – constante de conjugado;

$f_m$  - frequência absorvida pelo motor

$N$  - número de espiras do enrolamento (constante)

Mantendo  $V_m/f_m$  constante o fluxo  $\Phi$ , Eq. (3.20), permanece constante. Com  $\Phi$  constante o conjugado  $C$ , Eq. (3.19), permanece constante.

O controle escalar é recomendado para os seguintes casos – acionamento de vários motores com o mesmo inversor, corrente nominal do motor menor que 1/3 da corrente nominal do inversor, quando o inversor é ligado para testes sem o motor.

Neste método o erro da velocidade é calculado em função do escorregamento do motor. Pode-se conseguir uma precisão de 1%.

### 3.8.2.2 CONTROLE VETORIAL

No controle vetorial o motor opera com uma elevada precisão de velocidade e uma rápida resposta na mudança de velocidade. Existem dois tipos de controle vetorial:

- 1- Sem sensor (*Sensorless*). Aconselhado para a maioria das aplicações. Precisão da velocidade de 0,5%. Tem uma resposta dinâmica rápida. Maior robustez na variação de velocidade. Ajustes necessários feitos automaticamente
- 2- Com realimentação controlada por campo magnético (encoder): controlam a velocidade e a corrente do motor tomando como referência a corrente do motor. Possui as mesmas vantagens do *sensorless* com alguns benefícios adicionais: controle de conjugado e velocidade até velocidade zero e precisão de até 0,01% no controle de velocidade

# 4 ENSAIOS PARA O LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

*Este capítulo trás roteiros revisados e criados utilizando as bancadas didáticas WEG.*

## 4.1 ASPECTOS GERAIS

Este capítulo irá apresentar os roteiros desenvolvidos pelo trabalho de graduação [1] os quais foram revisados e formatados e mais oito novos ensaios desenvolvidos neste trabalho de graduação. Os ensaios deste capítulo estão descritos de forma resumida na tabela 1 abaixo:

Seção	Roteiro	Revisado/Criado
4.2	Curva VxI de uma resistência	Revisado
4.3	Medição de defasagem tensão/corrente em indutores e capacitores	Revisado
4.4	Cascata de contadores	Revisado
4.5	Detecção de erros em um circuito	Revisado
4.6	Ensaio comparativo entre partida direta, estrela-triângulo e por autotrafo	Revisado
4.7	Acionamento de motor de indução trifásico com partida direta	Revisado
4.8	Acionamento de motor de indução trifásico com chave reversora	Revisado
4.9	Partida de um motor de indução trifásico com chave estrela-triângulo	Criado
4.10	Partida de um motor de indução trifásico com autotransformador	Criado
4.11	<i>SOFT-STARTER</i>	Criado
4.12	Inversor de frequência	Criado
4.13	Controlador lógico programável (CLP)	Criado
4.14	Correção do fator de potência através do uso de banco de capacitores	Criado
4.15	Quadro de transferência automática (QTA)	Criado
4.16	Interruptor diferencial residual (DR)	Criado

Tabela 1. Ensaios para o laboratório de instalações elétricas

Para cada experimento foi destinado uma seção deste capítulo. No início de cada seção são feitos comentários à respeito do experimento para que o leitor possa se situar à respeito do tema e entender seus objetivos principais. No final dos comentários foi citado o tempo utilizado para montagem do experimento em questão, na contagem deste tempo é considerado que todos os componentes necessários para a montagem do circuito já estão na bancada didática. Logo após os comentários o leitor poderá observar o roteiro desenvolvido. O título das seções, que possuem o roteiro originalmente feito por [1] e que foram revisados neste trabalho, estão identificados como “REVISADOS”.

Alguns ensaios possuem anexos que não devem ser confundidos com os anexos do final deste trabalho. Os roteiros estão formatados no padrão utilizado no laboratório de Instalações Elétricas, ou seja, sua formatação está diferente da utilizada neste trabalho. Não possuem a numeração no rodapé da página, portanto sua numeração não foi contabilizada, e possuem um cabeçalho próprio, no padrão dos experimentos utilizados no laboratório.

As figuras nos ensaios não estão na lista de figuras no início deste trabalho, pois a sua numeração não está de acordo com o padrão de contagem do restante do texto.

## 4.2 CURVA $V \times I$ DE UMA RESISTÊNCIA (REVISADO)

Esse experimento tem o objetivo de estudar a relação tensão x corrente em uma resistência. O aluno deve primeiramente montar um circuito CC e, a partir da variação da resistência do potenciômetro, traçar a curva  $V \times I$ . O mesmo procedimento deve ser tomado para o circuito CA. Na introdução teórica ele trás um pouco da discussão do efeito da temperatura no valor da resistência.

Este experimento é bastante simples. O seu tempo de execução é de aproximadamente 30 minutos.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## CURVA $V \times I$ DE UMA RESISTÊNCIA



ATENÇÃO:  
SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Esse experimento tem o objetivo de verificar a Lei de Ohm e a curva tensão x corrente em um resistor.

### 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

#### 2.1 – Lei de Ohm

A lei de Ohm afirma que o quociente  $V/I$  da tensão aplicada num condutor e da corrente que se estabelece nele independe da tensão aplicada.

Lei de Ohm:  $V/I$  independente de  $V$ .

Para verificar esta lei experimentalmente podemos aplicar várias tensão num condutor, medir os valores de  $V$  e  $I$  e representar os dados obtidos num gráfico  $I$  versus  $V$ . Os pontos experimentais devem então cair sobre uma reta que passa pela origem. Neste procedimento outros parâmetros experimentais como temperatura do condutor, campos magnéticos, estresse mecânico etc. devem ser mantidos constantes.

Freqüentemente podemos encontrar ainda outra formulação da lei de Ohm: "o quociente  $V/I = R$  é constante". Esta afirmação não é clara; o que significa

constante? Constante em relação a que? A resistência de um condutor,  $R = V/I$ , certamente depende de muitos fatores, por exemplo, da temperatura do condutor.

A dependência da resistência com a temperatura torna, na prática, a verificação da lei de Ohm difícil. Se aumentarmos a tensão suficientemente gera-se tanta energia térmica que fica difícil manter a temperatura constante no experimento. A elevação da temperatura provoca então um aparente desvio da lei de Ohm para altas tensões. Em princípio este desvio seria evitável esfriando-se o condutor.

A lei de Ohm não é uma lei fundamental como a segunda lei de Newton ou as equações de Maxwell. Ela descreve razoavelmente bem o comportamento de uma grande classe de condutores num intervalo de campos elétricos entre 0 e 108 V/m. Mas existem também condutores que definitivamente não obedecem à lei de Ohm, por exemplo, os diodos e as lâmpadas de néon.

## 2.1 – Efeito Pelicular

Os comportamentos tanto do efeito pelicular quanto da impedância interna do condutor são dependentes da resposta de frequência, e, nesse caso, ora um desses fatores é realçado demais, ora é negligenciado demais pelos fabricantes de cabos. O efeito pelicular é tão-somente uma forma "visual" de se entender o comportamento da impedância intrínseca ao condutor. O fato primordial é que, diferentes dos sinais DC (0 Hz), os sinais AC encontram maior resistência do condutor à sua "passagem" quanto maior for a frequência.

O efeito pelicular, ou efeito de película (que é mais conhecido no meio técnico como "efeito de superfície") basicamente é a corrente elétrica alternada tendendo a passar mais pela superfície do condutor e menos no centro dele, e, por causa desse comportamento a resistência efetiva do condutor será maior para frequências mais altas, uma vez que teremos menos espaço físico para a circulação de uma corrente de maior frequência mas de semelhante "densidade" (encare-se correntes de semelhante densidade mas frequências diferentes como sendo duas correntes que têm igual valor total que se pode medir em Ampères com um multímetro); logo, temos: quanto mais alta for a frequência mais para a superfície do condutor se dirigirá a corrente, e menor a área usada para a passagem; porquanto no centro do condutor só passará muita corrente se o sinal for DC ou o diâmetro do condutor for insuficiente.

A explicação desse comportamento para sinais AC parece complexa mas na verdade não é. Imagine, para melhor compreensão, que uma dada corrente alternada tenha entrado no condutor pelo seu centro, só que com rapidez irá se dirigir para a borda, até se estabilizar numa determinada área do condutor. As correntes alternadas possuem essa tendência de atravessar o condutor mais próximas da superfície porque o campo magnético gerado pela corrente alternada inicial, no centro do condutor, sofre de um retardo em sua resposta com relação às rápidas mudanças na amplitude da corrente, ou seja, o campo magnético é mais lento que a corrente, e fica defasado, por isso o campo que está interno ao condutor vai empurrando a corrente para fora deste. Quanto mais alta for a frequência maior

será o retardo dos campos magnéticos antigos e em acumulação, e mais eles empurram a corrente para fora, até que em frequências muito altas a corrente só vai fluir numa fina película na superfície, ou seja, na parte externa do condutor.

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

Material	Cód. WEG	Símbolo
1 Retificador de onda completa	MBD-026.	
1 Lâmpada incandescente 60W	MBD-002	
1 Interruptor	MBD-017	
1 relé bimetálico	MBD-007	
1 voltímetro	MBD-019	
1 amperímetro – escala de 0 a 0,3A	MBD-020	
1 frequencímetro	MBD-021	
1 Potenciômetro 1,5kΩ	Laboratório	

### 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1ª coluna: Etapa
- 2ª coluna: Risco/perigo
- 3ª coluna: Modos de detecção
- 4ª coluna: Efeitos
- 5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

## 4.2 – Parte CC

Na bancada de medidas elétricas, montar o circuito da figura abaixo:

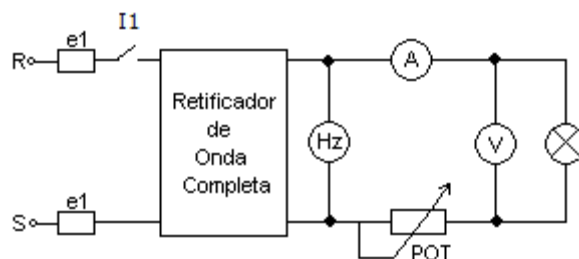


Figura 1

Com o potenciômetro ajustado em 0, ligar a chave e medir a corrente que flui pela lâmpada, completando a tabela abaixo, calculando a resistência do filamento da lâmpada:

Tabela 1

V(V)	I(A)	R( $\square$ )

Variar o potenciômetro em intervalos iguais e medir o valor de tensão e corrente na lâmpada.

Tabela 2

V(V)	I(A)

### 4.3 – Parte CA

Na bancada de medidas elétricas, montar o circuito da figura abaixo:

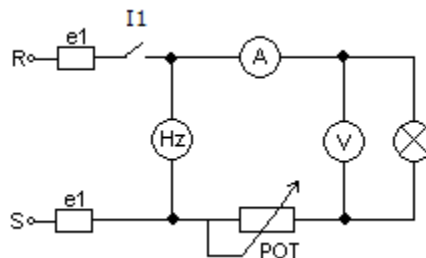


Figura 2

Com o potenciômetro ajustado em 0, ligar a chave e medir a corrente que flui pela lâmpada, completando a tabela abaixo, calculando a resistência do filamento da lâmpada:

Tabela 3

V(V)	I(A)	R( $\Omega$ )

Variar o potenciômetro em intervalos iguais e medir o valor de tensão e corrente na lâmpada.

Tabela 4

V(V)	I(A)



## 5 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

A) Calcular a resistência do filamento da lâmpada para todos os pontos medidos no experimento. Trace a curva  $V \times I$  para o filamento da lâmpada para a alimentação CC e para a alimentação CA. Inclua todos os cálculos e gráficos no relatório.

B) Por que a resistência do filamento varia para os diferentes pontos da curva?

C) A resistência do filamento da lâmpada pode ser considerada linear? Por quê?

D) Teríamos grande diferença na resistência do filamento se a frequência da rede fosse de 50 Hz? Por quê?

E) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

### **4.3 MEDIÇÃO DA DEFASAGEM TENSÃO/CORRENTE EM RESISTORES, INDUTORES E CAPACITORES (REVISADO)**

Esse experimento tem o objetivo de estudar a defasagem entre a tensão e corrente nos caso resistivo, capacitivo e indutivo. Na introdução teórica ele trás uma análise do triângulo de potência e apresenta o conceito de potência ativa, reativa e aparente e o conceito de fator de potência.

O experimento consiste em fazer a medição, através de um fasímetro, da defasagem de um resistor de  $200\Omega$ , 1 indutor de 300mH e um capacitor de  $5\mu\text{F}$ .

O tempo de execução do experimento é de aproximadamente 30 minutos.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## MEDIÇÃO DA DEFASAGEM

### TENSÃO/CORRENTE EM RESISTORES, INDUTORES E CAPACITORES

ATENÇÃO:

SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

## 1 – OBJETIVO

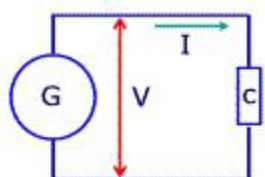
Medir a defasagem entre tensão e corrente em um resistor, indutor e em um capacitor.

## 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Em um circuito de corrente contínua, a potência demandada por uma carga é o simples produto da tensão pela corrente que circula pela mesma. Para corrente alternada também, mas com algumas diferenças. Seja o circuito da figura 1: um gerador de corrente alternada que fornece uma tensão  $V$  para uma carga  $c$  e por esta circula uma corrente  $I$ .

Se a carga  $c$  for puramente resistiva, o produto da tensão pela corrente será realmente a potência absorvida pela mesma. Mas se for uma carga indutiva (motor,

reator de lâmpada fluorescente, etc), haverá uma defasagem entre a tensão e a corrente no circuito conforme indicado na figura 1.

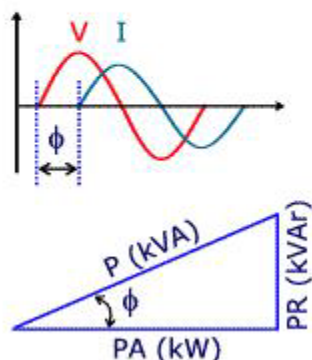


As potências na carga são divididas em 3 tipos como mostra o triângulo de potência da figura 1:

Potência aparente ou total  $S = VI$

Potência ativa  $P = VI \cos \theta$

Potência reativa  $Q = VI \sin \theta$



A potência resultante de trabalho útil na carga é somente de potência ativa, mas o gerador fornece potência aparente. Isto significa que a potência reativa é indesejável, mas é demandada do gerador e contribui para carregar a fiação entre este e a carga.

O parâmetro  $\cos \theta$  é chamado de fator de potência da instalação. Portanto, uma instalação ideal deveria ter  $\cos \theta = 1$ . Como isto só ocorre em cargas puramente resistivas, para as demais, será sempre menor do que 1.

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

Material	Cód. WEG	Símbolo
2 fusíveis	MBD-004	
1 interruptor	MBD-017	
1 voltímetro	MBD-019	
1 amperímetro – escala de 0 a 0,3A	MBD-020	
1 frequencímetro	MBD-021	
1 fasímetro de 1 fase	MBD-049	
2 resistores de 100Ω	R4 e R5	
1 indutor 300mH	L1	
1 capacitor 5μF	MBD-057	

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1ª coluna: Etapa

2ª coluna: Risco/perigo

3ª coluna: Modos de detecção

4ª coluna: Efeitos

5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 4.2 Carga resistiva

Na bancada de medidas elétricas, montar o circuito abaixo, utilizando a carga resistiva da própria bancada.

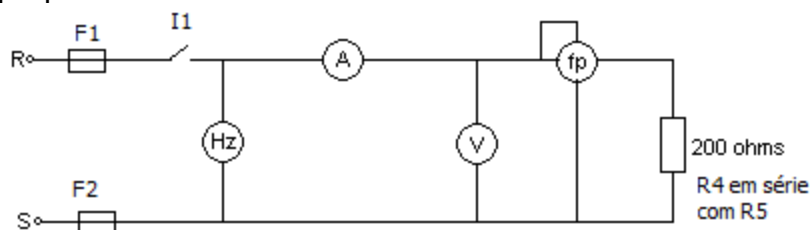


Figura 2

Preencha a tabela abaixo, de acordo com as leituras dos instrumentos:

Tabela 1			
V(V)	I(A)	Fp	defasagem

### 4.3 Carga indutiva

Montar agora o circuito da figura 3, utilizando a carga indutiva da própria bancada.

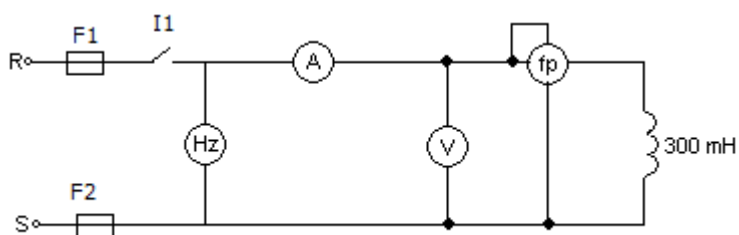


Figura 3

Preencha a tabela abaixo, de acordo com as leituras dos instrumentos:

Tabela 2

V(V)	I(A)	Fp	defasagem

### 4.3 Carga capacitiva

Monte o circuito descrito na figura 4, utilize a carga capacitiva adequada.  $\mu$

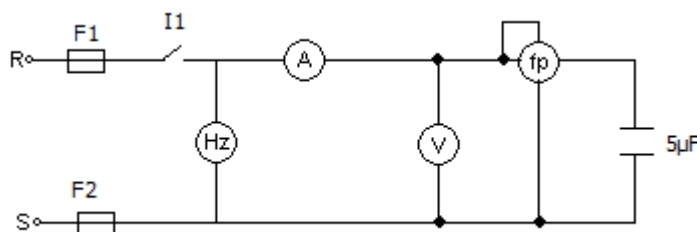


Figura 4

Preencha a tabela abaixo, de acordo com as leituras dos instrumentos:

Tabela3

V(V)	I(A)	Fp	defasagem

## 5 – RELATÓRIO

A) Calcular a defasagem produzida pelo indutor e pelo capacitor, incluindo todos os cálculos necessários no seu relatório.

B) Explicar o funcionamento do fasímetro?

C) Como é armazenada a energia em um capacitor? E em um indutor?

D) Por que não se consegue uma defasagem de 90 graus no indutor?

E) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

#### **4.4 CASCATA DE CONTADORES (REVISADO)**

O objetivo deste ensaio é implementar um circuito cascata que permite o parcelamento da carga introduzida na alimentação de um sistema.

No pré-relatório o aluno deverá explicar o funcionamento do circuito a ser montado. Esse pré conhecimento do circuito facilita bastante a sua montagem.

A introdução comenta sobre uma das aplicações da cascata de contadores.

Na parte experimental o aluno irá montar a cascata de cotadores. Esse circuito possui uma opção para acionar as cargas em cascata e outra opção para acionar as cargas simultaneamente. O aluno deve medir as correntes de pico a cada entrada de carga no sistema.

No final é o aluno deverá comparar os métodos de acionamento em cascata e acionamento simultâneo à partir dos valores obtidos.

O tempo necessário para a realização do experimento é de 30 minutos.



# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## CASCATA DE CONTADORES



ATENÇÃO:  
SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Implementar um circuito cascata que permite o parcelamento da carga introduzida na alimentação de um sistema.

### 2 – PRÉ-RELATÓRIO

Explique passo a passo o funcionamento do circuito descrito na figura 1.

### 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Em diversas situações práticas os geradores de energia são utilizados para suprir falhas do sistema elétrico. Algumas vezes apesar de um correto dimensionamento deste gerador a demanda de carga faz com que o mesmo não suporte a alta corrente de partida, e não consiga assumir a carga.

Uma possível solução para este problema é a utilização de uma cascata de contadores, fazendo com a carga assumida pelo gerador entre em parcelas, e não de uma única vez.

Desta forma o gerador consegue fornecer a energia necessária ao sistema sem que haja problema na partida.

#### 4 – MATERIAL UTILIZADO

1 botoeira N.A.	MBD-011	
1 botoeira N.F.	MBD-012	
3 contadores de força	MBD-005	
1 amperímetro	MBD-020	
3 lâmpadas incandescentes	MBD-002	
3 relés de tempo	MBD-009	
2 fusíveis (2A)	MBD-004	

#### 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### 5.1 Cascata de contadores

Na bancada de medidas elétricas ou na de eletrotécnica monte o circuito da Fig. (1). Ajuste os relés de tempo de forma que o tempo do relé f3 seja razoavelmente maior que o tempo do relé f2, cerca de 10 segundos, e esse maior que f1. Desta forma será possível observar o instante dos acionamentos independentemente. Chame o professor para conferir o circuito.

Na tabela um coloque a corrente de pico a cada acionamento de uma carga.

Tabela 1 – cascata de contadores

$I_{P1}$ (A)	$I_{P2}$ (A)	$I_{P3}$ (A)

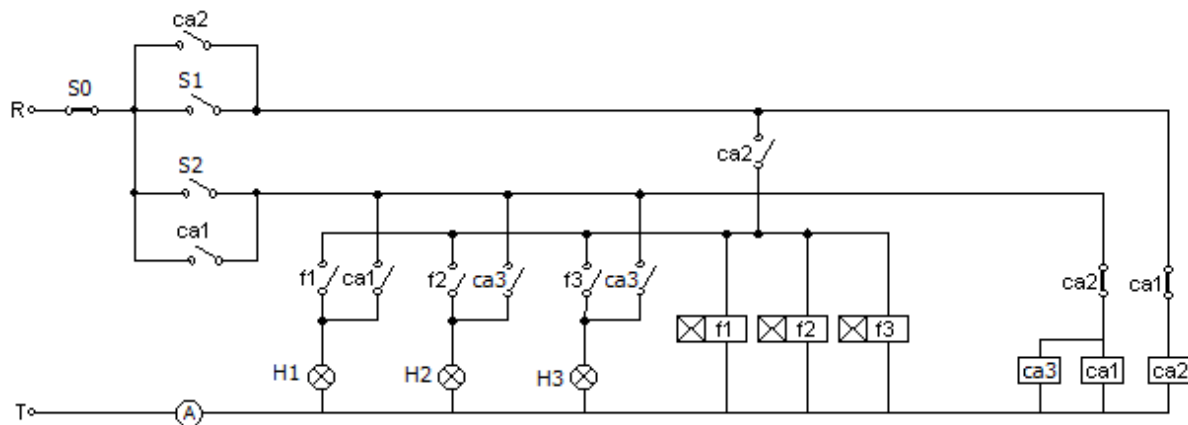


Figura 1

## 5.2 Acionamento simultâneo

Desligue o sistema pressionando S0. Para acionar as três cargas simultaneamente pressione o botão S2. Anote o valor da corrente de pico.

## 6 – RELATÓRIO

- Qual a maior vantagem da utilização de uma cascata de contatores em um sistema? Compare as correntes de pico obtidas.
- Qual outra forma de se solucionar o problema da partida?
- Anexe o pré-relatório.
- Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

#### **4.5 DETECÇÃO DE ERROS EM UM CIRCUITO (REVISADO)**

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para detecção de erros na análise de circuitos elétricos. Para isso é utilizada a bancada de simulação de defeitos.

A bancada possui 24 interruptores que simulam diversos defeitos nas partidas direta e estrela-triângulo e no acionamento de MIT com chave reversora.

O aluno terá que acionar interruptor e descobrir seu respectivo erro. Neste experimento o aluno tem acesso ao esquema elétrico para consulta, que está anexado no final do roteiro. Este ensaio também desenvolve no aluno a habilidade de ler esquemas elétricos.

No final é questionada a metodologia de erro mais utilizada.

O tempo necessário para descobrir todos os erros é por volta de 3 horas, porém o professor pode estipular um número menor de erros para roteiro.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## DETECÇÃO DE ERROS EM UM CIRCUITO

ATENÇÃO:

SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Desenvolver uma metodologia para detecção de erros na análise de circuitos elétricos.

### 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

A complexidade dos circuitos elétricos e eletrônicos é cada dia maior. Cada dia aumentam o número de componentes diminuindo porém seu tamanho. Com isso o número de conexões também aumenta, dificultando muitas vezes a detecção de erros. Por esse motivo o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho na detecção de erros é de fundamental importância.

O propósito deste ensaio é desenvolver no usuário uma metodologia própria para trabalhar com as detecções de erros necessárias em todos os circuitos.

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

Bancada de Simulação de Defeitos;  
Multímetro.

### 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1ª coluna: Etapa

2ª coluna: Risco/perigo

3ª coluna: Modos de detecção

4ª coluna: Efeitos

5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

#### 4.2 – Análise de erros

Abra o quadro simulador de defeitos, que se encontra logo abaixo do quadro de comando do motor, nele se encontram vinte e quatro interruptores que quando acionados simulam vinte e quatro defeitos diferentes na bancada. É importante que seja acionado um único interruptor por vez, já que a combinação de defeitos pode tornar o processo de detecção muito complexo.

Acione o interruptor desejado, em seguida feche o quadro simulador de defeitos e acione a chave geral, testando o primeiro acionamento para o motor. Caso este esteja funcionando bem, desligue o primeiro acionamento e repita o processo com outro tipo de acionamento.

Todos os acionamentos devem ser testados, e quando algum deles não funcionar deve-se detectar qual o defeito que impede o bom funcionamento da bancada. Pode existir o caso em que nenhum dos acionamentos funcione.

Para que este exercício seja feito com sucesso, é necessário se desenvolver uma metodologia de trabalho, que na maioria das vezes é pessoal.

Abra o quadro de comando do circuito, e com o devido cuidado, já que a bancada se encontra energizada, teste os circuitos, medindo as correntes e tensões, testando a continuidade de energia nos ramos do circuito.

Com a descoberta de cada defeito, preencha a tabela abaixo informando o defeito encontrado. Utilize os diagramas elétricos da bancada, anexadas no final do roteiro.

