

# ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

## APLICADOS EM BANCADAS

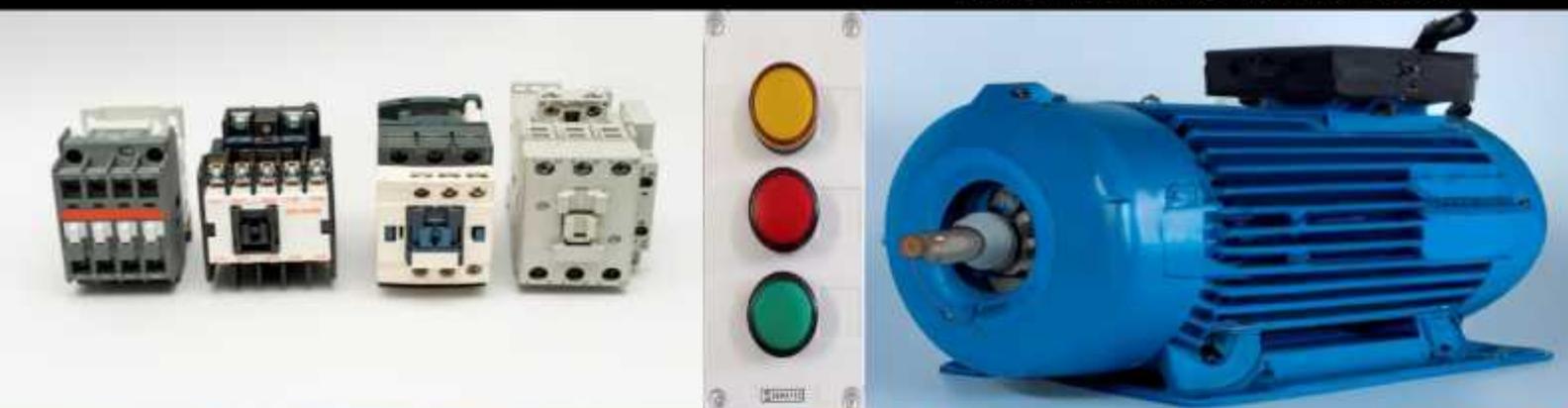
## DIDÁTICAS PARA O ENSINO

# E

## APRENDIZAGEM

1ª EDIÇÃO

AUTORES: MARCUS VINICIUS DE SOUZA FERREIRA  
MOISÉS HAMSSÉS SALES DE SOUSA  
MARCUS VINICIUS ROCHA COHEN



## Sobre os autores



### **Esp. Marcus Vinicius de Souza Ferreira**

Possui Graduação em Engenharia Elétrica (2023) Pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) e Tecnólogo em Gestão Pública (2019) Pela Universidade Norte do Paraná (Unopar). Possui Também Pós-Graduação em Gestão Financeira Empresarial Estratégica (2020), Pós-Graduação em Gestão De Projetos (2023) Pela Universidade Norte do Paraná (Unopar) e Pós-Graduação em Docência do Ensino Superior (2023) Pela Universidade Norte do Paraná (Unopar). Tem Experiencia e Trabalhos Produzidos Nas Áreas da Eletrônica Analógica e Digital, Sistemas Fotovoltaicos, Conversão de Energia, Automação e Controle de Processos Industriais com Ênfase em Acionamentos Elétricos, Motores de Indução Trifásico e Na Produção de Bancadas Didáticas Como: Bancada Didática Para Geração Eólica e Bancada Didática Para Acionamentos de Motores Elétricos Trifásicos.



### **Prof. Me. Moisés Hamssés Sales de Sousa**

Possui Graduação em Engenharia Elétrica (2016) Pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) e Técnica em Eletrônica Industrial Pela Escola Técnica Redentorista de Campina Grande (2005). Tem Experiência Na Área de Engenharia Elétrica, Com Ênfase em Máquinas Elétricas Aplicadas A Conversão de Energia, Atuando Principalmente Nos Seguintes Temas: Otimização de Sistemas Elétricos, Automação e Controle de Processos Industriais, Motores de Indução Trifásico, Eficiência Energética. Possui Mestrado em Engenharia Elétrica (2020) Pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Desenvolvendo Pesquisas e Trabalhos Na Área de Sistemas de Energia e Processamento Digital de Sinais, Sendo O Trabalho de Dissertação Aplicado À Detecção de Harmônicas Com O Uso De Hardware Embarcado, Atua Nas Modalidades de Ensino Técnico Profissionalizante, Superior e Educação Básica Com A Vertente Na Pedagogia de Projetos Integradores, Eletricidade Industrial Bem Como Ensino de Ciências.



### **Marcus Vinicius Rocha Cohen**

Acadêmico do 10º Semestre do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica Pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Bolsista de Projetos de Iniciação Científica na Área de Instrumentação Eletromecânica Com Linha de Pesquisa em Eletrônica Industrial; Possui Experiência e Trabalhos Desenvolvidos nas Áreas de Marketing, Conversão de Energia, Produção de Bancadas Didáticas de Acionamentos de Motores de Indução Trifásicos, Monitoramento de Parâmetros Nos Motores de Indução Trifásicos, Monitorias Acerca de Categorias de Sobretensão (CAT) e Metodologia 5S, Gerenciamentos de Processos Na Prática, Manuseio de Inversores de Frequência, Gerenciamento e Criação de Startup, Eletrônica Analógica e Digital, Automação e Controle Acerca de Acionamentos Elétricos, Levantamento de Carga e Projeto de Instalações Elétricas Residenciais.

Copyright © 2024, organizadores

**Reitor:** Prof. Dr. Júlio César Sá de Oliveira  
**Vice-Reitora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina de Paula Maues Soares  
**Pró-Reitor de Administração:** Me. Seloniel Barroso dos Reis  
**Pró-Reitor de Gestão de Pessoas:** Ma. Emanuelle Silva Barbosa  
**Pró-Reitor de Ensino de Graduação:** Prof. Dr. Christiano Ricardo dos Santos  
**Pró-Reitor de Planejamento:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone de Almeida Delphim Leal  
**Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação:** Prof. Dr. Carlos Eduardo Costa de Campos  
**Pró-Reitor de Extensão e Ações Comunitárias:** Prof. Msc. Steve Wanderson Calheiros

**Diretor da Editora da Universidade Federal do Amapá**

Prof. Dr. Fábio Wosniak

**Editor-chefe da Editora da Universidade Federal do Amapá**

Prof. Dr. Fábio Wosniak

**Conselho Editorial**

Fabio Wosniak  
Aldrin Vianna de Santana  
Alisson Vieira Costa  
Alaan Ubaiera Brito  
David Junior de Souza Silva  
Daniel Batista Lima Borges  
Eliane Leal Vasquez  
Frederico de Carvalho Ferreira  
Ivan Carlo Andrade de Oliveira  
Inara Mariela da Silva Cavalcante  
Marcus André de Souza Cardoso da Silva  
Marcos Paulo Torres Pereira  
Rosivaldo Gomes  
Romualdo Rodrigues Palhano  
Victor André Pinheiro Cantuario

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP

Elaborado por Aline Grazielle Benitez – CRB-1/3129

---

Ferreira, Marcus Vinicius de Souza

Acionamentos elétricos aplicados em bancadas didáticas para o ensino e aprendizagem [livro eletrônico] / Marcus Vinicius de Souza Ferreira, Moisés Hamssés Sales de Sousa, Marcus Vinicius Rocha Cohen. – 1. ed. – Macapá, AP: UNIFAP, 2024.

Bibliografia.

ISBN: 978-65-89517-79-5

1. Circuitos elétricos. 2. Equipamentos elétricos. 3. Geradores elétricos. 4. Medidores elétricos I. Sousa, Moisés Hamssés Sales de. II. Cohen, Marcus Vinicius Rocha. III. Título.

CDD – 621.3191

---

Sousa, Moisés Hamssés Sales de. Acionamentos elétricos aplicados em bancadas didáticas para o ensino e aprendizagem. Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, 2024.

**Diagramação e Capa:** Marcus Vinicius Rocha Cohen



Editora da Universidade Federal do Amapá  
www2.unifap.br/editora | E-mail:  
editora@unifap.br  
Endereço: Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 2, s/n,  
Universidade, Campus Marco Zero do Equador, Macapá-  
AP, CEP: 68.903-419



Associação Brasileira  
das Editoras Universitárias

Editora afiliada à Associação Brasileira das Editoras Universitárias

É proibida a reprodução deste livro com fins comerciais sem permissão dos organizadores.  
É permitida a reprodução parcial dos textos desta obra desde que seja citada a fonte.  
As imagens, ilustrações, opiniões, ideias e textos emitidos nesta obra são de inteira e exclusiva  
responsabilidade dos autores dos respectivos textos.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Ferreira, Marcus Vinicius de Souza

Acionamentos elétricos aplicados em bancadas didáticas para o ensino e aprendizagem [livro eletrônico] / Marcus Vinicius de Souza Ferreira, Moisés Hamssés Sales de Sousa, Marcus Vinicius Rocha Cohen. -- 1. ed. -- Macapá, AP : UNIFAP, 2024.

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-89517-79-5

1. Circuitos elétricos 2. Equipamentos elétricos  
3. Geradores elétricos 4. Medidores elétricos  
I. Sousa, Moisés Hamssés Sales de. II. Cohen,  
Marcus Vinicius Rocha. III. Título.

24-210748

CDD-621.3191

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Sistemas elétricos de potência : Engenharia elétrica 621.3191

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

## PREFÁCIO

Este livro foi elaborado para atender essencialmente a acadêmicos do curso de Engenharia Elétrica, cujo conteúdo deste livro possui ênfase a áreas como automação, eletrônica, eletrotécnica e instrumentação. Contudo, este livro também pode ser útil para engenheiros e técnicos que buscam rever conceitos a respeito da importância dos motores elétricos para sociedade, assim como as especificações de componentes e projetos de acionamento de motores elétricos, principalmente o motor de indução trifásico.

O livro detém a pretensão de introduzir um equilíbrio entre a teoria e a prática para o desenvolvimento de projetos acerca de acionamentos elétricos, cujo equilíbrio é proveniente do acúmulo de experiências pelos autores deste livro. Dentro desse acúmulo de experiências estão muitas manhãs, tardes e noites de contato com o conteúdo abordado ao longo deste livro, principalmente através de disciplinas inseridas no curso de graduação em Engenharia Elétrica. Além disso, é importante destacar as diversas horas de trabalho no laboratório de Circuitos Elétricos e Eletrônica e, no laboratório de Conversão e Máquinas Elétricas, ambos laboratórios do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

Em relação a abordagem deste livro, adota-se uma linha de raciocínio que inicia com a contextualização dos motores elétricos dentro da sociedade, onde evidencia-se a relevância desses motores. Subsequente a isso, aumenta-se gradativamente o aprofundamento da parte teórica sobre os motores, principalmente a respeito dos fundamentos e tipos de acionamentos. Após o decorrer dessa parte essencialmente teórica, inicia-se a introdução gradativa e mesclada entre a teoria e a prática, através de abordagens mais específicas que são as aplicações do motor de indução trifásico em bancadas didáticas para treinamento.

O livro está subdividido em seis capítulos, os quais estão listados na seguinte ordem: Relevância dos motores elétricos no setor industrial; Máquinas elétricas e o seu papel no consumo de energia; Tipos de acionamentos elétricos e suas aplicações; Componentes utilizados nos acionamentos de motores elétricos de indução trifásico; Bancadas didáticas para montar experimentos com motores elétricos de indução

trifásicos; e, Sequência para montar as configurações dos experimentos dos acionamentos. Importante ressaltar que os capítulos 1,2 e 3 detêm uma abordagem mais teórica e relacionada aos fundamentos de motores elétricos e seus tipos de acionamentos, enquanto os capítulos 4,5 e 6 possuem uma abordagem mais específica a respeito das aplicações do motor de indução trifásico nas bancadas didáticas.

O conteúdo presente neste livro poderá ser, assim seja, de grande auxílio para enriquecer o conhecimento teórico e prático na formação acadêmica e na formação profissional dentro das áreas da Engenharia Elétrica.

Marcus Vinicius Rocha Cohen

## LISTA DE ABREVIações

- °C → Graus Celsius
- 3D → Espaço tridimensional
- A → Ampère
- AC ou CA → Corrente Alternada
- AEG → Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft
- ANEEL → Agência Nacional de Energia Elétrica
- cc → curto-circuito
- CEE → Consumo Específico de Energia
- cm → centímetro
- CMMS → Computerized Maintenance Management System
- CNC → Controle Numérico por Computador
- CO<sub>2</sub> → Dióxido de Carbono
- COP21 → 21ª Conferência das Partes
- cv → cavalo-vapor
- DC ou CC → Corrente Contínua
- DCS → Sistema de Controle Distribuído
- DOE → Departamento de Energia
- EMS → Sistema de Gestão de Energia
- EPA → Agência de Proteção Ambiental
- F21 e F22 → Fusíveis
- F<sub>p</sub> → Fator de potência
- F<sub>s</sub> → Fator de serviço
- FT1 → Relé térmico
- g → grama
- Hrs → Horas
- HVAC → Heating, Ventilating and Air Conditioning
- Hz → Hertz
- IA → Inteligência Artificial
- IE → Classe Energética
- IEC → Comissão Eletrotécnica Internacional
- IEEE → Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
- IGBT → Insulated-Gate Bipolar Transistor
- IHM → Interface Homem-Máquina
- I<sub>n</sub> → Corrente nominal
- IoT → Internet das Coisas
- I<sub>p</sub> → Corrente de partida

JOG → Controle manual de velocidade  
k → Kilo ( $10^3$ )  
K1, K2 e K3 → Contatores  
KT1 → Relé temporizador  
kWh → KiloWatts-Hora  
L1, L2 e L3 → Linhas de alimentação trifásica  
LED → Diodo Emissor de Luz  
Ltda → Sociedade Limitada  
m → metro  
Maglev → Magnetic levitation transport  
MEPS → Minimum Energy Performance Standard  
MIT → Motor de Indução Trifásico  
mm → milímetro  
mm<sup>2</sup> → milímetro ao quadrado  
ms → milissegundo  
N → Neutro  
NA → Normalmente Aberto  
NB → Normalmente Fechado  
NEMA → National Electrical Manufacturers Association  
Ohm → Unidade de medida de resistência elétrica  
P → Polo  
PID → Controlador Proporcional Integral Derivativo  
PLC / CLP → Programmable Logic Controller  
PMa-SynRM → Motor de Relutância Síncrono assistido por Ímã Permanente  
PROCEL → Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica  
PRODIST → Regras e Procedimentos de Distribuição  
PWM → Pulse Width Modulation  
Q1 → Disjuntor  
RESEB → Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro  
RMS → Root Mean Square  
RPM → ROTAÇÃO POR MINUTO  
s → segundo  
S0, S1 e S2 → Botões  
SCADA → Supervisory Control and Data Acquisition  
SEW → Sudeutsche-Elektromotoren-Werke  
T → Terra  
TI → Tecnologia de Informação  
UE → União Europeia  
V → Volt

VA → Volt-Ampère

Vca → Tensão em Corrente Alternada

VCC → Tensão em Corrente Contínua

VSD → Variable Speed Drive

W → WATTS

WEG → Werner, Eggon e Geraldo

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Demonstração da lei de Faraday .....	17
Figura 02 – Funcionamento do motor elétrico .....	18
Figura 03 – Selo Procel de conformidade com os padrões de eficiência energética no Brasil.....	35
Figura 04 – Logotipo da Energy Star para certificação energética .....	36
Figura 05 – Motor de alto rendimento .....	39
Figura 06 – Sistema de acionamento de velocidade variável com inversor de frequência.....	40
Figura 07 – Diagrama de potência da partida direta .....	45
Figura 08 – Diagrama de comando da partida direta.....	46
Figura 09 – Diagrama de força e comando da partida direta com reversão ...	48
Figura 10 – Diagrama de força da partida estrela-triângulo.....	49
Figura 11 – Diagrama de comando da partida estrela-triângulo.....	50
Figura 12 - Curva de operação para motor de indução (conjugado vs frequência) .....	52
Figura 13 - Curva de operação para motor de indução com ventilação independente.....	53
Figura 14 – Conexão de potência do drive da família Movidrive .....	54
Figura 15 – Vista frontal do IHM do inversor de frequência CFW-10.....	55
Figura 16 – Diagrama da estrutura geral de um inversor de frequência .....	55
Figura 17 – Diagrama de potência do inversor de frequência .....	56
Figura 18 – Diagrama de controle do inversor de frequência .....	56
Figura 19 – Diagrama de potência e comando do Soft-Starter.....	58
Figura 20 – Dispositivo Soft-Start da fabricante Schneider Electric.....	59
Figura 21 - Contator WEG CMW1810E .....	61
Figura 22 - Contato auxiliar Weg-Bcxmf .....	62
Figura 23 - Botoeira NA e NF .....	63
Figura 24 - Botoeira de emergência .....	65
Figura 25 - Relé Térmico .....	66
Figura 26 - Sinaleira .....	69

Figura 27 - Barramento tipo pente trifasico.....	70
Figura 28 - Trilho din.....	71
Figura 29 - Anilhas de identificação nos cabos constituídos de cobre.....	71
Figura 30 - Terminais do tipo de garfo (esquerda) e pino (direita).....	72
Figura 31 - Relé temporizador Clip.....	73
Figura 32 - Fonte Chaveada 24V.....	75
Figura 33 - Linha Weg CFW 10.....	76
Figura 34 - Bornes de passagem.....	78
Figura 35 - Estrutura do potenciômetro.....	79
Figura 36 - Potenciômetro.....	80
Figura 37 - Chave seletora de 3 posições.....	81
Figura 38 – Disjuntor Monopolar.....	82
Figura 39 – Disjuntor Bipolar.....	83
Figura 40 – Disjuntor Tripolar.....	84
Figura 41 – Disjuntor motor GV2-M10.....	85
Figura 42 – Chave gangorra 6 terminais e 3 posições.....	86
Figura 43 – Soft-Starter SSW07 WEG.....	87
Figura 44 – Interface Homem-Máquina (IHM).....	89
Figura 45 – Transformador Elevador Trifásico.....	91
Figura 46 – Caixas de passagem vazias com padrão de furo 22mm.....	92
Figura 47 – Canaleta elétrica aberta de PVC.....	93
Figura 48 – Tubo espiral de polietileno.....	94
Figura 49 – Abraçadeira de nylon.....	94
Figura 50 – Plugue 3P+T (N-4076).....	95
Figura 51 – Plugue macho 2P+T.....	96
Figura 52 – Conector do tipo sindal 4mm <sup>2</sup> .....	97
Figura 53 – Motor de indução trifásico (MIT).....	98
Figura 54 – Ambiente de sala de aula.....	100
Figura 55 – Ambiente de laboratório.....	100
Figura 56 – Modelo de rotores bobinados de motores de indução.....	102
Figura 57 – Estrutura interna de um motor com rotor bobinado.....	102

Figura 58 – Visão frontal da bancada didática de partida direta com reversão em MIT .....	104
Figura 59 – Visão frontal da bancada didática de partida estrela-triângulo em MIT .....	106
Figura 60 – Visão frontal da bancada didática de partida com inversor de frequência em MIT .....	108
Figura 61 – Visão frontal da bancada didática de partida com Soft-Starter em MIT .....	110
Figura 62 – Diagrama de comando e força da partida direta com reversão em MIT .....	113
Figura 63 – Diagrama de comando e força da partida estrela-triângulo em MIT .....	116
Figura 64 – Diagrama de comando e força da partida com inversor de frequência em MIT .....	119
Figura 65 – Diagrama de comando e força da partida com Soft-Starter em MIT .....	121

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Especificações técnicas do contator .....	61
Quadro 02 – Especificações técnicas do contato auxiliar .....	62
Quadro 03 – Especificações técnicas das botoeiras NA e NF .....	64
Quadro 04 – Especificações técnicas da botoeira de emergência .....	65
Quadro 05 – Especificações técnicas do relé térmico .....	66
Quadro 06 – Especificações técnicas das sinaleiras .....	69
Quadro 07 – Especificações técnicas do relé temporizador .....	73
Quadro 08 - Especificações técnicas da fonte chaveada .....	75
Quadro 09 - Especificações técnicas do inversor de frequência CFW10 .....	76
Quadro 10 - Especificações técnicas dos bornes de passagem.....	78
Quadro 11 - Especificações técnicas do potenciômetro .....	80
Quadro 12 - Especificações técnicas da chave seletora.....	81
Quadro 13 - Especificações técnicas do disjuntor monopolar .....	82
Quadro 14 - Especificações técnicas do disjuntor bipolar.....	83
Quadro 15 - Especificações técnicas do disjuntor tripolar .....	84
Quadro 16 - Especificações técnicas do disjuntor motor .....	85
Quadro 17 - Especificações técnicas da chave gangorra .....	86
Quadro 18 - Especificações técnicas do soft-starter.....	88
Quadro 19 - Especificações técnicas da IHM .....	90
Quadro 20 - Especificações técnicas da caixa de passagem .....	92
Quadro 21 - Especificações técnicas do plugue 3P+T .....	95
Quadro 22 - Especificações técnicas do plugue macho 2P+T.....	96
Quadro 23 - Especificações técnicas do conector do tipo sindal .....	97
Quadro 24 - Especificações técnicas do motor de indução trifásico .....	98

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: RELEVÂNCIA DOS MOTORES ELÉTRICOS NO SETOR INDUSTRIAL.....</b>	<b>13</b>
1.1 FUNDAMENTOS DOS MOTORES ELÉTRICOS .....	15
1.2 APLICAÇÕES NO SETOR INDUSTRIAL .....	18
1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	21
1.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	23
1.5 TECNOLOGIAS EMERGENTES .....	25
1.6 CONTROLE AVANÇADO DE MOTORES ELÉTRICOS.....	27
<b>CAPÍTULO 2: MÁQUINAS ELÉTRICAS E O SEU PAPEL NO CONSUMO DE ENERGIA.....</b>	<b>30</b>
2.1 A RELEVÂNCIA DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS NA SOCIEDADE .	31
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MÁQUINAS ELÉTRICAS.....	33
2.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES.....	34
2.4 TECNOLOGIAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA.....	39
2.5 INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO .....	42
<b>CAPÍTULO 3: TIPOS DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS E SUAS APLICAÇÕES</b>	<b>45</b>
3.1 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS: .....	45
3.1.1 PARTIDA DIRETA E PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO.....	45
3.1.2 PARTIDA ESTRELA – TRIÂNGULO.....	48
3.2 ACIONAMENTOS ELETRÔNICOS.....	51
3.2.1 PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	51
3.2.2 PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA E CLP .....	53
3.2.3 PARTIDA COM SOFT-STARTER .....	57
<b>CAPÍTULO 4: COMPONENTES UTILIZADOS NOS ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....</b>	<b>60</b>
4.1 INFRAESTRUTURA E MATERIAIS (ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS)	
.....	60
4.1.1 CONTADORES .....	60
4.1.2 CONTATO AUXILIAR.....	61
4.1.3 BOTOEIRAS .....	63
4.1.4 BOTOEIRA DE EMERGÊNCIA.....	64
4.1.5 RELÉ TÉRMICO .....	65
4.1.6 SINALEIRA OU SINALIZADORES.....	68
4.1.7 BARRAMENTO .....	70
4.1.8 TRILHO DIN, ANILHAS, CABOS E TERMINAIS .....	70
4.1.9 RELÉ TEMPORIZADOR .....	72
4.1.10 FONTE CHAVEADA.....	74
4.1.11 INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	75
4.1.12 BORNES SAK DE PASSAGEM.....	77

4.1.13 POTENCIÔMETRO.....	79
4.1.14 CHAVE SELETORA DE 3 POSIÇÕES .....	80
4.1.15 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS .....	81
4.1.16 DISJUNTOR-MOTOR .....	84
4.1.17 CHAVE GANGORRA 6 TERMINAIS 3 POSIÇÕES .....	86
4.1.18 SOFT-STARTER SSW07 .....	87
4.1.19 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM).....	89
4.1.20 TRANSFORMADOR ELEVADOR .....	90
4.1.21 CAIXA PLÁSTICA DE PASSAGEM VAZIA – BOTOEIRA E SINALEIRA.....	91
4.1.22 CANALETA ELÉTRICA, TUBO ESPIRAL E ABRAÇADEIRAS DE NYLON .	92
4.1.23 PLUGUE E CONECTOR SINDAL .....	95
4.1.24 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO (MIT) .....	97
<b>CAPÍTULO 5: BANCADAS DIDÁTICAS PARA MONTAR EXPERIMENTOS COM MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRAFÁSICOS .....</b>	<b>99</b>
5.1 A IMPORTÂNCIA DA CONSTRUÇÃO DE BANCADAS DIDÁTICAS	99
5.2 ASPECTOS FAVORÁVEIS DO USO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS .....	101
5.3 BANCADAS DIDÁTICAS DESENVOLVIDAS PARA O ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS .....	103
5.3.1 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO.....	103
5.3.2 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO.....	104
5.3.3 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA..	106
5.3.4 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA COM SOFT-STARTER .....	108
<b>CAPÍTULO 6: SEQUÊNCIA PARA MONTAR AS CONFIGURAÇÕES DOS EXPERIMENTOS DOS ACIONAMENTOS.....</b>	<b>111</b>
6.1 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.....	111
6.2 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.....	113
6.3 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS .....	116
6.4 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA COM SOFT-STARTER PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.....	119
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>122</b>

## **CAPÍTULO 1: RELEVÂNCIA DOS MOTORES ELÉTRICOS NO SETOR INDUSTRIAL**

A utilização de motores elétricos desempenha um papel fundamental no setor industrial, os quais tratam-se de um componente vital para o funcionamento de diversas máquinas e equipamentos. Este trabalho tem como objetivo explorar a relevância dos motores elétricos na indústria, o qual aborda tanto o contexto histórico quanto os aspectos contemporâneos que envolvem essa tecnologia presente nos motores.

Os motores elétricos desempenham um papel essencial na indústria desde o seu surgimento no final do século XIX. Um dos pioneiros no desenvolvimento dessa tecnologia foi o engenheiro e inventor Nikola Tesla, cujas contribuições revolucionaram a forma como a energia elétrica é convertida em movimento mecânico. Nesse contexto histórico, é evidente a importância dos motores elétricos como uma inovação disruptiva que impulsionou o crescimento da indústria moderna.

Além disso, a relevância dos motores elétricos no setor industrial transcende seu legado histórico. No século XXI, esses dispositivos desempenham um papel crítico na automação de processos, no controle de máquinas com princípio de funcionamento complexo e na eficiência operacional das indústrias. A manutenção preditiva, a eficiência energética e as tecnologias emergentes são tópicos de extrema importância que estão diretamente relacionados ao desempenho e à confiabilidade dos motores elétricos em ambientes industriais.

Para aprofundar a compreensão a respeito da relevância dos motores elétricos no setor industrial, este trabalho se baseia em uma análise crítica da literatura no século XXI, cujo trabalho inclui diversas pesquisas científicas, relatórios técnicos e artigos científicos de renomados especialistas na área de acionamentos de motores. Através dessa revisão bibliográfica, busca-se explorar os aspectos históricos e contemporâneos que tornam fundamentais os motores elétricos para o funcionamento eficaz e eficiente das indústrias modernas.

