



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ADILINO SÊNA MAIA

**ANÁLISE E PROJETO DE PARTIDA DE MOTOBOMBA EM POÇO ARTESIANO
UTILIZANDO *SOFT STARTER***

CARAÚBAS/RN

2021

ADILINO SÊNA MAIA

**ANÁLISE E PROJETO DE PARTIDA DE MOTOBOMBA EM POÇO ARTESIANO
UTILIZANDO *SOFT STARTER***

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenharia Elétrica.

Orientador: Hugo Michel Câmara de
Azevedo Maia

CARAÚBAS/RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

MM217 Maia, Adilino Sêna.
aa Análise e projeto de partida de motobomba em
 poço artesiano utilizando soft starter / Adilino
 Sêna Maia. - 2021.
 89 f. : il.

 Orientador: Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2021.

 1. Motor de Indução Trifásico. 2. Acionamento
Elétrico. 3. Partida Direta. 4. Partida
Compensadora. 5. Soft Starter. I. Maia, Hugo
Michel Câmara de Azevedo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ADILINO SÊNA MAIA

**ANÁLISE E PROJETO DE PARTIDA DE MOTOBOMBA EM POÇO ARTESIANO
UTILIZANDO *SOFT STARTER***

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenharia Elétrica.

Defendida em: 27 /05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Hugo Michel C. de Azevedo Maia

HUGO MICHEL CÂMARA
DE AZEVEDO MAIA

Assinado de forma digital por HUGO
MICHEL CÂMARA DE AZEVEDO MAIA
Dados: 2021.05.27 18:11:18 -03'00'

Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia

Presidente

FRANCISCO DE ASSIS BRITO
FILHO:01037665457

Assinado de forma digital por FRANCISCO DE ASSIS
BRITO FILHO:01037665457
Dados: 2021.05.28 14:19:51 -03'00'

Prof. Dr. Francisco de Assis Brito Filho

Membro

ANTONIO ALISSON ALENCAR
FREITAS:02228242390

Digitally signed by ANTONIO ALISSON ALENCAR FREITAS:02228242390
DN: CN=ANTONIO ALISSON ALENCAR FREITAS:02228242390, OU=UFERSA - Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Reason: I am the author of this document
Location: your signing location here
Date: 2021-05-31 15:57:29
Foxit Reader Version: 9.5.0

Prof. Me. Antônio Alisson Alencar Freitas

Membro

Francisco das Chagas Barbosa de Sena

Assinado de forma digital por FRANCISCO DAS
CHAGAS BARBOSA DE SENA:00895009382
Dados: 2021.05.27 18:38:59 -03'00'

Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena

Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me abençoar com saúde, paz e sabedoria, e sempre me guiar para o melhor caminho.

Agradeço a meu pais Eider de Oliveira Maia e Zildete Sena Maia por todo amor, carinho e educação da melhor forma, por acreditarem em mim para ser responsável e independente. Agradeço aos meus irmãos Anamaria Sena Maia e Euder Sena Maia por sempre estarem do meu lado para me ajudar em todos os momentos.

Agradeço a minha esposa Laynara Lorranny Santiago Souza, por sempre estar do meu lado e me guiar a ser uma pessoa cada vez melhor, por todo seu amor e carinho quando necessitava de um momento de paz.

Ao orientador e amigo Prof. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia, pela confiança, dedicação, por todo o conhecimento adquirido e principalmente pela paciência. Levarei para sempre cada frase de incentivo.

À instituição UFERSA pela estrutura disponibilizada para realização do trabalho.

“Tentem deixar este mundo um pouco melhor do que o encontraram e, quando chegar a vez de morrerem, possam morrer felizes com o sentimento de que, pelo menos, não desperdiçaram o tempo, mas fizeram o melhor que puderam. Estejam preparados, desta maneira, para viverem e morrerem felizes, sempre fiéis à Promessa Escoteira, até mesmo depois que deixarem de ser jovens. E que Deus os ajude a cumpri-la.”

Robert Stephenson Smyth Baden-Powell

RESUMO

Este trabalho tem como tema central a adequação de uma partida de motobomba utilizada em poço artesiano. O motivo da adequação deve-se ao fato de o método utilizado até então apresentar desconformidade com a norma regulamentadora da concessionária local, e os desgastes recorrentes de equipamentos ocasionados pelo uso incorreto destes. Foram analisados vários sistemas de acionamento, projetados dois e escolhido aquele que apresentou maiores vantagens para esta aplicação. As partidas projetadas e dimensionadas foram a compensada e a *soft starter*. No fim, escolheu-se a partida utilizando a *soft starter*, este modelo se adequa a diversos sistemas com facilidade e apresenta proteções básicas embutidas em um só equipamento. Com a instalação e configuração da nova partida observou-se que, reduziu-se drasticamente o golpe de aríete no sistema hidráulico da motobomba, assim como, o uso da partida suave as manutenções dos sistemas elétrico e hidráulico a longo prazo serão menores.

Palavras-chave: Motor de Indução Trifásico, Acionamento Elétrico, Partida direta, Partida compensadora, *Soft Starter*.

ABSTRACT

The central theme of this paper is the suitability of a motor-pump starter used in an artesian well. The reason for the adjustment is due to the fact that the method used until then did not comply with the regulatory norms of the local utility company, and the recurrent equipment wear caused by their incorrect use. Several drive systems were analyzed, two were designed, and the one that presented the greatest advantages for this application was chosen. The starters designed and dimensioned were the compensated and the soft starter. In the end, the startup using the soft starter was chosen, this model suits several systems with ease and features basic protections built into one piece of equipment. Com a instalação e configuração da nova partida observou-se que, reduziu-se drasticamente o golpe de aríete no sistema hidráulico da motobomba, assim como, o uso da partida suave as manutenções dos sistemas elétrico e hidráulico a longo prazo serão menores.

Keywords: Three-Phase Induction Motor, Electrical Drive, Direct start, Compensating start, Soft Starter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe do motor de indução com rotor gaiola de esquilo.....	20
Figura 2 – Diagrama dos motores elétricos de indução trifásicos.	20
Figura 3 – MIT gaiola de esquilo.	21
Figura 4 – MIT rotor bobinado.....	22
Figura 5 – Placa de identificação do motor WEG.	22
Figura 6 – Fusível tipo D.....	29
Figura 7 – Fusível tipo NH.....	29
Figura 8 – Curva tempo x corrente do fusível tipo D.....	30
Figura 9 – Contatores e contatos auxiliares a) Contatora b) Vista frontal dos contatos de força c) Contator com contatos auxiliares.	32
Figura 10 – Relé de sobrecarga.	33
Figura 11 – Conjunto contator e relé térmico a) Vista frontal b) Vista lateral esquerda.....	34
Figura 12 – Disjuntores termomagnéticos a) Monopolar b) Bipolar c) Tripolar.	36
Figura 13 – Gráfico das curvas B e C de disparo dos disjuntores termomagnéticos.	37
Figura 14 – Disjuntor motor da WEG.	38
Figura 15 – Modelo de relé eletrônico temporizador a) Vista em perspectiva b) Modelo esquemático do painel de configuração do relé.....	42
Figura 16 – Modelo de relé falta de fase a) Vista frontal b) Vista em perspectiva.	43
Figura 17 – Partida direta com diagrama de força e de comando.	49
Figura 18 – Esquema do autotransformador trifásico.	51
Figura 19 – Gráfico comparativo da corrente de partida das partidas direta e compensadora.	52
Figura 20 – Partida compensadora.	52
Figura 21 – Primeiro momento da partida compensadora.....	53
Figura 22 – Segundo momento da partida compensadora.....	54
Figura 23 – Diagrama de blocos da soft starter.	57
Figura 24 – Curva da rampa de tensão na aceleração da partida soft starter.....	58
Figura 25 – Curva de pulso de tensão da partida soft starter.....	58
Figura 26 – Curva de rampa de desaceleração da partida soft starter.	59
Figura 27 – Curva de limitação de corrente da partida soft starter.....	60
Figura 28 – Esquema de ligação direta da soft starter.....	61
Figura 29 – Esquema de ligação com by pass.	62

Figura 30 – Organograma da metodologia do trabalho.....	63
Figura 31 – Quadro de comando da motobomba a) Vista frontal do quadro fechado b) Vista frontal do quadro aberto.	64
Figura 32 – Circuito de comando da motobomba.	65
Figura 33 – Cômodo onde localiza-se o quadro de comando.	65
Figura 34 – Partida direta.	70
Figura 35 – Partida compensadora.	73
Figura 36 – Soft Starter WEG SSW-07.....	74
Figura 37 – Disposição dos bornes de comando.	75
Figura 38 – Esquema elétrico da partida soft starter SSW-07.....	76
Figura 39 – Chave soft starter SSW-07 e IHM local a) Vista frontal da soft starter b) vista frontal do módulo de comunicação local IHM.....	80
Figura 40 – Disjuntores termomagnéticos para proteção e seccionamento do circuito.	81
Figura 41 – Fixação dos componentes na placa do quadro de comando.....	81
Figura 42 – Ligação do circuito de força.....	82
Figura 43 – Quadro de comando finalizado a) Vista da partida finalizada b) Ligação do circuito de comando da soft starter c) Vista frontal da lâmpada de sinalização e botoeiras.	83
Figura 44 – Fixação do quadro de comando com seu aterramento a) Vista frontal do quadro de comando em funcionamento b) Aterramento da partida.	84
Figura 45 – Quadro de comando e suas mensagens de estado a) Soft starter pronta para o acionamento b) Soft starter com o by pass acionado.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhes da placa de identificação do MIT.	23
Tabela 2 – Códigos da nomenclatura do grau de proteção.	26
Tabela 3 – Tipos de partidas para motores de indução trifásicos.	27
Tabela 4 – Nomenclatura dos Fusíveis.	28
Tabela 5 – Categorias de empregos das contadoras.	32
Tabela 6 – Classes do relé térmico.	34
Tabela 7 – Configurações de rearme do relé de sobrecarga.	35
Tabela 8 – Dimensionamento da faixa de ajuste do relé térmico.	35
Tabela 9 – Valores de corrente de curto-circuito em relação a potência do transformador e o fator de potência.	39
Tabela 10 – Valores de K para condutores.	40
Tabela 11 – Códigos das funções do relé eletrônico temporizador.	42
Tabela 12 – Referências de cores das botoeiras.	44
Tabela 13 – Critério da seção mínima de condutores.	45
Tabela 14 – Número de condutores carregados por circuito.	45
Tabela 15 – Capacidade de condução de corrente de condutores.	46
Tabela 16 – Tabela de referência para símbolo de comandos elétricos.	47
Tabela 17 – Valores do fator de redução para as correntes de cada tap.	55
Tabela 18– Parâmetros básicos da motobomba S40-04 610.	66
Tabela 19 – Parâmetros aferidos na visita técnica.	67
Tabela 20 – Cálculo das correntes das contadores K2 e K3.	71
Tabela 21 – Parâmetros da rampa de aceleração e desaceleração da SSW-07.	77
Tabela 22 – Parâmetros das configurações de operação da SSW-07.	77
Tabela 23 – Parâmetros das configurações nominais do sistema.	77
Tabela 24 – Parâmetros das proteções da SSW-07.	78
Tabela 25 – Parâmetros de leitura da SSW-07.	78
Tabela 26 – Parâmetros aferidos na nova partida da motobomba.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AC – *Alternating Current* (Corrente Alternada);

B0 – Botão de desenergização ou de desliga cor vermelha;

B1 – Botão de energização ou liga cor verde;

COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte;

CV – Cavalo Vapor;

D1 – Relé temporizado ou estrela-triângulo;

DC – *Direct Current* (Corrente Contínua);

DISJx – Disjuntor termomagnético onde “x” é o número do disjuntor;

EPR – Etileno-propileno;

FT – Relé de sobrecarga;

FT – Relé térmico;

Fx – Fusível onde “x” é o número do fusível;

GOT – *Gate Turn-Off Thyristor* (Tiristores com desligamento pelo *gate*);

HP – *House Power* (Potência Elétrica);

IHM – Interface homem máquina;

Kx – Contator onde “x” é o número da contatora;

Lx – LED de sinalização onde “x” é o número do LED;

MIT – Motor de Indução Trifásico;

NA – Contato Normalmente Aberto;

NF – Contato Normalmente Fechado;

PVC – Cloreto de polivinila;

SCR – *Silicon Controlled Rectifier* (Retificador controlado de silício);

TC – Transformador de corrente;

TRIAC – Tríodos para corrente alternada;

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semiárido;

XLPE – Polietileno reticulado.

LISTA DE SÍMBOLOS

$\cos \varphi$ – Fator de potência do curto;
 f_{nm} – Frequência nominal do motor;
 f_{rede} – Frequência da rede;
FS – Fator de serviço;
 I_2 – Corrente convencional de atuação do disjuntor;
 I_{cc} – Corrente de curto-circuito no ponto da proteção;
 I_{cco} – Corrente de curto-circuito a montante;
 I_{cond} – Capacidade de condução do condutor;
 I_{disj} – Corrente de atuação do disjuntor;
 I_F – Corrente nominal do fusível;
 I_{FT} – Corrente do relé térmico;
 I_{int} – Corrente de interrupção do disjuntor;
 I_n – Corrente nominal do circuito;
 I_{nm} – Corrente nominal do motor;
 I_{nss} – Corrente nominal da *soft starter*;
 I_p – Máxima corrente de partida;
 I_p/I_n – Relação de corrente de partida com a corrente nominal;
 I_r – Corrente de ajuste do relé térmico;
 I_r – Corrente de ajuste do relé térmico;
K – Fator de redução que relaciona os *taps* do trafo da partida compensadora;
 l – Comprimento do circuito;
 P_n – Potência nominal do sistema;
S – Seção do condutor;
 T_d – Tempo de desligamento;
 T_{disp} – Tempo de disparo da proteção;
 T_{imp} – Tempo de impulso;
 T_p – Tempo de partida;
 T_p – Tempo de partida;
 T_{pd} – Tempo de partida direta;
 V_{bobina} – Tensão de alimentação da bobina;
 V_{df} – Tensão de desligamento final;

V_{di} – Tensão de desligamento inicial;

V_{fase} – Tensão de fase;

V_{imp} – Tensão de impulso;

V_{linha} – Tensão de linha;

V_{nm} – Tensão nominal do motor;

V_p – Tensão de partida;

V_{rede} – Tensão da rede.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	MOTIVAÇÃO.....	17
1.2.	OBJETIVO	18
1.2.1.	Objetivo Geral	18
1.2.2.	Objetivo Específico	18
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1.	MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO.....	19
2.2.	MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO (MIT)	21
2.2.1	Parâmetros Básicos	22
2.2.1.1.	Potência nominal do motor (P_{nm})	23
2.2.1.2.	Tensão nominal do motor (V_{nm})	23
2.2.1.3.	Sentido de rotação	24
2.2.1.4.	Corrente nominal do motor (I_{nm})	24
2.2.1.5.	Corrente de partida (I_p)	24
2.2.1.6.	Frequência nominal do motor (f_{nm})	24
2.2.1.7.	Fator de serviço (FS)	25
2.2.1.8.	Grau de proteção (IP)	25
2.3.	NORMA DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO E EDIFICAÇÃO INDIVIDUAL DA COSERN	26
2.4.	DISPOSITIVOS DE COMANDO	27
2.4.1.	Fusíveis	27
2.4.1.1.	Dimensionamento	29
2.4.2.	Contatores	30
2.4.2.1.	Dimensionamento	32
2.4.3.	Relés de Sobrecarga	33
2.4.3.1.1.	Dimensionamento	35
2.4.4.	Disjuntor Termomagnético	36
2.4.4.1.	Dimensionamento	38

2.4.5.	Relés Temporizadores.....	40
2.4.5.1.	Dimensionamento	42
2.4.6.	Relé Falta de Fase	43
2.4.6.1.	Dimensionamento	43
2.4.7.	Botoeiras	44
2.4.7.1.	Dimensionamento	44
2.4.8.	Condutores	44
2.4.8.1.	Dimensionamento	45
2.5.	SIMBOLOGIAS DE COMANDOS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO.....	46
2.6.	PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS	48
2.6.1.	Partida Direta	49
2.6.1.1.	Dimensionamento da Partida Direta.....	50
2.6.2.	Partida Compensadora	51
2.6.2.1.	Dimensionamento da Partida Compensadora.....	54
2.6.3.	Partida <i>Soft Starter</i>	56
2.6.3.1.	Dimensionamento da Partida <i>Soft Starter</i>	62
3.	METODOLOGIA	63
4.	RESULTADOS.....	64
4.1.	VISTORIA TÉCNICA	64
4.2.	DIMENSIONAMENTO DAS PARTIDAS	67
4.2.1.	Dimensionamento da Partida Direta no Acionamento da Motobomba	67
4.2.2.	Dimensionamento da Partida compensadora no Acionamento da Motobomba	71
4.2.3.	Dimensionamento da Partida Utilizando <i>Soft Starter</i> no Acionamento da Motobomba	73
4.3.	MONTAGEM DA PARTIDA <i>SOFT STARTER</i>	79
5.	CONCLUSÃO	86
6.	REFERÊNCIAS	88

1. INTRODUÇÃO

A carência de água em certas regiões do nordeste brasileiro é comum, principalmente na região da caatinga onde o clima Semi-Árido favorece a falta desse importante recurso. Outro fator importante é a ausência de chuvas em grandes períodos do ano, ocasionando assim pouco reabastecimento em rios, lagos e lagoas, deixando essas regiões com grande escassez de água (CAMPOS, 2001). Com o decorrer dos anos foram desenvolvidas diversas formas de sanar esse problema, como a construção de barragens, adutoras, transporte de água por caminhões pipas, perfuração de poços, entre outros.

A perfuração de poços artesianos em específico é uma ótima opção para a escassez de água, pois diversas vezes implicando em baixo custo de construção, possibilidade de obter água potável e até mesmo cristalina. Esses poços têm profundidade variáveis de 15 a 3000 metros abaixo do solo, com isso é necessário o uso de motobombas subterrâneas, que são motores elétricos acoplados a sistemas de bomba de água (NANES; NANES; FARIAS, 2012).

Os motores elétricos de indução são utilizados em diversos ambientes de trabalho, dependendo do modelo possui baixo custo de manutenção, são econômicos e têm versatilidade para trabalhar com diversas cargas. Porém, possuem desvantagens que são encontradas no momento da partida do motor, em virtude, principalmente de elevada corrente de partida. Para suavizar esses problemas são empregados diversos métodos de partidas para motores elétricos, tais como as partidas: direta, estrela-triângulo, compensada, *soft starter*, entre outras (MAMEDE FILHO, 2017).

1.1. MOTIVAÇÃO

O Sítio Tabuleiro Grande localizado na zona rural de Apodi-RN, contém cinco poços tubulares, com água cristalina em alguns deles. Atualmente os poços são utilizados para irrigação, consumo das necessidades do sítio, venda de água em caminhões pipas para o programa do exército brasileiro e dezenas de outros compradores autônomos da região, abastecendo assim diversos municípios.

O presente trabalho procura adequar a partida de uma motobomba instalada nessa localidade. O poço onde a bomba está instalada foi perfurado no ano de 1999, com profundidade de 120 metros e vazão de 17000 litros por hora, nele foi instalado um motor de 10 CV de potência utilizando a partida direta como acionamento. Com o passar do tempo houve atualizações na norma da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN), onde

atualmente o sítio se encontra dentro das restrições da DIS-NOR-030. A norma limita a potência de motores elétricos com acionamento por meio da partida direta na tensão 380/220 V, com no máximo 7,5 CV. Dessa forma o método de partida utilizada na motobomba encontra-se irregular (NEOENERGIA, 2020).

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar tecnicamente o sistema de acionamento da motobomba instalada no poço artesiano no sítio Tabuleiro Grande, localizado na zona rural de Apodi-RN.

1.2.2. Objetivo Específico

- Demonstrar possíveis irregularidades;
- Projetar circuito elétrico;
- Dimensionar componente da partida;
- Montar e instalar novo quadro de comando dentro dos padrões exigidos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo faz-se o estudo teórico de motores elétricos trifásicos, observando suas principais características. Também é analisado os equipamentos mais utilizados nas partidas de motores de indução trifásicos. Em seguida apresenta-se os modelos de acionamento que se encaixam ao estudo de caso.

2.1. MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO

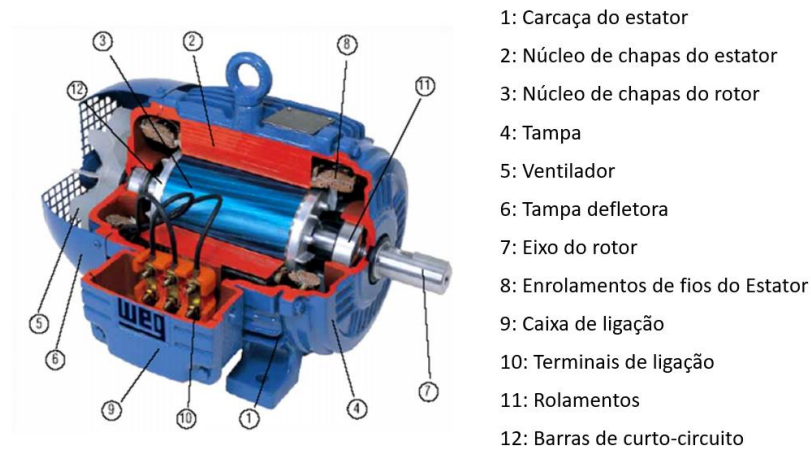
Os motores elétricos de indução trifásicos são máquinas elétricas rotativas que transformam energia elétrica em energia mecânica, são bastante requisitados na indústria por ser eficiente, ter grande robustez mecânica, em certos modelos possui fácil inversão do sentido de rotação e necessita de uma mínima manutenção. Eles são alimentados por sistema trifásico com pelo menos três fios e defasagem nas fases das tensões de 120° (FRANCHI, 2008). É composto basicamente por duas partes principais, o rotor e o estator, contendo outros componentes que variam conforme o modelo e fabricante.