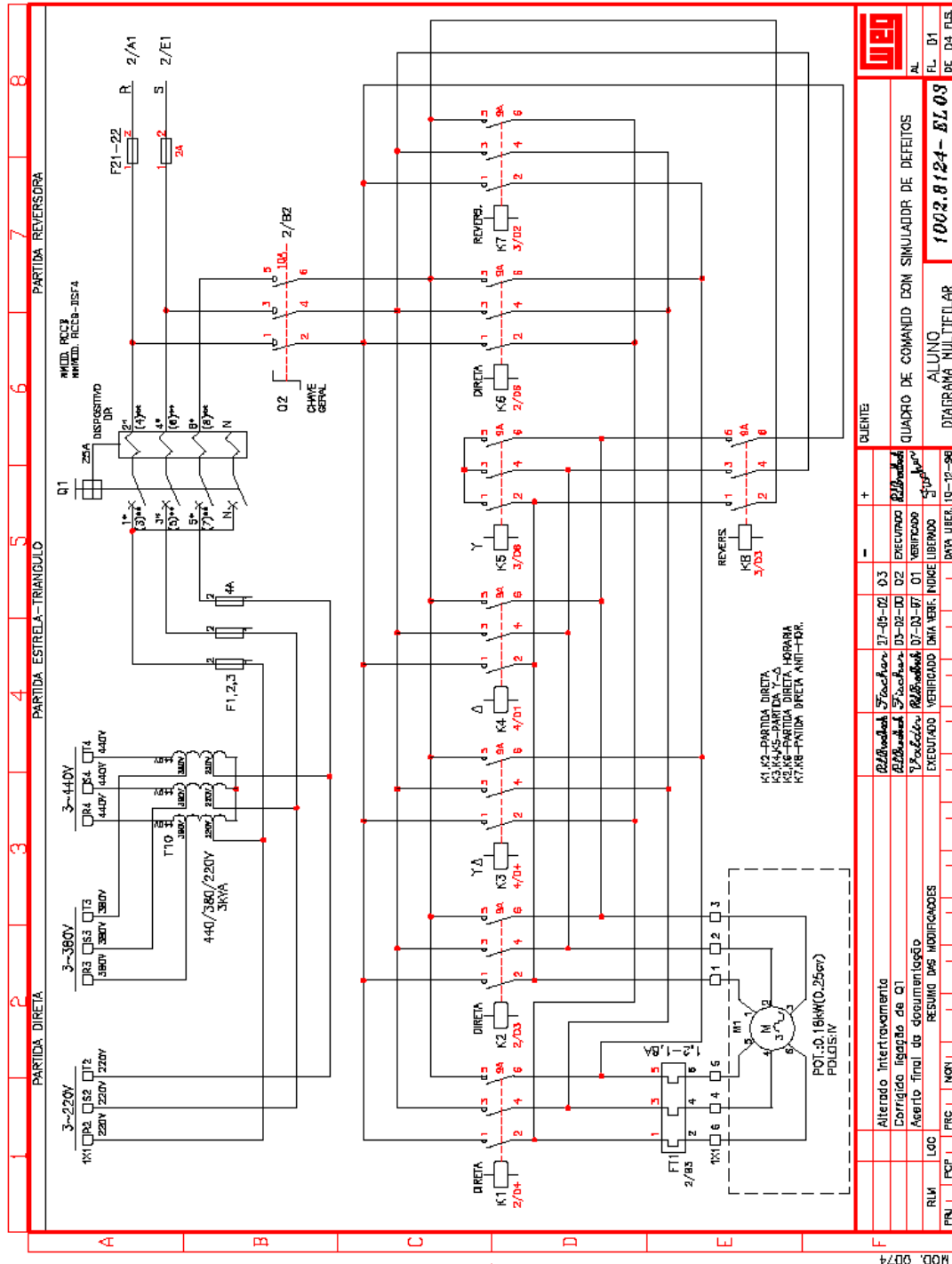
Tabela 1 – Lista de defeitos

DF-01	
DF-02	
DF-03	
DF-04	
DF-05	
DF-06	
DF-07	
DF-08	
DF-09	
DF-10	
DF-11	
DF-12	
DF-13	
DF-14	
DF-15	
DF-16	
DF-17	
DF-18	
DF-19	
DF-20	
DF-21	
DF-22	
DF-23	
DF-24	

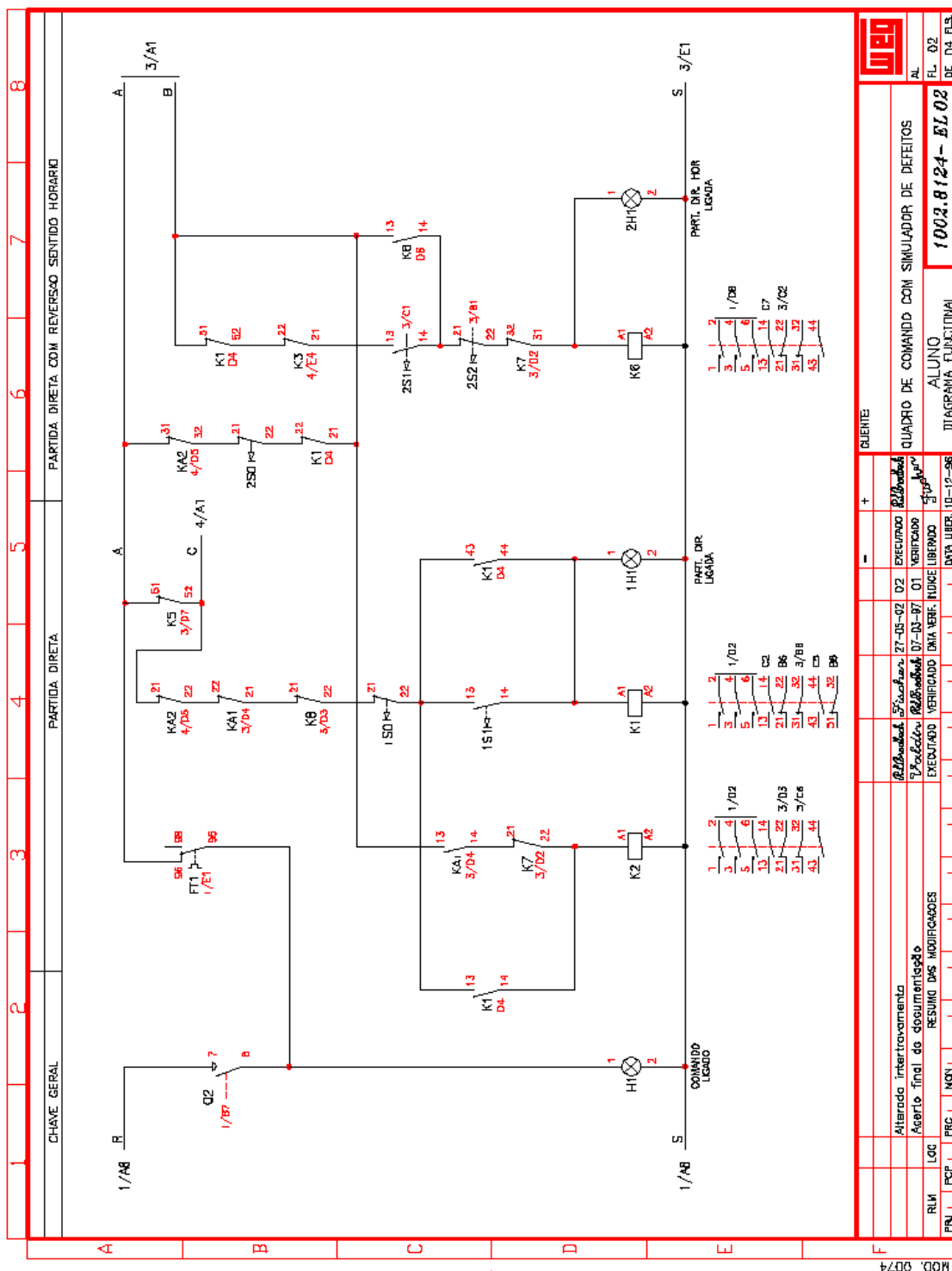
## 5 – RELATÓRIO

- A) Qual foi a metodologia de detecção de erro mais utilizada?
- B) Anexe no relatório a tabela 1 com os erros encontrados.
- C) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

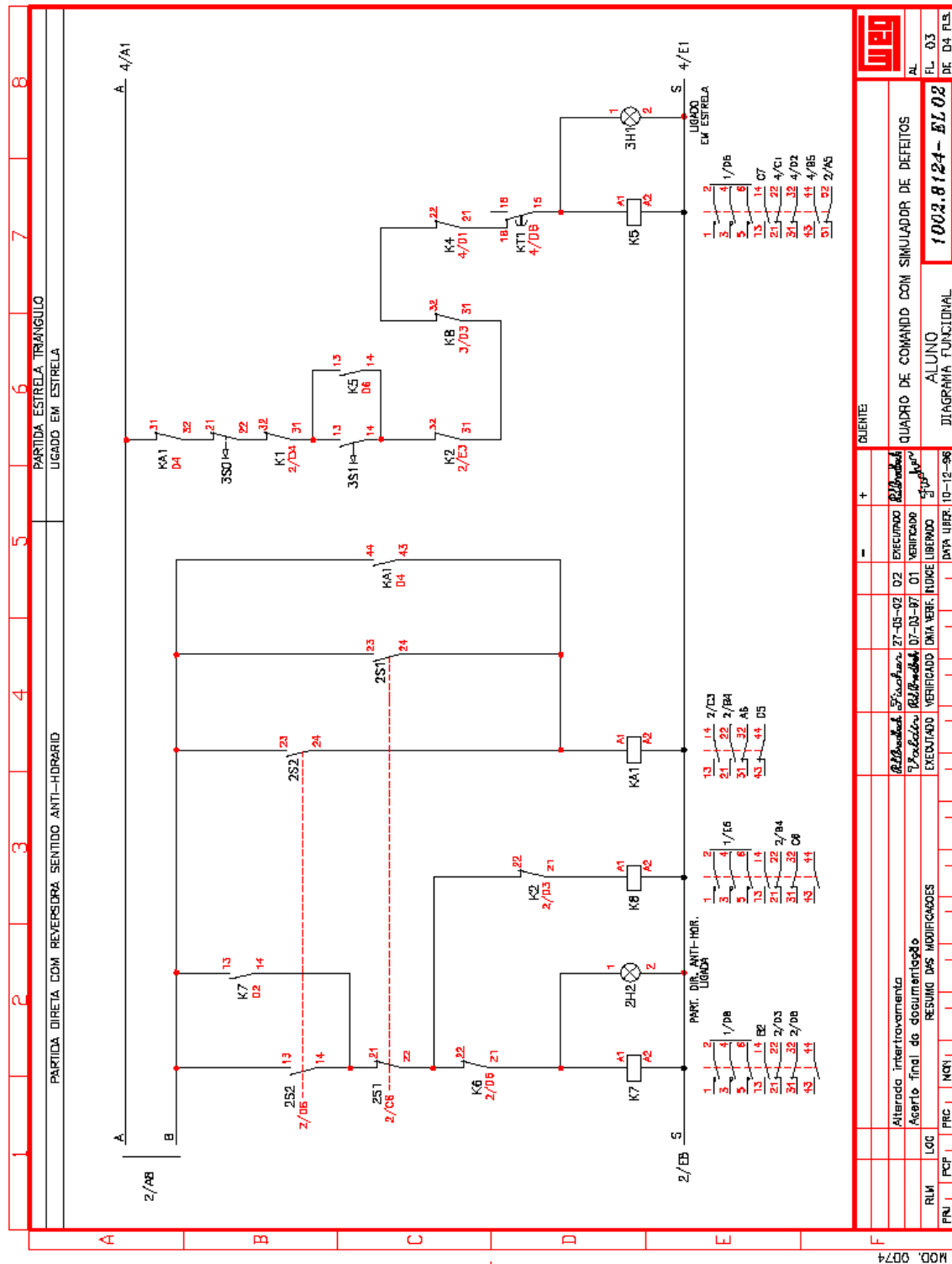
## ANEXO







MOD. 0074



#### **4.6 ENSAIO COMPARATIVO ENTRE PARTIDA DIRETA, ESTRELA-TRIÂNGULO E POR AUTOTRANSFORMADOR (REVISADO)**

O objetivo deste experimento é comparar os diferentes tipos de acionamentos e diferenciá-los nas aplicações práticas. Para isso foram usados os 3 módulos de partida: modulo de partida direta, de partida compensadora e de partida estrela-triângulo. Esses módulos são acoplados na bancada de acionamentos.

Na introdução teórica são citadas algumas normas pertinentes ao assunto tratado.

Na parte prática o aluno terá que analisar a corrente e a velocidade de cada módulo de partida.

No relatório o aluno irá comparar os três métodos à partir dos dados obtidos. Irá também criar uma tabela listando as vantagens e desvantagens de cada método.

O experimento foi testado e no momento de medir a corrente de pico, em todos os módulos de partida o ponteiro chegou até o final, assim não foi possível diferenciar as correntes de pico nos 3 métodos. Porém, sabendo que a corrente de pico se encontra entre 4 e 10 vezes acima da corrente nominal [6], é possível estimá-la.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## ENSAIO COMPARATIVO ENTRE PARTIDA DIRETA, ESTRELA-TRIÂNGULO E POR AUTOTRANSFORMADOR

### ATENÇÃO:

SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Comparar os diferentes tipos de acionamentos e diferenciá-los nas aplicações práticas.

### 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Motores absorvem da rede uma potência maior na fase de partida. Esse fato pode levar a flutuações inadmissíveis na própria rede e no circuito do motor, que a concessionária e energia limita, para não prejudicar outros consumidores.

Então, reportando-nos a norma NBR 5410 edição de 2004, e no seu item 6.5.1.2 – Motores, temos:

6.5.1.2 Limitação das perturbações devidas à partida de motores

6.5.1.2.1 Para evitar perturbações que comprometam a rede de distribuição, a própria instalação e o funcionamento das demais cargas por ela alimentadas, devem ser observados:

a) as restrições impostas pela empresa distribuidora de energia elétrica à partida de motores;

NOTA Para partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5 CV), em instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública em baixa tensão.

b) os limites de queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor, conforme estabelecido em 6.2.7.1. Para satisfazer os requisitos das alíneas a) e b), pode ser necessário empregar dispositivos que limitem a corrente de arranque do motor.

6.5.1.2.2 Em instalações contendo diversos motores, deve-se considerar a possibilidade de partida simultânea de dois ou mais motores.

Por outro lado, as cargas motoras em corrente alternada são identificadas como sendo AC-2 e AC-3, a primeira sigla aplicada a motores do tipo trifásico indução bobinado ou anel, e o segundo a motores trifásicos de indução tipo gaiola, que são a grande maioria dos motores encontrados nas indústrias, por serem mais robustos e mais baratos (não necessariamente melhores). Outro fator que hoje precisa ser observado é o rendimento do motor: devemos dar preferência a motores de alto rendimento, como perdas reduzidas. Portanto, para potências acima de 5 CV, é necessário verificar se há necessidade de serem usados métodos de partida, que podem ser de várias formas, cada um com recomendações próprias de acordo com a potência dos motores a eles ligada.

Aplicando-se a todas elas a IEC 60 947 faz recomendações de coordenação de proteção, e que assim se definem:

1. Um dispositivo de partida, além de atender a capacidade de carga (p.ex. motor trifásico, AC-3) é orientada por norma a obedecer determinados resultados quando sujeita a anormalidades de pior caso, ou seja, um curto-circuito pleno.
2. Um curto-circuito pleno é dado como uma fatalidade. A experiência tem demonstrado que um curto-circuito de ordem prática é de menos de 50% do pleno (pior caso).

Desta forma, a escolha da coordenação de proteção deve considerar as condições práticas de probabilidade do curto-circuito e as exigências de serviço da instalação.

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

Bancada de acionamento de motores;  
Módulo de partida direta;  
Módulo de partida estrela-triângulo;  
Módulo de partida compensadora.

### 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1a coluna: Etapa
- 2 a coluna: Risco/perigo
- 3 a coluna: Modos de detecção
- 4 a coluna: Efeitos
- 5 a coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

#### 4.2 Partida direta

Acoplar o módulo de partida direta na bancada de acionamentos.

Na parte CC, varie a carga e observe o comportamento da corrente do motor CA para diferentes valores de carga.

$I_p(A)$	Tabela 1 – Partida direta	$\omega(rpm)$
	$I_{REGIME\ PERMANENTE}(A)$	

OBS: Desligue a bancada observando o procedimento correto, e desenergize-a para proceder a troca de módulo.

#### 4.3 Partida estrela-triângulo

Acoplar o módulo de partida estrela triângulo na bancada de acionamentos.

Na parte CC, ligar a chave geral da bancada. No módulo de partida, ajuste o relé de tempo para 15s e faça a partida do motor CA. Observe a corrente de pico durante a configuração estrela e durante a configuração o delta, preenchendo a tabela 1. Anote também o valor da corrente em regime permanente.

Tabela 2 – Partida estrela-triângulo

	$I_p(A)$	$\omega(rpm)$
Y		
$\Delta$		

Desligue o motor pressionando o botão vermelho “desliga”. Desligue a chave geral da bancada. Retire o módulo de partida estrela-triângulo.

### 4.3 Partida compensada

Acople o módulo de partida com autotrafo na bancada de acionamento.

Na parte CC, ligar a chave geral da bancada. No módulo de partida, ajuste o relé de tempo para 15s e faça a partida do motor CA. Observe a corrente de pico durante a partida e durante a transição para a alimentação direta preenchendo a tabela 3. Anote também o valor da corrente em regime permanente.

Tabela 3. Partida compensada

	$I(A)$	$\omega(rpm)$
65%		
DIRETO		

## 5 – RELATÓRIO

A) Compare as correntes de pico nas três situações. Ela é diferente nas 3 situações? Justifique.

B) Faça uma tabela contendo as vantagens e desvantagens de cada partida.

C) Quais seriam os critérios de escolha do método de partida que você levaria em conta na instalação de um motor?

D) O que acontece se ajustarmos o tap do autotrafo para 100%?

## **4.7 ACIONAMENTO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM PARTIDA DIRETA (REVISADO)**

Esse experimento tem o objetivo de propiciar ao aluno a prática da montagem de uma partida direta para o MIT. Ele traz uma discussão das desvantagens da elevada corrente de partida do MIT e a utilização da partida direta.

Na introdução teórica foi acrescentado uma discussão à respeito das desvantagens de uma alta corrente de partida no circuito e de quando a partida direta é normalmente usada. Traz também, do trabalho antigo, um tópico falando sobre o contator.

O experimento consiste em montar a partida direta, medir as correntes de pico e permanente, medir a potência, tensão e velocidade. Com esses dados o aluno deve calcular o conjugado. É interessante que o aluno calcule o conjugado pois muitas vezes, em situações práticas, o engenheiro deve dimensionar o motor de acordo com o conjugado que ele deve fornecer para uma determinada carga.

No relatório é questionado sobre a função do selo no circuito de comando. É solicitado para o aluno pesquisar sobre os métodos de redução de corrente de partida, este tópico já prepara o aluno para os próximos experimentos. Novamente o tema das desvantagens da elevada corrente de partida é levado em consideração. É questionado à respeito da diminuição da corrente de linha ao se utilizar banco de capacitores.

O tempo de execução do experimento é de 1 hora.



# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## ACIONAMENTO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM PARTIDA DIRETA

**ATENÇÃO:**  
SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Propiciar ao aluno a prática da montagem de uma partida direta para motores de indução trifásicos.

## **2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR**

### **2.1 Partida Direta**

Uma das características do MIT é uma elevada corrente de partida que pode chegar entre 4 e 10 vezes a corrente nominal do motor [2]. O conjugado pode chegar até a 200% do valor nominal [2]. Os métodos mais difundidos. Na partida direta não há nenhum método de redução da corrente de partida.

A alta corrente de partida possuem algumas desvantagens:

- Sobrecarga instantânea nos componentes do circuito de partida (fusíveis, contator, relé térmico e condutores).
- Brusca variação da tensão da rede elétrica.
- Aquecimento momentâneo dos condutores e componentes de partida.
- Necessidade de utilizar componentes que suportam uma corrente maior, tornando o projeto mais caro.

É aconselhável a utilização da partida direta quando [1]:

- a corrente nominal da rede é tão elevada que a corrente de partida não é relevante;
- motor de potência pequena gerando uma corrente de partida de baixo valor;
- a partida do motor é feita sem carga, diminuindo o tempo de partida direta.

Quando a potência do motor é superior ao máximo exigido pela concessionária local, geralmente 5CV [1], é aconselhável utilizar métodos de redução na corrente de partida. Quando é necessário um acionamento com um menor conjugado de partida, como por exemplo uma esteira de transporte de uma indústria carregando garrafas que não podem ser derrubadas, também são utilizados métodos que reduzem a corrente de partida e conseqüentemente o conjugado de partida.

### **2.2 Contator**

O contator, que é de acionamento não-manual por definição, pode ser do tipo “de potência” e “auxiliar”. Ele é normalmente tri polar, por ser usado em redes industriais que são, sobretudo, trifásicas.

O seu funcionamento se dá perante condições nominais e de sobrecarga previstas, sem porém ter capacidade de interrupção para desligar a corrente de curto-circuito.

O acionamento é feito por uma bobina eletromagnética pertencente ao circuito de comando, indicada na Fig. (1), quando a bobina é energizada o fluxo magnético gerado produz uma força que une a armadura móvel com a armadura fixa. Como visto na Fig. (1), este movimento faz com que os contatos de força se fechem e os contatos de comando (auxiliares) mudem de estado – normalmente fechado (NF) para normalmente aberto (NA) ou NA para NF.

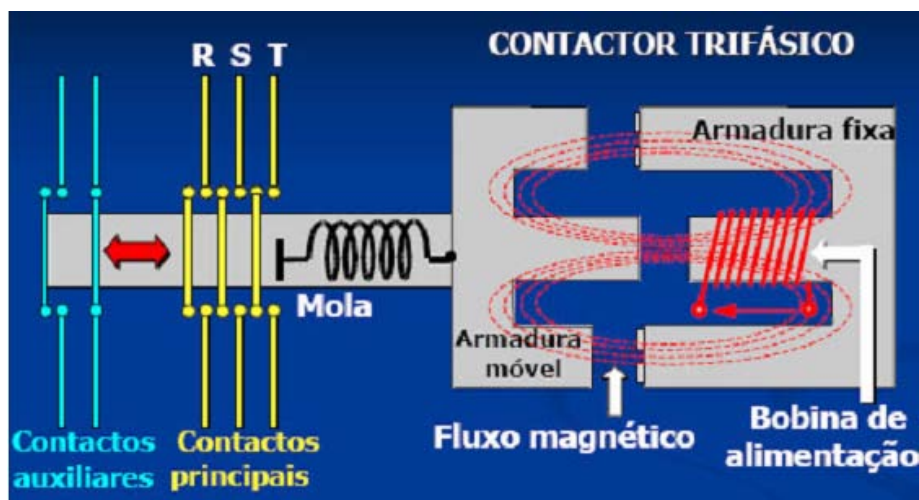


Figura 1. Contator

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

Material	Cód. WEG	Símbolo
1 botão N.A.	MBD-011.	
1 botão N.F.	MBD-012	
1 contator de força	MBD-005	
1 relé bimetálico	MBD-007	
1 tacômetro	Laboratório	-
1 voltímetro	MBD-019	
1 amperímetro	MBD-020	
2 wattímetros	MBD-022	
1 lâmpada sinalizadora	MBD-014	
1 motor trifásico	M3	
3 fusíveis para o circuito de força (4A)	MBD-004	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1<sup>a</sup> coluna: Etapa

2<sup>a</sup> coluna: Risco/perigo

3<sup>a</sup> coluna: Modos de detecção

4<sup>a</sup> coluna: Efeitos

5<sup>a</sup> coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 4.2 – Partida Direta

Na bancada de eletrotécnica monte o circuito de comando da Fig. (1). Chame o professor para conferir o circuito. Acione a botoeira S1, teste o funcionamento desta etapa de acordo com o estipulado pelo projeto.

Desligue o comando geral por meio da botoeira S0, desenergize a bancada e monte o circuito de força, Fig. (1), observando a sequência de fases. Utilize o motor M1 na configuração delta.

Após o circuito montado, chame o professor para conferir o circuito. Dê partida no motor observando a corrente de pico e a corrente em regime permanente.

Preencha a tabela abaixo com os valores de tensão, corrente, potência e velocidade. Utilize o tacômetro para medir a velocidade. Calcule o conjugado de partida, utilize o rendimento para o cálculo da potência no eixo do motor.

Tabela 1

$I_p(A)$	$I(A)$	$V(V)$	W1	W2	P(W)	$\omega(rpm)$

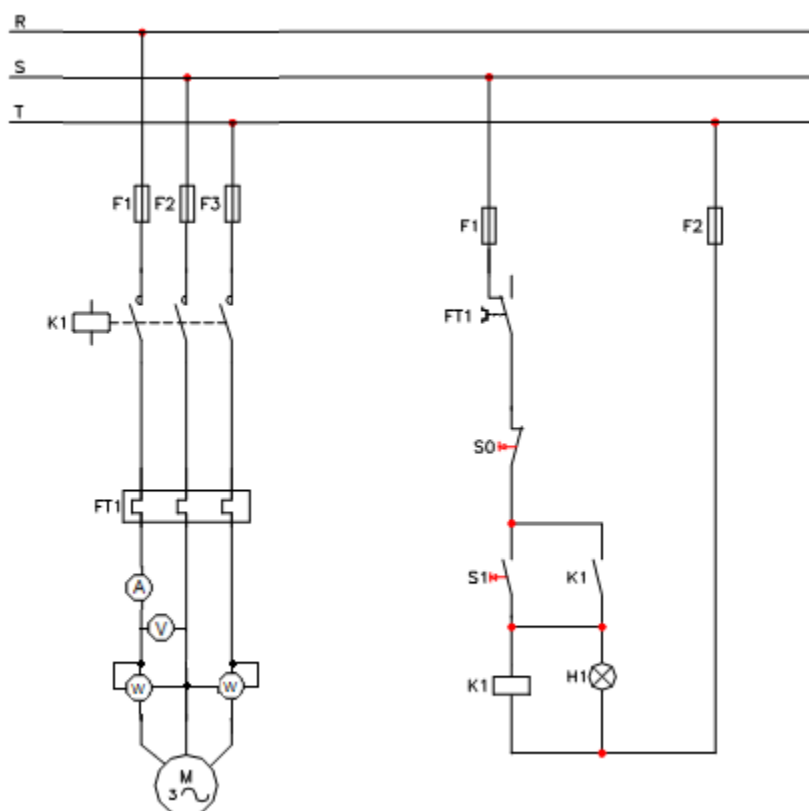


Figura 1

## 5 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

- A) Qual a função do contato normalmente aberto K1 no circuito de comando?
- B) Qual a relação entre a corrente de partida e a corrente de regime permanente do motor? Quais as desvantagens de uma alta corrente de partida?
- C) Mostre todos os cálculos para a obtenção do conjugado.
- D) Cite 2 métodos utilizado na redução da corrente de partida de motor de indução trifásico. Explique, de forma simplificada, como esses métodos atuam na redução da corrente de partida.
- E) O que aconteceria com a corrente do motor se fosse conectado um banco de capacitores ao motor para a correção do fator de potência? Por quê?
- F) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## **6 – BIBLIOGRAFIA**

[1]FILHO, JOÃO MAMEDE. Instalações Elétricas Industriais. Sétima Edição, 2007.

[2]PHILLIP W. ROWLAND, P.E. Low impact motor control with star-delta starting. IEEE 1998

#### **4.8 ACIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE REVERSORA (REVISÃO)**

Esse experimento tem o objetivo de propiciar ao aluno a prática da montagem de um circuito de acionamento de um motor de indução trifásico com chave reversora.

A leitura complementar do roteiro dá uma breve explicação da utilidade da chave reversora para o aluno poder se situar com o tema.

No procedimento experimental o aluno deve montar o circuito em questão e medir a corrente de pico inicial, a corrente na reversão, a corrente em regime permanente que serão comparadas no relatório.

No relatório o aluno deverá explicar sobre o intertravamento no circuito de comando; comparar os valores de corrente obtidos, explicando o motivo de a corrente de reversão ser maior que a corrente de pico e comentar sobre as chaves com fim de curso.

O tempo estimado para a execução do experimento é de 1 hora.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## ACIONAMENTO DE MOTOR DE INDUÇÃO COM CHAVE REVERSORA



ATENÇÃO:

SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de "Aterramento Temporário" com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na "Zona Controlada"; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Esse experimento tem o objetivo de propiciar ao aluno a prática da montagem de um circuito de acionamento de um motor de indução trifásico com chave reversora.

### 2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Descreva passo a passo um ciclo completo de funcionamento da chave reversora de acordo com a figura 1.

### 3 – LEITURA COMPLEMENTAR

Dentro de determinados processos industriais, tem-se a necessidade de reversão do sentido de rotação dos motores para retrocesso do ciclo de operação. Para esta finalidade, as chaves reversoras constituem-se em dispositivos de manobra



ideais, pois reúnem as seguintes características: comando a distância, elevada durabilidade mecânica, pequeno volume, alta confiabilidade e manutenção mínima.

#### 4 – MATERIAL UTILIZADO

Material	Cód. WEG	Símbolo
1 módulo de botão com 2NA e 2NF	MBD-013.	
3 fusíveis para o circuito de força (6A)	MBD-004	
2 contatores de força	MBD-005	
1 relé bimetálico	MBD-007	
1 amperímetro	MBD-020	
1 voltímetro	MBD-019	
1 motor trifásico	M1	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	
2 lâmpadas sinalizadoras	MBD-014	

#### 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### 5.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1ª coluna: Etapa
- 2ª coluna: Risco/perigo
- 3ª coluna: Modos de detecção
- 4ª coluna: Efeitos
- 5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

##### 5.2 – Acionamento com chave reversora

Na bancada de acionamentos, monte o circuito de comando da Fig. (1). Chame o professor para conferir o circuito. Acione o botão S1 e verifique se o circuito funciona com o esperado. Pressione o botão S0. Em seguida acione o botão S2 e verifique se o circuito funciona com o esperado. Por fim, pressione S0 novamente.