Com base no contexto histórico, o ano de 1866 representa um marco significativo na evolução das máquinas elétricas, devido ser o momento em que o cientista alemão Werner Siemens concebeu o primeiro gerador de corrente contínua autoinduzido. É fundamental destacar que essa máquina foi o resultado de décadas

de pesquisa, estudos e inovações realizadas por diversos cientistas ao longo de quase três séculos.

O progresso em direção aos motores elétricos remonta a eventos como o trabalho de William Gilbert, em 1600, que descreveu a força de atração magnética. Em 1663, o alemão Otto Guericke construiu a primeira máquina eletrostática, posteriormente aprimorada pelo suíço Martin Planta em 1774. O professor italiano de medicina Aloiso Galvani, em 1786, observou que coxas de rãs penduradas em uma grade de ferro contraíam-se quando tocadas por um bisturi, um fenômeno denominado “eletricidade animal”.

Outro cientista italiano, cujo nome é Alessandro Volta, em 1799, fez uma descoberta importante ao perceber que uma tensão elétrica surgia entre dois metais diferentes imersos em um líquido condutor. Ele desenvolveu uma fonte de energia chamada de “coluna de Volta” para fornecer corrente elétrica. Em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted realizou uma descoberta ao notar que uma agulha magnética de uma bússola era desviada de sua orientação norte-sul quando próxima a um condutor com corrente elétrica, marcando um dos primeiros passos rumo ao desenvolvimento do motor elétrico.

Um inglês chamado de William Sturgeon, baseou-se na descoberta de Oersted e, em 1825, observou que um núcleo de ferro envolto por um fio condutor elétrico tornava-se um ímã quando uma corrente elétrica era aplicada. Esse foi o nascimento do eletroímã, uma inovação fundamental que deu origem aos dispositivos como o telefone, microfone, alto-falante e telégrafo. Anos mais tarde, mais precisamente no ano de 1831, surge a figura do cientista inglês Michael Faraday, o qual descobriu a indução eletromagnética através de seus estudos científicos.

Em 1832, o cientista italiano S. Dal Negro construiu a primeira máquina de corrente alternada com movimento de vaivém. No ano seguinte, em 1833, o inglês W. Ritchie inventou o comutador e criou um pequeno motor elétrico, onde um núcleo de ferro enrolado girava em torno de um ímã permanente, alternando a polaridade do eletroímã a cada meia volta por meio do comutador.

Ainda na década de 30 do século XIX, especificamente no ano de 1838, o professor alemão Moritz Hermann Von Jacobi desenvolveu um motor elétrico e aplicou-o a uma lancha, onde demonstrou a aplicação prática da energia elétrica em trabalho mecânico. No entanto, naquela época toda a energia era proveniente de

baterias de custo financeiro alto e de uso restrito. Com base nesse contexto, a atenção começou a se voltar para o desenvolvimento de algum tipo de geração de energia elétrica que fosse de baixo custo.

No ano de 1856, o engenheiro eletricista Werner Siemens descreveu o sucesso na construção de um gerador de corrente magnética, porém, esse dispositivo não tinha a capacidade de gerar energia suficiente para atender às demandas industriais e domésticas. Somente em 1866, Siemens construiu um gerador sem ímã permanente, demonstrando que a tensão necessária para gerar magnetismo poderia ser obtida do próprio enrolamento do rotor, permitindo que a máquina desenvolvesse um tipo de autoexcitação.

O primeiro dínamo de Werner Siemens tinha uma potência de cerca de 30W e girava a 1.200 rpm, o qual também poderia funcionar como motor, no caso de uma corrente contínua fosse aplicada aos seus terminais. Em 1879, a empresa Siemens & Halske apresentou a primeira locomotiva elétrica com uma potência de 2 kW. No entanto, essa máquina era dispendiosa e vulnerável em serviço, o que impulsionou a busca por um motor elétrico mais acessível, robusto e de manutenção mais econômica.

No ano de 1885, o engenheiro eletricista italiano Galileu Ferraris construiu um motor de corrente alternada bifásico e, em 1887, o iugoslavo Nikola Tesla apresentou um pequeno protótipo de motor de indução bifásico com rotor em curto-circuito. Contudo, em 1889, surge a figura do renomado engenheiro eletricista russo Michael Von Dolivo Dobrowolsky, da firma AEG, de Berlim, o qual persistiu na pesquisa sobre motores de corrente alternada, além de patentear um motor trifásico com rotor de gaiola. Este motor era simples, silencioso, necessitava de menos manutenção e era altamente seguro em operação. A partir de 1891, Dobrowolsky iniciou a produção em série de motores assíncronos com potências variando de 0,4 a 7,5 kW.

## 1.1 FUNDAMENTOS DOS MOTORES ELÉTRICOS

Um motor elétrico pode ser definido como uma máquina destinada a converter energia elétrica em energia mecânica. Eles são utilizados em diversos tipos de aplicações devido à sua combinação de benefícios, onde aproveita-se a energia

elétrica com base em uma construção versátil e adaptável para diversas cargas e eficiências (Franchi, 2008).

De acordo com Ferraz Netto (2011), em máquinas geradoras de energia elétrica, sejam motores ou geradores, é possível distinguir duas partes principais: o estator, composto por partes rigidamente ligadas à carcaça e ao rotor, que gira em torno de um eixo apoiado em mancais fixados na carcaça; e o indutor, responsável pela criação do campo magnético. A outra parte é o induzido, que gera a corrente induzida.

Em dínamos, há uma indução onde o estator induz o rotor, enquanto nos alternadores, o processo ocorre inversamente. Assim, a corrente induzida cria um campo magnético capaz de exercer forças contrárias à rotação, conforme estabelecido pela Lei de Lenz (Ferraz Netto, 2011). O funcionamento dos motores elétricos é baseado na interação entre campos eletromagnéticos, embora também existam motores que utilizam outros fenômenos eletromecânicos, como forças eletrostáticas (Franchi, 2008).

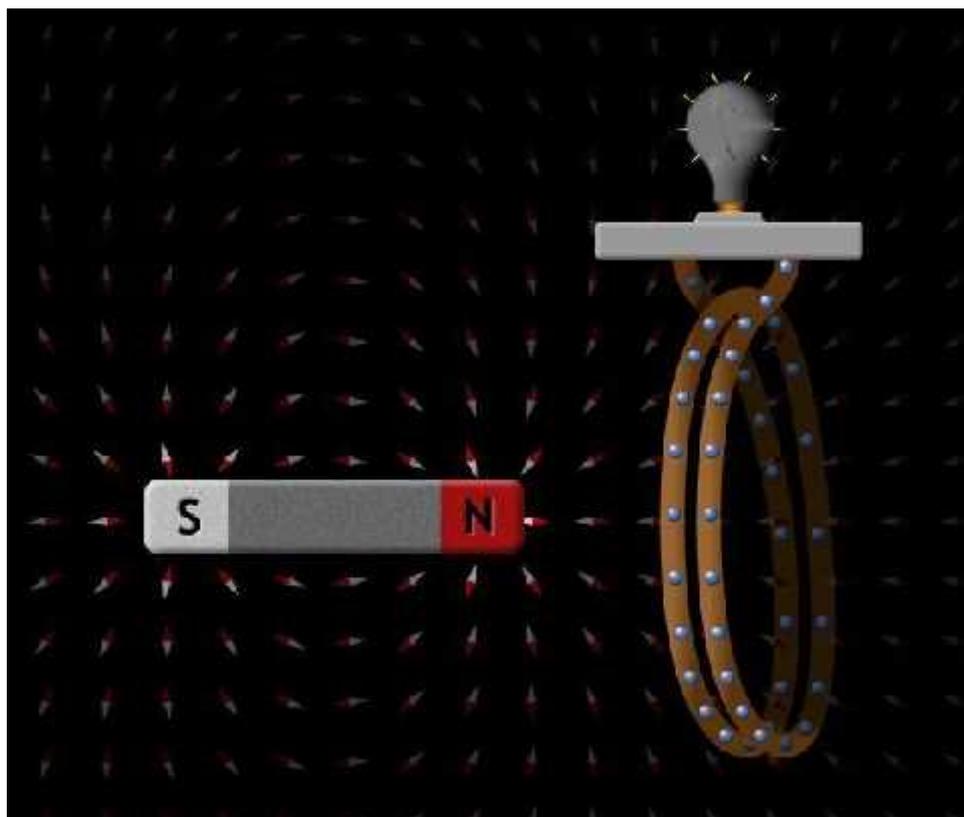
De acordo com Brito (2014), o princípio fundamental por trás dos motores eletromagnéticos é a presença de uma força mecânica em qualquer fio que conduza corrente elétrica no interior de um campo magnético. Essa força é descrita pela Lei da Força de Lorentz, que age perpendicularmente tanto ao fio quanto ao campo magnético.

O rotor é a parte do motor que permanece em movimento no interior de um motor rotativo. Isso acontece porque os fios e o campo magnético são organizados de maneira que um torque seja gerado ao longo do eixo central do rotor. A maioria dos motores magnéticos tem um movimento rotativo, embora também existam tipos lineares. O estator, por outro lado, é a parte estacionária do motor. Ele consiste em eletroímãs posicionados em ranhuras de material ferromagnético que compõem o rotor (Brito, 2014).

Diferentes tipos de motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica e incluem os motores síncronos, motores assíncronos ou de indução e motores de corrente contínua. Com base nos estudos efetuados por Filho (2010), o funcionamento de geradores e motores é baseado no fenômeno da indução eletromagnética, também conhecido como a Lei de Faraday. Nesse contexto, a corrente elétrica é induzida por meio de um circuito elétrico fechado, proporcional à

mudança no fluxo magnético dentro do circuito. Esse fenômeno pode ser observado ao aproximar um ímã de uma espira de fio metálico, que ao conectar a um galvanômetro, indica a passagem de uma corrente elétrica induzida. Esse fenômeno ocorre quando há uma variação do campo magnético próximo à espira de fio (Filho, 2010). A seguir na figura 01, ilustra-se este processo.

Figura 01 – Demonstração da lei de Faraday



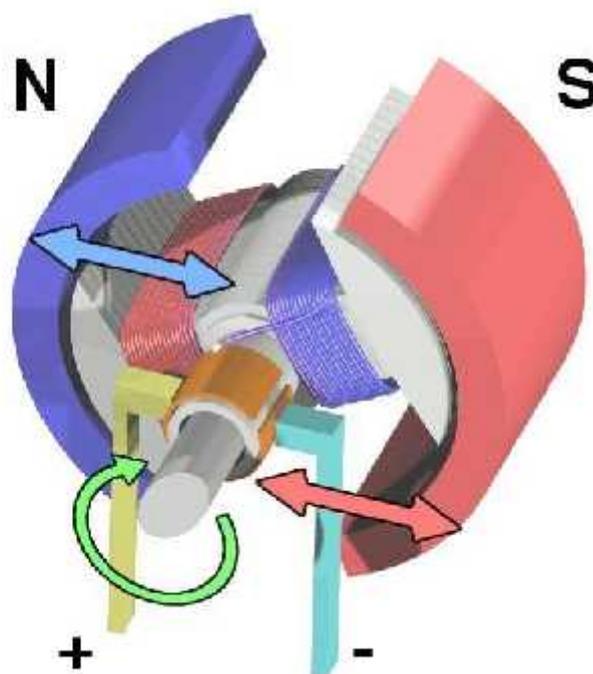
Fonte: Filho (2010)

Nos motores de corrente contínua, os componentes fixos consistem em ímãs, enquanto os componentes móveis são compostos por bobinas. Quando a corrente elétrica flui através da bobina, o campo magnético gerado nos fios interage com o campo magnético do ímã, o que resulta no movimento do rotor (Filho, 2010). Além disso, vale destacar que o fluxo magnético presente nesse campo magnético, é calculado como o produto da intensidade do campo magnético pela área da superfície.

Filho (2010) também menciona que é possível variar o fluxo magnético através do ajuste da intensidade do campo magnético ou pela modificação da área afetada pelo fluxo magnético. Motores de corrente contínua são tipicamente construídos com duas estruturas relevantes: o estator, que permanece fixo, e o rotor, que gira em

resposta à corrente elétrica. Na figura 02 a seguir, ilustra-se o funcionamento do motor elétrico através da relação entre o sentido de rotação do eixo do motor e o sentido do campo magnético pelo ímã:

Figura 02 – Funcionamento do motor elétrico



Fonte: Filho (2010)

## 1.2 APLICAÇÕES NO SETOR INDUSTRIAL

Os motores elétricos são componentes essenciais em uma ampla gama de aplicações industriais, os quais detêm um papel fundamental na automação e na eficiência energética das operações industriais. Um dos setores industriais mais proeminentes onde os motores elétricos são amplamente empregados é o de manufatura. Eles são usados em linhas de produção para acionar máquinas e transportadores, garantindo um fluxo contínuo de produção. Em instalações de logística e transporte, os motores elétricos são usados em equipamentos que desempenham a movimentação de materiais, como esteiras transportadoras e empilhadeiras elétricas, o que contribui para o aumento da eficiência e da produtividade.

Segundo Franchi (2014), o acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores elétricos possui grande relevância na área econômica. Estima-se que o mercado mundial de todos os tipos de motores elétricos seja da ordem de dezena de bilhões de dólares por ano. No setor dos acionamentos industriais, avalia-se que 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja proveniente da transformação em energia mecânica por motores elétricos.

Sistemas de ventilação e controle de temperatura, o que inclui o sistema HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), dependem amplamente de motores elétricos para manter ambientes industriais com condições ideais para a produção e o conforto dos funcionários. A eficiência energética é uma preocupação cada vez maior na indústria, e os motores elétricos desempenham um papel fundamental nesse aspecto. Motores mais eficientes desperdiçam menos energia, o que acarreta na redução de custos operacionais.

Em setores sensíveis, como o de alimentos e bebidas, motores elétricos são usados em processos de mistura, envase e embalagem, o que garante a precisão e a higiene necessárias. A indústria química é outra área que também depende dos motores elétricos em uma variedade de aplicações internas, desde a agitação de reatores até o bombeamento de fluidos corrosivos. Na mineração e na construção, os motores elétricos são normalmente utilizados em equipamentos pesados, como guindastes e escavadeiras elétricas, cujos motores proporcionam força e versatilidade.

No caso de operações que envolvam o setor de petróleo e gás, os motores possuem um desempenho vital na extração e no transporte de recursos energéticos, onde são utilizados em bombas, compressores e guinchos. No setor siderúrgico, usa-se motores elétricos em laminadores, fornos e sistemas de transporte de materiais, cuja aplicação colabora numa produção eficiente de aço e metais. Em instalações de tratamento de água e saneamento básico, os motores elétricos impulsionam bombas e válvulas, o que garante o fornecimento de água limpa e o tratamento adequado de resíduos.

Além disso, tanto na indústria de aeroespacial e quanto na indústria de defesa aérea, os motores elétricos são empregados em máquinas de usinagem de alta precisão, sistemas de controle de voo, sistemas de propulsão elétrica e sistemas de

orientação de mísseis, onde desempenham um papel crítico na segurança e no melhor desempenho possível desses equipamentos. Em instalações de geração de energia, como usinas termoelétricas e hidrelétricas, os motores elétricos são usados para acionar turbinas e geradores, convertendo energia mecânica em eletricidade. A indústria de papel e celulose utiliza motores em máquinas de corte, impressão e embalagem, cuja finalidade é otimizar a produção de produtos à base de papel. Nos setores de fabricação de produtos químicos e farmacêuticos, os motores elétricos são usados em sistemas de agitação e mistura, cujo o objetivo é contribuir para a qualidade e a consistência dos produtos.

No caso das instalações de processamento de alimentos, os motores elétricos estão presentes em equipamentos de cozinha, moagem e empacotamento, o que possibilita a eficiência e a segurança dos processos. Além disso, a indústria automobilística é outra área depende dos motores elétricos, os quais são aplicados em robôs de montagem, transportadores de peças e sistemas de pintura, de forma que agilize a produção e melhore a qualidade. Em instalações de tratamento de resíduos, como usinas de incineração e reciclagem, motores elétricos são usados em trituradores e transportadores para processar materiais de forma eficiente.

A manutenção preditiva é uma área em crescimento na indústria, e os motores elétricos desempenham um papel importante nesse contexto. Sensores e sistemas de monitoramento conectados a esses motores permitem que as empresas prevejam falhas e realizem manutenção preventiva, reduzindo o tempo de parada não planejada e economizando recursos. Os avanços na tecnologia de materiais e design tornaram os motores elétricos mais compactos, leves e eficientes. Isso tem permitido a sua aplicação em espaços reduzidos e em equipamentos móveis, como veículos elétricos, drones industriais e dispositivos médicos.

Segundo Filho (2012), a execução sistemática de um adequado programa de manutenção das instalações elétricas está inserida no contexto da filosofia de conservação de energia elétrica, visto que sua ausência implica aumento de perdas térmicas, custos adicionais imprevistos em virtude da incidência de defeitos nas instalações, maior consumo de energia, além de maior probabilidade de ocorrência de incêndios.

Na medida que o setor industrial evolui, os motores elétricos também enfrentam desafios e oportunidades futuras. A pesquisa e desenvolvimento contínuos buscam

criar motores mais eficientes e sustentáveis, onde incorporam-se novos materiais, tecnologias avançadas de controle e soluções inovadoras para atender às crescentes demandas da indústria global. Em resumo, os motores elétricos são uma parte essencial e versátil da indústria moderna, onde possuem aplicações em diversos setores, desde manufatura até energias renováveis. Dessa forma, contribui-se para a automação, a eficiência energética e o sucesso das operações industriais contemporâneas e futuras.

### 1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é uma área em crescimento na indústria, onde os motores elétricos desempenham um papel importante nesse contexto. Esse enfoque revolucionário na manutenção industrial tem se tornado mais popular e essencial para as operações das empresas ao decorrer do tempo. Neste tópico, será explorado em detalhes como a manutenção preditiva transforma a forma como a indústria aborda a conservação de motores elétricos e como isso impacta positivamente a eficiência operacional e a redução de custos, principalmente em relação aos recursos administrados.

Segundo Filho (2013), a manutenção preventiva obedece a um padrão previamente esquematizado e definido geralmente pelo fabricante ou fornecedor dos ativos da fábrica, que estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir a troca de peças usadas por novas. Desse modo, assegura-se assim o funcionamento considerado ideal da máquina por um período predeterminado.

O ambiente da manutenção preditiva envolve o uso de tecnologia avançada, como sensores, monitoramento em tempo real e análise de dados para identificar e prever problemas em motores elétricos antes que ocorram falhas. Essa abordagem contrasta com a manutenção reativa tradicional, a qual se baseia em consertos após a quebra do equipamento, o que resulta em paralisações não planejadas dos equipamentos e a perda de produção. A manutenção preditiva permite uma gestão mais eficiente dos ativos industriais, onde o tempo de inatividade não programado é reduzido consideravelmente.

Os sensores que são estrategicamente posicionados nos motores elétricos coletam uma variedade de dados, como temperatura, vibração, corrente elétrica e

ruído. Esses dados são transmitidos para sistemas de monitoramento em tempo real, os quais analisam constantemente em busca de anomalias. Quando qualquer desvio das condições normais é detectado, o sistema emite alertas para os operadores, que indicam a necessidade de manutenção preventiva. Com isso, permitam-se que as equipes de manutenção programem intervenções precisas e evitem interrupções indesejadas no período de produção.

A área da manutenção preditiva possui uma relevância notável quando aplicada aos motores elétricos, que são componentes críticos em uma ampla variedade de setor industrial. Dada a importância do desempenho funcional dos motores elétricos dentro da indústria, uma falha em um motor elétrico pode resultar em tempo de inatividade significativo e custos elevados de reparo ou substituição.

Com a implementação da manutenção preditiva para motores elétricos, as empresas podem realizar inspeções e reparos apenas quando necessário, em vez de seguir cronogramas fixos de manutenção preventiva. Com base nisso, economiza recursos, além de minimizar o desgaste de peças e prolongar a vida útil dos motores elétricos.

Segundo Freitas (2013), a possibilidade de antecipar as falhas proporciona o planejamento adequado das intervenções de manutenção, o que otimiza os recursos humanos e financeiros, além de racionalizar o consumo de materiais sobressalentes e reduzir os impactos ambientais. Isso é de extrema relevância em indústrias de alta demanda, como a automobilística e a eletrônica, onde cada minuto de paralisação pode representar perdas significativas no processo fabril.

Outro benefício diante da manutenção preditiva é a contribuição para a segurança no local de trabalho, onde há a identificação de problemas potenciais em motores elétricos antes de possíveis acidentes. Além disso, ocorre a redução do tempo de inatividade, o que beneficia os trabalhadores diante de situações de sobrecarga e estresse evitados, principalmente devido a reparos de emergência.

A integração da manutenção preditiva com Sistemas Informatizados de Gerenciamento de Manutenção (CMMS) oferece uma visão abrangente do estado dos motores elétricos e do histórico de manutenção. Isso permite que as empresas tomem decisões informadas sobre quando e como realizar intervenções. Além disso, a manutenção preditiva contribui para a sustentabilidade ambiental, dada a redução do desperdício de recursos, como materiais de reposição e energia, resultantes de falhas

não planejadas. A capacidade de prolongar a vida útil dos motores elétricos também reduz a necessidade de fabricação de novos equipamentos, onde diminui o impacto ambiental da produção industrial.

Os avanços na tecnologia têm sido fundamentais para impulsionar o crescimento da manutenção preditiva. A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel essencial nesse processo de crescimento, visto que permite a conexão de sensores a redes de dados, a qual possibilita o monitoramento em tempo real em grande escala. Algoritmos de aprendizado de máquina e análise de *big data* são usados para identificar padrões e tendências nos dados coletados, o que torna mais precisa a detecção de anomalias.

Empresas investem em cursos de capacitação de técnicos para aproveitar ao máximo os sistemas de manutenção preditiva. Técnicos especializados são necessários para operar os sistemas de monitoramento e realizar análises detalhadas dos dados coletados. Além disso, a colaboração entre departamentos, como manutenção e TI, é imprescindível para garantir a eficácia da manutenção preditiva. Com a evolução desse modelo de manutenção ao decorrer do tempo, espera-se que mais empresas adotem a manutenção preditiva para otimizar suas operações e permanecer competitivas em um mercado em constante mudança.

#### 1.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Augusto Júnior (2001), a eficiência energética é um conjunto de políticas e ações que tem por objetivo a redução dos custos da energia efetivamente utilizada ou ainda, o aumento da quantidade de energia oferecida sem aumento de geração.

Os setores industriais estão cada vez mais atentos à questão da eficiência energética como parte de um esforço para alcançar uma economia mais verde e respeitosa com o meio ambiente. Esse movimento está alinhado com as metas da COP21, nas quais muitos países se comprometeram a reduzir as emissões de carbono. No entanto, o principal impulso para a busca de equipamentos mais eficientes em termos energéticos na indústria é a economia de despesas com o consumo de energia. Um estudo da Comissão Europeia destaca que os motores são responsáveis por 65% do consumo total de energia elétrica na indústria europeia.

Portanto, aprimorar a eficiência dos motores é fundamental para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

No caso de considerar uma integração de motores mais eficientes em um sistema, tanto no viés econômico de energia quanto na contribuição à preservação ambiental, é necessário a consulta diante das normas de eficiência energética aplicáveis na região onde o sistema será implementado. Contudo, é importante observar que essas normas geralmente são aplicadas em motores assíncronos de corrente alternada.

Internacionalmente, a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) definiu classes de eficiência energética para motores elétricos, conhecidas como classes IE, que estão detalhadas na norma internacional IEC. Essas classes variam de IE1 (rendimento padrão) a IE4 (rendimento super premium), onde são estabelecidos limites mínimos de eficiência, com base nas características dos motores.

Na Europa, a União Europeia (UE) implementou diretivas que visam reduzir o consumo de energia dos motores, onde torna-se obrigatório a fabricação de motores com níveis de rendimento mais elevados. A classe IE2 tornou-se obrigatória para todos os motores em 2011, enquanto a classe IE3 passou a ser exigida a partir de janeiro de 2015 para motores com potência entre 7,5 kW e 375 kW (ou IE2, caso esses motores tiverem um conversor de frequência). Além disso, desde 1º de janeiro de 2017, a classe IE3 é obrigatória para motores com potência entre 0,75 kW e 375 kW.

Nos Estados Unidos, as normas da Associação Nacional de Fabricantes de Equipamentos Elétricos (NEMA) estabelecem os níveis mínimos de eficiência para motores elétricos. Desde 2007, a classe IE2 é o nível mínimo de eficiência exigido. Essa classificação também se aplica à Austrália e à Nova Zelândia.

Na Ásia, a China segue as normas MEPS (Padrão Mínimo de Desempenho Energético) para motores assíncronos trifásicos de pequeno e médio porte desde 2002. Em 2012, essas normas foram alinhadas com as normas da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), onde ocorre a migração de IE1 para IE2 e, posteriormente, para IE3. O Japão também harmonizou suas regulamentações com as classes de eficiência da IEC e implementou o programa *Top-Runner*, o qual incentiva a produção de modelos de motores mais eficientes. A Índia introduziu rótulos de eficiência comparativa em 2009 e uma norma nacional equivalente ao nível IE2 em 2012.

De acordo com a ANEEL (2023) no contexto brasileiro, para a obtenção de energia elétrica de qualidade boa, deve-se definir os fenômenos a respeito da qualidade do produto, ou seja, da energia elétrica. Dessa forma, estabelecer indicadores e valores referenciais, além da definição dos limites que devem ser respeitados. Dentre os fenômenos a respeito da qualidade da energia, estão: avaliação em regime permanente da tensão que aborde o fator de potência, os aspectos sobre os harmônicos, o desequilíbrio de tensão, a flutuação de tensão e a variação de frequência; e, já em regime transitório, a questão da variação de tensão de curta duração.

## 1.5 TECNOLOGIAS EMERGENTES

Uma das áreas de pesquisa mais empolgantes é a aplicação de supercondutores em motores elétricos. Os supercondutores são materiais que, quando resfriados a temperaturas extremamente baixas, perdem toda a resistência elétrica, o que permite a criação de motores altamente eficientes e poderosos. Eles possuem potencial para revolucionar a indústria de transporte de alta velocidade, como trens-bala e sistemas de propulsão aeroespacial. Além disso, a utilização de supercondutores em motores elétricos promete não apenas aumentar a eficiência energética, mas também reduzir a necessidade de resfriamento, o que torna os sistemas mais compactos e práticos.

Além dos supercondutores, os materiais avançados, como os nanomateriais, estão em processos de exploração para melhorar a eficiência dos motores elétricos. Nanotubos de carbono, grafeno e outros materiais com nanoestruturas estão em processo de incorporação em motores, cuja finalidade é aumentar a condutividade elétrica e reduzir perdas térmicas. Essa abordagem inovadora visa maximizar o desempenho dos motores elétricos, além de garantir que o processo de conversão de energia elétrica em movimento tenha menores perdas possíveis, o que é imprescindível em aplicações de alta demanda de energia.

A integração de eletrônica de potência avançada desempenha um papel crucial no desenvolvimento de motores elétricos de alto desempenho. Inversores e conversores eletrônicos de última geração são projetados para otimizar a alimentação de energia para os motores, principalmente em busca de melhorar a eficiência e o

controle. Esses sistemas eletrônicos fornecem energia eficientemente, além de permitirem o ajuste preciso do desempenho do motor, onde há a possibilidade de adaptar dinamicamente às condições de operação. Isso é particularmente importante em aplicações que exigem uma resposta rápida e precisa.

