Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia

PROPOSTA DE PRÁTICA COM *SOFT-STARTER* PARA O LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE DA FGA

Autor: Renato Gomez Rabello
Orientador: Flávio Henrique J. R. Da Silva

Brasília, DF
2016

RENATO GOMEZ RABELLO

PROPOSTA DE PRÁTICA COM *SOFT-STARTER* PARA O LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE DA FGA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Flávio Henrique J. R. Da Silva

Brasília, DF
2016

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Rabello, Renato Gomez.
Proposta de Prática com *Soft-Starter* para o Laboratório de Eletricidade da FGA / Renato Gomez Rabello. Brasília: UnB, 2016. 74 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Orientação: Flávio Henrique J. R. Da Silva.

1. *Soft-Starter*. 2. Motor de Indução Trifásico. 3. Método de Partida. 4.Corrente de Partida I. Da Silva, Flávio. II. Proposta de Prática com *Soft-Starter* para o Laboratório de Eletricidade da FGA.

CDU Classificação

PROPOSTA DE PRÁTICA COM *SOFT-STARTER* PARA O LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE DA FGA

Renato Gomez Rabello

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, apresentada e aprovada, em 01 de julho de 2016, pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Doutor: Flávio Henrique J. R. Da Silva, FGA/ UnB
Orientador

Prof. Doutor: Luís Filomeno Fernandes, FGA/ UnB
Examinador interno

Prof. Phd: Felix Martin Carbajal Gamarra, FGA/ UnB
Examinador interno

Brasília, DF
2016

“Sonhar é importante, mas o sonho é apenas o combustível do motor das realizações. Sonho sem atitude é delírio.” Carlos Hilsdorf

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo apoio e paciência. Em especial aos meus pais por tudo que fizeram e fazem por mim.

Ao meu orientador, Flávio Henrique, pelo apoio e compromisso com minha orientação.

Aos professores que se dedicaram a me transmitir conhecimento de forma profissional e cordial.

À minha namorada, Renata Fleury, e aos meus amigos que me incentivaram e encorajaram nessa longa jornada.

RESUMO

A procura por métodos, eficazes, de controlar a corrente de partida de motores de indução trifásico está cada vez maior. Com o desenvolvimento da indústria e a utilização de motores mais potentes necessita-se de dispositivos mais confiáveis e desenvolvidos para fazer o controle da corrente, evitando danos à rede e aos componentes conectados a ela. Sendo a *Soft-Starter* uma chave de partida com alta tecnologia e difundida na indústria, é importante que o aluno de graduação tenha conhecimentos teóricos e práticos a respeito do seu funcionamento e utilização. Desta forma esse trabalho tem como tema central a utilização da chave de partida estática (*Soft-Starter*) para controlar a corrente de partida de motores de indução trifásicos. Apresenta-se uma proposta de prática utilizando a função rampa de tensão da *Soft-Starter* para partir um motor de indução trifásico.

Palavras-chave: *Soft-Starter*, motor de indução trifásico, método de partida, corrente de partida

ABSTRACT

The demand for effective methods to control the starting current of three-phase induction motors is increasing. With the development of industry and the use of more powerful engines, it is require reliables and developed power control devices, preventing damage to the network and the components connected to it. The Soft-Starter is a control device with high technology and widespread in the industry, and it is important that the graduate student has theoretical and practical know*LEDs*ge about their functions and uses. Thus, this work aims on the use of the static starter (Soft-Starter) to control the inrush current of induction motors. Presenting a proposal for practice setting up the voltage ramp function of the Soft-Starter to starts a three-phase induction motor.

Keywords: Soft-Starter, three-phase induction motor, start-up method, inrush current.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Graus de proteção adaptado.....29
Tabela 2 - Classes de isolamento 30
Tabela 3 - Tipos de regime de serviço adaptada 31
Tabela 4 - Características modelo Soft-Starter WEG.....58
Tabela 5 - Parâmetros iniciais.....62
Tabela 6 - Parâmetros saídas a Relé.....63
Tabela 7 - Parâmetros para acionar via chave seletoras 63
Tabela 8 - Parâmetros tensão inicial e tempo da rampa 64
Tabela 9 - Descrição parâmetros 64
Tabela 10 - Corrente de partida em função do tempo de aceleração 65
Tabela 11 - Corrente de partida em função da tensão inicial 65
Tabela 12 - Tempo aceleração e corrente de partida.....71
Tabela 13 - Tensão inicial e corrente de partida 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais componentes MIT.....21
Figura 2 - Caixa de ligação MIT 21
Figura 3 - Curva de conjugado vs. velocidade das diferentes categorias 28
Figura 4 - Ligação em estrela 32
Figura 5 - Ligação em triângulo 33
Figura 6 - Placa de identificação do MIT.....33
Figura 7 - Comparação entre os métodos de partida direta e Y-△.....37
Figura 8 - Comparação partida direta e por chave compensadora.....38
Figura 9 - Comparativo entre os métodos de partida 40
Figura 10 - Representação esquemática do tiristor 42
Figura 11 - Circuito de disparo do SCR 42
Figura 12 - Estrutura simplificada de ligação da Soft-Starter.....44
Figura 13 - Par de tiristores em antiparalelo 45
Figura 14 - Relação ângulos de disparo e tensão.....45
Figura 15 - Circuito Snubber.....46
Figura 16 - Rampa de tensão na aceleração.....47
Figura 17 - Rampa de desaceleração.....48
Figura 18 - Limitação de corrente 49
Figura 19 - Função Kick Start 50
Figura 20 - Controle de torque.....52
Figura 21 - Fusíveis 16A.....55
Figura 22 - Contator tripolar.....55
Figura 23 - Sinaleiro LEDs.....56
Figura 24 - Chave seletora.....57
Figura 25 - Motor de indução trifásico.....57
Figura 26 - Soft Starter SSW06 58
Figura 27 - Interface homem máquina.....59
Figura 28 - Circuito de potência.....60
Figura 29 - Circuito de comando.....61
Figura 30 - Circuito de potência aluno 67
Figura 31 - Circuito de comando aluno.....68

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
IHM	Interface Homem Máquina
IP	*Instrisic Protection* (Proteção Intrínseca)
MIT	Motor de Indução Trifásico
SCR	*Silicon Controled Rectifier* (Retificador Controlado de Silício)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1 MOTIVAÇÃO 18

1.2 OBJETIVOS 19

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 19

2. MOTOR DE INDUÇÃO 20

2.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MIT 20

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO 22

2.2.1 Campo Girante 22

2.2.2 Velocidade Síncrona 23

2.2.3 Escorregamento 23

2.2.4 Conjugado e Potência 24

2.2.5 Fator de Potência 25

2.2.6 Rendimento 25

2.3 CARACTERÍSTICA DOS MOTORES TRIFÁSICOS 26

2.3.1 Potência Nominal 26

2.3.2 Tensão Nominal 26

2.3.3 Corrente Nominal 26

2.3.4 Frequência Nominal 26

2.3.5 Perdas no Motor 27

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS 27

2.4.1 Categoria do Conjugado 27

2.4.2 Graus de Proteção 29

2.4.3 Classe de Isolação 30

2.4.4 Regime de Serviço 31

2.4.5 Fator de Serviço (FS) 32

2.5 TIPOS DE LIGAÇÃO 32

2.5.1 Configuração em Estrela (Y) 32

2.5.2 Configuração em Triângulo (△) 33

2.6 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO MOTOR 33

3. MÉTODOS DE PARTIDA 35

3.1 PARTIDA DIRETA 35

3.2 PARTIDAS INDIRETAS 36

3.2.1 Estrela – Triângulo 36

3.2.2 Compensadora (com Autotransformador) 37

3.3 PARTIDAS ELETRÔNICAS 38

3.3.1 Partida Estática com *Soft-Starter* 38

3.3.2 Inversor de Frequência 39

4. SOFT-STARTER 40

4.1 VISÃO GERAL 40

4.2 TIRISTOR SCR (*SILICON CONTROLLED RECTIFIER*) 41

4.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO 43

4.4 PRINCIPAIS FUNÇÕES 47

4.4.1 Rampa de Tensão 47

4.4.2 Limitação de Corrente 49

4.4.3 *Kick Start* 50

***4.4.4* *Pump Control* 50**

***4.4.5* Economia de Energia 51**

***4.4.6* Controle *de* Torque 51**

4.5 APLICAÇÃO 53

5. PRÁTICA COM SOFT-STARTER 54

5.1 MATERIAIS 54

5.1.1 Fusíveis 54

5.1.2 Contator Tripolar 55

5.1.3 Sinaleiro de LED 56

5.1.4 Chaves Seletoras 56

5.1.5 Motor trifásico 57

5.1.6 Soft Starter 57

5.2 DIAGRAMAS ELÉTRICOS 60

5.3 AJUSTES DE PARÂMETROS INICIAIS 61

5.4 ETAPAS DE REALIZAÇÃO DA PRÁTICA 62

5.5 ROTEIRO PARA REALIZAÇÃO DA PRÁTICA PELO ALUNO 67

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 72

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Os motores elétricos são máquinas destinadas a transformar energia elétrica em energia mecânica. Dentre os motores elétricos o motor de indução trifásico se destaca devido sua simplicidade, robustez e baixo custo. Este motor opera com uma velocidade constante que varia razoavelmente com a carga que é aplicada ao eixo. Devido suas características é considerado um motor adequado para quase todo tipo de aplicação na indústria (Brito, 2007).

A partida de um motor de indução trifásico (MIT) depende do torque eletromagnético, que é produzido da interação entre o fluxo produzido pelo estator e a corrente induzida no rotor. Devido à inércia do rotor, a corrente de partida do motor tende a ser elevada, já que o torque eletromagnético precisa ser maior que o torque mecânico da carga, para que haja movimento do rotor (Amaral, 2014).

Segundo Brito (2007) para iniciar o movimento de motores de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo, os mais utilizados na indústria, é necessário uma corrente de partida em torno de 4 a 10 vezes maior que corrente nominal do motor. Esse elevado valor de corrente, quando relacionado a motores de maiores proporções, pode acarretar em danos a rede elétrica como queda de tensões temporárias, provocando desgaste a outras máquinas ligadas a rede, e ao próprio motor.

Como alternativa para redução da elevada corrente de partida de motores existem métodos eletromecânicos de partida, como a partida estrela-triângulo, partida com chave compensadora, as partidas eletrônicas que utilizam o *Soft-Starter* e em alguns casos inversores de frequência. Esses métodos reduzem a corrente de partida controlando a tensão aplicada aos terminais do motor.

Com o avanço da eletrônica de potência e a necessidade de métodos mais confiáveis e desenvolvidos, a chave de partida estática *Soft-Starter* (partida suave) tem se popularizado na indústria.

1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho é dedicado a propor uma prática com a chave de partida *Soft-Starter*, para ser aplicada e realizada pelos alunos do curso de “Conversão Eletromecânica de Energia” da Faculdade do Gama (FGA/UnB) no Laboratório de Eletricidade Aplicada. A *Soft-Starter* SSW06 é um equipamento disponível no laboratório da faculdade, assim como todos os equipamentos necessários para a realização da prática.

O aluno terá um primeiro contato prático com a chave de partida *Soft-Starter*. A atividade permitirá ao aluno programar a chave *Soft-Starter* para acionar o motor na função rampa de tensão, a qual apresentará uma maior ou menor redução de corrente de partida dependendo da parametrização executada pelo aluno.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está organizado em 5 capítulos, sendo o segundo dedicado a apresentar o motor de indução trifásico, com seu princípio de funcionamento, suas principais características e classificações. O terceiro referente aos principais métodos de partidas direto, indiretos e eletrônicos.

O quarto capítulo é destinado a apresentar a *Soft-Starter*. Abordando os aspectos gerais do dispositivo, seus principais componentes, seu principio de funcionamento, as diversas funções executáveis e sua aplicabilidade na indústria.

Por fim, o capítulo cinco, apresenta detalhadamente as explicações da prática. Descrevendo os principais componentes que compõe a bancada didática para realização da prática. Assim como um roteiro que permite que o aluno execute a prática e responda a questões referente a utilização da chave de partida *Soft-Starter*.

2. MOTOR DE INDUÇÃO

O motor de indução possui esse nome devido ao seu principio de funcionamento, onde a tensão do rotor é induzida nos enrolamentos do rotor em vez de ser fornecida por fontes externas. Essa tensão induzida é a responsável em produzir a corrente e o campo magnético do rotor. Sendo assim, mesmo que o principio de funcionamento dos motores de corrente alternada (CA) sejam o mesmo, onde o campo magnético girante provoca a rotação do rotor da máquina, os motores de indução se diferem aos demais, principalmente aos síncronos, por não ter a necessidade de o seu rotor estar conectado a qualquer fonte de alimentação externa, sendo seu rotor alimentado por indução magnética (Chapman, 2013).

Os motores de indução trifásicos são os mais utilizados industrialmente já que as maiorias dos sistemas, atuais, de distribuição de energia elétrica são de corrente alternada. O principal tipo de motor é o de rotor em gaiola de esquilo, conhecido também como rotor em curto-circuito, cujo campo de aplicação se estende, praticamente, a todo tipo de acionamento. Sua simplicidade, baixo custo e máxima eficácia com manutenção mínima o tornam preferido para acionar máquinas de qualquer potência. Sua principal limitação, que residia no fato dele ser um motor de velocidade praticamente constante, isto é, não proporcionar condições de um eficiente controle de velocidade, está sendo hoje superada pelo uso extensivo de dispositivos para fazer este tipo de controle. Um segundo tipo de motor de indução trifásico, o de rotor bobinado ou de anéis, é utilizado em aplicações onde se deseja manter um elevado conjugado de aceleração, por exemplo, na operação de pontes rolantes (Franchi, 2008).

2.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MIT

O motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor. A diferença entre os dois tipos de motores de indução está na construção do rotor. As principais partes e seus componentes são demonstrados nas Figuras (1) e (2).