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF  
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

Desligue a chave geral, desenergizando a bancada. Monte o circuito de força mostrado na figura 1 observando a sequência de fases.

Conecte o motor M1 ligado em delta de acordo com a tensão da rede conforme indicado na placa do motor.

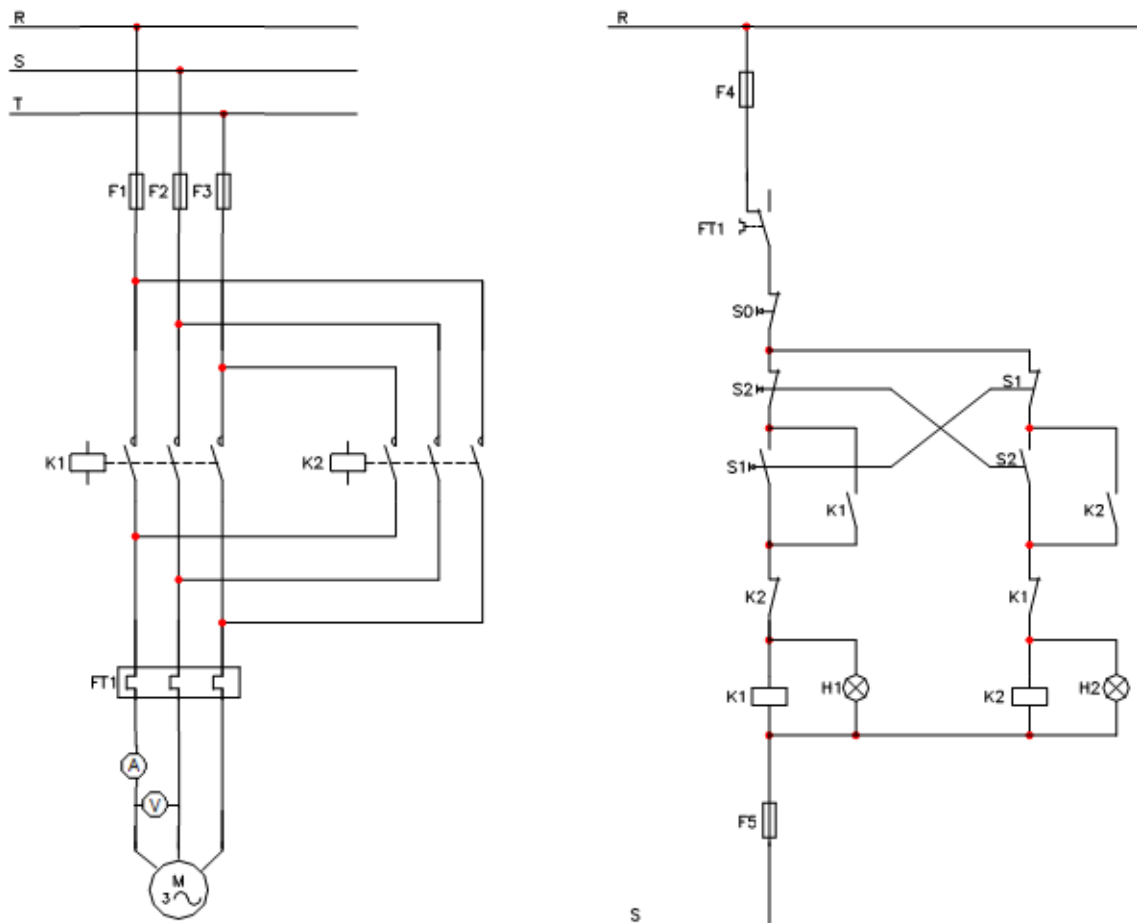


Figura 1

Após o circuito montado, chame o professor para conferir o circuito. Dê partida no motor observando corrente de pico ( $I_p$ ), a corrente em regime permanente ( $I$ ) e a corrente no momento da reversão ( $I_{\text{reversão}}$ ).

Preencha a tabela abaixo com os valores de tensão e corrente.

Tabela 1

$I_p$ (A)	$I_{\text{reversão}}$ (A)	$I$ (A)	$V$ (V)

Faça a reversão do sentido de giro do motor, pressionando a botoeira de desligar e depois pressionando a botoeira de ligar do sentido inverso.

## 6 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

- A) Qual a função dos contatos normalmente aberto imediatamente antes das bobinas de K1 e K2?
- B) O que aconteceria se os dois contadores forem acionados simultaneamente?
- C) Compare os valores de correntes obtido. A corrente de reversão é maior que a de pico? Justifique.
- D) Qual a desvantagem em inverter o sentido do giro com o motor ainda em movimento?
- E) Como funciona a reversão trifásica com chave fim de curso? Dê exemplos de sua aplicação.
- F) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.
- G) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## **4.9 PARTIDA DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO**

Assim como nos outros experimentos esse experimento está focado na prática do aluno na montagem do circuito proposto. Este roteiro visa também discutir de que forma a chave estrela-triângulo diminui a corrente de partida e quais as suas principais vantagens e desvantagens.

O pré-relatório pede para que o aluno explique passo a passo o funcionamento da partida com chave estrela-triângulo. Isso ajuda para que o aluno já venha para o laboratório entendendo melhor sobre o ensaio a ser realizado.

A introdução teórica explica matematicamente como ocorre a redução da corrente de partida na configuração estrela-triângulo. Discute também as vantagens e desvantagens desse tipo de partida.

Na parte 1 do procedimento experimental o aluno deve montar a chave estrela-triângulo e medir as correntes e tensões pertinentes para a observação de sua aplicação.

Na parte 2 o aluno terá que fazer uma pequena modificação no circuito de comando para que motor possa partir através de uma partida direta. Em seguida deve medir as grandezas pertinentes.

O item “relatório” traz uma discussão comparativa entre as partidas direta e com chave estrela-triângulo à partir dos dados colhidos no procedimento experimental. O aluno terá também que comparar se a relação entre a configuração estrela e delta está de acordo com a teoria. E por fim o aluno terá que fazer uma comparação com a partida compensadora (com auto trafo).

O item “Leitura Complementar” traz normas à respeito de partida de motores e normas de segurança no trabalho (NR10).

O tempo estimado para este experimento é de 2 horas.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## PARTIDA DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO

### ATENÇÃO:

**SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à seqüência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”;
- e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

O objetivo deste experimento é propiciar ao aluno a prática da montagem de uma partida estrela-triângulo para um MIT (motor de indução trifásico).

### 2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Descreva passo a passo um ciclo completo de funcionamento da partida estrela-triângulo de acordo com as figuras 4 e 5.

### 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

A corrente de partida direta de um motor de indução pode chegar entre 4 e 10 vezes a corrente nominal do motor. O conjugado pode chegar até a 200% do valor nominal. Os métodos mais difundidos para reduzir a corrente utilizam o mesmo princípio: redução de tensão de partida do motor.

Com a diminuição da tensão na partida temos a diminuição da corrente e o do conjugado. A corrente é relacionada com a tensão à partir da lei de Ohm:  $I = E/Z$ . E o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão aplicada ao motor:  $T = kV^2$ . Onde  $k$  é uma constante que depende das características do motor.

Existem vários métodos de redução da corrente de partida através da redução da tensão na partida: chaves estáticas (SOFTSTARTER), partida compensada – autotransformador, chave estrela-triângulo. Nesse experimento vamos focar na partida através da chave estrela-triângulo.

A partida estrela-triângulo requer acesso aos 2 terminais de cada fase do estator totalizando em 6 terminais como podemos ver na figura 5. Com acesso a esses terminais será possível conectar o MIT em estrela ou em delta.

Analisando o esquema elétrico da figura 5 vemos que acionando as contadoras K1 e K3 temos o motor ligado na configuração estrela. Quando as contadoras K1 e K2 estiverem acionadas teremos a ligação do motor em triângulo.

Utilizamos o relé de tempo KT1 (figura 4) para fazer a troca automática da ligação de estrela para delta após o período setado no relé.

A tensão aplicada na bobina na configuração estrela é:  $\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}$ , onde  $V_{LL}$  é a tensão de linha. Para a configuração delta a tensão aplicada na bobina é  $V_{LL}$ .

Vamos comparar o valor da **corrente de linha** nas duas configurações. Para a configuração estrela temos:

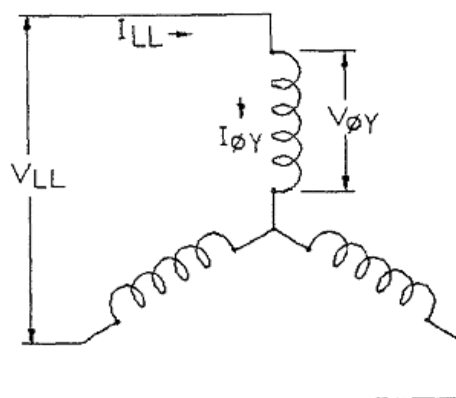


Figura 1 – Configuração Estrela

$$V_{LL} = \text{cte}$$

$$V_{\phi Y} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\phi Y} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}Z_{\phi}}$$

$$I_{LL} = I_{\phi Y}$$

$$I_{LL} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}Z_{\phi}}$$

Para a configuração em triângulo temos:

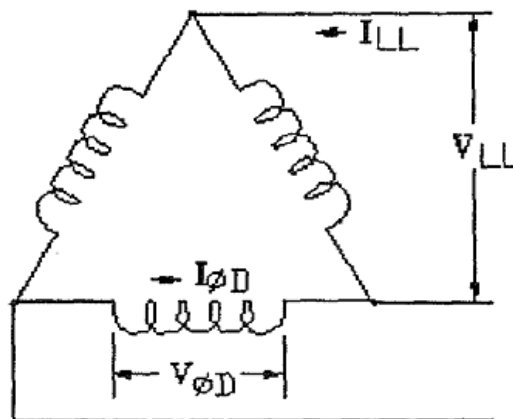


Figura 2 – Configuração triângulo

$$V_{LL} = \text{cte}$$

$$V_{\phi D} = V_{LL}$$

$$I_{\phi D} = \frac{V_{LL}}{Z_{\phi}}$$

$$I_{\phi D} = \frac{I_{LL}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{LL} = (V_{LL}/Z_{\phi}) \times \sqrt{3}$$

Comparando a corrente de linha nos dois casos temos:

$$\frac{I_{LLD}}{I_{LLY}} = \frac{(V_{LL}/Z_{\phi}) \times \sqrt{3}}{V_{LL}/(\sqrt{3}Z_{\phi})}$$

$$\frac{I_{LLD}}{I_{LLY}} = 3$$

$$I_{LLY} = \frac{I_{LLD}}{3}$$

A corrente de linha em estrela é 3 vezes menor que em delta. Como o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão,  $T = kV^2$ , o conjugado em estrela diminui  $(\sqrt{3})^2$  em relação ao triângulo, ou seja, também diminui 3 vezes.

As vantagens e desvantagens de se utilizar a partida através da chave estrela-triângulo estão descritas a seguir.




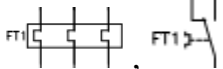





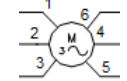


#### Vantagens:

- ✓ Dimensões relativamente reduzidas. Só é acrescentado um contator ao sistema de partida direta.
- ✓ Custo reduzido.
- ✓ Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal

#### Desvantagens:

- ✓ Partida estrela-triângulo só é possível para motores adaptados para esse tipo de partida. 6 terminais.
- ✓ O conjugado de partida é 3 vezes menor na configuração estrela. Devido a esse pequeno valor essa partida é mais utilizada em motores cuja partida se dá em vazio.
- ✓ Tensão de rede deve coincidir com a tensão em triângulo.

## 4 – MATERIAL UTILIZADO

Material	Cód. WEG	Símbolo
1 botão N.A.	MBD-011.	
1 botão N.F.	MBD-012	
3 contatores de força	MBD-005	
1 relé bimetálico	MBD-007	
1 relé de tempo	MBD-009	
2 voltímetro de bancada	MBD-019	
1 amperímetro de bancada	MBD-020	
1 amperímetro digital (portátil)	Laboratório	
1 lâmpada sinalizadora	MBD-014	
1 motor trifásico 220/380V	M1	
3 fusíveis para o circuito de força (4A)	MBD-004	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	



## 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 5.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1<sup>a</sup> coluna: Etapa

2<sup>a</sup> coluna: Risco/perigo

3<sup>a</sup> coluna: Modos de detecção

4<sup>a</sup> coluna: Efeitos

5<sup>a</sup> coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 5.2 – Partida Estrela-Triângulo

Verificar se a chave seccionadora da bancada encontra-se desligada como mostrado na figura 3.



Figura 3 – bancada desenergizada

Monte primeiramente o circuito de comando descrito na figura 4. Ajuste o relé de tempo para 20 segundos.

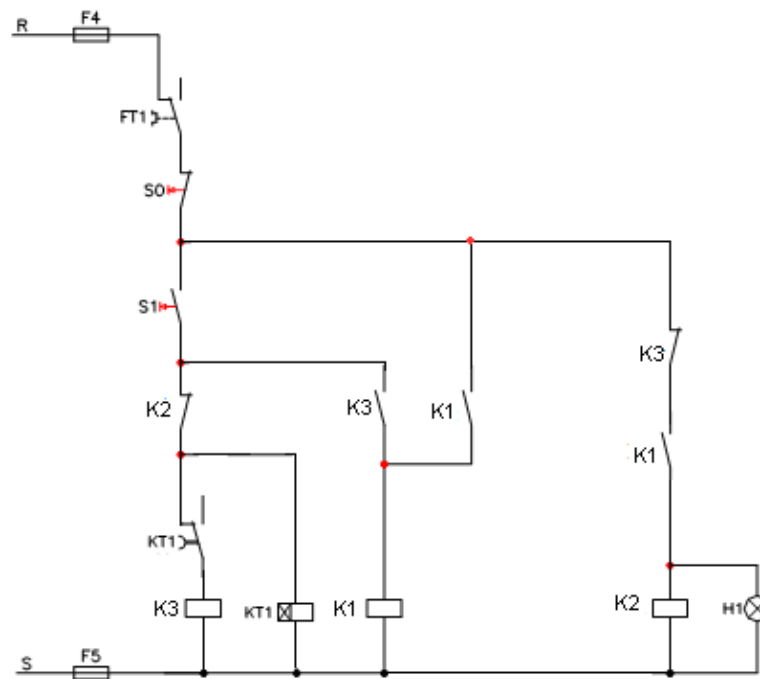


Figura 4 – Circuito de comando para partida estrela-triângulo

Chame o professor ou monitor para conferir a montagem do circuito de comando. Energize a bancada. Teste o circuito de comando pressionando a botoeira S1 e verifique o correto funcionamento das contadoras K1, K2 e K3. Desligue o circuito apertando a botoeira S0.

Desenergize a bancada como mostrado na figura 3.

Monte o circuito de força como descrito na figura 5. Verifique a sequência de fases R, S, T. Vamos utilizar dois amperímetros: um analógico chamado de "A" para a medida da corrente de pico e outro digital denominado "Ad" para as outras medidas.

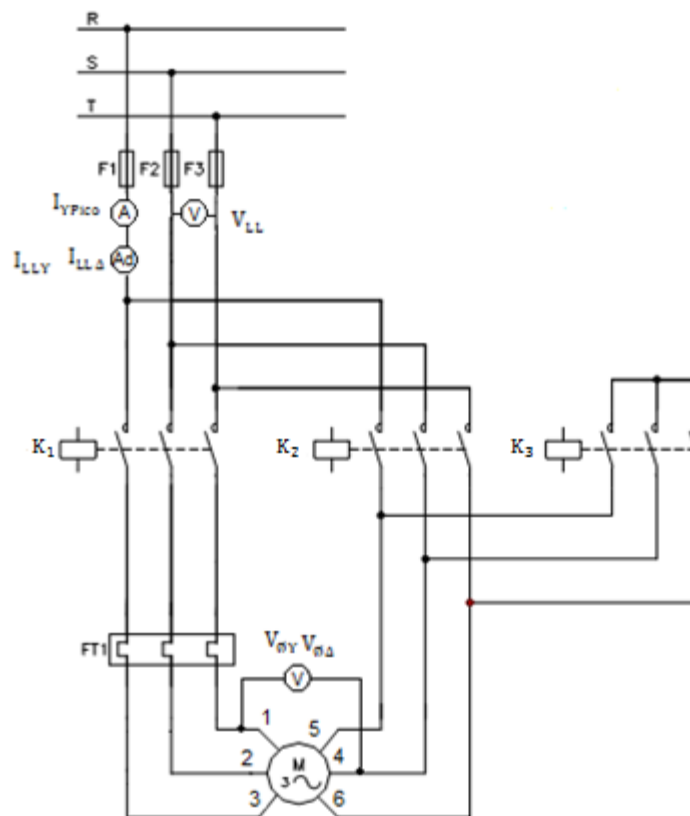


Figura 5 – Circuito de força para partida estrela-triângulo.

Mostre o circuito para o professor/monitor. Ligue a bancada. Dê a partida no motor pressionando a botoeira S1.

Anote as seguintes medidas:

$V_{LL}(V)$	$I_{YPico}(A)$	$I_{LLY}(A)$	$V_{OY}(V)$	$I_{LLA}(A)$	$V_{OΔ}(V)$

### 5.3 - Partida Direta

Para fazermos uma partida direta e compararmos com a partida compensadora troque a botoeira S1 de lugar de acordo com a figura 6 abaixo:

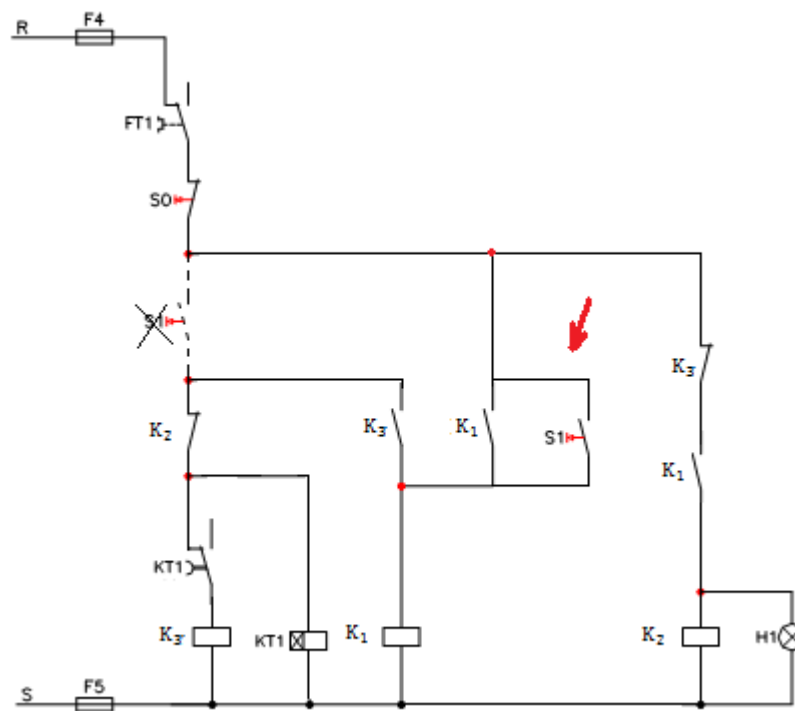


Figura 6

Inicie o circuito normalmente pressionando a botoeira S1. Com isso o motor terá uma partida direta na configuração delta. Faça a medida da corrente de pico e da corrente após o transiente:

$V_{LL}(V)$	$I_{\Delta Pico} (A)$	$I_{LL\Delta}(A)$	$V_{\Theta\Delta}(V)$

## 6 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

- Compare a corrente de pico na partida estrela-triângulo com a partida direta em triângulo. Quais as vantagens em diminuir a corrente de partida do motor?
- Qual a relação entre a corrente na configuração triângulo e a corrente na configuração delta? Está de acordo com os fundamentos teóricos?
- Faça uma comparação entre as vantagens de se usar a partida estrela-triângulo e a partida compensadora (autotrafo).
- Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.
- Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## 7 – LEITURA COMPLEMENTAR

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### ABNT NBR 5410:2004

#### 6.5.1 Motores elétricos

6.5.1.2 Limitação das perturbações devidas à partida de motores

6.5.1.2.1 Para evitar perturbações que comprometam a rede de distribuição, a própria instalação e o funcionamento das demais cargas por ela alimentadas, devem ser observados:

a) as restrições impostas pela empresa distribuidora de energia elétrica à partida de motores;

NOTA Para partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5 CV), em instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a empresa distribuidora local.

b) os limites de queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor, conforme estabelecido em 6.2.7.1.

Para satisfazer os requisitos das alíneas a) e b), pode ser necessário empregar dispositivos que limitem a corrente de arranque do motor.

### NORMA REGULAMENTADORA Nº 10 – 2004

#### SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

#### 10.8 - HABILITAÇÃO, QUALIFICAÇÃO, CAPACITAÇÃO E AUTORIZAÇÃO DOS TRABALHADORES.

10.8.8.2 Deve ser realizado um treinamento de reciclagem bienal e sempre que ocorrer alguma das situações a seguir:

a) troca de função ou mudança de empresa;

b) retorno de afastamento ao trabalho ou inatividade, por período superior a três meses;

c) modificações significativas nas instalações elétricas ou troca de métodos, processos e organização do trabalho.

## 8 – BIBLIOGRAFIA

[1] Artigo IEEE: LOW IMPACT MOTOR CONTROL With STAR-DELTA STARTING.  
[PHILLIP W. ROWLAND, P.E] 1998

[2]Artigo IEEE : Reduced-Voltage Starting of Squirrel-Cage Induction Motors  
[FRANK M. BRUCE, III, RICHARD J. GRAEFE, ARTHUR LUTZ, AND MICHAEL D. PANLENER] 1984

[3]Livro: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS [JOÃO MAMEDE FILHO

#### **4.10 PARTIDA DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM AUTOTRANSFORMADOR**

O objetivo deste ensaio é permitir ao aluno a prática da montagem uma partida com autotrafo para um MIT. Este roteiro visa também discutir de que forma a chave compensadora diminui a corrente de partida e quais as suas principais vantagens e desvantagens.

O pré-relatório pede para que o aluno explique passo a passo o funcionamento da partida com chave compensadora à partir das figuras de força e comando do relatório. Este pré-relatório bem feito tende a facilitar bastante a montagem do experimento.

A introdução teórica explica matematicamente como ocorre a redução da corrente de partida com autotransformador. Discute também as vantagens e desvantagens desse tipo de partida.

Da mesma forma que no ensaio sobre partida estrela-triângulo o procedimento experimental visa comparar as partidas direta e com autotransformador. O aluno deverá montar a partida compensadora e depois, através de uma pequena modificação no circuito de comando, montar a partida direta.

O item “relatório” visa comparar os tipos de partida montadas no laboratório à partir dos dados coletados; analisar o comportamento da corrente de linha neste tipo de partida e comparar este tipo de partida com a partida estrela-triângulo

O item “Leitura Complementar” traz normas à respeito de partida de motores e normas de segurança no trabalho (NR10).

O tempo estimado para este experimento é de 2 horas.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## PARTIDA DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM AUTOTRANSFORMADOR

### ATENÇÃO:

**SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à seqüência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”;
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Permitir ao aluno a prática da montagem uma partida com autotrafo para um MIT (motor de indução trifásico).

### 2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Descreva passo a passo um ciclo completo de funcionamento da partida compensadora de acordo com as figuras 3 e 4.

### 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Na partida direta de um motor de indução a corrente pode chegar entre 4 e 10 vezes a corrente nominal do motor. O conjugado pode chegar a 200% do valor nominal. Os métodos mais difundidos para reduzir a corrente utilizam o mesmo princípio: redução de tensão de partida do motor.

Com a diminuição da tensão na partida temos a diminuição da corrente e o do conjugado. A corrente é relacionada com a tensão à partir da lei de Ohm:  $I = E/Z$ . E o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão aplicada ao motor:  $T = kV^2$ . Onde  $k$  é uma constante que depende das características do motor.

Existem vários métodos de redução da corrente de partida através da redução da tensão na partida: chaves estáticas (SOFTSTARTER), partida compensada – autotransformador, chave estrela-triângulo. Nesse experimento vamos focar na partida compensadora.

O autotransformador possui o seu primário ligado na rede e o secundário ligado no motor. Pelo esquema elétrico da figura 4 vemos que quando as contadoras  $K_A$  e  $K_{AY}$  estão ligadas e  $K_M$ , desligada vemos que dependendo do ajuste do TAP do autotransformador o motor pode receber 100, 80, 65 ou 0% da tensão da linha. Quando temos somente a contadora  $K_M$  ligada temos a linha de alimentação ligada diretamente no motor. O relé de tempo KT1 tem a função de após um tempo determinado mudar a alimentação do motor da tensão reduzida para a tensão de suprimento.

Quando aplicamos 80 ou 65% da corrente da tensão a corrente **NO MOTOR** diminui da mesma forma para 80 ou 65%, porém, nesses casos a corrente **DE LINHA** tem um valor ainda menor que a corrente no motor devido à relação de transformação das espiras.

No caso em que o TAP está ajustado para 65% a tensão no motor será 65% da tensão de linha. Pela lei de ohm a corrente **NO MOTOR** será 65% da corrente na partida direta. O índice "PD" significa Partida Direta. Então:

$$V_M = 0,65 \cdot V_L$$

$$I_M = 0,65 \cdot I_{PD}$$

Com o TAP em 65% a relação de transformação do autotransformador é de 1:0,65. Então a corrente vista pela linha, no primário do autotransformador será:

$$I_L = (0,65)I_M, \text{ ou seja}$$

$$I_L = (0,65)^2 \cdot I_{PD}$$

Da mesma forma a corrente de linha para o TAP ajustado em 80% será  $I_L = 0,80^2 I_{PD}$ . A pequena corrente de linha é a grande razão da popularidade do autotransformador.

Esse método produz o maior conjugado por ampère de corrente de linha quando comparado a todos os outros métodos de partida por redução de tensão. Por



isso esse tipo de partida é utilizado em motores que necessitam de um alto conjugado de partida como britadeiras, máquinas acionadas por correias transportadoras e outros.

Pela figura 1 temos que na partida direta a corrente atinge 600% do valor nominal. Usando o autotransformador ajustado em 65% a corrente de linha será  $(65\%)^2$  da corrente de partida direta, ou seja, 253,5% como mostrado na figura.

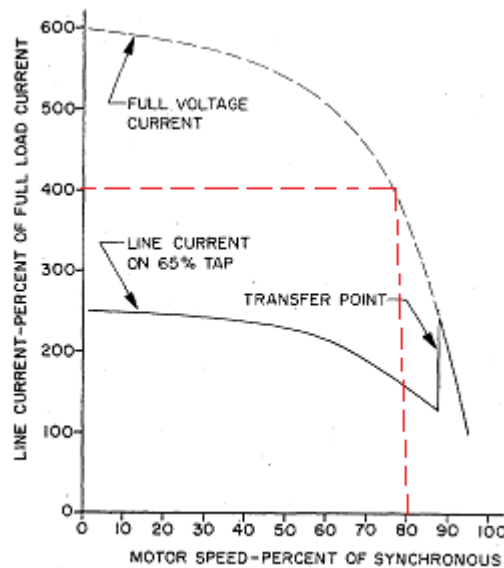


Figura 1

Pela figura 1 podemos ver que quando o motor chega a 90% da velocidade síncrona o relé de tempo atuou fazendo com que o motor fosse alimentado diretamente pela rede. É muito importante escolher um ponto adequado de transferência para não termos uma elevada corrente. Se a transferência ocorresse a 80% da velocidade síncrona teríamos uma corrente de 400% da corrente nominal, que é um valor alto.