Os Motores elétricos Síncronos de Relutância assistida por Ímã Permanente (PMA-SynRM) são um exemplo notável de uma tecnologia emergente dentro da indústria. Eles combinam a simplicidade dos motores de relutância com a eficiência dos ímãs permanentes, os quais oferecem um desempenho excepcional em aplicações de baixa e média velocidade, como sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado). A combinação desses dois princípios de funcionamento resulta em motores altamente eficientes e confiáveis, que podem ser usados em uma variedade de aplicações industriais e comerciais.

Em aplicações de alta velocidade, os motores elétricos sem escova, comumente usados em drones e equipamentos de alta precisão, estão em evolução. A otimização da aerodinâmica, dos materiais e da eletrônica de controle tem levado a motores mais eficientes e potentes. Esses motores são projetados para fornecer torque constante em uma ampla faixa de rotações, o que tornam ideais para aplicações que exigem alta performance e estabilidade, como a navegação de drones e sistemas de posicionamento de alta precisão.

Os motores elétricos lineares de levitação magnética são um exemplo pioneiro de tecnologia que usa forças magnéticas para suspender e mover objetos sem contato físico. Eles têm aplicações em sistemas de transporte de alta velocidade, como trens Maglev, onde oferece uma alternativa de baixa resistência ao atrito e alta eficiência. Essa tecnologia revolucionária permite a construção de sistemas de transporte mais silenciosos e eficientes, onde ocorre a redução do desgaste físico e o consumo de energia associados aos sistemas de trilhos tradicionais.

Outro fator que motiva a inovação em motores elétricos é a busca por materiais magnéticos mais eficientes, como terras-raras e ligas magnéticas de alto desempenho. O uso responsável desses materiais é imprescindível, devido a sua mineração conter a possibilidade de impactos ambientais significativos. Os meios de pesquisa científica tentam se concentrar mais em encontrar alternativas sustentáveis e desenvolver processos de reciclagem para reduzir a dependência desses materiais.

Além disso, a otimização dos designs magnéticos dos motores visa aproveitar ao máximo o potencial desses materiais.

A impressão 3D também desempenha um papel crescente no desenvolvimento de motores elétricos personalizados. Ela permite a criação de formas complexas e otimizadas das estruturas do motor, o que reduz o peso e melhora a eficiência. Essa abordagem de fabricação personalizada é particularmente benéfica em setores onde os motores elétricos precisam se encaixar em espaços compactos ou se adaptar a geometrias específicas. Além disso, a impressão 3D facilita a experimentação com designs inovadores, a qual contribui na aceleração do desenvolvimento de novos motores.

Com o passar do tempo no século XXI, os motores elétricos tem se tornado mais presentes na indústria de energia renovável. Aliado a essa energia renovável, vale destacar a participação dos geradores elétricos, os quais podem ser acionados através de vento e de água para converter energia cinética em eletricidade de maneira eficiente. Esses geradores são projetados para operar em condições ambientais desafiadoras e são essenciais para a geração de eletricidade considerada limpa, a partir de fontes naturais de energia. Além disso, a constante evolução desses geradores contribui para o aumento da capacidade de geração de energia renovável em todo o mundo, o que intensifica a transição de uma matriz energética dependente de derivados do petróleo para uma matriz energética mais sustentável.

## 1.6 CONTROLE AVANÇADO DE MOTORES ELÉTRICOS

A história do controle avançado de motores elétricos está intrinsecamente ligada à Revolução Industrial, um período no qual os motores elétricos começaram a ser amplamente empregados nas indústrias têxtil, metalúrgica e diversas outras áreas. No entanto, naquela época, o controle desses motores se limitava principalmente ao ato de ligar e desligar, o que resultava em apenas dois estados de operação possíveis.

Segundo Franklin (2013), o rápido desenvolvimento tecnológico associado a elevados índices de produtividade, a limitada oferta de insumos e os intervalos de produção gradativamente menores, exigem a busca por soluções industriais eficientes. Os sistemas de controle são fundamentais no cumprimento desta tarefa,

onde a atuação desses sistemas garante que as respostas dos sistemas controlados estejam dentro de limites estabelecidos em projeto.

À medida que as indústrias cresceram em escala e complexidade, aumenta-se a demanda por maior precisão e flexibilidade no controle dos motores elétricos. A partir disso, ocorreu o desenvolvimento de métodos mais avançados, como o controle de velocidade, onde utiliza-se resistores, além do controle de torque em máquinas de grande porte.

Contudo, a verdadeira revolução ocorreu com a introdução do controle vetorial de campo nas décadas de 1960 e 1970. Essa abordagem possibilitou um controle altamente preciso da velocidade e do torque do motor, independentemente das variações de carga presentes nesse sistema.

Além disso, o controle vetorial de campo utiliza algoritmos complexos para ajustar a corrente e a tensão aplicadas ao motor, o que possibilita a garantia na manutenção do torque em níveis constantes. Esse avanço resultou em um desempenho muito superior em comparação com os métodos anteriores de controle.

No século XXI, o controle vetorial de campo é amplamente empregado em aplicações industriais que requerem alta precisão e resposta dinâmica, tais como máquinas-ferramenta de Controle Numérico por Computador (CNC), sistemas de transporte automatizado e elevadores. Além desse tipo de controle, os inversores de frequência desempenham uma função relevante no controle avançado de motores elétricos. Esses dispositivos eletrônicos convertem a energia de corrente contínua em corrente alternada, o que permite um controle mais preciso da velocidade e do torque do motor.

Os inversores de frequência possuem outra vantagem, que é permitir que os motores operem em velocidades variáveis, o que é fundamental em aplicações que exigem ajustes constantes, como sistemas de ventilação industrial e bombas. Além disso, a automação industrial é um elemento fundamental no contexto do controle avançado de motores elétricos, com sistemas de *Programmable Logic Controller* (PLCs) e Interfaces Homem-Máquina (IHM), o que simplifica mais as operações de controle, as quais tornam-se mais intuitivas e eficientes.

No controle avançado, a integração de sensores inteligentes e sistemas de monitoramento são partes importantes, devido a coleta contínua de dados em tempo real para ajustes precisos. Esse aspecto colabora para a aplicação bem-sucedida da

manutenção preditiva. Porém, há outro aspecto notável, o qual trata-se da capacidade de ajustar a potência do motor de acordo com a demanda real, o que possibilita melhor eficiência energética.

Os setores industriais que detêm regimes rigorosos em relação aos padrões de qualidade dos produtos, como a produção automobilística e a fabricação de eletrônicos, dependem do controle avançado de motores elétricos para manter a precisão e a segurança nos processos fabris. Num contexto mais específico, a robótica industrial é uma área de atuação, onde esse tipo de controle avançado é imprescindível nos motores elétricos, dada a situação que os robôs operacionais requerem alta precisão de movimento e a capacidade de resposta rápida.

A automatização dos sistemas de transporte em armazéns e fábricas é outro mecanismo que se beneficia significativamente do controle avançado, o qual possibilita o movimento suave e preciso de cargas em toda a instalação. Em áreas de atuação que abordam a aviação e a energia, onde a segurança e a confiabilidade são essenciais, o controle avançado nos motores elétricos é desempenhado em aplicações sensíveis. Ademais, a simulação computacional é outro fator que auxilia na validação de estratégias do modelo de controle avançado, visto que permite a realização de testes virtuais de diversos cenários antes da implementação na prática, onde há contribuição para melhoria contínua e a inovação nesse tipo de controle.

De acordo com Cassapo (2016), essas mudanças no ambiente industrial contribuem para a consolidação do que muitos autores chamam de “Quarta Revolução Industrial” ou simplesmente “Indústria 4.0”. Com base nesse contexto e no advento da Indústria 4.0 junto a Internet das Coisas (IoT), o controle avançado de motores elétricos torna-se mais sofisticado ao decorrer do século XXI, principalmente através da integração de sensores e dispositivos de comunicação. A aplicação desses equipamentos atrelados à inteligência artificial (IA) e ao aprendizado de máquina, torna os sistemas de controle ainda mais adaptativos e autônomos.

## **CAPÍTULO 2: MÁQUINAS ELÉTRICAS E O SEU PAPEL NO CONSUMO DE ENERGIA**

A pauta acerca da eficiência energética tem aumentado na maioria das nações mundiais, à medida que as demandas por energia elétrica aumentam e as preocupações ambientais se intensificam, principalmente no século XXI. Dentro desse contexto, as máquinas elétricas desempenham um papel fundamental no consumo de energia, onde são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações industriais e comerciais. A busca incessante pela eficiência energética em máquinas elétricas, não apenas contribui para a redução dos custos operacionais, como também desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos ambientais e na conformidade com regulamentações que possuem um teor mais rigoroso.

Este capítulo do livro aborda a importância da eficiência energética em máquinas elétricas, onde explora-se a relação dessas máquinas com as normas e regulamentações, além das tecnologias de melhoria da eficiência e dos indicadores de consumo energético. Ademais, destaca-se a relevância da conformidade com regulamentações, tanto no requisito legal, quanto na estratégia de negócios vantajosos, a qual é capaz de conferir vantagem competitiva às empresas.

A harmonização das regulamentações internacionais trata-se de um tópico emergente, o qual reflete a necessidade de padrões consistentes em um mundo globalizado. Além das normas acerca de eficiência, também são abordadas regulamentações relacionadas à segurança elétrica e ao impacto ambiental associado às máquinas elétricas.

A seção sobre tecnologias de melhoria da eficiência destaca a importância da adoção de motores elétricos de alta eficiência, sistemas de acionamento de velocidade variável, otimização do controle de processos e manutenção preditiva. Além disso, são exploradas estratégias de forma que haja a integração de sistemas de armazenamento de energia e fontes de energia renovável, cujo objetivo é aumentar a eficiência.

Outro tópico a ser discutido é sobre os indicadores de consumo energético, os quais destacam a importância do monitoramento contínuo do desempenho energético das máquinas elétricas, onde utiliza-se indicadores como o Consumo Específico de

Energia, Demanda de Energia e Fator de Carga. Esses indicadores não apenas permitem avaliar o desempenho atual, além de identificar oportunidades de melhoria.

Segundo a Procel (2007), a eficiência energética pode ser compreendida como redução de custos e maior economia com a energia elétrica sem a perda da qualidade e segurança do sistema que está em análise. Além disso, essa eficiência pode ser obtida tanto por inovações tecnológicas quanto por novas formas de gestão no processo produtivo.

Dado um cenário cuja a eficiência energética tende a ser mais fundamental, este capítulo fornece uma visão abrangente das questões relacionadas às máquinas elétricas, normas e regulamentações, além de tecnologias acerca da melhoria da eficiência e os indicadores de consumo energético. Portanto, é essencial que profissionais que executam atividades nessa área de máquinas, estejam bem-informados e adotem estratégias proativas para melhorar a eficiência energética em suas operações com máquinas elétricas.

## 2.1 A RELEVÂNCIA DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS NA SOCIEDADE

Máquinas elétricas desempenham um papel relevante em diversas aplicações industriais e comerciais, o qual torna indispensável a presença desse equipamento em muitos setores que movimentam a economia dos países. Desde a manufatura de produtos até o transporte de mercadorias e pessoas, onde há passagem pela construção civil e a mineração, essas máquinas são responsáveis por converter energia elétrica em trabalho mecânico ou vice-versa, o que possibilita a realização de tarefas fundamentais em nossa sociedade moderna.

Na manufatura, por exemplo, os motores elétricos movem equipamentos essenciais para a produtividade do ambiente, como esteiras transportadoras e máquinas de produção. Nos sistemas de transporte, os veículos híbridos e elétricos são impulsionados por motores elétricos, os quais reduzem as emissões de gases de efeito estufa. Num cenário de construção civil, guindastes e elevadores elétricos tornam as obras mais eficientes. Assim, são alguns exemplos que destacam a presença e a importância dessas máquinas nas rotinas diárias das sociedades.

No momento que é abordado o assunto sobre o consumo energético, enfatiza-se muito a pauta sobre eficiência energética dos motores, a qual trata-se da relação

entre a energia de saída útil e a energia de entrada fornecida. Em outras palavras, a eficiência energética de uma máquina elétrica é a medida de quão bem essa máquina converte energia elétrica em trabalho mecânico, com a menor quantidade possível de energia perdida sob a forma de calor. Essa perda de energia na forma de calor representa o desperdício, custos adicionais e impactos ambientais.

A alta demanda por eletricidade nessas máquinas as tornam alvos ideais para iniciativas de eficiência energética. Assim, buscar o melhoramento da eficiência energética dessas máquinas possibilita a redução dos custos operacionais das empresas, além de deter implicações ambientais significativas. Além disso, com a diminuição da demanda de eletricidade resultante da eficiência energética, há a contribuição para reduzir a necessidade de construir novas usinas de geração de energia e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, apoia-se os esforços das nações mundiais para combater as mudanças climáticas.

A implementação de programas de conservação de energia é vital para alcançar eficiência energética nas indústrias. Esses programas incentivam a adoção de tecnologias mais eficientes, a otimização de processos e a manutenção adequada das máquinas elétricas. Além disso, eles não reduzem somente os custos de operacionais, assim como demonstram um compromisso com a sustentabilidade ambiental, o que melhora a imagem da empresa perante os consumidores e investidores.

Entretanto, a eficiência energética não se trata apenas de uma questão técnica, aborda-se também uma questão cultural e organizacional. A conscientização e o engajamento de todos os níveis de funcionários e gestores nas indústrias são cruciais para o sucesso desses programas. O ato de mudar a cultura organizacional de um ambiente para promover a eficiência energética como um valor central, envolve capacitar ainda mais os colaboradores sobre os benefícios financeiros, ambientais e sociais.

A eficiência energética não é uma preocupação exclusiva das indústrias, visto que afeta diretamente os consumidores finais. Uma gestão responsável a respeito dos recursos naturais e a redução do impacto ambiental são essenciais em um mundo que busca um desenvolvimento equilibrado e sustentável. A conservação de energia não só ajuda a manter a estabilidade do fornecimento de eletricidade, assim como reduz

os custos para os consumidores finais, onde a energia tende a ser mais acessível para todos.

A crise energética experimentada em muitos países, como a ocorrida no Brasil em 2001, demonstrou a necessidade urgente de foco no consumo de energia ao invés de atender somente a oferta. Com isso, ocorreu uma mudança nos hábitos de consumo e um aumento na conscientização sobre a conservação de energia. Desse modo, o entendimento acerca da importância das máquinas elétricas e da eficiência energética é fundamental, principalmente em direção a um futuro mais sustentável e consciente do consumo de energia.

## 2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MÁQUINAS ELÉTRICAS

A eficiência energética em máquinas elétricas é um tema fundamental diante da otimização no consumo de energia elétrica em diversos setores industriais e comerciais. Além disso, máquinas elétricas desempenham um papel crucial na conversão de energia elétrica em energia mecânica, como é o caso dos motores elétricos, ou na conversão de energia mecânica em energia elétrica, como é o caso dos geradores. No entanto, durante esses processos de conversão, ocorrem perdas que afetam a eficiência geral do sistema (Fitzgerald et al., 2003).

Para compreender a eficiência energética em máquinas elétricas, é importante considerar os princípios da conversão de energia. O princípio básico é que nenhuma máquina pode converter 100% da energia elétrica fornecida em energia mecânica ou vice-versa. Com isso, nota-se que sempre haverá perdas de energia devido a vários fenômenos, como resistência elétrica e atrito mecânico (Fitzgerald et al., 2003).

O rendimento é uma medida fundamental da eficiência de uma máquina elétrica. Essa medida representa a proporção da energia de saída em relação à energia de entrada, o qual é expresso em porcentagem. Assim, o rendimento é calculado através da divisão entre a energia útil produzida pela máquina (trabalho mecânico, no caso de um motor, ou energia elétrica gerada, no caso de um gerador) e a energia elétrica fornecida à máquina (LAI et al., 2018). Desse modo, quanto maior for o rendimento, mais eficiente será a máquina.

Para avaliar a eficiência de um motor elétrico, é necessário considerar tanto o rendimento do motor em si, quanto o mecanismo em que está integrado. A partir disso,

há a inclusão de fatores como o sistema de acionamento, o tipo de carga e a eficiência do controle de velocidade (LAI et al., 2018). Contudo, o cálculo do rendimento de um motor elétrico envolve a medição do torque produzido e da velocidade de rotação sob diferentes condições de carga. A norma IEEE 112B define métodos de teste para determinar o rendimento de motores elétricos, os quais proporcionam uma estrutura padrão para avaliação.

Para melhorar a eficiência energética em máquinas elétricas, várias estratégias podem ser adotadas. Uma dessas estratégias é o uso de materiais condutores de alta qualidade, cujo objetivo é minimizar as perdas diante da resistência elétrica nos enrolamentos dos motores. Além disso, a otimização do design magnético das máquinas pode reduzir perdas decorrentes de efeitos magnéticos indesejados (Fitzgerald et al., 2003).

Outra estratégia pertinente, envolve o controle de velocidade dos motores, onde Sistemas de Acionamento de Velocidade Variável (VSDs), do inglês “*Variable Speed Drive Systems*”, permitem que os motores operem em cargas parciais com maior eficiência. Isso é realizado através do ajuste da velocidade e da potência, conforme a demanda. Além disso, essa possibilidade de ajuste é particularmente relevante em aplicações que experimentam variações de carga ao longo do tempo (LAI et al., 2018).

A avaliação contínua da eficiência energética detém a possibilidade de garantir o desempenho adequado das máquinas elétricas ao longo de determinado período. Isso inclui a medição regular do rendimento e a identificação de oportunidades de melhoria. Programas de manutenção preventiva também contribuem para a manutenção da eficiência ao longo da vida útil das máquinas (Fitzgerald et al., 2003).

O uso responsável de energia elétrica em máquinas elétricas contribui para a preservação dos recursos naturais, a redução das emissões de carbono e a criação de sistemas mais sustentáveis. Dessa forma, compreender os princípios da eficiência energética e implementar medidas para melhorá-la é de importância crítica em um mundo que busca uma utilização mais inteligente e responsável dos recursos energéticos disponíveis.

## 2.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES

As normas e regulamentações desempenham diversas funções críticas, onde uma dessas funções trata-se de promover a pauta sobre eficiência energética em máquinas elétricas em escala global. Diferentes nações e regiões possuem diretrizes e padrões próprios, os quais visam reduzir o consumo de energia elétrica em aplicações industriais e comerciais, através do melhoramento da eficiência energética. Essas regulamentações são uma resposta direta às crescentes preocupações sobre o consumo de energia, a segurança energética e os impactos ambientais associados à produção e uso de máquinas elétricas.

No Brasil, um exemplo notável de regulamentação é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o qual foi estabelecido com o objetivo de promover a eficiência energética em diversos setores, o que inclui o uso de máquinas elétricas. O selo Procel, concedido a equipamentos com alto desempenho energético, é um símbolo reconhecido no país. Esse símbolo informa os consumidores sobre a eficiência energética dos produtos, assim como estimula a indústria a desenvolver e oferecer máquinas elétricas mais eficientes.

Os trabalhos da Reforma do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB) evidenciaram a necessidade do estabelecimento de padrões técnicos de cumprimento obrigatório pelos agentes setoriais para a utilização dos sistemas elétricos das distribuidoras. Dessa forma, propõe-se a elaboração de procedimentos de distribuição, os quais possuem a finalidade de regular os arranjos necessários ao planejamento e operação dos sistemas de distribuição, além da implantação e manutenção das conexões de sistemas (PRODIST, 2011).

Figura 03 – Selo Procel de conformidade com os padrões de eficiência energética no Brasil



Fonte: Infoglobo, 2023

Nos Estados Unidos, o programa Energy Star, administrado pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) e pelo Departamento de Energia (DOE), tem como foco a identificação e promoção de produtos e equipamentos de alta eficiência energética. Esse programa trata-se de uma iniciativa para estimular a inovação e a competição entre fabricantes, o que envolve a produção de máquinas elétricas mais eficientes que, por sua vez, reduzem o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa.

Figura 04 – Logotipo da Energy Star para certificação energética



Fonte: Energy Star

A União Europeia também possui regulamentações com teor rigoroso relacionadas à eficiência energética de máquinas elétricas, como parte de seus esforços para alcançar metas ambiciosas de redução de emissões de carbono e uso eficiente de recursos. As normas europeias frequentemente definem requisitos técnicos específicos para máquinas elétricas, onde aborda-se desde motores industriais até eletrodomésticos.

Além disso, essas normas e etiquetas a respeito de eficiência energética incentivam a produção e adoção de máquinas com rendimento melhor, assim como auxiliam os consumidores e as empresas na tomada de decisões informadas sobre compras efetuadas. Os selos sobre esse aspecto, como o selo Procel e o rótulo Energy Star, servem como indicadores visuais de desempenho energético, o que viabiliza aos consumidores a escolha consciente e sustentável no momento de selecionar máquinas elétricas.

As normas frequentemente estabelecem limites máximos de consumo de energia e eficiência mínima que os produtos elétricos devem atender para serem comercializadas em determinadas regiões. No caso de normas europeias, como a

Diretiva de Ecodesign, há o estabelecimento de requisitos técnicos para motores elétricos, onde esses requisitos garantem que esses motores atinjam níveis mínimos de eficiência e evitem a entrada de produtos fora do padrão estabelecido no mercado europeu.

Em diversas situações, as regulamentações são atualizadas periodicamente para refletir os avanços tecnológicos e as metas de eficiência mais rigorosas. A partir disso, a indústria de máquinas elétricas deve estar constantemente no campo da inovação, onde busca-se melhorar os produtos de forma que atenda aos padrões que estão em vigor. Dessa forma, a evolução dessas regulamentações impulsiona a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias, as quais tendem a ser mais eficientes e sustentáveis.

O processo de certificação e conformidade com essas regulamentações pode variar de acordo com o país e o tipo de máquina elétrica, onde há o desenvolvimento de testes laboratoriais e documentação técnica. Em muitos casos, os fabricantes são submetidos a realizar ensaios específicos dos produtos em laboratórios credenciados, de forma que garanta o atendimento aos requisitos estabelecidos pelas regulamentações.

Além disso, algumas normas podem especificar requisitos adicionais, como a implementação de sistemas de monitoramento de consumo de energia em máquinas industriais para garantir a conformidade contínua. Esses sistemas permitem que as empresas monitorem o desempenho de suas máquinas ao longo do tempo e identifiquem oportunidades de economia de energia.

Em muitos casos de fabricantes que lideram em eficiência energética, há presença de uma vantagem competitiva ao produzir máquinas elétricas que atendem às regulamentações, assim como oferecem benefícios adicionais, os quais podem ser um menor custo operacional e menor impacto ambiental. Contudo, há desafios a serem cumpridos, visto que os fabricantes necessitam investir em pesquisas científicas e desenvolvimento, os quais possam atender aos requisitos exigidos.

Apesar do atendimento à esses requisitos deter um custo inicial elevado, é relevante observar que, a longo prazo, os benefícios a respeito da economia de energia e da conformidade com as regulamentações podem superar os gastos iniciais. Desse modo, abre-se a possibilidade de possuir uma estratégia de negócios vantajosa a partir de uma eficiência energética obtida.

A harmonização das regulamentações internacionais é um tópico emergente, devido muitas empresas operarem globalmente e anseiam a conformidade eficiente e consistente em todas as regiões em que atuam. Esforços estão em andamento para alinhar as normas e regulamentações em escala global, o que facilita o comércio internacional de máquinas elétricas e promove padrões consistentes de eficiência no mundo todo.

Assim como as normas de eficiência, regulamentações de segurança elétrica e ambiental podem causar impacto na fabricação e no uso de máquinas elétricas. Por exemplo, as normas de segurança elétrica podem estabelecer requisitos para proteção contra choques elétricos, enquanto regulamentações ambientais podem exigir o uso de materiais sustentáveis e a redução de substâncias perigosas em máquinas elétricas.

Diante de alguns casos, há a possibilidade de regulamentações incluir requisitos de reciclagem e disposição adequada de máquinas elétricas que estão com tempo curto de vida útil. Isso está associado a uma abordagem mais ampla de gestão de resíduos eletrônicos e responsabilidade ambiental, a qual possui a expectativa de reduzir o impacto negativo ao meio ambiente e promover a economia circular.

A conformidade com as normas e regulamentações é essencial para evitar sanções legais e manter a reputação das empresas, principalmente em um contexto onde a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental são altamente valorizadas. A ausência de atendimento a essa conformidade pode resultar em multas substanciais, ações judiciais e danos à imagem da marca, os quais afetam negativamente os negócios.

No entanto, a conformidade não deve ser o único objetivo, a busca pela eficiência energética pode render benefícios econômicos e ambientais significativos. Empresas que adotam uma abordagem proativa para melhorar a eficiência de maquinário que detém, podem reduzir os custos operacionais, economizar energia e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, onde essas consequências contribuem para objetivos de sustentabilidade.

É importante que os profissionais e engenheiros responsáveis pela seleção e operação do maquinário, estejam bem-informados sobre as regulamentações aplicáveis na região em que atuam, a fim de tomar decisões precisas. A ausência de

conhecimento sobre as normas pode levar a escolhas inadequadas de equipamentos que não atendem aos padrões de eficiência exigidos.

Além disso, os órgãos reguladores desempenham um papel fundamental na fiscalização e no cumprimento dessas normas, o que garante que as máquinas elétricas no mercado atendam aos padrões estabelecidos. O desenvolvimento de uma fiscalização eficaz é essencial para criar um ambiente de mercado justo e proteger os interesses dos consumidores.

## 2.4 TECNOLOGIAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA

As tecnologias de melhoria da eficiência em máquinas elétricas são essenciais para minimizar o consumo de energia em aplicações industriais e comerciais. Uma das principais abordagens para alcançar essa eficiência é a adoção de motores elétricos de alta eficiência. Esses motores são projetados com precisão, cujo objetivo é minimizar as perdas de energia que ocorrem em motores convencionais. Desse modo, o uso de materiais de isolamento avançados, laminagens de núcleo de alta qualidade e rolamentos de baixa fricção, permitem que tenha redução do desperdício de energia na forma de calor e atrito.

Motores elétricos de alta eficiência possuem otimização para operar em pontos de carga parcial, o que é comum em muitas aplicações. Dessa forma, esses motores mantêm alto desempenho, mesmo em situações onde não há plena carga, o que consequentemente economiza energia quando a demanda é menor.