O rotor é a parte interna e girante do motor, sua constituição é subdividida em três partes, que são: eixo, núcleo, enrolamentos ou anéis de curto-circuito. O eixo é responsável por transmitir a energia mecânica para a carga conectada. O núcleo é constituído por chapas metálicas para minimizar as perdas, dependendo do tipo de motor elétrico, pode ser encontrado os enrolamentos que são condutores de cobre isolados dispostos no núcleo, ou as barras e anéis de curto-circuito que são constituídos de alumínio e alocados sobre o eixo (MAMEDE FILHO, 2017).

O estator é a parte externa no motor, sua constituição é subdividida em três partes, a carcaça que é responsável por suportar armações fixas do motor. O núcleo de chapas que são um conjunto de placas metálica anexadas no estator com intuito de fixação dos enrolamentos. E por fim, os enrolamentos que são fios condutores de cobre isolado, onde passa a corrente elétrica de alimentação da rede e são devidamente organizados no núcleo de chapas (MAMEDE FILHO, 2017).

A Figura 1 mostra um corte em um motor elétrico trifásico destacando e apresentando os componentes em sua real posição no motor. Os pontos 9 e 10, dessa figura, representam as partes das ligações com a rede de alimentação externa.

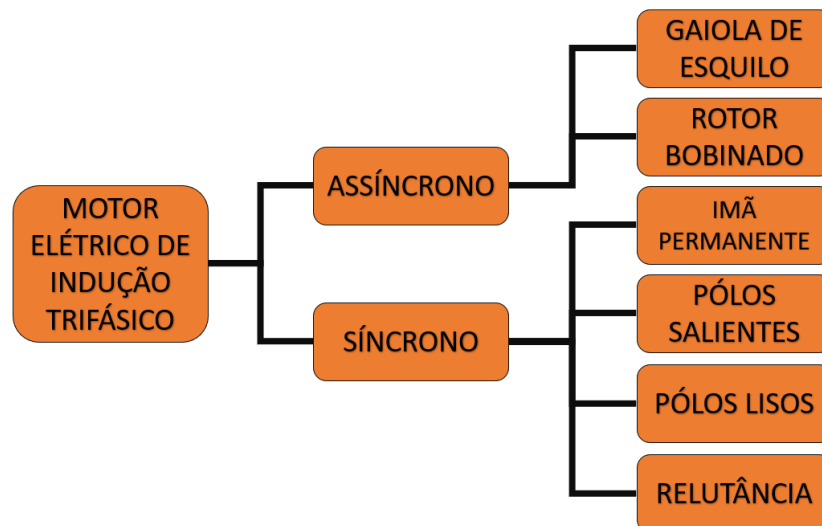
Figura 1 – Detalhe do motor de indução com rotor gaiola de esquilo.



Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Como em todo sistema de máquinas tem suas variações, neste não é diferente. Os motores elétricos em corrente alternada trifásicos são subdivididos em assíncronos e síncronos, como pode ser observado no diagrama da Figura 2.

Figura 2 – Diagrama dos motores elétricos de indução trifásicos.



Fonte: Adaptado MAMEDE FILHO, 2017.

Os motores síncronos são conhecidos por trabalhar com a velocidade de rotação do rotor sincronizada com a velocidade do campo girante do estator. Isso ocorre devido o motor ser alimentado com corrente alternada no estator e no rotor ser alimentado por corrente contínua, podendo ser usado ímã permanente. Na indústria, sua principal utilização é para correção do fator de potência (FRANCHI, 2008).

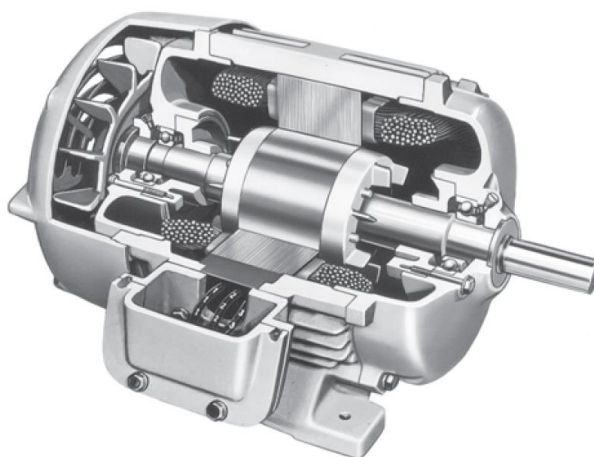
Já os motores assíncronos trifásicos, também conhecidos como motores de indução trifásica (MIT), são os mais utilizados na indústria, e se subdividem em dois grandes grupos os MIT gaiola de esquilo e os MIT de rotor bobinado.

O subitem que se segue explana brevemente sobre os modelos de MIT e suas características básicas.

2.2. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO (MIT)

Os motores com rotor de gaiola de esquilo, são formados por barras condutoras, alocadas nas ranhuras do rotor, onde são curtos-circuitados por anéis nas suas extremidades. A Figura 3, apresenta o modelo de motor com rotor gaiola de esquilo (CHAPMAN, 2013).

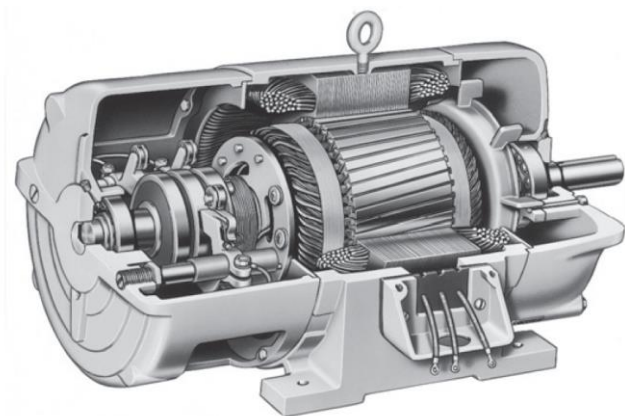
Figura 3 – MIT gaiola de esquilo.



Fonte: CHAPMAN, 2013.

Já os MIT com rotor bobinado, é constituído por enrolamentos agrupados nas ranhuras do rotor. As bobinas podem ser ligadas em estrela ou delta e suas extremidades são conectadas aos anéis deslizantes do rotor, que por sua vez entram em contato com as escovas de contato do estator conforme o movimento de rotação acontece. A Figura 4, apresenta os modelos de motores com seus determinados rotores (CHAPMAN, 2013).

Figura 4 – MIT rotor bobinado.

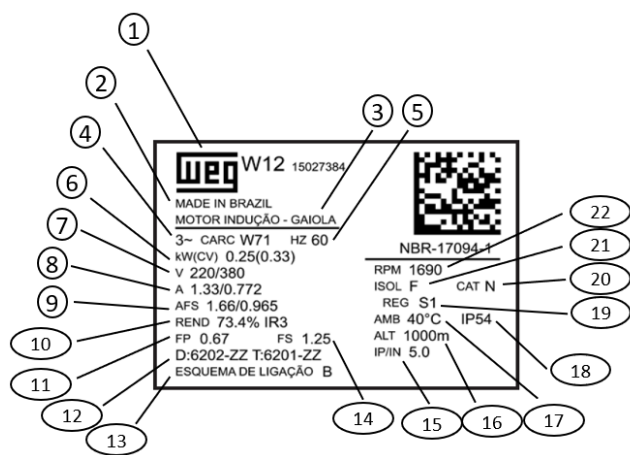


Fonte: CHAPMAN, 2013.

2.2.1 Parâmetros Básicos

De acordo com a norma NBR 17094-1:2018, todo motor elétrico deve apresentar uma placa de identificação contendo os seus parâmetros básicos, esses dados devem ser de fácil leitura e compreensão. Outros dados devem ser dispostos no manual do usuário ou catálogos dos fabricantes (MAMEDE FILHO, 2017). A Figura 5, apresenta um modelo de uma placa de identificação de um motor WEG com características identificadas.

Figura 5 – Placa de identificação do motor WEG.



Fonte: WEG, 2021c.

A Tabela 1, mostrada a seguir, detalha os pontos enumerados da Figura 5.

Tabela 1 – Detalhes da placa de identificação do MIT.

Ponto	Significado	Ponto	Significado
1	Marca do motor	12	Especificação do rolamento dianteiro e traseiro
2	Local de fabricação	13	Esquema de ligação
3	Tipo do motor e modelo do rotor	14	Fator de serviço
4	Quantidade de fases, tipo de alimentação e tipo de carcaça	15	Relação de corrente de partida sobre a corrente nominal
5	Frequência nominal do motor	16	Altitude
6	Potência nominal do motor em KW e cv	17	Temperatura ambiente
7	Tensão nominal do motor	18	Grau de proteção
8	Corrente nominal do motor	19	Regime de serviço
9	Corrente nominal relacionada com o fator de serviço	20	Categoria de conjugado
10	Rendimento e nível de rendimento	21	Classe de isolamento
11	Fator de potência	22	Rotação por minuto nominal

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Dentre todos os parâmetros encontrados na placa de identificação do motor, alguns em específicos serão explanados com maior detalhe para dimensionar a sua partida corretamente.

2.2.1.1. Potência nominal do motor (P_{nm})

A potência representa a relação entre a energia gasta para exercer alguma ação em um tempo decorrido. Dessa forma, a potência nominal do motor representa a quantidade de energia transferida para a carga em forma de trabalho mecânico (MAMEDE FILHO, 2017). Essa grandeza pode ser expressa em três unidades diferentes, watts (W), cavalo vapor (CV), ou em *horse power* (HP). Em considerações ideais pode-se relacionar as unidades como mostrado abaixo (BASOTTI, 2002).

$$1 \text{ CV} = 735,499 \text{ W} \cong 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W} \cong 746 \text{ W}$$

2.2.1.2. Tensão nominal do motor (V_{nm})

A tensão nominal do motor geralmente é fornecida em três níveis de tensões diferentes que são 220, 380 e 440 V. Essas tensões também variam com a quantidade de fases que o motor apresenta, onde para MIT são necessárias três fases. Dependendo do modelo do motor pode ser

alterado o nível de tensão de alimentação, tal mudança é feita nos terminais de fechamento das bobinas do motor (MAMEDE FILHO, 2017).

Utilizando a placa de identificação da Figura 5, no item 7, temos uma tensão de 220/380 V. Isso significa que o motor deve ser ligado em um sistema com tensão de fase (V_{fase}) de 220 V e tensão de linha (V_{linha}) 380 V. Deve-se considerar como tensão nominal do motor a tensão de linha (BASOTTI, 2002).

2.2.1.3. Sentido de rotação

O sentido de rotação do MIT está diretamente ligado ao posicionamento das fases, onde alterada a sequência de duas fases pode-se mudar o sentido de rotação. No momento da instalação do motor deve-se analisar qual sequência de fase correta para a aplicação (FRANCHI, 2008).

2.2.1.4. Corrente nominal do motor (I_{nm})

Representa o valor de corrente solicitada pelo MIT em condições nominais de operação, pode ser representada pela Equação (1), onde η é o rendimento do motor e fp o fator de potência (MAMEDE FILHO, 2017).

$$I_{nm} = \frac{P_{nm}(W)}{\sqrt{3} \cdot V_{linha} \cdot \eta \cdot fp} \quad (1)$$

2.2.1.5. Corrente de partida (I_p)

Esse termo representa a máxima corrente de partida do motor, onde na placa de identificação é relacionada com a corrente nominal do motor através da relação I_p/I_n . Esse termo representa quantas vezes a corrente de partida é maior do que a corrente nominal. A Equação (2), apresenta a forma de determinar a corrente de partida (FRANCHI, 2008).

$$I_p = \frac{I_p}{I_n} \cdot I_n \quad (2)$$

2.2.1.6. Frequência nominal do motor (f_{nm})

A frequência nominal da rede deve coincidir com a frequência do motor, podendo variar em 5% para mais ou para menos. Habitualmente, os motores são projetados para trabalhar em

duas frequências distintas que são 50 e 60 Hz. Se o motor for instalado em frequência diferente da nominal isso pode acarretar problemas que prejudiquem sua vida útil ou até mesmo danificar permanentemente o motor (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.1.7. Fator de serviço (FS)

O fator de serviço tem relação direta com a potência nominal do motor. Esse termo representa um multiplicador numérico que ao ser aplicado na potência nominal do motor, indica-se a carga permissível que pode ser aplicada em regime contínuo, sob condições específicas. Um motor que possua FS igual a um, não possui condições de funcionar em regime contínuo com potência superior a nominal, de forma que não foi projetado para trabalhar em tais circunstâncias (BASOTTI, 2002).

2.2.1.8. Grau de proteção (IP)

Esse parâmetro representa o nível de proteção que o motor possui relacionado a entrada de resíduos no seu interior, esses níveis de proteção são exigidos devido certos motores necessitarem, de uma mínima circulação de ar ou da passagem de algum fluido para amenizar a temperatura interna. Dessa forma a proteção impede a entrada de corpos estranhos indesejados no interior do motor (FRANCHI, 2008).

O grau de proteção é padronizado por norma iniciando com o termo IP e seguido de dois algarismos, onde o primeiro indica a proteção contra corpos sólidos e o segundo indica a proteção contra água (BASOTTI, 2002). A Tabela 2 apresenta as especificações de cada algarismo.

Tabela 2 – Códigos da nomenclatura do grau de proteção.

Algarismo	Código	Função
Primeiro	0	Sem proteção
	1	Proteção contra corpo estranho > 50 mm
	2	Proteção contra corpo estranho > 12 mm
	3	Proteção contra corpo estranho > 2,5 mm
	4	Proteção contra corpo estranho > 1 mm
	5	Proteção contra acúmulo de poeira
	6	Proteção total contra poeira
Segundo	0	Sem proteção
	1	Proteção contra gotas de água na vertical
	2	Proteção contra gotas de água com inclinação de até 15°
	3	Proteção contra água de chuva com inclinação de até 60°
	4	Proteção contra respingos de água em qualquer direção
	5	Proteção contra jatos de água em qualquer direção
	6	Proteção contra água do mar ou potentes jatos de água
	7	Proteção contra imersão em água temporária
	8	Proteção contra submersão em água permanente

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

2.3. NORMA DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO E EDIFICAÇÃO INDIVIDUAL DA COSERN

O estudo da DIS-NOR-030 se fez necessário neste trabalho em virtude de o local onde será desenvolvido o projeto ser classificado como unidade consumidora de tensão secundária com carga instalada abaixo de 75 KW. Desse modo, a norma citada deve ser aplicada como parâmetro normativo local.

Segundo DIS-NOR-030, onde motores com carga superior a 5 CV são classificados como carga especial, e devem possuir partidas para suavizar as correntes transitórias, também é necessário dispor de proteção contra falta de fase e sobrecorrente. A escolha do tipo de partida a ser utilizado é feita pelo consumidor e pode variar conforme a carga e o conjugado de partida (COSERN, 2020). Como referência para a escolha do método de acionamento mais adequado, pode utilizar a Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de partidas para motores de indução trifásicos.

Chaves	Potência do motor (CV)	Tensão da rede (V)	Tensão de placa do motor (V)	Número de terminais	Tap's	Tap's de partida
Direta	≤ 5	220/127	<u>380/220</u> *	- 6 Δ	-	-
			220	3 Y ou 3 Δ		
	$\leq 7,5$	380/220	<u>380/220</u> *	6 Y -		
			380	3 Y ou 3 Δ		
Estrela-Triângulo	$5 < P \leq 40$	220/127	380/220**	6 Y ou 6 Δ	-	-
	$7,5 < P \leq 40$	380/220	660/ <u>380</u>	6 Y ou 6 Δ		
Chave compensadora	$5 < P \leq 40$	220/127	380/220	9 Ys ou 9 Δ /**	50, 65, 80	50
				12 Ys ou 12 Y//		
	$7,5 < P \leq 40$	380/220	380/220/440/760	6 Y ou 6 Δ		
				12 Δ // ou 12 Δ //		

Fonte: Adaptado COSERN, 2020

Algumas notas estão relacionadas com a tabela, em (*) o termo sublinhado é a tensão encontrada na placa do motor. Em (**) pode-se encontrar no mercado motores com várias tensões de funcionamento, essas tensões podem ser alteradas conforme muda-se a forma de ligação de estrela para triângulo. Por fim, (***) o tipo de ligação do enrolamento do estator do motor, em que 's' significa ligação em série, e '/' ligação em paralelo (COSERN, 2020).

2.4. DISPOSITIVOS DE COMANDO

Com intuito de introduzir os conhecimentos essenciais para o entendimento do funcionamento das partidas de motores elétricos, esse tópico pretende detalhar funções de dispositivos de comando e automação elétrica.

Como citado anteriormente, as partidas de motores elétricos necessitam de componentes específicos para serem implementadas na prática. Esses equipamentos são: fusíveis, contadores, relés de sobrecarga, disjuntor termomagnético, reles, botoeiras entre outros.

2.4.1. Fusíveis

O fusível é um componente de grande importância para a proteção contra curto-circuito e sobrecarga. A sua função é atuar quando surgir um surto, e consequentemente romper o seu elemento fusível (elo). O elo é geralmente constituído de cobre, prata ou estanho. Dessa forma,

quando o fusível é acionado devido a um surto o seu elemento fusível entra em colapso, impedindo a passagem de corrente (CREDER, 2016).

Os fusíveis possuem nomenclatura padronizadas para facilitar a escolha da sua atuação, onde é preenchido por duas variantes. A primeira é uma letra minúscula que tem finalidade de mostrar qual faixa de interrupção ele vai atuar, e a segunda é uma letra maiúscula que define o tipo de carga a ser protegida (CREDER, 2016). A Tabela 4, apresenta essa nomenclatura em detalhes.

Tabela 4 – Nomenclatura dos Fusíveis.

<i>Nomenclatura</i>	<i>Variante</i>	<i>Função</i>
<i>Primeira letra</i>	<i>a</i>	<i>Fusível de faixa parcial, atuação em elevado valor de sobrecarga</i>
	<i>g</i>	<i>Fusível de faixa completa, atua com maior sensibilidade de sobrecorrente</i>
<i>Segunda letra</i>	<i>G</i>	<i>Proteção para linha/geral</i>
	<i>M</i>	<i>Proteção para equipamentos eletromecânicos</i>
	<i>L</i>	<i>Proteção para</i>
	<i>Tr</i>	<i>Proteção para transformadores</i>
	<i>R</i>	<i>Proteção para semicondutores</i>
	<i>S</i>	<i>Proteção para semicondutores e linha</i>

Fonte: Adaptado CREDER, 2016.

A composição dos fusíveis varia com sua aplicação, de modo que pode ser encontrado em dois modelos para automação, que são os fusíveis tipo D e NH (FRANCHI, 2008).

Os fusíveis do tipo D ou *diazed*, são normalmente de porcelana e geralmente encontrados em pequenos e médios sistemas, com corrente nominal de 2 a 63 A, capacidade de interrupção de 50 KA e tensão máxima de 500 V, sendo necessário componentes essenciais para o seu funcionamento e manutenção. Esses fusíveis apresentam quatro acessórios, são esses: a base da estrutura, que é fixa no sistema elétrico e serve para acoplar o fusível; a tampa que é responsável por fixar o fusível na base; o parafuso de ajuste, que tem a função de conectar a energia do sistema com o fusível; e o anel de proteção que serve para facilitar na troca do fusível (FRANCHI, 2008). A Figura 6, mostra um fusível do tipo D.

Figura 6 – Fusível tipo D.



Fonte: WEG, 2021a.

Os Fusíveis tipo NH diferente do tipo D, são de alta capacidade de condução de corrente e são bastante utilizados na indústria. Apresentam corrente nominal de 4 a 630 A, capacidade de ruptura de 120 KA e tensão máxima de até 500 V, com composição em cerâmica e tamanhos variados. Para seu funcionamento são necessários os seguintes componentes: a base, que é fixada na estrutura elétrica, possuindo garras condutoras para fixar o fusível; e o punho saca fusível para fixação e remoção (FRANCHI, 2008). A Figura 7, é um exemplo de fusível NH tipo faca.

Figura 7 – Fusível tipo NH.



Fonte: WEG, 2021a.

2.4.1.1. Dimensionamento

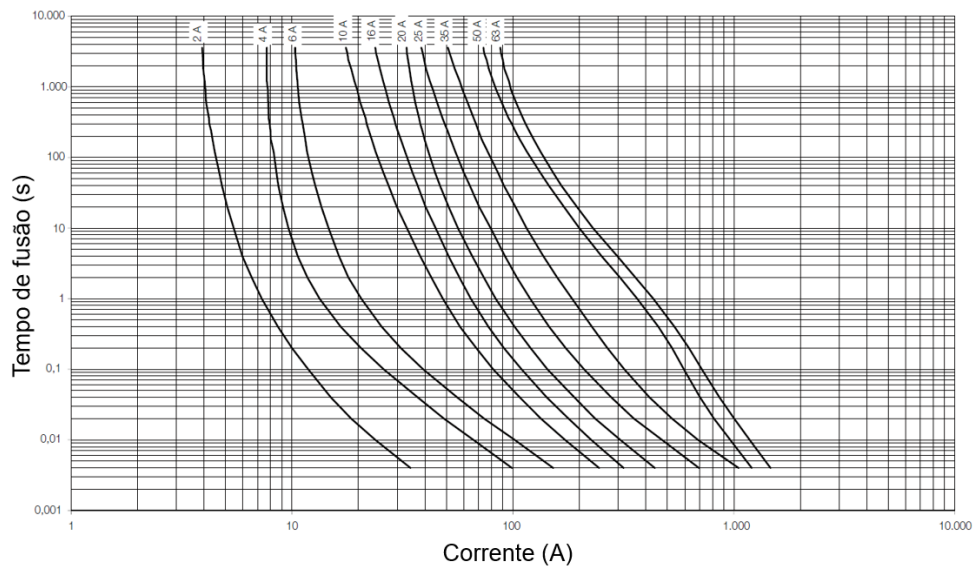
O dimensionamento desses elementos deve-se atentar a corrente nominal do motor (I_{nm}), o tempo de partida (T_p) e a máxima corrente de partida (I_p). Com isso deve-se seguir a metodologia explanada a seguir para dimensionamento de um fusível.