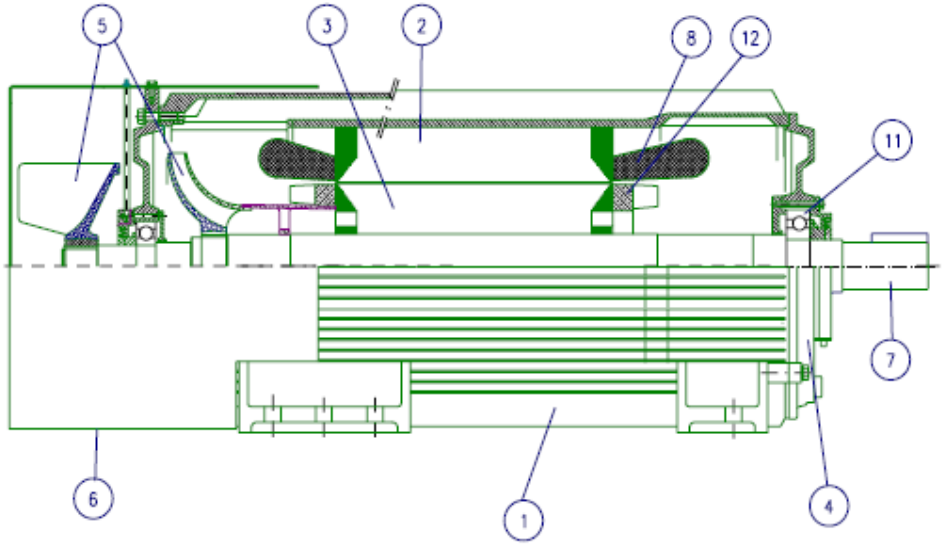

Figura 1 - Principais componentes MIT (WEG, 2015)

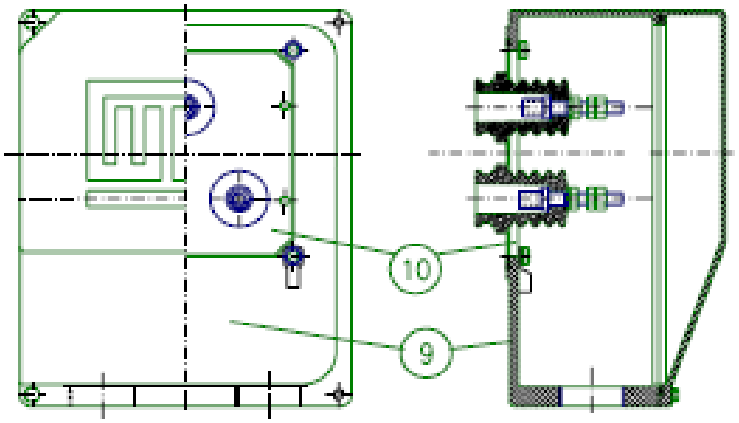

Figura 2 - Caixa de ligação MIT (WEG, 2005)

- Estator:
  - Carcaça (1): É a estrutura que suporta e engloba os demais componentes. Constituição robusta em ferro fundido ou aço soldado, resistente à corrosão;
  - Núcleo de chapas (2): As chapas são de material magnético adequadamente fixado ao estator. Tratadas termicamente ou isoladas para reduzir as perdas no ferro;
  - Enrolamentos trifásicos (8): Dimensionados em material condutor isolado. Três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.

- Rotor:
    - Eixo (7): Feito em aço, transmite a potência mecânica gerada pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga;
    - Núcleo de chapas (3): Possuem as mesmas características das chapas do estator, porém estão fixadas ao eixo;
    - Gaiola ou enrolamento do rotor (12): É composta de barras e anéis de curto-circuito (motor tipo gaiola) e de bobinas (motor tipo de anéis).
- Demais componentes:
    - Ventilador (5): Responsável pela redução do calor acumulado na carcaça;
    - Tampa defletora ou proteção do ventilador (6): Componente mecânico provido de aberturas instaladas na parte traseira do motor sobre o ventilador;
    - Terminais (10): conectores metálicos que recebem os condutores de alimentação do motor;
    - Rolamentos (11): componentes mecânicos sobre os quais está fixado o eixo;
    - Tampa do mancal (4): componentes metálicos de fechamento;
    - Caixa de ligação de força (9): onde estão fixados os terminais de ligação do motor.

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

2.2.1 Campo Girante

O funcionamento de um motor de indução trifásico está diretamente relacionado ao denominado campo girante. Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, cria-se um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e com seu valor proporcional à corrente. Sendo essa corrente proveniente da tensão da rede de alimentação aplicada aos enrolamentos do motor. Como a alimentação é trifásica, as três tensões e as correntes estão defasadas em 120 graus. Com isso produz três campos pulsantes também defasados em 120 graus, formando um campo girante (Carvalho, 2011).

A formação desses campos magnéticos, responsáveis pelo campo girante, se dá no estator do motor. O rotor, parado, será induzido através de tensões provenientes do campo girante, gerando correntes, e consequentemente, produzindo um campo no rotor. Os campos produzidos no estator e rotor possuem polaridades opostas, com velocidades semelhantes, e conjugado entre eles. Assim, com a interação entre estator e rotor, a tendência é que o rotor tente acompanhar o movimento circular do campo girante do estator, já que esse está fixo e o rotor livre. O campo girante impõe que o rotor atinja a velocidade nominal, mas nunca igualando a velocidade síncrona devido às perdas por atrito e ventilação (Carvalho, 2011).

2.2.2 Velocidade Síncrona

Definida como velocidade de rotação do campo magnético do motor, ou seja, do campo girante. Essa velocidade é dada por uma relação entre a frequência do sistema aplicada ao estator e o número de pólos do motor, como apresentado na Equação (1) (Chapman, 2013).

$$\mathrm{n_s} = \frac{120 \times \mathrm{f}}{\mathrm{P}} \tag{1}$$

Onde:

n_s = Velocidade Síncrona [rpm];

f = Frequência [Hz];

P = Números de pólos [Unidade].

2.2.3 Escorregamento

Por se tratar de um motor assíncrono a velocidade de rotação do rotor não deve alcança valor igual à velocidade síncrona, assim existindo variação do fluxo e consequentemente geração de correntes induzidas (Siemens, 2003).

A diferença entre a velocidade do motor (n) e a velocidade síncrona (n_s) é conhecida por escorregamento (s). O mesmo pode ser expresso como fração da velocidade síncrona, como mostra a Equação (2) (Umans, 2014).

$$\mathrm{s} = \frac{\mathrm{n_s} - \mathrm{n}}{\mathrm{n_s}} \tag{2}$$

O escorregamento também pode ser expresso como porcentagem da velocidade síncrona, multiplicando o resultado por 100.

2.2.4 Conjugado e Potência

Pelo princípio de um motor o conjugado, ou torque, é a medida do esforço necessário que deve ter o motor para girar o eixo. Já a potência pode ser considerada como a energia elétrica absorvida da rede que foi transformada em energia mecânica.

Existe uma relação entre os dois, onde a potência desenvolvida depende do conjugado oferecido e da velocidade com que se movimenta a carga. Como apresentado na Equação (3) a seguir (Mamede, 2007):

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{C(Nm).R(rpm)}}{9550} \tag{3}$$

Os motores de indução são dispositivos que necessariamente absorve potência ativa e potência reativa, a última sendo considerada para a magnetização. Sendo a potência absorvida pela rede (Pa) dada pela Equação (4) (WEG, 2005):

$$Pa = \sqrt{3}.V.I.\cos\varphi\,.n\ [W] \tag{4}$$

Onde:

V = Tensão nominal [V];

I = Corrente nominal [A];

$\cos\varphi$ = Fator de potência;

n = Rendimento.

A potência ativa do motor (P) é a potência útil do motor, ou seja, a que realiza trabalho no eixo do motor. É dada por:

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos\varphi\ \ [W] \tag{5}$$

Já a potência reativa (Q) é parcela da potência que não realiza trabalho, responsável pela magnetização, onde é transferida e armazenada em elementos capacitivos e indutivos do circuito. Pode ser expressa, como:

$$Q = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi\ \ [VAr] \tag{6}$$

Tem-se ainda a potência aparente que é descrita como a potência real, ou seja, se não houvesse defasagem entre as tensões e correntes do circuito. Sendo, assim, ela é expressa somente em função da corrente e tensão, desconsiderando o fator de potência, como pode ser visto a seguir:

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad [VA] \tag{7}$$

Com essas definições de potência pode-se caracterizar o tipo de carga que está operando: resistiva ($\cos\varphi = 1$), indutiva ($\cos\varphi < 0$) e capacitiva ($0 < \cos\varphi > 1$). Os estados adiantados e atrasados fazem referência ao estado em que a fase da corrente esta em relação à fase da tensão, para cargas indutivas é atrasada, e para capacitiva é adiantada (WEG, 2005).

2.2.5 Fator de Potência

Denominado por $\cos\varphi$, o fator de potência é a razão entre potência elétrica ativa e a potência aparente. Como apresentado pela equação (8).

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \tag{8}$$

Pode ser considerado um parâmetro de viabilidade econômica, pois a operação de uma instalação elétrica com valores adequados representa uma redução de perdas e gastos, utilizando de forma eficiente (Franchi, 2008).

2.2.6 Rendimento

É caracterizado como a eficiência com que ocorreu à transformação de energia elétrica em energia mecânica na ponta do eixo do motor. Pode ser calculada pela Equação (9) (WEG, 2005).

$$n = \frac{Pu}{Pa} \tag{9}$$

Sendo que:

n = Rendimento ou eficiência do motor;

Pu = Potência útil ou potência na saída do eixo do motor [W];

Pa = Potência absorvida da rede ou potência de entrada no motor [W].

2.3 CARACTERÍSTICA DOS MOTORES TRIFÁSICOS

2.3.1 Potência Nominal

Os motores foram projetados para fornecer uma potência nominal, em regime contínuo, a qual não exceda os limites de temperatura dos enrolamentos de acordo com sua classe de isolamento. Deve-se respeitá-lo, caso a carga aplicada ao motor seja muito superior ao que foi projetado o motor pode ser danificado e até sofrer um curto-circuito interno (Mamede, 2007).

O limite de elevação de temperatura de cada motor é especificado pela sua classe de isolamento, a utilização de acordo com seus limites está diretamente ligada a sua vida útil.

2.3.2 Tensão Nominal

É a tensão de rede para qual o motor foi projetado. De acordo com Mamede (2007), as tensões de maior utilização nas instalações industriais são de 220, 380 e 400 V. Tal parâmetro varia de acordo com o tipo de ligação realizada nos terminais do motor.

Para obter um melhor desempenho, pode-se variar, em $\pm 10\%$ a tensão nominal do motor. Porém, a frequência deve ser constante (Mamede, 2007).

2.3.3 Corrente Nominal

Quando o motor está operando com sua potência nominal, tensão e frequência nominais, o mesmo absorve da rede uma corrente, conhecida como corrente nominal e expressa pela Equação (10) (WEG, 2005).

$$In = \frac{P}{\sqrt{3}.V.n.\cos\varphi} \quad [\text{A}] \qquad (10)$$

2.3.4 Frequência Nominal

É a frequência da rede para a qual o motor foi projetado. O motor é dimensionado para trabalhar em determinada frequência, podendo ser de 50Hz ou 60Hz.

Pode-se ocorrer pequenas variações de $\pm 5\%$, na frequência, em algumas aplicações, sem que atrapalhe o desempenho do motor, entretanto sua tensão nominal deve permanecer constante (Mamede, 2007).

2.3.5 Perdas no Motor

A potência transmitida à carga pelo eixo do motor é menor que a potência adquirida na rede, pois perdas são inerentes a um motor real. De acordo com Franchi (2008), essas perdas podem ser separadas em quatro tipos diferentes: perdas elétricas, perdas magnéticas, perdas mecânicas e perdas parasitas.

As perdas elétricas, ou perdas por efeito joule, são proporcionais à carga aplicada. Cargas que requerem maior potência acentuam as perdas por efeito joule. É possível reduzir tais perdas aumentando a seção do estator e dos condutores do rotor.

O efeito de histerese e as correntes de Foucault causam perdas magnéticas nas chapas de ferro do estator e do rotor, variando a densidade de fluxo e a frequência. Uma solução para minimizar essas perdas é aumentar as seções de ferro no estator e no rotor, assim como utilizar materiais magnéticos de melhor qualidade e desempenho.

As perdas mecânicas, conhecida por perdas de atrito e ventilação, podem ser minimizadas utilizando rolamentos adequados e otimizando o sistema de ventilação.

As perdas parasitas são ocasionadas por imperfeições no projeto. Para reduzir tais perdas é necessário um minucioso e cuidadoso processo de produção dos motores.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

2.4.1 Categoria do Conjugado

A norma NBR17094 (ABNT, 2013) classifica os motores do tipo gaiola de acordo com as características de conjugado em relação a velocidade e corrente de partida. Assim esses motores são classificados em categorias, adequada a cada tipo de carga.

A construção das ranhuras, o formato dos condutores e o material dos condutores utilizados dentro dessas ranhuras, são elementos capazes de variar os conjugados de partida de um motor (Siemens, 2003).

As categorias e suas principais características são (Siemens, 2003):

- Categoria N: A maioria dos motores do mercado é desta categoria. Possui um conjugado e uma corrente de partida normal, com baixo escorregamento. São utilizados para acionamento de cargas como: bombas, máquinas operatrizes e ventiladores.
- Categoria H: Utilizados para cargas que solicitam maior conjugado de partida. Por possuir um alto conjugado de partida, corrente de partida normal e um baixo escorregamento. São utilizados para acionamento de cargas como transportadores carregados, moinhos e trituradores.
- Categoria D: Possuem alto torque de partida, corrente de partida normal e um alto escorregamento. Utilizados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde cargas necessitam de alto conjugado de partida e apresentam picos periódicos.

A norma NBR17094 (ABNT, 2013) especifica valores mínimos exigidos para motores de cada categoria. A curva de conjugado vs. velocidade das categorias N, H e D são apresentadas na Figura (3).

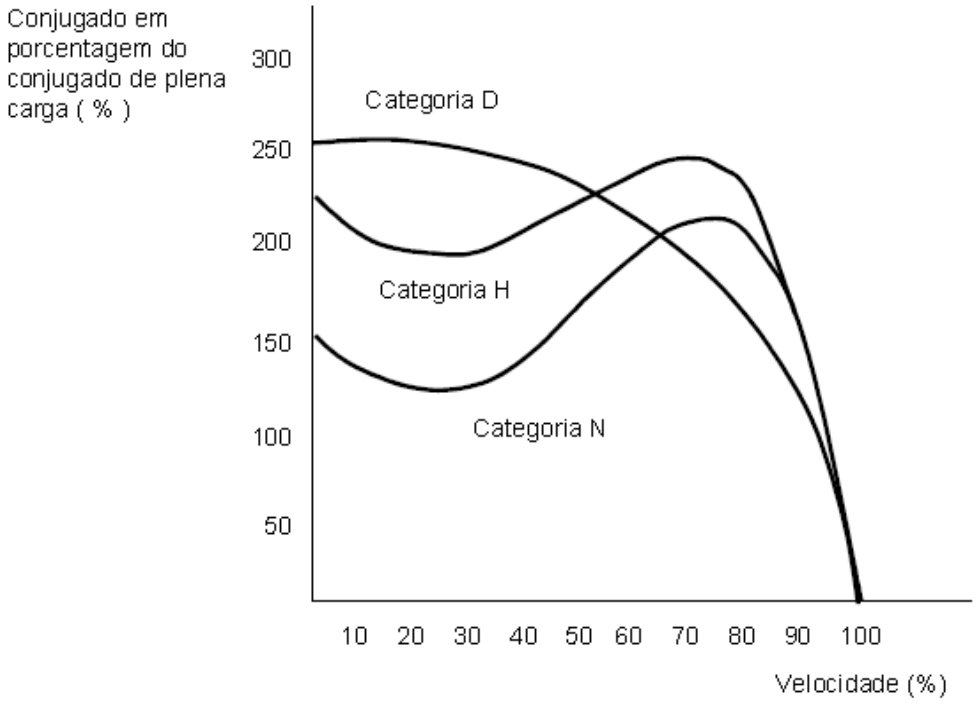

Figura 3 - Curva de conjugado vs. velocidade das diferentes categorias (Siemens, 2003)

2.4.2 Graus de Proteção

O invólucro, ou carcaça, do motor é o principal componente para sua proteção contra a entrada de corpos estranhos e penetração de água. Um aspecto importante para determinar o grau de proteção do motor ideal, para certa aplicação, é a condição do ambiente que o motor está instalado (Mamede, 2007).