A seguir estão listadas as vantagens e desvantagens do método:

#### Vantagens:

- ✓ Na configuração 65% a corrente de linha se aproxima à corrente de linha da partida estrela triângulo, no entanto o conjugado da partida compensadora é maior.
- ✓ Produz um grande conjugado para cada unidade de corrente de linha.
- ✓ Na transferência da tensão reduzida para a tensão de suprimento o autotransformador serve como uma impedância limitando o valor da corrente.

#### Desvantagens:

- ✓ Custo superior ao da chave estrela-triângulo.
- ✓ Dimensões superiores ao da chave estrela-triângulo acarretando um maior espaço ocupado.

#### 4 – MATERIAL UTILIZADO

1 botão N.A.	MBD-011	
1 botão N.F.	MBD-012	
3 contatores de força	MBD-005	
1 relé bimetálico	MBD-007	
1 relé de tempo	MBD-009	
2 voltímetro de bancada	MBD-019	
1 amperímetro de bancada	MBD-020	
2 amperímetro digital (portátil)	Laboratório	
2 lâmpadas sinalizadoras	MBD-014	
1 auto-transformador trifásico	T1	
1 motor trifásico	M1 ou M3	
3 fusíveis para o circuito de força (4A)	MBD-004	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	

#### 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### 5.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1ª coluna: Etapa
- 2ª coluna: Risco/perigo
- 3ª coluna: Modos de detecção
- 4ª coluna: Efeitos
- 5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

## 5.2 – Partida com autotrafo ( ou com chave compensadora)

Verificar se a chave seccionadora da bancada encontra-se desligada como mostrado na figura 2.



Figura 2

Monte primeiramente o circuito de comando descrito na figura 3. Ajuste o relé de tempo para 20 segundos.

Chame o professor ou monitor para conferir a montagem do circuito de comando. Energize a bancada. Teste o circuito de comando pressionando a botoeira S2 e verificando o correto funcionamento das contadoras  $K_M$ ,  $K_A$  e  $K_{AV}$ . Desligue o circuito apertando a botoeira S0.

Desenergize a bancada como mostrado na figura 2.

Monte o circuito de força como descrito na figura 3. Verifique a sequência de fases R, S, T. Ajuste o TAP do autotrafo para 65%. Observe que para cada fase do autotrafo temos 3 conexões: uma no 100% outra no 0% e outra no TAP que pode ser de 65, 80 ou 100%.

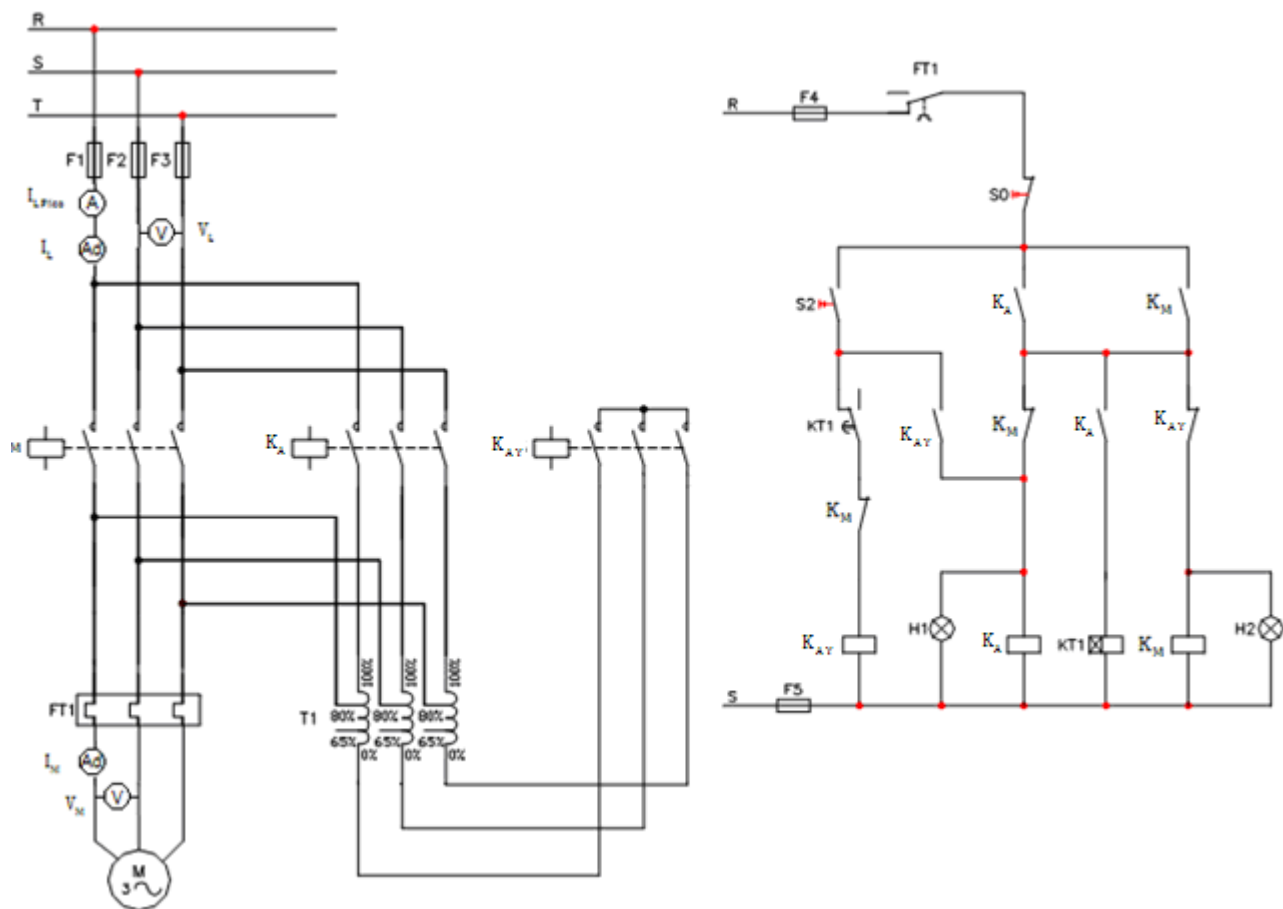


Figura 3

Mostre o circuito para o professor/monitor. Ligue a bancada. Dê a partida no motor pressionando a botoeira S2.

Fazer as medições segundo a tabela abaixo, onde  $I_{LPico}$  é a corrente de pico de linha na partida do motor,  $I_L$  é a corrente de linha do circuito logo após sua partida,  $V_L$  é a tensão de linha aplicada ao circuito e  $V_M$  é a tensão no motor durante a atuação do autotrafo,  $I_M$  é a corrente no motor durante o autotrafo e  $I_D$  é a corrente quando o motor está ligado diretamente na linha.

$I_{LPico}$ (A)	$I_L$ (A) = 65% de $I_M$	$I_M$ (A)	$V_L$ (V)	$V_M$ (V) = 65% de $V_L$	$I_D$

### 5.3 – Partida Direta

Para fazermos uma partida direta e compararmos com a partida compensadora troque a botoeira S2 de lugar de acordo com a figura 5 abaixo:

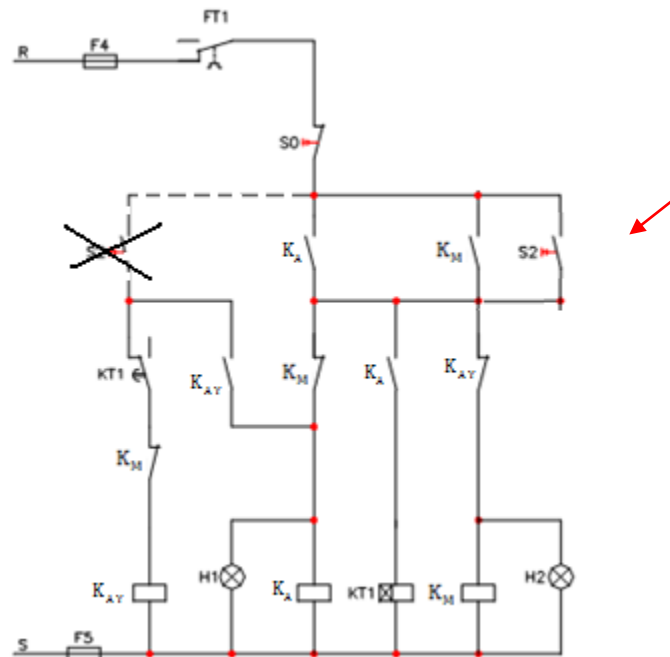


Figura 5

Inicie o circuito normalmente pressionando a botoeira S2. O motor deverá partir através da partida direta. Faça a medida da corrente de pico e da corrente após o transiente:

$I_{LPico}$ (A)	$I_L$ (A)	$V_L$ (V)

## 6 – RELATÓRIO

(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)

A) Qual a relação entre a corrente de pico da partida direta e da partida compensadora quando o TAP está regulado em 65%? Qual a justificativa teórica? Observe a figura 1 para uma melhor visualização do problema.

B) Por que a partida compensadora é utilizada para motores com cargas grandes? Fale sobre o conjugado de partida.

C) Quais as vantagens em diminuir a corrente de partida do motor.

D) Faça uma comparação entre as vantagens de se usar a partida estrela-triângulo e a partida compensadora.

E) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.

F) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## 7 – LEITURA COMPLEMENTAR

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### ABNT NBR 5410:2004

#### 6.5.1 Motores elétricos

6.5.1.2 Limitação das perturbações devidas à partida de motores

6.5.1.2.1 Para evitar perturbações que comprometam a rede de distribuição, a própria instalação e o funcionamento das demais cargas por ela alimentadas, devem ser observados:

a) as restrições impostas pela empresa distribuidora de energia elétrica à partida de motores;

NOTA Para partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5 CV), em instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a empresa distribuidora local.

b) os limites de queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor, conforme estabelecido em 6.2.7.1.

Para satisfazer os requisitos das alíneas a) e b), pode ser necessário empregar dispositivos que limitem a corrente de arranque do motor.

### NORMA REGULAMENTADORA Nº 10 – 2004

#### SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

#### 10.8 - HABILITAÇÃO, QUALIFICAÇÃO, CAPACITAÇÃO E

#### AUTORIZAÇÃO DOS TRABALHADORES.

10.8.8.2 Deve ser realizado um treinamento de reciclagem bienal e sempre que ocorrer alguma das situações a seguir:

a) troca de função ou mudança de empresa;

b) retorno de afastamento ao trabalho ou inatividade, por período superior a três meses;

c) modificações significativas nas instalações elétricas ou troca de métodos, processos e organização do trabalho.

## **8– BIBLIOGRAFIA**

[1] Artigo IEEE : Reduced-Voltage Starting of Squirrel-Cage Induction Motors [FRANK M. BRUCE, III, RICHARD J. GRAEFE, ARTHUR LUTZ, AND MICHAEL D. PANLENER] 1984

[2] Livro: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS [JOÃO MAMEDE FILHO]

#### 4.11 SOFT-STARTER

Este ensaio tem o objetivo de permitir ao aluno a prática da configuração de um *soft starter* para atuar nas seguintes configurações: acionamento e desligamento em rampa de tensão, pulso de tensão de partida e corrente limitada de partida. Na introdução teórica foi dada uma explicação sobre cada uma dessas configurações

O pré-relatório pede ao aluno que explique o princípio de funcionamento do *soft starter*. Nesta etapa o aluno deverá rever os princípios de eletrônica de potência aplicada ao *soft starter*, como mostrados no capítulo 3.

O procedimento experimental foi desenvolvido de forma que o aluno consiga configurar a chave de partida estática conforme descrito na introdução teórica.

No final o aluno deverá explicar a aplicação da rampa de tensão, falar sobre o golpe de aríete – comentado no capítulo 3 – e comentar sobre a corrente de partida na configuração contendo um pulso de tensão de partida.

O item “Leitura Complementar” traz normas à respeito de partida de motores e normas de segurança no trabalho (NR10).

O tempo estimado para este ensaio é de 1 hora e 30 minutos.



# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## *SOFT-STARTER*



### **ATENÇÃO:**

**SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

## **1 – OBJETIVO**

Permitir ao aluno a prática da configuração de um *SOFT STARTER* para atuar nas seguintes configurações: acionamento e desligamento em rampa de tensão, pulso de tensão de partida e corrente limitada de partida.

## **2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

- Descreva o princípio de funcionamento do *SOFT STARTER*. Explique o funcionamento dos tiristores e comente sobre a configuração tiristorizada anti-paralela.

## **3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR**

### 3.1 Acionamento em rampa de tensão

Através do controle do acionamento dos tiristores, como mostrado na seção 3.5.1, o SOFTSTARTER parte o motor com uma tensão de partida reduzida  $V_p$  e, durante um tempo de partida ajustado  $T_p$ , faz o valor da tensão aumentar gradativamente até a tensão nominal  $V_N$ . O acionamento em rampa pode ser visto na figura 3.11.

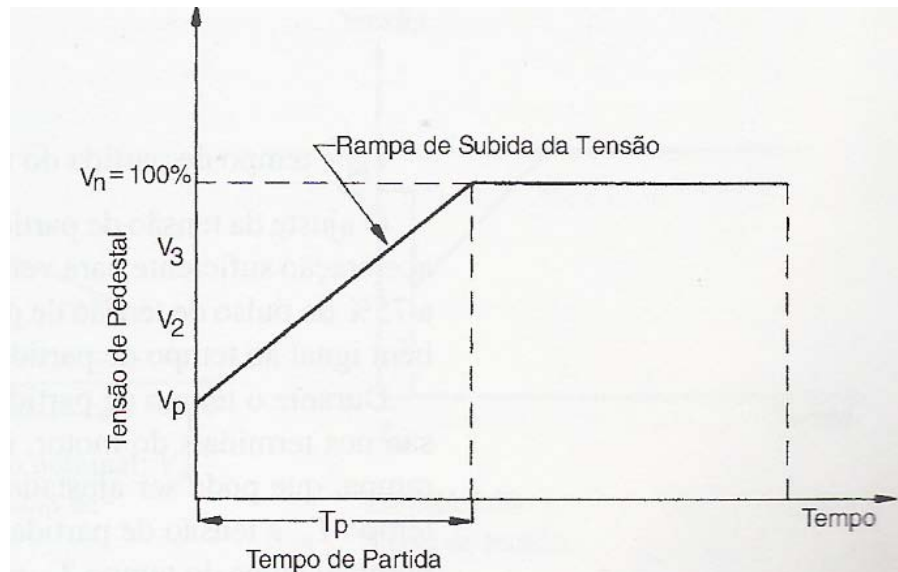


Figura 3.11. Rampa de subida de tensão. Fitzgerald

O valor de  $V_p$  deve ser o menor possível porém deve gerar um conjugado de partida maior que o conjugado da carga.

Os valores de  $V_p$  e  $T_p$  são ajustáveis pelo controlador, mostrado na Fig. (3.9).

Na rampa de subida o sistema de controle e disparo atua no ângulo de disparo de cada SCR, alterando linearmente o valor da tensão RMS de saída. Pode-se observar este fato na Fig. (3.13)



Figura 3.13. Alteração no ângulo de disparo dos SCR's na rampa de subida.

### 3.2 Desaceleração em rampa de tensão

A desaceleração do motor de indução trifásico usando o *SOFT-STARTER* pode ser feita de 2 formas: desligando repentinamente a tensão de alimentação do motor e

através da diminuição da tensão de forma contínua durante um tempo  $T_p$ , como mostrado na Fig. (3.14).

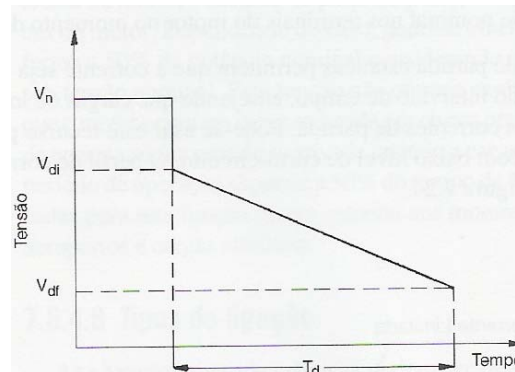


Figura 3.14. Desaceleração em rampa de tensão

Na desaceleração em rampa de tensão, a tensão RMS é abaixada para um degrau de tensão inicial  $V_{di}$  (em geral 90% da tensão nominal  $V_n$  [2]). A tensão é então diminuída em forma de rampa durante um tempo ajustável  $T_p$  até um valor de desligamento final  $V_{df}$  (cerca de 85% da tensão de partida direta [2]), neste instante a tensão é desligada do motor.

A atuação dos SCR's na senóide da curva de tensão durante a rampa de descida pode ser vista na Fig. (3.15).



Rampa de Tensão na Parada

Figura 3.15. Variação da tensão na rampa de descida à partir da variação do ângulo de atuação dos gatilhos dos SCR's.

### 3.3 Pulso de tensão de partida

Nos casos em que é necessário um conjugado grande durante um curto período inicial para atuar em cargas de inércia elevada utiliza-se a configuração pulso de tensão na partida.

Essa configuração está mostrada na Fig. (3.16). O valor da tensão inicial  $V_{aj}$  deverá ser suficiente elevado para se obter um conjugado maior que o conjugado inicial da carga. Depois de um tempo ajustável  $T_{aj}$  a tensão é diminuída e a partir daí ocorre uma aceleração em rampa de tensão.

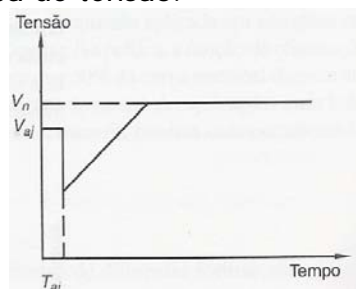


Figura 3.16. Pulso de tensão de partida.

Um exemplo de aplicação são bombas utilizadas em estações de saneamento, que muitas vezes acumulam lama ou detritos em seu interior e precisam de um elevado conjugado de partida para vencer a inércia inicial. Pela figura pode-se ver que nesta configuração o SOFT STARTER não limita a corrente de partida.

### 3.4 Limitação da corrente de partida

A chave de partida estática pode ser configurada para limitar a corrente do motor durante um determinado período de tempo como mostrado na figura 3.17. Esse sistema faz com que cargas de alta inércia sejam aceleradas a custa de baixas correntes. É usada para cargas de alto ou constante conjugado de partida.

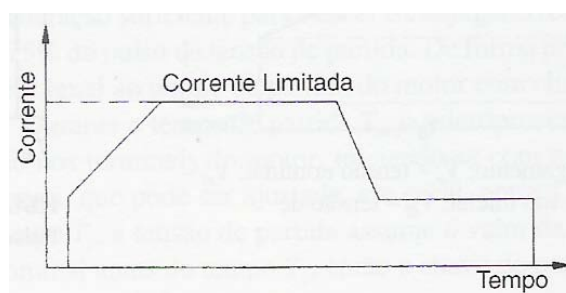


Figura 3.17

## 4 – MATERIAL UTILIZADO

- Bancada de acionamentos;
- Módulo com *SOFT STARTER*, modelo SSW-03;

## 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 5.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1<sup>a</sup> coluna: Etapa
- 2<sup>a</sup> coluna: Risco/perigo
- 3<sup>a</sup> coluna: Modos de detecção
- 4<sup>a</sup> coluna: Efeitos
- 5<sup>a</sup> coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 5.2 – Padrão de fábrica

Antes de começar o experimento ajuste o SSW-03 para os parâmetros padrão de fábrica efetuando os seguintes comandos:

- 1- Desabilite a Soft-Starter
- 2- Ajuste P00 = ON, libera acesso para alteração dos parâmetros
- 3- Ajuste P46 = ON, carrega os valores padrões. O display indicará a mensagem "EPP" durante o carregamento.

### 5.3 – Acionamento em rampa de tensão

Ajuste a tensão de partida em 30% da tensão nominal e o tempo de partida para 10s através da configuração dos seguintes parâmetros:

- 1- Faça o ajuste descrito na seção 5.2
- 2- Ajuste P00 = ON, libera acesso para alteração dos parâmetros
- 3- Ajuste P01 = 40, tensão inicial igual a 30%
- 4- Ajuste P02 = 20, tempo de rampa de aceleração igual a 10s.
- 5- Coloque o visor do SSW3 no valor correspondente ao parâmetro P77, valor da tensão de saída imposta pelo soft-starter.
- 6- Chame o professor para conferir. Precione a tecla ⓘ e observe se a tensão varia de acordo como esperado e no tempo determinado.

## 5.4 – Desaceleração em rampa de tensão

Conforme a introdução teórica é preciso ajustar o degrau de tensão na desaceleração  $V_{di}$  e o tempo de desaceleração  $T_p$ . O valor de  $V_{di}$  é padronizado como 30% do valor nominal. Siga o seguinte procedimento:

- 1- Desligue o soft-starter apertando
- 2- Ajuste P00 = ON, libera acesso para alteração dos parâmetros
- 3- Ajuste P03 = 90, ou seja,  $V_{di} = 90\%$
- 4- Ajuste P04 = 20, ou seja,  $T_p = 20s$
- 5- Coloque o visor do SSW3 no valor correspondente ao parâmetro P77, valor da tensão de saída imposta pelo soft-starter.
- 6- Chame o professor para conferir. Precione a tecla e observe se a tensão varia de acordo como esperado e no tempo determinado.

## 5.5 – Pulso de tensão de partida

Ajuste a tensão de partida em 80% da tensão nominal e o tempo do pulso em 2s. Siga o seguinte procedimento:

- 1- Desligue o soft-starter apertando
- 2- Ajuste P00 = ON, libera acesso para alteração dos parâmetros
- 3- Ajuste P41 = 2, tempo do pulso igual a 2s.
- 4- Ajuste P42 = 80, tensão do pulso igual a 80% da tensão nominal.
- 5- Coloque o visor do SSW3 no valor correspondente ao parâmetro P77, valor da tensão de saída imposta pelo soft-starter.

Chame o professor para conferir. Precione a tecla e observe se a tensão varia de acordo como esperado e no tempo determinado.

## 5.6 – Limitação da corrente de partida

O valor da corrente limitada é uma porcentagem em cima do valor da corrente nominal da chave, que pode assumir vários valores de acordo com o anexo II.

Escolha a corrente nominal da chave com um valor de 120A e a a porcentagem igual a 150%. Siga a seguinte rotina:

- 1- Desligue o soft-starter apertando
- 2- Ajuste P00 = ON, libera acesso para alteração dos parâmetros
- 3- Ajuste P22 = 120, corrente nominal da chave igual a 120A (menor valor possível)
- 4- Ajuste P11 = 150, corrente limitada igual a 150% da corrente nominal da chave  
Coloque o visor do SSW3 no valor correspondente ao parâmetro P73, valor da corrente de saída em ampéres.
- 5- Chame o professor para conferir. Precione a tecla e observe se ocorre alguma limitação de corrente.

## 6 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

- A) Qual a aplicação da desaceleração em rampa de tensão?
- B) O que é o golpe de aríete? Como o *soft-starter* pode amenizar este efeito?
- C) Como se comporta a corrente de partida do motor quando o *soft-starter* está configurado para atuar com pulso de tensão de partida?
- D) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.
- E) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## 7 – LEITURA COMPLEMENTAR

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### ABNT NBR 5410:2004

#### 6.2.7 Quedas de tensão

6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio. Para satisfazer os requisitos das alíneas a) e b), pode ser necessário empregar dispositivos que limitem a corrente de arranque do motor.

### NORMA REGULAMENTADORA Nº 10 – 2004

#### SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

##### 10.2.8 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO COLETIVA

10.2.8.1 Em todos os serviços executados em instalações elétricas devem ser previstas e adotadas, prioritariamente, medidas de proteção coletiva aplicáveis, mediante procedimentos, às atividades a serem desenvolvidas, de forma a garantir a



segurança e a saúde dos trabalhadores. (210.018-5/I=4)

10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança. (210.019-3/I=3)

## 8– BIBLIOGRAFIA

[1] AZEVEDO, V. L. MENDES, L. E. Análise transitória do motor de indução trifásico. Projeto final de graduação UnB, 2008.

[2] FILHO, JOÃO MAMEDE. Instalações Elétricas Industriais. Sétima Edição, 2007.

[3] ROSA, ALEX DA. Simulação de um soft-starter para acionamento de motores de indução. Trabalho de graduação, universidade federal do Goiás.

[4] WEG. Manual da Soft-Starter SSW-03 plus.



## **ANEXO I – PARÂMETROS DE LEITURA**

- P71 - Versão de software.
- P72 - Valor da corrente de saída em nível percentual da chave.
- P73 - Valor da corrente de saída em ampéres.
- P74 - Valor da potência ativa em kW.
- P75 - Valor da potência aparente em kVA.
- P76 - Valor do fator de potência da carga.
- P77 - Valor da tensão imposta pela soft-starter sobre o motor em valor percentual.
- P81 - Valor da temperatura do dissipador em °C (Precisão de  $\pm 5\%$ )
- P82 - Valor do estado da proteção térmica do motor em valor percentual.
- P96 - Valor do último Erro de Hardware ocorrido.
- P97 - Valor do penúltimo erro de hardware ocorrido.
- P98 - Valor do ante- penúltimo erro de hardware ocorrido.
- P99 - Valor do primeiro (1º) dos últimos 4 erros de hardware ocorrido.

## ANEXO II – PARÂMETRO P22

### 6.3.11 - P22 - Corrente Nominal da Chave (A)

- ☒ Sua função é ajustar o software a determinadas condições do hardware, servindo como base para as funções de: Limitação de corrente na partida (P11); sobrecorrente imediata (P12) em regime; subcorrente em regime (P14).

	Valores possíveis	Padrão Fábrica
P22 - Corrente nominal da chave	120, 170, 205, 290, 340, 410 ,475, 580, 670, 800, 950, 7700, 1400A	De acordo com o modelo

## 4.12 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Este ensaio tem o objetivo de propiciar ao aluno uma noção básica de como operar um inversor de frequência. A partir deste ensaio o aluno será capaz de configurar o inversor para atuar com duas formas de controle: escalar (v/f) ou vetorial *sensoleless*. O ensaio visa monitorar o inversor tanto através do IHM como remotamente, através das chaves de comando.

No pré-relatório o aluno terá que explicar o princípio de funcionamento do inversor de frequência para poder se familiarizar com o equipamento.

A introdução teórica explica sobre as duas formas de controle citadas e o procedimento experimental traz o passo a passo de como fazer a configuração para essas duas formas de controle.

O tempo estimado para este ensaio é de 1 hora e 30 minutos.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## INVERSOR DE FREQUÊNCIA



### ATENÇÃO:

**SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

Permitir ao aluno a prática da configuração de um *inversor de frequência* para atuar na configuração: escalar e sensoreless.

### 2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Descreva o princípio de funcionamento do inversor de frequência. Explique o funcionamento do conversor e o inversor internos ao inversor de frequência.

### 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Existem 2 formas de controle usadas pelo inversor de frequência: controle escalar e controle vetorial.

#### 3.1 Controle Escalar

Neste tipo de controle o motor opera com a relação tensão/ frequência constante para qualquer valor da velocidade de operação. Quando  $V/f = \text{constante}$  o valor do conjugado permanece constante. O conjugado é dado pela seguinte equação [1]:

$$C = K \cdot \Phi \cdot I_r \cdot \cos\psi \quad (1)$$

$K$  – constante de conjugado

$I_r \cdot \cos\psi$  – componente da corrente do motor

O fluxo  $\Phi$  é dado pela seguinte equação [1]:

$$\Phi = \frac{V_m}{K \cdot f_m \cdot N} \quad (2)$$

$V_m$  - tensão aplicada nos terminais do motor

$K$  – constante de conjugado;

$f_m$  - frequência absorvida pelo motor

$N$  - número de espiras do enrolamento (constante)

Mantendo  $V_m/f_m$  constante o fluxo  $\Phi$ , Eq. (2), permanece constante. Com  $\Phi$  constante o conjugado  $C$ , Eq. (3.19), permanece constante.