Inicialmente considera-se que a corrente nominal do fusível (I_F) deve ser no mínimo 20% maior do que a corrente nominal do motor, com isso chega-se à Equação (3).

$$I_F = 1,2 \cdot I_N \quad (3)$$

Como citado anteriormente a partida de MIT exige em alguns casos alta demanda na corrente, dessa forma os fusíveis devem suportar esse pico de corrente sem entrar em fusão. Para esse critério deve-se analisar a curva de atuação do elo do fusível, comparando o valor de corrente de partida do MIT com o tempo que ele leva para normalizar a corrente (FRANCHI, 2008). A Figura 8, mostrada a seguir, apresenta a curva da relação de corrente e tempo de fusão de um modelo de fusível do tipo D.

Figura 8 – Curva tempo x corrente do fusível tipo D.



Fonte: Adaptado WEG, 2021a.

Analisando a figura com todas as curvas deve-se escolher a curva que permita a partida do MIT. Com os dois parâmetros calculados, deve ser considerada a corrente nominal do fusível com maior valor, em outras palavras o fusível, deve suportar o pico de corrente na partida e a corrente nominal do motor sem fundir (BASOTTI, 2002).

2.4.2. Contatores

Os contatores são chaves de seccionamento eletromecânicas com acionamento não manual, sua função é auxiliar o contato entre a rede de energia até a carga. Esses dispositivos trabalham com dois contatos tripolares, sendo um fixo e outro móvel, o movimento é causado pela presença do conjunto bobina e mola (MAMEDE FILHO, 2017).

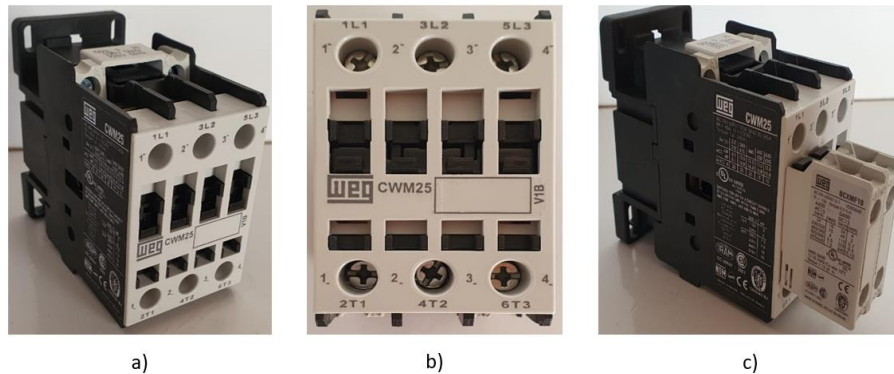
O funcionamento deste equipamento é bastante simples, quando a bobina da contatora é energizada, a parte móvel do sistema entra em contato com a fixa, possibilitando a energização do sistema de força do equipamento. Dentro do conjunto também existe o sistema de comando por contato, onde é formado por pares de contatos que mudam de posição de acordo com a ativação da bobina (FRANCHI, 2008).

Os contatores são equipamentos usualmente compostos por quatro partes, bobina, núcleos de ferro, mola e contatos. A bobina é um enrolamento de fios condutores com intuito de criar um campo magnético capaz de atrair o núcleo deslocável. Os núcleos de ferro são divididos em dois, um móvel e outro fixo. A função do núcleo fixo é auxiliar na formação do campo magnético da bobina. Já o núcleo móvel fica preso juntamente com a mola, e tem função de comutar seus contatos ao ser atraído pelo fluxo magnético criado pela bobina. A mola tem função de posicionar o núcleo móvel ao seu estado inicial, isso ocorre quando o sistema está desenergizado, dessa forma quando o sistema é energizado a força magnética entre os núcleos é maior do que a força da mola, fazendo com que a mola seja contraída permitindo a aproximação dos núcleos (FRANCHI, 2008).

Os contatos em particular, tem função de permitir a passagem de corrente pelo dispositivo, onde sua atuação depende da posição da parte móvel do aparelho. No contator existem dois tipos de conexão, os contatos de força que servem para passar potência de grande intensidade do sistema, e os contatos auxiliares ou de comando. Estes têm função de comando e controle, onde são divididos em dois, os contatos Normalmente Fechados (NF) e os Normalmente Abertos (NA). Os contatos NF e NA tem essa nomenclatura devido a sua posição inicial, quando fechado deixa o circuito ligado, e no caso inicialmente aberto o circuito inicia desligado. Outra particularidade é que existem contatos auxiliares extras para alocar na contatora (FRANCHI, 2008).

A Figura 9 apresenta modelos de contatores e contatos auxiliares. Em a) tem-se a contatora em b) tem-se a vista frontal dos contatos de força da contatora e em c) tem-se a contatora com os contatos auxiliares.

Figura 9 – Contatores e contatos auxiliares a) Contatora b) Vista frontal dos contatos de força c) Contator com contatos auxiliares.



Fonte: Autoria própria, 2021.

As contadoras também podem ser divididas em dois grupos, as contadores de corrente contínua (*Direct Current* - DC) e as contadores de corrente alternada (*Alternating Current* - AC). Os modelos do grupo AC, são categorizados por empregos, de forma que cada modelo tem função distinta, essas funções são padronizadas por norma (FRANCHI, 2008). Os modelos comumente encontrados no mercado para contadora de circuito alternado são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Categorias de empregos das contadoras.

Categorias de empregos	Função
AC1	Aplicado em sistema com carga resistiva ou fator de potência $\geq 0,95$
AC2	Aplicado em sistema com acionamento leve e $\frac{I_p}{I_n} \leq 2,5$
AC3	Aplicado em sistema com motores de rotor curto circuitado e $5 \leq \frac{I_p}{I_n} \leq 7$
AC4	Aplicado em sistema com motores de acionamento pesado ou acionamento intermitente
AC14	Aplicado em sistemas de comando ≤ 72 VA
AC15	Aplicado em sistemas de comando ≥ 72 VA

Fonte: Adaptado BASOTTI, 2002.

2.4.2.1. Dimensionamento

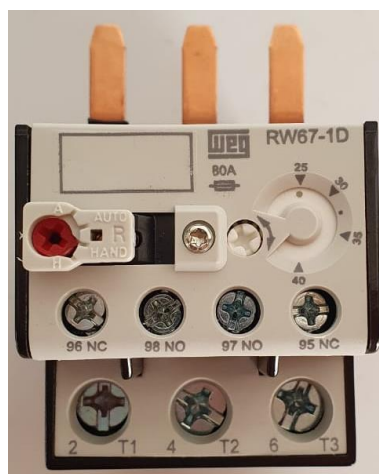
Para o dimensionamento da contator, deve-se analisar o emprego que ela vai exercer dentro do sistema. Os parâmetros elétricos a serem considerados são a corrente nominal do motor (I_{nm}), frequência da rede (f_{rede}), número de contatos utilizado na partida, potência do

sistema (P_n), tensão da rede (V_{rede}) e tensão de alimentação da bobina (V_{bobina}) (BASOTTI, 2002).

2.4.3. Relés de Sobrecarga

O efeito de sobrecarga é um problema comum encontrado no funcionamento de motores elétricos. Ele ocorre devido ao sobreaquecimento dos condutores por meio do efeito Joule, onde os equipamentos utilizados nos circuitos, possuem certos limites de tempo que suportam a elevação de corrente. Este efeito também traz a queda no rendimento dos componentes internos do motor, diminuindo a sua vida útil. Por estes motivos, toda partida de motor de indução deve conter relés de sobrecarga, que são equipamentos de proteção cuja função é atuar em sobrecarga, rotor bloqueado, falta de fase e tempo de partida do motor elevado. Evidenciando que este componente não protege o equipamento contra corrente de curto-circuito, devendo ser utilizado para esse fim os fusíveis ou disjuntores (FRANCHI, 2008). Na Figura 10, pode-se observar um modelo de relé de sobrecarga.

Figura 10 – Relé de sobrecarga.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O dispositivo possui um sistema de segurança capaz de seccionar o sistema e interromper a alimentação. Isso ocorre devido ao seu sistema de atuação ser feito por barras bimetálicas que dilatam quando aquecidas. Esses aquecimentos deve-se a passagem da corrente de sobrecarga na lâmina bimetálica, e consequentemente desarmam o equipamento. No momento em que o relé atua devido à sobrecarga, só poderá ser rearmado com o passar de certo tempo, a necessidade desse período é devida as barras bimetálicas não estarem nas suas posições normais

(MAMEDE FILHO, 2017). Para cada tempo de partida (T_p) existe uma classe de relé específica, onde pode ser detalhada na Tabela 6.

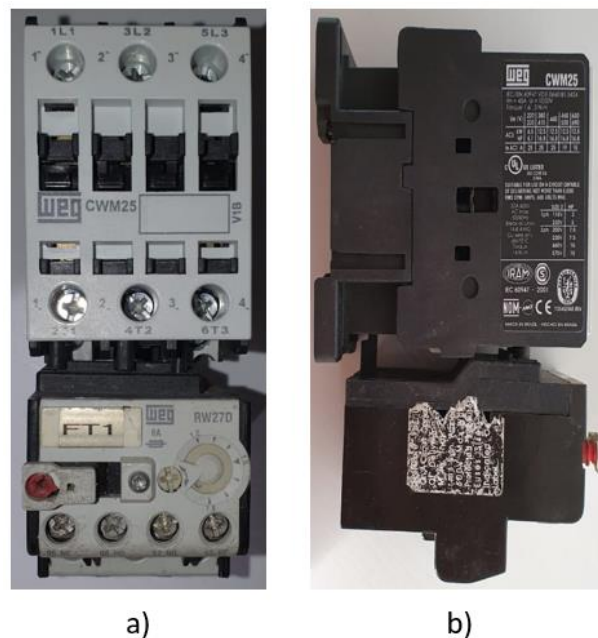
Tabela 6 – Classes do relé térmico.

Classe	Aplicação
Classe 10	$T_p \leq 10 \text{ segundos}$
Classe 20	$T_p \leq 20 \text{ segundos}$
Classe 30	$T_p \leq 30 \text{ segundos}$

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Na parte estrutural do equipamento, é disponibilizado em todos os modelos o suporte para acoplar o relé a contatora de mesma faixa de potência e fabricante. Encontrasse também o conjunto de entrada e saída do sistema de potência no modelo a três fios e dois contatos auxiliares para o controle de interrupção da corrente do relé (FRANCHI, 2008). A Figura 11, apresenta um modelo do conjunto contator relé térmico conectado, onde a) é a vista frontal e em b) a vista lateral.

Figura 11 – Conjunto contator e relé térmico a) Vista frontal b) Vista lateral esquerda.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O sistema de acionamento de sobrecarga pode ser configurado no disco seletor que é botão localizado na parte frontal do equipamento, este botão possibilita o desarme da bobina de

contato do relé. Outra função é a seleção das formas de rearme do equipamento onde a Tabela 7 detalha essas configurações (FRANCHI, 2008).

Tabela 7 – Configurações de rearme do relé de sobrecarga.

Posição	Função
A	Somente o rearme automático
AUTO	Rearme automático e possibilidade de teste
HAND	Rearme manual e possibilidade de teste
H	Somente o rearme manual

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Também é encontrado na parte frontal do dispositivo, o regulador de corrente de ajuste do relé térmico, esse regulador delimita a faixa de corrente que o relé pode trabalhar. Deve-se atentar que a corrente nominal do motor não deve estar no limite da regulagem, dessa forma em casos que a partida venha a mudar devido um aumento de carga, o mesmo relé tem capacidade de suportar a nova corrente (FRANCHI, 2008).

2.4.3.1.1. Dimensionamento

Para o dimensionamento do relé térmico, é necessário analisar os parâmetros nominais do motor que são: corrente (I_{nm}), tensão (V_{nm}), frequência (f_{nm}) e fator de serviço (FS). Em seguida determinar um o relé que suporte tal corrente na sua faixa de regulagem, a Tabela 8 apresenta a modelagem, onde I_r é a corrente de ajuste do relé térmico (FRANCHI, 2008).

Tabela 8 – Dimensionamento da faixa de ajuste do relé térmico.

Fator de serviço do motor	Corrente de ajuste
$FS < 1,15$	$I_r = 1,15 \cdot I_n$
$FS \geq 1,15$	$I_r = 1,25 \cdot I_n$

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

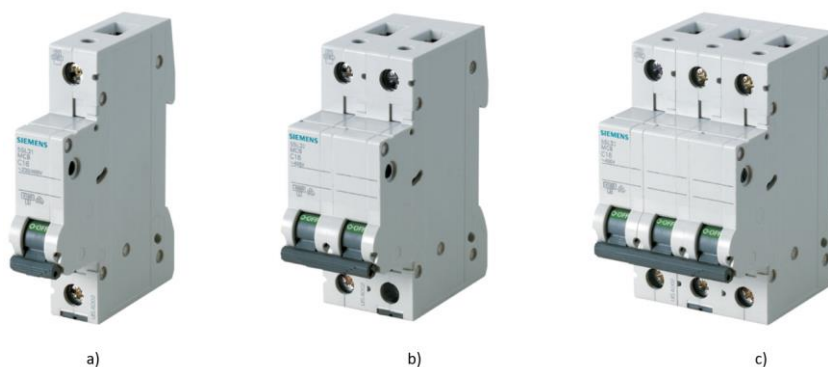
Por fim, identifica-se um relé que suporte os parâmetros nominais do motor, da rede de alimentação e tenha na sua faixa de ajuste valor aceitável para a corrente de regulagem. Com isso já se tem os parâmetros necessários para o dimensionamento do relé térmico.

2.4.4. Disjuntor Termomagnético

Os disjuntores são dispositivos de proteção e manobra de circuitos elétricos, são projetados para atuar quando a corrente que através dele assume valor superior ao estabelecido nas suas configurações nominais (MAMEDE FILHO, 2017).

De acordo com Mamede Filho (2017), os disjuntores apresentam as seguintes funções de proteção, proteção contra sobrecarga e curto-circuito. Esses dispositivos também comportam a função de comando funcional e seccionamento. A Figura 12, representa os exemplos de disjuntores encontrados no mercado, os modelos em questão são conhecidos por minidisjuntores. Esses modelos são encontrados em diversas tensões, correntes e quantidade de polos.

Figura 12 – Disjuntores termomagnéticos a) Monopolar b) Bipolar c) Tripolar.



Fonte: Adaptada SIEMENS, 2018.

A figura acima mostra os três principais tipos de disjuntores, em a) encontra-se o modelo monopolar referente a uma fase, em b) o modelo bipolar que aceita duas fases e em c) o modelo tripolar que acopla as três fases do sistema.

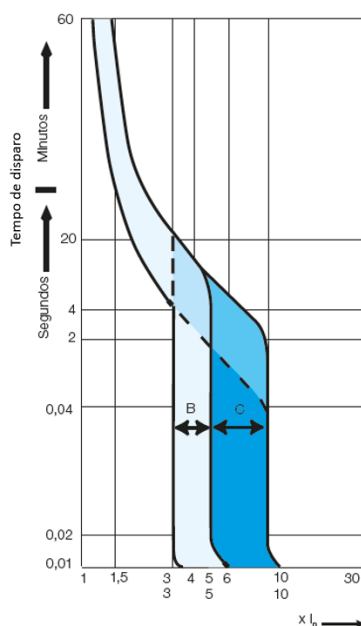
Diferente dos fusíveis, os disjuntores termomagnéticos têm a capacidade de reutilização após a atuação em surtos de corrente, isso ocorre devido a sua estrutura ser feita de dissipadores térmicos bimetálicos e do sistema de disparo magnético (CREDER, 2016).

A sua capacidade de interrupção depende da curva de atuação, onde no mercado são encontrados três modelos, denominadas de curvas B, C e D. A curva B é bastante utilizada em cargas resistivas ou com indutância baixa, contendo corrente de atuação entre três e cinco vezes a corrente nominal, é normalmente encontrada em circuitos de iluminação e de comando em residências ou pequenas indústrias. A curva C é corriqueiramente utilizada em cargas indutivas de uso geral, com corrente de atuação de cinco a dez vezes a corrente nominal, aplicada em

sistemas de iluminação fluorescente, partidas de motores, empregada geralmente em indústrias (WEG, 2020c). A curva D é utilizada em sistemas com grande nível de curto-circuito ou alta corrente de partida, com valores de dez a vinte vezes a corrente nominal (NERY, 2005).

A Figura 13, detalha o gráfico de disparo de dois modelos de curva, onde o I_n é a corrente nominal do disjuntor.

Figura 13 – Gráfico das curvas B e C de disparo dos disjuntores termomagnéticos.



Fonte: Adaptado WEG, 2020c.

Um modelo de disjuntor utilizado em partidas de motores é o disjuntor motor. Esse dispositivo possui sistemas de proteção semelhante ao disjuntor termomagnético e uma proteção adicional para sobrecarga. Esse dispositivo é uma junção de um disjuntor termomagnético com um relé de sobrecarga, atuando ao mesmo tempo como proteção e seccionamento do circuito (FRANCHI, 2008). A Figura 14, apresenta um modelo de disjuntor motor.

Figura 14 – Disjuntor motor da WEG.



Fonte: Adaptado WEG, 2014.

Como observado na imagem, em semelhança ao relé de sobrecarga, esse modelo de disjuntor possui um seletor para ajuste da corrente de disparo da proteção de sobrecarga. Também é possível anexar a esse modelo alguns dispositivos como, blocos de contatos auxiliares, bobinas de disparo a distância, bobina de mínima tensão, dentre outros (BASOTTI, 2002).

2.4.4.1. Dimensionamento

Para o dimensionamento do disjuntor deve ser considerada a atuação na proteção de sobrecarga e curto-circuito, inicialmente dimensionada para a proteção contra corrente de sobrecarga (CREDER, 2016). Onde deve-se fazer as seguintes considerações como mostram as equações abaixo:

$$I_n < I_{disj} \quad (4)$$

$$I_{disj} \leq I_{cond} \quad (5)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_{cond} \quad (6)$$

A Equação (4), apresenta a condição em que a corrente nominal do circuito (I_n) deve ser menor que a corrente de atuação do disjuntor (I_{disj}), na Equação (5), a corrente do disjuntor deve ser menor ou igual a capacidade de condução do condutor (I_{cond}). A Equação (6), a corrente convencional de atuação do disjuntor (I_2), deve ser no máximo igual a 45% de sobrecarga da capacidade de condução do condutor (CREDER, 2016).

Para a proteção de curto-circuito, é levado em consideração as seguintes condições. A primeira condição é que a corrente de interrupção do disjuntor (I_{int}), deve ser maior ou igual a corrente de curto-circuito no ponto da proteção (I_{cc}).

$$I_{int} \geq I_{cc} \quad (7)$$

Dessa forma deve-se considerar um disjuntor que possua corrente de interrupção maior do que a corrente de curto-circuito. Para a determinar o valor de I_{cc} , pode-se utilizar a Equação (8), aplicada para tensão de 220/380 V (NERY, 2005).

$$I_{cc} = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{I_{cco}^2} + \frac{100 \cdot \cos \varphi \cdot l}{I_{cco} \cdot S} + \frac{5 \cdot l^2}{S^2}}} \quad (8)$$

Onde l é o comprimento do circuito em metros, S é a seção do condutor em milímetros quadrado, os valores da corrente de curto-circuito a montante (I_{cco}) e do fator de potência do curto ($\cos \varphi$) são relacionados com a potência do secundário do transformador (NERY, 2005). Com isso, esses valores podem ser encontrados aproximadamente na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de corrente de curto-circuito em relação a potência do transformador e o fator de potência.

Potência do transformador (KVA)	I_{cco} (KA)	$\cos \varphi$
15	0,65	0,9
30	1,30	0,9
45	1,95	0,9
75	3,25	0,8
112,5	4,88	0,7
150	6,51	0,5
225	7,59	0,5
300	10,12	0,3
500	15,19	0,3
750	22,78	0,25
1000	30,37	0,25

Fonte: Adaptado NERY, 2005.

O segundo e último passo, é a determinação do tempo que o condutor suporta a corrente I_{cc} , para isso utiliza-se a Equação (9) (NERY, 2005).

$$T_{disp} \leq t_{cc} \quad (9)$$

A equação nos diz que o tempo de disparo da proteção (T_{disp}), deve ser menor do que o tempo que o condutor suporta a corrente de curto (t_{cc}) (NERY, 2005). Para determinação do t_{cc} , deve-se aplicar na integral de *Joule* como mostra a Equação (10) (CREDER, 2016).

$$\int_0^t i^2 \cdot dt \leq K^2 \cdot S^2 \quad (10)$$

Essa equação afirma que a energia que o disjuntor suporta deve ser menor ou igual a integral de *Joule* do aquecimento do condutor (CREDER, 2016). De forma resumida pode-se obter o valor de t_{cc} , utilizando a Equação (11) (NERY, 2005).

$$t_{cc} = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{cc}^2} \quad (11)$$

Onde S é a seção do condutor em milímetros quadrado, e K possui valores que variam conforme a sua composição (NERY, 2005). a Tabela 10, apresenta as variações de K .

Tabela 10 – Valores de K para condutores.

Constante K	Composição
$K = 115$	Condutor de cobre com isolamento em PVC
$K = 135$	Condutor de cobre com isolamento em EPR ou XLPE
$K = 74$	Condutor de alumínio com isolamento em PVC
$K = 74$	Condutor de alumínio com isolamento em EPR ou XLPE

Fonte: NERY, 2005.

Com isso finaliza-se o dimensionamento do disjuntor.