Os graus de proteção são estabelecidos pela indústria, de forma que satisfaçam condições previstas pela norma que o padroniza. Os principais objetivos de tal proteção são: de pessoas que possam ter contato com partes energizadas e partes em movimento dentro do invólucro do motor, além de proteger contra penetração de corpos estranhos e da entrada de água (Siemens, 2003).

O grau de proteção do motor é designado pela sigla IP (*Intrisic Protection*, em inglês, podendo ser traduzido como proteção própria do dispositivo) seguida de dois algarismos característicos, o primeiro indica o grau de proteção a pessoas e às partes internas do motor contra objetos sólidos e o segundo algarismo significa o grau de proteção contra a penetração de água (Franchi, 2008). A seguir, a Tab.(1), indica o tipo de proteção que cada algarismo numérico se refere.

Tabela 1 - Graus de proteção adaptado (Franchi, 2008)

Dígito	Indicação do primeiro dígito	Indicação do segundo dígito
0	Não protegido	Não protegido
1	Protegido contra objetos (>50mm)	Protegido contra quedas verticais de gotas de água
2	Protegido contra objetos (>12mm)	Protegidos contra queda de gotas de água para uma inclinação máxima de 15°
3	Protegido contra objetos (>2,5mm)	Protegido contra água borrifada de um ângulo de 60° na vertical (chuva)
4	Protegido contra objetor (>1,0mm)	Protegido contra projeções de água de qualquer direção
5	Protegido contra poeira prejudicial ao motor	Protegido contra jatos de água de qualquer direção
6	Totalmente protegido contra poeira	Protegido contra ondas do mar ou de água projetada em jatos potentes
7	-	Protegido contra imersão em água, sob condições definidas de tempo e pressão.
8	-	Protegido contra submersão contínua em água, nas condições especificadas pelo fabricante.

De acordo com Mamede (2007), as classes de proteção mais presente na indústria são IP21, IP22 e IP23 para motores abertos e IP44, IP54, IP55 para motores fechados. Por exemplo, o motor com IP55 pode-se caracterizar como um motor com proteção contra acúmulo de poeiras prejudicial ao motor e proteção contra jatos de água em todas as direções. Pode-se definir que é um motor apropriado para ambientes empoeirados e em casos que os equipamentos são lavados periodicamente com mangueiras.

2.4.3 Classe de Isolação

De acordo com a norma NBR17094 (ABNT, 2013) deve-se atribuir uma classificação térmica aos sistemas de isolação utilizados nos motores, utilizando como critério de classificação o valor da temperatura máxima, em graus Celsius (°C), para a qual o sistema de isolação é adequado.

A classe de isolamento representa a temperatura máxima que cada material isolante pode suportar continuamente sem que haja danos. Sendo a temperatura do enrolamento fundamental para a vida útil do motor (Franchi, 2008).

O fabricante tem o dever de informar a classe de isolamento a qual o motor está inserido. As classes comumente utilizadas em motores normais são B e F. A Tabela (2) apresenta as classes existentes e seus limites de temperatura.

Tabela 2 - Classes de isolamento (WEG, 2009)

Classe	Temperatura (°C)
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

De acordo com a norma NBR17094 (ABNT, 2013) a tabela tem como referência uma temperatura ambiente de 40 °C. Com isso, a temperatura máxima permanente admissível para a classe F, por exemplo, tem um limite de sobreaquecimento de no máximo 115°C (sendo 100°C de sobrelevação da temperatura e 15° de acréscimo para o ponto mais quente) (Siemens, 2003).

2.4.4 Regime de Serviço

O regime de serviço é definido como a regularidade de carga a que o motor é submetido. De acordo com a norma NBR17094 (ABNT, 2013), o comprador tem total responsabilidade de definir o tipo de regime.

São padronizados dez diferentes tipos de regime de serviço (Tab. 3), algumas situações reais, encontradas na prática, não se encaixam a algum desses tipos. Nesse caso, deve-se aproximar a situação real com uma padronizada que seja mais severa que a principal (Franchi, 2008).

Tabela 3 - Tipos de regime de serviço adaptada (Franchi, 2008)

Tipos de Regimes	Característica
S1	Regime contínuo
S2	Regime tempo limitado
S3	Regime intermitente periódico
S4	Regime intermitente periódico com partida
S5	Regime intermitente periódico com frenagem elétrica
S6	Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente
S7	Regime de funcionamento contínuo periódico com frenagem elétrica
S8	Regime de funcionamento contínuo periódico com mudanças correspondente de carga e de velocidade
S9	Regime com variação não periódica de carga e de velocidade
S10	Regime com cargas e velocidades constantes distintas

Quando o comprador não declara o tipo de regime, o fornecedor considera que o regime aplicado é o S1 (regime contínuo). Já que normalmente os motores são projetados para trabalhar com cargas constantes, em um tempo definido. Os outros tipos de regime, por não serem considerados para aplicações normais, devem ser encomendados diretamente com o fabricante a depender da aplicação (Franchi, 2008).

2.4.5 Fator de Serviço (FS)

Fator de serviço é um número, que ao multiplicá-lo pela potência nominal indica uma margem superior permissível de carga que pode ser aplicada ao motor em regime permanente, sob condições especificadas (WEG, 2004).

O fator não está ligado a capacidade momentânea de sobrecarga, já que normalmente os motores podem suportar até 60% a mais da carga nominal, em curtos períodos de tempo. Na realidade, um fator de serviço com valor superior a um, significa que o motor pode atuar, continuamente, com sobrecarga (Mamede, 2007).

2.5 TIPOS DE LIGAÇÃO

A grande maioria dos motores trifásicos tem a possibilidade de religação dos terminais em, pelo menos, duas tensões diferente. Para possibilitar tais configurações os motores apesentam 3, 6, 9 ou 12 terminais, a depender da necessidade da planta industrial. As mais usuais são as configurações em estrela e em triângulo.

2.5.1 Configuração em Estrela (Y)

Para essa configuração, liga-se um fio de cada terminal monofásico em um ponto interno comum, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela, como mostra a Figura (4).

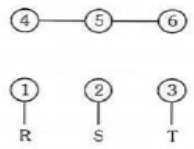

Figura 4 - Ligação em estrela (Carvalho, 2011)

A configuração estrela caracteriza-se por apresentar tensão de fase diferente da tensão de linha. Pois, quando se realiza esse tipo de configuração cada bobina recebe uma tensão aproximadamente 1,73 ($\sqrt{3}$) vezes menor que a tensão de alimentação (Eq. 11), já a corrente de fase possui o mesmo valor da corrente de linha (Eq. 12) (WEG,2004). As equações de tensão e corrente de linha são:

$$VL = \sqrt{3}\,VF \quad [V] \tag{11}$$

$$IL = IF \quad [A] \tag{12}$$

2.5.2 Configuração em Triângulo (△)

Nesse tipo de configuração, liga-se o início de um enrolamento com o final do próximo enrolamento. Ou seja, os três terminais monofásicos são ligados entre si. Como apresentado na Figura (5):

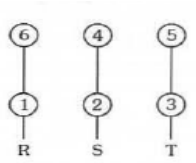

Figura 5 - Ligação em triângulo (Carvalho, 2011)

Com essa configuração, têm-se que a tensão aplicada na carga é a de linha, ou seja, a mesma tensão da alimentação (Eq. 13). Já a corrente de fase e a de linha são relacionadas pela Equação (14) (WEG, 2004).

$$VL = VF \qquad [V] \tag{13}$$

$$IL = \sqrt{3}\, IF \qquad [A] \tag{14}$$

2.6 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO MOTOR

De acordo com Mamede (2007) a placa de identificação contém as principais informações necessárias para a operação adequada do motor. Tais informações estão de acordo com a Norma NBR17094, que determinam as características nominais e de desempenho dos motores (ABNT, 2013). A placa do motor que foi utilizado no desenvolvimento das práticas está apresentada na Figura (6).

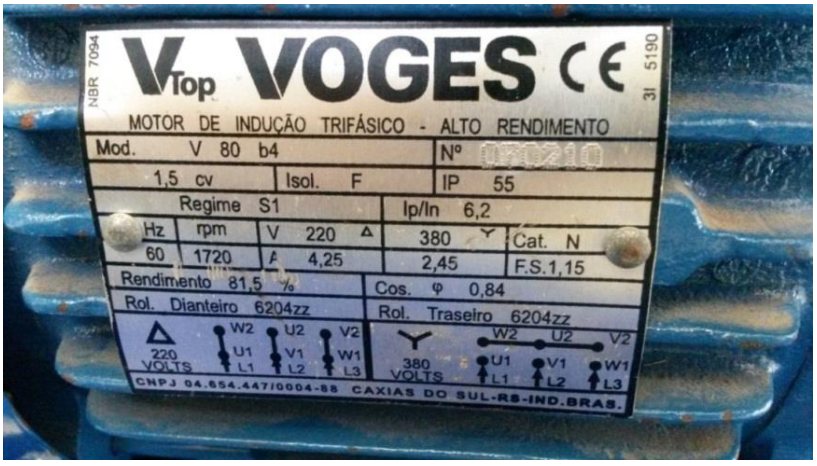

Figura 6 - Placa de Identificação do MIT

As informações contidas na placa da Figura (6) são:

- Modelo: V 80 b4;
- 1,5 cv: indica o valor de potencia do motor;
- Isol. F: indica o tipo de isolante que foi usado neste motor;
- IP 55: indica o índice de proteção conforme a norma NBR6146. Cada algarismo indica um tipo de proteção contra a entrada de corpos no interior do motor, o primeiro de corpos sólidos e o segundo corpos líquidos. Existe uma tabela do fabricante que indica cada algarismo.
- Regime S1: regime de serviço a que o motor será submetido;
- Ip/In 6,2: relação entre corrente de partida (Ip) e a corrente nominal do motor (In);
- Hz 60: frequência da rede de alimentação para o qual o motor foi projetado;
- Rpm 120: rotação nominal do motor ou a plena carga;
- V 220/380: tensões de alimentação do motor. Variando de acordo com o tipo de ligação;
- A 4,2/2,45: valores de corrente em relação as tensões 220/380;
- Cat. N: categoria do motor a partir da relação conjugado e velocidade;
- F.S 1,15: fator de serviço;
- Rendimento 81,5%: valor de rendimento do motor, varia com a carga;
- Cos. Φ 0,84: fator de potência do motor.

Na parte inferior da placa são apresentados dois esquemas de ligação, o primeiro em triângulo (tensão de 220V) e o segundo em estrela (tensão 380V).

3. MÉTODOS DE PARTIDA

A intensidade e o tempo da corrente de partida dependem das condições em que o motor esta partindo. Sendo diretamente proporcional a carga aplicada ao motor, quanto maior a carga maior será a corrente inicial. Atingindo valores até dez vezes maiores que a nominal de operação. Com isso, pode-se prejudicar a rede de alimentação e ainda disparar os dispositivos de proteção do circuito de comando (Franchi, 2008).

Normalmente, uma partida direta de um motor pode ser feita diretamente ligando-o a linha de potência. A desvantagem de aplicar essa forma de partida é devido a corrente necessária para iniciar o movimento ser alta comparada a corrente nominal. Entretanto, existem ferramentas que são utilizadas para reduzir essa corrente, pois as elevadas correntes podem ter consequências prejudiciais.

Em alguns casos a elevada corrente de partida pode levar a uma alta queda de tensão no sistema de alimentação, danificando equipamentos instalados no sistema. O sistema de proteção, as chaves, os cabos e os transformadores terão que ser sobre dimensionados, aumentando significativamente os custos. Além de ocasionar complicações perante as imposições da concessionária de energia (WEG, 2005).

Quando a partida direta na rede não é possível, pode-se utilizar os métodos de partidas indiretos. Como forma de controlar esse pico de corrente tem-se como principais opções a utilização dos métodos: chave estrela-triângulo, chave compensadora (ou com autotransformador), *Soft-Starter* e a partida com inversor de frequência. A seguir todos os métodos são detalhados.

3.1 PARTIDA DIRETA

A partida direta é a forma mais simples de partir um motor, como visto anteriormente, a sua ligação é feita diretamente da rede de alimentação ao motor. Sendo assim, o motor parte com valores plenos de conjugado e de corrente de partida, pois suas bobinas recebem tensão nominal de serviço. Por esse fato, sua aplicação deve ser executada sempre quando possível, porém,

há certas limitações como imposição da concessionária que restringe esse tipo de partida a motores de baixa potência (Franchi, 2008).

Podem-se destacar as vantagens desse tipo de partida como sendo simples e de fácil construção, por possuir um alto conjugado de partida, além de ter baixo custo. Porém, possui a desvantagem da queda de tensão no sistema de alimentação da rede, os sistemas de acionamento devem ser superdimensionado devido à alta corrente de pico, e há as restrições por parte da concessionária (Franchi, 2008).

3.2 PARTIDAS INDIRETAS

3.2.1 Estrela – Triângulo

É uma chave de partida para motores de dupla tensão, e ainda a menor tensão deverá ser igual à da fonte de tensão da rede e a outra 1,73 vezes maior, por exemplo, 220V e 380V. Além de ser necessário que o motor possua seis terminais de ligação. O princípio de funcionamento consiste em partir com ligação estrela, e em determinado tempo passar para ligação triângulo. Dessa forma há uma redução de um terço do torque, porém a corrente de partida diminui na mesma proporção (Franchi, 2008).

Nesse tipo de partida o torque da carga não deverá ser superior ao torque do motor quando este estiver em estrela, ou seja, com seu torque reduzido em um terço. Com isso, a partida estrela-triângulo é comumente utilizada para partida a vazio, ou seja, sem carga acoplada. Somente depois da troca pela ligação em triângulo, onde irá atingir a tensão nominal, que a carga deve ser aplicada (Franchi, 2008).

A Figura (7) apresenta uma comparação entre a corrente de partida dos métodos direto e estrela-triângulo. Observa-se a redução de um terço da corrente quando a partida é estrela- triângulo.

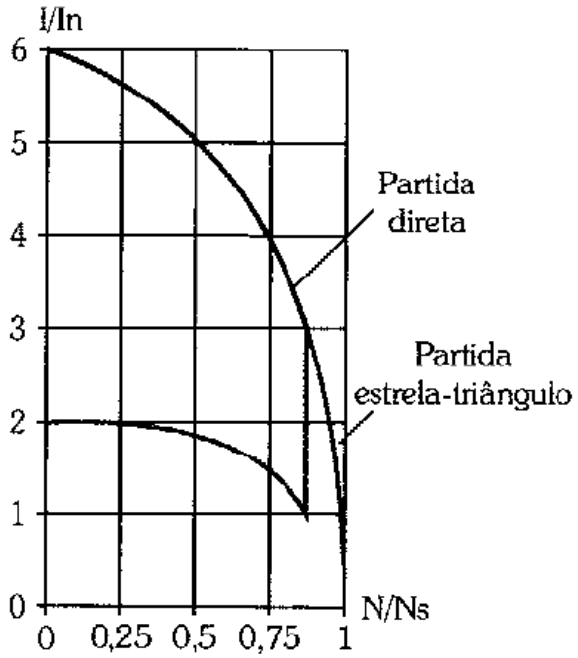

Figura 7 - Comparação entre os métodos de partida direta e estrela-triângulo (Franchi, 2008)

A partida estrela-triângulo possui as vantagens de ser de baixo custo, comparado as outras partidas indiretas, não é necessário muito espaço para executá-la e não possui um limite máximo de manobras. Porém para ser efetiva é necessário que o motor atinja pelo menos 90% da sua corrente nominal, pois caso isso não ocorra, quando há a troca de estrela para triângulo sua corrente atinge um pico semelhante ao pico de partida direta (Ferraz, 2009).