Figura 05 – Motor de alto rendimento

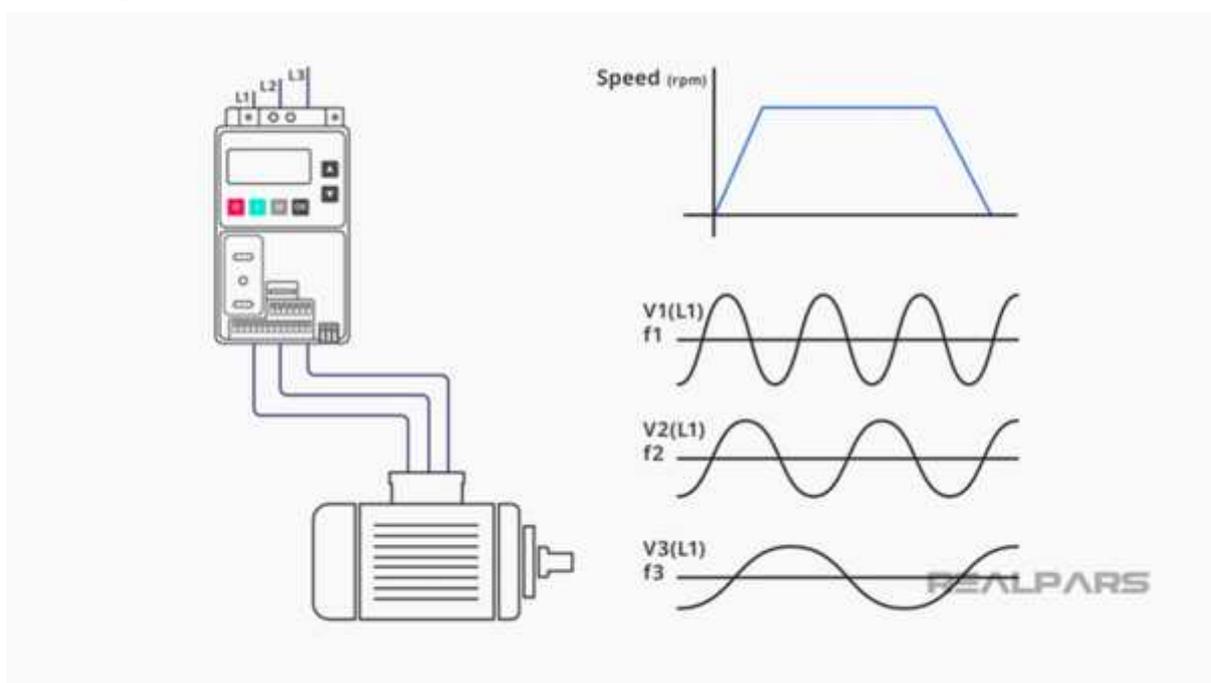


Fonte: Controle & Instrumentação, 2023

A eficiência desses motores é avaliada por meio de indicadores como o rendimento e o fator de potência. Rendimentos superiores a 90% são comuns em motores elétricos de alta eficiência, enquanto o fator de potência próximo a 1 indica melhor aproveitamento da energia elétrica, o que diminui as perdas de reativos.

Além disso, a utilização de sistemas de acionamento de velocidade variável é outra estratégia viável para melhorar a eficiência energética. Esses sistemas permitem a adaptação dinâmica da velocidade do motor às demandas do processo, onde há a redução do consumo de energia no momento que a carga for menor. Os inversores de frequência, componentes essenciais desses sistemas, ajustam a tensão e a frequência fornecidas ao motor de acordo com as necessidades, o que evita a operação constante em carga total.

Figura 06 – Sistema de acionamento de velocidade variável com inversor de frequência



Fonte: Realpars, 2023.

Para otimizar a eficiência energética, a escolha do tipo de motor é fundamental, visto que cada motor detém uma particularidade na estrutura, seja interna ou externa. No caso dos motores síncronos de ímãs permanentes, estes oferecem vantagens em eficiência, principalmente em aplicações que contêm velocidade variável. Além disso, esses motores eliminam a necessidade de escovas e possuem uma alta eficiência em cargas parciais.

O controle preciso das variáveis de processo, como temperatura, pressão e velocidade, permite minimizar o desperdício de energia. Isso pode ser alcançado por meio do uso de controladores avançados, como controladores PID, os quais ajustam automaticamente as saídas de controle para manter as variáveis do processo dentro de limites especificados. Além disso, o monitoramento constante do desempenho do motor por meio de sensores e análise de dados, pode identificar problemas antes que causem perdas significativas de eficiência. A manutenção preventiva programada com base no desgaste real, ao invés do uso de intervalos fixos, pode economizar energia e recursos.

A automação e o uso de sistemas de controle avançados, como Sistemas de Controle Distribuído (DCS – do inglês “*Distributed Control System*”) e sistemas de automação com Controlador Lógico Programável (PLC – do inglês “*Programmable Logic Controller*”), podem ajustar dinamicamente as operações da máquina para garantir a operação no ponto de máxima eficiência. Isso é especialmente importante em processos industriais complexos, onde o controle preciso é uma ferramenta necessária.

A lubrificação adequada, o alinhamento preciso e o balanceamento das máquinas são práticas de manutenção preventiva que contribuem para a eficiência energética, o que ocasiona na redução do atrito e das vibrações indesejadas. Esses procedimentos garantem que as máquinas operem suavemente, o que possibilita a redução de perdas mecânicas e aumento da vida útil dos componentes.

A integração de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, também pode ser uma estratégia eficaz para melhorar esse desempenho. Esses sistemas podem acumular energia em momentos de baixa demanda e liberá-la quando for necessário, o que causa o nivelamento da carga e redução dos picos de consumo. Essa técnica é especialmente benéfica em aplicações que envolvem variações significativas na demanda de energia ao longo de um período de 24 horas.

Além disso, a implementação de estratégias de cogeração, as quais envolvem a produção simultânea de eletricidade e calor a partir da mesma fonte de energia, pode intensificar o aumento da eficiência energética em aplicações industriais. Isso é alcançado por meio do aproveitamento do calor residual gerado pelo processo para aquecimento de ambientes ou produção de vapor.

A introdução de fontes de energias renováveis, como módulos fotovoltaicos ou aerogeradores, em combinação com máquinas elétricas, pode contribuir significativamente para a melhoria do rendimento energético. Isso acarreta na redução da dependência de fontes não renováveis de energia elétrica, como combustíveis fósseis, e pode até permitir a produção de energia excedente para exportação para a rede elétrica.

O monitoramento contínuo do consumo de energia, por meio de Sistemas de Gestão de Energia (EMS), do inglês "*Energy Management Systems*", permite identificar oportunidades de melhoria e ajustar as operações em tempo real. Os EMS são sistemas de software que coletam dados de medição em tempo real e fornecem informações valiosas sobre o consumo de energia, o que permite a tomada de decisões precisas.

As pesquisas e os desenvolvimentos contínuos na área de materiais, eletrônica de potência e automação industrial impulsionam constantemente na evolução das tecnologias de melhoria da eficiência em maquinário. Novos materiais condutores e isolantes, avanços em eletrônica de potência e algoritmos de controle mais eficazes estão em desenvolvimento para maximizar a eficiência. Segundo a Procel (2020), a eficiência energética é alcançada através da utilização de tecnologias eficientes e da mudança de comportamento da sociedade com a adoção de novos padrões e hábitos de uso.

Vale ressaltar que a seleção da tecnologia mais adequada para melhorar a eficiência de uma máquina elétrica deve considerar as características específicas da aplicação, as condições de operação e os objetivos de eficiência energética. Dessa forma, cada aplicação pode exigir uma combinação diferente de tecnologias e estratégias para obter um ponto máximo de eficiência.

## 2.5 INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO

Indicadores de Consumo Energético desempenham um papel importante no monitoramento e controle de sistemas elétricos que envolvem máquinas elétricas. O acompanhamento desses indicadores é essencial para avaliar a eficiência energética e otimizar o uso da energia em diversos contextos industriais e comerciais (Hawkins et al., 2009).

Um dos principais indicadores a ser considerado é o Consumo Específico de Energia (CEE), o qual representa a quantidade de energia consumida por unidade de produção. O CEE é calculado pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{C \text{ de } (t \text{ e } e \text{ t } )}{P \text{ çã } T}$$

Nessa fórmula anterior, o “Consumo de energia” pode ser tratado como a energia elétrica consumida pela máquina elétrica durante um período específico. Medir o CEE permite identificar possíveis ineficiências nas operações e tomar medidas corretivas (Kersting, 2008).

Outro indicador de suma importância é a Demanda de Energia, que corresponde à quantidade máxima de energia necessária em um momento específico. A demanda pode ser calculada a partir da análise dos registros de medição de energia ao longo do tempo, onde é expressa pela seguinte fórmula:

$$D_i = \text{Máx } d P \text{ ên } e u P \text{ ío } d T_i$$

O monitoramento cuidadoso da demanda elétrica é essencial para dimensionar a capacidade das máquinas elétricas e evitar sobrecargas, as quais podem resultar em desperdício de energia, assim como danos aos equipamentos (Gonen, 2014).

Além disso, o Fator de Carga, que relaciona a demanda de energia real à capacidade total disponível, é um indicador que reflete a eficiência com que as máquinas elétricas estão em operação. O fator de carga é dado pela seguinte fórmula:

$$F d C = \frac{D_i \text{ méd}}{D_i \text{ máxi}}$$

Um alto fator de carga indica um uso eficiente dos recursos disponíveis, enquanto um fator de carga baixo pode indicar subutilização da capacidade instalada (Kothari; Nagrath, 2012).

Para avaliar adequadamente o desempenho energético de máquinas elétricas, é fundamental entender como esses indicadores interagem. Por exemplo, um baixo consumo específico de energia associado a uma alta demanda pode indicar eficiência energética apenas em momentos específicos de operação, o que destaca a importância de análises detalhadas e contínuas (Dawalibi, 1989).

Esses indicadores não apenas permitem a avaliação do desempenho energético atual das máquinas elétricas, além de oferecerem *insights* valiosos para identificar oportunidades de melhoria. Caso haja um aumento de consumo específico de energia de uma máquina ao decorrer de um período, isso pode sinalizar a necessidade de manutenção ou substituição de componentes desgastados, o que contribui para a otimização do sistema elétrico (Kersting, 2008).

Para otimizar o rendimento energético das máquinas elétricas, é fundamental implementar estratégias de controle avançado, como a modulação de carga e o ajuste de velocidade em motores elétricos. Além disso, o uso de sistemas de supervisão e controle, como os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), pode facilitar a coleta e análise em tempo real dos dados de consumo energético, o que permite respostas mais ágeis às variações de carga (Hawkins et al., 2009).

É importante ressaltar que a medição e análise adequadas do consumo energético em máquinas elétricas são essenciais para atender às normas de eficiência energética e regulamentações governamentais que visam a redução do consumo de energia e a mitigação dos impactos ambientais (Dawalibi, 1989).

O uso eficaz de indicadores como o consumo específico de energia, a demanda de energia e o fator de carga é fundamental para avaliar, otimizar e controlar o desempenho energético de máquinas elétricas em sistemas elétricos complexos. O monitoramento constante desses indicadores não só promove a eficiência operacional, assim como contribui para a sustentabilidade, a redução de custos e o cumprimento de regulamentações, o que torna em um aspecto relevante da engenharia elétrica moderna (Kothari; Nagrath, 2012).

## CAPÍTULO 3: TIPOS DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS E SUAS APLICAÇÕES

### 3.1 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS:

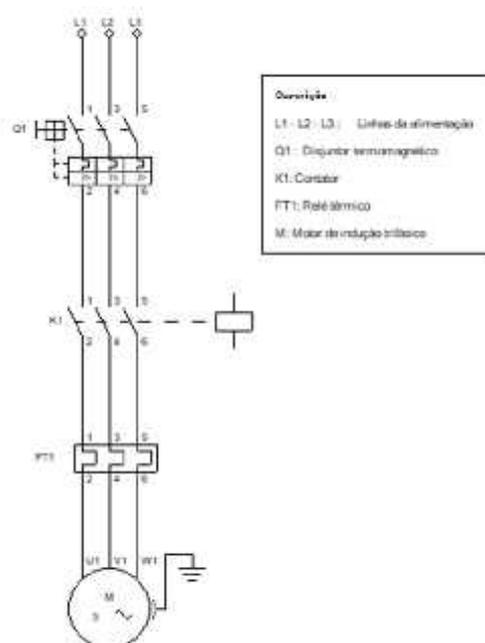
Os acionamentos elétricos são baseados na utilização de dispositivos eletromecânicos para manobra e proteção na partida em motores, como é o caso dos contadores.

#### 3.1.1 PARTIDA DIRETA E PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO

A partida direta trata-se de um tipo de acionamento elétrico, o qual decorre do processo de ligamento das bobinas do motor em uma fonte de corrente alternada (CA) de forma segura através dos comandos elétricos.

Nesse tipo de acionamento são utilizados contadores, disjuntores ou outras chaves de interrupção que possibilite alimentar o motor com tensão plena no momento da partida. Além disso, o acionamento por partida direta detém o diagrama em duas partes: potência e comando. O diagrama de potência, que também é chamado de diagrama de força, possui a finalidade de representar a alimentação do motor, enquanto o diagrama de comando trata-se da representação do controle das comutações de chaveamento presentes nos componentes do circuito.

Figura 07 – Diagrama de potência da partida direta

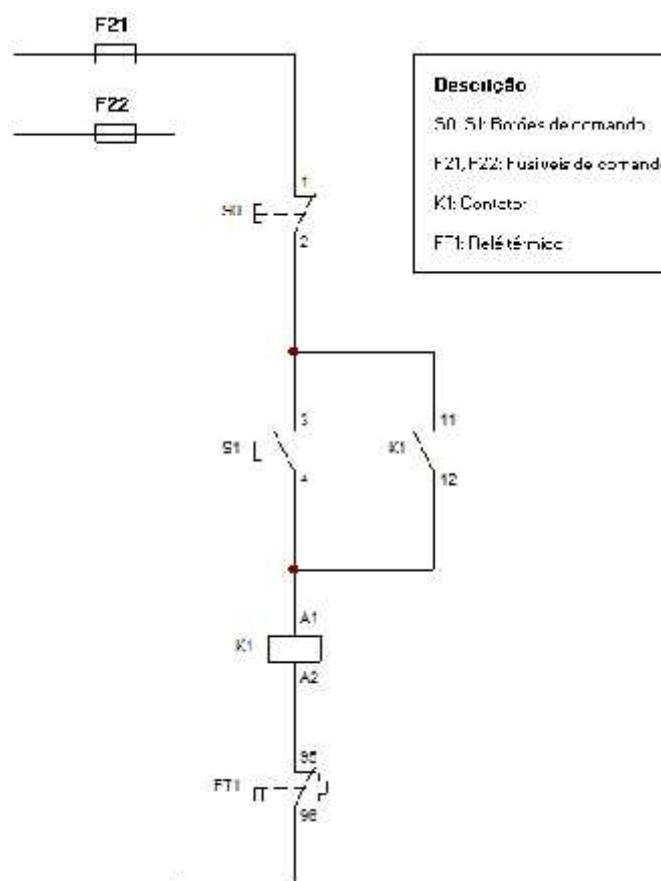


Fonte: Autor

Na figura 07, as linhas da alimentação trifásica são conectadas diretamente ao disjuntor Q1, o qual detém a responsabilidade de conceder segurança aos componentes do circuito. Os contatos do disjuntor serão abertos nos casos de curto-circuitos, assegurando a ausência de comprometimento dos outros componentes do sistema. Após o disjuntor, as linhas de alimentação vão direto aos contatos de potência do contator K1, os quais são responsáveis por permitir a energização das bobinas do estator. Porém, antes das 3 fases de alimentação chegar ao motor, essas fases passam pelo relé térmico FT1, o qual trata-se de um dispositivo de proteção contra sobrecarga.

Para o funcionamento dos contatos do contator K1, utiliza-se o circuito de comando.

Figura 08 – Diagrama de comando da partida direta



Fonte: Autor

Nesse diagrama de comando da figura 08, os fusíveis, a botoeira de emergência S0 e contato do relé térmico FT1 são dispositivos de proteção. No caso

da botoeira de ligação S1 ser pressionada, este ato detém como consequência a alimentação da bobina do contator K1, logo os contatos de K1 comutam. Após isso, com o desligamento de S1, o contato selo de K1 mantém a bobina de K1 energizada, o que acarreta na alimentação do motor de indução trifásico.

Contudo, os motores só podem obter a partida direta através das seguintes condições:

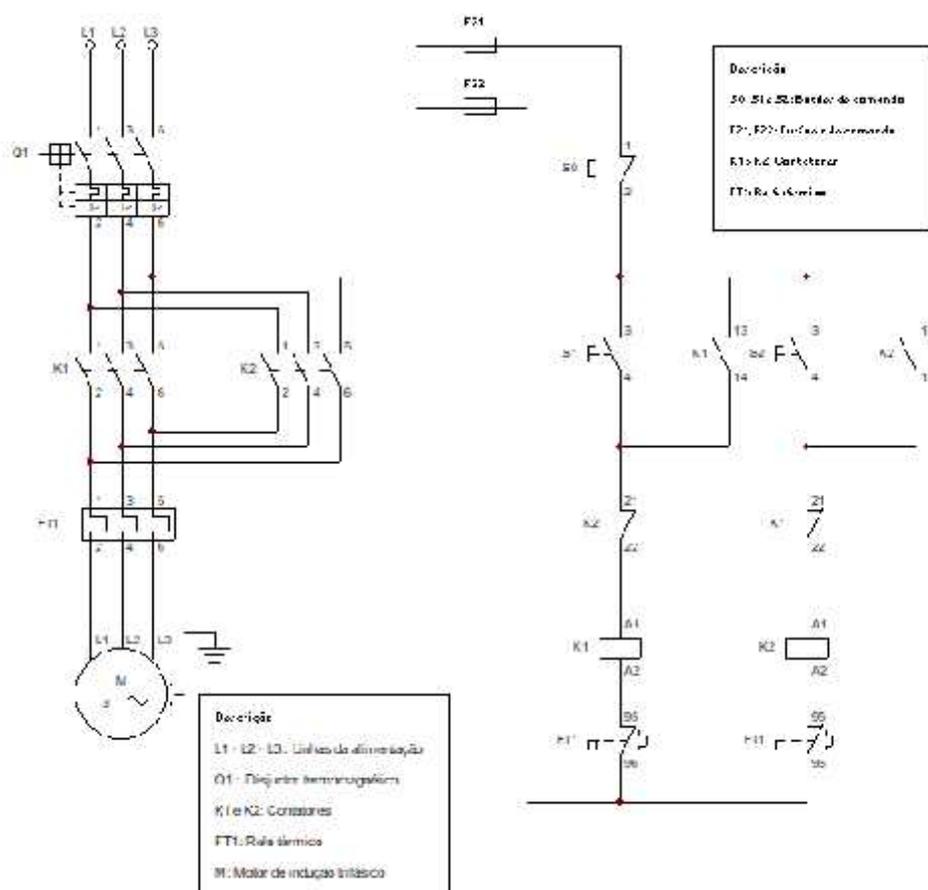
- ) A corrente de partida do motor tem que ser de baixo valor, devido a sua potência também ser pequena;
- ) A partida é realizada sem carga, reduzindo o tempo da corrente de partida e proporcionando a atenuação dos efeitos sobre o sistema de alimentação;
- ) Para atender a condição do valor da corrente de partida baixa, necessita-se que a capacidade nominal da rede seja elevada o suficiente.

Além dessas condições, há impedimentos da partida direta nos motores através da rede secundária pública de suprimento, os quais são:

- ) A necessidade do acionamento progressivo e lento para a carga a ser movimentada;
- ) A potência do motor ser acima do valor máximo permitido pela concessionária local.

Na partida direta que contém a reversão do sentido de giro no eixo do motor, o diagrama de força e comando é semelhante ao diagrama da partida direta sem reversão. Porém, a diferença entre os dois diagramas está na adição de mais um contator (K2) no sistema operacional da partida direta com reversão, onde há um mecanismo de intertravamento entre os dois contadores (K1 e K2). Na figura 09, mostra-se o diagrama de força e comando da partida direta com reversão.

Figura 09 – Diagrama de força e comando da partida direta com reversão



Fonte: Autor

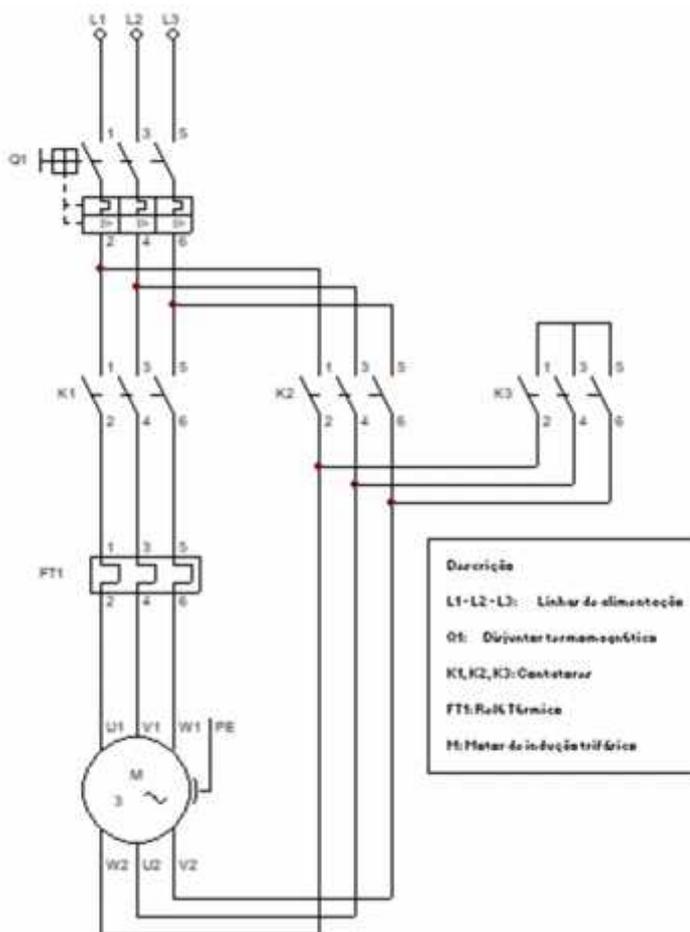
### 3.1.2 PARTIDA ESTRELA – TRIÂNGULO

O acionamento elétrico Partida Estrela-Triângulo resulta na alimentação do motor, a qual detém da redução de tensão nas bobinas durante a partida. Nesse caso, o acionamento inicia no fechamento das bobinas do motor em estrela, cuja tensão possui 58% da tensão nominal, prosseguido de um período até o momento de conversão da ligação de estrela para triângulo, o qual assume a tensão nominal.

A corrente de partida na partida estrela-triângulo detém uma redução de 33% do valor da corrente presente na partida direta, o que possibilita aplicações da partida estrela-triângulo em situações que possuem conjugado de carga equivalente a 1/3 (um terço) do conjugado de partida. No modo estrela, a corrente de partida é 1,5 a 2 vezes a corrente nominal, porém, o conjugado de partida e o conjugado máximo se reduzem numa faixa de 25 a 30% do conjugado nominal, enquanto no modo triângulo, os conjugados são máximos e a corrente de partida é 6 vezes a corrente nominal.

Nas figuras 10 e 11, mostram-se os diagramas de força e comando da partida estrela-triângulo, respectivamente:

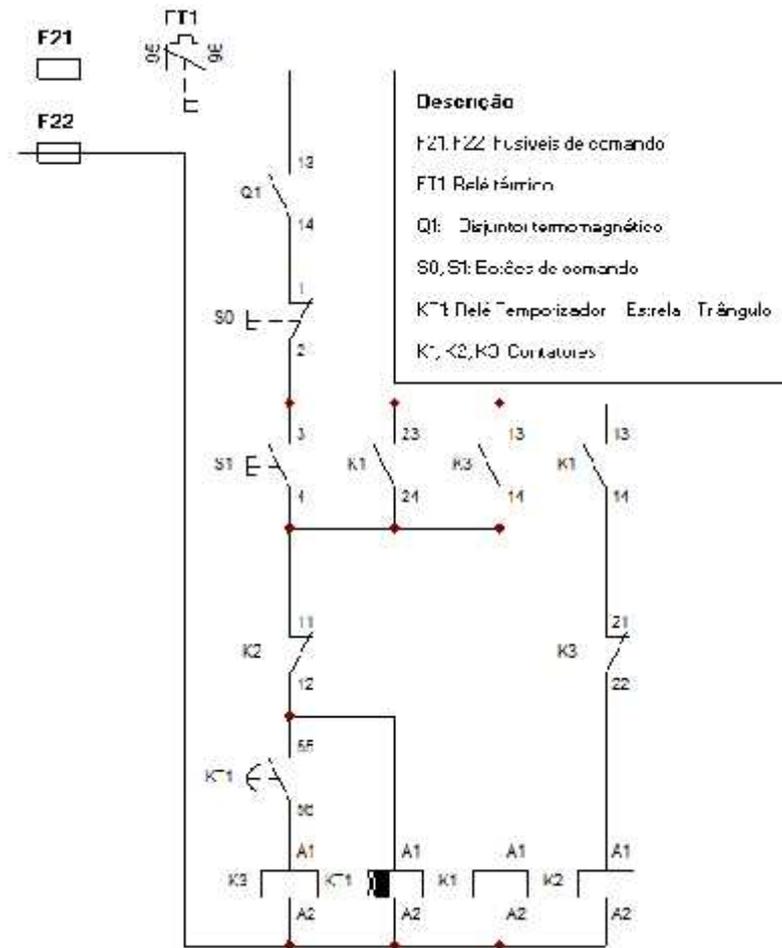
Figura 10 – Diagrama de força da partida estrela-triângulo



Fonte: Autor

Com base no diagrama de força na figura 10, observa-se a presença das 3 fases de alimentação em direção ao disjuntor motor magnético Q1, o qual pode ser substituído por um disjuntor tripolar. Este componente possui a função de proteger o circuito contra curto-circuito e sobrecarga, onde após a presença de Q1, há os 3 contatores (K1, K2 e K3), os quais executaram manobras dentro do circuito, com o intuito de alternar o tipo de fechamento das bobinas que irão alimentar o motor. Nesse caso, quando K1 e K3 são ativados, o motor está funcionando no modo estrela, enquanto o modo triângulo trata-se da situação de K1 e K2 estiverem ativados simultaneamente. Além disso, existe a presença de um relé térmico FT1 após K1, o qual está em função de proteção do motor, caso haja uma situação de sobrecarga.

Figura 11 – Diagrama de comando da partida estrela-triângulo



Fonte: Autor

Algumas vantagens da partida estrela-triângulo a seguir:

- ) Ilimitado número de manobras/hora;
- ) Componentes com tamanho compacto;
- ) Custo reduzido;
- ) Redução da corrente de partida para 1/3 da corrente de partida da ligação em triângulo.

Algumas desvantagens da partida estrela-triângulo a seguir:

- ) Pico de corrente no processo de comutação é quase o mesmo valor a uma partida direta, caso o motor não atinja o mínimo de 85% de sua velocidade nominal. Com isso, surgem problemas nos contatos dos contatores e na rede elétrica;

- ) Necessidade de coincidência da tensão de rede com a tensão em Triângulo do motor;
- ) Necessidade de 6 bornes (no mínimo) para efetuar as ligações elétricas da partida;
- ) Redução do torque ou momento de partida para 1/3, devido a redução da corrente de partida para 1/3 também.

A partir disso, o método de partida Estrela-Triângulo somente será empregado em partidas de máquinas em vazio, porém, a partir do momento que o MIT obter 95% da rotação, pode ser adicionada a carga ao circuito.

### 3.2 ACIONAMENTOS ELETRÔNICOS

Os acionamentos eletrônicos são baseados na utilização de dispositivos eletrônicos para realizar a partida em motores, como é o caso dos inversores de frequência.