O controle escalar é recomendado para os seguintes casos – acionamento de vários motores com o mesmo inversor, corrente nominal do motor menor que 1/3 da corrente nominal do inversor, quando o inversor é ligado para testes sem o motor.

Neste método o erro da velocidade é calculado em função do escorregamento do motor. Pode-se conseguir uma precisão de 1%.

#### 3.2 Controle vetorial

No controle vetorial o motor opera com uma elevada precisão de velocidade e uma rápida resposta na mudança de velocidade. Existem dois tipos de controle vetorial:

- 1- Sem sensor (Sensoless). Aconselhado para a maioria das aplicações. Precisão da velocidade de 0,5%. Tem uma resposta dinâmica rápida. Maior robustez na variação de velocidade. Ajustes necessários feitos automaticamente
- 2- Com realimentação controlada por campo magnético (encoder): controlam a velocidade e a corrente do motor tomando como referência a corrente do motor. Possui as mesmas vantagens do sensoreless com alguns benefícios adicionais:

controle de conjugado e velocidade até velocidade zero e precisão de até 0,01%  
no controle de velocidade

#### 4 – MATERIAL UTILIZADO

- Bancada de acionamentos;
- Módulo com inversor de frequência, série CFW-09;

#### 5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### 5.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1ª coluna: Etapa

2ª coluna: Risco/perigo

3ª coluna: Modos de detecção

4ª coluna: Efeitos

5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

##### 5.2 – Programação via Interface homem- máquina (IHM)

O primeiro passo para utilizar o inversor de frequência é programar seus parâmetros.


Ligue a chave geral da bancada de acionamentos que fica do lado CC. Faça os seguintes ajustes:

1. P201 = 0; seleção do idioma como português.
2. P296 = tensão nominal do inversor; essa tensão é a mesma da tensão nominal do motor a ser acionado, olhe os dados de placa do motor 2M1.
3. P440 = tensão nominal do motor; olhe os dados de placa do motor 2M1.
4. P400 = corrente nominal do motor; olhe os dados de placa do motor 2M1.
5. P403 = 60Hz; frequência nominal do motor.
6. P402 = velocidade nominal do motor; olhe os dados de placa do motor 2M1.
7. P404 = potência nominal do motor em HP; olhe os dados de placa do motor 2M1.
8. P406 = 0; tipo de ventilação igual ao auto ventilado.

Após essas configurações aparecerá uma mensagem no display LCD: "inversor pronto"

### 5.3 – Controle escalar 60Hz


Para configurar o inversor a trabalhar com a relação V/f constante faça os seguintes ajustes

1. P000 = 5; libera o acesso para alteração de parâmetros.
2. P202 = 0; configura o tipo de controle para V/f 60Hz.
3. P002 = 150; quando o motor partir ele vai chegar até 150rpm.
4. O motor agora está pronto para uso. Chame o professor e dê partida no motor clicando em .


Para visualizar a tensão de saída acesse o parâmetro P007, para acessar a frequência entregue ao motor acesse P005 e para visualizar a potência de saída do inversor acesse P009. Altere o valor da velocidade do motor, parâmetro P002, em 5 valores diferentes, o mais espaçado possível, e preencha a tabela abaixo:

Tabela 1

$\omega$ (rpm)	V (V)	f (Hz)	P(kW)

Desligue o motor pressionando .

Para a utilização do inversor remotamente através das chaves de comando faça os seguintes ajustes:

1. Pressione .
2. Acione as chaves de comando remoto do inversor e observe o que acontece
3. Mostre ao professor.


### 5.3 – Controle vetorial sensoreless

Para que o sistema de controle seja configurado no tipo vetorial sensoreless faça os seguintes ajustes:


- 1- P000 = 5 ; libera o acesso para alteração de parâmetros.
- 2- P202 = 3, configura o tipo de controle para vetorial sensoreless.
- 3- P400 = tensão nominal do motor; olhar dado de placa.
- 4- P401 = corrente nominal do motor; olhar dado de placa.
- 5- P403 = 60; frequência nominal do motor igual a 60Hz.
- 6- P402 = velocidade nominal do motor; olhar dado de placa.
- 7- P404 = potência nominal do motor em HP; olhar dado de placa.
- 8- P406 = 0; ventilação do motor ajustado ao tipo auto ventilado.
- 9- P408 = 1; o auto ajuste dos outros parâmetros será feito automaticamente se girar o motor.

Nesta hora o auto ajuste começará a rodar, aguarde um instante para a configuração automática.

10-P002 = 150; velocidade para a rotação do motor será de 150rpm.

11-Pressione ; o visor LCD dará uma mensagem: "inversor pronto"

12-Chame o professor para a conferência.

13-Ligue o motor pressionando .

## 6 – BIBLIOGRAFIA

- [1]FILHO, JOÃO MAMEDE. Instalações Elétricas Industriais. Sétima Edição, 2007.
- [2] FITZGERALD A. E, KINGSLEY C. , UMANS S.D. Máquinas Elétricas. Sexta edição, 2006
- [3] WEG. Manual do Inversor de Frequência CFW-09. 2002



#### 4.13 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Este ensaio tem o objetivo de propiciar ao aluno um contato inicial com o CLP.

A primeira parte da introdução teórica traz a arquitetura e o ciclo de funcionamento do CLP. Esta explicação é muito importante pois muitos alunos ainda não tiveram nenhum contato com o CLP. A segunda parte possui a explicação de alguns componentes da linguagem de programação *LADDER*. Com essa explicação e com a explicação contida nos procedimentos experimentais o aluno consegue realizar o experimento. Porém para um melhor entendimento do *LADDER* é aconselhável que o aluno procure um tutorial. O manual do CLP TP02 tem uma explicação sobre *LADDER* e sobre o software PC12 que ajudam bastante no desenvolvimento de aplicações para o CLP.

A aplicação utilizada para estudar os conceitos do CLP foi a reversão no sentido de rotação do motor. O processo foi dividido em estados e entre cada estado foi criada uma transição que é acionada se uma determinada condição for satisfeita. Este procedimento utilizando estados, condições e transições podem ser utilizado em várias outras aplicações.

No final do experimento o aluno irá aprender a utilizar o IHM para visualizar e alterar dados.

Como relatório, o aluno deverá elaborar uma nova programação em *LADDER* para uma partida com chave estrela-triângulo.

O tempo estimado para este ensaio é de 2 horas.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

### ATENÇÃO:

#### SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”;
- e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

O objetivo deste experimento é propiciar ao aluno a prática do uso do controlador lógico programável (CLP). Visa apresentar conceitos básicos do funcionamento do CLP e da linguagem de programação LADDER.

### 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS – LEITURA COMPLEMENTAR

Os CLP's são dispositivos de controle que recebem dados na sua entrada processam-os de acordo com a programação armazenado em sua memória controlam os atuadores conectados a sua saída.

#### 2.1 – Arquitetura e ciclo de funcionamento dos CLP's

O CLP é dividido em 4 partes básicas citadas na figura 1a e descritas a seguir:

1 – Unidade Central de Processamento (CPU). É composta por microcontroladores ou micriprocessadores. Recebe as informações dos cartões de entrada e, de acordo com a programação gravada na memória, processa a informação e atualiza os cartões de saída.

2 – Memória. Em geral são classificadas em 3 tipos:

- a) Memória do programa supervisor: responsável pelo gerenciamento de todas as atividades do CLP. Não pode ser apagado pelo usuário.
- b) Memória do usuário: armazena programa desenvolvido pelo usuário que possui a lógica de programação
- c) Memória de dados: armazena valores do programa do usuário e valores de entrada e saída

3 - Módulo/cartão de entrada e saída (E/S). Possibilita a comunicação entre o processo ou máquina controlada e o PLC. As entradas e saídas podem ser digitais ou analógicas. Os sinais digitais são utilizados como contatos abertos ou fechados, liga ou desliga. Os sinais analógicos são utilizados quando é necessário comparar o valor do sensor com um valor padrão *setado* pelo usuário.

4 – Fonte de alimentação. Converte a tensão de rede de 110 ou 220V para tensão contínua, geralmente 24V, para a alimentar os circuitos eletrônicos, entradas e saídas.

O ciclo de funcionamento do CLP está descrito na figura 1b e citado a seguir:

- Início: Verifica o funcionamento da C.P.U, memórias, circuitos auxiliares, estado das chaves, existência de um programa de usuário, emite aviso de erro em caso de falha. Desativa todas as as saídas.

- Verifica o estado das entradas: Lê cada uma das entradas, verificando se houve acionamento. O processo é chamado de ciclo de varredura.

- Compara com o programa do usuário: Através das instruções do usuário sobre qual ação tomar em caso de acionamento das entradas o CLP atualiza a memória das saídas.

-Atualiza as saídas: As saídas são acionadas ou desativadas conforme a determinação da CPU. Um novo ciclo é iniciado.

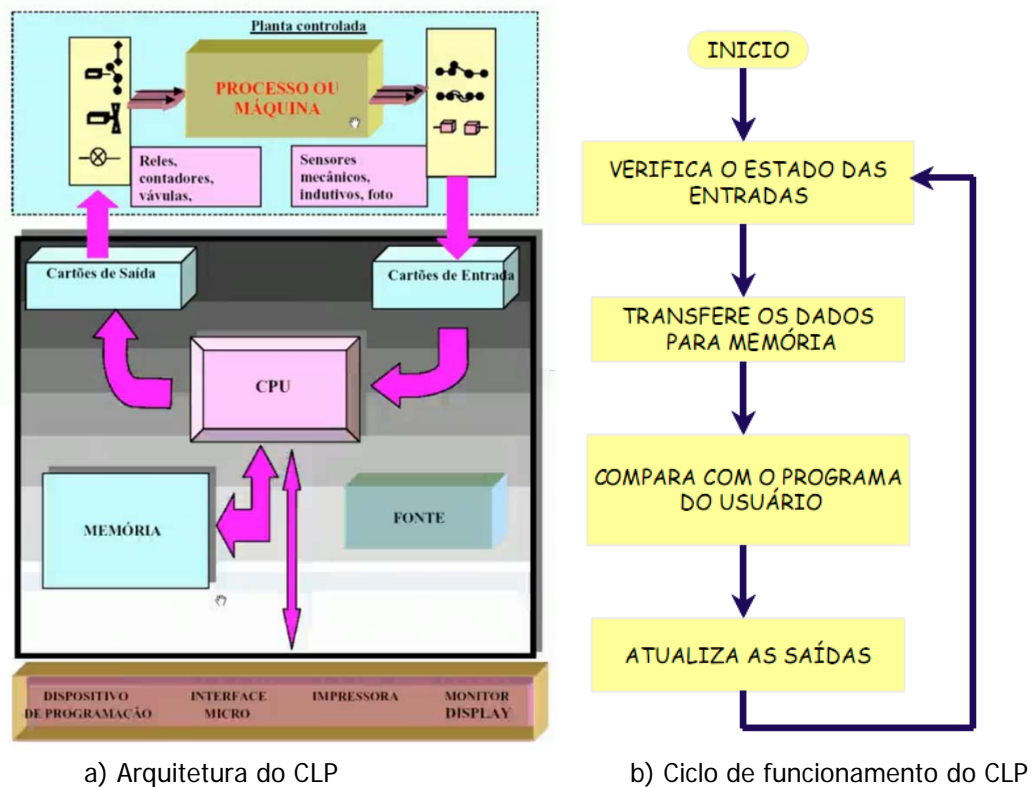


Figura 1

A linguagem de programação que usaremos neste experimento é o LADDER. Seus principais componentes estão descritos abaixo:

## 2.2 Componentes LADDER no software PC12.

### - Circuitos de intertravamento

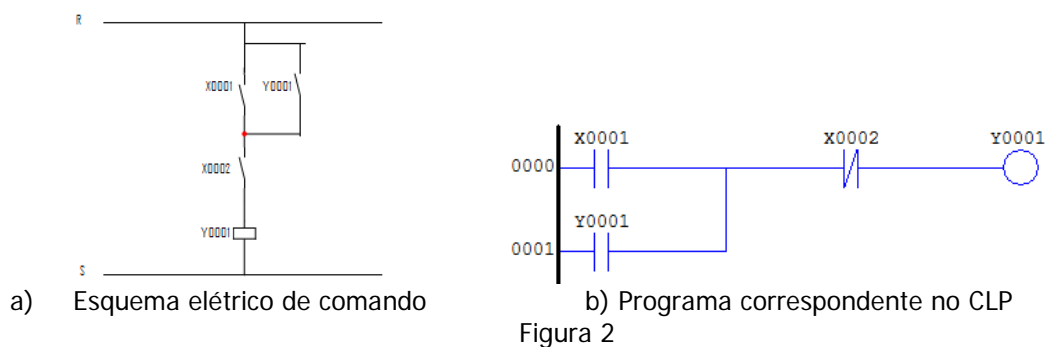


Figura 2

Quando acionamos (aplicando uma tensão de 24VCC) a entrada 1 do CLP o contato normalmente aberto  $\text{X0001}$  se fecha. Com isso a saída 1 do CLP  $\text{Y0001}$  é acionada. Assim o contato  $\text{X0001}$  se fecha fechando o circuito de selo. Quando a entrada 2 do CLP for acionada o contato  $\text{X0002}$  se abrirá abrindo o circuito.

Como os circuitos de selo são muito utilizados o CLP TP02 WEG possui componentes especiais que realizam a operação de ativar (*SET*) e desativar (*RESET*) bobinas de forma retentora.

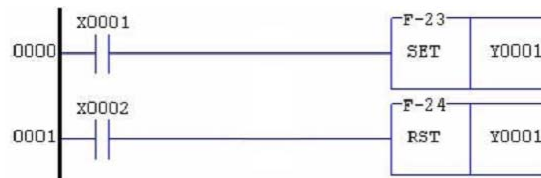


Figura 3

Figura 3 – Quando a entrada 1 é ativada a saída Y0001 é selada. Quando ativamos a entrada 2 a saída 1 é aberta

### - Temporizador

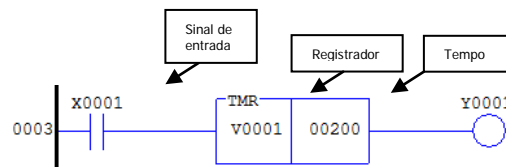


Figura 04

A contagem de tempo é iniciada quando o sinal de entrada está em ON, quando o sinal de entrada estiver em OFF o temporizador é zerado. O primeiro campo do temporizador possui o registrador, que armazena a contagem. No segundo campo temos o tempo pré-determinado de contagem. A base do tempo é 100ms, nesse caso o temporizador contará 20s. Quando a contagem chega no tempo determinado a saída do temporizador é energizada.

As principais variáveis para armazenamento de dados no TP02 são:

- X: Pontos de entrada. Os pontos entre X0001 e X0012 são entradas reais do CLP. Acima de X00012 são entradas virtuais do CLP.
- Y: Pontos de saída. Entre Y0001 e Y0008 representam as saídas reais do CLP. Acima de Y0008 são saídas virtuais.
- C: Pontos auxiliares.
- V: Registrador. Usado para registrar temporizadores e contadores.

## 3 – MATERIAL UTILIZADO

- CLP TP02-20MR/20MT da bancada de automação.
- IHM modelo OP/05 da bancada de automação.
- SOFTWARE TP-02-PC12(v2.1)\*
- Cabo TP202PG (conexão do computador com o CLP)
- Conversor TP232PG (conexão do computador com o CLP)

- 2 Contatores
- 1 motor de indução trifásico
- 1 fusível para o circuito de comando (2A)
- 3 fusíveis para o circuito de força (4A)

*\* Esse software juntamente com o seu tutorial podem ser baixados gratuitamente no site da WEG: <http://www.weg.net/br>*

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1ª coluna: Etapa
- 2ª coluna: Risco/perigo
- 3ª coluna: Modos de detecção
- 4ª coluna: Efeitos
- 5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 4.2 – Programação utilizando a linguagem LADDER

Para o aluno se familiarizar com a linguagem de programação LADDER iremos desenvolver o comando referente à reversão temporizada do sentido de rotação de um MIT. O comando será dividido em 3 estados, como descrito na figura 05. O ciclo é iniciado ativando a entrada 1 do CLP.

- Estado 0 - girar em um sentido durante 20s;
- Estado 1 - desligar o motor durante 2s
- Estado 2 - girar para o outro sentido durante 20s
- Estado 3 – desligar o motor durante 2s

Ao término do estado 3 deve-se retornar ao estado 0. O ciclo terá fim se acionarmos a entrada 2 do CLP.

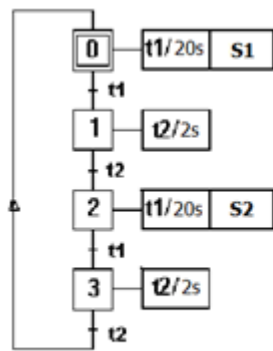


Figura 5

Tabela 1

Estado	Elemento do CLP
E0	C1000
E1	C1001
E2	C1002
E3	C1003

Para a programação desse problema usaremos alguns passos:

- 1) Definir um ponto auxiliar para cada estado como mostrado na tabela 1.
- 2) Associar as ações e condições do problema a elementos do CLP com as tabelas 2 e 3.

Tabela 2

Condição	Elemento do CLP
t1 (temporizador de 20s)	C0020
t2 (temporizador de 2s)	C0002

Tabela 3

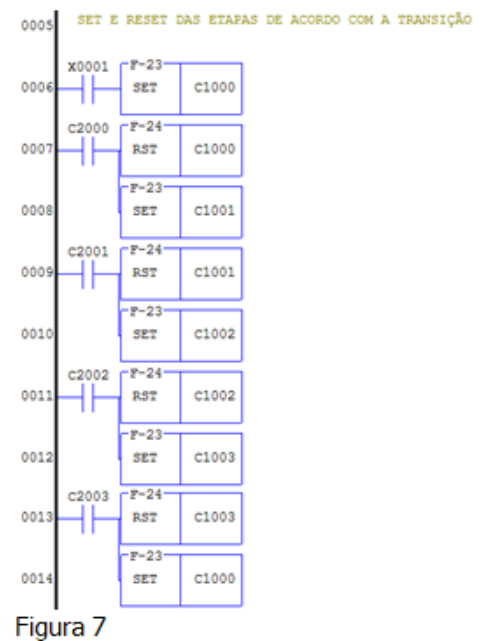
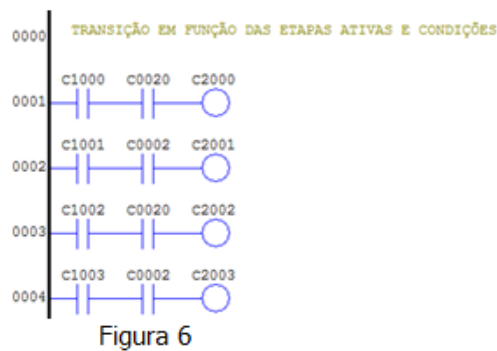
Ação	Elemento do CLP
Gira no sentido 1	Y0001
Gira no sentido 2	Y0002

- 3) Associar a transição a 1 ponto interno do CLP.

Tabela 4

Transição	Ponto auxiliar
E0 p/ E1	C2000
E1 p/ E2	C2001
E2 p/ E3	C2002
E3 p/ E4	C2003

- 4) Monta-se as TRANSIÇÕES em função das ETAPAS ATIVAS e das CONDIÇÕES de cada transição, como mostrado na figura 6. A transição serve para desativar ações indesejadas das etapas passadas e ativar a nova etapa. Para inserir os elementos do CLP no programa entre no menu *LTools*.
- 5) Monta-se a parte central do programa LADDER ativando e desativando as ETAPAS de acordo com o acionamento de cada uma das transições, como mostrado na figura 7. Para inserir o SET ou RESET selecione o menu *LTools*, clique na opção F. Uma janela será aberta em seguida. No campo da função coloque 23 para SET ou 24 para RESET. No outro campo coloque a variável que se deseja acionar ou desligar.



- 6) Monta-se o programa LADDER o qual aciona as saídas e os temporizadores de acordo com cada etapa de acordo com a figura 8.
- 7) Por fim cria-se uma programação que desliga todos os estados com o acionamento da entrada 2 do CLP.

#### 4.3 – Comunicação do computador com o CLP e montagem do circuito.

Interligue o computador ao CLP através do cabo TP202PG e do conversor TP232PG.

No menu *Edit* na opção *PLC Type Selection* selecione o *20/28 Points Base Module* pois estamos trabalhando com o PLC TP02-20MR.

No menu PLC e clique em *Com Port*, selecione a porta de comunicação e o *TP02*. Em seguida clique em *link*. O computador irá se comunicar com o PLC.

No menu *Edit* entre em *System Memory*. Atribua o valor 1 para a variável WS012. Com isso o PLC poderá se comunicar com o IHM do modelo OP-05.

Apague toda a memória do CLP entrando no menu PLC e selecionando a opção *Clear All Memory*.

Entre no menu PLC e entre na opção *Write*. Na janela que irá aparecer selecione as 2 opções: *Write Program Data* (escreve o programa em LADDER no CLP) e *Write System Data* (Escreve dados para configuração do sistema).

Clique em *Run* do menu PLC.

Agora o CLP está pronto para uso!

Monte o circuito descrito na figura 10.

Para ligar o sistema ative a chave Q01 e para desligar ativer Q02.



Para monitorar o que está acontecendo no CLP pelo computador entre no menu *Monitor* e selecione a opção *Ladder*. Para finalizar a monitoração selecione a opção *Abort* do mesmo menu.

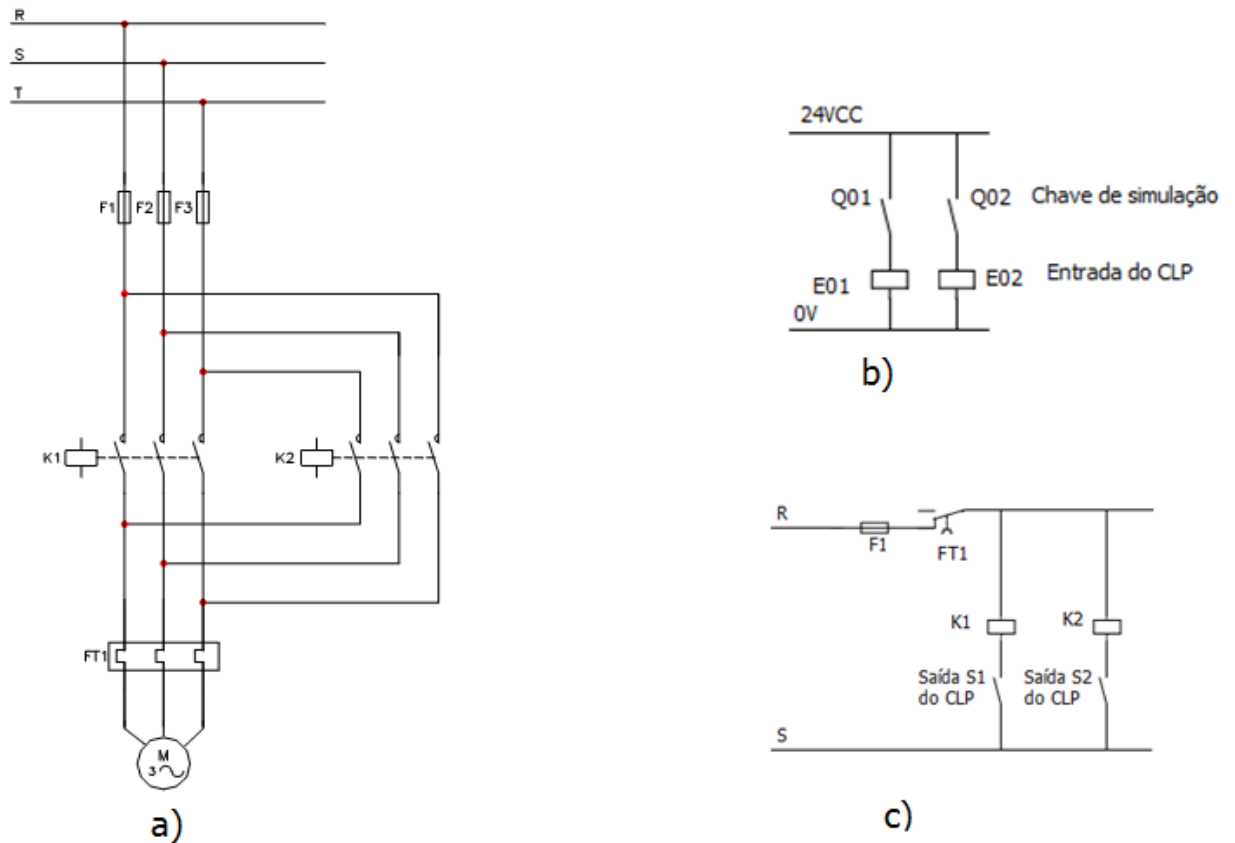


Figura 10 – a) circuito de força; b) e c) circuito de comando.

#### 4.4 Utilização da IHM.

Com o sistema funcionando desconecte o computador do CLP e conecte o IHM.

Na opção TMR o usuário verá o valor do registrador e do tempo pré-fixado dos temporizadores.

Altere o valor do tempo dos temporizadores e clique a tecla ENT. Mostre ao professor.

## 5 – RELATÓRIO

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

Desenvolva uma programação em LADDER para acionar uma partida estrela-triângulo.

## 7 – LEITURA COMPLEMENTAR

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### IEC 61131-3

A IEC estabelece como padrão 5 linguagens de programação:

- Structure Text (ST);
- Ladder Diagram\* (LD);
- Instruction List (IL);
- Sequential Function Chart (SFC);
- Function Block Diagram (FBD);

*\* Linguagem usada neste experimento.*

### PLCopen

- O PLCopen é uma organização que tem por missão resolver assuntos relacionados à programação nos sistemas de controle para incentivar a utilização das normas internacionais neste domínio.
- Uma das suas contribuições é incentivar a independência de hardware a partir do código de software

## 8 – BIBLIOGRAFIA

[1] Site: <http://www.iec.ch/index.html>

[2] Site: <http://www.plcopen.org/>

[3] Livro: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS [JOÃO MAMEDE FILHO]

[4] Apostila de Automação Industrial – EEP – Escola de Engenharia de Piracicaba [Prof. Marcelo Eurípedes]

[5] Tutorial de uso do software de programação dos CLPs WEG TP02 – PC12

#### 4.14 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA ATRAVÉS DO USO DE BANCO DE CAPACITORES

Permitir ao aluno a prática da correção do fator de potência utilizando a bancada de correção do fator de potência para partida direta.

No pré-relatório a partir dos dados de placa do motor de indução trifásico o aluno deverá dimensionar a quantidade de energia reativa necessária para atingir um fator de potência de 0,92. Terá que dimensionar também quantos estágios do banco de capacitores será necessário para essa correção.

A introdução teórica trata à respeito dos parâmetros do controlador de fator de potência e como operá-lo.

Enfim na parte experimental o aluno irá conectar a bancada de acionamentos contendo o módulo de partida direta com a bancada de correção de fator de potência. A parte experimental explica passo a passo como configurar o controlador de FP e como *startar* o processo.

No final o aluno irá comparar o pré-relatório com o experimento desenvolvido. Com o auxílio do esquema elétrico da bancada, anexado no final do roteiro, o aluno deverá explicar o ciclo de funcionamento da banda de correção de FP. O contato do aluno com o esquema elétrico tem o objetivo de desenvolver a habilidade de o aluno ler e interpretar esse tipo de diagrama.

O apêndice II deste trabalho foi colocado no final deste ensaio.

O tempo estimado para este ensaio é de 1 hora e 30 minutos.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA ATRAVÉS DO USO DE BANCO DE CAPACITORES

### **ATENÇÃO:**

#### **SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à seqüência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”; e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### **1 – OBJETIVO**

Permitir ao aluno a prática da correção do fator de potência utilizando a bancada de correção do fator de potência para partida direta.