3.2.2 Chave Compensadora (com Autotransformador)

A chave compensadora com o objetivo de se reduzir a corrente de partida, utiliza um autotransformador, onde é possível reduzir a tensão de alimentação do motor. Dependendo do autotransformado essa tensão pode variar de 50%, 65% e 80% da tensão nominal aplicada na fase. Em consequência teremos uma redução na corrente de partida, de acordo com os fatores correspondentes a cada TAP escolhido. Decorrido a partida, as bobinas do motor recebem a tensão nominal.

Na Figura (8), é apresentada uma comparação entre as correntes de partidas da direta e por chave compensadora, em função da rotação.

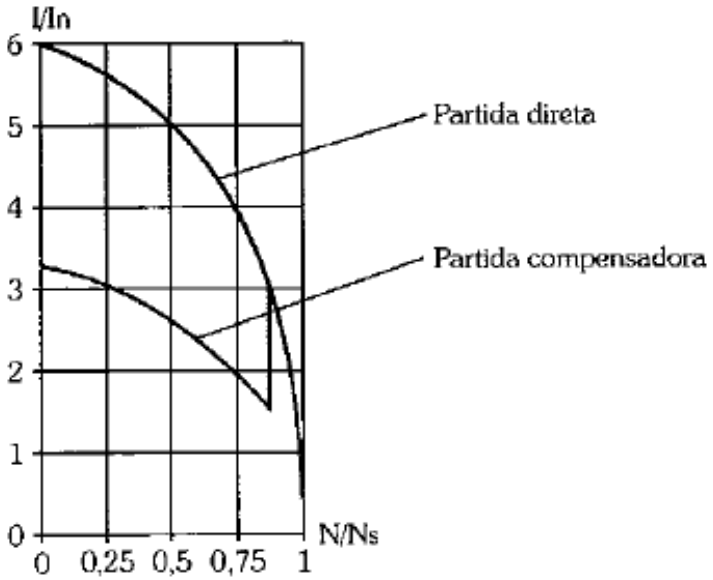

Figura 8 - Comparação partida direta e por chave compensadora (Franchi, 2008)

O motor necessita apenas de três terminais de ligação. Quando ocorre a comutação da tensão reduzida para a tensão de rede não é necessário o desligamento do motor e o pico da corrente é reduzido. Porém, a chave compensadora apresenta certas desvantagens, ainda mais quando comparada a estrela-triângulo, já que possuem limitações de manobras, custo elevado devido ao autotransformador e por ocupar muito espaço no painel.

3.3 PARTIDAS ELETRÔNICAS

3.3.1 Partida Estática com *Soft-Starter*

Com o objetivo de reduzir altos conjugados na aceleração e os picos de correntes de partida, esse método utiliza-se de um dispositivo de manobra (microprocessado) para suavizar a partida e a parada de motores assíncronos trifásicos.

As partidas estrela-triângulo e a compensadora provocam fortes choques mecânicos quando ocorre a passagem da tensão reduzida para a tensão plena. Assim, para cargas que necessitam de um acionamento mais suave quando acopladas a motores mais potentes usa-se a partida com *Soft-Starter* (Siemens, 2003).

Como tema principal desse projeto, o método de partida com *Soft-Starter* está detalhado no Capitulo (4).

O controle da tensão (e por consequência da corrente) na aceleração e na desaceleração pode-se destacar como uma das principais vantagens da *Soft-Starter*. Além de não possuir partes móveis ou que provoquem arco elétrico, como as outras chaves de partida mecânica. Não há limitação do número de manobras, apresentando uma vida útil longa. Como desvantagem, pode-se apresentar seu custo devido ao uso de componentes eletrônicos em alta tensão (WEG 2009).

3.3.2 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é um dispositivo de alto desempenho capaz de controlar a velocidade do motor, a partir da regulação da tensão e frequência da rede de alimentação (WEG, 2008).

Por ser um dispositivo capaz de controlar a velocidade do motor de indução trifásico, pode ser utilizado como método para partida suave de motores.

A partida suave de um motor, a partir do controle de sua velocidade, proporciona um menor esforço da partida nos enrolamentos do estator e das barras do rotor. Aplicando de forma adequada, o inversor pode ser favorável à vida útil do motor. Porém, devem-se considerar alguns fatores, quanto à instalação e utilização desse equipamento, para que não ocorram eventos indesejáveis como picos de tensão no isolamento do motor e correntes harmônicas (geram aquecimento adicional). Outra desvantagem está ligada ao seu custo, por ser elevado (WEG, 2008).

4. SOFT-STARTER

4.1 VISÃO GERAL

A chave de partida estática, *Soft-Starter*, é realizada por um dispositivo eletrônico capaz de realizar o controle da aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. Além de propiciar uma maior proteção à rede elétrica durante a partida.

A proteção ocorre através da redução da tensão aplicada ao motor, que é feita a partir do ajuste do ângulo de disparo de tiristores SCR (Retificador Controlado de Silício). Com o ajuste é possível evitar correntes elétricas elevadas e golpes durante a partida, suavizando a movimentação da carga, que por consequência minimiza os efeitos negativos no sistema, elevando sua vida útil (Azevedo e Mendes, 2008).

As *Soft-Starter* são microprocessadas ou microcontroladas. Composta por produtos de alta tecnologia e versatilidade, garantido bom desempenho e confiabilidade. Devido a essas vantagens a *Soft-Starter* é um excelente substituto para as formas tradicionais de partida como estrela-triângulo, chave compensadora e partida direta (Rosa, 2003).

A Figura (9) abaixo compara a corrente de partida entre os métodos tradicionais e a *Soft-Starter*

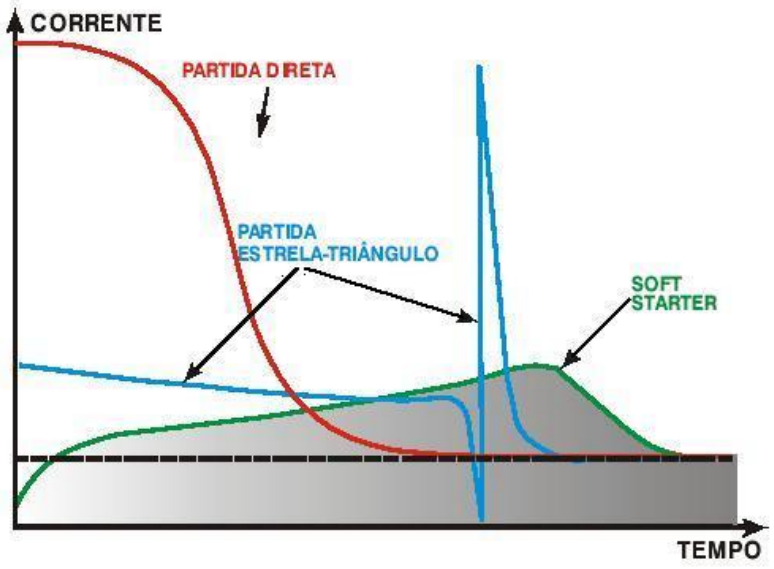

Figura 9 - Comparativo entre os Métodos de Partida (WEG, 2014)

Observa-se pela Figura (9) que o método eletrônico de partida é o que apresenta o menor pico de corrente, destacando-se entre os demais apresentados. A técnica estrela-triângulo apresenta um valor, de corrente de partida, inicialmente baixo, porém quando ocorre a mudança de ligação estrela para triângulo é observado uma elevação da corrente.

De acordo com Rosa (2003), as *Soft-Starters* estão cada vez mais populares devido à necessidade de tecnologias confiáveis. Usam-se microprocessadores, possibilitando inúmeras formas de programação e a facilidade de operação, a *Soft-Starter* se popularizou na indústria em diversas aplicações.

4.2 TIRISTOR SCR (*SILICON CONTROLLED RECTIFIER*)

O principal componente de uma *Soft-Starter* é o tiristor SCR. Para o entendimento do funcionamento da *Soft-Starter*, é necessário ter certo conhecimento a respeito desse componente eletrônico. Em seguida serão abordados alguns pontos importantes dos tiristores SCR.

Sua criação, em 1957, é de responsabilidade de um grupo de engenheiros do *Bell Telephone Laboratory* (EUA). E de acordo com Mossoi (2002), pode-se definir tiristor SCR como chaves estáticas, biestáveis, composta por quatro camadas de semicondutores. A qualidade de biestável o torna controlável, dentro das opções de não condução e condução. A sua propriedade semicondutora se dá através do silício, material escolhido devido a sua alta capacidade de potência e de aguentar altas temperaturas.

Os tiristores possuem o funcionamento semelhante ao de um diodo, porém tem um terceiro terminal, chamado gatilho, como observado na Figura (10). Essa extensão garante maior controle sobre o dispositivo (Azevedo e Mendes, 2008).

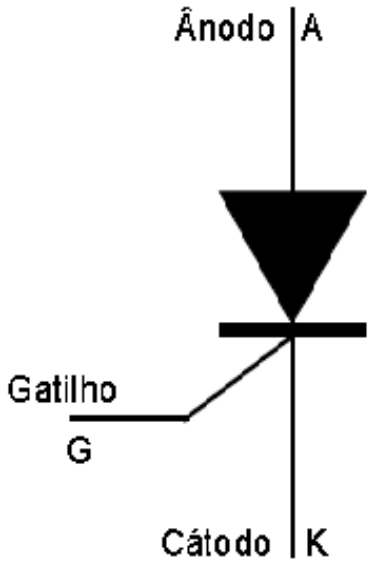

Figura 10 - Representação esquemática do tiristor (Mossoi, 2002)

Uma propriedade importante do tiristor é a de não retornar ao seu estado original mesmo que o motivo da sua mudança de estado tenha desaparecido. Analogicamente pode-se comparar a um interruptor de luz, quando esse é ativado permanece na mesma posição, mesmo tirando o dedo o interruptor (Ferraz, 2009)

Na prática, a forma desejada de disparo de um SCR se dá através de uma tensão aplicada entre o Gatilho e o Cátado, como representado pelo circuito da Figura (11).

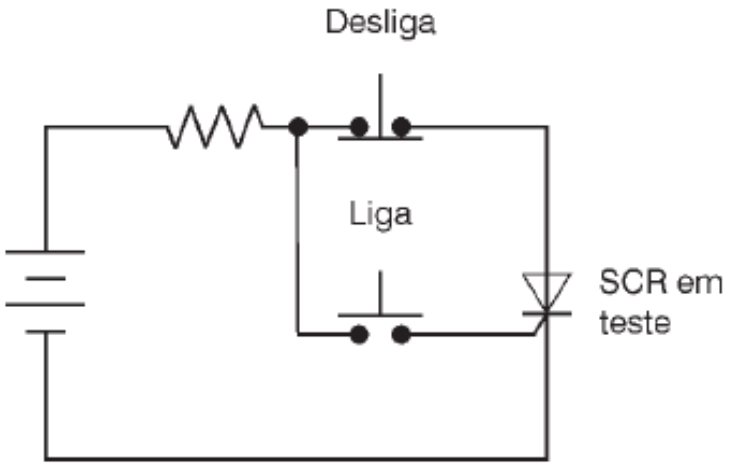

Figura 11 - Circuito de Disparo do SCR (Ferraz, 2009)

O circuito apresentado facilita o entendimento a respeito da operação do *SCR*, assim como, o entendimento da sua propriedade de não retornar ao seu estado original após o desaparecimento do estimulo aplicado.

Uma fonte DC é utilizada para energizar o circuito. Ao ativar o botão “liga” ocorre a conexão do gatilho ao ânodo, permitindo corrente de um terminal da fonte através da junção PN do cátodo – gatilho, da carga resistiva e volte ao outro terminal da bateria. Deve-se fornecer uma corrente, suficiente, para que o botão “Liga” permaneça ativado, para que mesmo após parar de pressionar o botão o *SCR* continue conduzindo. Com isso, a única forma de desligar o *SCR* é pressionando o botão desligar (normalmente fechado), para cortar a corrente (Ferraz, 2009).

4.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento da *Soft-Starter* baseia-se no chaveamento dos componentes estáticos: tiristores *SCR*. Onde se utiliza uma ponte tiristorizada na configuração antiparalelo. Uma placa eletrônica de controle é utilizada para comandar os componentes eletrônicos, com a finalidade de ajustar a tensão aplicada, conforme o desejo do operador e usuário do sistema (Ferraz, 2009).

Um esquema simplificado da ligação de uma *Soft-Starter* a um motor é apresentado na Fig. (12), onde é possível dividir a estrutura em duas partes: o circuito de potência e o circuito de controle.

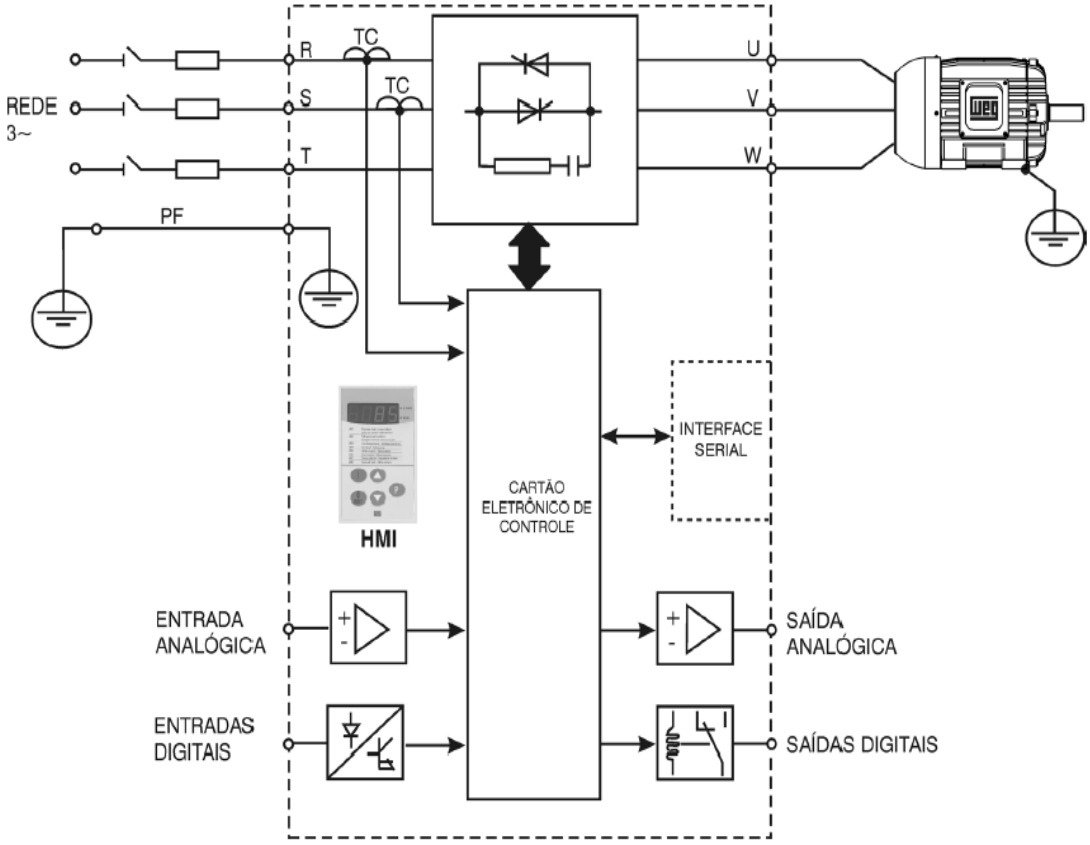

Figura 12 - Estrutura Simplificada de Ligação da Soft-Starter (Ferraz, 2009)

O circuito de potência apresenta como principais componentes os tiristores SCR. Controlando o ângulo de condução (disparo) dos tiristores é possível ajustar a tensão média aplicada ao motor, reduzindo picos de corrente e potência (Rosa, 2003).