2.4.5. Relés Temporizadores

Os relés temporizadores são conhecidos por atuarem em momentos determinados e programados. Eles possuem sistema de contagem de tempo de *delay* (atraso), onde a comutação dos seus contatos auxiliares acontece conforme a programação do modelo de relé. Esses equipamentos têm variação conforme seu emprego no sistema, onde pode ser encontrado relé

com retardo na energização ou na desenergização, do relé estrela-triângulo e o relé cíclico (FRANCHI, 2008).

Os modelos de relé com retardo na energização, também são conhecidos como *ON-delay*. Operam na energização do sistema, onde o relé energiza sua bobina e seus contatos auxiliares permanecem na posição inicial, com o passar do tempo programado os contatos comutam (CREDER, 2016).

Nos modelos de relé com retardo na desenergização ou *OFF-delay* são apresentados em dois momentos de trabalho. Na energização do sistema a bobina é alimentada e os seus contatos comutam, logo após o tempo pré-programado inicia a contagem regressiva, quando o contador chega a zero os contatos comuta novamente retornando ao estado inicial (CREDER, 2016).

Para os modelos de relé estrela-triângulo que devem ser utilizados exclusivamente na partida estrela-triângulo, esse equipamento é composto por dois relés, uma para cada momento da partida. Quando a bobina é energizada, o relé da partida estrela é acionado e iniciado a contagem do tempo pré-programado, quando o tempo chega a zero o relé estrela é desenergizado e iniciado a contagem de tempo fixo de aproximadamente 50 a 100 ms (tempo morto), no fim desse tempo o relé da partida triângulo se energiza e comuta os contatos auxiliares (FRANCHI, 2008).

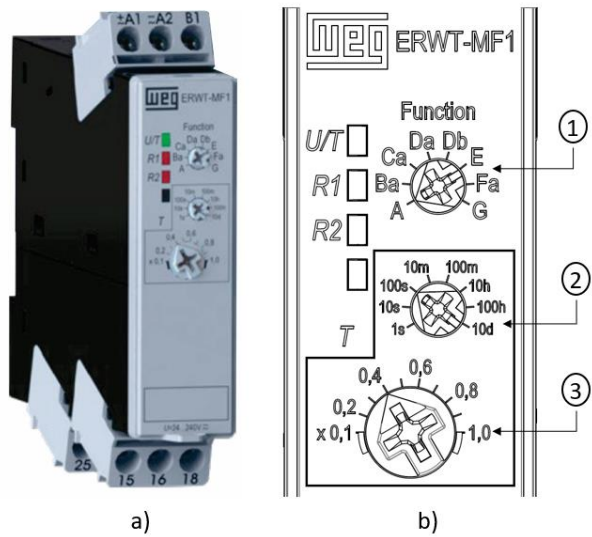
Os relés cíclicos trabalham comutando seus contatos conforme o tempo programado. Nesses modelos o tempo programado é dividido em duas partes iguais, e cada parte do tempo trabalha de forma contrária ao outro, quando o T_1 está ativo o T_2 está inativo. Quando a bobina é energizada o tempo T_1 inicia e comuta os seus contatos auxiliares, quando o tempo zera os seus contatos são comutados novamente retornando ao estado inicial e o tempo T_2 começa a contar, com o passar desse tempo o ciclo retorna ao tempo T_1 se repete continuamente. Ao contrário de outros relés, este permanece na comutação até a bobina ser desenergizada, dessa forma gerando pulsos de saída contínuos (WEG, 2020a).

Umas considerações importantes são que nos quatro modelos de relés, para religar a contagem do temporizador deve-se desenergizar a sua bobina. Também é relevante saber que se no momento de contagem ocorrer uma falta de energia na bobina de alimentação, o temporizador não conclui a contagem e os contatos auxiliares retornam à posição inicial (WEG, 2020a).

Com a modernização dos circuitos eletrônicos, é possível encontrar no mercado modelos de relés eletrônicos com todos os funcionamentos citados anteriormente dentro de um só equipamento. A Figura 15, exibe um modelo de relé eletrônico temporizador em a) apresenta

uma vista em perspectiva, em b) mostra o modelo esquemático da parte de configurações do relé.

Figura 15 – Modelo de relé eletrônico temporizador a) Vista em perspectiva b) Modelo esquemático do painel de configuração do relé.



Fonte: Adaptado WEG, 2020a.

Como pode-se observar na Figura 1Figura 15 b), na marcação 1 é encontrado o seletor de funções que é detalhado na Tabela 11 mostrado abaixo, no ponto 2 apresenta a escala de tempo que vai de 1 segundo a 10 dias, na marcação 3 exibe o multiplicador de tempo.

Tabela 11 – Códigos das funções do relé eletrônico temporizador.

Código	Função
A	Retardo na energização (ON-delay)
Ba	Retardo na desenergização com comando externo (OFF-delay)
Ca	Retardo na energização e desenergização com comando externo
Da	Cíclico simétrico com início ligado
Db	Cíclico simétrico com início desligado
E	Pulso na desenergização com comando externo
G	Estrela-triângulo

Fonte: WEG, 2020a.

2.4.5.1.Dimensionamento

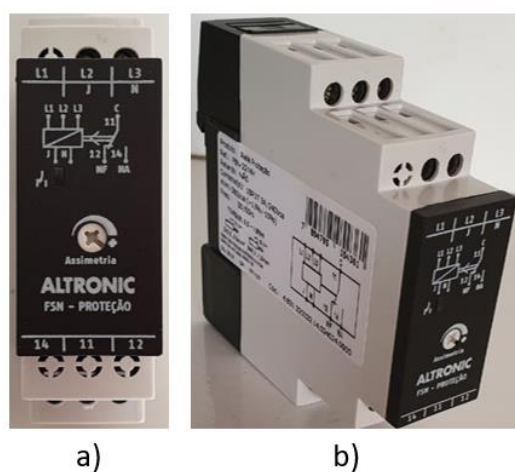
No dimensionamento destes equipamentos deve-se atentar a aplicação dentro do sistema. Em seguida é necessário analisar os parâmetros do sistema, como tensão e frequência da rede.

A determinação do tempo aplicado no temporizador varia conforme o modelo de partida e a condição inicial de carga do sistema.

2.4.6. Relé Falta de Fase

O relé falta de fase tem função de proteger o motor de operar com falta de uma ou mais fases. Esse equipamento analisa constantemente as três fases e dependendo do caso as fases e o neutro. A sua estrutura física é semelhante ao relé temporizado, contendo *borne* para receber as três fases e o neutro, e *bornes* acomodando os contatos auxiliares (FRANCHI, 2008). Esse relé analisa constantemente as fases e o neutro, atuando na falta de algum deles ou quando a tensão da rede fica abaixo de 70% do seu valor nominal, na presença de um surto os seus contatos auxiliares comutam e desligam o sistema (WEG, 2020a). Dessa forma a sua posição no diagrama de comando deve ser no início, próximo dos contatos de proteção do relé térmico e a botoeira de desenergização (MAMEDE FILHO, 2017). A Figura 16, apresenta um modelo de relé falta de fase, onde em a) demonstrar a vista frontal e em b) demonstra a vista em perspectiva apresentando os dados e esquema de ligação.

Figura 16 – Modelo de relé falta de fase a) Vista frontal b) Vista em perspectiva.



Fonte: Autoria própria, 2021.

2.4.6.1. Dimensionamento

Para o dimensionamento deve-se observar se a partida tem a presença de neutro ou só das três fases. Em seguida, analisa-se a tensão e a frequência da rede. A regulagem de sensibilidade depende do modelo e do fabricante, onde nos modelos da WEG existe um seletor de tensão na

parte frontal do relé (WEG, 2020a). Já os modelos da ALTRONIC, possuem um seletor de sensibilidade que deve ser regulado manualmente com o sistema ligado (ALTRONIC, 2021).

2.4.7. Botoeiras

As botoeiras são chaves de acionamento de ações, elas são acionadas manualmente, dessa forma é responsável pela comunicação homem-máquina. O seu funcionamento é basicamente enviar pulsos elétricos no momento do seu acionamento, suas cores já são predefinidas com intuito de padronizar o sistema (FRANCHI, 2008). A Tabela 12, demonstra as cores com suas respectivas funções.

Tabela 12 – Referências de cores das botoeiras.

Cores	Função
Vermelho	<i>Desligar, parar ou botão de emergência</i>
Verde ou Preto	<i>Ligar ou iniciar a partida</i>
Amarelo	<i>Iniciar uma reversão, retorno ou eliminar uma condição perigosa</i>
Branco ou Azul	<i>Qualquer outra função que não foi dita anteriormente</i>

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

2.4.7.1. Dimensionamento

A escolha do modelo de botoeira depende do seu emprego na chave de partida. Deve-se analisar a sua tensão e frequência nominal. Em relação ao seu posicionamento no painel elétrico, deve-se situar o botão de ligar acima do botão de desligar na vertical, e na horizontal deve-se alocar o botão de ligar mais à esquerda do de desligar (FRANCHI, 2008).

2.4.8. Condutores

Estes dispositivos são responsáveis pelas interligações de todos os equipamentos nas instalações, tornando-se de extrema importância o seu dimensionamento correto. Conforme a norma NBR 5410:2004, estes devem ser compostos de material condutor de cobre ou alumínio e proteção de cloreto de polivinila (PVC), etileno-propileno (EPR) e polietileno reticulado (XLPE) (MAMEDE FILHO, 2017).

A escolha do material do condutor pode variar conforme a instalação. O dimensionamento errado destes dispositivos pode acarretar incêndios, curtos-circuitos, dentre outras

complicações. Para o dimensionamento correto dos condutores deve-se considerar as possíveis sobrecorrentes que o sistema pode aplicar aos condutores (CREDER, 2016).

2.4.8.1. Dimensionamento

O dimensionamento dos condutores deve ser feito utilizando três métodos diferentes e após a comparação dos resultados, escolhe-se o que apresenta maior seção de condução. No primeiro critério é conhecido como seção mínima dos condutores, a seleção da seção mínima do condutor é feita de acordo com a aplicação, como mostra a Tabela 13 (CREDER, 2016).

Tabela 13 – Critério da seção mínima de condutores.

Circuito	Seção mínima do condutor
Iluminação	1,5 mm ²
Força	2,5 mm ²
Sinalização e controle	0,5 mm ²

Fonte: Adaptado ABNT, 2004.

No segundo método, conhecido como capacidade de condução de corrente, leva-se em consideração o aumento da temperatura dos fios e cabos em grandes períodos (MAMEDE FILHO, 2017). Inicialmente é definido a quantidade de cabos que passam no mesmo eletroduto, que para esse critério é utilizado a Tabela 14, retirada da NBR 5410:2004 (ABNT, 2004).

Tabela 14 – Número de condutores carregados por circuito.

Circuito de condutores	Número de condutores carregados
Monofásico (fase e neutro)	2
Bifásico sem o neutro (duas fases)	2
Bifásico com o neutro (duas fase e neutro)	3
Trifásico sem o neutro (três fases)	3
Trifásico com o neutro (três fases e neutro)	4

Fonte: Adaptado ABNT, 2004.

Em seguida, utiliza-se a Tabela 15, coletando as seções dos condutores que suportam as correntes indicadas. Essa tabela foi retirada da NBR 5410:2004 e adaptada aos critérios do presente trabalho (CREDER, 2016). Deve-se atentar que, na utilização dessa tabela a temperatura para o condutor de PVC é de 70°C e para o EPR e o XLPE é de 90°C (ABNT, 2004).

Tabela 15 – Capacidade de condução de corrente de condutores.

Seção do condutor (mm ²)	2 cond. carr. de PVC (A)	3 cond. carr. de PVC (A)	2 cond. carr. de EPR ou XLPE (A)	3 cond. carr. de EPR ou XLPE (A)
0,5	9	8	12	10
1,5	17,5	15,5	23	20
2,5	24	21	31	28
4	32	28	42	37
6	41	36	54	48
10	57	50	75	66
16	76	68	100	88
25	101	89	133	117

Fonte: Adaptado ABNT, 2004.

Por fim, o último método é o da queda de tensão, neste é analisada a redução gradativa da tensão em relação a seção do condutor e a distância do circuito. Este método é considerado uma queda de tensão máxima de 4% do ponto de entrega de energia até a carga (MAMEDE FILHO, 2017). Como no presente trabalho só são analisados os condutores do quadro de comando, não será necessário a utilização deste método.

2.5. SIMBOLOGIAS DE COMANDOS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO

Atualmente existem diversas normas que padronizam as simbologias gráficas de circuitos elétricos, as mais utilizadas são as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (MAMEDE FILHO, 2017). A Tabela 16 os símbolos de comandos elétricos utilizados neste trabalho, extraídos em sua maioria do *Software CAdE SIMU*.

Tabela 16 – Tabela de referência para símbolo de comandos elétricos.

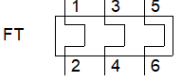
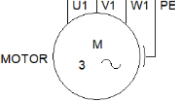
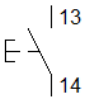
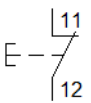
(Continua)

Simbologia	Descrição	Simbologia	Descrição
	Ponto de ligação com o sistema de energia L1, L2, L3 e N		Relé falta de fase e neutro
	Ponto de ligação com a terra		Relé falta de fase
	Condutor de fase		Soft Starter
	Condutor de neutro		Contato auxiliar NA da contatora
	Condutor de aterramento		Contato auxiliar NF da contatora
	Ponto de conexão entre condutores		Bobina da contatora
	Fusível		Contato auxiliar NF do relé térmico
	Disjuntor termomagnético tripolar		Contato auxiliar NA do relé temporizado
	Disjuntor termomagnético monopolar		Contato auxiliar NF do relé temporizado
	Disjuntor motor tripolar		Disjuntor motor monopolar
	Contatora		Bobina do relé temporizado

Fonte: CADe SIMU, 2020.

Tabela 16 – Tabela de referência para símbolo de comandos elétricos.

(Conclusão)

Simbologia	Descrição	Simbologia	Descrição
	<i>Relé térmico</i>		<i>LED de sinalização</i>
	<i>MIT de três terminais</i>		<i>Botoeira de acionamento NA</i>
	<i>Trafo da partida compensada</i>		<i>Botoeira de estacionamento NF</i>

Fonte: CADe SIMU, 2020.

2.6. PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS

A partida de um motor elétrico ocorre em segundos, e pode trazer diversos problemas ao sistema elétrico, principalmente devido alguns motores necessitarem de alta corrente no momento da partida. Por este motivo, inúmeros estudos voltados ao controle de corrente de partida são encontrados no âmbito acadêmico. Outro ponto desfavorável na partida do motor é a queda de tensão, esse fenômeno também ocorre devido a necessidade da alta corrente na partida, onde à medida que a corrente aumenta no motor a tensão do sistema diminui. O controle da queda de tensão é delimitado pela concessionária de energia (MAMEDE FILHO, 2017).

No momento de partida do MIT a sua corrente pode chegar até dez vezes da sua corrente nominal, isso pode variar de acordo com a carga conectada ao rotor da máquina. Quanto maior a carga, maior será a corrente de partida. Como esse fator é desfavorável no sistema de energia, foram desenvolvidos diversos modelos de partidas, procurando minimizar seus efeitos negativos na rede (FRANCHI, 2008).

Dentre todos os modelos de partidas de motores elétricos, esse trabalho procura explanar os principais, são estes: partida direta, compensadora e *soft starter*. A seguir, são explanados os tipos de partidas e projetado circuitos para cada uma, com intuito de identificar a que melhor se encaixa na problemática do trabalho. Para as simulações utilizou-se o *software* gratuito CADe SIMU. Em todos os sistemas desenvolvidos neste trabalho, foram dimensionados para rede de alimentação 380/220 V e frequência de 60 Hz, em virtude de esse ser o nível de tensão no local de instalação.

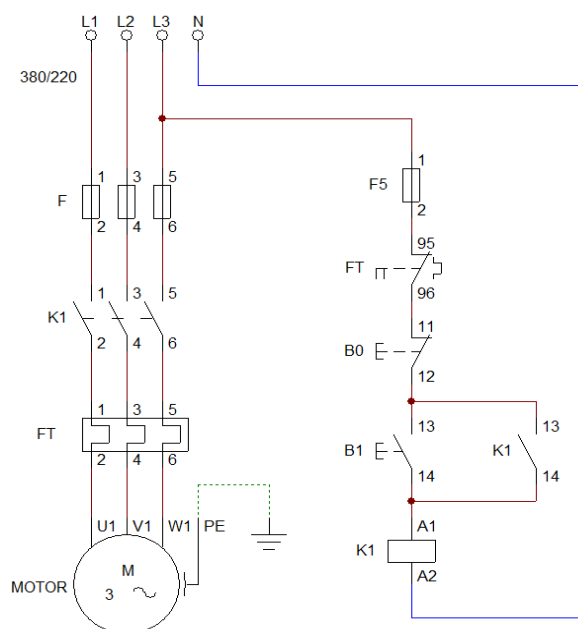
2.6.1. Partida Direta

A partida direta apresenta menor complexidade de acionamento de motor, em que a tensão da rede é diretamente aplicada no motor, ocasionando assim, picos de corrente no momento da partida, podendo ocorrer oscilação de corrente no sistema (FRANCHI, 2008). Dessa forma, segundo a norma DIS-NOR-030 da COSERN, é estabelecido o limite de 5 CV para tensão de 220/127 e 7,5 CV para 380/220, na partida direta em motores (NEOENERGIA, 2020).

As vantagens deste tipo de partida são: baixo custo nos equipamentos; fácil sistema de montagem e manutenção; elevado conjugado de partida; e partida rápida. As desvantagens, além dos elevados picos de corrente de partida, podem apresentar quedas de tensão do sistema e impossibilitado por norma na utilização em motores de potência superior a definida anteriormente (LOPO, 2014).

Esse modelo de acionamento utiliza na sua forma mais simples somente uma contatora, um relé térmico, duas botoeiras, disjuntores ou fusíveis (BASOTTI, 2002). A Figura 17, abaixo, demonstra um esquema de ligação da partida.

Figura 17 – Partida direta com diagrama de força e de comando.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como ilustrado no diagrama de força a partida é ligada nas três fases do sistema, os primeiros equipamentos são os fusíveis F1, F2 e F3, em seguida encontra-se a contatora K1,

com ligação nos bornes de força que são os pares 1-2, 3-4 e 5-6, logo após tem o relé térmico FT, possuindo pares de ligação semelhantes a contatora, e por último o motor (ASSIS, 2021).

No diagrama de comando ilustrado, o sistema é alimentado com tensão de 220 V, o primeiro componente é o fusível F5, logo após o contato NF do relé térmico com os terminais 95-96, em seguida encontra-se a botoeira B0 de desligamento NF, o próximo ponto tem uma ligação em paralelo com a botoeira B1 de ligação NA e o contato auxiliar NA da contatora K1, essa ligação é conhecida como contato selo, por último tem-se a bobina da contatora K1, ligado nos bornes A1-A2 (ASSIS, 2021).

A partida funciona da seguinte forma, quando pressionado o botão B1, a bobina da contatora irá ser energizada e, consequentemente, comuta seus contatos, dessa forma o contato K1 irá fechar e dar continuidade a alimentação da bobina até que algum equipamento de seccionamento seja ativado. Enquanto isso, na força, quando a bobina é alimentada a contatora comuta os contatos de força, alimentando o motor. Para o desligamento do sistema deve-se pressionar o botão B0, o que impedirá a passagem de corrente para a bobina de K1 e, por consequência, desliga todo o sistema (FRANCHI, 2008).

2.6.1.1. Dimensionamento da Partida Direta

O dimensionamento dessa partida é bastante simples, inicia-se na proteção contra curto-circuito do sistema, que pode ser utilizado tanto disjuntor como fusíveis. Em seguida deve-se dimensionar a contatora, como citado anteriormente, esse equipamento deve satisfazer os parâmetros básicos do motor (tensão, frequência e corrente nominal). Deve ser relacionada com o fator de serviço, levando em consideração um possível aumento na corrente, a Equação (12), apresenta a forma de calcular a corrente da contatora na partida direta (BASOTTI, 2002).

$$I_{K1} = I_{nm} \cdot FS \quad (12)$$

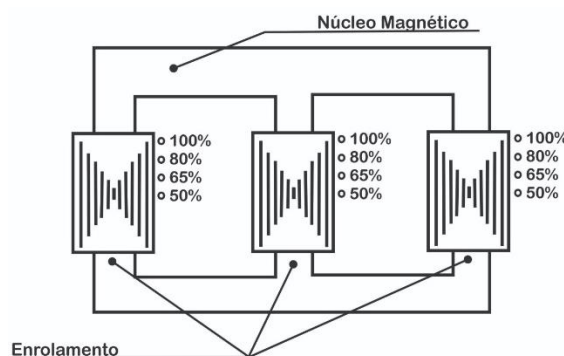
De maneira análoga ao dimensionamento da contatora, o relé térmico deve ser selecionado considerando as características do motor, a relação de corrente de partida, fator de serviço e faixa de ajuste que contenha a corrente nominal do motor (FRANCHI, 2008).

2.6.2. Partida Compensadora

A partida compensadora necessita do auxílio de um autotransformador para executar o acionamento, esse trafo tem a função de reduzir a tensão em diferentes valores da tensão nominal da rede, possibilitando assim a redução do pico de corrente de partida no motor (MAMEDE FILHO, 2017).

O autotransformador é formado por um núcleo magnético e o conjunto de três enrolamentos de fios alocados entre colunas. Esses enrolamentos possuem *taps* com função de seccionar os valores 50%, 65% e 80% da tensão nominal da rede. A utilização de cada *tap* depende da necessidade de corrente que o motor requer para partir. Dessa forma, para motores com pequenas cargas ou acionando em vazio, utiliza-se os *taps* menores, já para motor partindo com carga deve-se utilizar os *taps* maiores (FRANCHI, 2008). A Figura 18, apresenta um exemplo teórico de como é constituído um autotransformador nesta aplicação.

Figura 18 – Esquema do autotransformador trifásico.