## 2 – PRÉ-RELATÓRIO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O motor de indução trifásico da bancada de acionamentos que será utilizado neste experimento possui:

- Potência: 3CV;
- Fator de potência: 0,8;
- Rendimento: 85%;

Responda as seguintes perguntas:

- a) Qual é a potência reativa capacitiva necessária para corrigir o fator de potência para 0,92?
- b) Na bancada de correção de fator de potência, cada estágio do banco de capacitores possui 6 capacitores de 0,8kVAr. Quantos estágios serão necessários para corrigir o fator de potência?

## 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 3.1 – Controlador de fator de potência RVC 6.

#### 3.1.1 – Parâmetros do controlador de potência

O controlador RVC 6, mostrado na figura 1 do anexo 1, possui 6 saídas podendo acionar até 6 banco de capacitores. Antes de iniciar sua utilização na Bancada de Correção de FP o aluno deverá configurar os seus parâmetros para o correto funcionamento do equipamento.

O RVC 6 possui 6 parâmetros que devem ser ajustados pelo usuário para o correta atuação do banco de capacitores:

- 1- **COS  $\phi$** . É o fator de potência almejado pelo usuário. Na legislação brasileira o fator de potência exigido é de 0,92
- 2- **C/k**. É a sensibilidade do controlador de FP. Representa o valor limite para o controlador ativar ou desativar um estágio de capacitor. Para rede trifásica o valor de C/k é calculado pela seguinte equação:

$$\frac{C}{k} = 0,62 \cdot \frac{Q \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k}$$

Onde Q: potência trifásica reativa de um estágio (kvar)

U: Tensão do sistema (V)

K: Relação do transformador de corrente.

- 3- **Fase.** A fase é escolhida de acordo com o esquema de conexão da alimentação do RVC e da conexão do sinal que vem do TC e é conectado no controlador.  
Para escolher a fase correta o usuário deverá comparar o esquema elétrico descrito no anexo 2 com a tabela descrita no anexo 5.
- 4- **Tempo de espera.** É o tempo mínimo entre o acionamento de 2 banco de capacitores. É recomendado um tempo mínimo de 40s.
- 5- **Saída.** Determina a quantidade máxima de acionamentos para o banco de capacitores.
- 6- **Sequência.** Este parâmetro se refere à sequência de acionamentos do banco de capacitores.

### 3.1.2 – Modos de operação do controlador RVC

Com o botão **mode** o aluno pode selecionar os diversos modos de operação do controlador RVC. Com os botões + e –, o aluno pode alterar os dados.

- **Modo MAN SET.** Neste modo o aluno pode fazer um ajuste manual dos parâmetros descritos na seção anterior.

- **Modo Auto SET.** Neste modo é possível fazer o ajuste automático dos parâmetros: C/k, fase, saída e sequência. Estando no modo Auto SET o aluno deve pressionar os botões + e – simultaneamente para a ativação. Ao começar a piscar. Quando Au parar de piscar os parâmetros já estarão ajustados, deve-se ajustar valor de cosφ desejado.

- **Modo AUTO.** Após o ajuste dos parâmetros tanto manual como automático o aluno deve deixar o controlador no modo **AUTO**. Nesse modo os estágios do banco de capacitores são

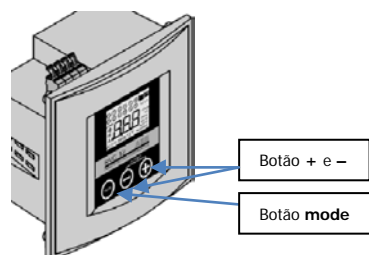


Figura 1

ativados e desativados automaticamente para alcançar o cosφ desejável.

- **Modo MAN.** Neste modo o aluno ativa e desativa o banco de capacitores manualmente através dos botões + e –.

As opções para a programação do Controlador, através dos botões **mode**, + e –, estão descritas no diagrama da figura 2.

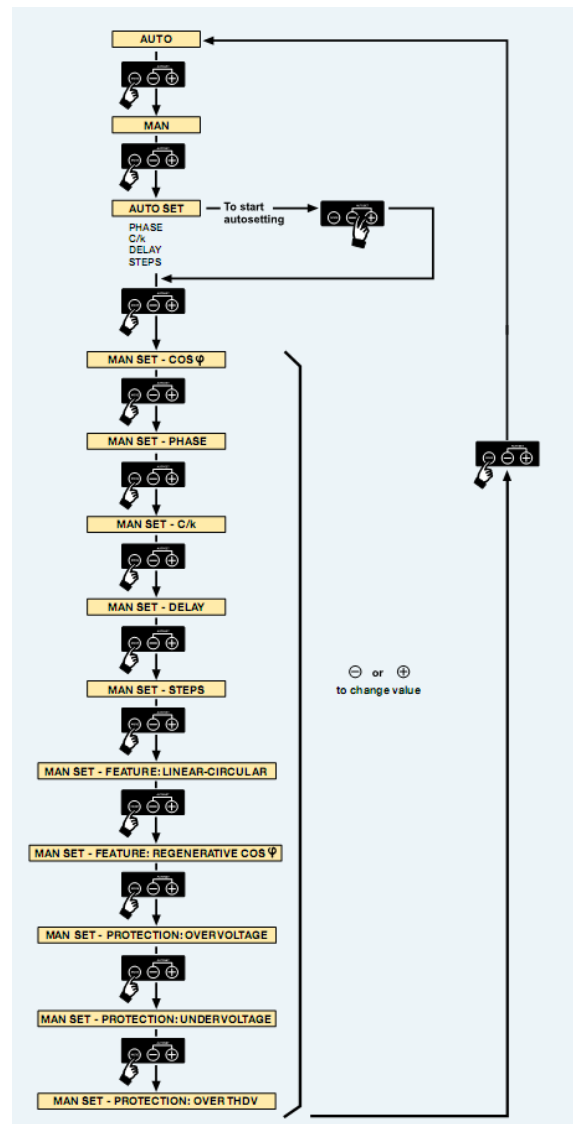


Figura 2

### 3 – MATERIAL UTILIZADO

- Bancada de correção de potência para partida direta.
- Bancada de acionamentos com módulo de partida direta.

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1ª coluna: Etapa

2ª coluna: Risco/perigo

3ª coluna: Modos de detecção

4ª coluna: Efeitos

5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 4.2 – Configuração manual do controlador de correção de fator de potência

Antes de começar o experimento o aluno deverá ler o anexo 1 para se familiarizar com o equipamento e para fazer a conexão da Bancada de Correção de Fator de Potência com a Bancada de Acionamentos através das tomadas 1W1 e 1W2. O módulo utilizado na bancada de acionamentos é o módulo de partida direta.

Após a conexão das bancadas ligue a chave geral da Bancada de Acionamentos (mostrada na figura 1b do anexo 1) para a energização das 2 bancadas.

Com as bancadas energizadas o controlador de fator de potência ligará automaticamente.

Primeiramente o aluno deverá fazer um ajuste manual de todos os parâmetros do controlador de FP como descritos na seção 3.1. Os valores a serem ajustados estão descritos abaixo.

1-  $\cos\phi = 0,92$

2- C/k. Sabendo que a relação do transformador de corrente é  $10/05$ , e que cada estágio do banco de capacitores possui 6 capacitores de 0,8kVAr cada, calcule a sensibilidade C/k.

3- Fase. Compare o esquema elétrico do anexo 2 com a tabela do anexo 5 para encontrar a fase.

4- Tempo de espera = 40s, mínimo recomendado pelo fabricante.

5- Saída = 6.

6- Sequência = 1:1:1:1

Após os ajustes dos parâmetros selecione o controlador para o modo **AUTO** através do botão **mode**. Agora os estágios serão ativados e desativados automaticamente. Verifique se a correção do fator de potência foi efetuado com sucesso.



### **4.3 – Configuração automática do controlador de correção de fator de potência**

Como explicado na seção 3.2 para a configuração automática pressione os botões + e – simultaneamente com o controlador de FP no modo AUTO SET. A tela “Au” do controlador começará a piscar.

Após a tela parar de piscar ajuste o controlador para o modo AUTO, no qual os estágios serão desativados automaticamente. Verifique se a correção do fator de potência foi efetuado com sucesso.

### **4.4 – Acionamento manual dos estágios do banco de capacitores.**

Como os parâmetros do controlador ajustados manualmente ou automaticamente, entre no modo MAN e use os botões + e – para ativar e desativar os estágios. Verifique se a correção do fator de potência foi efetuado com sucesso.

## **5 – RELATÓRIO**

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

A) Considerando que os parâmetros do controlador já estejam ajustados e que o controlador esteja no modo AUTO, explique como o sistema utilizado no laboratório funciona. Considere os esquemas elétricos dos anexos 2, 3 e 4.

B) Compare se a quantidade de estágios acionados nas seções 4.2 e 4.3 estão de acordo com o pré-relatório.

C) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.

D) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## **6 – BIBLIOGRAFIA**

[1] Instalação e instruções de operação – Controladores de Fator de Potência – RVC – ABB.

[2] Power Factor Controller RVC – The user-friendly PF controller.

## **7 – LEITURA COMPLEMENTAR**

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL RESOLUÇÃO N.º 456, DE 29 DE NOVEMBRO DE 2000**

**Art. 64.** O fator de potência de referência "fr", indutivo ou capacitivo, terá como limite mínimo permitido, para as instalações elétricas das unidades consumidoras, o valor de fr = 0,92.

## ANEXO 1

### Bancada de Correção de Fator de Potência para Partida Direta.

Para a realização do experimento de correção de fator de potência para partida direta deve-se conectar a Bancada de Correção de Fator de Potência na Bancada de Partida Direta conforme mostrado na figura abaixo.

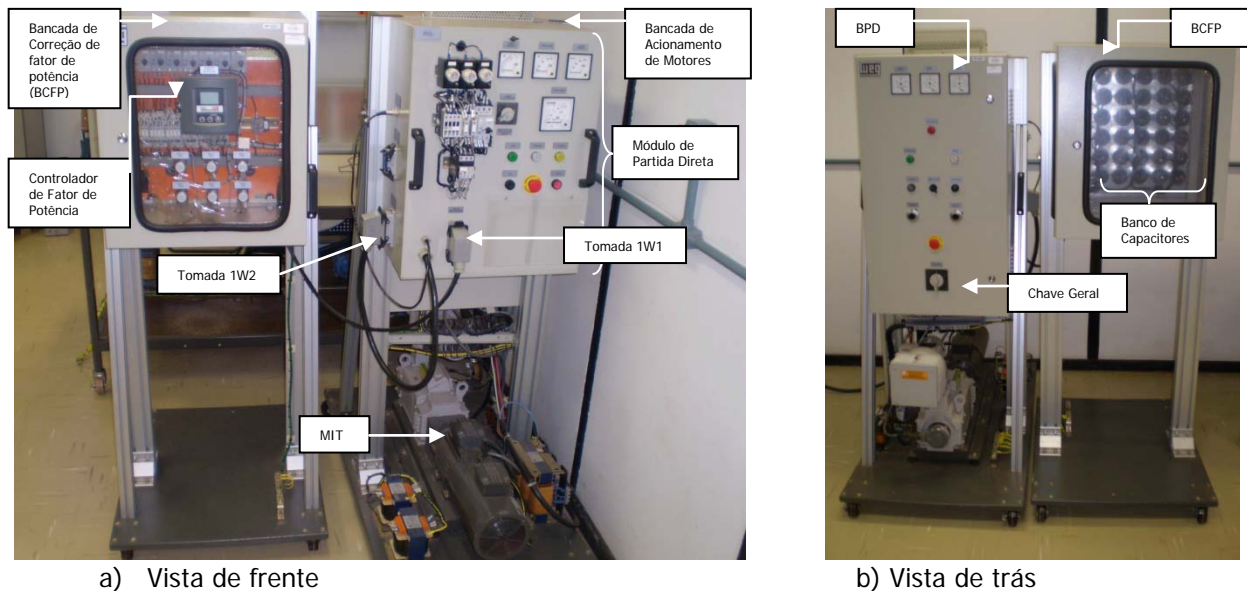


Figura 1 – Bancada de Correção de Fator de Potência e bancada didática com módulo de partida direta.

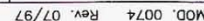
A tomada 1W2 conecta a Bancada de Acionamento de Motores ao Módulo de Partida Direta. Por ela chega a energia para alimentar o módulo de partida e sai a energia que alimenta o motor de indução trifásico (MIT).

A tomada 1W1 conecta o Módulo de Partida Direta à Bancada de Correção de Fator de Potência. Por essa conexão as 3 fases que alimentam o motor chegam nos bancos de capacitores os quais são ligados em estrela, o diagrama elétrico pode ser visto nos anexos 2 e 3. Por essa tomada também passa as informações do transformador de corrente, como visto nos anexos 2 e 4.

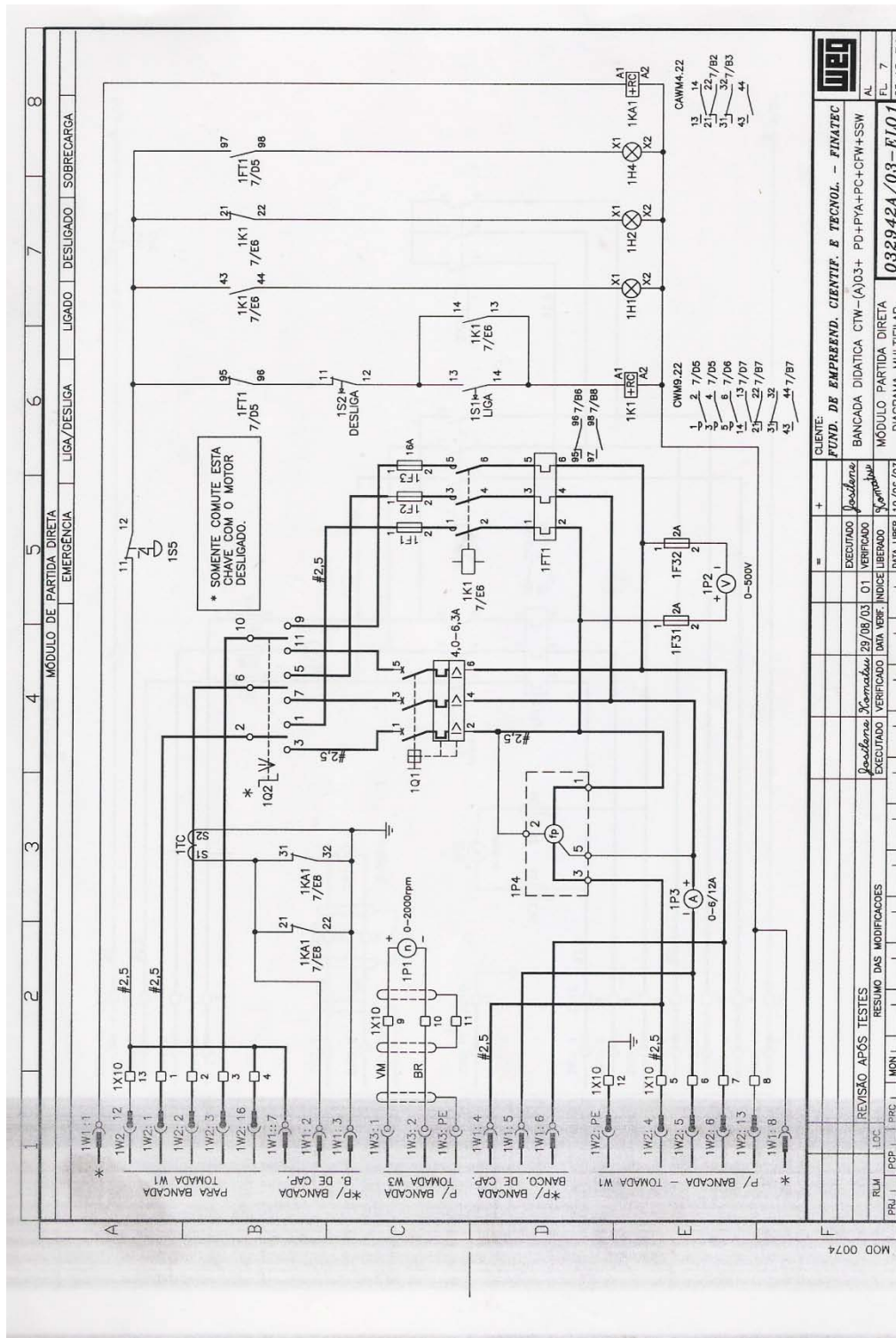








## ANEXO 4 – MÓDULO DE PARTIDA DIRETA



## ANEXO 5 – DETECÇÃO DA FASE À PARTIR DO MODO DE LIGAÇÃO DO CONTROLADOR DE FP

Na tabela abaixo a tensão é medida entre a fase e o neutro.

Conexão do TC	Esquema de conexão	Fase a ser programada
L1 Direta		0
L1 Invertida		180
L2 Direta		240
L2 Invertida		60
L3 Direta		120
L3 Invertida		300



#### 4.15 QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA (QTA)

Este ensaio tem o objetivo de montar o circuito que simula um QTA mostrando as suas principais características. O QTA a ser montado tem a função de fazer a transferência de alimentação da carga entre a energia da concessionária e a energia do gerador.

O gerador utilizado foi o gerador assíncrono do laboratório de conversão de energia da UnB acoplado a um motor de indução trifásico pertencente ao mesmo laboratório.

Também é utilizado um *no break*, para manter uma determina carga energizada durante a transferência.

O pré-relatório pede para o aluno explicar o funcionamento do QTA à partir das figuras dos circuitos de força e de comando.

Na parte prática o aluno deverá montar os circuitos de força e comando propostos.

No final é questionado a necessidade do tempo de transferência entre a alimentação da concessionária e do gerador.

O tempo de execução do experimento é de 3 horas.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA

### ATENÇÃO:

#### **SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.**

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.



10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à sequência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”;
- e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.



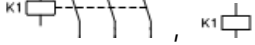
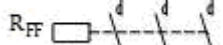










### **1 – OBJETIVO**

Montar um quadro de transferência automática. O quadro deve fazer uma transferência de alimentação da carga entre a energia da concessionária e a energia do gerador.

## 2 – PRÉ-RELATÓRIO

Explique passo a passo o funcionamento do QTA descrito nas figuras 1 e 2. Para isso considere que a falta de energia da concessionária é simulada através da retirada de uma fase do relé falta de fase.

## 3 – MATERIAL UTILIZADO

1 botoeira N.A.	MBD-011	
1 botoeira N.F.	MBD-012	
4 contatores de força	MBD-005	
1 relé falta de fase	MBD-010	
2 relé de tempo	MBD-009	
3 voltímetro portátil	-	
1 <i>no break</i> com entrada em 220V	-	-
3 amperímetro digital (portátil)	-	
3 lâmpadas sinalizadoras	MBD-014	
4 lâmpadas incandescentes	MBD-002	
1 motor de indução trifásico com rotor bobinado	-	
1 gerador síncrono	-	
1 reostado de 10Ω	-	
3 fusíveis para o circuito de força (4A)	MBD-004	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

1ª coluna: Etapa

2ª coluna: Risco/perigo

3ª coluna: Modos de detecção

4ª coluna: Efeitos

5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

## 4.2 – Quadro de transferência automático

Monte o circuito de comando descrito na figura 1. Ajuste os relés de tempo 1 e 2 para 10s. Conecte as três fases no relé falta de fase ( $R_{FF}$ ). Chame o professor para conferir o circuito.

Aperte a botoeira  $S_0$ . Verifique se a contatora  $K_R$ , referente a energia da rede é acionada depois de 10s.

Simule a falta de energia da concessionária retirando uma das fases do relé falta de fase. Verifique se  $K_R$  é desligado e  $K_M$  é energizado logo em seguida. A contatora  $K_G$  deve ser energizada 10s após  $K_M$ .

Simule o retorne de energia conectando a fase que estava fora no relé de falta de fase. Verifique se  $K_M$  é desligada e se  $K_G$  é ligada após 10s.

Monte o circuito de força descrito na figura 2. O motor de indução acoplado ao gerador deve ser montado na bancada de laboratório de conversão de energia. A energia de alimentação do motor deve vir da bancada de conversão. Chame o professor para conferir o circuito.

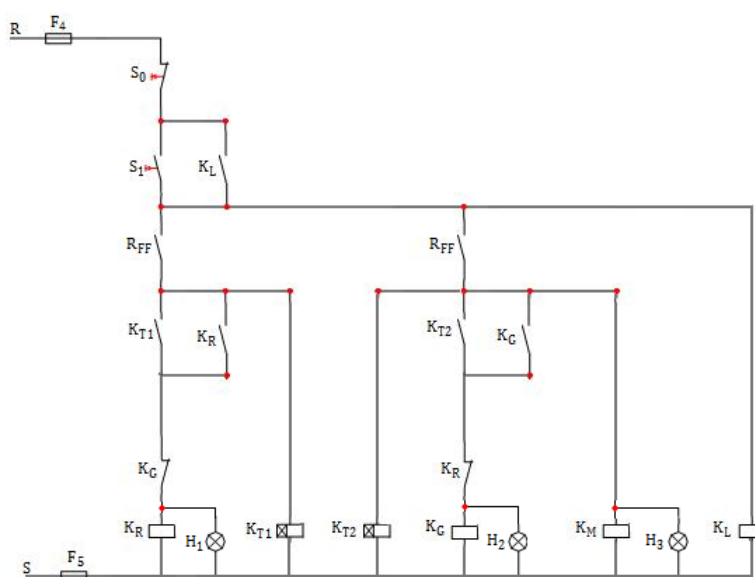


Figura 1

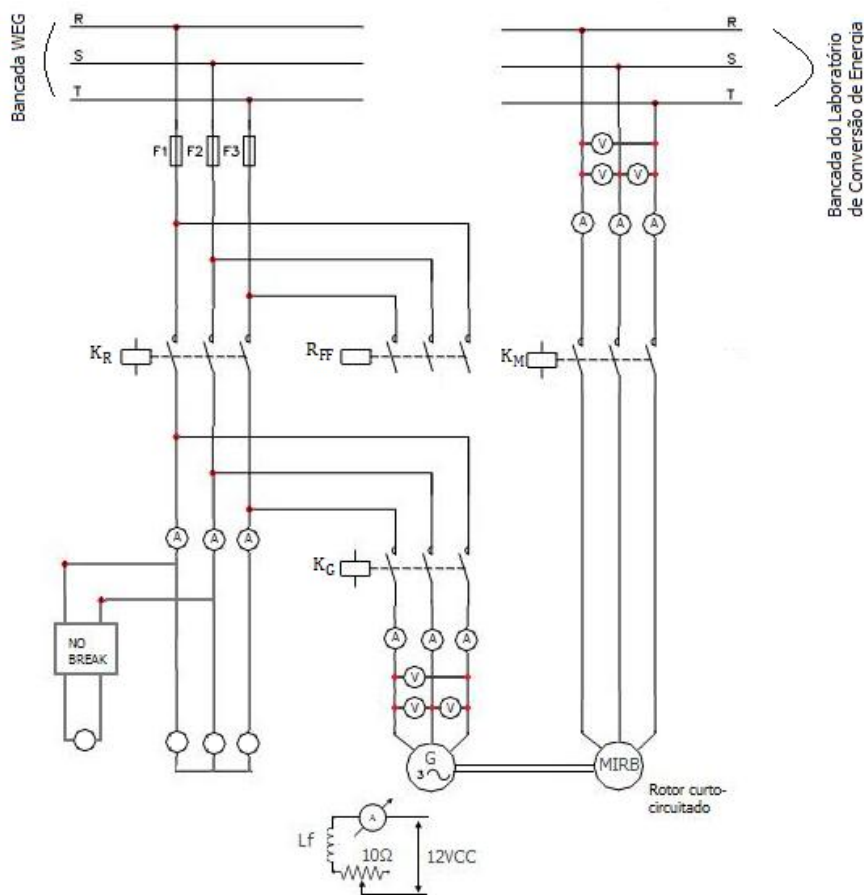


Figura 2

Aperte o botão S1 para alimentar a carga pela concessionária. Ligue o *no break*.

Simule a queda de energia da concessionária retirando uma fase do relé falta de fase. Verifique se o sistema reagirá de acordo com o esperado.

Simule o retorno da energia da concessionária colocando a fase retirada anteriormente do relé falta de fase.

## **5 – RELATÓRIO**

*(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)*

- A) Por que é necessário que haja um intervalo de tempo entre a queda de energia da concessionária e a entrada do gerador no sistema e também entre a parada do gerador e o retorno da energia da concessionária?
- B) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.
- C) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## **6 – BIBLIOGRAFIA**

[1] Livro: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS [JOÃO MAMEDE FILHO]

#### **4.16 INTERRUPTOR DIFERENCIAL RESIDUAL (DR)**

O interruptor diferencial residual é um equipamento muito utilizado e previsto na NBR 5410. É um assunto de grande importância a área de instalações elétricas.

O objetivo deste ensaio é testar o funcionamento do DR. Para isso foi utilizado o DR que protege a bancada didática de medidas elétricas.

O pré-relatório pede para que o aluno explique o princípio de funcionamento do DR e para que ele pesquise os 2 valores de sensibilidade (corrente de atuação do DR) mais utilizados no mercado. Um dos objetivos do pré-relatório fazer com que o aluno conheça os equipamentos utilizados no mercado.

Na parte experimental o aluno irá simular um choque elétrico em uma das fases de um circuito de lâmpadas conectando uma das fases a um terminal do potenciômetro, o qual possui o outro terminal conectado no terra da bancada.

No relatório o aluno irá comparar o valor da corrente de atuação com a sensibilidade do DR.

O tempo de execução do experimento é de 30 minutos.

# LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

## INTERRUPTOR DIFERENCIAL RESIDUAL

### ATENÇÃO:

#### SIGA TODAS AS PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA DA NR-10.



10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas.

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho mediante os procedimentos apropriados, obedecida à seqüência abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de “Aterramento Temporário” com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na “Zona Controlada”;
- e
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

### 1 – OBJETIVO

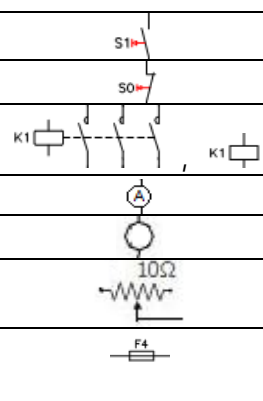
Testar o funcionamento de um interruptor diferencial residual (DR) através de uma simulação de choque elétrico utilizando um reostato. Para a atuação do DR a corrente que passa pelo reostato deve ultrapassar a corrente diferencial residual nominal de atuação ( $I_n$ ) do DR.



## 2 – PRÉ-RELATÓRIO

- Explique o funcionamento do interruptor diferencial residual.
- Qual são os dois valores de corrente diferencial residual nominal de atuação ( $I_n$ ) ou sensibilidade mais utilizados no mercado? Qual é a aplicação de cada  $I_n$ ?

## 3 – MATERIAL UTILIZADO

1 botoeira N.A.	MBD-011	
1 botoeira N.F.	MBD-012	
1 contator de força	MBD-005	
4 amperímetro digital (portátil)	-	
3 lâmpadas incandescentes	MBD-002	
3 reostatos de 1,5kΩ	-	
2 fusíveis para o circuito de comando (2A)	MBD-004	

## 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 – Inspeção de segurança

Antes do início do manuseio dos equipamentos, realize uma Análise Preliminar de Risco, preenchendo uma planilha com as seguintes informações:

- 1ª coluna: Etapa
- 2ª coluna: Risco/perigo
- 3ª coluna: Modos de detecção
- 4ª coluna: Efeitos
- 5ª coluna: Recomendações/observações

Esta Análise Preliminar de Risco será parte integrante do relatório.

### 4.2 – Simulação de um choque elétrico

Monte o circuito de comando da figura 1b. Chame o professor e teste-o.