De acordo com Rosa (2003), a maioria dos fabricantes projetam as soft starter com seis tiristores, apresentando dois por fase. Porém, alguns fabricantes utilizam apenas quatro tiristores, posicionados apenas em duas fases, sendo a terceira utilizada como referência, reduzindo os custos do produto.

A Figura (13) apresenta a configuração de um par de tiristor por fase. Essa configuração, antiparalela, é adotada para que o controle da tensão seja feito nos dois sentidos da corrente.

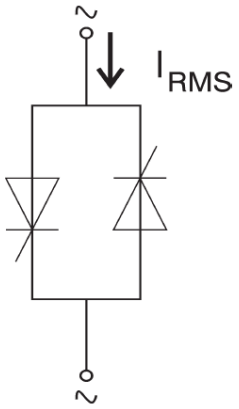

Figura 13 - Par de Tiristores em Antiparalelo (Ferraz, 2009)

O circuito de controle é responsável pelo comando, monitoração, sinalização e proteção. Com esse circuito, são mandados os sinais para os disparos dos tiristores, controlando o aumento da tensão e corrente de forma linear. Ao cessar o processo de partida, os terminais do motor receberá praticamente toda a tensão fornecida pela rede (Azevedo e Mendes, 2008).

Após o comando, a *Soft Starter* deve controlar os ângulos de dispara dos tiristores para obter a menor tensão necessária para iniciar o movimento. Essa relação entre o ângulo de disparo e a forma de onda de tensão em uma das fases do motor é ilustrada na Figura (14).

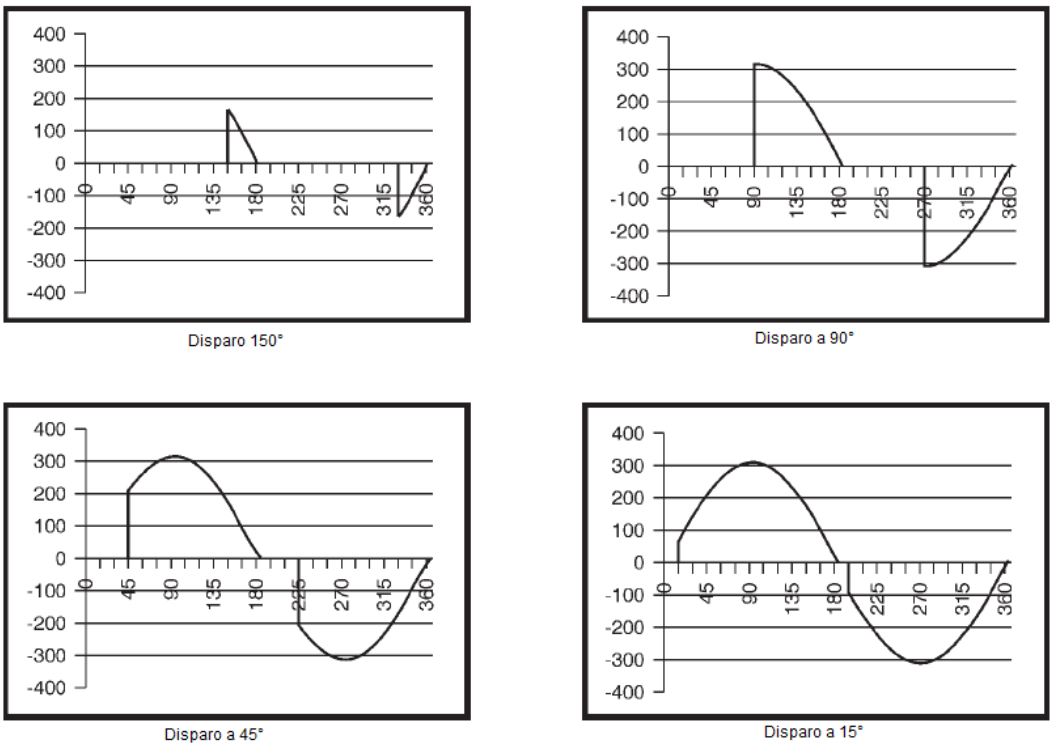

Figura 14 - Relação Ângulos de Disparo e Tensão (Ferraz, 2009)

Entende-se a partir dos gráficos apresentados que a relação entre o ângulo de disparo (abscissa) e a tensão aplicada no motor (ordenada) é inversamente proporcional. À medida que o ângulo de disparo é reduzido, a tensão aplicada aumenta que por consequência aumenta a corrente.

Com o aumento gradual da tensão, o torque também é aumentado, até que vencido o conjugado da carga, o motor começa a girar, logo após é limitada a corrente máxima de partida. De acordo com Ferraz (2009) para monitorar a corrente na saída da *Soft Starter*, são instalados transformadores de corrente, com isso é possível ter o controle, proteção e manutenção do valor de corrente em níveis já definidos anteriormente.

Com o objetivo de evitar inesperadas e bruscas variações de tensão em um pequeno intervalo de tempo, é instalado um circuito auxiliar, denominado *Snubber.* Composto por um capacitor e um resistor instalado em paralelo com o SCR, evitando disparos acidentais. Tal circuito é mostrado na Figura (15).

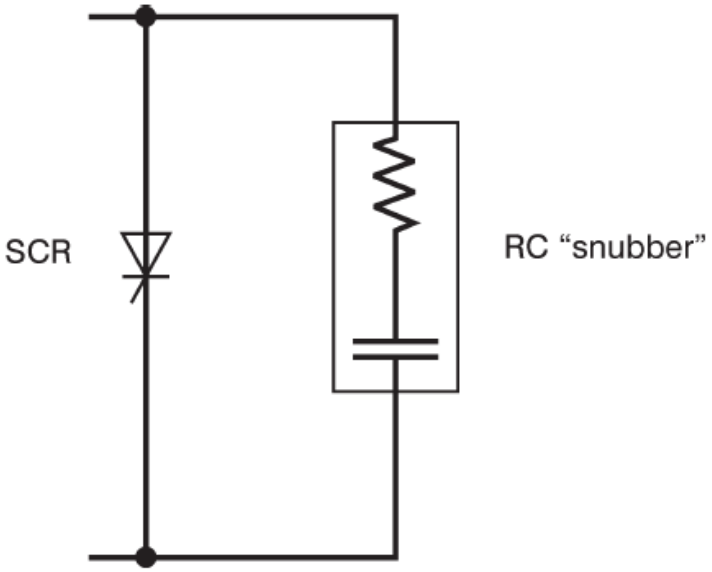

Figura 15 - Circuito Snubber (Ferraz, 2009)

4.4 PRINCIPAIS FUNÇÕES

As principais funções da *Soft-Starter* estão descritas a seguir. A função a ser escolhida dependerá da aplicação na indústria ou no laboratório que será utilizada a *Soft-Starter*.

4.4.1 Rampa de Tensão

Considerada uma função simples da *Soft-Starter*, por fazer o controle da tensão através do ângulo de disparo dos tiristores *SCR*. Essa função pode ser utilizada para operar na aceleração ou na desaceleração do motor.

4.4.1.1 Rampa de Aceleração

A tensão gerada na saída da soft starter cresce gradualmente. O operador programa via interface (HMI) o percentual da tensão nominal que deseja no início da operação, assim como, o tempo para que essa tensão atinja o valor nominal.

A Figura (16) apresenta graficamente o comportamento da tensão em função do tempo. Onde, a tensão de partida (U_P), requer um tempo (t) para atingir a tensão nominal (U_{Nom}).

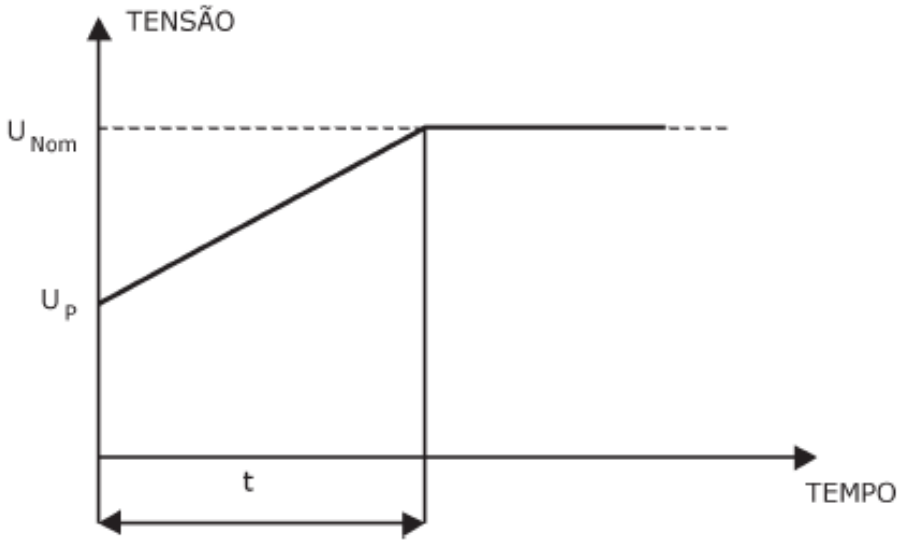

Figura 16 - Rampa de Tensão na Aceleração (Ferraz, 2009)

As características dinâmicas do sistema motor-carga influenciam para que o tempo e a tensão ajustada sejam de fato o programado. Ou seja, programar o tempo desejado para que seja atingida a tensão nominal da rede, não quer dizer que de fato levará esse tempo, podendo variar dentro de faixas

que depende do fabricante da *Soft-Starter*. Devem-se ajustar esses valores para aperfeiçoar a partida (Azevedo e Mendes, 2008).

4.4.1.2 Rampa de Desaceleração

A parada de um motor pode ser realizada de duas formas, por inércia ou controlada. Na primeira forma, a tensão de saída da *Soft-Starter* é levada instantaneamente a zero, por consequência nenhum conjugado é aplicado na carga, assim perdendo velocidade até que a energia cinética seja dissipada. A parada pode ser controlada pela *Soft-Starter* por uma rampa decrescente de tensão, onde é reduzida gradualmente até um valor mínimo em um tempo pré-definido (Ferraz, 2009). A desaceleração controlada é graficamente mostrada na Figura (17).

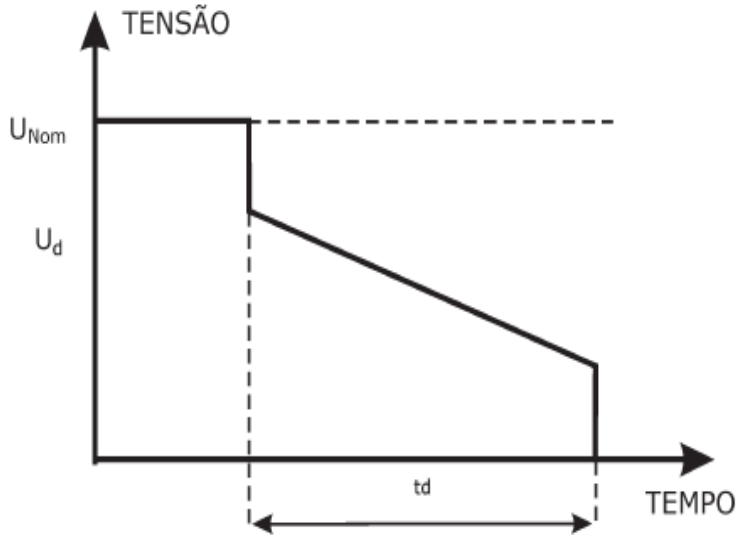

Figura 17 - Rampa de Desaceleração (Ferraz, 2009)

A parada suave é de extrema importância do ponto de vista mecânico e ocorre da seguinte forma: ao reduzir a tensão aplicada, o motor irá perder conjugado, essa perda causa o aumento do escorregamento, que faz com que o motor perca velocidade. Esse método de desaceleração possui uma importância maior para uma aplicação em particular, as bombas centrífugas. Já que esse recurso diminui sensivelmente o choque hidráulico, reduzindo o efeito do golpe de aríete, onde um pico de pressão devido a uma rápida redução de velocidade de um líquido, que pode causar danos e comprometer componentes do sistema hidráulico (Ferraz, 2009).

4.4.2 Limitação de Corrente

Função a qual é possível ajustar um limite de corrente durante a partida de acordo com a necessidade de cada aplicação. É utilizada em casos onde existem cargas com inércia elevada. O sistema permite que o motor só receba a corrente necessária à aceleração da carga.

Segundo Ferraz (2009) esse controle deve ser utilizado para adequar a partida em locais onde a rede de alimentação encontra-se no limite da sua capacidade. Pois, em tais casos, pode haver sobre corrente na partida, acionando o sistema de proteção e restringindo o funcionamento de toda instalação. A limitação de corrente é mostrada graficamente na Figura (18).

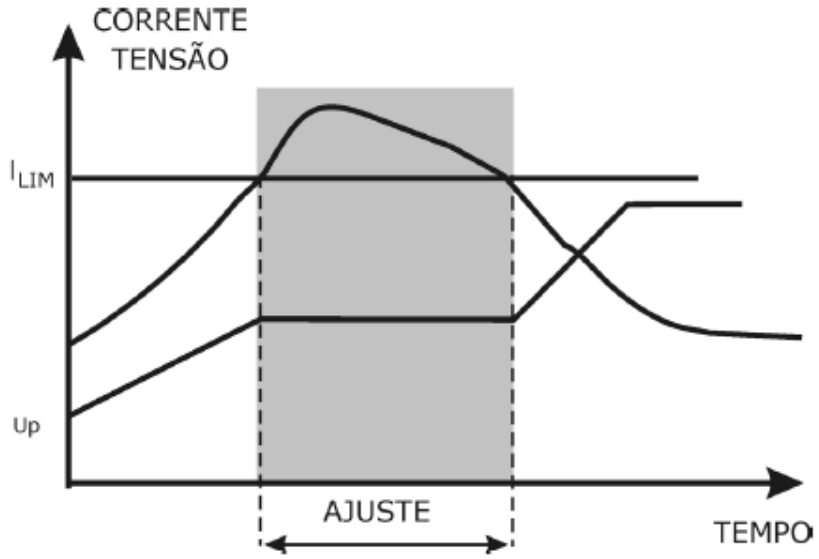

Figura 18 - Limitação de Corrente (Ferraz, 2009)

É observado da Figura (18) que em um intervalo de tempo ocorre um controle da corrente, dentro do período de ajuste, onde a tensão permanece constante. Após esse período é possível observar que a tensão cresce até seu valor nominal, enquanto a corrente decresce ao seu valor nominal.