#### 3.2.1 PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A partida com inversor de frequência trata-se de um acionamento eletrônico semelhante ao acionamento realizado na presença de um Soft-Starter, porém, o uso de inversor de frequência possibilita o controle total de rotação do motor de indução trifásico (MIT) em todo o ciclo de funcionamento. Esta possibilidade é a principal diferença entre a partida com o inversor de frequência e a partida com soft-starter.

O inversor de frequência trata-se de um dispositivo eletrônico que possui a capacidade de transformar corrente elétrica alternada fixa em corrente elétrica alternada variável, cuja transformação permite o controle de potência consumida pela carga através da alteração do parâmetro correspondente a frequência oriunda da rede de alimentação. Conforme a topologia dos inversores de frequência, estes podem ser classificados em três grandes partes: retificação de entrada, controle do circuito intermediário e a saída (Franchi, 2014).

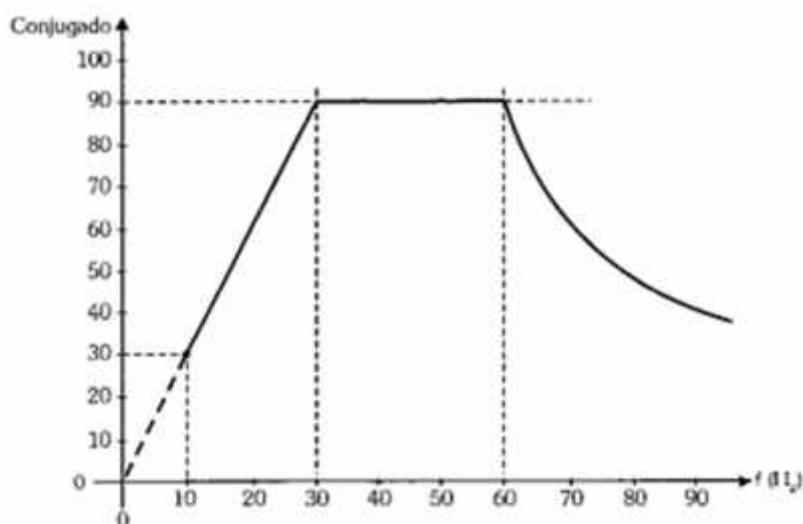
Nos módulos de potência, os componentes utilizados para inversores são os IGBT's (*Insulated - gate bipolar transistor*), os quais possibilitam uma alta performance de trabalho, onde há uma rápida comutação e grande integração com a modulação PWM (*Pulse Width Modulation*). Além disso, esse acionamento eletrônico possui mais

opções de controle e de programação física de seus contatos, havendo maior número de variáveis configuráveis.

Dentro de um cenário do MIT com ventilação independente, a troca de temperatura na parte interna do motor é independente da velocidade rotacional no eixo, havendo a possibilidade de otimizar o conjugado do motor (Franchi, 2014). Porém, para que o inversor possa garantir essa otimização, o inversor de frequência deve variar a tensão inserida ao sistema, de forma que essa variação seja proporcional à frequência no sistema, onde é realizado através de um controle automático dos disparos dos transistores por sistemas microprocessados (Franchi, 2014).

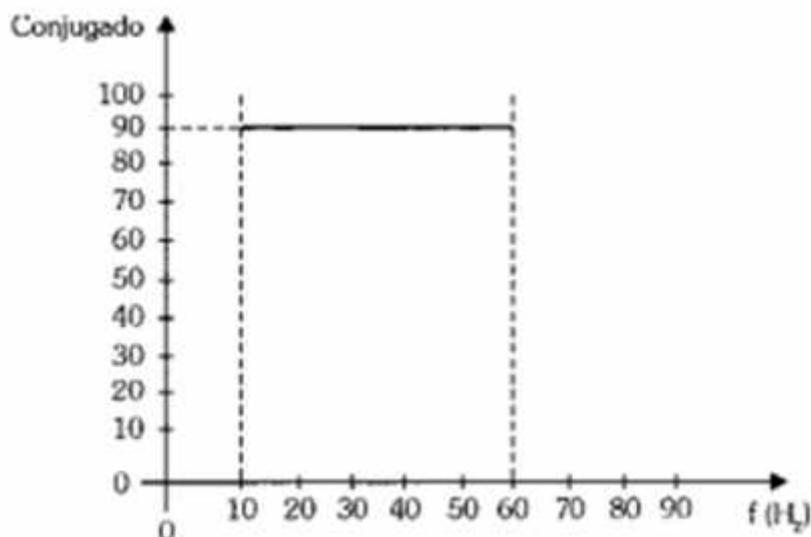
Na figura 12, mostra-se o comportamento da curva operacional de um MIT sem a ventilação independente, enquanto na figura 13 mostra o mesmo de modelo de curva, porém, para um MIT com a ventilação independente e o controle feito pelo inversor de frequência na variação da tensão.

Figura 12 - Curva de operação para motor de indução (conjugado vs frequência)



Fonte: (FRANCHI, 2014)

Figura 13 - Curva de operação para motor de indução com ventilação independente



Fonte: (FRANCHI, 2014)

Algumas vantagens da utilização do inversor de frequência:

- ) Economia de energia;
- ) Alto desempenho do motor de corrente elétrica alternada;
- ) Aumento da vida útil das partes do sistema destinada a mecânica;
- ) Pouca manutenção;
- ) Compensador de falhas provenientes da rede de alimentação.

Algumas desvantagens do inversor de frequência:

- ) Limitação do uso do inversor em sistemas de bombeamento de líquido com partículas em suspensão;
- ) Necessidade de técnicos especializados para a manutenção dos componentes que são sofisticados e em grande quantidade;
- ) Custo elevado inicialmente.

### 3.2.2 PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA E CLP

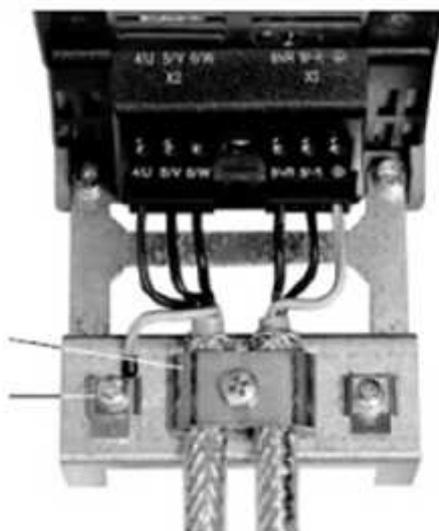
O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo eletrônico digital que detém uma memória programável, cuja finalidade é o armazenamento interno de instruções para implementações específicas. Dentre essas implementações, estão: contagem, temporização, sequenciamento, aritmética e lógica. Além disso, esses

implementos servem para controlar diversos tipos de processos ou até mesmo máquinas, através de módulos de entradas e saídas.

A partida com inversor de frequência junto ao CLP trata-se de um acionamento eletrônico, o qual ocorre a integração direta dos comandos e funções de programação do CLP ao inversor de frequência. A partir dessa integração, cria-se um drive apto para o acionamento do MIT através de um software específico, o qual pode ser fornecido de duas formas: na própria estrutura do inversor através dos bornes de conexão ou diretamente ao terminal da IHM, sendo essa interface opcionalmente inserido na parte frontal do equipamento.

Na figura 14, ilustra-se uma forma de conexão de potência para o drive da família Movidrive, a qual pertence à empresa SEW Automação Ltda.

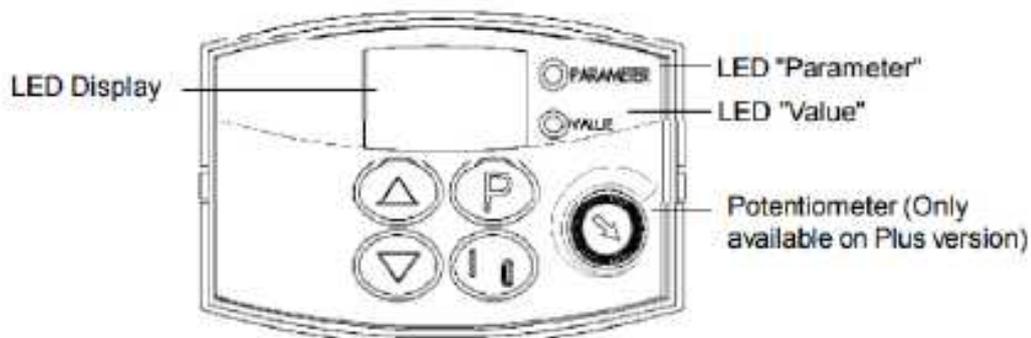
Figura 14 – Conexão de potência do drive da família Movidrive



Fonte: Manual Técnico do Movidrive SEW

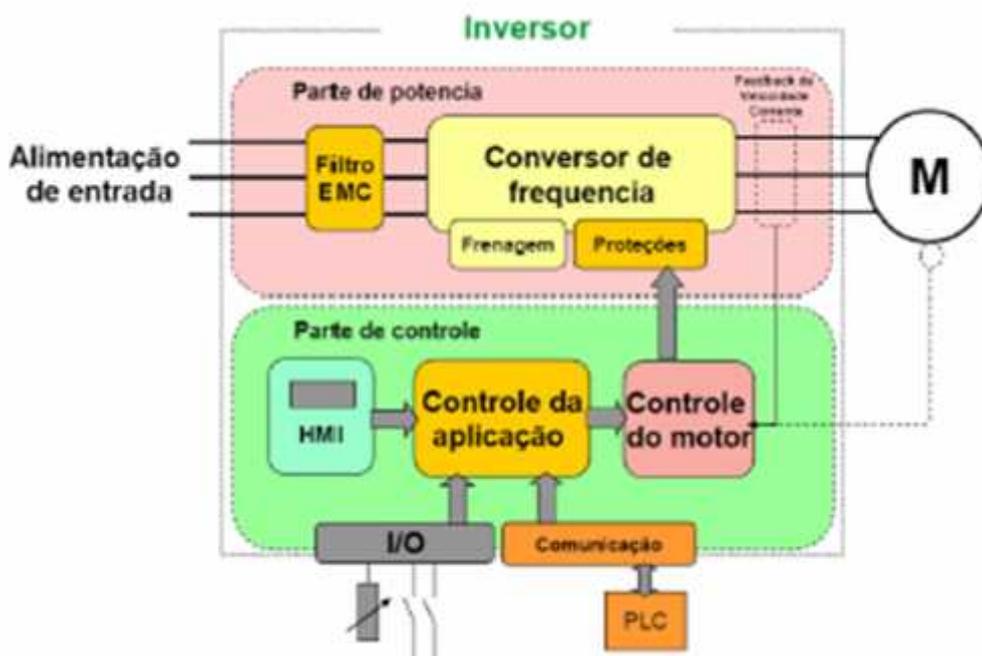
A figura 15 mostra um exemplo de IHM de um inversor de frequência do modelo CFW-10 da WEG, enquanto as figuras 16, 17 e 18 mostram a estrutura geral do funcionamento interno de um inversor de frequência, porém, não especificamente do CFW-10.

Figura 15 – Vista frontal do IHM do inversor de frequência CFW-10



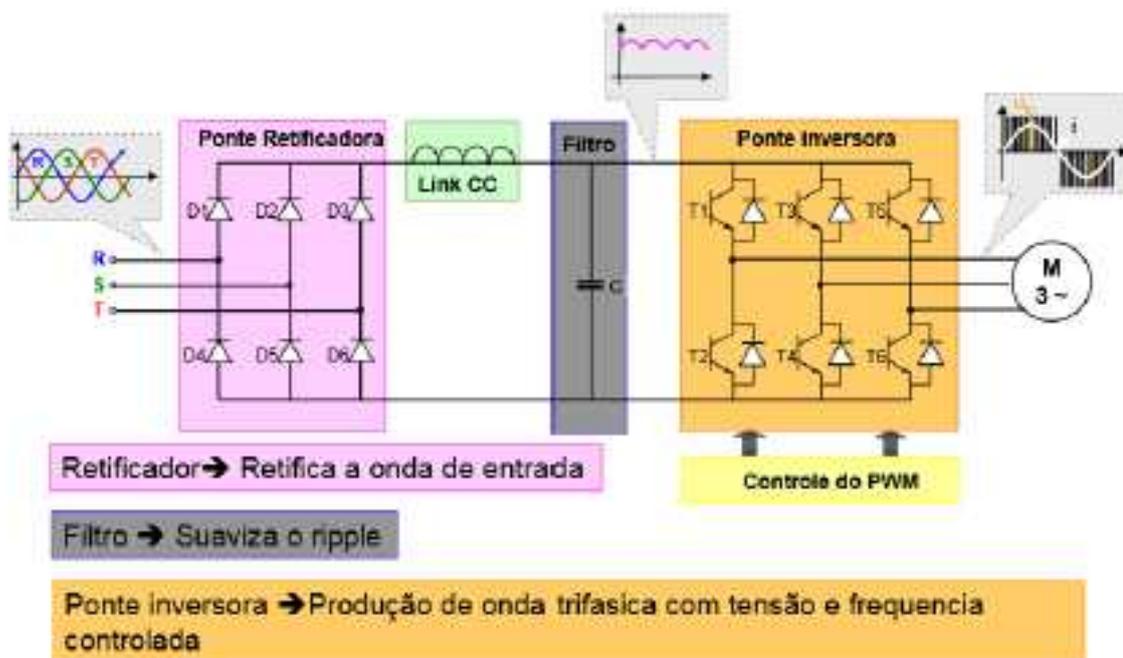
Fonte: (WEG, Manual do usuário, inversor de frequência CFW-10, 2013, p. 47)

Figura 16 – Diagrama da estrutura geral de um inversor de frequência



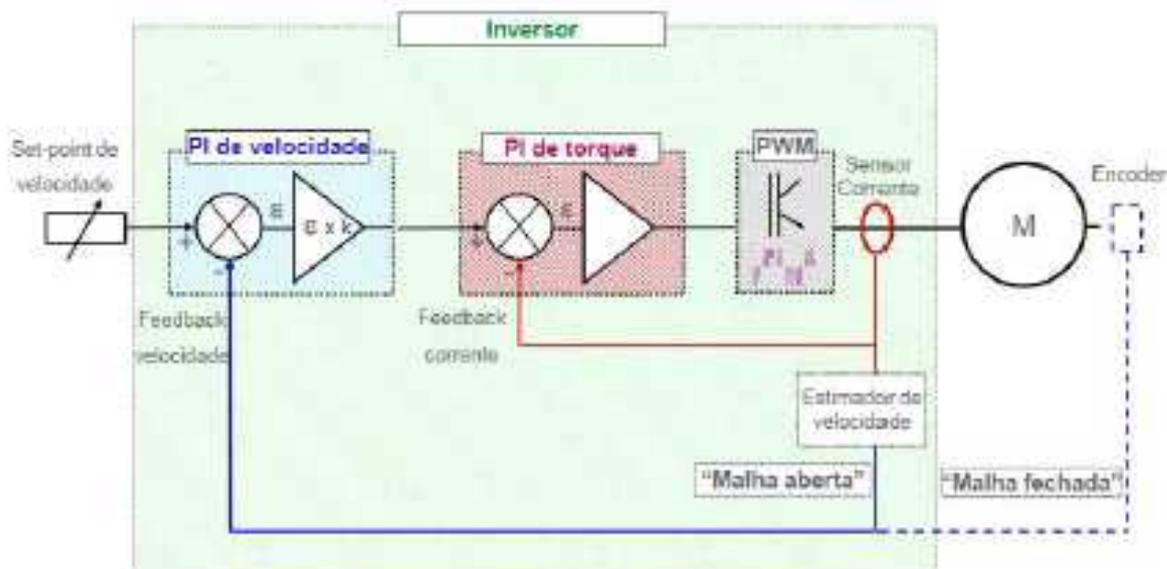
Fonte: (RODRIGUES NETO, J. F., Webinar Schneider Electric, 2014, p. 12)

Figura 17 – Diagrama de potência do inversor de frequência



Fonte: (RODRIGUES NETO, J. F., Webinar Schneider Electric, 2014, p. 16)

Figura 18 – Diagrama de controle do inversor de frequência



Fonte: (RODRIGUES NETO, J. F., Webinar Schneider Electric, 2014, p. 18)

Algumas vantagens da utilização do CLP:

- ) Capacidade de programação, de alteração e de ampliação;
- ) Substituição de diversos componentes eletromecânicos;
- ) Manutenção mais rápida e fácil com a substituição pelo CLP;
- ) Possibilidade de efetuar monitoramento e diagnóstico de falhas com precisão;
- ) Alto desempenho.

Algumas desvantagens do CLP:

- ) Exigência de qualificação da mão de obra para o manuseio do CLP;
- ) Custo parcialmente elevado da unidade, de acordo com o modelo a ser utilizado.

### 3.2.3 PARTIDA COM SOFT-STARTER

O acionamento eletrônico “Partida Soft- Starter” trata-se de uma partida estática que é destinada à aceleração, desaceleração e proteção de MIT. Nesse tipo de acionamento, a obtenção de partidas e paradas suaves acontece através de ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, cuja a finalidade desse ajuste é controlar a tensão aplicada ao motor.

O conjugado produzido é ajustado à necessidade da carga implementada no circuito, garantindo que a corrente solicitada seja suficientemente mínima para a partida.

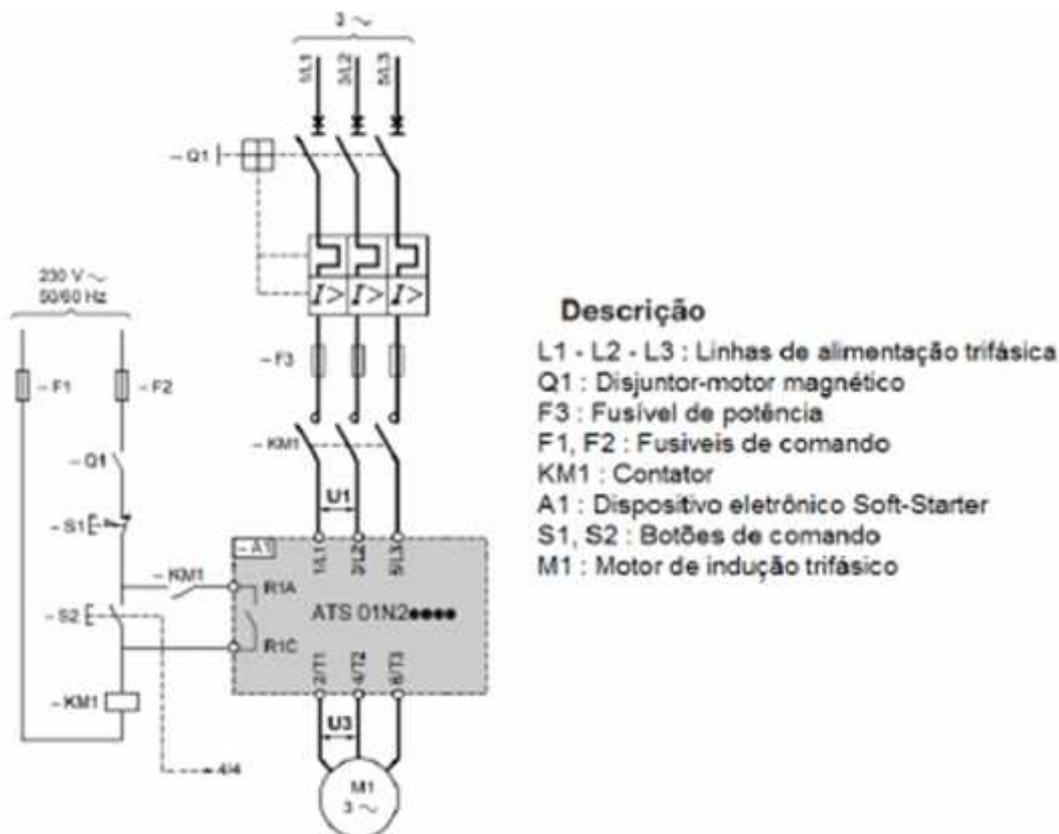
Para ocorrer o acionamento, o MIT recebe um pulso inicial de tensão, que varia entre 10 a 30 % do valor nominal da rede elétrica local e que após alguns segundos atinge seu valor máximo. Dessa forma, o método de partida proporciona o acionamento e a aceleração do MIT suavemente, o que evita problemas mecânicos para as partes móveis e também para as partes que compõem o sistema mecânico em que o MIT está inserido.

O processo de desligamento do MIT trata-se de um processo inverso ao acionamento, cuja tensão nos bornes de saída da Soft-Starter é decrementada

continuamente até atingir o valor mínimo, após o recebimento de sinal de parada. Vale destacar que os módulos de potência utilizados nesse método são compostos, basicamente, por componentes eletrônicos, chamados de tiristores, os quais funcionam somente no período de partida e de parada do MIT.

A figura 19 ilustra o diagrama de potência e comando para o acionamento de um MIT com o uso do dispositivo Soft-Starter.

Figura 19 – Diagrama de potência e comando do Soft-Starter



Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, Datasheet Altistart ATS01N2 LU/QN/RT, 2018, p. 4)

Com base no acionamento do diagrama da figura 19, após o acionamento do disjuntor Q1, o dispositivo do soft-starter é energizado, o qual começa a alimentação do motor somente após o botão de ligar “S2” ser pressionado. De acordo com o tempo configurado no “Start time”, aumenta-se gradativamente a tensão em direção ao MIT, o qual entra em regime permanente no momento que o valor da tensão nominal é atingido. No momento de desligar o motor, pressiona-se o botão de desliga “S1”, o qual reduz gradativamente a tensão no motor até o instante que ele pare de rotacionar o seu eixo completamente, porém, esse desligamento possui um tempo configurado

no “Stop time”. A figura 20 mostra um modelo de dispositivo Soft-Start da fabricante Schneider Electric.

Figura 20 – Dispositivo Soft-Start da fabricante Schneider Electric



Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, Altistart 01 soft starters, 2014, p. 8)

Algumas vantagens do Soft-Starter:

- ) Precisão de controle;
- ) Partida suave e silenciosa;
- ) Redução da corrente de partida;
- ) Aumento de vida útil do motor em decorrência da limitação de corrente na partida.

Algumas desvantagens do Soft-Starter:

- ) Custo elevado do dispositivo eletrônico Soft-Starter;
- ) Possui limitação de aplicação, o qual depende das exigências de corrente e tensão elétrica do sistema;
- ) Conhecimento mais complexo acerca da instalação e manutenção do dispositivo, o que exige a presença de técnicos especializados.

## **CAPÍTULO 4: COMPONENTES UTILIZADOS NOS ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**

Os acionamentos elétricos são amplamente utilizados nos setores industriais, como no acionamento de motobombas, elevadores, transportadores de matérias e em equipamentos de mineração, porém, os componentes de comando também exercem a função de proteção que visa garantir uma operação segura dos equipamentos elétricos. Cada acionamento possui componente analógicos ou digitais para a realização do processo industrial, cabe aos engenheiros responsáveis pelo projeto escolher a solução mais adequada para as necessidades do sistema.

No decorrer deste capítulo vamos abordar os principais componentes utilizados nos acionamentos elétricos com ênfase no acionamento motores de indução trifásico.

### **4.1 INFRAESTRUTURA E MATERIAIS (ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS)**

#### **4.1.1 CONTADORES**

Os contadores são componentes eletromecânicos, que tem como sua principal função, seccionar entre NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado), ou seja, abrir ou fechar, desta forma controlando o fluxo de corrente elétrica dentro de um circuito que demanda uma alta potência como por exemplo, o acionamento de motores elétricos.

O princípio de funcionamento do contador, se dar quando, o eletroímã interno é energizado pelo circuito de comando, o que faz o seccionamento entre NA ou NF. Dessa forma, realiza-se de forma segura e remota as manobras necessárias para o acionamento de cargas de grande porte. Enquanto a figura 21 ilustra o contador CMW1810E da fabricante WEG, o quadro 01 mostra as especificações técnicas desse modelo de contador.

Figura 21 - Contator WEG CMW1810E



Fonte: WEG, 2023

Quadro 01 – Especificações técnicas do contator

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Corrente nominal</b>	<b>18 A</b>
<b>Referência</b>	<b>CWM</b>
<b>Contato principal</b>	<b>3 NA</b>
<b>Tensão de comando</b>	<b>220V 50/60Hz</b>
<b>Grau de proteção (Bobina e contatos auxiliares)</b>	<b>IP20</b>
<b>Grau de proteção (Terminais principais)</b>	<b>IP20</b>
<b>Altura, Largura e Profundidade</b>	<b>81mm; 45mm; 87mm</b>
<b>Peso</b>	<b>0,32kg</b>

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.2 CONTATO AUXILIAR

Os contatos auxiliares são componentes eletromecânicos, que tem como sua principal função aumentar o número de *slots* disponíveis nos contatores de potência, ou seja, permite o aumento de contatos NA ou NF no mesmo contator, além de manobrar o circuito para a realização do intertravamento e sinalização, não é recomendado utilizá-lo para o acionamento de cargas com correntes elevadas. Na figura 22, ilustra-se o modelo de contato auxiliar Bcxmf da fabricante WEG, o qual detém as especificações técnicas descritas no quadro 02.

Figura 22 - Contato auxiliar Weg-Bcxmf



Fonte: WEG, 2023

Quadro 02 – Especificações técnicas do contato auxiliar

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Corrente nominal</b>	<b>10 A</b>
<b>Referência bloco contatos</b>	<b>BCXMF</b>
<b>Aplicação</b>	<b>Para contator CWM</b>
<b>Posição montagem</b>	<b>Frontal</b>
<b>Contato principal</b>	<b>1 NA ou 1 NF</b>
<b>Tensão de comando</b>	<b>220V 50/60Hz</b>
<b>Tipo de terminal</b>	<b>Parafuso</b>

Fonte: WEG, 2023

### 4.1.3 BOTOEIRAS

As botoeiras são extremamente importantes dentro de um circuito de comando, devido elas desempenharem a função de permitir ou interromper a passagem de corrente elétrica dentro de um circuito. Além disso, as botoeiras são constituídas por cinco partes, dentre elas estão: bloco de contato; corpo isolante; contatos; bornes para conexão e os tipos de contatos.

- ) **Bloco de contato:** A construção possui um corpo isolante com contatos móveis e fixos.
- ) **Corpo isolante:** A função é envolver os contatos e sustentar os bornes para conexão, feito de um material isolante para garantir resistência e segurança.
- ) **Contatos:** Servem para dar continuidade a corrente elétrica dentro de um circuito, onde o material pode variar entre prata ou banho de ouro tanto nas partes fixas ou móveis.
- ) **Bornes para conexão:** São elementos que estabelecem a fixação do condutor ao contato fixo.
- ) **Tipos de contato:** Variam entre (NA) normalmente aberto, (NF) normalmente fechado e possuem um contato comum em um lado, enquanto no lado oposto há dois contatos de saída, um (NA) e outro (NF).

Na figura 23, mostra-se uma botoeira NA de cor verde e uma botoeira NF de cor vermelha. Somado a isso, no quadro 03, há as especificações técnicas das botoeiras.