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF  
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

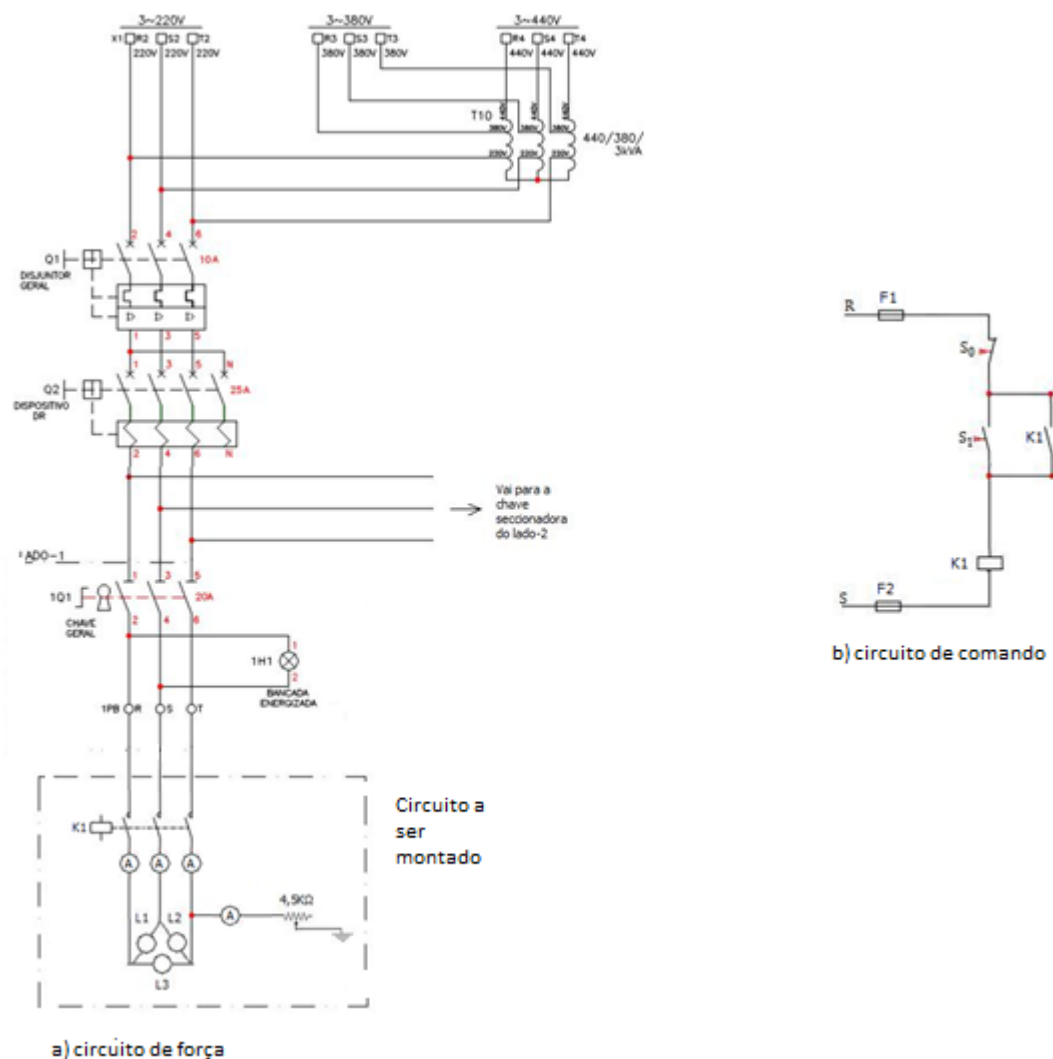


Figura 1

Na figura 1a podemos ver o diagrama elétrico de alimentação da bancada desde a entrada de energia até a seccionadora 1Q1. Monte o circuito de força descrito na figura à partir desta chave seccionadora. Coloque os 3 reostatos de 1,5k $\Omega$  em série para resultar em 4,5 k $\Omega$ . A saída do reostato deve ser conectado ao terra da bancada.

Chame o professor para conferir a montagem do circuito.

Ajuste os reostatos em série para a máxima resistência. Ligue o circuito pressionando o botão S1. Diminua lentamente a resistência do reostato até o DR atuar. Anote o valor da corrente de curto na hora da atuação do DR.

## 5 – RELATÓRIO

(individual, a ser entregue em formato eletrônico no prazo máximo de 7 dias.)

A) Qual foi o valor de corrente de curto circuito na atuação do DR? O valor está de acordo com o  $I_n$  do equipamento?

B) Anexe os fundamentos teóricos preparados no pré-relatório.

C) Anexe a planilha de Análise Preliminar de Risco.

## 6 – BIBLIOGRAFIA

[1] Livro: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS [JOÃO MAMEDE FILHO]

[2] ABNT NBR 5410:2004

## 7 – LEITURA COMPLEMENTAR

*(esta leitura complementar visa auxiliar o aluno, porém apresenta apenas tópicos pontuais. O aluno deverá fazer uma pesquisa mais abrangente e completa, utilizando a literatura sugerida nas aulas teóricas e as normas em vigor)*

### ABNT NBR 5410:2004

#### 3 Definições

#### 3.2 Proteção contra choques elétricos

3.2.5 dispositivo de proteção a corrente diferencial-residual (formas abreviadas: dispositivo a corrente diferencial-residual, dispositivo diferencial, dispositivo DR): Dispositivo de seccionamento mecânico ou associação de dispositivos destinada a provocar a abertura de contatos quando a corrente diferencial-residual atinge um valor dado em condições especificadas.

NOTA O termo “dispositivo” não deve ser entendido como significando um produto particular, mas sim qualquer forma possível de se implementar a proteção diferencial-residual. São exemplos de tais formas: o interruptor, disjuntor ou tomada com proteção diferencial-residual incorporada, os blocos e módulos de proteção diferencial-residual acopláveis a disjuntores, os relés e transformadores de corrente que se podem associar a disjuntores, etc.

### ABNT NBR 5410:2004

#### 3 Definições

#### 3.2 Proteção contra choques elétricos

5.1.3.2.2 Casos em que o uso de dispositivo diferencial-residual de alta sensibilidade como proteção adicional é obrigatório Além dos casos especificados na seção 9, e qualquer que seja o esquema de aterramento, devem ser objeto de proteção adicional por dispositivos a corrente diferencial-residual com corrente diferencial-residual nominal  
I<sub>n</sub> igual ou inferior a 30 mA:

- a) os circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheiro ou chuveiro (ver 9.1);
- b) os circuitos que alimentem tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação;
- c) os circuitos de tomadas de corrente situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos no exterior;
- d) os circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas- cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens;
- e) os circuitos que, em edificações não-residenciais, sirvam a pontos de tomada situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

*Este capítulo trás conclusão e sugestões para trabalhos futuros utilizando as bancadas didáticas da WEG.*

### 5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de formular novos ensaios para o laboratório de instalações elétricas. Sete ensaios do trabalho [1] foram revisados, corrigidos e formatados. E mais 8 roteiros foram criados. Todos, utilizando as bancadas didáticas da WEG.

Todas as bancadas didáticas da WEG foram exploradas com no mínimo 1 ensaio elaborado. Todos os ensaios apresentados neste trabalho foram devidamente testados e seus circuitos estão funcionando corretamente. Os ensaios estão prontos para serem usados no laboratório.

Os experimentos utilizando a partida estrela triângulo e a partida compensadora já foram utilizados pelos alunos de instalações elétricas. No apêndice XII estão algumas fotos da execução deste experimento. Também foi feita uma demonstração de um experimento utilizando a bancada de CLP

Com estes ensaios os alunos poderão aprender novos conceitos e aprender a utilizar as bancadas didáticas.

Foi possível aperfeiçoar habilidades de montagem de circuitos, habilidade de detecção de erros, de leitura e interpretação de manuais. O fato de aprender a utilizar as bancadas apenas com manuais e bibliografias pertinentes trouxe muito crescimento. Seria muito interessante que mais alunos tivessem contato com o laboratório, muitos projetos ainda podem ser desenvolvidos usando essas bancadas didáticas, seção 5.2.

### 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estão citadas, a seguir, sugestões para trabalhos futuros utilizando as bancadas didáticas da WEG

#### 5.2.1 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PROJETOS UTILIZANDO AS BANCADAS DIDÁTICAS

As bancadas didáticas da WEG possibilitam infinitas montagens de novos ensaios. No experimento do QTA, por exemplo, um novo circuito de comando foi criado e testado nas bancadas didáticas.

Seria interessante propor novas montagens interligando as bancadas, utilizando redes de comunicação para comando, utilizando as máquinas elétricas do laboratório de conversão caso precise. Seria interessante o desenvolvimento de projetos mais complexos que simulassem a realidade industrial interligando mais de um sistema.

#### 5.2.2 APLICAÇÃO DO *SOFT-STARTER*

Neste trabalho foi apresentado o funcionamento básico e como operar um *soft-starter*, porém não foi apresentado um exemplo prático onde o aluno tivesse que dimensionar os parâmetros para a partida em rampa, os parâmetros para o pulso de tensão, para a corrente limitada e para a desaceleração em rampa.

Uma sugestão seria utilizar o *soft-starter* para a atuação em bombas hidráulicas onde seria possível observar o golpe de aríete.

### 5.2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Neste trabalho foram abordados somente configurações básicas dos inversores. Como sugestão para trabalhos futuros seria fazer um estudo mais aprofundado sobre este equipamento para elaboração de roteiros para outras disciplinas como Instalações Elétricas Industriais.

Os inversores CFW-09 podem ser interligados em redes de comunicação rápidas “FieldBus”, através de vários protocolos como profibus, devicenet, ethernet IP, entre outros. A figura 5.1 demonstra o *lay out* desta configuração.

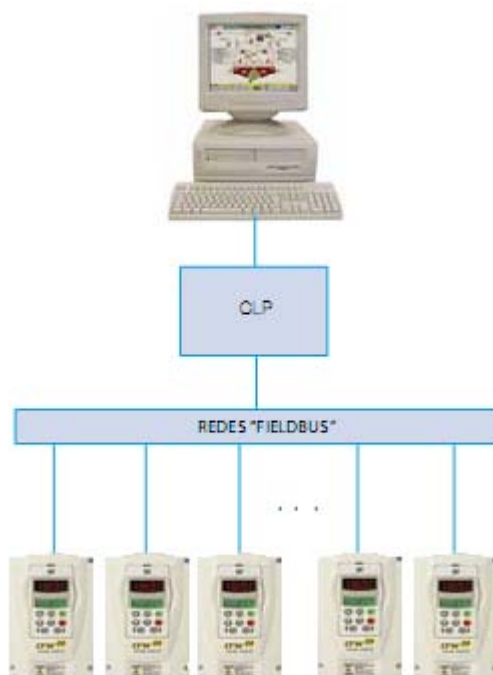


Figura 5.1.

Para trabalhos futuros o aluno poderia estudar esta configuração, propor novos roteiros e aplicar a situações reais.

Esta configuração é bastante utilizada em plantas industriais onde o operador monitora e faz alterações na configuração do inversor da sala de controle, através de um computador. Seria interessante que o aluno entrasse em contato com indústrias de Brasília e estudasse exemplos práticos. Esse estudo se encaixaria na matéria de instalações industriais.

### 5.2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O CLP TP02-20MR, utilizado na bancada didática de automação com controladores, possui uma unidade de expansão TP02-2DA com saídas analógicas, Fig (5.2).



### Unidades de Expansão (Analógicas)

MODELO	ENTRADAS	SAÍDAS	DIMENSÕES A x L x P (mm)
	Analógica (12 bits)	Analógica (12 bits)	
TP 02 / 4 AD +	4	-	90 x 64 x 76
TP 02 / 2 DA +	-	2	

NOTA: Expansões analógicas permitem no máximo simultaneamente 2 x módulo TP-02/4AD + 1 x módulo TP-02/2DA.

Figura 5.2

Para trabalhos futuros o aluno poderia desenvolver roteiros com unidade de expansão, visando aplicações práticas.

Outra questão não abordada nos CLP's são as conexões entre mais de um CLP criando uma configuração mestre-escravo como mostrado nas Figs. (5.3 a 5.4)

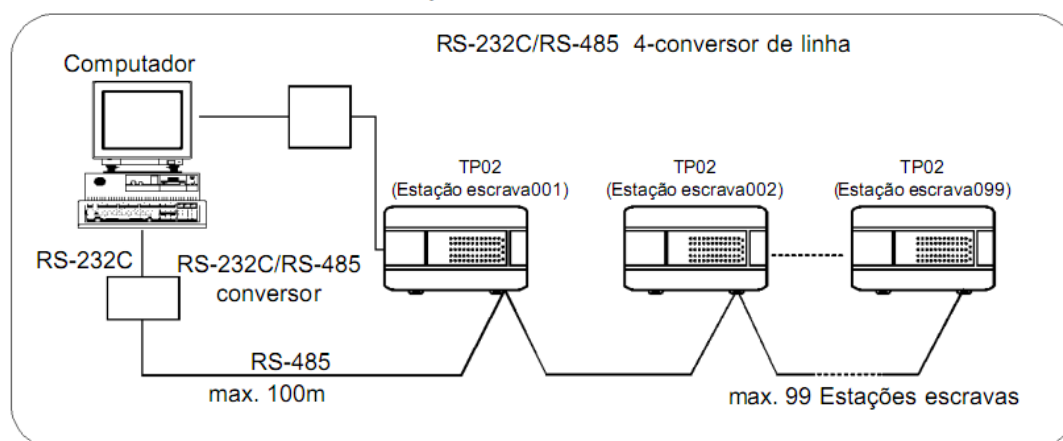


Figura 5.3. Conexão com o computador.

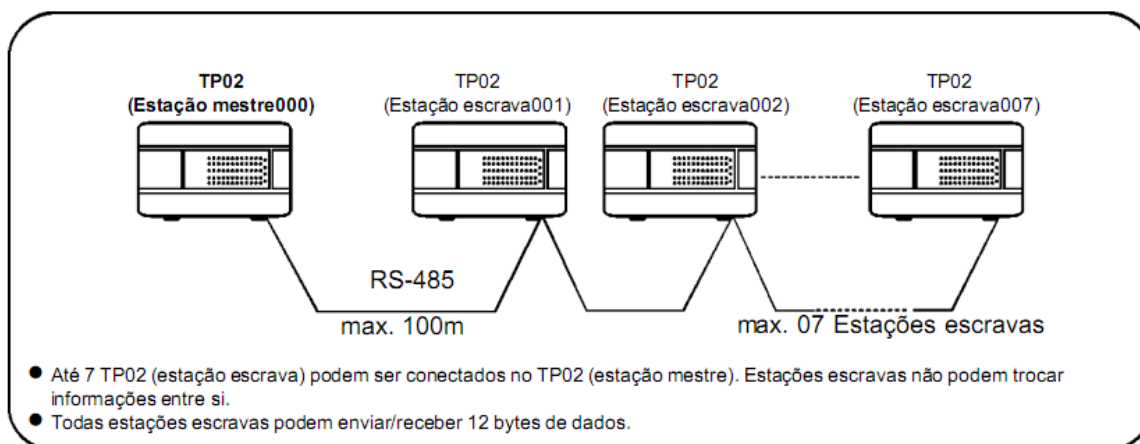


Figura 5.4. Conexão de dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU R. C. BATISTA R. B. *Desenvolvimento de ensaios para o laboratório de conversão de energia*. Trabalho de graduação em engenharia elétrica, UnB, 2005.
- [2] AZEVEDO, V. L. MENDES, L. E. Análise transitória do motor de indução trifásico. Projeto final de graduação UnB, 2008.
- [3] FILHO, JOÃO MAMEDE. Instalações Elétricas Industriais. Sétima Edição, 2007.
- [4] FITZGERALD A. E, KINGSLEY C. , UMANS S.D. *Máquinas Elétricas*. Sexta edição, 2006
- [5] FRANK M. BRUCE, III, RICHARD J. GRAEFE, ARTHUR LUTZ, AND MICHAEL D. PANLENER. Reduced-Voltage Starting of Squirrel-Cage Induction Motors. IEEE 1984
- [6] PHILLIP W. ROWLAND, P.E. Low impact motor control with star-delta starting. IEEE 1998
- [7] ROSA, ALEX DA. Simulação de um soft-starter para acionamento de motores de indução. Trabalho de graduação, universidade federal do Goiás.
- [8] VISEU, ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE. Disponível em <<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpestana/maquinas%20el%C3%A9ctricas%202/aulas%20te%C3%B3ricas/slides%20-%20sae.pdf>>. Acessado em 07/09/2010>
- [9] WEG. *Manual do Inversor de Frequência CFW-09*. 2002
- [10] WEG. *Manual da Soft-Starter SSW-03 plus*.
- [11] WEG. Software TP-02-PC12 para download. Disponível em <<http://www.weg.net/br>>. Acesso em 01/09/2010.



## ANEXO I – TABELA CONTENDO OS DEFEITOS DA BANCADA DE SIMULAÇÃO DE DEFEITOS

DF-01	Impede ligar o comando geral
DF-02	Impede desligar partida direta e sinalização
DF-03	Liga direto partida direta e sinalização
DF-04	Impede ligar sinalização partida direta
DF-05	Impede ligar contator da partida direta
DF-06	Impede ligar partida direta
DF-07	Impede ligar sinalização de comando ligado
DF-08	Impede ligar voltímetro da tensão de comando
DF-09	Impede ligar partida reversora sentidos horário/anti-horário
DF-10	Liga sinalização e K6, partida reversora e sentido horário.
DF-11	Liga direto partida reversora sentido anti-horário e sinalização
DF-12	Impede a retenção do contator da partida reversora sentido horário
DF-13	Impede ligar partida estrela-triângulo
DF-14	Impede desligar partida reversora sentido horário (por meio do bloqueio do contator K2) e partida direta
DF-15	Impede ligar partida reversora sentido anti-horário
DF-16	Impede ligar partida reversora sentido horário (por meio do bloqueio do contator K2) e partida direta
DF-17	Retém os contadores K2 e K1
DF-18	Impede desligar partida estrela triângulo em triângulo
DF-19	Impede a transferência de estrela para triângulo
DF-20	Liga sinalização em triângulo no momento que o motor está partindo em estrela
DF-21	Impede ligar partida estrela-triângulo por meio do contator K3
DF-22	Impede ligar partida reversora sentido horário, enquanto a partida reversora sentido horário estiver ligada
DF-23	Liga direto partida estrela-triângulo
DF-24	Liga direto partida estrela-triângulo, em triângulo

Tabela 1 Tabela de defeitos da bancada de simulação de defeitos

# ANEXO II – DIAGRAMA ELÉTRICO DA ENTRADA DE ENERGIA DA BANCADA DIDÁTICA

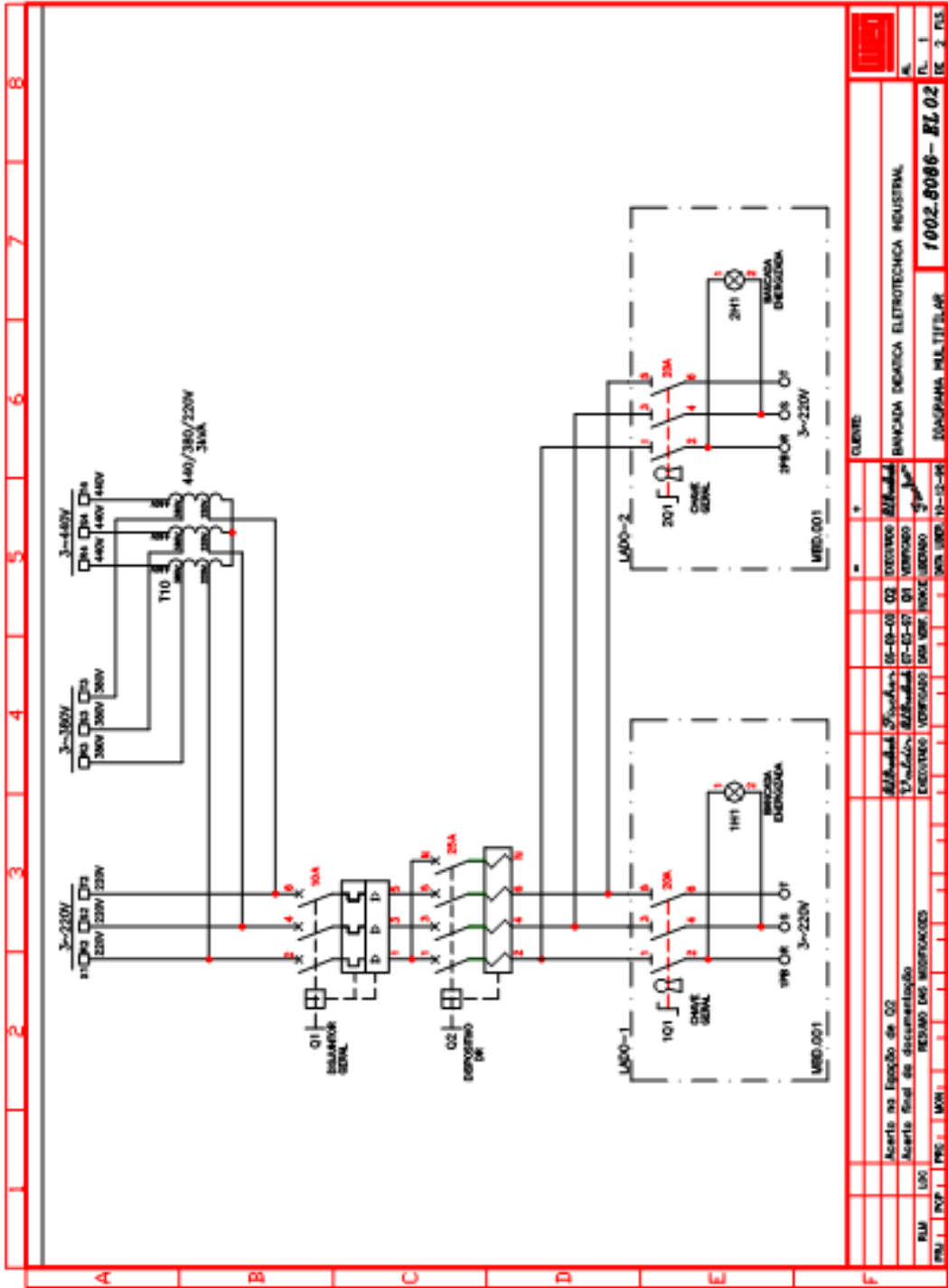


Figura 1 - Diagrama elétrico da bancada didática

# ANEXO III – DIAGRAMA ELÉTRICO DA BANCADA PARA CORREÇÃO DO FP

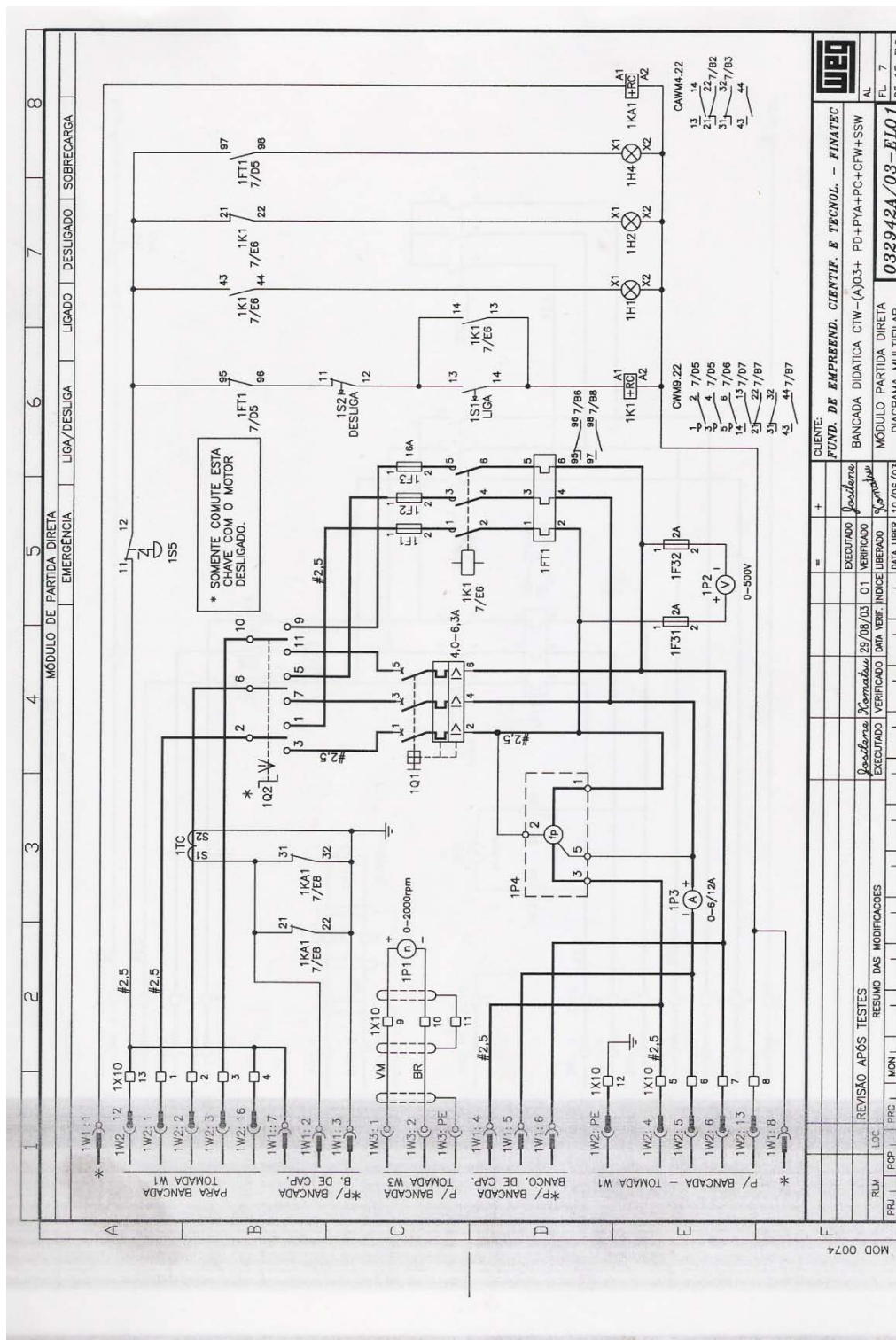


Figura 1 - Diagrama elétrico da bancada para correção de fator de potência

## ANEXO IV – DIAGRAMA ELÉTRICO DA BANCADA PARA CORREÇÃO DO FP

Conexão do TC	Esquema de conexão	Fase a ser programada
L1 Direta		0
L1 Invertida		180
L2 Direta		240
L2 Invertida		60
L3 Direta		120
L3 Invertida		300

Tabela 1 – Parâmetro Fase

## Bancada Didática - WEG

A bancada didática é constituída por uma bancada principal e diversos *kits* individuais que permitem a realização de experimentos práticos de eletrotécnica industrial, medidas elétricas e automação de processos industriais.

### Bancada principal

Fabricada sob uma estrutura de alumínio, a bancada principal é constituída por dois postos de trabalho que servirão de base para utilização de qualquer um dos *kits* disponíveis. Em sua lateral encontram-se um conjunto de terminais por onde entra a energia, um disjuntor para proteção termomagnética e um disjuntor diferencial residual, o que garante maior proteção aos seus usuários. Conta também com uma seccionadora com chave, o que traz segurança para realização das tarefas.