Esse recurso é utilizado depois de não ter sucesso com a rampa de tensão simples, ou seja, quando a tensão de partida atingir valores próximos ao que outro método de partida convencional atingiria (Ferraz, 2009).

4.4.3 *Kick Start*

Esse recurso só deve ser utilizado em casos extremos, onde é estritamente necessário. Isso se dá por ser uma função que tem como característica aumentar a tensão aplicada ao motor, em valores maiores àqueles ajustados na rampa de tensão. Esse aumento de tensão se faz necessário para partida de cargas que possuem um alto conjugado resistente.

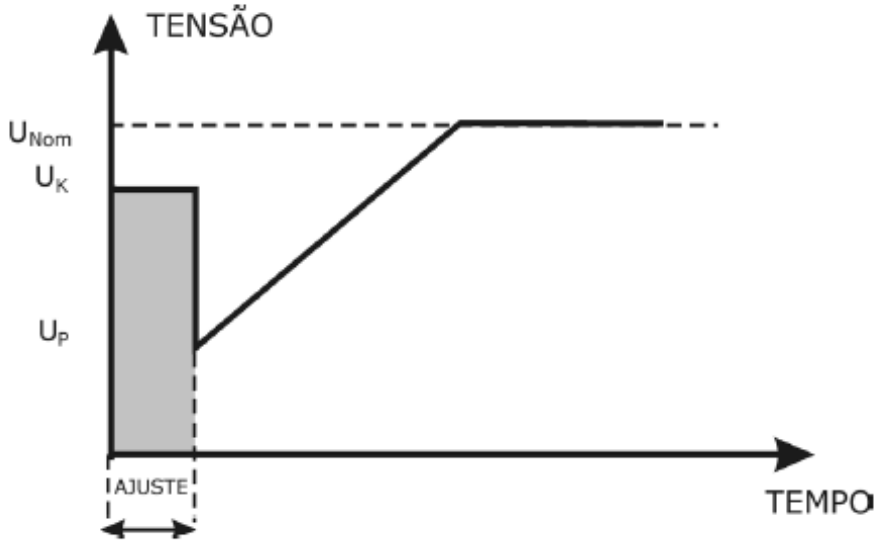

Figura 19 - Função Kick Start (Ferraz, 2009)

Como indicado pela Figura (19), a *Soft-Starter*, através de um pulso ajustável, aplica uma tensão no motor (U_K) maior que a aplicada na rampa de aceleração (U_P), proporciona um torque inicial a partida, para cargas que possuem um elevado atrito estático. Observa-se que a tensão aplicada pode chegar a valores próximos da tensão nominal, consequentemente a corrente de partida também irá atingir patamares próximos a corrente nominal do motor. Tal motivo faz com que esse recurso deva ser evitado e utilizado apenas para condições severas de partida (Ferraz, 2009).

4.4.4 Pump Control

Aplicado a sistemas de bombeamento, controle de bombas, essa função é uma extensão da rampa de tensão (aceleração e desaceleração), com certas proteções ativadas. O controle na desaceleração com o objetivo de evitar fortes choques mecânicos causadores do golpe de aríete. Como forma de evitar cavitações, presença de ar (bolhas) no interior da bomba, são habilitadas

proteções para detectar e conter diminuição drástica da corrente do motor, que podem causar danos ao sistema (Ferraz, 2009).

4.4.5 Economia de Energia

Quando a função economia de energia está ativada, a tensão nos terminais do motor é reduzida, quando esse estiver sem ou com pouca carga. Pode-se ser útil em aplicações que na partida o motor possui determinada carga, mas ao decorrer do processo essa carga é reduzida (Rosa, 2003).

De acordo com Rosa (2003) resultados positivos com a utilização dessa função, somente ocorrem quando o motor está operando com cargas inferiores a 50% da sua capacidade nominal. O que poderia se tratar de um motor sobre dimensionado, sendo considerado um desperdício financeiro.

A aplicação dessa função pode causar danos ao sistema e a equipamentos (capacitores, transformadores, componentes eletrônicos), pois gera tensões e correntes harmônicas e ainda alteração do fator de potência. (Ferraz, 2009).

4.4.6 Controle *de* Torque

Essa função está disponível em algumas *Soft-Starter* do mercado. Com esse controle é possível ajustar a aceleração e desaceleração com uma rampa linear de velocidade. (WEG, 2014).

O dispositivo possui um algoritmo flexível e de alto desempenho para controlar o torque, tanto na partida como na parada. Pode-se ajustar o controle em três pontos, como apresentado na Figura (20) a seguir:

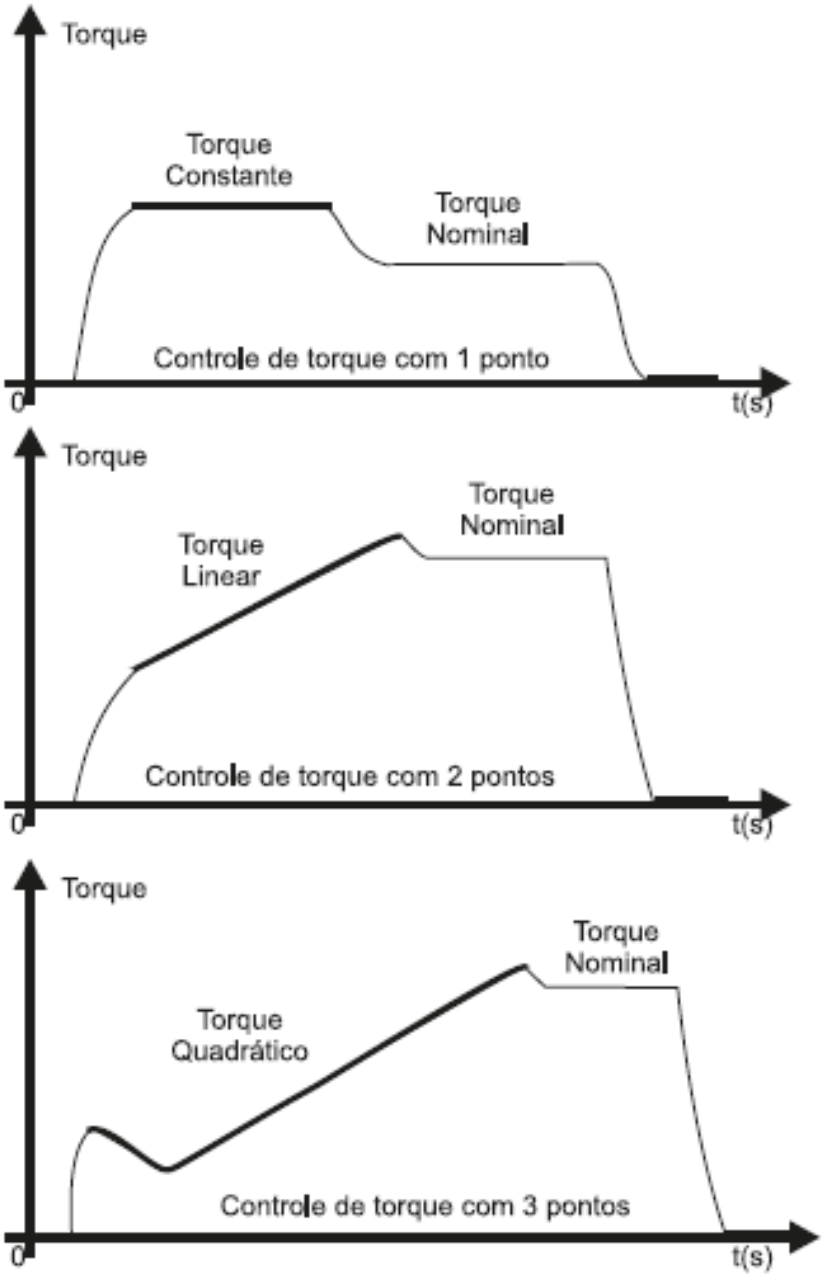

Figura 20 - Controle de Torque (WEG, 2014)

O primeiro ajuste, torque constante, permite uma limitação de torque de partida constante. Já o segundo ajuste, rampa de torque linear, permite uma limitação de torque de partida em rampa linear. Por fim, o terceiro ajuste, torque quadrático, permite uma limitação de torque de partida em três pontos de ajuste: inicial, intermediário e final. Para programar e ajustar tais parâmetros requer maior conhecimento da carga (WEG, 2014).

4.5 APLICAÇÃO

A *Soft-Starte*r pode ser utilizada em diversas aplicações em vários ramos da indústria. Por exemplo (WEG, 2014):

- Químico e Petroquímico (Bombas centrífugas e Agitadores);
- Açúcar e Álcool (Bombas de processo e Esteiras transportadoras);
- Plástico e Borracha (Extrusoras e Sopradoras);
- Cimento e Mineração (Peneiras e Separadores dinâmicos);
- Sucos e Bebidas (Centrífugas Contínuas e Linhas de engarrafamento);
- Siderurgia e Metalurgia (Transportadores e Furadeiras);
- Refrigeração (Compressores parafuso e Pistão);
- Saneamento (Bombas centrífugas e Sistema de recalque);
- Transporte de Carga (Correias, cintas, correntes e escadas rolantes).

5. PRÁTICA COM SOFT-STARTER

A prática desenvolvida tem como objetivo apresentar a *Soft-Starter* aos alunos, para que esses tenham conhecimento das suas funções e de como operá-la.

A prática será desenvolvida em três momentos: o primeiro será um acionamento simples via interface homem máquina (IHM), no segundo momento será um acionamento via entradas digitais com averiguação do tempo real de partida e parada e no terceiro momento será realizada uma prática para monitorar a corrente de partida em função do tempo de aceleração da rampa de tensão e da tensão inicial programada.

Para realização da prática são necessários alguns materiais que serão descritos no tópico a seguir, logo após apresenta-se os parâmetros necessários para primeira programação e por fim as etapas de realização da prática.

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Fusíveis

São dispositivos de proteção, principalmente, contra curto-circuito. A operação é realizada pela fusão do elemento fusível, presente no interior do dispositivo. Esse elemento é um condutor capaz de sofrer um aquecimento superior aos outros elementos quando ocorre a passagem de corrente elétrica. Os fusíveis apresentam respostas visíveis ao operador, indicando seu estado de funcionamento (Bisoni, 2010).

Os fusíveis são classificados de diversas formas, sendo as principais quanto à tensão de alimentação (baixa ou alta) e características de interrupção (retardados ou ultrarrápidos). Os fusíveis podem variar seu formato de acordo com o seu tipo e em função da sua corrente nominal.

A bancada didática da prática apresenta a placa 012, da WEG, onde estão acoplados três fusíveis de 16A, um para cada fase de alimentação como apresentado pela Figura (21).

Figura 21 - Fusíveis 16A (Placa 012)

5.1.2 Contator Tripolar

São dispositivos de manobra mecânica, funcionam como uma chave de operação eletromagnética. Possui apenas uma posição de repouso e é capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive suportar sobrecargas no funcionamento (De Souza, 2003).

De acordo com Bisoni (2010) os principais componentes construtivos de um contator, são: contatos (principais e auxiliares), sistema de acionamento (bobina), carcaça e acessórios.

Existem diversos tipos de contatores, podendo variar em bipolar, tripolar ou tetrapolar. O utilizado na prática é um tripolar, da fabricante WEG, como apresentado na Figura (22).

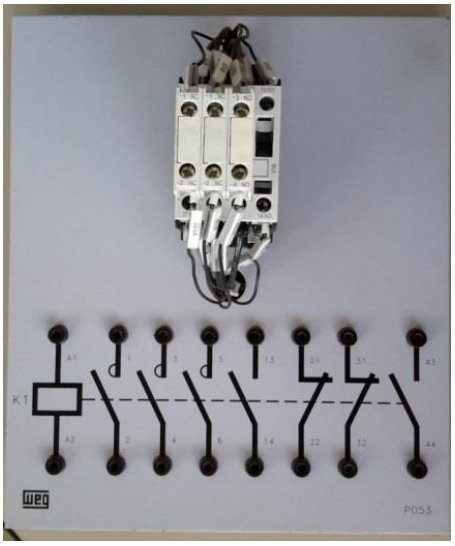

Figura 22 - Contator Tripolar (Placa 053)

5.1.3 Sinaleiro de LED

São indicadores luminosos, lâmpadas de *LEDs*, utilizado como sistema de alerta (visual) para eventos ocorridos ou próximos a ocorrer. Os *LEDs*, no experimento, funcionam com esse propósito na operação da *Soft-Starter*. A Figura (23) mostra o sinaleiro utilizado.

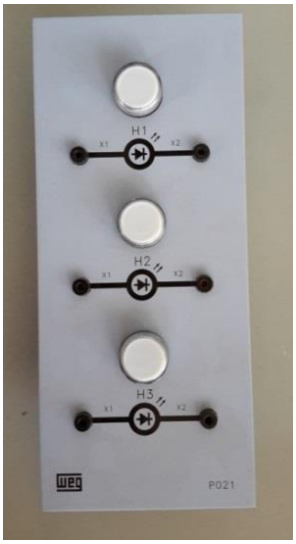

Figura 23 - Sinaleiro LEDs (Placa 021)

5.1.4 Chaves Seletoras

As chaves seletoras são comandadas manualmente e tem a função de estabelecer ou interromper um circuito de comando para iniciar ou interromper o processo. Pode-se encontrar chave seletora normalmente aberta (NA) ou chave seletora normalmente fechada (NF). A primeira apresenta um contato aberto até que seja aplicada força externa, a última apresenta-se fechada até que seja executada uma força para abrir.

A chave utilizada, Fig. (24), possui contato aberto e fechado. Utiliza-se a primeira para dar partida no motor, fechando o circuito, a segunda tem a função de abrir o circuito interrompendo a ação do motor.

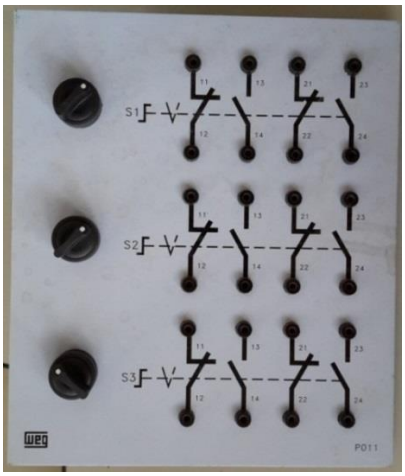

Figura 24 - Chave Seletora (Placa 011)

5.1.5 Motor trifásico

Para o experimento utiliza-se um motor de indução trifásico da VOGES. Seu rendimento é de 81.5% e potência de 1,5CV.

Figura 25 - Motor de Indução Trifásico

Como apresentado na Figura (25), o motor apresenta seis terminais. Com isso pode-se variar a tensão em 220V ou 380V, de acordo com o tipo de ligação utilizado.

5.1.6 Soft Starter

A *Soft-Starter* é da fabricante WEG da série SSW06 (Fig. 26) microprocessada e totalmente digital. Com interface homem máquina integrada permitindo e facilitando ajustes de parâmetros e operação.