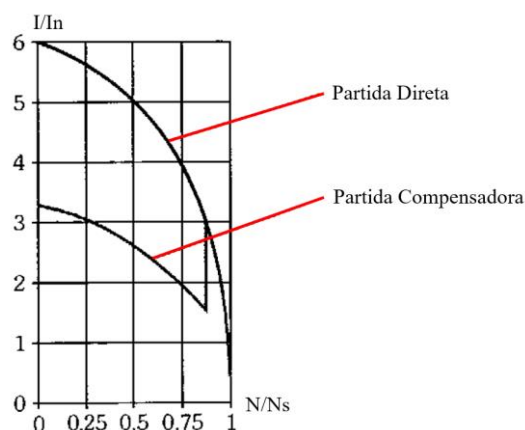


Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Como pode-se observar na figura, o autotransformador é composto de núcleo magnético e seus três enrolamentos, onde na parte inferior encontra-se a conexão de entrada com tensão de 0%, logo acima os *taps* 50%, 65% e 80%, e em seguida a saída com 100% da tensão nominal da rede.

Cada *tap* possibilita uma redução na corrente de partida, de forma que pode ser estabelecer uma relação entre ambas. Onde no *tap* de 80% reduz em 64% a corrente da partida direta, o *tap* de 65% reduz em 42% e o *tap* de 50% reduz em 25% (BASOTTI, 2002). A Figura 19, apresenta o gráfico de corrente de partida comparando as partidas direta e compensadora.

Figura 19 – Gráfico comparativo da corrente de partida das partidas direta e compensadora.



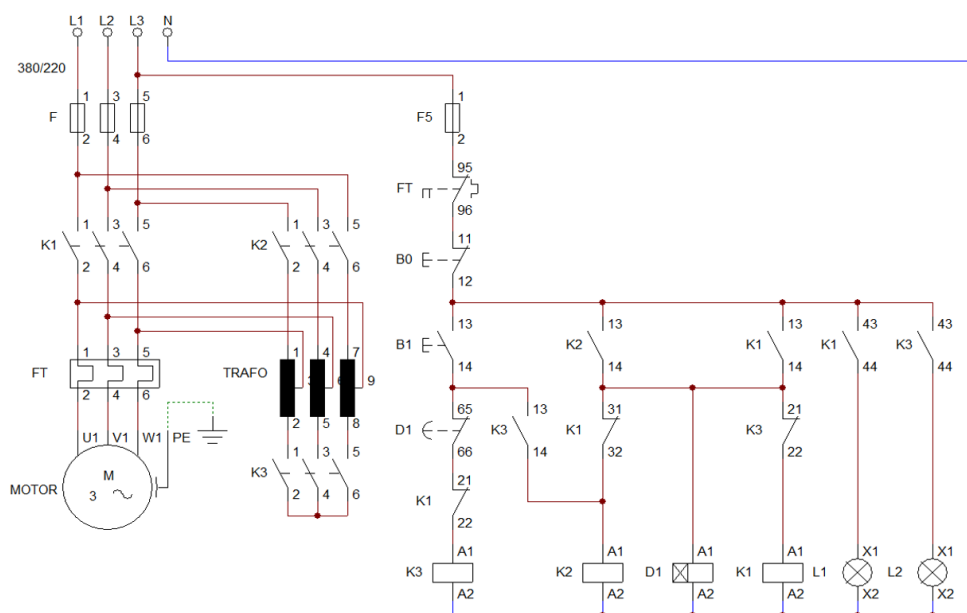
Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Observa-se que esse método reduz bastante a corrente de partida e permanece com torque inicial alto (FRANCHI, 2008).

Das partidas apresentadas neste trabalho, essa é uma que possui custo financeiro elevado, devido ao custo de aquisição do autotransformador. Os componentes utilizados nessa partida são três contatores, um autotransformador, relé térmico, relé temporizado, disjuntores ou fusíveis, duas botoeiras e duas lâmpadas de sinalização (TEIXEIRA, 2019).

A seguir, apresenta-se na Figura 20 o modelo de partida compensadora no seu diagrama de força e de comando.

Figura 20 – Partida compensadora.

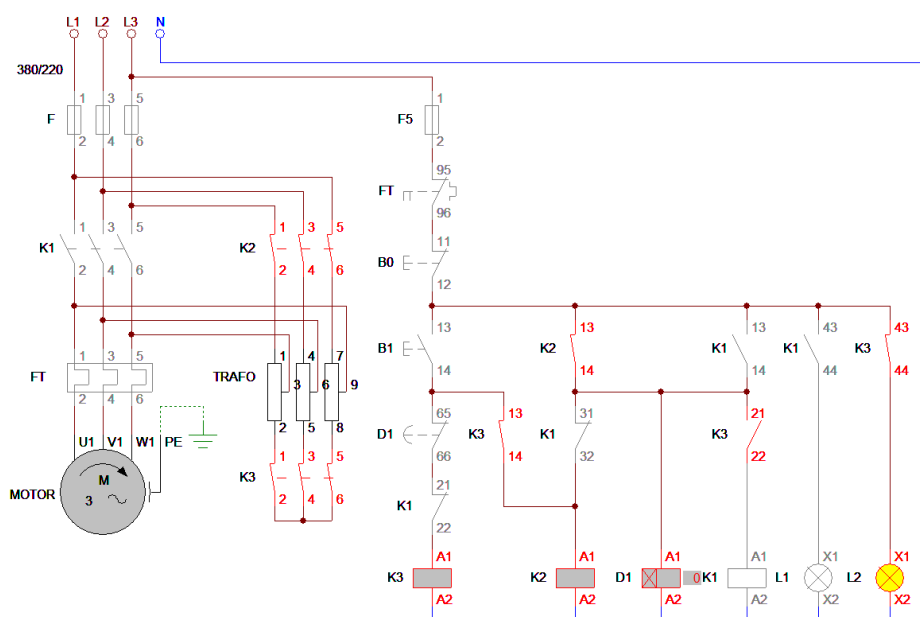


Fonte: Autoria própria, 2021.

O diagrama de força é constituído pelos fusíveis F1, F2 e F3, as contadoras K1, K2 e K3, o autotransformador, o relé térmico (FT) e o motor. No diagrama de comando tem-se o fusível F5, o contato NF (95-96) do relé térmico, a botoeira B0 responsável por desligar o circuito, a botoeira B1 destinada a ligar o sistema, os contatos NA, NF e as bobinas das três contadoras, um par de luminárias e por fim o relé temporizador (BASOTTI, 2002).

A Figura 21, apresenta o início da partida compensadora.

Figura 21 – Primeiro momento da partida compensadora.

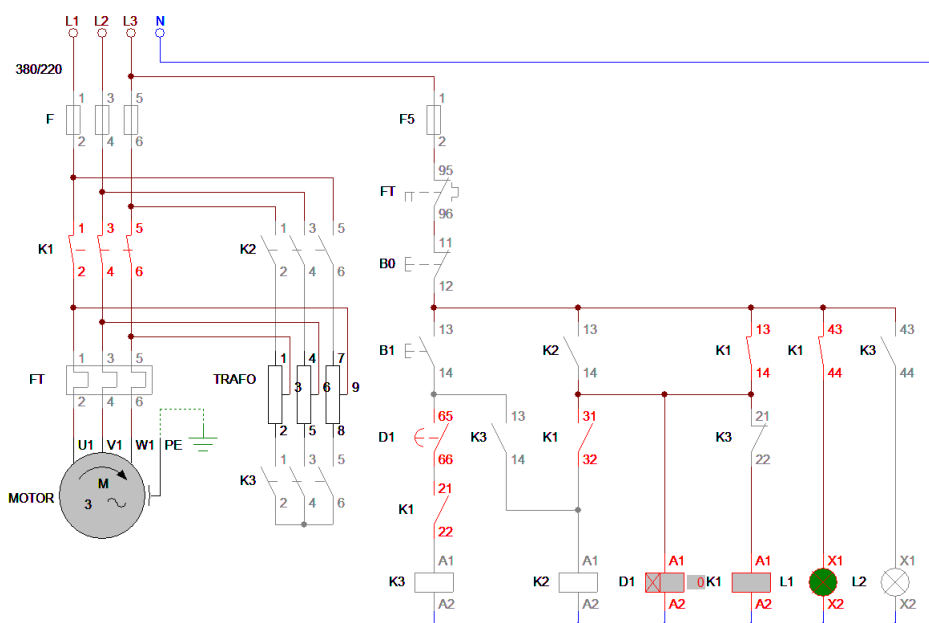


Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a partida compensadora, quando o botão B1 é pressionado o circuito utiliza o autotransformador para baixar a tensão, ativando assim os contadores K2 e K3. No mesmo instante a bobina D1 é alimentada e a contagem regressiva se inicia, consequentemente a lâmpada L2 é acionada (BASOTTI, 2002).

A Figura 22 demonstra o segundo momento da partida.

Figura 22 – Segundo momento da partida compensadora.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Quando a contagem regressiva do relé temporizado chega a zero, as bobinas de K2 e K3 são desenergizadas e, conseqüentemente, desativam o circuito auxiliar do autotransformador. Neste momento a bobina de K1 é energizada e por conseqüência a lâmpada L1 também, fazendo com que o motor seja alimentado com tensão nominal da rede (BASOTTI, 2002).

2.6.2.1. Dimensionamento da Partida Compensadora

Para o dimensionamento dessa partida deve-se considerar que a tensão aplicada no motor varia conforme os *taps* utilizados no autotransformador. Dessa forma, o dimensionamento dos contadores deve considerar os seguintes critérios (FRANCHI, 2008).

Primeiro critério, como no contator K1 é aplicado a tensão nominal da rede após o motor ter saído da inércia, a corrente que passa pelo contator é a nominal do motor. Para determinar esse valor de corrente utiliza-se a Equação (13) (BASOTTI, 2002).

$$I_{K1} = I_{nm} \cdot FS \quad (13)$$

Segundo critério, no dimensionamento dos contadores K2 e K3, deve ser considerado que estes equipamentos estão diretamente relacionados com o valor da seleção do *tap*, desta forma é utilizado o fator de redução K, que relaciona a corrente do *tap* selecionado (FRANCHI, 2008).

As Equações (14) e (15), apresentam respectivamente a forma de calcular as correntes dos contadores K2 e K3 (BASOTTI, 2002).

$$I_{K2} = K^2 \cdot I_{nm} \cdot FS \quad (14)$$

$$I_{K3} = (K - K^2) \cdot I_{nm} \cdot FS \quad (15)$$

Para os valores do fator de redução K, deve-se utilizar a Tabela 17.

Tabela 17 – Valores do fator de redução para as correntes de cada tap.

Taps	Fator redução K	I_{k2}	I_{k3}
80	0,80	$0,64 \cdot I_{nm} \cdot FS$	$0,16 \cdot I_{nm} \cdot FS$
65	0,65	$0,42 \cdot I_{nm} \cdot FS$	$0,23 \cdot I_{nm} \cdot FS$
50	0,50	$0,25 \cdot I_{nm} \cdot FS$	$0,25 \cdot I_{nm} \cdot FS$

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Com isso, pode-se calcular as correntes dos três contadores utilizados na partida, onde devem-se escolher os valores iguais ou superiores aos calculados.

Terceiro critério, a corrente nominal do relé de sobrecarga deve ser semelhante ao da contadora K1, onde, seleciona-se um relé que possua uma corrente na faixa de ajuste que suporte a partida. Tal corrente é calculada pela Equação (16) (BASOTTI, 2002).

$$I_{K1} = I_{FT} = I_{nm} \cdot FS \quad (16)$$

Quarto critério, no dimensionamento dos fusíveis ou do disjuntor, deve-se atentar que a corrente de partida é reduzida pelo quadrado do fator de redução K, assim a Equação (17), mostra o equacionamento da corrente de partida (FRANCHI, 2008).

$$I_p = \frac{I_p}{I_n} \cdot K^2 \quad (17)$$

Dessa forma a corrente de partida com a redução do fator K deve ser menor ou igual a corrente do fusível. Por fim, devem-se aplicar os valores obtidos no dimensionamento do fusível em três critérios, são estes (FRANCHI, 2008):

$$I_F \geq 1,2 \cdot I_{nm}$$

$$I_F \leq I_{K1}$$

$$I_F \leq I_{FT}$$

Com isso, finaliza-se o dimensionamento da partida compensadora.

2.6.3. Partida *Soft Starter*

A partida *soft starter* é composta por microprocessadores que controlam tiristores, com intuito de amenizar possíveis impactos negativos que as máquinas elétricas trazem ao sistema. Esse modelo de partida possui diversas funções e proteções embutidas em um único dispositivo, possibilitando assim, o controle em diversos casos diferentes (BRUNA; CONTESSI; ROSSETTI; ROSSO; TASSI, 2012).

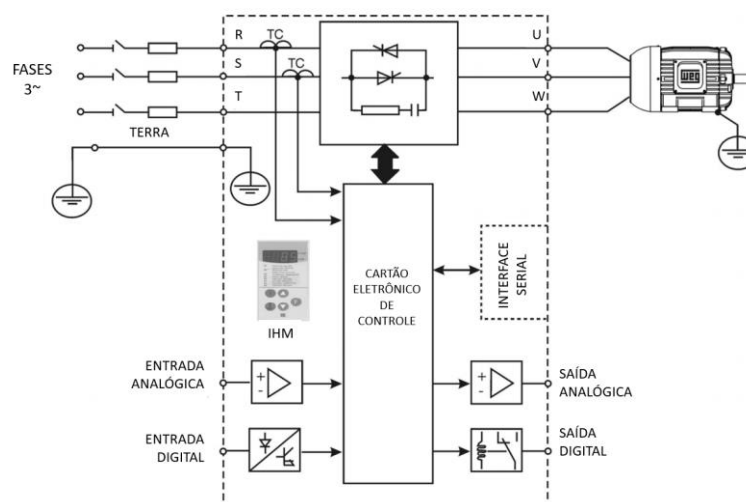
O funcionamento da *soft starter* está baseado na utilização de uma ponte retificadora, que modula a tensão da rede aplicando na saída uma ondulação adequada para cada modo de operação. O controle de todo processo do equipamento é feito por circuitos microcontrolados digitalmente (AMARAL, 2013).

A transformação na forma de onda é feita utilizando semicondutores de multicamada também conhecidos como tiristores. Eles trabalham chaveando a potência para formar a onda de saída desejada. Este chaveamento é controlado pelos microcontroladores, onde é dividido para cada fase dois semicondutores conectados em antiparalelo, de forma que, cada um module uma polaridade da fase. Os modelos de tiristores mais usados são: retificadores controlados de silício (SCR), tríodos para corrente alternada (TRIAC), transistores de potência e os tiristores com desligamento pelo gate (GOT) (COELHO, 2018).

Como nas outras partidas de motores apresentadas o acionamento é dividido em circuito de força e circuito de comando. Os equipamentos que constituem o circuito de força são compostos por transformadores de corrente (TCs), que tem por finalidade analisar a passagem de corrente e enviar os resultados para o microcontrolador, outro componente é a ponte retificadora constituída de SCRs (FRANCHI, 2008).

O circuito de comando é formado somente pelo cartão eletrônico de controle, que é responsável por chavear os tiristores, monitorar e realizar as proteções. No cartão eletrônico são encontrados entradas e saídas analógicas e digitais, a interface homem-máquina (IHM) e a interface serial para comunicação externa (FRANCHI, 2008). A Figura 23, ilustra-se um modelo com diagramas de blocos detalhando cada componente da partida *soft starter*.

Figura 23 – Diagrama de blocos da soft starter.



Fonte: Adaptado WEG, 2009.

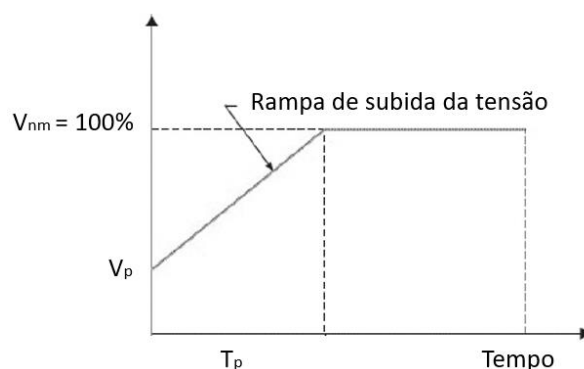
A utilização da *soft starter* no acionamento de motores de indução trifásicos tem diversas vantagens, dentre estas: controle da corrente e tensão na partida e na parada da máquina; não utiliza chaves comutadoras manuais, reduzindo assim a geração de arco elétrico; possui configuração digital, possibilitando grande variedade e aplicação; possui sistema para partir diversos motores com uma única chave (LIMA, 1998).

As desvantagens resultantes do uso de *soft starter* estão relacionadas ao preço, elevado em comparação às outras partidas, e a necessidade do seccionador externo que possibilite abertura entre os contatos. Isso é necessário devido a *soft starter* ser um equipamento eletrônico e possuir proteção somente por semicondutores. Dessa forma, para permanecer de acordo com as exigências normativas, esses componentes não devem ser instalados diretamente a rede sem nenhum equipamento de seccionamento (MAMEDE FILHO, 2017).

Como já mencionado, a partida *soft starter* possui diversas programações de acionamento, variando conforme cada fabricante. As funções mais comuns são: controle de rampa de tensão na aceleração e desaceleração; pulso de tensão na partida e limitação de corrente (FRANCHI, 2008).

O controle de rampa de tensão na aceleração, controla a tensão na partida em um valor crescente contínuo que pode ser ajustado na IHM. O seu funcionamento é baseado na tensão de partida (V_p) aplicada ao motor. A central de controle da *soft starter* aumenta o ângulo de disparo dos tiristores gradativamente de forma que o motor acione com uma rampa de tensão em um predeterminado tempo de partida (T_p), a tensão aumenta até se igualar a tensão nominal da rede (AMARAL, 2013). A Figura 24, apresenta a curva da rampa de tensão na aceleração.

Figura 24 – Curva da rampa de tensão na aceleração da partida soft starter.

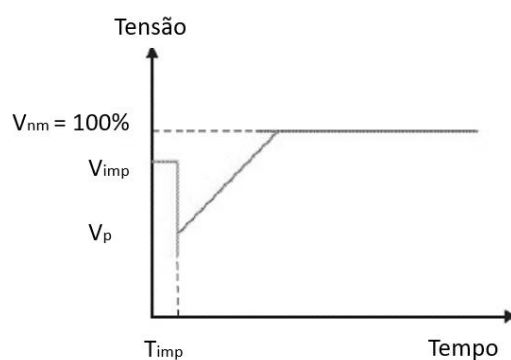


Fonte: Adaptado MAMEDE FILHO, 2017.

O valor da tensão inicial de partida varia para cada tipo de motor e condição de partida. Dessa forma, é analisado com maior ênfase o caso de aplicações em bombas. O ajuste desta tensão para as bombas deve ser cauteloso. De modo que não pode possuir valor muito baixo, fazendo com que não seja rompido a barreira da inércia, e não pode ser muito elevado, de modo a evitar o fenômeno conhecido como golpe de aríete. Esse fenômeno ocorre devido o deslocamento agressivo da coluna de líquido que está ligado à bomba, e pode causar danos estruturais a bomba e ao sistema de encanamento (FRANCHI, 2008).

A configuração de pulso de tensão na partida (*Kick Start*), é utilizada em sistemas que possuem valor elevado da inércia no início da rotação. Aplicando uma tensão de impulso (V_{imp}) na partida, de modo que seja maior o suficiente para romper a inércia da máquina. Em seguida, a tensão é reduzida ao valor de tensão de partida (V_p) e aumentada gradativamente semelhante a rampa de aceleração. A tensão aplicada nesse pulso pode ser ajustada e tem valores de 75 a 90% da tensão nominal do motor, possuindo tempo de impulso (T_{imp}) ajustável de 100 a 300 milissegundos (MAMEDE FILHO, 2017). A Figura 25, apresenta a curva de pulso de tensão.

Figura 25 – Curva de pulso de tensão da partida soft starter.



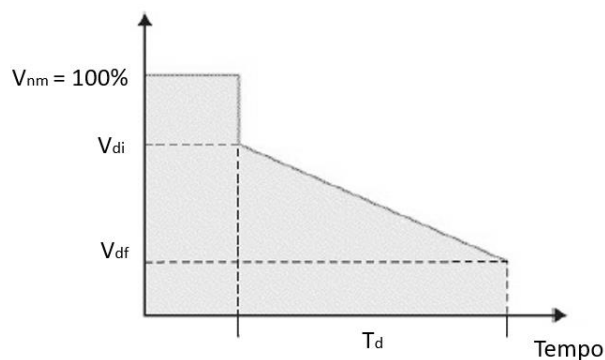
Fonte: Adaptado MAMEDE FILHO, 2017.

O uso do *kick start* deve ser somente utilizada em caso de necessidade, com a possibilidade de queda de tensão e elevado pico de corrente no momento da partida. Outro efeito é a desativação da limitação de corrente na partida, que é um sistema de proteção da *soft starter* (FRANCHI, 2008).

A configuração da rampa de tensão na desaceleração é semelhante a rampa de aceleração, essa função aplica a metodologia análoga para desenergizar a máquina. Ao invés de reduzir a tensão imediatamente, como funciona nas partidas de motores já explanadas, essa configuração reduz a tensão nominal da rede gradativamente até chegar um ponto que a força da inércia pare o motor suavemente (MAMEDE FILHO, 2017).

A Figura 26, mostra a redução gradativa da tensão nominal do motor, onde a tensão de desligamento inicial (V_{di}) é o ponto de partida do desligamento e a partir daí a tensão é reduzida gradativamente até chegar na tensão de desligamento final (V_{df}). Logo em seguida, a *soft starter* desliga totalmente a tensão deixando a inércia parar a máquina. O tempo de desligamento (T_d) é pré-programado na IHM e varia para cada sistema, esse tempo normalmente é configurado de 1 a 20 segundo (FRANCHI, 2008).

Figura 26 – Curva de rampa de desaceleração da partida *soft starter*.