Figura 23 - Botoeira NA e NF



Fonte: Metaltex, 2023

Quadro 03 – Especificações técnicas das botoeiras NA e NF

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Ação</b>	<b>Pulsador (aciona o contato enquanto estiver pressionado pelo operador, retorna por mola)</b>
<b>Forma</b>	<b>Atuador plano interno com borda/guarda de diâmetro 30mm com altura de 11mm após instalação</b>
<b>Opções de cores de atuador</b>	<b>Preto, Verde, Vermelho, Amarelo, Branco e Azul</b>
<b>Arranjo do contato</b>	<b>Preto, Verde, Amarelo, Branco e Azul = NA (3-4)    Vermelho = NF (1-2)</b>
<b>Capacidade do contato</b>	<b>(6A/120V), (3A/240V) - Ith 10A</b>
<b>Instalação</b>	<b>Em furo de 22mm</b>
<b>Fixação</b>	<b>Contraporca</b>
<b>Altura total</b>	<b>Do atuador ao bloco de contato 55mm</b>
<b>Protuberância externa após instalação</b>	<b>11mm</b>
<b>Interna na instalação</b>	<b>44mm</b>

Fonte: Metaltex, 2023

#### 4.1.4 BOTOEIRA DE EMERGÊNCIA

Os botões de emergência são dispositivos posicionados em local visível no painel de comando ou próximo a ele, onde o operador possa efetuar desacionamento da máquina. Desse modo, desabilita o circuito de comando por completo, o que garante a confiabilidade e a segurança diante de emergências, como por exemplo:

acidentes ou incêndios. Na figura 24 e no quadro 04, há a ilustração de uma botoeira de emergência e das especificações técnicas desse componente, respectivamente.

Figura 24 - Botoeira de emergência



Fonte: Lukma, 2021

Quadro 04 – Especificações técnicas da botoeira de emergência

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Modelo</b>	<b>LK2 - ES542</b>
<b>Cor</b>	<b>Vermelho</b>
<b>Disposição do contato</b>	<b>1NF</b>
<b>Força do acionamento</b>	<b>40N</b>
<b>Modo</b>	<b>Gira-Destrava</b>
<b>Função</b>	<b>Pulsante</b>
<b>Vida mecânica</b>	<b>1.000.000 ciclos</b>
<b>Resistência às vibrações (IEC60068-2-26-Frequência)</b>	<b>2 - 500Hz</b>

Fonte: Lukma, 2021

#### 4.1.5 RELÉ TÉRMICO

Os relés térmicos ou de sobrecarga, são utilizados na parte de baixo da saída do contator, ou seja, trabalham em conjunto para proteger um motor elétrico contra sobrecarga de correntes prolongadas, sobreaquecimento e falta de fase.

Esses dispositivos podem ser acionados em determinadas situações, como por exemplo, o travamento do eixo do motor ou até mesmo uma alta carga no eixo, o que faz o motor exigir mais corrente. Dessa forma, o motor estaria em operação acima das especificações nominais, o que conseqüentemente causa danos em suas bobinas ou a quebra da isolação, onde há a provocação de curtos-circuitos.

O relé térmico funciona através de um aquecimento excessivo no circuito, isto porque são construídos com duas lâminas finas de metal, normalmente ferro e níquel, que são sobrepostas e soldadas. Como os 2 materiais possuem coeficientes de dilatação diferente, um se alonga ou se encurva mais do que o outro no momento que há um aquecimento desses materiais. Desse modo, o metal de menor coeficiente de dilatação provoca um encurvamento do conjunto para o seu lado, logo, esse movimento provoca um contato mecânico que tem como consequência a abertura do circuito elétrico, o que efetua a proteção dos equipamentos elétricos.

A figura 25 mostra um modelo de relé térmico, onde suas especificações técnicas estão contidas no quadro 05.

Figura 25 - Relé Térmico



Fonte: WEG, 2023

Quadro 05 – Especificações técnicas do relé térmico

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Marca</b>	<b>Weg</b>

<b>Referência Weg</b>	<b>RW27-1D3-U023</b>
<b>Descrição do produto</b>	<b>Relé de Sobrecarga</b>
<b>Tensão Máxima de Operação dos Contatos Principais</b>	<b>690V</b>
<b>Faixa de Ajuste da Corrente de Operação</b>	<b>15-23A</b>
<b>Tipo de Montagem</b>	<b>Montagem Direta</b>
<b>Contatores Compatíveis Weg</b>	<b>CWM9 até CWM40</b>
<b>Número de Contatos Principais</b>	<b>3</b>
<b>Número de Contatos Auxiliares</b>	<b>1NA – 1 contato normalmente aberto 1NF – 1 contato normalmente fechado</b>
<b>Classe de Disparo Térmico (Recomendável)</b>	<b>Classe 10 - motores com partidas de até 10 segundos</b>
<b>Sensibilidade Contra Falta de Fase</b>	<b>Quando dois polos do relé possuírem sobrecargas de 15%, e um dos polos zeros de corrente, o relé de sobrecarga deverá desarmar em menos de 2 horas</b>

<p align="center"><b>Botões de Configuração</b></p>	<p>O relé possui um botão de Reset e na mesma tecla 4 funções sendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>) A - Função somente de rearme automático. A função stop/teste não é permitida</li> <li>) AUTO-FUNÇÃO de rearme automático e função stop/teste</li> <li>) HAND - Função de rearme manual e função stop/teste</li> <li>) H - Função somente de rearme manual. A função stop/teste não é permitida</li> </ul>
<p align="center"><b>Grau de proteção</b></p>	<p align="center"><b>Terminais Principais – IP10 Contato Auxiliares – IP10</b></p>
<p align="center"><b>Altura, Largura e Profundidade</b></p>	<p align="center"><b>72mm; 45mm; 82mm</b></p>

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.6 SINALEIRA OU SINALIZADORES

As sinaleiras exercem uma função crucial dentro do painel de comando, são utilizadas para indicar o status de operação de algum equipamento ou de alertar o operador em casos de emergência através de sinais luminosos que podem ser de forma intermitente ou contínuo. Além disso, são constituídas por um material plástico de alta resistência, onde possuem 2 bornes para conexão em 220V, porém, há outros modelos de sinaleiras que detêm entradas do tipo VCC para 12 e 24V.

Em relação ao aspecto visual das sinaleiras durante o funcionamento, no momento em que são energizadas, é acionado um led na parte frontal da sinaleira que podem ser nas cores: verde, vermelho, amarelo, azul e branco. Na figura 26, há a representação de três sinaleiras da fabricante Lukma, cujas as especificações técnicas estão presentes no quadro 06.

Figura 26 - Sinaleira



Fonte: Lukma

Quadro 06 – Especificações técnicas das sinaladeiras

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Grau de Proteção IEC60529</b>	<b>Frontal - IP65 / Terminais - IP20</b>
<b>Tensão e impulso Uimp</b>	<b>25kV/minuto</b>
<b>Resistência de Isolamento</b>	<b>2m</b>
<b>Consumo mA</b>	<b>&lt;20mA</b>
<b>Proteção contra choques elétricos</b>	<b>Classe I</b>
<b>Suportabilidade a vibração (Frequência)</b>	<b>2 à 80Hz</b>
<b>Suportabilidade a impacto</b>	<b>0,7g/N</b>
<b>Grau de poluição</b>	<b>3 (ambiente industrial)</b>
<b>Categoria de sobretensão</b>	<b>III</b>
<b>Tratamento de proteção</b>	<b>TH</b>
<b>Durabilidade em Temperatura ambiente de 25°C</b>	<b>&gt;30.000 hrs</b>
<b>Intensidade do LED</b>	<b>&gt;60cd/cm<sup>2</sup></b>
<b>Temperatura ambiente</b>	<b>-25°C a +55°C</b>
<b>Umidade relativa do ar</b>	<b>=98%</b>
<b>Seção dos condutores</b>	<b>Frontal - 1x0,22mm<sup>2</sup> / Terminais - 2x1,5mm<sup>2</sup></b>
<b>Torque nos Terminais: 1 a 1,2Nm</b>	<b>1 a 1,2Nm</b>
<b>Invólucro</b>	<b>Polycarbonato</b>
<b>Cor</b>	<b>Amarelo, Verde, Vermelho</b>

<b>Tensão de operação</b>	<b>220V</b>
---------------------------	-------------

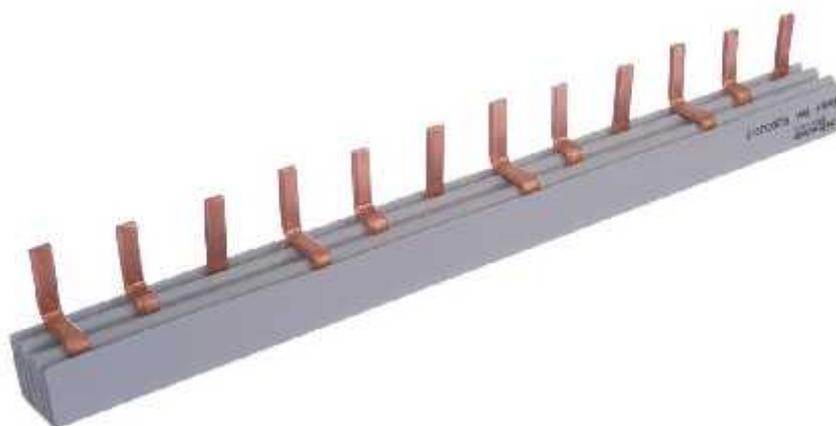
Fonte: Lukma

#### 4.1.7 BARRAMENTO

O barramento é responsável pela distribuição da tensão e corrente elétrica no circuito, onde o seu princípio de funcionamento contribui para a distribuição de fase, neutro e terra. Além disso, pode ser utilizado em painéis elétricos, quadros de distribuição e disjuntores. Geralmente os barramentos elétricos são constituídos por cobre encapados por um isolante plástico, cuja finalidade é garantir a segurança da instalação.

O barramento ilustrado na figura 27 é do tipo trifásico, o qual contém o condutor de cobre com três pinos por seguimento.

Figura 27 - Barramento tipo pente trifásico

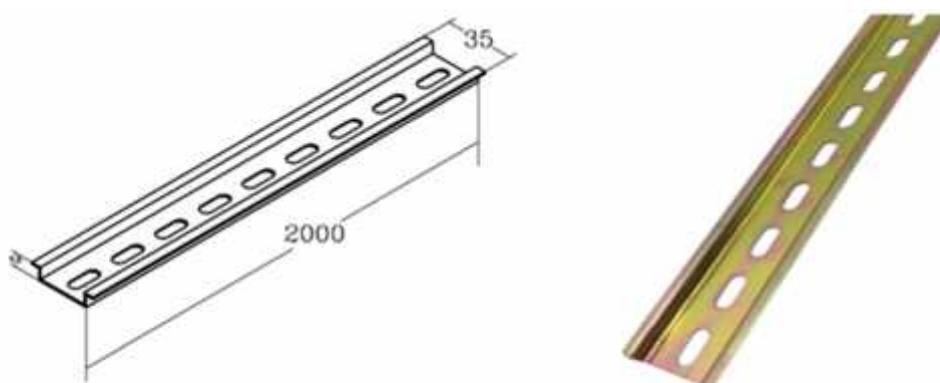


Fonte: Lukma

#### 4.1.8 TRILHO DIN, ANILHAS, CABOS E TERMINAIS

O trilho padrão Din é responsável por fixar os componentes elétricos e eletrônicos em instalações, especialmente em quadros elétricos. Esses trilhos são constituídos por um material não oxidante, como ligas de alumínio ou bronze. Na figura 28, mostra-se um trilho padrão Din.

Figura 28 - Trilho din



Fonte: Citex

As anilhas possuem como sua principal função facilitar a montagem de diagramas ou na manutenção de cabos, através da identificação dos cabos de forma individual, conforme a figura 29:

Figura 29 - Anilhas de identificação nos cabos constituídos de cobre



Fonte: Lukma, 2023

Os cabos ou condutores elétricos são constituídos de cobre envolto de um material isolante, podem ser classificados como rígido ou flexível, onde esses cabos detêm a função de conduzir a corrente elétrica de um ponto a outro do circuito. Além disso, os terminais, como serão mostrados nas figuras 30, servem para facilitar a conexão entre cabos elétricos ou a conexão de equipamentos, a fim de reduzir as

fugas de corrente elétrica. Na figura 30, há a representação de 2 tipos de terminais utilizados na bancada didática, onde na esquerda tem o terminal do tipo garfo e na direita tem o tipo pino.

Figura 30 - Terminais do tipo de garfo (esquerda) e pino (direita)



Fonte: Injetech, 2023

#### 4.1.9 RELÉ TEMPORIZADOR

Os relés temporizadores ou timer, são dispositivos eletromecânicos capazes de realizar a comutação entre (NA) e (NF) através da manipulação do tempo, os quais possuem bornes e contatos semelhantes aos contatores. Ademais, os relés temporizadores são largamente utilizados para auxiliar no processo de reversão do movimento rotacional no eixo do motor, além de serem utilizados na automação e sincronismo industrial. Vale ressaltar que esses relés podem participar na prevenção de sobrecargas durante a partida de motores elétricos.

O relé utilizado na segunda bancada desenvolvida em laboratório é da marca Clip, modelo Clc-2r, o qual está ilustrado e especificado na figura 31 e no quadro 07, respectivamente.

Figura 31 - Relé temporizador Clip



Fonte: Clip, 2023

Quadro 07 – Especificações técnicas do relé temporizador

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Descrição</b>	<p><b>Relé temporizador digital para automação e controle de processos. É compacto, pode ser montado em Trilho DIN 35 mm, feito em caixa ABS antichama de alta resistência a choques e vibrações.</b></p> <p><b>Possui um LED verde indicativo de alimentação elétrica e um LED vermelho indicativo do estado do relé. Acompanha manual de uso contendo esquema de ligação, desenho técnico e indicações de funcionamento e configuração.</b></p>

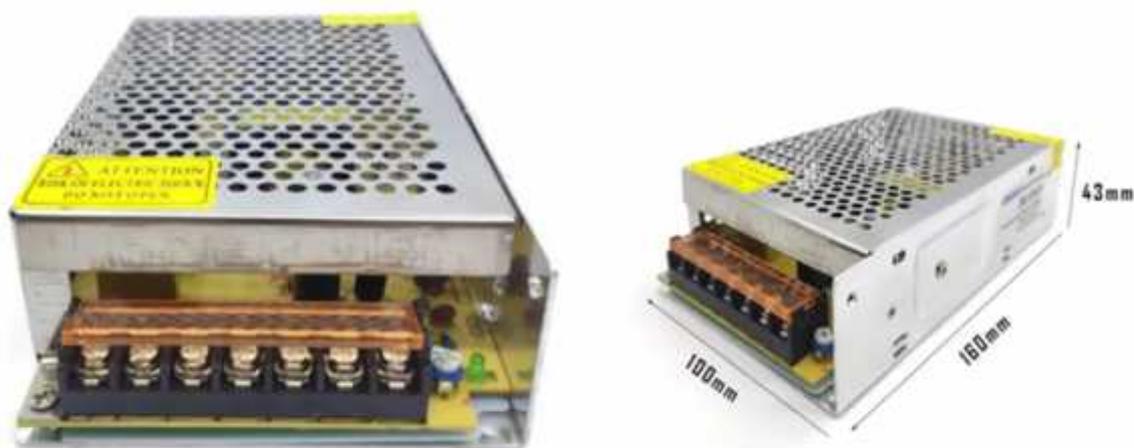
<b>Escalas de Temporização</b>	<b>As escalas vão de 0,1 segundo até 100 horas e são ajustáveis em 0,1s, 1s, 10s, 1m, 10m, 1h, 10h e 100h.</b>
<b>Escalas de Função Cíclica</b>	<b>1 a 10 ciclos</b>
<b>Tensão de alimentação</b>	<b>24 a 242 V em CC ou CA</b>
<b>Material da Carcaça</b>	<b>ABS autoextinguível</b>
<b>Consumo Aproximado</b>	<b>3,5 VA</b>
<b>Precisão da Escala</b>	<b>3,0 % FE</b>
<b>Precisão de Repetibilidade</b>	<b>1,0 %</b>
<b>Tempo Mínimo de Reset</b>	<b>100 ms</b>
<b>Vida Útil dos Contatos</b>	<b>1000.000 operações com carga</b>
<b>Grau de Proteção</b>	<b>Invólucro IP40 Contatos IP20</b>

Fonte: Clip, 2023

#### 4.1.10 FONTE CHAVEADA

A fonte chaveada exerce a função de alimentar o circuito com tensão e corrente contínuas, onde esse dispositivo é energizado em 127 ou 220V. O funcionamento desse dispositivo é efetuado no momento que a tensão de entrada energiza o primário do transformador, que por consequentemente a tensão é rebaixada a níveis menores, porém, não retificada. No momento que a tensão atravessa o circuito retificador, há a presença de tensão e corrente contínuas. Com a disposição dessas tensões retificadas, há o controle da tensão numa chave que abre e fecha um circuito, chamado de circuito comutador, o qual efetua o tempo de abertura e fechamento deste circuito. Desse modo, a tensão de saída pode ser representada por tensões contínuas de 12V, 24V ou 48V.

Figura 32 - Fonte Chaveada 24V



Fonte: Proesi componentes eletrônicos, 2023

Quadro 08 - Especificações técnicas da fonte chaveada

Especificações Técnicas	
Tensão de entrada	AC 110 - 220V (bivolt)
Tensão de saída	DC 24V
Corrente de saída	4,1A
Potência de saída	100W
Frequência	50/60Hz
Altura, Largura e Profundidade	160mm; 100mm; 43mm

Fonte: Proesi componentes eletrônicos, 2023

#### 4.1.11 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Os inversores de frequência são dispositivos eletrônicos capazes de realizar a partida e controlar a velocidade dos motores elétricos através da variação de tensão e frequência que é fornecida ao motor.

A sua principal função é variar a tensão fornecida pela rede nos valores correspondentes às frequências de 50 e 60Hz, para frequências que ocorrem entre 0,5Hz a 400Hz a depender de sua aplicação. Na figura 33, há a representação dos inversores da linha WEG e modelo CFW-10, o qual foi utilizado na terceira bancada

didática com inversor de frequência. No quadro 09, mostram-se as especificações técnicas do inversor de frequência CFW10.

Figura 33 - Linha Weg CFW 10



Fonte: WEG, 2023

Quadro 09 - Especificações técnicas do inversor de frequência CFW10

Especificações Técnicas	
<b>Modelos</b>	<b>Standard, Clean, Plus E Cold-Plate</b>
<b>Controle</b>	<b>Escalar (V/F) linear ou quadrático ajustável</b>
<b>Tensão de alimentação / Corrente nominal de saída:</b>	<b>110-127 Vca monofásica: 1,6 a 4,0 A (0,25 a 1,0 cv)</b> <b>200-240 Vca monofásica: 1,6 a 10,0 A (0,25 a 3,0 cv)</b> <b>200-240 Vca trifásica: 1,6 a 15,0 A (0,25 a 5,0 cv)</b>

<b>Entradas Digitais</b>	<b>4 Entradas digitais 1 Saída digital a relé programável</b>
<b>Entrada analógica</b>	<b>1 Entrada analógica isolada</b>
<b>Interface de operação</b>	<b>Display de LED com 3 dígitos</b>
<b>Frenagem</b>	<b>IGBT de frenagem</b>
<b>Grau de proteção IP20</b>	<b>IP20</b>
<b>Funções de controle</b>	<b>Rampa linear ou S na aceleração e desaceleração; ajuste manual de torque; compensação de escorregamento; potenciômetro eletrônico; regulador PID; até 8 velocidades fixas pré-configuradas; JOG; frenagem CC</b>
<b>Funções de diagnóstico</b>	<b>sobrecorrente na saída, sobrecarga no motor, sobretemperatura no dissipador, curto-circuito na saída, defeito externo</b>

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.12 BORNES SAK DE PASSAGEM

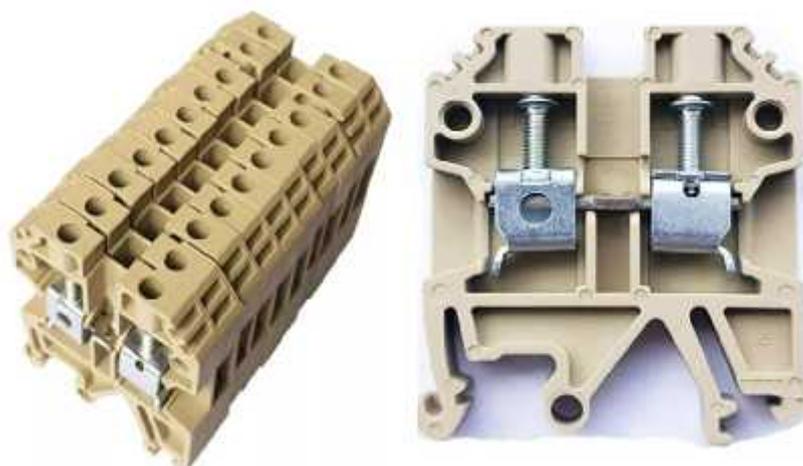
Os bornes de passagem são dispositivos compostos por material plástico com placas de metal e parafusos dispostos de forma paralela, os quais possuem a função de conectar cabos e fios, a fim de realizar uma conexão segura entre dispositivos elétricos ou cabos e fios externos. Dessa forma, evita-se o uso de emendas, as quais

podem ser perigosas em instalações de ambientes industriais, hospitalares e na geração de energia, como em usinas fotovoltaicas.

Em qualquer setor industrial é comum a utilização dos bornes de passagem, devido facilitar a conexão e desconexão de cabos, além de identificar e organizar cada cabo conectado. Com isso, os bornes de passagem acarretam uma manutenção mais precisa e segura para o técnico de manutenção.

Na figura 34, ilustra-se os bornes da marca e modelo LUKMA-Borne Sak B, os quais foram utilizados na bancada com inversor de frequência e na bancada com *Soft-Starter*.

Figura 34 - Bornes de passagem



Fonte: Lukma, 2023

Quadro 10 - Especificações técnicas dos bornes de passagem

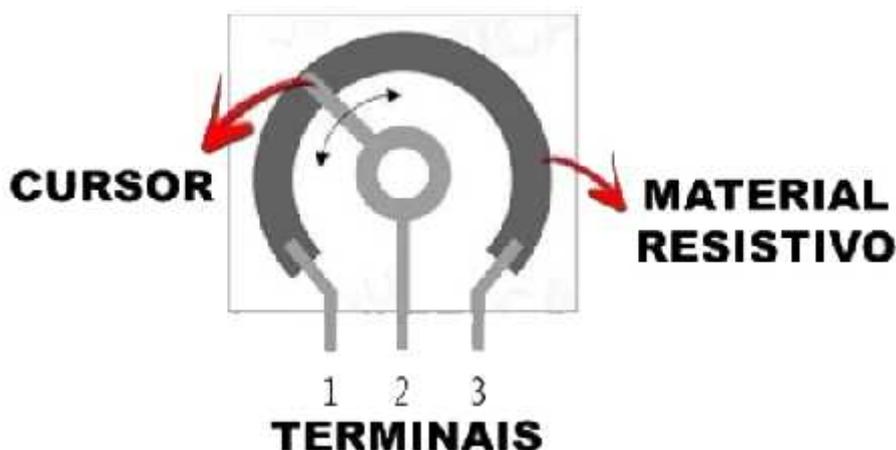
Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>Borne 4mm bege</b>
<b>Temperatura</b>	<b>-25 a 85°C</b>
<b>Tensão</b>	<b>800V</b>
<b>Corrente</b>	<b>32A</b>
<b>Material</b>	<b>PA 6.6 (UL-94 V0)</b>
<b>Certificações internacionais</b>	<b>IEC60947-1; IEC60947-7-1; GB14048.1</b>

Fonte: Lukma, 2023

#### 4.1.13 POTENCIÔMETRO

Os potenciômetros são resistores variáveis que possibilitam a variação da resistência que é dado em Ohm. Através do movimento de um eixo, possibilita que o valor resistivo mude de acordo com a rotação desse eixo, onde o valor dessa resistência está entre valores mínimos e máximos. A figura 35 ilustra a estrutura do potenciômetro.

Figura 35 - Estrutura do potenciômetro



Fonte: Mundo da elétrica, 2023

Em relação ao princípio de funcionamento do potenciômetro, as entradas dos três terminais detêm a função de receber a tensão elétrica. Contudo, a tensão obtida no terminal 3 varia de acordo com a movimentação do eixo do potenciômetro, o qual se locomove ao longo do trajeto do material resistivo. Dessa forma, o potenciômetro funciona como um divisor de tensão resistivo, onde é obtido diferentes níveis de tensão elétrica.

O potenciômetro utilizado na bancada com inversor de frequência é do modelo WH148-1 L20 10K, conforme a figura 36. Além disso, as especificações técnicas desse modelo de potenciômetro estão descritas no quadro 11.

Figura 36 - Potenciômetro



Fonte: Smart Kits, 2023

Quadro 11 - Especificações técnicas do potenciômetro

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>WH148-1 L20 10K</b>
<b>Resistência</b>	<b>10k</b>
<b>Diâmetro do eixo</b>	<b>6mm</b>
<b>Comprimento do eixo</b>	<b>20mm</b>
<b>Diâmetro da base</b>	<b>16mm</b>
<b>Profundidade da base</b>	<b>8,5mm</b>
<b>Peso</b>	<b>6g</b>
<b>Quantidade de terminais</b>	<b>3</b>
<b>Tipo de curva</b>	<b>B</b>

Fonte: Smart Kits, 2023

#### 4.1.14 CHAVE SELETORA DE 3 POSIÇÕES

As chaves seletoras têm como função selecionar entre acionamento automático ou manual em partida de motores elétricos, afim de evitar acionamentos acidentais de equipamentos, em casos de anomalias na operação ou em paradas para manutenção. Essa chave possui 3 posições fixas (com retenção de posição) com formato redondo e cor prata. Para a bancada com inversor de frequência foi utilizada a chave seletora de 3 posições com 2 conexões (NA) do modelo WEG CEW para acionamento no modo remoto ou local, conforme a figura 37. Ademais, o quadro 12 detém as especificações técnicas da chave seletora de 3 posições.

Figura 37 - Chave seletora de 3 posições



Fonte: WEG, 2023

Quadro 12 - Especificações técnicas da chave seletora

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>WEG CEW</b>
<b>Quantidade de contatos</b>	<b>2 blocos de contatos NA</b>
<b>Quantidade de posições</b>	<b>3</b>
<b>Grau de proteção</b>	<b>IP66</b>
<b>Aplicação</b>	<b>Instalações de 22,5mm</b>

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.15 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS

Os disjuntores tratam-se de dispositivos que detêm as funções de proteção e manobra, onde possuem a capacidade de conduzir e interromper corrente elétrica, tanto em condições normais de operação quanto em condições anormais. Dentre as condições consideradas anormais estão os efeitos que são provenientes de curto-circuito ou sobrecorrente. Além disso, o desarme dos disjuntores termomagnéticos é constituído de duas formas, onde uma forma é associada à temperatura e a outra ao campo magnético, ambas em relação aos condutores que estão interligados ao disjuntor.

Para as bancadas didáticas desenvolvidas do projeto, foram utilizados disjuntores termomagnéticos monopolares, bipolares e tripolares, os quais serão

mostrados nas figuras 38, 39 e 40. Além disso, cada tipo de disjuntor termomagnético representado nas figuras 38, 39 e 40, detém suas especificações técnicas nos quadros 13, 14 e 15, respectivamente.