O modelo utilizado é SSW060010T2257PSZ, fabricada em 28 de janeiro de 2010. A Tabela (4) apresenta a definição de cada digito do modelo, os quais apresentam as características da *Soft-Starter*.

Tabela 4 - Características Modelo *Soft-Starter* WEG

SSW06	0010	T	2257	P	S	Z
Série WEG	Corrente nominal de saída: 10A	Alimentação trifásica de entrada	Tensão de alimentação de entrada: 220V a 575V	Idioma do manual: P=Português	Opcionais: S=standard O=com opcionais	Termina o código

Para completa proteção do motor, a *Soft-Starter* SSW06 (Fig. 36) possui funções que permite ajustar valores limites de corrente e tensão, para proteção contra sobre e sobtensões e sobre e subcorrentes.

A SSW06 permite acionamentos em diferentes métodos de partidas, como: rampa de tensão, rampa de corrente, controle de bombas, limitação de corrente, controle de torque e *kick sarter* em tensão ou corrente.

Figura 26 - Soft Starter SSW06

A interface inteligente possui duplo display, sendo um de *LEDs* e outro de *LCD*, o primeiro apresenta números de parâmetros e valores referentes, já o segundo apresenta uma descrição detalhada dos parâmetros e mensagens alfanuméricas. A Figura (27) apresenta uma IHM detalhada.

Figura 27 - Interface Homem Máquina (WEG, 2014)

5.2 DIAGRAMAS ELÉTRICOS

Deve-se efetuar a montagem de acordo com os diagramas elétricos apresentados a seguir (Fig. 28 e 29).

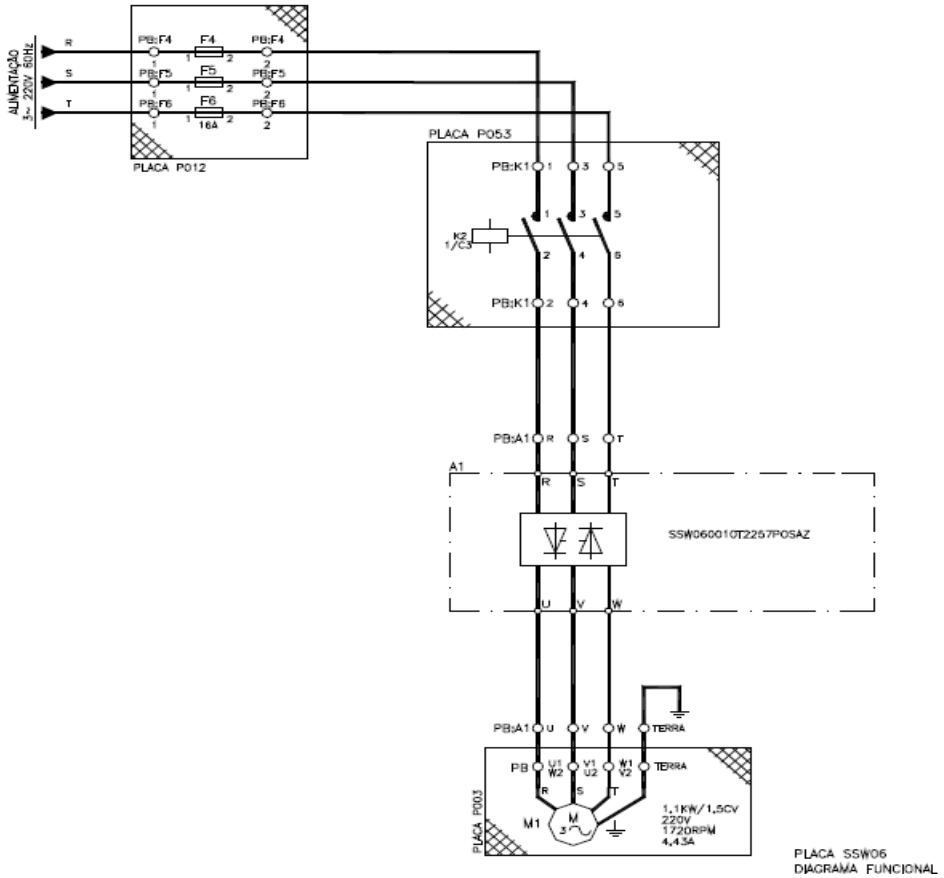

Figura 28 - Circuito de Potência (WEG, 2009)

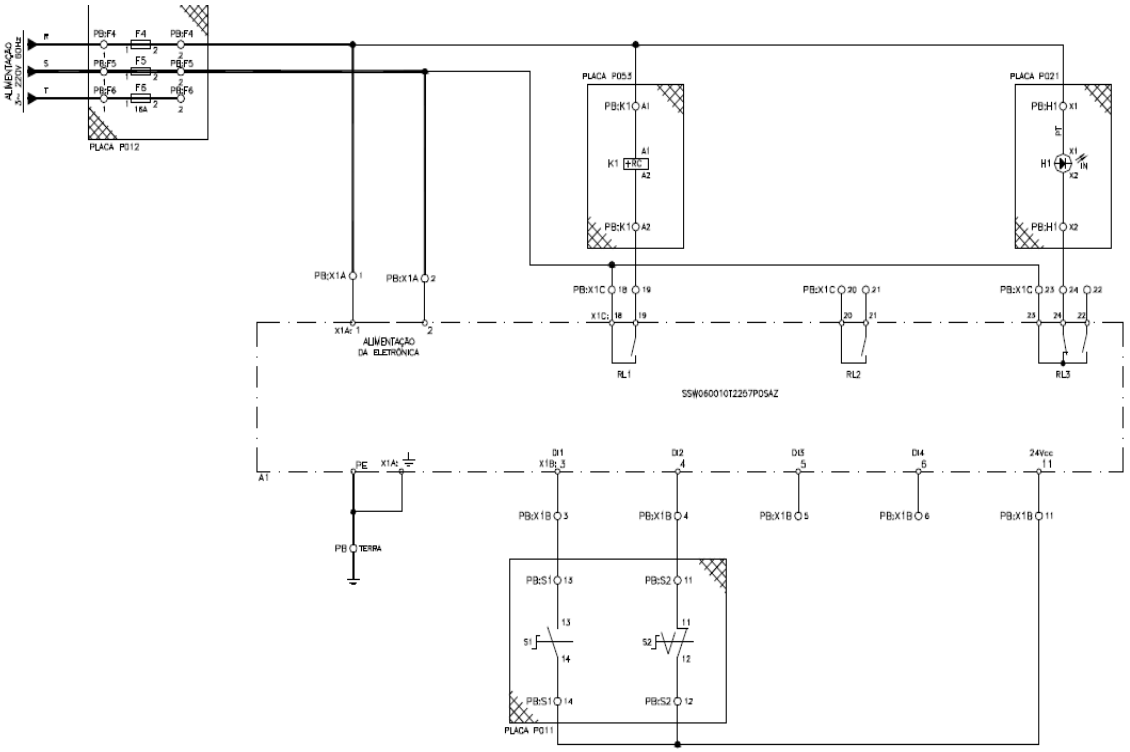

Figura 29 - Circuito de comando (WEG, 2009)

5.3 AJUSTES DE PARÂMETROS INICIAIS

A primeira etapa da realização da prática é para ajustar a *Soft-Starter* de acordo com as características dos equipamentos utilizados. Deve-se ajustar a *Soft-Starter* para carregar o padrão de fábrica e seguir a rotina de parametrizações de acordo com as características da rede e equipamentos utilizados.

Para utilização da Interface Homem Máquina (IHM) pressionar “Prog” para entrar no modo de programação, utilizar as setas indicativas para navegar entre as opções e pressionar “Prog” para salvar a opção escolhida e sair do modo de programação. Selecionado determinada opção, utilizar a seta para cima para avançar ao próximo parâmetro.

As etapas para realização da configuração inicial são apresentadas na Tabela (5).

Tabela 5 - Parâmetros Iniciais

Parâmetros	Descrição
P000	5 (Liberar acesso aos parâmetros)
P204	5 (Carregar ajustes de padrão de fábrica)
P201	1 (Idioma – Português)
P150	0 (Tipo de conexão da *Soft-Starter* ao motor – Standard 3 fios)
P202	0 (Tipo de controle de partida – Rampa de Tensão)
P101	25% (Tensão inicial de partida em porcentagem a tensão nominal)
P102	20s (Tempo da rampa de aceleração)
P400	220V (Tensão nominal do motor – vide placa em triângulo)
P401	4.3A (Corrente nominal do motor – In em triângulo)
P406	1.15 (Fator de serviço F.S)
P640	Classe 30 (Classe de proteção térmica do motor)

Após ajustar esses parâmetros a *Soft-Starter* estará pronta para operação, indicando “rdy” na tela.

5.4 ETAPAS DE REALIZAÇÃO DA PRÁTICA

Primeiro, deve-se programar a saídas a relé RL1 e RL3, as quais são responsáveis pelo acionamento do contator de isolação de potencia e pela sinalização *LEDS* (se ocorrer erro), respectivamente. Para esse ajuste, realizar as parametrizações da Tabela (6).

Tabela 6 - Parâmetros Saídas a Relé

Parâmetros	Descrição
P000	5 (Liberar acesso aos parâmetros)
P277	1 (Programa RL1 para acionar o contator de isolação de potência)
P279	6 (Programa RL3 para acionar o *LEDs* quando a *Soft-Starter* apresentar erro)

Acionar a *Soft-Starter* através da interface homem máquina (IHM), averiguar funcionamento e desligar.

Para a realização da segunda parte da prática deve-se programar a *Soft-Starter* para ser acionada via chaves seletoras. Para isso, deve-se parametrizar de acordo com a Tabela (7).

Tabela 7 - Parâmetros Para Acionar Via Chave Seletoras

Parâmetros	Descrição
P220	0 (Seleção da fonte Local/Remoto - Sempre Local)
P229	1 (Seleção dos comandos situação local– Entrada digital)
P263	2 (Função da chave S1 – Start três fios)
P264	1 (Função da chave S2 – Stop três fios)
P265 à P268	0 (Entradas digitais DI,3,4,5 e 6– Sem função)

Ao realizar as parametrizações corretas, a chave seletora S1 funcionará como chave para iniciar o movimento e a chave S2 funcionará como chave para cessar o movimento. Ajustar os tempos de aceleração e desaceleração de acordo com a Tabela (8).

Tabela 8 - Parâmetros Tensão Inicial e Tempo da Rampa

P102	Tempo da Rampa de Aceleração (20s)
P104	Tempo da Rampa de Desaceleração (10s)

Acionar a *Soft-Starter* utilizando a chave seletora, observar qual é o tempo real de aceleração através do parâmetro de leitura P049. Com o auxilio de um cronometro verificar o tempo de desaceleração do motor. Com os dados obtidos percebe-se que os tempos encontrados são diferentes dos tempos ajustados, isso se deve ao fato de que a carga que determina o tempo de aceleração do motor e o tempo de desaceleração ajustado funciona como um tempo adicional ao tempo que a própria carga necessita para parar.

Para facilitar a realização da terceira parte da prática pode-se retornar o método de comando para IHM (Interface Homem Máquina). Este ajuste deve ser realizado através do parâmetro P229.

Pra realização desta prática deve-se ajustar e ler os parâmetros apresentados da Tabela (9).

Tabela 9 - Descrição Parâmetros

Parâmetro	Descrição	Faixa de Valores
P047	Parâmetro de leitura da corrente máxima de partida, em ampere (A).	0 a 9999,9
P101	Parâmetro de regulação da tensão inicial (% tensão inicial do motor)	25 a 90
P102	Parâmetro de regulação do tempo da rampa de aceleração, em segundos (s).	1 a 999

A terceira etapa consiste em monitorar o pico de corrente de partida do motor em relação às mudanças na tensão inicial aplicada ao motor e ao tempo de rampa de aceleração ajustado. Para realização desta prática deve-se ajustar os valores de acordo com as Tabela (10) e (11).

Tabela 10 - Corrente de Partida em Função do Tempo de Aceleração

Tempo da rampa de aceleração (Programar no P102)	Tensão Inicial (% Um motor) (Programar no P101)	Corrente de pico de partida (A) (Ler no P047)
3	35	7.9
7	35	7.0
10	35	6.8
15	35	6.6
20	35	6.5
30	35	6.4

Tabela 11 - Corrente de partida em função da tensão inicial

Tempo da rampa de aceleração (Programar no P102)	Tensão Inicial (% Um motor) (Programar no P101)	Corrente de pico de partida (A) (Ler no P047)
10	25	5.3
10	35	6.7
10	50	10.0
10	60	11.3
10	70	12.2

Completando os valores de pico de corrente da Tab. (10) ao realizar o experimento, percebe-se que a relação entre correte máxima de partida e o tempo de aceleração é inversamente proporcional, ou seja, um menor tempo de aceleração leva a um pico de corrente mais elevado na partida. Porém, observa-se que a partir de um determinado momento a corrente máxima de partida entra na região de saturação, visto que a diferença entre a corrente máxima de partida para 20 segundos não é muito diferente da de 30 segundos de aceleração.

Os valores obtidos completando a Tab. (11) mostram que a tensão inicial aplicada é diretamente proporcional a corrente de pico de partida, assim aumentando a tensão inicial aplicada maior será a corrente de pico na partida.

Analisando os dados obtidos nas Tabelas (10) e (11), percebe-se que aumentando tensão inicial aplicada e reduzindo o tempo de aceleração estará cada vez mais próximo das condições de partida direta do motor. Causando maiores picos de corrente, quedas de tensão na rede, picos de torque elevados e maiores quebras mecânicas.