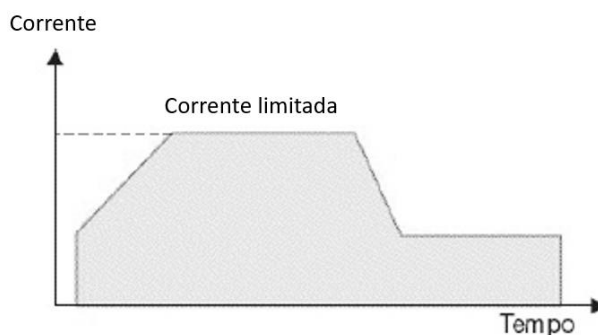


Fonte: Adaptado MAMEDE FILHO, 2017.

A utilização dessa função se dá devido a necessidade de suavizar a parada brusca que alguns sistemas possuem. Nas bombas são aplicados em casos que o golpe de aríete apresenta grande intensidade (AMARAL, 2013).

A configuração de limitação de corrente na partida é utilizada em casos que o conjunto motor/carga, possuem inércia elevada. Dessa forma a *soft starter* limita a saída de corrente de forma que somente uma corrente mínima para partida seja entregue ao motor (AMARAL, 2013). A Figura 27, demonstra a curva de limitação de corrente.

Figura 27 – Curva de limitação de corrente da partida *soft starter*.



Fonte: Adaptado MAMEDE FILHO, 2017.

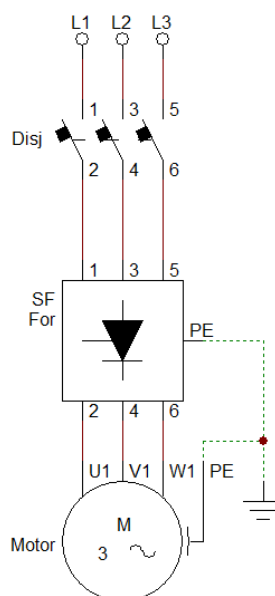
A maioria dos modelos de *soft starter* encontrados no mercado, possui sistema de proteção embutido no conjunto. Essas proteções servem para resguardar a integridade do próprio equipamento e do motor a ser acionado. As proteções mais comuns encontradas nesses equipamentos são: sobrecorrente na saída; subcorrente imediata; sequência de fase; falta de fase; e rotor bloqueado (AMARAL, 2013).

A configuração da *soft starter* é dividida em quatro parâmetros principais, onde na maioria dos modelos são acessíveis pela interface homem-máquina. O primeiro parâmetro é a configuração do motor, onde é definido as características nominais da máquina. Outro parâmetro é a configuração inicial, neste ajuste é estabelecido as características básicas do sistema. O terceiro parâmetro é a regulação, em que é indicado o modo de operação que a *soft starter* atuará. Por fim, o parâmetro de leitura, que simplesmente apresenta as informações do sistema (FRANCHI, 2008).

A ligação da *soft starter* no sistema é feita de forma simples, porém, pode ser ligada de diversas formas. Os modelos mais comuns de ligação são: ligação direta; ligação com *by pass*; ligação em partida sequencial de diversos motores; e ligação simultânea de diversos motores (FRANCHI, 2008). No presente trabalho só será explanado os dois modelos iniciais, levando em conta que o trabalho procura adequar a partida de somente uma motobomba.

A ligação direta pode variar por modelo, se o dispositivo não possuir as proteções adequadas, devem-se instalar os equipamentos de proteção necessários. Normalmente os modelos já contemplam as proteções básicas instaladas, sendo somente necessário ligar um seccionador, para desligar a *soft starter* da rede. Também é comum encontra modelos com o sistema de *by pass* incorporado na própria *soft starter* como mostra a Figura 28 (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 28 – Esquema de ligação direta da soft starter.

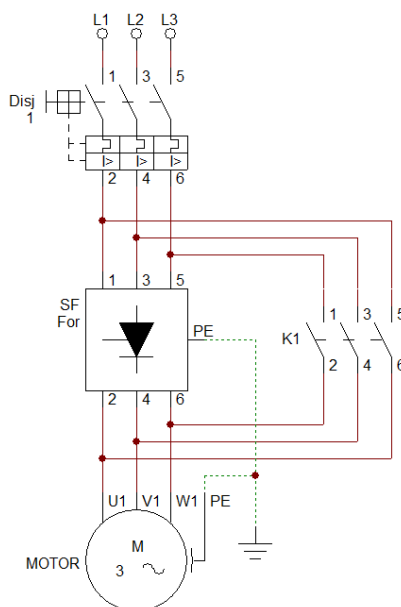


Fonte: Autoria própria, 2021.

A utilização de disjuntor termomagnético tripolar no início do circuito é devido a necessidade de seccionamento do sistema (MAMEDE FILHO, 2017). O dispositivo SF-For, é referente ao circuito de força da *soft starter*.

Em modelos que não possui o sistema de *by pass* incorporado na *soft starter*, é necessário a implementação do mesmo. De forma a evitar as perdas pelo efeito joule na *soft starter*, é utilizado um sistema de *by pass*, onde instala-se paralelamente a *soft starter* uma contatora. Esse esquema de ligação é feito em duas partes, na primeira o motor parte utilizando as funções da *soft starter*, em seguida quando o motor atingir os parâmetros nominais é alimentado pelo circuito da contatora, como mostra o esquema da Figura 29 (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 29 – Esquema de ligação com by pass.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como citado anteriormente, o motor inicia a rotação utilizando as propriedades da *soft starter*, em seguida o circuito é comutado para a contatora, fazendo com que toda a corrente que vai para o motor passe por K1.

2.6.3.1. Dimensionamento da Partida *Soft Starter*

O dimensionamento dessa partida varia com relação a aplicação da *soft start* para partir o motor, devendo-se observar a capacidade da *soft starter* de suportar a potência do motor, se ela apresenta capacidade de gerar conjugado suficiente para tirar a máquina da inércia e se esta possui as adequadas características elétricas do sistema onde o motor está inserido (ASSIS, 2021).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será explanado a metodologia utilizada para desenvolver o trabalho, na Figura 30 apresenta o organograma detalhando todos os pontos abordados.

Figura 30 – Organograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Inicialmente é executada uma vistoria técnica, onde é analisado todo o sistema elétrico da motobomba e em seguida realizado um teste para medir os níveis de tensão e corrente do sistema. O passo seguinte é o dimensionamento das partidas, em seguida é escolhida a partida ideal e realizada a aquisição e montagem do quadro de comando. Por fim é instalado a nova partida no local do poço e realizada novos testes de forma a comparar com o sistema de acionamento anterior.

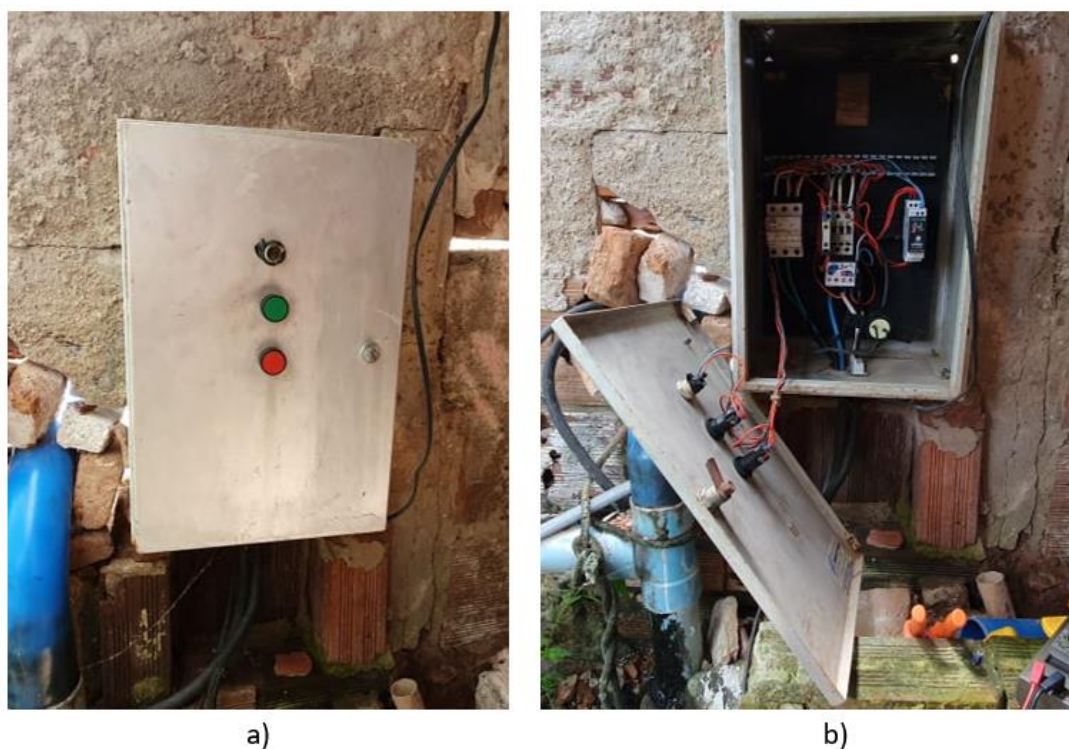
4. RESULTADOS

Neste capítulo será explanado a vistoria técnica e dimensionamento das partidas. Em seguida é realizada a escolha do modelo de acionamento e realizado a programação, instalação, montagem e teste da partida escolhida para o acionamento da motobomba do poço artesiano.

4.1. VISTORIA TÉCNICA

Inicialmente realizou-se a vistoria técnica com intuito do levantamento dos materiais instalados no quadro de comando e suas reais condições. A vistoria aconteceu no dia 02 de fevereiro de 2021, nela foi identificado o péssimo estado do quadro de comando como ilustrado na Figura 31, apresentando o quadro de comando da motobomba a) com a tampa fechada e b) o quadro aberto.

Figura 31 – Quadro de comando da motobomba a) Vista frontal do quadro fechado b) Vista frontal do quadro aberto.

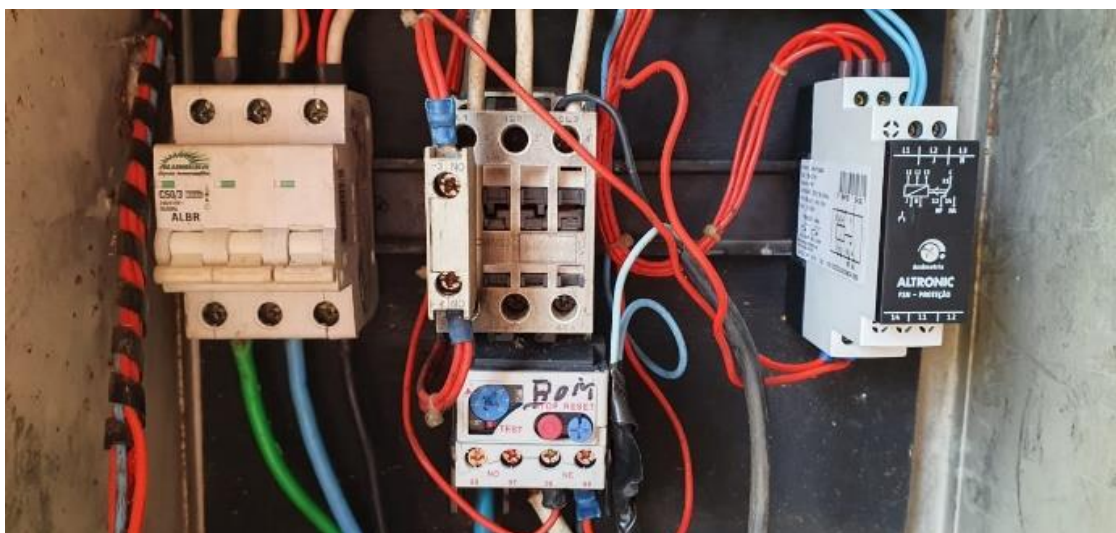


Fonte: Autoria própria, 2021.

Identificou-se que tratava de um sistema com partida direta para acionar a motobomba de 10 cv, o quadro de comando apresentava na sua tampa duas botoeiras para acionamento e desligamento do sistema e a luz de indicação de funcionamento do circuito. No seu interior

constava o disjuntor tripolar de 50 A curva C, contator de 25 A, relé térmico com faixa de corrente de 22 a 32 A e relé falta de fase e neutro. A Figura 32, demonstra os componentes encontrados no interior do quadro.

Figura 32 – Circuito de comando da motobomba.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O quadro de comando é resguardado por um cubículo de alvenaria com telha de fibrocimento. A Figura 33, apresenta imagem do cômodo no dia da vistoria.

Figura 33 – Cômodo onde localiza-se o quadro de comando.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como mencionado anteriormente, a motobomba está instalada em um poço tubular artesiano com profundidade de 120 metros, tornando-se inviável a análise direta do motor, pois necessita da remoção de toda estrutura de canos tubulares para chegar até a bomba. Em contrapartida, é de conhecimento a marca e o modelo da mesma, sendo uma motobomba da marca Leão e modelo S40-04 610, com potência de 10 CV em ligação trifásica. Os parâmetros básicos retirados do manual do fabricante estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18– Parâmetros básicos da motobomba S40-04 610.

Parâmetro	Valor
Série do motor	610
Potência (cv)	10
Tensão (V)	220/380/440
Corrente (A)	26/16,8/14,5
Velocidade de fluxo para refrigeração (m/s)	0,15
Fluido o motor	Água
Temperatura máxima de operação (°C)	40
Número máximo de partidas por hora	10
Tolerância da variação de tensão	±10%
Tolerância da variação de frequência	±2%
Desbalanceamento de tensão entre as fases	±5%
Desbalanceamento de corrente entre as fases	±3%
Proteção do motor	IP 68
Máxima profundidade de submersão (m)	350
Temperatura de armazenamento (°C)	-15 a +60
Posição de instalação	Vertical e horizontal
Quantidade de terminais (Fases)	3

Fonte: Adaptado Leão, 2021.

No manual do fabricante não são apresentados todos os parâmetros do motor, dessa forma, a análise foi feita de forma genérica em alguns pontos. Um dos dados necessários que o manual não contempla é o fator de serviço, utilizando-se para este caso o valor mínimo de 1,00. Diante de pesquisas feitas, esse valor é o usado para motobombas de 10 CV, conforme os parâmetros normativos (OLIVEIRA FILHO; RIBEIRO; MANTOVANI; SOARES; FERNANDES, 2010).

Finalizando a vistoria técnica, fez-se testes para corrente, tensão e tempo da partida do motor. Os valores medidos estão dispostos na Tabela 19.

Tabela 19 – Parâmetros aferidos na visita técnica.

Parâmetros	Valores
Tensão da rede V_{rede}	417 V
Tensão na partida V_p	409 V
Tensão nominal do motor V_{nm}	410 V
Corrente nominal do motor I_{nm}	14,1 A
Tampo da partida direta	7 s

Fonte: Autoria própria.

4.2. DIMENSIONAMENTO DAS PARTIDAS

Analizando a norma da concessionária local, anteriormente citada, foi confirmado que a partida utilizada no acionamento da motobomba está em desconformidade. Sendo necessário a adequação de uma nova partida.

Após o estudo da norma, foram dimensionadas as partidas explanada neste trabalho. Os resultados foram analisados e escolhida aquela que apresentou melhor custo-benefício.

4.2.1. Dimensionamento da Partida Direta no Acionamento da Motobomba

O dimensionamento dessa partida foi realizado com intuito de determinar os parâmetros básicos dos equipamentos. Como a partida direta possui o maior pico de corrente de partida, alguns dos seus equipamentos de proteção servirão para o dimensionamento das outras partidas.

Inicialmente foram calculados os parâmetros da contatora K1, utilizando a Equação (12), como é mostrado abaixo:

$$I_{K1} = I_{nm} \cdot FS = 16,8 \cdot 1$$

$$I_{K1} = 16,8 A$$

Por conseguinte, foi determinada a utilização de uma contatora de 25 A, com tensão 380/220 V, frequência de 60 Hz e no mínimo um contato auxiliar NA. Para o dimensionamento do relé térmico foi utilizado a Tabela 8, como o sistema possui fator de serviço igual a 1, então, a corrente do relé de sobrecarga foi calculada como mostrado abaixo:

$$I_r = 1,15 \cdot I_{nm} = 1,15 \cdot 16,8$$

$$I_r = 19,32 A$$

Com isso, foi definido a utilização de um relé de sobrecarga que possui na sua faixa de regulação corrente de 20 A, tensão de 380/220 V e frequência de 60 Hz. Logo, analisando o catálogo do fabricante pode-se escolher o relé térmico com faixa de corrente de 15 a 23 A. Para este relé sugere-se como proteção geral fusíveis de no máximo 50 A. E para proteção do circuito de comando, com função de proteger contra curto-circuito, sugere-se fusíveis de 6 A (WEG, 2020b).

No dimensionamento dos condutores é inicialmente determinado o local de instalação dos condutores, onde estes ficam alocados dentro de eletrocalhas no painel elétrico da bomba. Analisando a norma NBR 5410:2004, decidiu-se o método de instalação B1 (ABNT, 2004).

Em seguida, foram determinadas as características dos condutores utilizados. Para o circuito de força foram aplicados condutores de no mínimo 4 mm², de cobre com isolação de EPR ou XLPE. No circuito de comando foram empregados no mínimo condutores de cobre de 0,75 mm², com isolação EPR ou XLPE.

Para proteção de sobrecorrente e seccionamento, adotou-se a utilização de disjuntor tripolar. No dimensionamento deste dispositivo foram relacionados os três critérios das Equações (4), (5) e (6).

$$\begin{aligned} I_{nm} &< I_{disj} \rightarrow 16,8 < 25 \text{ A} \\ I_{disj} &< I_{cond} \rightarrow 25 < 37 \text{ A} \\ I_2 &\leq 1,45 \cdot I_{cond} \rightarrow 25 \leq 54 \text{ A} \end{aligned}$$

Assim sendo, estabeleceu a utilização de um disjuntor com curva C, possuindo corrente nominal de 5 a 10 vezes a corrente nominal do motor.

No passo seguinte, determinou-se o nível de curto-circuito do sistema, utilizando a Equação (8), considerando o transformador do sistema de 45 kVA. Aplicados os valores da Tabela 9, considerando a distância do circuito de 100 metros e a seção dos condutores de 10 mm², chegou-se ao seguinte resultado para a corrente de curto-circuito:

$$I_{cc} = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{I_{cco}^2} + \frac{100 \cdot \cos \varphi \cdot l}{I_{cco} \cdot S} + \frac{5 \cdot l^2}{S^2}}} \rightarrow I_{cc} = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{1,95^2} + \frac{100 \cdot 0,9 \cdot 100}{1,95 \cdot 10} + \frac{5 \cdot 100^2}{10^2}}}$$

$$I_{cc} = 0,66 \text{ KA}$$

Aplicando a corrente de curto-circuito na relação da Equação (7), com o valor da corrente de interrupção (I_{int}) do disjuntor proveniente do catálogo do fabricante, em que, este é a menor corrente de curto-circuito desse fabricante, tem-se (WEG, 2020c):

$$I_{int} \geq I_{cc} \rightarrow 3 \text{ KA} \geq 0,66 \text{ KA}$$

Analísado o tempo de interrupção que é calculado pelo tempo que o condutor suporta o curto-circuito, utilizado a Equação (11), onde o valor de K foi retirado da Tabela 10, tem-se:

$$t_{cc} = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{cc}} \rightarrow t_{cc} = \frac{135^2 \cdot 10^2}{460}$$

$$t_{cc} = 3962 \text{ s}$$

O valor encontrado se encaixa no critério de tempo, como é mostrado abaixo, onde o tempo de disparo do disjuntor foi retirado do catálogo do fabricante (WEG, 2020c).

$$T_{disp} \leq t_{cc} \rightarrow 2 \leq 3962 \text{ s}$$

Por conseguinte, os parâmetros do disjuntor foram dimensionados e então determinou-se a utilização de um disjuntor tripolar de 20 A, curva C, 380/220 V, 60 Hz com capacidade de interrupção de curto-circuito de 3 KA.

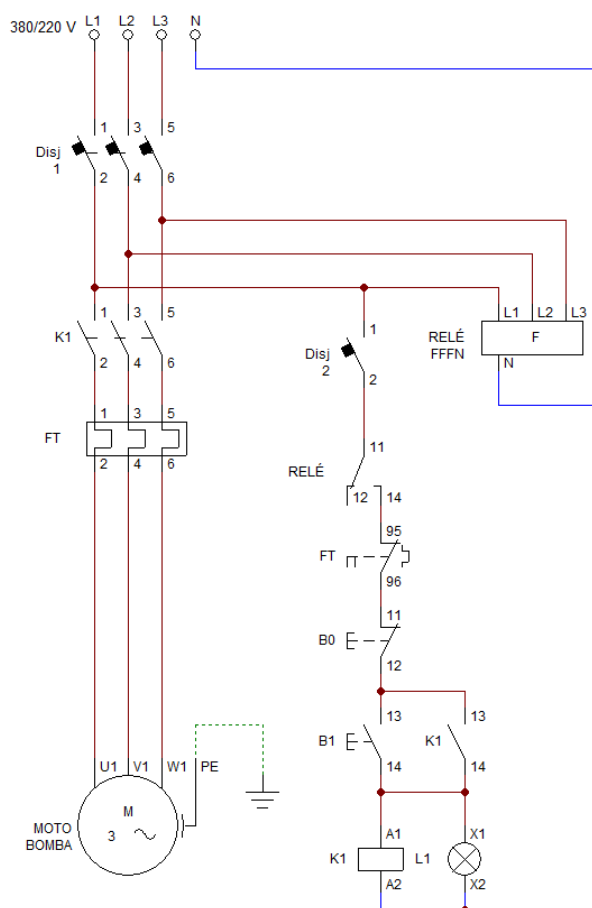
Para proteção do circuito de comando é utilizado a corrente máxima de curto-circuito, descrita no catálogo de fabricante do relé térmico, onde é sugerido um fusível de 6 A. A substituição do fusível por disjuntor é viável neste caso, de modo que este dispositivo é facilmente encontrado no mercado local. Ficando proposta a instalação de um disjuntor monopolar de 6 A, curva C, 220 V, 60 Hz e capacidade de interrupção de 3 KA.