Figura 38 – Disjuntor Monopolar



Fonte: ElétricAraújo, 2023

Quadro 13 - Especificações técnicas do disjuntor monopolar

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>DIN Monopolar Soprano SHB-GII</b>
<b>Corrente nominal</b>	<b>63A</b>
<b>Tensão máxima de isolamento</b>	<b>415Vca</b>
<b>Quantidade de polos</b>	<b>1</b>
<b>Grau de proteção</b>	<b>IP20</b>
<b>Temperatura ambiente</b>	<b>30°C</b>
<b>Certificação Inmetro</b>	<b>Até 63A</b>
<b>Comprimento, Largura e Altura</b>	<b>7,5cm; 1,8cm; 8cm</b>
<b>Peso</b>	<b>0,09kg</b>

Fonte: ElétricAraújo, 2023

Figura 39 – Disjuntor Bipolar



Fonte: Cabo Eletro, 2023

Quadro 14 - Especificações técnicas do disjuntor bipolar

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>C60N C10</b>
<b>Marca</b>	<b>Merlin Gerin</b>
<b>Corrente nominal</b>	<b>10A</b>
<b>Tensão elétrica</b>	<b>400 V</b>
<b>Quantidade de polos</b>	<b>2</b>
<b>Grau de proteção</b>	<b>IP20</b>
<b>Tipo de curva</b>	<b>C</b>

Fonte: Cabo Eletro, 2023

Figura 40 – Disjuntor Tripolar



Fonte: Fame, 2023

Quadro 15 - Especificações técnicas do disjuntor tripolar

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>FD 4 3C50</b>
<b>Marca</b>	<b>Fame</b>
<b>Corrente nominal</b>	<b>50A</b>
<b>Tensão nominal</b>	<b>230Vca – 400Vca</b>
<b>Capacidade de ligação</b>	<b>1,5 a 25mm<sup>2</sup></b>
<b>Quantidade de polos</b>	<b>3</b>
<b>Calibração</b>	<b>30°C</b>
<b>Frequência</b>	<b>50/60Hz</b>
<b>Certificação Inmetro</b>	<b>IEC 60898</b>

Fonte: Fame, 2023

#### 4.1.16 DISJUNTOR-MOTOR

Os disjuntores motores tratam-se de dispositivos que detêm a função de proteger os motores elétricos, onde esse tipo de disjuntor é semelhante ao disjuntor

comum. Desse modo, o disjuntor motor desempenha a proteção térmica contra sobrecargas e a proteção magnética diante de curtos-circuitos. No caso da proteção magnética, o disjuntor motor possui um sistema eletromecânico composto por três bobinas, onde cada bobina está interligada à uma das fases de um sistema trifásico, além de possuir uma engrenagem mecânica. No caso da proteção térmica, esse disjuntor motor detém um conjunto de três lâminas bimetálicas, as quais estão inseridas a um sistema de engrenagem mecânica.

Para uma das bancadas didáticas desenvolvidas com o intuito de acionar motores elétricos, foi utilizado um disjuntor motor de 4 a 6 ampères do modelo GV2-M10, conforme a figura a seguir.

Figura 41 – Disjuntor motor GV2-M10



Fonte: Mundo Eletric, 2023

Quadro 16 - Especificações técnicas do disjuntor motor

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>GV2-M10</b>
<b>Marca</b>	<b>Telemecanique</b>

<b>Regime em plena carga</b>	<b>AC3</b>
<b>Faixa de ajuste da corrente</b>	<b>4 - 6,3A</b>
<b>Tensão nominal</b>	<b>Até 690V</b>
<b>Quantidade de chave seletora</b>	<b>1 Off 1 On</b>
<b>Altura, Largura e Profundidade</b>	<b>74mm; 45mm; 70mm</b>
<b>Peso</b>	<b>0,300kg</b>
<b>Frequência</b>	<b>50/60Hz</b>
<b>Certificação Inmetro</b>	<b>IEC 947-2, 949-4-1</b>

Fonte: Mundo Eletric, 2023

#### 4.1.17 CHAVE GANGORRA 6 TERMINAIS 3 POSIÇÕES

As chaves gangorra tratam-se um tipo de interruptor, o qual possui a capacidade de controlar o fluxo de corrente elétrica através da permissão ou bloqueio da passagem dessa corrente elétrica. Dessa forma, este tipo de chave aciona ou desaciona cargas e circuitos elétricos, onde é bastante utilizada nas entradas de aparelhos eletrônicos, na abertura de redes elétricas ou em tomadas.

A seguir, mostra-se uma chave gangorra que detém 6 terminais e 3 posições (0, I e II), a qual foi utilizada no desenvolvimento da bancada didática de partida estrela-triângulo.

Figura 42 – Chave gangorra 6 terminais e 3 posições



Fonte: Eletrodex, 2023

Quadro 17 - Especificações técnicas da chave gangorra

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Modelo</b>	<b>KCD1-203</b>

<b>Corrente e tensão máxima</b>	<b>10A → 125Vca 6A → 250Vca</b>
<b>Temperatura de operação</b>	<b>-10°C a 70°C</b>
<b>Quantidade de posições</b>	<b>3 (Liga / Desliga / Liga)</b>
<b>Quantidade de terminais</b>	<b>6</b>

Fonte: Elettrodex, 2023

#### 4.1.18 SOFT-STARTER SSW07

Os soft-starters são dispositivos eletrônicos desenvolvidos para o controle de partida em motores elétricos de corrente alternada, onde esse controle permite obter partidas e paradas suaves de um motor de indução trifásico (MIT). Desse modo, os soft-starters tratam-se de chaves de partida estática, as quais são designadas à proteção de MIT e aos processos de aceleração e desaceleração do eixo do motor.

Com base no ajuste dos parâmetros do soft-starter de forma adequada, pode-se garantir o atendimento da partida do motor através de uma corrente mínima necessária, o que resulta em menos desperdícios de energia e maior percentual de rendimento energético. Através do controle da tensão em três fases no dispositivo soft-starter, este pode ser aplicado em cargas mecânicas pesadas, como exaustores, moedores, centrífugas, transportadores de carga etc.

Na figura a seguir, mostra-se o modelo de soft-starter utilizado em uma das bancadas didáticas desenvolvidas para o acionamento de MIT.

Figura 43 – Soft-Starter SSW07 WEG



Fonte: WEG, 2023

Quadro 18 - Especificações técnicas do soft-starter

Especificações Técnicas	
<b>Modelo</b>	<b>SSW07</b>
<b>Marca</b>	<b>WEG</b>
<b>Corrente nominal</b>	<b>17 a 412A</b>
<b>Tensão nominal</b>	<b>220 a 575V</b>
<b>Temperatura de operação</b>	<b>55°C</b>
<b>Regime de partidas</b>	<b>Elevado</b>
<b>Proteção</b>	<b>Motor e chave incorporada</b>
<b>Interface Homem-Máquina (IHM)</b>	<b>Local ou remoto</b>
<b>Pesos e dimensões</b>	<b>Extremamente reduzido</b>
<b>Comunicação</b>	<b>RS-232; RS-485; DeviceNet; Ethernet</b>
<b>Função (Kick-Start)</b>	<b>Para partidas com elevado atrito estático</b>
<b>Entrada (opcional)</b>	<b>PTC do motor</b>
<b>Controle</b>	<b>Controle total nas três fases</b>
<b>By-pass</b>	<b>Incluído</b>
<b>Quantidade de trimpots</b>	<b>5</b>

<b>Tipo da fonte de alimentação da eletrônica</b>	<b>Chaveada com filtro EMC (110 a 240Vca)</b>
---	---

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.19 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

A interface homem-máquina, conhecida como IHM, trata-se do painel do operador, ou seja, é o que conectar o operador com a máquina em processamento. Além disso, a IHM detém a função de traduzir as variáveis complexas dos processos em informações que sejam executáveis e utilizadas. Dessa forma, essa interface é uma das principais ferramentas para que seja realizada a coordenação e o controle dos processos industriais pelos operadores e supervisores destinados à essas áreas.

Com base nesse contexto, a IHM detém o objetivo de exibir informações operacionais que sejam quase em tempo real, além de fácil compreensão. A partir disso, há uma maior flexibilidade para aumentar a eficiência do processo e da máquina que está em operação.

Na figura 44 e no quadro 19, mostram-se um modelo de IHM e suas especificações técnicas, respectivamente.

Figura 44 – Interface Homem-Máquina (IHM)



Fonte: WEG, 2023

Quadro 19 - Especificações técnicas da IHM

<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Modelo</b>	<b>SSW07-08-HMI-LOC</b>
<b>Marca</b>	<b>WEG</b>
<b>Display</b>	<b>LED – 7 segmentos</b>
<b>Certificação</b>	<b>EAC</b>
<b>Quantidade de posições</b>	<b>Português / Inglês / Espanhol</b>
<b>Aplicação</b>	<b>Soft-Starter</b>

Fonte: WEG, 2023

#### 4.1.20 TRANSFORMADOR ELEVADOR

O transformador elevador trata-se de um equipamento que detém a capacidade de transformar tensões, devido ser constituído internamente por um número maior de espiras, caso seja comparado a outros tipos de transformadores. Contudo, uma das principais características presentes nos transformadores elevadores está no segundo enrolamento, o qual detém um número de voltas maior do fio condutor, o que permite mais potência ao transformador para realizar um aumento de tensão.

Esse tipo de transformador é bastante utilizado em sistema elétrico de potência, principalmente em subestações elevadoras de tensão, onde há o aumento da tensão elétrica num momento anterior às linhas de transmissão. Desse modo, o transformador elevador é usado no caso da tensão de entrada ser inferior a tensão de saída, cuja transformação é através do uso do campo magnético presente nas bobinas. No caso da bancada didática construída que detém um transformador elevador, esse componente possui a função de elevar a tensão elétrica de 220V para 380V, devido a energização do Soft-Starter SSW07 ser de 380V, no caso do diagrama de potência.

Na figura 45, mostra-se um transformador elevador trifásico semelhante ao transformador trabalhado na bancada didática de partida com soft-starter de MIT.

Figura 45 – Transformador Elevador Trifásico



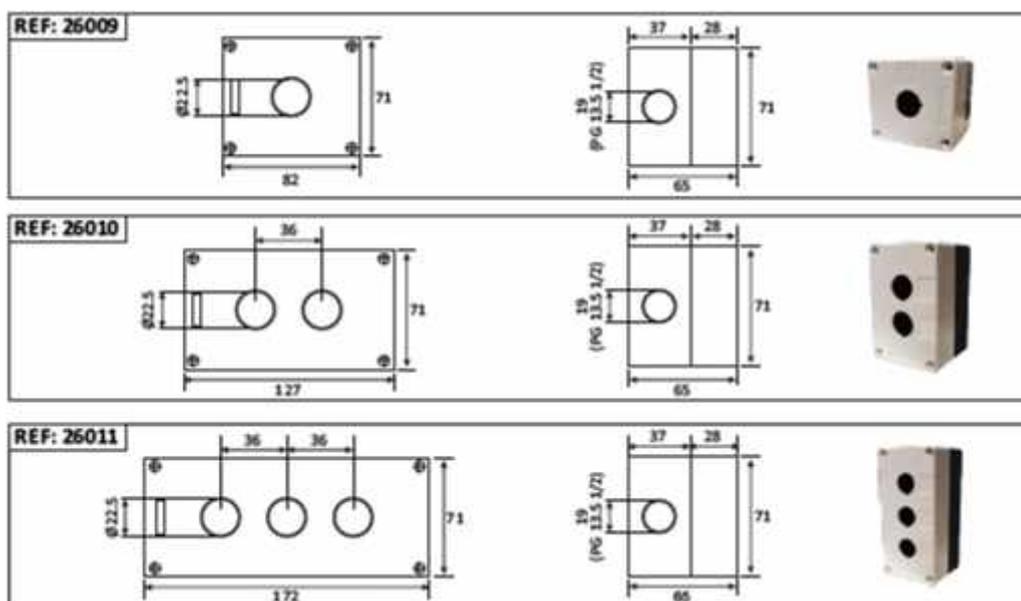
Fonte: ETNA Transformadores, 2023

#### 4.1.21 CAIXA PLÁSTICA DE PASSAGEM VAZIA – BOTOEIRA E SINALEIRA

As caixas de passagem possuem a finalidade de passagem para fios e cabos, além de auxiliar na ligação de alguns desses fios em tomadas ou interruptores. Outra função dessas caixas de passagem é proteger as terminações elétricas dos componentes em relação a fatores externos, como sujeira, umidade ou até mesmo o contato direto das pessoas nas terminações elétricas em casos de energização.

No desenvolvimento das bancadas didáticas para acionamento de MIT, foram utilizadas caixas de passagem vazias que detêm de 1 a 3 furos para inserir botoeiras de acionamento ou sinaleiras, conforme a figura 46, cujas especificações técnicas estão inseridas no quadro 20.

Figura 46 – Caixas de passagem vazias com padrão de furo 22mm



Fonte: Lukma, 2023

Quadro 20 - Especificações técnicas da caixa de passagem

Especificações Técnicas	
<b>Instalação</b>	<b>Caixa de sobrepor</b>
<b>Diâmetro dos furos</b>	<b>22,5mm</b>
<b>Temperatura em operação</b>	<b>- 20°C ~ +60°C</b>
<b>Certificação</b>	<b>IEC 947-5-1</b>
<b>Material do invólucro</b>	<b>Policarbonato</b>
<b>Entrada do cabo</b>	<b>Prensa cabo PG 13,5 (1/2) ou Incisão simples</b>
<b>Quantidade de furos</b>	<b>1; 2 e 3</b>

Fonte: Lukma, 2023

#### 4.1.22 CANALETA ELÉTRICA, TUBO ESPIRAL E ABRAÇADEIRAS DE NYLON

A canaleta elétrica é um componente que detém a função de organizar e distribuir cabos elétricos, onde a estrutura da canaleta auxilia na proteção e passagem dos cabos, o que evita danos estruturais e exposição desses condutores elétricos. Além disso, a canaleta elétrica permite minimizar os riscos de curtos-circuitos e

incêndios, visto que esse tipo de canaleta é projetado para inserir cabos e fios de diversos tamanhos, o que torna um sistema seguro de distribuição dos condutores elétricos e facilita a manutenção. Na figura 47, mostra-se o tipo de canaleta aberta de PVC rígido que resiste até 70°C, a qual foi utilizada nas bancadas didáticas.

Figura 47 – Canaleta elétrica aberta de PVC



Fonte: Ilumi, 2023

O tubo espiral trata-se de um tipo de organizador de cabos, fios e mangueiras, o qual possui uma flexibilidade que permite a acomodação e amarração dos cabos de forma excelente. Além disso, o tubo espiral detém manuseio fácil e prático também devido ao padrão de espessura de parede e de corte, onde normalmente são utilizados em acabamentos e organização de painéis elétricos, o que permite uma proteção extra dos cabos diante de cortes e esmagamento. Dentre as características de um tubo espiral com material de polietileno, estão: flamabilidade UL94 HB; temperatura de utilização na faixa de -40°C a 80°C e, designados para parede simples.

A figura 48 ilustra o tipo de tubo espiral utilizado nas bancadas didáticas:

Figura 48 – Tubo espiral de polietileno



Fonte: HU Infinito, 2023

As abraçadeiras de nylon, também chamada de fita Hellermann, possuem a função de unir dois ou mais objetos de forma prática e eficaz. Desse modo, as abraçadeiras de nylon tratam-se de um tipo de organizador, onde são muito utilizadas na organização ou união de dois ou mais fios e cabos de eletricidade em painéis elétricos. Na figura 49, mostra-se um tipo de abraçadeira de nylon preta de 10cm.

Figura 49 – Abraçadeira de nylon



Fonte: AMC Máquinas e Ferramentas, 2023

#### 4.1.23 PLUGUE E CONECTOR SINDAL

Os plugues servem para fazer a conexão entre o cabo de um equipamento ou máquina e a tomada, a qual está ligada à rede de energia elétrica. No desenvolvimento das bancadas didáticas para acionamento de motores, foram utilizados dois tipos de plugues, os quais tratam-se do plugue 3P+T e o plugue macho 2P+T, que serão mostrados nas figuras 50 e 51, respectivamente. Além disso, nos quadros 21 e 22, mostram-se as especificações técnicas da figura 50 e 51, respectivamente.

Figura 50 – Plugue 3P+T (N-4076)



Fonte: Copafer, 2023

Quadro 21 - Especificações técnicas do plugue 3P+T

Especificações Técnicas	
<b>Referência</b>	<b>N4076</b>
<b>Corrente</b>	<b>16A</b>
<b>Tensão</b>	<b>380 / 440V</b>
<b>Tensão máxima de trabalho</b>	<b>690V RMS</b>
<b>Temperatura em operação</b>	<b>0°C a 120°C (Trabalho contínuo) 200°C (30 minutos)</b>
<b>Resistência ao arco</b>	<b>Até 750V – 500Hz</b>
<b>Rigidez Dielétrica</b>	<b>IEC 60309-1</b>
<b>Grau de proteção</b>	<b>IP 44</b>
<b>Terminais (matéria-prima)</b>	<b>Latão maciço</b>

Fonte: Copafer, 2023

Figura 51 – Plugue macho 2P+T



Fonte: Alumbra Outlet, 2023

Quadro 22 - Especificações técnicas do plugue macho 2P+T

Especificações Técnicas	
<b>Número de polos</b>	<b>2P+T</b>
<b>Corrente nominal</b>	<b>10A</b>
<b>Frequência</b>	<b>50/60Hz</b>
<b>Tensão máxima de trabalho</b>	<b>250V</b>
<b>Norma Técnica</b>	<b>ABNT NBR 14136</b>

Fonte: Alumbra Outlet, 2023

Os conectores sindais possuem a utilidade de emendar fios elétricos, onde suportam tensões baixas e altas. Cada borne do conector sindal detém um terminal de emenda feito de cobre, o qual possui dois parafusos que servem para fixar os condutores elétricos, no caso, os fios. Desse modo, a dependência de fixação através de dois parafusos, facilita e permite uma desconexão rápida entre os fios condutores de eletricidade. Na figura 52, mostra-se um tipo de conector sindal para cabos de 4mm<sup>2</sup> de diâmetro, cuja especificação técnica está presente no quadro 23.

Figura 52 – Conector do tipo sindal 4mm<sup>2</sup>

Fonte: Fame, 2023

Quadro 23 - Especificações técnicas do conector do tipo sindal

Especificações Técnicas	
<b>Marca</b>	<b>Fame</b>
<b>Diâmetro</b>	<b>2,5mm<sup>2</sup> e 4mm<sup>2</sup></b>
<b>Resistência</b>	<b>Alta</b>
<b>Temperatura em operação</b>	<b>-50°C à 100°C</b>
<b>Material</b>	<b>Nylon Anti-Chama</b>

Fonte: Fame, 2023

#### 4.1.24 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO (MIT)

Os MIT são muito utilizados na indústria, devido esses motores deterem diversas vantagens, entre elas estão: baixo custo e simplicidade em manutenção; simplicidade diante de motores de corrente contínua; obtenção de velocidades maiores, o que acarreta na presença de potências maiores nesses motores; baixo consumo de energia durante o trabalho, etc. Diante dessa série de vantagens, o MIT é muito usado para acionamento de cargas pesadas, onde possui um rendimento energético considerado alta e promissor. Na figura 53, mostra-se um modelo de motor de indução trifásico da WEG, que foi implementado nas bancadas didáticas. Ademais, o quadro 24 detém as especificações técnicas desse motor.

Figura 53 – Motor de indução trifásico (MIT)



Fonte: Autor

Quadro 24 - Especificações técnicas do motor de indução trifásico

Especificações Técnicas	
<b>Marca</b>	<b>WEG</b>
<b>Modelo</b>	<b>W22 Plus</b>
<b>Potência (Cavalo-vapor)</b>	<b>1,5kW (2 cv)</b>
<b>Frequência</b>	<b>60Hz</b>
<b>Corrente</b>	<b>6,66 / 3,86 / 3,33A</b>
<b>Tensão</b>	<b>220 / 380 / 440V</b>
<b>RPM</b>	<b>1150</b>
<b>Grau de proteção</b>	<b>IP 55</b>
<b>Fator de potência</b>	<b>0,70</b>
<b>Ip / In</b>	<b>6,0</b>
<b>Quantidade de fases</b>	<b>3</b>
<b>Rendimento energético</b>	<b>83,9%</b>
<b>Fator de Serviço</b>	<b>1,15</b>
<b>Peso</b>	<b>33kg</b>
<b>Temperatura em operação</b>	<b>40°C</b>

Fonte: WEG, 2023

## **CAPÍTULO 5: BANCADAS DIDÁTICAS PARA MONTAR EXPERIMENTOS COM MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRAFÁSICOS**

### **5.1 A IMPORTÂNCIA DA CONSTRUÇÃO DE BANCADAS DIDÁTICAS**

As bancadas didáticas não são um mero artefato para acrescentar nas aulas práticas destinadas aos alunos, seus objetivos são muito mais amplos dentro da área de ensino-aprendizagem, os quais abordam a busca por equilíbrio entre o conhecimento teórico e o conhecimento prático, de forma que as habilidades e competências aprendidas em sala de aula ou a partir de leituras didáticas possam ser compreendidos e visualizados no cenário prático em si. Segundo Campos (2012), os experimentos permitem aos acadêmicos a construção de mais conhecimentos, visto que esses experimentos retiram os acadêmicos da zona de conforto e colocam numa zona de conflito, porém, através dessa construção de conhecimento, eles retornam a zona de equilíbrio.

Durkheim (1978) transmitia o pensamento de que as aulas teóricas detêm uma fonte rica em conhecimento, porém, há a necessidade de aplicar esse conhecimento em experimentos, com base na análise de vários déficits presentes em alunos no quesito experiência, os quais apenas detinham o conhecimento teórico. Dessa forma, a construção e aplicação em laboratório das bancadas didáticas possibilitam a redução desses déficits em habilidades e competências dos acadêmicos na prática.

A engenharia possui uma ampla área de conhecimento que mescla os conhecimentos teóricos aos conhecimentos práticos, os quais dependem muito de uma relação estável entre eles. Além disso, uma relação estável entre as duas modalidades de conhecimento permite uma maior compreensão e funcionalidade. Com base nos estudos efetuados pelos autores Junior, De Oliveira e Gomes (2020), no momento de introduzir os alunos de engenharia ao ambiente laboratorial para aplicação dos conhecimentos teóricos, notaram-se que existia diversas dificuldades no momento de desenvolver os protótipos, o que conclui a necessidade de haver certo equilíbrio entre teoria e prática.

Nas figuras 54 e 55, mostram-se modelos de ambiente para aulas que transmitem conhecimento teórico e conhecimento prático, respectivamente.

Figura 54 – Ambiente de sala de aula



Fonte: Autor

Figura 55 – Ambiente de laboratório



Fonte: Autor

Com base nesse contexto acima, construir bancadas didáticas, mais precisamente, bancadas didáticas para acionamento de motores de indução trifásicos, é fundamental para que haja a possibilidade de novas experiências que possam agregar em habilidades e competências, principalmente na área de eletrônica industrial. Além disso, a implementação dessas bancadas trata-se de uma forma de

buscar o interesse dos alunos a respeito dos estudos sobre motores e as formas de acionamento dessas máquinas, os quais ficam incompletos, dependendo da situação que foram repassados aos alunos na aula teórica.

## 5.2 ASPECTOS FAVORÁVEIS DO USO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

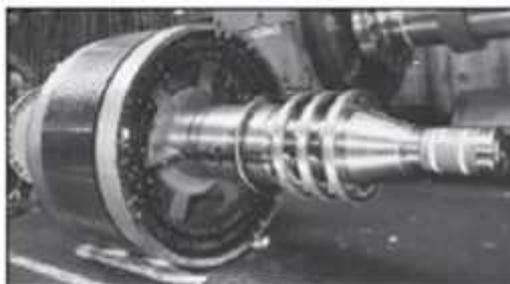
Segundo Chapman (2013), os MIT detêm em seu princípio de funcionamento a corrente elétrica alternada (CA), cuja aplicação desses motores são mais frequentes no acionamento que detém cargas mecânicas. Além disso, o MIT possui uma estrutura robusta e simples para a execução de atividades relacionadas a manutenção, assim como é desenvolvido o suficiente para atender às aplicações típicas que detêm o uso do motor elétrico de coletor de lâminas. Dessa forma, o MIT detém a capacidade de se adaptar para responder às necessidades provenientes do acionamento de carga mecânica, onde essa capacidade pode ser adquirida através de estudos a respeito do princípio de funcionamento, cujo resultado trata-se de novas estratégias de controle.

De acordo com Franchi (2014), a definição do aspecto assíncrono ao MIT é devido a inexistência de uma relação constante entre a frequência dos parâmetros de alimentação e a velocidade de rotação da máquina. A partir disso, abre-se um grande campo de aplicação para o MIT em relação aos sistemas eletromecânicos, dada a capacidade do MIT em efetuar o controle do processo de conversão de energia elétrica em energia mecânica. Diante dessa situação, soma-se a vantagem dos motores de indução trifásicos deterem poucas dissipações de energia nesse processo de conversão de energia, as quais são pequenas diante do rendimento energético produzido pelo MIT.

Contudo, apesar da presença de perdas elétricas, mecânicas e magnéticas no funcionamento do MIT, esses tipos de perdas possuem soluções para a redução de impacto no rendimento energético do motor. Segundo Franchi (2014), as perdas elétricas podem ser reduzidas através do aumento da seção dos condutores, enquanto as perdas mecânicas e magnéticas podem ser reduzidas com uso de componentes e elementos de baixa fricção e o aprimoramento do sistema de ventilação presente nos motores.

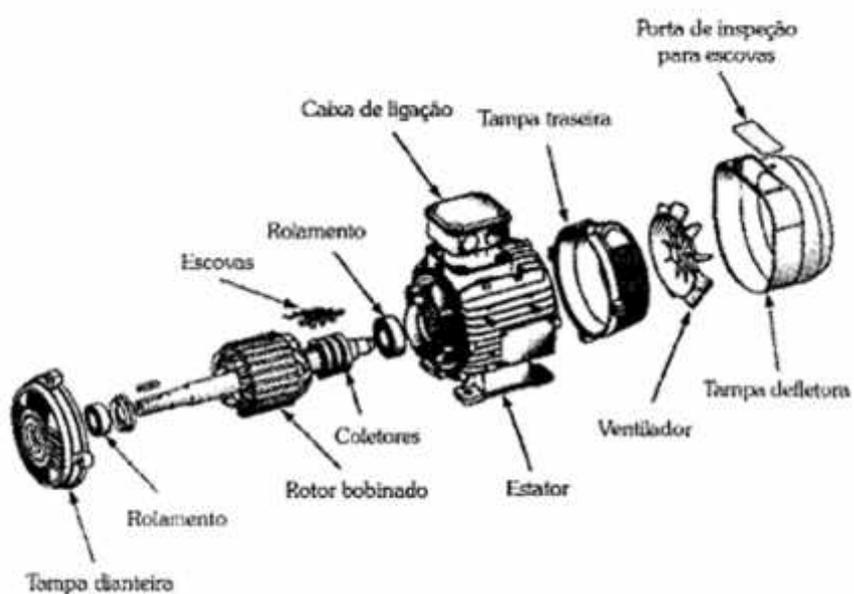
Nas figuras 56 e 57, mostra-se um modelo de rotor bobinado para motor de indução e os componentes internos de um motor de indução que detém rotor bobinado, respectivamente.