5.5 ROTEIRO PARA REALIZAÇÃO DA PRÁTICA PELO ALUNO

- Materiais
  - Chaves Seletoras NA + NF (Placa 011);
  - Fusíveis 16ª (Placa 012);
  - Sinaleiros de *LEDS´*s incolores (Placa 021);
  - Contator tripolar CWM12.22 (Placa 053);
  - *Soft-Starter* SSW-06 (Placa 025).
- Diagramas Elétricos

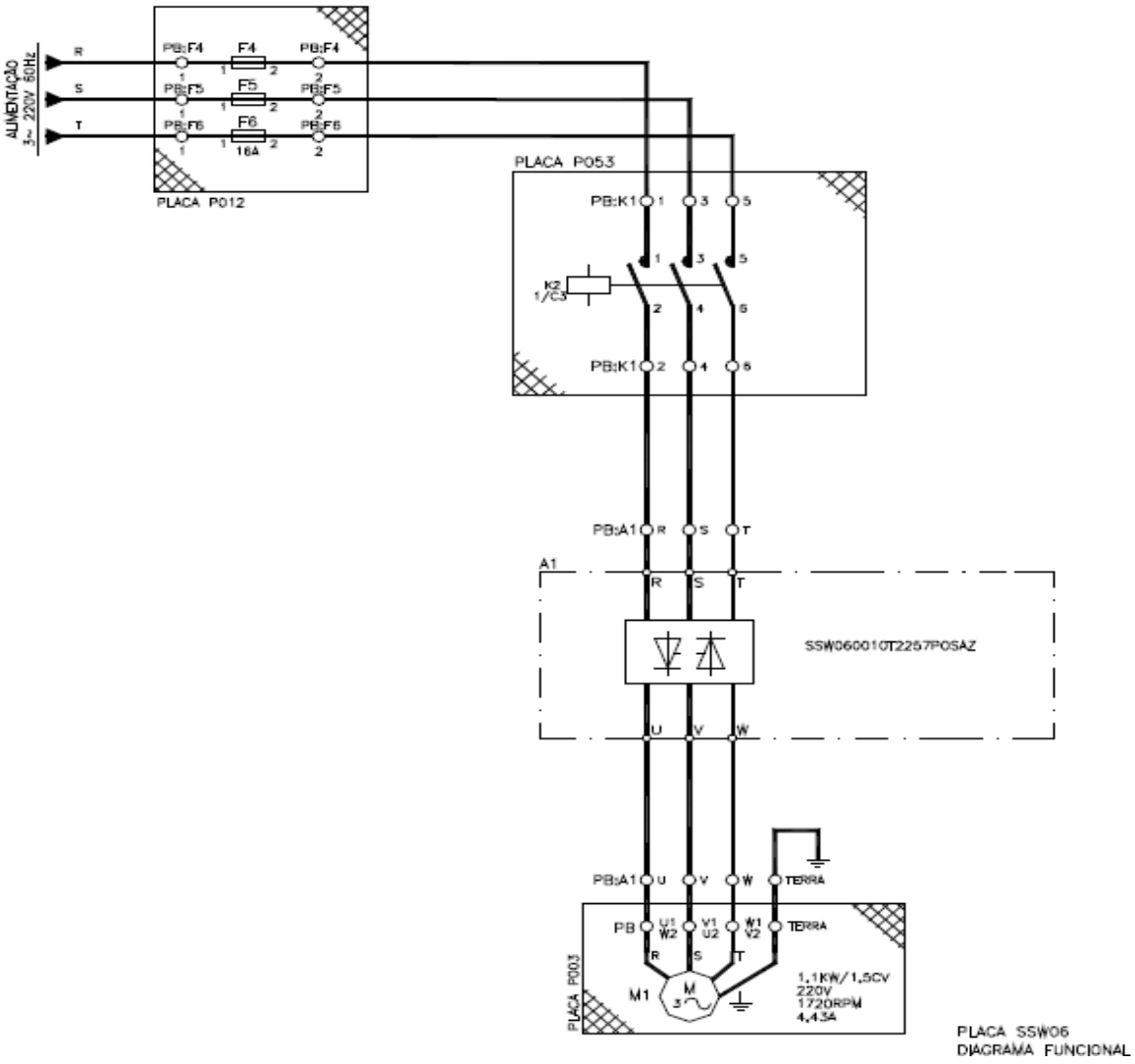

Figura 30 - Circuito de Potência Aluno

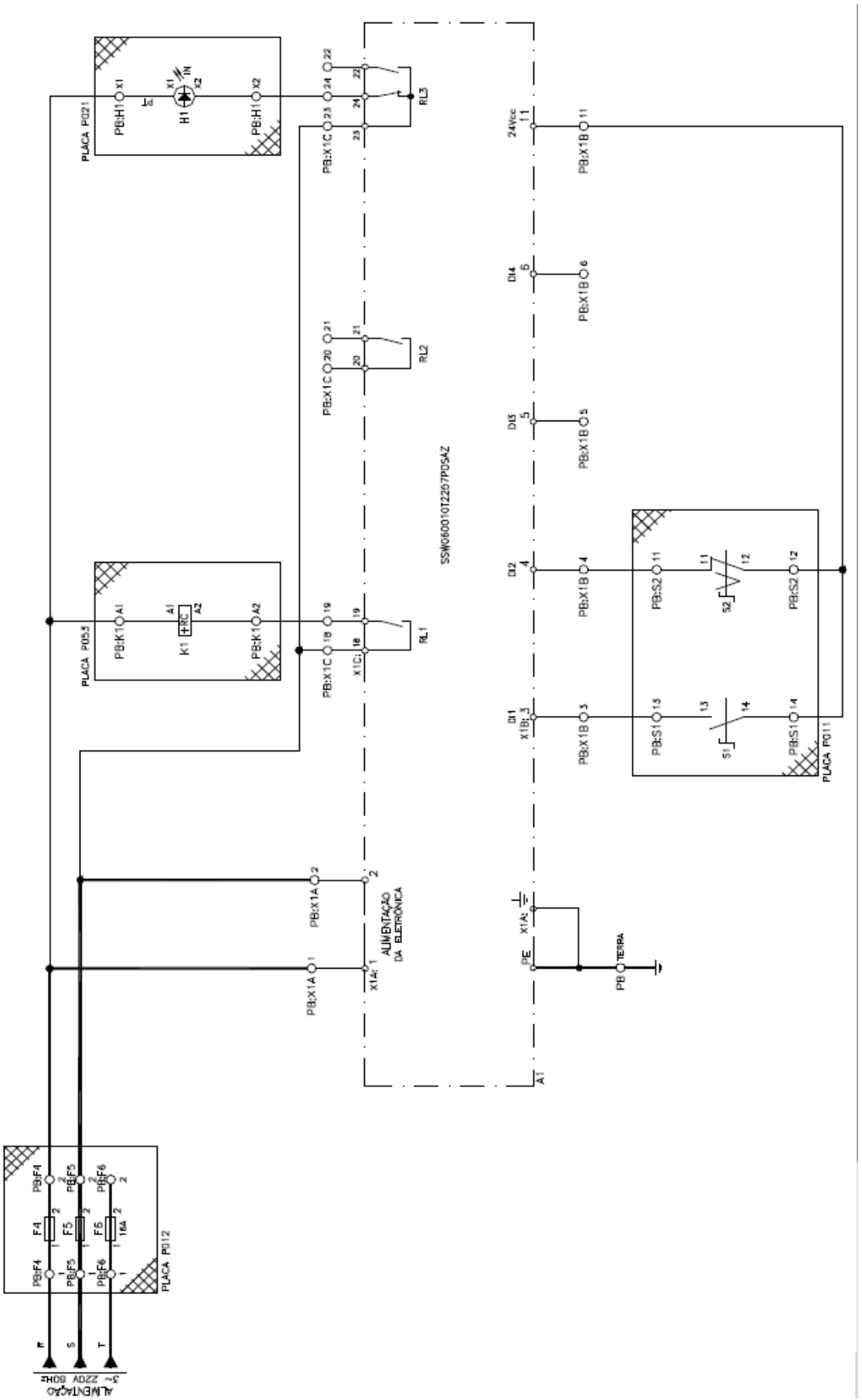

Figura 31 - Circuito de Comando Aluno

Etapas de Realização da Prática

1. Identificar os componetes necessários e posicioná-los na bancada didática;
2. Interpretar os diagramas de potência e comando, realizar a montagem correta e pedir para o professor verifica, se estiver correto, energizar a bancada;
3. Ligar a *Soft-Starter* para utilizar a HMI pressionar “Prog” para entrar no modo de programação, utilizar as setas indicativas para navegar entre as opções e pressionar “Prog” para salvar a opção escolhida e sair do modo de programação;
4. Carregar padrão de fábrica:
    a. P000 = 5 (Liberar acesso aos parâmetros);
    b. P204 = 5 (Carregar ajustes de padrão de fábrica).
5. Ajustar os parâmetros de fábrica:
    a. P201 = 1 (Idioma – Português);
    b. P150 = 0 (Tipo de conexão da *Soft-Starter* ao motor – Standard 3 fios);
    c. P202 = 0 (Tipo de controle de partida – Rampa de Tensão);
    d. P101 = 25% (Tensão inicial de partida em porcentagem a tensão nominal);
    e. P102 = 20s (Tempo da rampa de aceleração).
6. Ajustar os parâmetros de acordo com o motor (Placa de identificação):
    a. P400 = Tensão nominal do motor (Analisar tipo de ligação);
    b. P401 = Corrente nominal do motor (Analisar tipo de ligação);
    c. P406 = Fator de serviço F.S;
    d. P640 = Classe 30 (Classe de proteção térmica do motor).
7. Programar as saídas a relés RL1 e RL3:
    a. P000 = 5 (Liberar acesso aos parâmetros);
    b. P277 = 1 (Programa RL1 para acionar o contator de isolação de potência);
    c. P279 = 6 (Programa RL3 para acionar o *LED* quando a *Soft-Starter* apresentar erro).

8. Acionar a *Soft-Starter* através da interface homem máquina (IHM), averiguar funcionamento e desligar;
9. Programar entradas digitais para acionar pela chave seletora S1 e desligar pela chave S2:
    a. P220 = 0 (Seleção da fonte Local/Remoto - Sempre Local);
    b. P229 = 1 (Seleção dos comandos situação local– Entrada digital);
    c. P263 = 2 (Função da chave S1 – Start três fios);
    d. P264 = 1 (Função da chave S2 – Stop três fios);
    e. P265 à P268 = 0 (Entradas digitais DI,3,4,5 e 6– Sem função).
10. Ajustar os tempos de aceleração e desaceleração
    a. P102 = 20s (Tempo aceleração);
    b. P104 = 10S (Tempo desaceleração).
11. Acionar a *Soft-Starter* via chave seletora, observar:
    a. P049 (Parâmetro de leitura do tempo real de aceleração);
    b. Com auxílio de um cronômetro verificar o tempo de desaceleração;
    c. Qual o tempo real de partida? Porque esse tempo é diferente do ajustado na *Soft-Starter*?
    d. Qual é o tempo cronometrado na desaceleração? Porque esse tempo é diferente do ajustado na *Soft-Starter*?
12. Retornar o comando da *Soft-Starter* para HMI
    a. P000 = 5 (Acessar parâmetros);
    b. P229 = 0 (Ativar acionamento via HMI).
13. Ajustar os parâmetros de acordo com os valores apresentados nas Tabelas e monitorar a corrente de pico de partida:
    a. P102 = Ajustar tempo de aceleração de acordo com a Tabela (12);
    b. P101 = Ajustar tensão inicial de acordo com a Tabela (13);
    c. P047 = Parâmetro apenas de leitura, apresenta valor da corrente de pico de partida;
    d. Para completar a primeira tabela deve-se manter a tensão inicial em 35% (U_N do motor).

Tabela 12 - Tempo Aceleração e Corrente de Partida

Tempo da rampa de aceleração (Programar no P102)	Corrente de pico de partida (A) (Ler no P047)
3	
7	
10	
15	
20	
30	

e. Para completar a Tabela (13) deve-se manter o tempo da rampa de aceleração de 10 segundos.

Tabela 13 - Tensão Inicial e Corrente de Partida

Tensão Inicial (% Un motor) (Programar no P101)	Corrente de pico de partida (A) (Ler no P047)
25	
35	
50	
60	
70	

14. Com base nos dados coletados de corrente de pico, responda:
    a. Quais conclusões inferem-se da relação tempo de aceleração e corrente máxima de partida (corrente de pico)?
    b. Qual é a relação entre tensão inicial e corrente máxima de pico?

Utilizando altos valores de tensão inicial e baixo tempo de aceleração as condições estariam se aproximando de qual método de partida de motor? Quais seriam os danos?

c. Sugere-se que o aluno faça um gráfico relacionando:
    i. Corrente de pico e tempo de rampa de aceleração.
    ii. Corrente de pico e tensão inicial (%Un do motor).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As elevadas correntes de partida dos motores de indução trifásico demandam a utilização de métodos de acionamento que proporcionem a sua redução, para que o sistema não sofra quedas consideráveis em seus níveis de tensão, para não ocasionar avarias à rede e aos equipamentos conectados a ela.

O método de partida com *Soft-Starter*, com o objetivo de controlar a corrente de partida de motores elétricos, apresenta certa superioridade aos demais métodos tradicionais de partida. Desta forma, a introdução deste método é benéfica tanto para a vida acadêmica dos estudantes e futuros engenheiros da FGA, bem como profissional visto que ao se deparar com este equipamento no mercado de trabalho ou em projetos futuros, o estudante já estará familiarizado com o dispositivo.

Para maiores entendimentos do sistema de partida de motores de indução com *Soft-Starter*, esse trabalho apresenta uma introdução teórica dos motores de indução trifásico, dos principais métodos e partida e da *Soft-Starter*.

A prática é desenvolvida utilizando a função rampa de tensão da *Soft-Starter*, considerada a principal dentre as demais funções. A realização da prática resulta no entendimento a respeito do funcionamento de uma *Soft-Starter*, aplicado ao controle da corrente de partida, assim como o conhecimento de programação via interface homem máquina da *Soft-Starter*. Estimulando que o aluno compreenda as razões e as consequências de se utilizar determinados valores de tensão inicial e tempo de aceleração. A fim de que possam operar a *Soft-Starter* da forma mais correta, tanto para chegar a resultados positivos como para proteger o sistema.

Em trabalhos futuros pode-se propor práticas utilizando outras funções da *Soft-Starter*, como por exemplo, a *pump control*. Aplicada em bombas, com objetivos principais de evitar cavitações e golpe de aríete.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Rodrigo Sarmento do. **Aplicação da *Soft-Starter* para acionamento de motores de indução acoplados a diferentes tipos de cargas mecânicas**. 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17094: **Máquinas Elétricas Girantes Motores de Indução - Parte 1: Trifásicos**. Novembro de 2013.

AZEVEDO, Vinícius Lima; MENDES, Luiz Eduardo. **Análise transitória do motor de indução trifásico**. 2010.

BISONI, Paulo Roberto. **Instalações Elétricas Industriais**. Florianópolis: SENAI/SC. 2008

BRITO, Claudio Marzo Cavalcanti de. **Modelagem Computacional de Métodos de Partida de um Motor de Indução Trifásico no Simulink/Matlab**. In: congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica. 2007.

CARVALHO, Geraldo. **Máquinas elétricas teoria e ensaios**. **Editora Érica Ltda. São Paulo**, 2011

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. AMGH Editora, 2013.

DE SOUZA, Ronimack Trajano; DA COSTA, Edson Guedes. **Instalações elétricas industriais**. Revisão janeiro de 2003.

FERRAZ, Rogério. **Guia de Aplicação de *Soft-Starters*** – WEG. Manual, 2009, WEG.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. São Paulo: Érica, v. 5, 2008.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. EditoraLTC. 7° Edição, 2007.

MUSSOI, Fernando LR. **Tiristor SCR Retificador Controlado de Silício**.CEFET/SC, 2002.

ROSA, ALEX DA. **Simulação de um *Soft-Starter* para acionamento de motores de indução**. Trabalho de Graduação, Universidade Federal do Goiás, 2003.

SIEMENS. **Partidas de Motores Elétricos**, Módulo 3S. 2003.

UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed. [s.l.] AMGH Editora Ltda., 2014.

WEG. **Catalogo *Soft-Starter* SSW06**. 2014.

WEG. **Curso de Motores Elétricos Assíncronos de Alta Tensão**. 2005.

WEG. **Instalção e Manutenção de Motores Elétricos**.

WEG. **Kit Chave de Partida Estática *Soft-Starter* – Manual do Aluno**. 2009.

WEG. **Manual do Inversor de Frequência CFW-11**. 2008.

WEG. **Manual do Usuário *Soft-Starter* SSW06**. 2012.

WEG. **Variação de Velocidade**, Modulo 2. 2004.