Outro equipamento de proteção exigido pela norma é o relé falta de fase, como o circuito contém as três fases e o neutro o relé deve proteger a todos. O dimensionamento deste dispositivo é simples, ele deve suportar a tensão do sistema 380/220 V, e a frequência da rede. Os ajustes desses equipamentos podem variar conforme o fabricante. Definiu-se a utilização do relé falta de fase e neutro da ALTRONIC. A instalação deste relé é descomplicada pois as três fases são conectadas aos seus bornes L1, L2 e L3, o neutro é conectado ao borne N, e os contatos auxiliares são ligados no início do circuito de comando.

O ajuste do nível de tensão é feito após a instalação. Inicialmente, é girado o regulador totalmente para esquerda no sentido anti-horário, em seguida, se rotaciona lentamente o *trimpot* no sentido horário até o relé ser desabilitado, com isso, encontra-se o ponto onde o aparelho deve atuar. Por fim, deve-se girar um pouco o regulador para a esquerda novamente, ajustando o nível de tensão próximo ao de atuação (ALTRONIC, 2021).

Os últimos equipamentos a serem projetados são as botoeiras e as lâmpadas, usadas para sinalização do sistema, todos devem suportar a tensão de no mínimo 220 V. Com a conclusão do dimensionamento, aplicou-se os valores encontrados no projeto da partida direta no *software*, como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Partida direta.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2.2. Dimensionamento da Partida compensadora no Acionamento da Motobomba

Essa foi a primeira opção para substituição do acionamento direto, com o seu sistema de partida possuindo grande torque inicial e níveis de corrente de partida aceitáveis, sendo uma ótima opção para substituir a chave de partida direta. Como é de conhecimento, nesta partida é utilizado um autotransformador, que reduz a tensão com intuito de suavizar a corrente de partida. Este equipamento é tido como o principal e mais caro do conjunto, no mercado foi encontrado Trafo com valores muito elevados.

Inicialmente, foram definidas as características mínimas do Trafo, onde seus principais parâmetros são: apresentar alimentação em três fios com tensão de 380/220 V; frequência 60 Hz; potência nominal de 20 CV; *taps* de 65 e 80%; nível de curto-circuito superior ao dimensionado na partida direta, ter a mesma quantidade ou maior de partidas por hora do que a motobomba; e dimensões físicas que se adequem ao quadro de comando.

A sugestão de um Trafo com potência nominal superior à do motor se deu devido a possíveis alterações na motobomba, que se por um acaso o nível da água do poço fique abaixo do máximo que o motor de 10 CV possa coletar, a substituição da motobomba será inevitável, devendo ser trocada por outra com potência superior.

Após a seleção do Trafo, fez-se o dimensionamento da contatora K1, que utilizada somente no momento que o motor está em regime nominal. O cálculo é semelhante ao aplicado na partida direta, onde a corrente nominal é multiplicada pelo fator de serviço. Assim, definiu-se uma contatora K1 com corrente nominal de 25 A, tensão 380/220 V, frequência de 60 Hz e no mínimo com quatro contatos auxiliares, sendo dois NA e dois NF.

Para os contadores K2 e K3 utilizou-se a Tabela 17 como referência de cálculos. Resultando nos valores pressupostos das contadoras para cada *tap* e exposto na Tabela 20.

Tabela 20 – Cálculo das correntes das contadores K2 e K3.

Taps	I _{k2} (A)	I _{k3} (A)
80%	10,8	2,7
65%	7,1	3,9
50%	4,2	4,2

Fonte: Adaptado FRANCHI, 2008.

Deve ser considerado o pior caso, onde é encontrado o maior valor de corrente. Para este caso utilizou-se contadoras de no mínimo 18 A para K2 e 9 A para K3, possuindo um contato

NA em K2 e para K3 um NA e NF. Ambas contadoras devem possuir alimentação 380/220 V e frequência de 60 Hz.

O dimensionamento do relé de sobrecarga é semelhante ao dimensionado na partida direta, apresentando o mesmo valor. Sendo assim, utilizou-se um relé térmico que possui na sua faixa de ajuste corrente de 21 A, tensão de 380/220 V e frequência de 60 Hz.

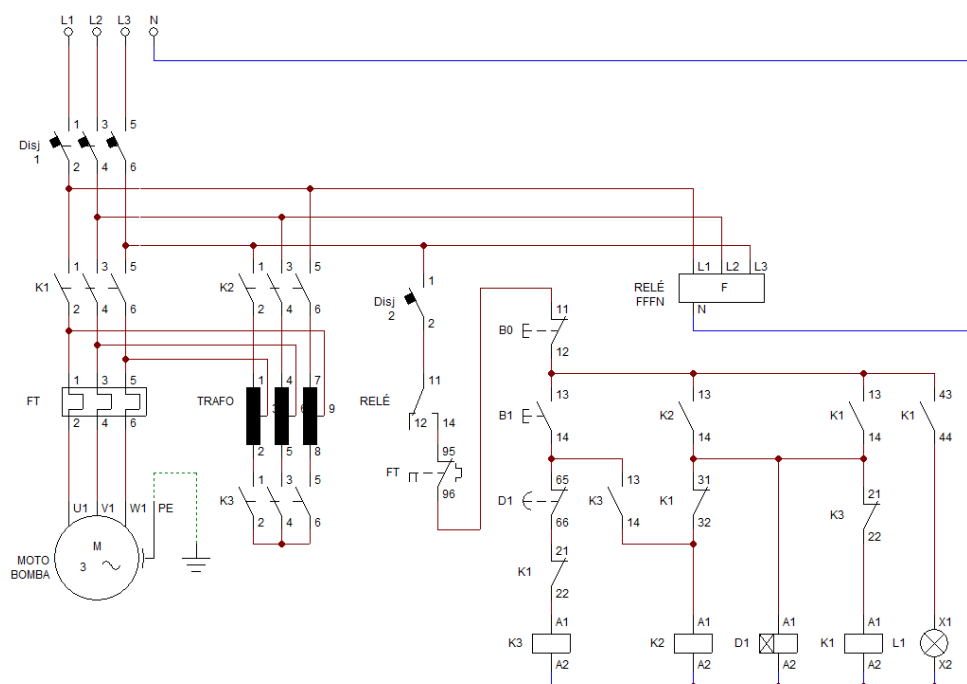
O passo seguinte é a seleção dos condutores, sendo utilizado para o circuito de força cabos com seção mínima de 4mm², de cobre com isolamento de EPR ou XLPE, e para os condutores do circuito de comando empregados cabos de cobre com seção mínima de 0,75 mm² com isolamento EPR ou XLPE.

Para a proteção de seccionamento do circuito utilizou-se um disjuntor termomagnético. O seu dimensionamento é semelhante ao da partida direta, empregando um disjuntor tripolar com corrente nominal de 20 A, curva C, 380/220 V, 60 Hz e proteção para curto-circuito de 3 KA. De maneira análoga, foi adotado um disjuntor monopolar para proteção do circuito de comando, este deve ter as mesmas características citadas anteriormente e corrente nominal de 6 A, com curva de atuação do tipo C.

Nessa partida usa-se também relé temporizado, este tem a função de comandar o tempo que o Trafo permanece acionado. A partida utilizará configuração do relé *ON-delay*, nesta o relé não comuta os contatos após a energização, e sim, no fim do tempo pré-programado. Essa configuração é feita para controlar a alimentação da bobina da contadora K3. A regulagem do tempo pode variar de 10 a 15 segundos, de forma que, no momento da instalação são feitos testes e aplicados ajustes mais precisos. Decidiu-se então a utilização de um relé temporizado com configuração *ON-delay*, que possua pelo menos um contato NF e que apresenta valores compatíveis das configurações básicas do sistema, como tensão, frequência entre outros já citados.

Por fim, selecionou-se as duas botoeiras, uma lâmpada e o relé falta de fase. Estes apresentam dimensões, funções e instalações semelhantes aos citados para a partida direta. Chegando ao diagrama do circuito, ilustrado na Figura 35, da motobomba submersa de 10 CV com a partida compensadora.

Figura 35 – Partida compensadora.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2.3. Dimensionamento da Partida Utilizando *Soft Starter* no Acionamento da Motobomba

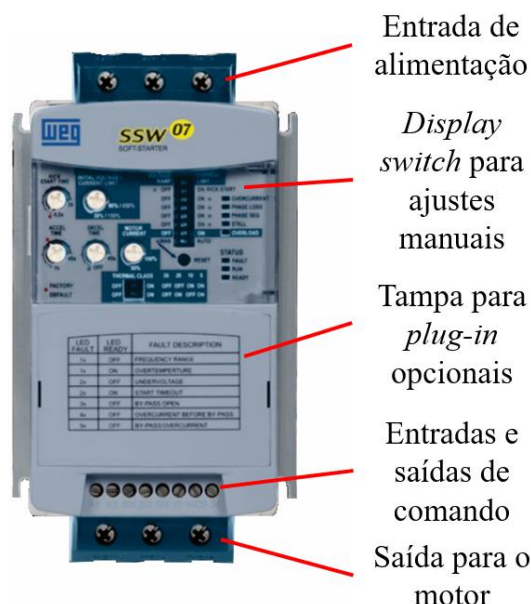
A utilização da *soft starter* na partida de motobombas é bastante vantajosa, devido sua capacidade de suavizar a corrente na partida e consequentemente minimizar o golpe de aríete. Para essa motobomba utilizou-se uma *soft starter* da marca WEG e modelo SSW-07, a seleção desse equipamento se deu devido a marca ser altamente eficiente e pela disponibilidade no mercado nacional.

A *soft starter* SSW-07 possui diversos modelos, variando de acordo com a corrente nominal do equipamento, de 17 a 412 A. O dispositivo com configurações mínimas para a motobomba atual do poço é a de 17 A, no qual, em 380 V, pode ser utilizado para motor de até 10 CV (WEG, 2021b). Como já mencionado, a potência da motobomba pode variar conforme as necessidades do poço, desse modo, utilizou-se um *soft starter* com corrente nominal maior.

Este modelo de *soft starter* apresenta controle nas três fases do motor, sistema de *by pass* incorporado, função rampa de tensão na aceleração e desaceleração, função pulso de tensão, proteção eletrônica integral do motor e relé térmico eletrônico embutido (WEG, 2021b). A

Figura 36, apresenta um modelo da SSW-07. Deve-se destacar essa *soft starter* possui painel para configuração, com diversos *switchs*, *trimpots* e LEDs.

Figura 36 – Soft Starter WEG SSW-07.

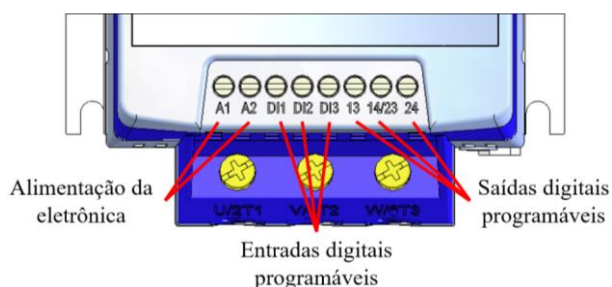


Fonte: Adaptado WEG, 2021b.

Através deste painel é possível configurar a *soft starter* para o acionamento da rampa de tensão na aceleração e desaceleração, pulso de tensão, limitador de corrente de partida, regulagem das proteções e o ajuste dos parâmetros básicos do motor. Também é possível configurar a partida utilizando o módulo IHM, fixado na tampa de *plug-in*. As entradas e saídas de comando, podem ser configuradas de diversas formas, como por exemplo, instalação de botoeiras, lâmpadas, contadores, entre outros dispositivos (WEG, 2019).

O uso correto dos bornes da SSW-07 para o correto funcionamento do acionamento é de suma importância. Na parte superior do equipamento encontram-se os conectores para a entrada de energia do sistema, em que deve ser realizado a análise da sequência de fases para proporcionar a rotação correta na motobomba. Na região inferior do dispositivo encontram-se os bornes de saída para o motor. De maneira análoga aos anteriores, devem ser instalados conforme a sequência de fases corretas. Já os bornes de comando possuem função específica, como mostra a Figura 37 (WEG, 2019).

Figura 37 – Disposição dos bornes de comando.



Fonte: Adaptado WEG, 2019.

Esses modelos de chave possuem um sistema de dissipação de calor incorporado na parte posterior da *soft starter*. A necessidade do dissipador dá-se em razão dos transistores utilizados na ponte retificadora emitirem calor quando em funcionamento. Dessa maneira, o manual do fabricante delimita um espaçamento para alocar a *soft starter*, para o modelo sugerido, deve-se ter distanciamento de 5 centímetros na parte superior e inferior do equipamento. Também são especificadas as dimensões mínimas do painel de comando, onde devem conter no mínimo 80x60x30 centímetros (WEG, 2019).

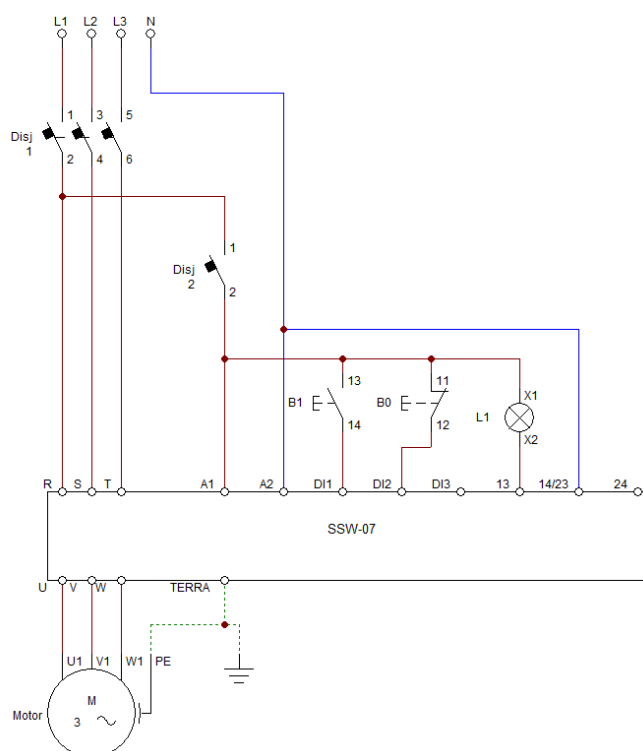
Nesta partida será utilizado um *soft starter*, um disjuntor tripolar, um disjuntor monopolar, duas botoeiras e uma lâmpada. No dimensionamento do disjuntor utilizou-se metodologia análoga a da partida direta, de forma que foi definido um disjuntor tripolar com os seguintes parâmetros: corrente nominal 20 A, curva C; 380/220 V; 60 Hz; e capacidade de interrupção de 3 KA ou superior.

Seguindo as recomendações do manual do fabricante da *soft starter*, deve ser utilizado fusível ou disjuntor para proteção do circuito de comando. Para o problema em análise, sugere-se um fusível com corrente nominal de 2 A do tipo D. Por questão de montagem aconselha-se utilizar um dispositivo do tipo DIN, com corrente nominal de 2 A, curva de atuação do tipo C e as demais características do sistema (WEG, 2019).

Para o dimensionamento dos condutores é utilizado metodologia análoga a da partida direta. Para o circuito de força indica-se condutores de no mínimo 4 mm², de cobre e isolamento EPR ou XLPE. Para o circuito de comando sugerem-se condutores com seção mínima de 0,75 mm², isolamento de EPR ou XLPE.

Os demais equipamentos utilizados na partida, devem suportar os parâmetros básicos do sistema. Chegando-se ao esquema elétrico do sistema ilustrado na Figura 38.

Figura 38 – Esquema elétrico da partida soft starter SSW-07.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A utilização do IHM foi sugerida para este projeto com intuito de otimizar a instalação da partida da motobomba. Para a programação deste modelo de acionamento foi utilizado a tabela do manual do fabricante, que contém as funções necessárias para a programação (WEG, 2015). Como o trabalho em questão utilizará rampa de aceleração, rampa de desaceleração e as proteções, não se necessitou a aplicação de toda a tabela. Dessa maneira, os parâmetros utilizados foram separados por funções e expostos em tabelas, como apresentado a seguir.

O primeiro parâmetro é o P000. Ele tem função de liberar o acesso às demais especificações do equipamento, neste é inserido uma senha (que neste padrão de fábrica é 5). Em seguida, é configurado o parâmetro P219, este seta toda a parametrização para o *display* de *switchs* ou a IHM, nesta função é escolhido o valor 1, referente a configuração via IHM. (WEG, 2015). Com isso, são inseridos os valores para configuração da rampa de aceleração e desaceleração, a Tabela 21 apresenta estes parâmetros.

Tabela 21 – Parâmetros da rampa de aceleração e desaceleração da SSW-07.

Parâmetro	Função (unidade)	Faixa de valores	Utilizado
P101	Tensão inicial da rampa de aceleração (%V)	30 a 90	55%
P102	Tempo da rampa de aceleração (s)	1 a 999	15 s
P103	Degrau de tensão na desaceleração (%V)	99 a 60	60%
P104	Tempo da rampa de desaceleração (s)	1 a 240	6 s
P105	Tensão final de desaceleração (%V)	30 a 55	30%

Fonte: Adaptado WEG, 2015.

O parâmetro P101 em específico é recomendado pelo manual da motobomba. Segundo Leão (2021), quando a motobomba é operada com *soft starter* é indicado a utilização do ajuste de tensão na partida de 55% da tensão nominal da rede. Assim, os parâmetros para as configurações básicas de operação da *soft starter* são definidos e expostos na Tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros das configurações de operação da SSW-07.

Parâmetro	Função	Faixa de valores	Utilizado
P202	Tipo de controle	0 a 5	0 (Rampa de tensão)
P229	Seleção de comandos – situação local	0 a 3	0 (IHM)
P230	Seleção de comandos – situação remoto	0 a 3	1 (Bornes)
P263	Função entrada DI1	0 a 8	1 (start/stop três fios)
P264	Função entrada DI2	0 a 8	1 (start/stop três fios)
P277	Função relé RL1	0 a 9 e 13	1 (em funcionamento)
P295	Corrente nominal (A)	0 a 13	3

Fonte: Adaptado WEG, 2015.

Na configuração dos parâmetros nominais do sistema tem-se a Tabela 23.

Tabela 23 – Parâmetros das configurações nominais do sistema.

Parâmetro	Função (unidade)	Faixa de valores	Utilizado
P400	Tensão nominal do motor(V)	1 a 999	380 V
P401	Ajuste da corrente do motor (%)	30 a 100	56 %
P406	Fator de serviço	1 a 1.5	1

Fonte: Adaptado WEG, 2015.

O parâmetro P401, relaciona a corrente do motor com a corrente nominal da *soft starter* (I_{nss}). A Equação (18), demonstra o modo de calcular esta relação, e o valor a ser utilizado no projeto (WEG,2015).

$$P401 = \frac{I_{nm}}{I_{nss}} \cdot 100\% \quad (18)$$

$$P401 = 56\%$$

As proteções executadas pela *soft starter* são várias, suas configurações são realizadas conforme a Tabela 24.

Tabela 24 – Parâmetros das proteções da SSW-07.

Parâmetro	Função (unidade)	Faixa de valores	Utilizado
P610	Falta de fase ou subcorrente imediata (%)	1 a 80	80%
P612	Sobrecorrente imediata (s)	1 a 200	100%
P614	Desbalanceamento de corrente entre fases (%)	0 a 30	15%
P620	Sequência de fases RST	0 a 1	1
P640	Classe térmica de proteção do motor	0 a 6	6

Fonte: Adaptado WEG, 2015.

Finalizou-se o projeto e dimensionamento para este modelo de partida com os parâmetros de leitura, dispostos na Tabela 25. Estas especificações, neste caso, têm função unicamente de leitura, possibilitando a análise de diversas grandezas do sistema.

Tabela 25 – Parâmetros de leitura da SSW-07.

Parâmetro	Função (unidade)	Faixa de valores
P001	Corrente da soft starter (%)	0 a 999.9
P002	Corrente do motor (%)	0 a 999.9
P003	Corrente do motor (A)	0 a 6553
P007	Tensão imposta pela soft starter sobre a carga (%)	0 a 100
P020	Erro atual	0 a 99
P030	Corrente na fase R (A)	0 a 6553
P031	Corrente na fase S (A)	0 a 6553
P032	Corrente na fase T (A)	0 a 6553
P050	Estado da proteção térmica do motor (%)	0 a 250

Fonte: Adaptado WEG, 2015.

O painel de leitura da IHM apresenta mensagens específicas e dentre todos os códigos mostrados, três deles são de grande importância, *rdy*, *PASS* e *Exx*. Quando o sistema está normalizado e o motor está estacionado a IHM apresenta a mensagens *rdy*, isso significa, que

a *soft starter* está pronta para ser acionada. Outro código é apresentado no fim da partida, quando o sistema de *by pass* é ativado, a IHM mostra a mensagem *PASS*. A mensagem com maior importância é a *Exx*, esta é referente aos erros, onde, o código específico do erro pode ser lido no parâmetro P020, que apresenta o erro atual e, com esse código deve-se analisar o manual do fabricante e identificar o que ocasionou o erro (WEG, 2015).