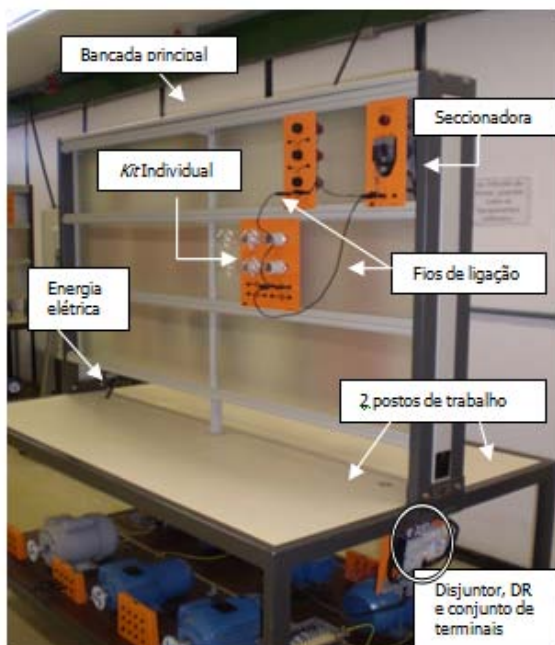
No laboratório temos 3 bancadas deste tipo: uma de medidas elétricas, uma de eletrotécnica industrial e outra de automação com CLP, devidamente identificados.

### Kits Individuais

Cada componente a ser utilizado no circuito é fixado em uma placa modular. Todos os terminais do componente ficam disponíveis por meio de bornes de contato tipo banana, formando assim um *kit* individual.

Com os contatos tipo banana o aluno não precisa desencapar fios e apertá-los com parafusos, basta fazer a interconexão dos cabos disponíveis.

Esses *kits* podem ser encaixados facilmente na estrutura de alumínio da bancada principal de acordo com o experimento a ser desenvolvido.



a)



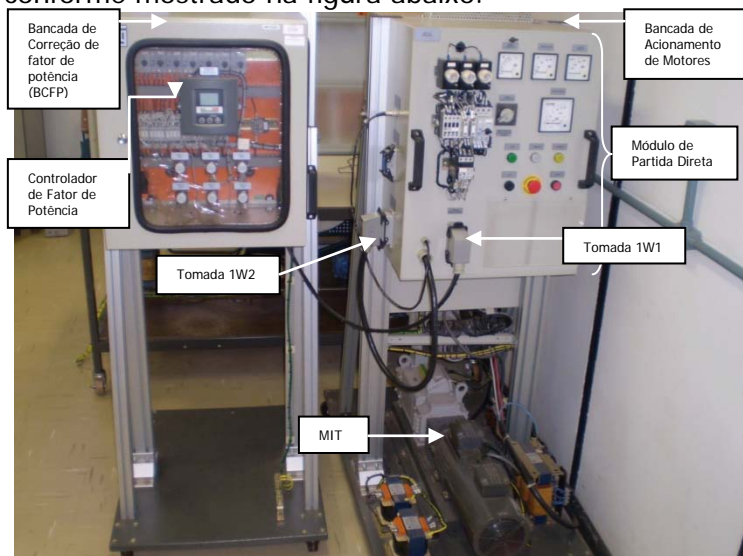
b)

Figura 1 - Bancada didática

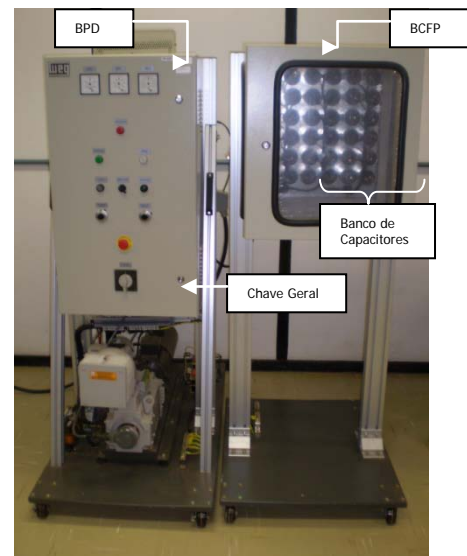
## APÊNDICE II

### Bancada de Correção de Fator de Potência para Partida Direta.

Para a realização do experimento de correção de fator de potência para partida direta deve-se conectar a Bancada de Correção de Fator de Potência na Bancada de Partida Direta conforme mostrado na figura abaixo.



b) Vista de frente



b) Vista de trás

Figura 1 – Bancada de Correção de Fator de Potência e bancada didática com módulo de partida direta

A tomada 1W2 conecta a Bancada de Acionamento de Motores ao Módulo de Partida Direta. Por ela chega a energia para alimentar o módulo de partida e sai a energia que alimenta o motor de indução trifásico (MIT).

A tomada 1W1 conecta o Módulo de Partida Direta à Bancada de Correção de Fator de Potência. Por essa conexão as 3 fases que alimentam o motor chegam nos bancos de capacitores os quais são ligados em estrela. Por ela também passa as informações do transformador de corrente (fig 2).

O Controlador de Fator de Potência é conectado como mostrado na figura 2.

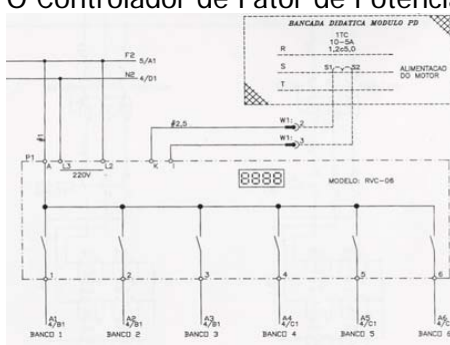


Figura 2. Conexão do controlador de FP



## APÊNDICE III

### Bancada de automação com CLP

A bancada de automação com controlador lógico programável (CLP), como mostrado na figura, possui uma parte destinada aos *kits* individuais que serão escolhidos de acordo com o experimento a ser utilizado, uma parte destinada ao CLP e seus acessórios e em baixo um compartimento para motores.

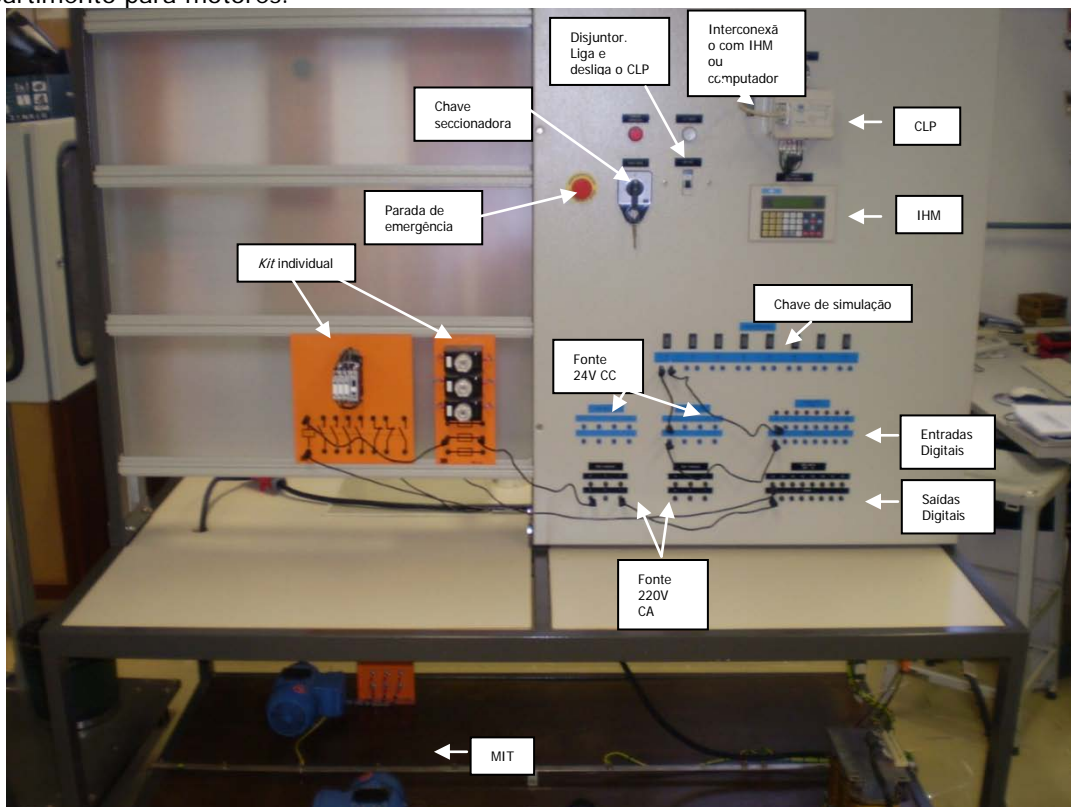


Figura 1

A fonte de 24VCC é conectada à entrada do CLP através da chave de simulação, que é uma chave liga-desliga, como mostrado no esquema da figura 2 e exemplificado na figura 1.

A saída digital é uma chave abre e fecha. Usamos a fonte de 220VAC, fornecida pela bancada, em série com a saída do CLP, como mostrado no esquema da figura 3 e exemplificado na figura 1.

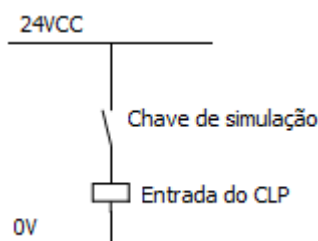


Figura III.2 -Energização da entrada do CLP

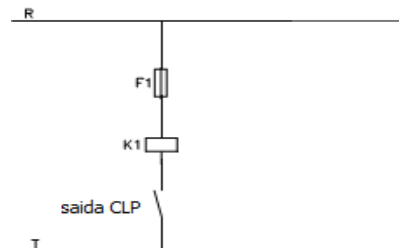


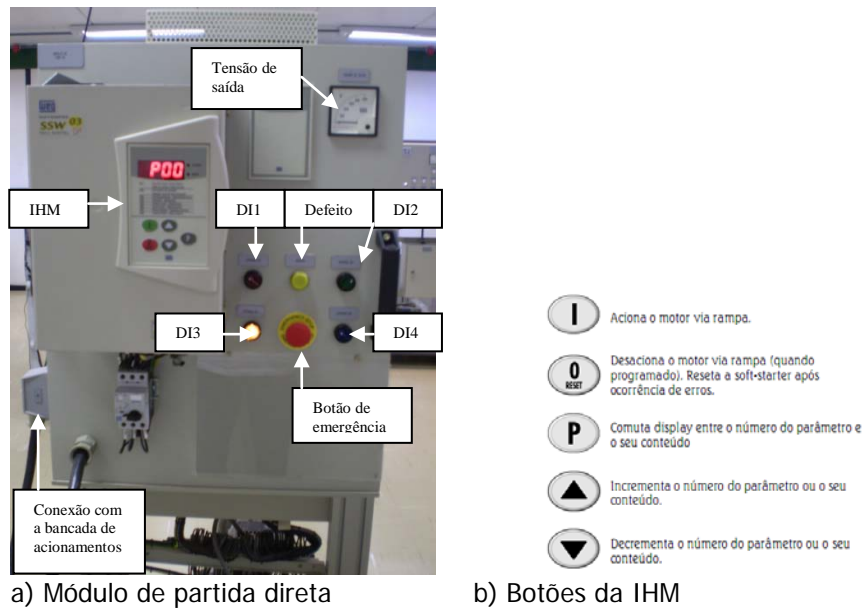
Figura III.3 - Chave de saída do CLP

Os CLP's são dispositivos de controle que recebem dados na sua entrada processam-os de acordo com a programação armazenado em sua memória controlam os atuadores conectados a sua saída

## APÊNDICE IV

### Bancada de acionamentos: Módulo com *SOFT STARTER*

A figura 1 representa o módulo com o *SOFT STARTER*, modelo SSW-3 acoplado na bancada de acionamentos.



a) Módulo de partida direta      b) Botões da IHM  
Figura 1 Módulo com SOFT STARTER

A IHM possui 5 botões descritos na Fig. (1b). À partir da IHM é possível ter acesso a todos os parâmetros do SOFT STARTER descritos no manual. Os parâmetros estão entre P00 e P99.

O parâmetro P00 permite 2 valores: OFF – permite somente a leitura dos parâmetros – e ON – permite alteração dos parâmetros. Antes de fazer qualquer alteração nos parâmetros é necessário que o usuário confira se P00 = ON.

O usuário pode acionar a chave de partida estática das formas A, B e C.

- A) Forma A (P61 = ON): acionamento da chave de partida estática através da IHM. É a forma recomendado para quem está utilizando o equipamento pela primeira vez.
- O botão I parte o motor.
  - O botão 0 desaciona o motor.
  - Chave DI3 simula um erro externo quando desligada.
- B) Forma B (P61 = OFF): o soft-starter é ativado pelos bornes de ligação padrão. As chaves de comando DI1 a DI4 estão ligadas diretamente aos bornes de ligação.
- chave DI1 aciona e desaciona o motor.
  - chave DI3 simula um erro externo quando desligada
  - chaves DI2 e DI4 e botões I e 0 não têm função.
- C) Forma o soft-starter é ativado pelos bornes de ligação dentro da delta do motor. Para esta forma é preciso que na instalação do equipamento os transistores estejam conectados diretamente na bobina do motor em delta. DI1: aciona, DI2: desaciona, DI3: simula erro externo, DI4: emergência.



## APÊNDICE V

# REUNIÃO COM A EQUIPE RESPONSÁVEL PELO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.

*Este apêndice tem o objetivo de fazer uma análise juntamente com os técnicos e funcionários envolvidos no laboratório de instalações elétricas sobre a atual situação do laboratório e sugestões de melhorias.*

### V.1 ASPECTOS GERAIS

A reunião foi dividida em tópicos: agilidade na execução dos experimentos, relação dos ensaios com os objetivos da disciplina, utilização do laboratório, medidores, exemplos práticos, sinalização, componentes soltos na montagem do experimento, material.

Como dito na introdução este é um capítulo importante pois trás a contribuição para o laboratório de pessoas que tem muito contato com a prática e o dia-a-dia do laboratório.

### V.2 AGILIDADE NA EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Uma questão que muitos alunos reclamam é a demora na montagem dos experimentos. O fato de os alunos terem que desencapar os fios, conectá-los um a um nos bornes, apertar os bornes, que nem sempre estão em boas condições, tornam o experimento muito lento e trabalhoso. Além disso os fios nem sempre ficam bem apertados podendo dar falhas no experimento e se vier a se desconectar com a bancada energizada pode causar um acidente.

O que foi muito sugerido pelos técnicos é a utilização de bancadas dinâmicas onde cada componente do circuito está fixado em uma placa modular, assim como as bancadas da WEG que estão no laboratório de conversão de energia. As bancadas possuem suportes onde é possível encaixar essas placas contendo cada uma um componente.

Como explicado no capítulo 2, em cada placa todas as conexões elétricas do componente são interligadas a bornes que estão fixos na própria placa. Esses bornes são do tipo banana. Utilizando cabos banana-banana para conectar os componentes agiliza em muito a montagem do experimento além de garantir uma melhor conexão entre os componentes.

As bancadas da WEG não são suficientes para atender a uma disciplina da universidade. Uma sugestão seria confeccionar, na própria universidade, novas placas modulares contendo os componentes necessários com a sua devida conexão. Outra sugestão seria ir atrás de empresas, ou da própria WEG, para aumentar a quantidade de componentes disponível.

A pesar da conclusão dos funcionários de que a bancada dinâmica citada seria melhor do que a existente, chegou-se a conclusão que é necessário manter 2 experimentos em que o aluno tenha que cortar o fio, apertar o parafuso do borne para ele pegar uma certa experiência prática com esse tipo de instalação.

### V.4 OS ENSAIOS SÃO CONDIZENTES COM O OBJETIVO DA DISCIPLINA?

A engenheira e os dois técnicos presentes acham que os ensaios atendem o objetivo da disciplina. O laboratório atende a matéria de instalações elétricas 1, onde o enfoque é instalações residenciais de baixa tensão. É muito importante o aluno sair com mais segurança de fazer coisas

básicas como ligar um interruptor, ligar um reator, porém há uma carência de experimentos essenciais como exemplo: partida estrela-triângulo de um motor de indução, partida com autotransformador, acionamento de motor com *soft starter*, correção de fator de potência, uso de CLP's e supervisão de energia. Alguns desses experimentos foram elaborados neste trabalho.

Os experimentos citados são muito importante para a formação do aluno, mas não seria possível colocá-los todos na matéria de instalações elétricas pela quantidade de ensaios. Se tornam muito necessário a criação de laboratórios de matérias optativas para suprir essa necessidade de novos experimentos como: Instalações Industriais, Acionamento de Motores e Proteção Elétrica.

As melhorias dos experimentos existentes no laboratório de instalações seria modernizar algumas partes e melhorar as bancadas para bancadas dinâmicas como descrito no item anterior.

## V.5 UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO

Foi comentado à respeito da pouca utilização do laboratório de instalações elétricas. Ele é utilizado somente nas matérias de Instalações Elétricas e Eletricidade. Os alunos de graduação e pós-graduação quase não o utilizam fora do horário de aula. Sua utilização em períodos vagos seria uma boa oportunidade de despertar novas idéias e interesse pela engenharia.

Para as bancadas da WEG existem manuais que possuem vários ensaios a serem feitos, seria bem interessante disponibilizar esses relatórios para os alunos que quisessem vir ao laboratório em horários determinados pelo departamento de engenharia elétrica para utilizar o laboratório. Para isso teria sempre um técnico junto para auxiliar e fiscalizar o aluno. Os técnicos da reunião se disponibilizaram para este projeto. Essa metodologia também seria ótima aplicada aos outros laboratórios. Os alunos deveriam ter mais acesso às máquinas disponíveis nos laboratório para porem “a mão na massa”, isso com certeza despertaria maior interesse em desenvolvimento de novos projetos para o departamento.

Os ensaios sugeridos pelos manuais da WEG estão bastante simplificados. Se torna necessário o desenvolvimento de roteiros adaptados aos alunos de engenharia, daí a importância de projetos como esse. Foi sugerido na reunião que a matéria de instalações elétricas tivessem 15 experimentos no total. Cinco deles o professor iria escolher para serem obrigatórios na disciplina de Instalações Elétricas e os outros 10 seriam estariam disponíveis para o professor usar como experimentos extras para incremento da menção ou para os alunos interessados usar o laboratório nos horários vagos como citado anteriormente. Para isso é muito importante desenvolver projetos como este para elaboração de novos

## V.6 SINALIZAÇÃO

As sinalizações de aviso no laboratório ainda precisam melhorar bastante. Os quadros elétricos, por exemplo, não têm avisos de perigo, de eletricidade. Foi sugerido que a cada experimento fosse colocada uma plaqueta de aviso na bancada dizendo os cuidados que o aluno deveria ter nesse experimento específico. Os cuidados que tomamos ao ligar interruptores de lâmpadas são diferentes dos cuidados para uma partida direta de motor.

A principal preocupação no laboratório é a segurança do aluno. Não foi visualizado nenhum aviso de segurança no laboratório de risco de eletricidade, ou de atenção. O laboratório deveria estar totalmente de acordo com a norma NR10. Isso seria um tema de projeto final de graduação: fazer um estudo de todos os laboratórios para verificar a conformidade com a NR10.

## V.7 COMPONENTES SOLTOS NA MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Na bancada que temos atualmente no laboratório alguns componentes possuem um suporte para serem fixados no trilho. Mas muitos componentes ficam soltos nas bancadas, como interruptores,

botoeiras, lâmpadas, reatores Fig. (X.1). Com isso o de choque elétrico aumenta, pois com os componentes do circuitos soltos na bancada os terminais de conexão ficam mais propícios ao toque do usuário.

Foi sugerido que se crie um suporte para todos os componentes que ficam soltos nas bancadas. Com esse suporte os componentes ficarão sem mobilidade trazendo a diminuição do risco de acidentes e melhora na organização do experimento.

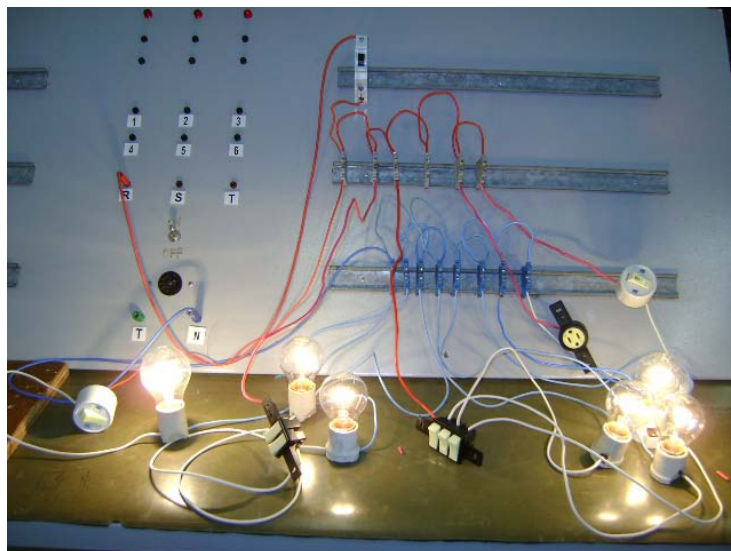


Figura 1. Ensaio 1: Interruptores. Bancada tradicionalmente usada no laboratório

## V.8 EXEMPLOS PRÁTICOS

Juntamente aos experimentos é muito importante o aluno ver o que ele está fazendo sendo aplicado na prática. E para a matéria de Instalações Elétricas não é preciso ir muito longe para isso. Como dito na reunião foi muito interessante quando alguns professores utilizaram o próprio prédio onde se encontra o laboratório para dar os exemplos práticos. É importante mostrar o quadro geral, de distribuição e terminal, mostrar o sistema de aterramento do prédio, mostrar como se dá a entrada da energia da concessionária. Mostrar os postes de energia, como esse energia passa de um poste para outro, como ela entra no transformador e como ela vai para o quadro geral. Esse tipo de demonstração com certeza estimula o aprendizado do aluno.

## APÊNDICE VI

### VÍDEO QTA

*Este apêndice tem o objetivo de comentar sobre o vídeo que mostra o experimento QTA.*

#### VI.1 ASPECTOS GERAIS

Para o experimento sobre QTA foi criado um vídeo demonstrativo. No vídeo o relé falta de fase simula uma queda e o retorno da energia através da retirada e conexão do relé falta de fase.

O vídeo foi mostrado aos alunos da matéria de instalações elétricas. Com isso o vídeo já está sendo útil para a matéria.

## APÊNDICE VII

# UTILIZAÇÃO DE 2 ENSAIOS NO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

*Utilização, pelos alunos, de 2 ensaios na matéria de instalações elétricas, UnB.*

Os experimentos envolvendo o motor de indução trifásico com chave de partida estrela-triângulo e chave de partida com autotransformador foram executados pelos alunos de instalações elétricas. Por causa da limitação de equipamentos a turma de laboratório ficou dividida em 3 grupos: 2 com a chave estrela-triângulo e 1 com a chave compensadora. Em todos os grupos o experimento foi realizado com sucesso. Ao final da aula de laboratório foi realizado um ensaio demonstrativo do CLP.

A seguir estão as fotos da execução desses experimentos.

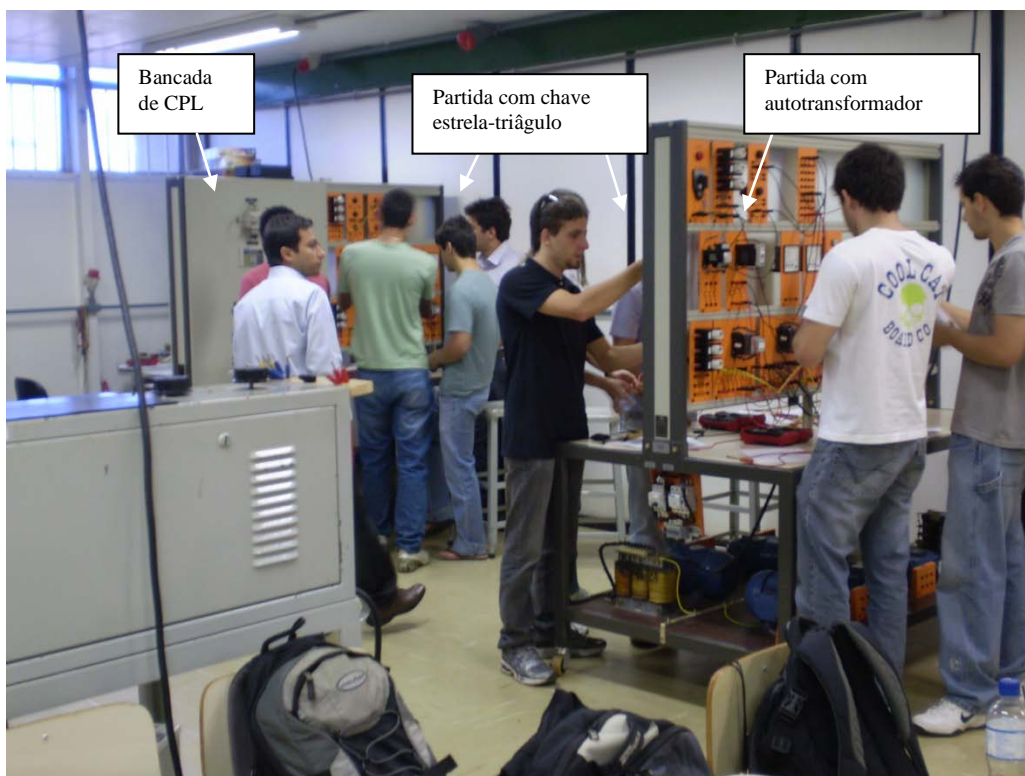


Figura 1 Execução dos experimentos

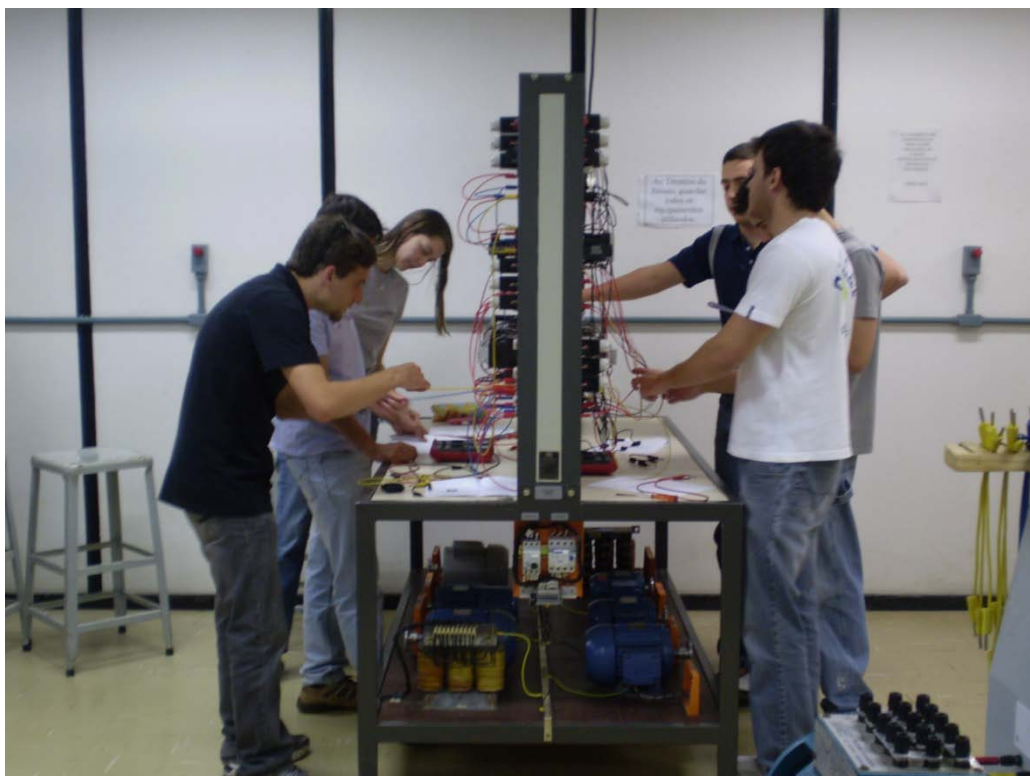


Figura 2. À esquerda do leitor está sendo rellizado o circuito com partida estrela-trela e à direita com a partida com autotransformador.



Figura 3. Montagem da chave estrela-triângulo

P	ção com a
or	da de
acrescentos	