Figura 56 – Modelo de rotores bobinados de motores de indução



Fonte: CHAPMAN (2013)

Figura 57 – Estrutura interna de um motor com rotor bobinado



Fonte: Franchi (2014)

### 5.3 BANCADAS DIDÁTICAS DESENVOLVIDAS PARA O ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

#### 5.3.1 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO

A bancada didática desenvolvida a respeito da partida direta com a possibilidade de reverter o sentido de giro no eixo do motor, é constituída dos seguintes componentes:

- ) 01 Disjuntor tripolar;
- ) 02 contatores;
- ) 01 Relé temporizador;
- ) 03 sinaleiras (01 verde, 01 amarela e 01 vermelha);
- ) 01 disjuntor-motor;
- ) 01 botoeira de emergência;
- ) 01 barramento de cobre do tipo pente;
- ) Anilhas;
- ) Terminais 2,5 mm (garfo e pino);
- ) Cabos de 2,5mm;
- ) 01 Trilho DIN (1,5 metro);
- ) 01 Relé térmico;
- ) 01 Disjuntor monopolar;
- ) 03 Contatos auxiliares;
- ) 01 Conector sindal (3 entradas e saídas);
- ) 03 caixas de passagem (01 com um furo e 02 com três furos).
- ) 02 botoeiras pulsante sem retenção do tipo NA;
- ) 01 botoeira pulsante sem retenção do tipo NF;
- ) 01 espirais tubo (2 metros);

- ) 01 Tomada 220V trifásica;
- ) 01 Plug de tomada macho 2P+T 10A;
- ) 01 canaleta (2 metros);
- ) 01 Pacote de abraçadeiras de nylon.

Na figura 58, mostra-se a vista frontal da bancada que foi desenvolvida no ambiente laboratorial:

Figura 58 – Visão frontal da bancada didática de partida direta com reversão em MIT



Fonte: Autor, 2023

### 5.3.2 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

A bancada didática desenvolvida acerca da partida estrela-triângulo é constituída dos seguintes componentes:

- ) 01 Disjuntor tripolar;
- ) 03 Contatores de 24V;
- ) 01 Fonte chaveada de 24V;
- ) 01 Chave seletora do tipo switch de três posições;
- ) 01 Relé temporizador;
- ) 01 Botoeira de emergência;
- ) Cabos de 2,5mm;
- ) 01 Barramento de cobre trifásico do tipo pente;
- ) 01 Trilho DIN (1,5 metro);
- ) 01 Relé térmico;
- ) 03 Caixas de passagem (02 com um furo e 01 com três furos);
- ) Terminais de 2,5 mm (garfo, pino, anel e fêmea) e 4 mm (pino);
- ) 01 Botoeira dupla com LED (NA e NF);
- ) 01 Plug de tomada macho 2P 10A;
- ) 01 Tomada 3P+T de 220V;
- ) 01 Espiral tubo preto (3 metros);
- ) 01 Espiral tubo branco (1.5 metro);
- ) 01 Canaleta (1 metro);
- ) 03 Sinaleiras (01 verde, 01 amarela e 01 vermelha);
- ) 01 Conector sindal (3 entradas e saídas);

) 01 Pacote de abraçadeiras de nylon.

Na figura 59, mostra-se a vista frontal da bancada didática de partida estrela-triângulo desenvolvida em ambiente laboratorial:

Figura 59 – Visão frontal da bancada didática de partida estrela-triângulo em MIT



Fonte: Autor, 2023

### 5.3.3 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A bancada didática desenvolvida a respeito da partida com inversor de frequência é constituída dos seguintes componentes:

- ) 01 Inversor de frequência CFW10;
- ) 01 Botoeira de emergência;
- ) 01 Trilho DIN (1,5 metro);
- ) 22 Bornes de passagem;

- ) 01 Conector sindal (3 entradas e saídas);
- ) 01 Tomada 3P+T 380V;
- ) 01 Disjuntor bipolar;
- ) 01 Barramento de cobre do tipo pente;
- ) 07 Caixas de passagem (01 de três furos, 05 de um furo e 01 de dois furos);
- ) 01 Contator;
- ) 01 Contato auxiliar com duas entradas;
- ) Terminais 2,5 mm (pino, garfo);
- ) Anilhas;
- ) 02 Botões duplas (NA e NF);
- ) 01 Potenciômetro PWM (do inglês "*Pulse Width Modulation*");
- ) 01 Chave seletora de 3 posições;
- ) 05 Sinaleiras (01 verde, 01 amarela claro, 01 vermelha, 01 azul e 01 amarelo escuro);
- ) Cabos de 2,5 mm e 1,5 mm;
- ) 01 Espiral tubo preto (5 metros);
- ) 01 Espiral tubo branco (1,5 metro);
- ) 01 Canaleta (1,5 metro);
- ) 01 Pacote de abraçadeiras de nylon.

Na figura 60, mostra-se a vista frontal da bancada didática de partida com inversor de frequência CFW10 desenvolvida em ambiente laboratorial:

Figura 60 – Visão frontal da bancada didática de partida com inversor frequência em MIT



Fonte: Autor, 2023

#### 5.3.4 BANCADA DIDÁTICA DE PARTIDA COM SOFT-STARTER

A bancada didática desenvolvida a respeito da partida com soft-starter é constituída dos seguintes componentes:

- ) 01 Soft-Starter SSW07;
- ) 01 Disjuntor bipolar;
- ) 01 Disjuntor tripolar;
- ) 01 Barramento de cobre trifásico do tipo pente;
- ) 01 Contator;
- ) 03 Contatos auxiliares;
- ) 03 Sinaleiras (01 verde, 01 amarela e 01 vermelha);
- ) 04 Caixas de passagem (03 com um furo e 01 com três furos);

- ) Cabo 2,5 mm;
- ) Terminais (garfo, pino e tubular);
- ) Anilhas;
- ) 01 Canaleta (2,5 metros);
- ) 01 Espiral tubo (4,5 metros);
- ) 01 Trilho DIN (1 metro);
- ) 02 pacotes de abraçadeiras de nylon;
- ) 04 Conectores sindais;
- ) 01 Botoeira NF do tipo cogumelo;
- ) 01 Botoeira dupla (NA e NF);
- ) 01 Chave seletora de duas posições;
- ) 01 Tomada 220V 3P+T;
- ) 01 Plug de tomada macho 2P+T 10A;
- ) 14 Bornes de passagem;
- ) 01 Transformador elevador de tensão 220V – 380V.

Na figura 61, mostra-se a vista frontal da bancada didática de partida com Soft-Starter SSW07 desenvolvida em ambiente laboratorial:

Figura 61 – Visão frontal da bancada didática de partida com Soft- Starter em MIT



Fonte: Autor, 2023

## CAPÍTULO 6: SEQUÊNCIA PARA MONTAR AS CONFIGURAÇÕES DOS EXPERIMENTOS DOS ACIONAMENTOS

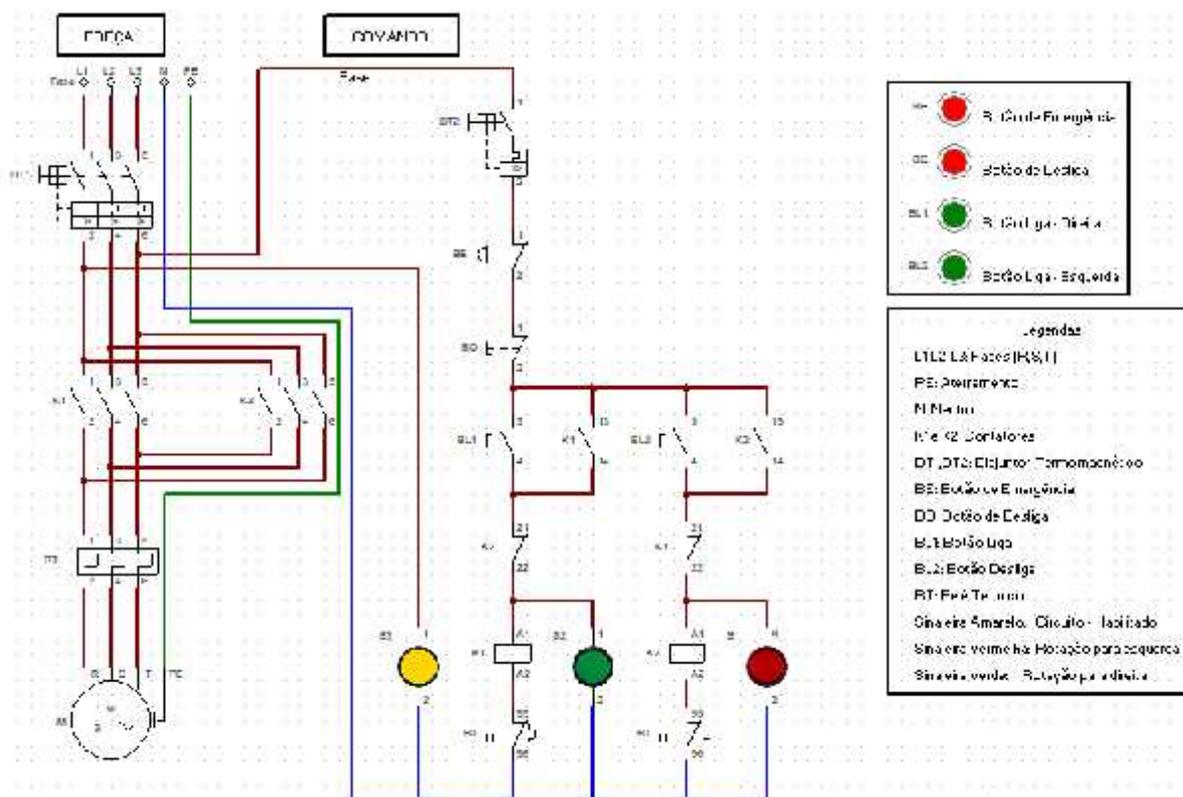
### 6.1 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

- ) Primeiramente, com auxílio do multímetro no modo voltímetro, verifique o nível de tensão da rede elétrica;
- ) Analise a placa de dados do motor a ser trabalhado, a qual deve conter os parâmetros que serão utilizados para o funcionamento adequado do motor. (**ATENÇÃO:** os parâmetros contidos na placa do motor devem ser seguidos a rigor!);
- ) Analise a compatibilidade do diagrama de ligação presente na placa do motor com o diagrama de força e comando presente no estudo prévio de partida direta com reversão;
- ) Realizar as ligações elétricas adequadamente, conforme os diagramas de montagem apropriados, caso haja alguma conexão pendente;
- ) Em posse de um multímetro, faça o teste de continuidade nas devidas ligações da bancada e certifique-se de que está em conformidade ao diagrama de força e comando do projeto;
- ) Subsequente a realização dos procedimentos anteriores, dê início à etapa de operação da bancada;
- ) Conecte a tomada 3P + T ao receptáculo apropriado de 220V;
- ) Conecte o plug macho 2P + T 10A na tomada;
- ) Acione as manoplas dos disjuntores DT-1 e DT-2;
- ) Desabilite a botoeira de emergência BE, girando no sentido horário;
- ) Habilite o disjuntor motor DM;
- ) Para acionar o motor de indução trifásico com eixo rotacionando no sentido horário, pressione a botoeira BL1 do controle;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Para desabilitar o movimento do eixo do motor no sentido horário, pressione a botoeira BD do controle;

- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) **ATENÇÃO:** caso queira mudar o sentido de giro do eixo do motor, espere o eixo do motor parar totalmente o movimento de giro;
- ) Para acionar o motor de indução trifásico com eixo rotacionando no sentido anti-horário, pressione a botoeira BL2 do controle;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Para desabilitar o movimento do eixo do motor no sentido anti-horário, pressione a botoeira BD do controle;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Após o processo de acionamento do motor através da bancada, desabilite a bancada com os procedimentos a seguir;
- ) Desabilite o disjuntor motor DM;
- ) Pressione a botoeira de emergência BE;
- ) Desacione as manoplas dos disjuntores DT-1 e DT-2;
- ) Desconecte a tomada 3P + T do receptáculo apropriado de 220V;
- ) Desconecte o plug macho 2P + T 10A da tomada.

A figura 62 ilustra o diagrama de força e comando da bancada didática desenvolvida para partida direta com reversão em motor de indução trifásico:

Figura 62 – Diagrama de comando e força da partida direta com reversão em MIT



Fonte: Autor, 2023

## 6.2 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

- )] Verifique com auxílio do multímetro no modo voltímetro, qual é o nível de tensão da rede elétrica;
- )] Analise a placa de dados do motor a ser trabalhado, a qual deve conter os parâmetros que serão utilizados para o funcionamento adequado do motor. (**ATENÇÃO:** os parâmetros contidos na placa do motor devem ser seguidos a rigor!);
- )] Analise a compatibilidade do diagrama de ligação presente na placa do motor com o diagrama de força e comando presente no estudo prévio de partida estrela-triângulo;
- )] Observe que neste tipo de acionamento serão necessários dois tipos de conexões diferentes entre as bobinas do estator, sendo a ligação em estrela para a partida, e a ligação em triângulo para o regime normal de funcionamento do motor;

- J Verifique cuidadosamente os esquemas de montagem da placa e do guia, observando quais são as conexões necessárias para a ligação em estrela, e quais são as conexões para a ligação em triângulo. Caso os esquemas sejam iguais, faça as ligações elétricas adequadas, seguindo os esquemas de montagem apropriados;
- J Em posse de um multímetro, faça o teste de continuidade nas devidas ligações da bancada e certifique-se de que está em conformidade ao diagrama de força e comando do projeto;
- J Ajuste o tempo de acionamento do relé temporizador para cerca de 05 segundos;
- J Subsequente a realização dos procedimentos anteriores, dê início à etapa de operação da bancada;
- J Conecte a tomada 3P + T ao receptáculo apropriado de 220V;
- J Conecte o plug macho 2P + T 10A na tomada;
- J Acione a manopla do disjuntor DT-1;
- J Desabilite a botoeira de emergência BE, girando no sentido horário;
- J Habilite a transferência de tensão proveniente da fonte chaveada de 24V para o comando dos contadores através da mudança da posição 0 para 1 na chave seletora do tipo *switch* de três posições;
- J Para acionar o motor de indução trifásico, pressione a botoeira BL1 do controle para dá partida no motor no modo estrela, onde os contadores K1 e K3 irão habilitar;
- J Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento em estrela;
- J Verifique que nesse momento a tensão de alimentação do motor será a de maior valor devido está em ligação estrela;
- J Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- J Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor no modo estrela através do sensor de movimento;
- J **ATENÇÃO:** após o decorrer do tempo ajustado no relé temporizador, observe o processo de comutação do contator K3 para o contator K2. Nesse momento, ocorre a mudança da ligação em estrela para triângulo, o qual é habilitado no momento que o motor entra em regime normal de funcionamento;

- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento em triângulo;
- ) Verifique que nesse momento a tensão de alimentação do motor será a de menor valor devido está em ligação triângulo;
- ) Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- ) Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor no modo triângulo através do sensor de movimento;
- ) Para desacionar o motor, pressione a botoeira BD do controle;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- ) Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor através do sensor de movimento, quando o motor estiver parado;
- ) Após o processo de acionamento do motor através da bancada, desabilite a bancada com os procedimentos a seguir;
- ) Desabilite a chave seletora do tipo *switch* para a posição 0;
- ) Pressione a botoeira de emergência BE;
- ) Desacione a manopla do disjuntor DT-1;
- ) Desconecte a tomada 3P+T do receptáculo apropriado de 220V;
- ) Desconecte o *plug* macho 2P+T 10A da tomada.

Na figura 63, ilustra-se o diagrama de força e comando da bancada didática desenvolvida para partida estrela-triângulo em motor de indução trifásico:

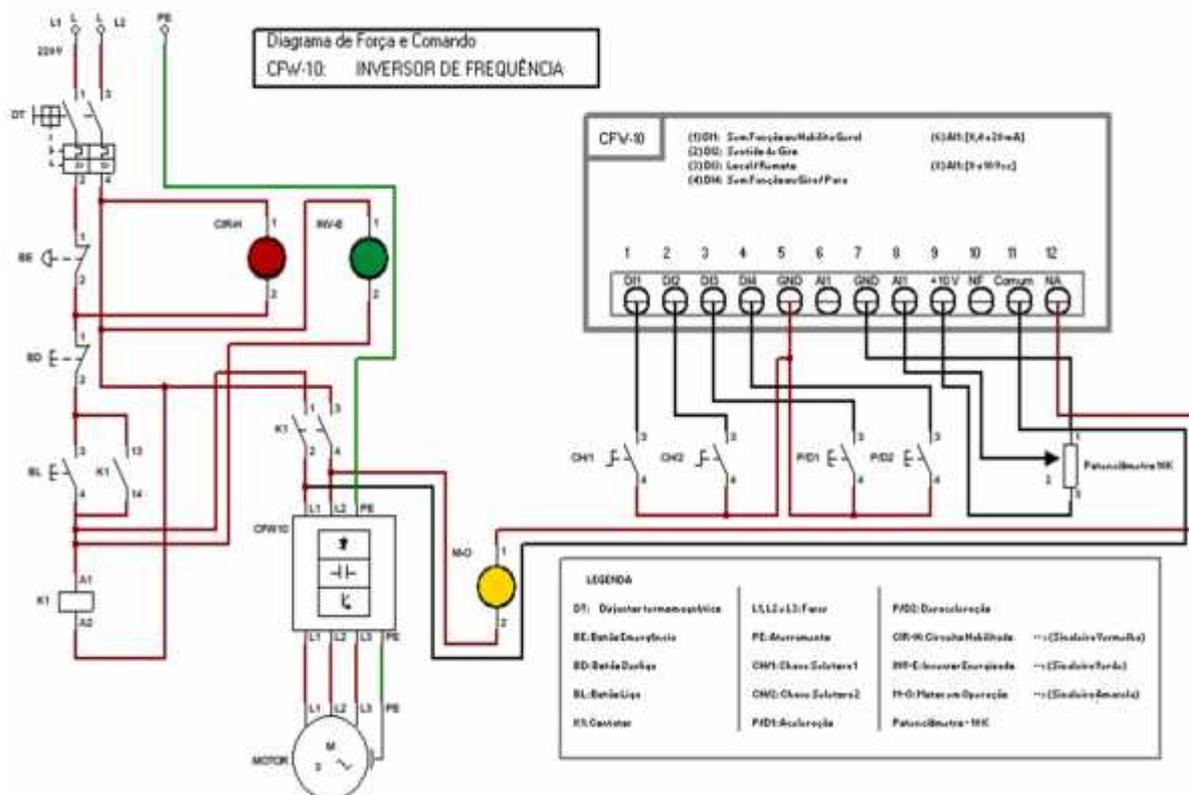


- J Em posse de um multímetro, faça o teste de continuidade nas devidas ligações da bancada e certifique-se de que está em conformidade ao diagrama de força e comando do projeto;
- J Subsequente a realização dos procedimentos anteriores, dê início à etapa de operação da bancada;
- J Conecte a tomada 3P + T ao receptáculo apropriado de 220V;
- J Acione a manopla do disjuntor bipolar DT-1;
- J Desabilite a botoeira de emergência BE, girando no sentido horário;
- J Pegue o controle que detém a chave seletora de 3 posições e coloque na posição designada ao modo remoto, o qual irá habilitar o funcionamento dos outros controles;
- J Pegue o controle que detém a botoeira dupla com as siglas BL e BD, pressione BL, o qual irá habilitar o contator, ocasionando na energização do inversor de frequência;
- J Efetue a parametrização do inversor de frequência de acordo com o manual e inserido os respectivos dados de placa do motor nos parâmetros do motor, de acordo com o manual;
- J Acesse os parâmetros de limite de frequência para inserir a frequência mínima e máxima de funcionamento do motor, sendo esses parâmetros P133 e P134, respectivamente;
- J Habilite o modo local para dá partida no inversor de frequência, para que o comando seja iniciado no motor, de acordo o parâmetro P221 – opção 0;
- J Para ligar o motor, pressione a tecla I da IHM do inversor de frequência, seguido da verificação dos parâmetros P003, P005 e P007, os quais correspondem aos parâmetros de leitura da tensão de saída, corrente de saída e frequência;
- J Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- J Em posse do controle com a botoeira dupla que detém as siglas DESA e ACE, pode-se efetuar a ação de acelerar ou desacelerar o eixo que rotaciona no motor, onde verifica-se a mudança da frequência do motor através da IHM no parâmetro P007;

- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de desaceleração e de aceleração;
- ) Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- ) Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor através do sensor de movimento;
- ) Para desligar o motor, pressione a tecla O da IHM do inversor de frequência.
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Após o processo de acionamento do motor através da bancada, desabilite a bancada com os procedimentos a seguir;
- ) Coloque a chave seletora na posição 0;
- ) Pressione a botoeira de emergência BE;
- ) Desacione a manopla do disjuntor DT-1;
- ) Desconecte a tomada 3P + T do receptáculo apropriado de 220V.

Na figura 64, ilustra-se o diagrama de força e comando da bancada didática desenvolvida para partida com inversor de frequência CFW10 em motor de indução trifásico:

Figura 64 – Diagrama de comando e força da partida com inversor de frequência em MIT



Fonte: Autor, 2023

#### 6.4 PROCEDIMENTOS DE TESTE DA PARTIDA COM SOFT-STARTER PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

- )] Antes de iniciar qualquer etapa do experimento, deve-se ler o manual atentamente para efetuar o procedimento com segurança;
- )] Verifique com o auxílio do multímetro (voltímetro), qual é o nível de tensão da rede elétrica;
- )] Verifique a placa de dados do motor, a qual deve conter todos os parâmetros fundamentais para o funcionamento adequado do motor;
- )] Analise a compatibilidade do diagrama de ligação presente na placa do motor com o diagrama de ligação presente no estudo prévio de partida com soft-starter;
- )] Para efetuar as conexões de alimentação do motor com o soft-starter, deve-se considerar o conteúdo contido no manual;
- )] Configure adequadamente os parâmetros abordados nos *trimpots* e nos *DIP Switch* do painel do *Soft-Starter*;

- ) Em posse de um multímetro, faça o teste de continuidade nas devidas ligações da bancada e certifique-se de que está em conformidade ao diagrama de força e comando do projeto;
- ) Subsequente a realização dos procedimentos anteriores, dê início à etapa de operação da bancada;
- ) Conecte a tomada 3P + T ao receptáculo apropriado de 220V;
- ) Conecte o plug macho 2P + T 10A na tomada;
- ) Acione as manoplas dos disjuntores DT-1 e DT-2;
- ) Desabilite a botoeira de emergência BE através da chave que é inserida na fechadura presente na região vermelha da botoeira;
- ) Pegue o controle que detém a botoeira dupla e pressione BL, cuja finalidade é habilitar o contator para que o Soft-Starter seja energizado;
- ) Em posse do controle que detém a chave seletora de duas posições, rotacione a chave na posição 1, cuja finalidade é acionar o motor;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- ) Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor através do sensor de movimento;
- ) Para desacionar o motor, coloque a chave seletora na posição 0;
- ) Pegue o multímetro no modo voltímetro, meça a tensão elétrica na entrada dos bornes de alimentação do motor no momento de funcionamento;
- ) Pegue um sensor de movimento e aponte fixamente e diretamente para o eixo de rotação do motor;
- ) Verifique o valor da frequência em RPM do eixo do motor através do sensor de movimento, quando o motor estiver parado;
- ) Após o processo de acionamento do motor através da bancada, desabilite a bancada com os procedimentos a seguir;
- ) Pressione a botoeira BD do controle;
- ) Pressione a botoeira de emergência BE;
- ) Desacione as manoplas dos disjuntores DT-1 e DT-2;



## REFERÊNCIAS

ALVES, Helder Henrique de Campos. Estudo dos sistemas de partida dos motores de indução trifásicos-MIT. 2021.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no sistema elétrico nacional. PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. 2011.

ANEEL, Manual para elaboração do programa de eficiência energética. Brasília, 2008. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656831/14944470/Manual+de+Elabora%C3%A7%C3%A3o+do+PEE+2008.pdf/0dbb7e3c-aa8a-43ef-ae4a-b0899f0077bb>. Acesso em: 15 Dezembro 2023.

ANEEL, Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_12/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_12/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47). Acesso em: 15 Dezembro 2023.

AUGUSTO JR, Norberto. Motores de alto rendimento: dimensionamento e viabilidade econômica. São Paulo, 2001. 157p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

AVISON, David; FITZGERALD, Guy. Information systems development: methodologies, techniques and tools. McGraw-Hill, 2003.

B.S.Campos; S.A. Fernandes; A.C.P.B. Ragni; N.F. Sousa. (2017,12). Física para Crianças: abordando conceitos físicos a partir de situações problema. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(1).

BEN, Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia, ano base 2024.

BRASÍLIO FILHO, Arnaldo. Motores e Geradores. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=795>>. Acesso em 30 de setembro de 2023.

BRITO, et al. Detecção de Falhas em Motores Elétricos Através da Análise de Corrente e Análise de Fluxo Magnético. UFSJ-MG.

CASSAPO, Felipe. Indústria 4.0 – Indústria - em Revista – Abr a Jun/2016 | Ano III nº 10, p. 14 – 20).

DAWALIBI, F. P. (1989). Power Quality Indices in Power Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 25(3), 418-424.

FERRAZ NETTO, Luiz. Geradores de Energia Elétrica (Conceitos básicos). Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_t02.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_t02.asp)>. Acesso em 30 de setembro de 2023.

FRANCHI, c.m. acionamentos elétricos, Ed. Érica, 4a. Ed., SP, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos Elétricos. 5.ed. São Paulo-SP: Érica, 2014.

Freitas, G. V. C. "Eficiência energética em motor de indução trifásico através do uso de inversor de frequência PWM". Dissertação de Monografia Engenharia Elétrica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 85p., 2013.

GONEN, T. (2014). Electric Power Distribution System Engineering. CRC Press.

HAWKINS, L. A.; CLEMENTS, J. D.; MAUGHAN, J. D. (2009). Electric Power Generation, Transmission, and Distribution. CRC Press.

KERSTING, W. H. (2008). Distribution System Modeling and Analysis. CRC Press.

KOTHARI, D. P.; NAGRATH, I. J. (2012). Modern Power System Analysis. Tata McGraw-Hill Education.

LAI, Rixin et al. A systematic topology evaluation methodology for high-density three-phase PWM AC-AC converters. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 23, n. 6, p. 2665-2680, 2008.

MAMEDE FILHO, João. Instalações Elétricas Industriais. 8.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2013.

MEYER, Maximiliano. “Como foi inventado o computador?”. 2014.Disponível em:<  
<https://www.oficinadanet.com.br/post/13710-como-foi-inventado-ocomputador>>.

Acesso em: 18 jul.2023.

NASCIMENTO, G. Comandos Elétricos Teoria e Atividades. São Paulo-SP: Érica, 2011.

Procel. (s.d.). Código Legislativo da Eficiência Energética. (E. ELETROBRÁS/PROCEL, Ed.) Código Legislativo da Eficiência Energética nos prédios públicos federais, 142.

PROCEL/ELETROBRÁS. (2007). Eficiência Energética: Teoria e Prática.