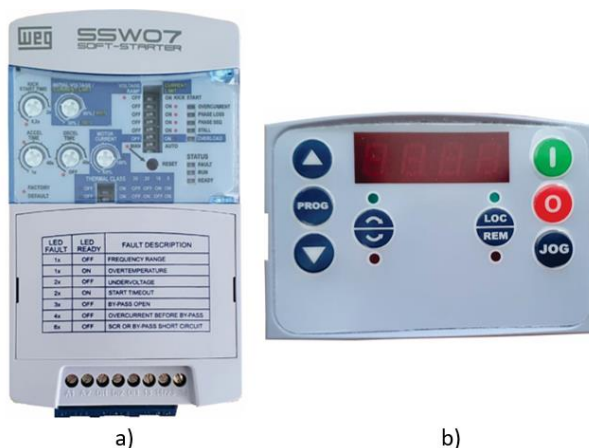
4.3. MONTAGEM DA PARTIDA *SOFT STARTER*

Com os modelos de partidas dimensionados, escolheu-se o método de acionamento com a *soft starter*. Esse modelo traz diversas vantagens tanto para a vida útil da motobomba quanto para os sistemas elétrico e hidráulico, também possuindo valor de aquisição semelhante a partida compensadora. Devido a suas funções de aceleração e desaceleração em rampa de tensão e as suas proteções embutidas em um só equipamento, é extremamente vantajoso a utilização desse método de acionamento.

Com isso realizou-se a aquisição dos materiais necessários para a instalação do quadro de comando, seguindo as especificações feitas anteriormente no dimensionamento da partida *soft starter*.

A *soft starter* escolhida foi a SSW-07 de 30 A. Esse modelo suporta potência de até 20 CV em 380 V (WEG, 2021b). Como citado anteriormente, a utilização de *soft starter* com potência maior do que a motobomba foi aconselhado, devido a possíveis substituições do motor por outro de maior potência. Para complementar a programação da *soft starter* é utilizado uma IHM local, que possui compatibilidade com o modelo SSW-07. A Figura 39, apresenta os equipamentos adquiridos. Em a) tem-se a vista frontal da *soft starter* em b) demonstra-se a vista frontal da IHM.

Figura 39 – Chave soft starter SSW-07 e IHM local a) Vista frontal da soft starter b) vista frontal do módulo de comunicação local IHM.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o quadro de comando, encontrou-se dificuldade na obtenção do mesmo. No comércio local não se encontrou painel de comando elétrico com dimensões de 80x60x30 centímetros. O único painel com dimensões próximas das sugerida pelo manual do fabricante foi encontrado com dimensões de 39x33x23 centímetros, mesmo possuindo proporções menores do que o sugerido e projetado, foi possível alocar todos os componentes no quadro.

Para a proteção do circuito utilizou-se disjuntores termomagnéticos, onde no circuito de força será utilizado um disjuntor tripolar de 32 A, curva C e capacidade de interrupção de corrente de 3 KA. No circuito de comando, será utilizado um fusível ou disjuntor de 2 A com curva C. Esses equipamentos com essas características não foram encontrados no mercado local, dessa forma substituiu-se por um disjuntor termomagnético monopolar de 6 A, com curva C e nível de curto-circuito de 3 KA. A Figura 40, apresenta os equipamentos de proteção instalados no painel de comando.

Figura 40 – Disjuntores termomagnéticos para proteção e seccionamento do circuito.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Em seguida, adquiriu-se os trilhos para fixação dos componentes, as canaletas abertas de PVC, para organização dos condutores, e os conectores tipo *sak*, utilizados na conexão dos condutores de entrada e saída do painel. Com estes componentes iniciou-se a instalação dos equipamentos na placa.

O primeiro passo para a montagem do quadro de comando se deu na marcação dos pontos de cada componente. Em seguida, são fixados os trilhos, a *soft starter* e as canaletas. Logo após, alocou-se as peças em seus devidos lugares. A Figura 41, mostra o fim desta etapa de montagem.

Figura 41 – Fixação dos componentes na placa do quadro de comando.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os condutores utilizados para o circuito de força possuem seção de 6 mm² com isolamento XLPE, esse diâmetro de cabo foi optado pois a *soft starter* possui corrente nominal de 30 A. Para o circuito de comando utilizou-se condutor de 0,75 mm², com isolamento XLPE. Outros componentes utilizados neste passo da instalação foram os identificadores de circuito e os terminais de cabos, utilizando-se de conectores tipo ilhós, forquilha e anel. O circuito de força montado no quadro é apresentado na Figura 42.

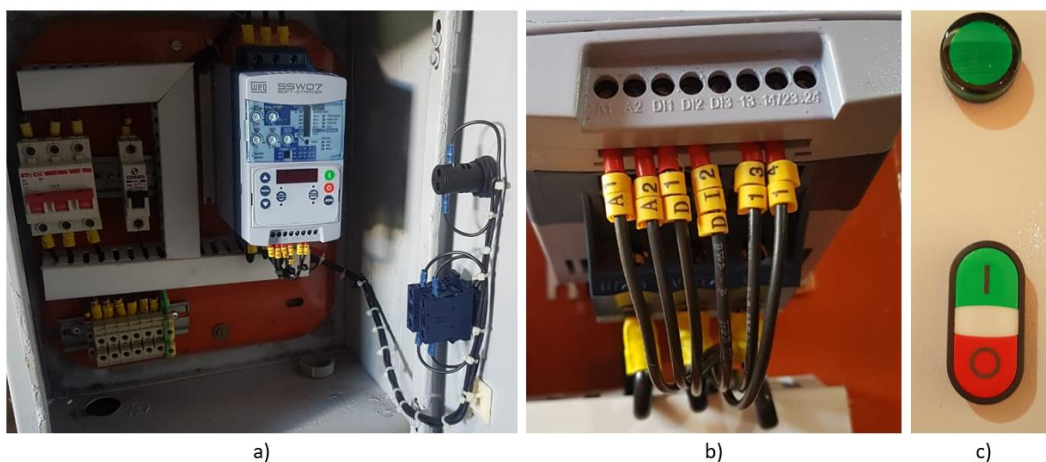
Figura 42 – Ligação do circuito de força.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Posteriormente, instalou-se as botoeiras e a lâmpada de sinalização. Para esta etapa necessitou-se furar a tampa do quadro para alocar os dispositivos. Por fim, instalou-se a placa no quadro de comando, e realizou-se as ligações do circuito de comando. A Figura 43, apresenta o quadro de partida finalizado, em a) expõe-se a vista de todos os componentes instalados, em b) tem-se a vista da ligação do circuito de comando da *soft starter* e em c) apresenta-se a posição da lâmpada de sinalização e as botoeiras.

Figura 43 – Quadro de comando finalizado a) Vista da partida finalizada b) Ligação do circuito de comando da soft starter c) Vista frontal da lâmpada de sinalização e botoeiras.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como citado anteriormente e visto no projeto dos dispositivos, o esquema de ligação utilizado será o *start\stop* a três fios, onde DI1 será conectado com a botoeira de ligar e DI2 a botoeira de desliga. O relé 1 da saída 13 e 14 está configurado com a programação em funcionamento para acionar a lâmpada.

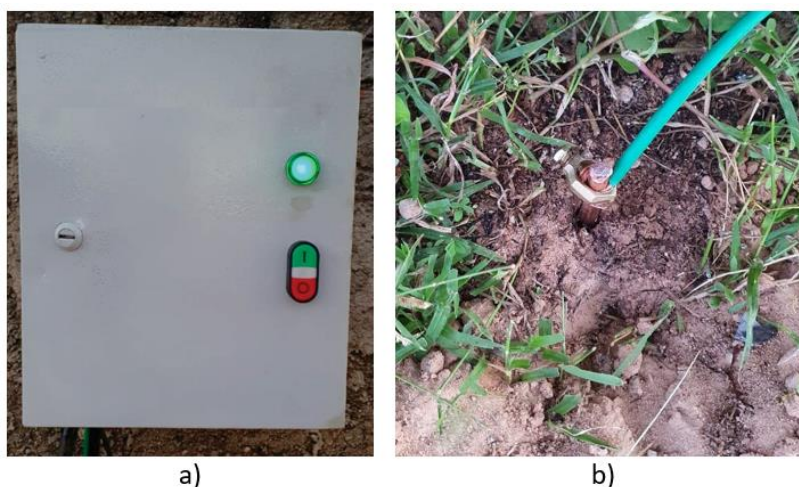
Na etapa seguinte, configurou-se a *soft starter*, os parâmetros alterados e seus respectivos valores foram idênticos aos do dimensionamento nas Tabelas 21 a 24.

Em seguida, certificou-se o local de instalação do quadro de comando. Fixou-se o novo quadro na estrutura de alvenaria já existente e fez-se o aterramento próximo ao quadro instalado. Realizou-se, os testes de sequência de fase, sendo feito o acionamento da motobomba e verificado se após o tempo de partida, houve fluxo de água na saída do poço.

Segundo Leão (2021), a motobomba não deve permanecer ligada na direção contrária por mais de três minutos. Com o teste realizado, no tempo inferior ao estipulado pelo fabricante, verificou-se que não havia presença de água na saída do poço, então, alterou-se a posição de duas fases do sistema e como consequência inverteu-se o sentido de giro. Logo, o motor funcionou em plena operação de suas funções.

A Figura 44, apresenta imagens do quadro de comando em funcionamento, em a) apresenta-se a vista frontal do quadro de comando instalado, e em b) o sistema de aterramento do mesmo.

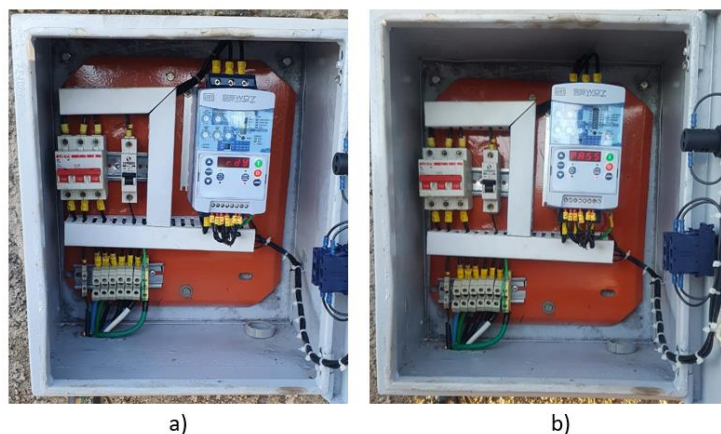
Figura 44 – Fixação do quadro de comando com seu aterramento a) Vista frontal do quadro de comando em funcionamento b) Aterramento da partida.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A Figura 45, apresenta o sistema em funcionamento com destaque para as mensagens de sinalização mostradas pela IHM. Em a) tem-se a mensagem que informa que a *soft starter* está pronta para partir, e em b) anuncia o funcionamento do sistema de *by pass*.

Figura 45 – Quadro de comando e suas mensagens de estado a) *Soft starter* pronta para o acionamento b) *Soft starter* com o *by pass* acionado.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Foram executados também testes de funcionamento semelhantes aos realizados na antiga partida do motor (partida direta). Estes testes consistiram em parametrizar e comparar os índices de queda de tensão e elevação da corrente de partida no momento do acionamento da motobomba. Para o estudo dos valores utilizou-se os parâmetros de leitura da *soft starter* apresentados anteriormente na Tabela 25. Nesta etapa foram utilizados alicates amperímetros e multímetros para realizar as leituras dos valores. Com os testes realizados gerou-se a Tabela 26.

Tabela 26 – Parâmetros aferidos na nova partida da motobomba.

Parâmetros	Partida direta	Partida soft starter
Tensão da rede V_{rede}	417 V	406 V
Tensão da rede na partida	409 V	400 V
Queda de tensão na partida	1,92%	1,48%
Tensão inicial aplicada no motor na partida V_p	409 V	224 V
Tampo da partida	7 s	15 s
Tensão nominal do motor V_{nm}	410 V	400 V
Corrente nominal do motor I_{nm}	14,1 A	13 A
Tensão de desligamento aplicada no motor V_{di}	0 V	280 V
Tempo de desligamento	0 s	6 s

Fonte: Autoria própria.

De modo geral, o método de partida utilizado, trouxe diversas vantagens.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo sobre métodos de acionamento de motores de indução trifásicos, analisando o comportamento destas partidas através de parâmetros como: redução da corrente de partida, estabilização da variação de tensão na partida, redução do golpe de aríete e custo-benefício dos equipamentos. O trabalho também buscou adequar o método de acionamento para entrar em conformidade com a norma DIS-NOR-030 da COSERN.

As chaves de partida projetadas foram a direta, compensadora e *soft starter*. Selecionando-se o método de acionamento utilizando a *soft starter*, que apesar de possuir alto valor de mercado, esta traz tantas vantagens para o caso estudado que o custo a longo prazo se torna baixo. A chave de partida compensadora foi descartada devido apresentar valores elevados no mercado local e não reduzir satisfatoriamente o golpe de aríete no sistema hidráulico do projeto.

Finalizando o estudo utilizou-se o modelo de *soft starter* SSW-07 da WEG, com corrente nominal de 30 A, onde foram habilitadas as funções de rampa de tensão na aceleração e na desaceleração. Nos testes realizados observou-se uma redução na queda da tensão da rede no momento da partida, outra vantagem observada, com a utilização da rampa de tensão na partida, onde, foi o aumento suave do fluxo de água na saída do poço até chegar à vazão normal do sistema, o mesmo aconteceu no desligamento da motobomba.

A redução do golpe de aríete a curto prazo foi a maior vantagem no novo sistema, de modo que, na antiga partida eram realizadas manutenções e trocas de dispositivos no sistema hidráulico e elétrico constantemente, eram substituídas curvas de cano e registros corriqueiramente. Analisando a longo prazo, com o modelo de partida suave a motobomba não sofrerá com as bruscas variações de torque, prolongando a vida útil das suas peças internas. Também a longo prazo é possível proteger os enrolamentos internos do motor com todas as proteções embutidas na *soft starter*.

De maneira geral, a substituição da partida trouxe vantagens que são: redução dos desgastes do sistema elétrico e hidráulico do poço, possuir conformidade com a norma regulamentadora local e apresentar maior segurança para os usuários.

Diante de todas as observações feitas no presente trabalho, ficam como recomendações para trabalhos futuros:

- Instalação de sensores de nível para otimizar as proteções da motobomba;
- Instalação de acionamento remoto;

- Instalação de sistema fotovoltaico.

6. REFERÊNCIAS

ALTRONIC. **Relés de Proteção ALTRONIC**: ficha técnica. Ficha Técnica. Disponível em: <https://www.salfatis.com.br/wp-content/uploads/2018/07/Rel%C3%AAs-de-N%C3%ADvel-ALTRONIC-rsf-e-fsn.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

AMARAL, Rodrigo Sarmiento do. **APLICAÇÃO DA SOFT-STARTER PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO ACOPLADOS A DIFERENTES TIPOS DE CARGAS MECÂNICAS**. 2013. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ASSIS, Rosenaldo Campos de. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ENSAIOS DE LABORATÓRIO E SIMULAÇÕES NO AMBIENTE MATLAB/SIMULINK® DA PARTIDA DO MIT UTILIZANDO CONTROLADOR DE TENSÃO TRIFÁSICO (PARTIDA SUAVE)**. 2021. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Coordenação de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17094-1:2018**: Máquinas elétricas girantes. Parte 1: Motores de indução trifásicos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2018. 69 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:2004**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 209 p.

BASOTTI, Márcio Rogério. **Eletricidade**: instalações industriais. Sapucaia do Sul: Centro de Educação Profissional Senai de Eletromecânica, 2002. 124 p.

BRUNA, Breno Pereira Dela; CONTESSI, Gustavo; ROSSETTI, Matheus; ROSSO, Pedro Henrique di Francia; TASSI, Reginaldo. **ESTUDO DE ACIONAMENTOS DAS CHAVES DE PARTIDAS ELÉTRICAS E ELETRÔNICAS PARA MOTORES ELÉTRICOS** Breno. **1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense**: SICT-Sul, Criciúma, v. 3, n. 1, p. 504-512, 2012.

CADe SIMU: Simulador de comandos elétricos e automação pneumática. Versão 4.0. 2020. Disponível em: <https://www.cadesimu.net/> Acesso em: 12 abr. 2021.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. **Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções**. In: INTER-AMERICAN DIALOGUE ON WATER MANAGEMENT, 4., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

CHAPMAN, Stephen J.. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5. ed. São Paulo: Amgh Editora Ltda, 2013. 684 p. Tradução: Anatólio Laschuk.

COELHO, Paulo José Stival. **ESTUDO DA PARTIDA DE MOTOR DE INDUÇÃO DE GRANDE PORTE EM AMBIENTE DE REDE ELÉTRICA FRACA**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 502 p. Atualização e Revisão: Luiz Sebastião Costa.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2008. 250 p.

LEÃO, Bombas. **Manual de Instruções**: motobombas, bombeadores e motores submersos. Motobombas, Bombeadores e Motores Submersos. 2021. Elaborado por: Franklin Electric. Disponível em: https://bombasleao.blob.core.windows.net/media/287419/web_leao_manual_geral_04-2021.pdf. Acesso em: 02 maio 2021.

LEÃO, Bombas. **Motobombas Submersas**: s40. S40. 2017. Elaborado por: Franklin Electric. Disponível em: https://bombasleao.blob.core.windows.net/media/276943/2017_1-folder-site-s40.pdf. Acesso em: 02 maio 2021.

LIMA, Marco Rogério Calheira. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO PARA PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS COM CONTROLE PROGRAMÁVEL DA AMPLITUDE DA CORRENTE DE PARTIDA**. 1998. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.

LOPO, Eduardo Brito. **MODELAGEM DE MÉTODOS DE PARTIDA DE MIT UTILIZANDO MATLAB/SIMULINK**. 2014. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharel em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. 9. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017. 2299 p.

NANES, Patrícia Lanne Marques de Farias; NANES, Dayan Pereira; FARIAS, Sylvia Elaine Marques de. **QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POÇOS TIPO CACIMBA**: um estudo de caso da comunidade nascerça - município de são sebastião - Al. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., 2012, Goiânia. **Congresso**. 2012: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012. p. 1-12. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VIII-024.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

NEOENERGIA. **DIS-NOR-030**: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais. Neoenergia, 2020. 116 p. Disponível em: <https://servicos.cosern.com.br/residencial-rural/Documents/normas-padroes/-030-Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Secund%C3%A1ria%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20a%20Edifica%C3%A7%C3%B5es%20Individuais.pdf>. Acesso em: 02 maio 2021.

NERY, Norberto. **Instalações Elétricas**: norma NBR 5410/04. 3. ed. São Paulo: Eltec, 2005. 277 p.

OLIVEIRA FILHO, Delly; RIBEIRO, Marcos C.; MANTOVANI, Everardo C.; SOARES, Antônio A.; FERNANDES, Haroldo C. DIMENSIONAMENTO DE MOTORES PARA O BOMBEAMENTO DE ÁGUA. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, p. 1012-1022. Não é um

mês valido! 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a03v30n6>. Acesso em: 04 maio 2021.

SIEMENS. **Minidisjuntores 5SL, 5SY e 5SP**: A proteção adequada para cada tipo de projeto. São Paulo: SIEMENS Engenhosidade para a vida, 2018. Disponível em: <https://www.siemens.com.br/protecao>. Acesso em: 02 mar. 2021.

SOUSA, M. D. **SOFTSTARTER – POSSIBILIDADE DE MELHORIA NA EFICIÊNCIA DO ACIONAMENTO DE MOTORES E BOMBAS HIDRAULICAS**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVI, Nº. 000079, 27/01/2016. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/softstarter-possibilidade-de-melhoria-na-eficiencia-do-acionamento-de-motores-e-bombas>. Acessado em: 08 mar. 2021.

TEIXEIRA, Angélico Loreto. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO COMO ALTERNATIVA AO MÉTODO ELETROMECAÂNICO DE PARTIDA COMPENSADA SEQUENCIAL DE MOTORES ELÉTRICOS**. 2019. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.

WEG. **Disjuntores-Motores MPW: Manobra e Proteção de Motores Elétricos até 100A**: catálogo técnico. 35. ed. Jaraguá do Sul: Weg, 2014. 48 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h1b/h43/WEG-disjuntores-motores-linha-mpw-50009822-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2021.

WEG. **FUSÍVEIS AR E GL/GG TIPO NH CONTATO FACA, NH FLUSH END E DIAMETRAL**: a proteção adequada para a sua aplicação. Jaraguá do Sul: Weg, 2021a.

WEG. **RELÉ ELETRÔNICOS**: solução compacta e segura para diversas aplicações. Jaraguá do Sul: Weg Automação, 2020a. 28 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hb4/h1d/WEG-reles-temporizadores-protetores-e-de-nivel-50009830-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2021.

WEG. **RW – RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICOS**: Alta tecnologia e segurança na proteção de motores elétricos. Jaraguá do Sul: Weg Automação, 2020b. 28 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h3f/h86/WEG-reles-de-sobrecarga-termico-linha-rw-50042397-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

WEG. **Soft Starter: SSW07**: manual do usuário. Jaraguá do Sul: Weg, 2019. 168 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8f/h39/WEG-SSW07-user-manual-0899.5832-en-es-pt.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

WEG. **Soft Starter: User's Guide**: catálogo técnico. Duluth: Weg, 2009. 232 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hc0/he9/WEG-soft-starter-manual-usass11-brochure-english.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

WEG. **Soft-Starter: SSW-07 / SSW-08**: Manual de Programação. ed. Jaraguá do Sul: Weg, 2015. 42 p. Disponível em: https://www.eser.com.br/documentos_sistema/9d7a3aad8f2226a4862ada8f4f900e9b.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

WEG. SOFT-STARTERS: Tecnologia avançada para partida suave de motores elétricos: catálogo técnico. 14. ed. Jaraguá do Sul: Weg, 2021b. 24 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hca/h04/WEG-soft-starters-10525004-catalogo-pt.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2021.

WEG. SOLUÇÕES INTEGRADAS PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS: proteção completa para sua instalação. Jaraguá do Sul: Weg Automação, 2020c. 48 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h97/hb6/WEG-solucoes-integradas-para-instalacoes-eletricas-50009824-pt.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2021.

WEG. W12: Motor elétrico monofásico e trifásico: catálogo técnico. 4. ed. Jaraguá do Sul: Weg, 2021c. 20 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2e/h40/WEG-W12-motor-eletrico-monofasico-e-trifasico-50084475-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.