



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SAMANTHA LOPES FALCÃO

**ANÁLISE DE CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO
TRIFÁSICO**

Palmas/TO
2019

SAMANTHA LOPES FALCÃO

**ANÁLISE DA CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO
TRIFÁSICO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e
pela Banca Examinadora.

Orientador Msc. Alexandre Motta de Andrade
Co orientador Dr. Adélcio Maximiano Sobrinho

Palmas/TO
2019

<https://sistemas.uft.edu.br/ficha/>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

F178a Falcão, Samantha Lopes.
ANÁLISE DA CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO. / Samantha Lopes Falcão. – Palmas, TO, 2019.
71 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Alexandre Motta De Andrade

Coorientador: Adélcio Maximiano Sobrinho

1. Estudo de Motores de Indução Trifásico. 2. Análise de tipos de partidas de motores. 3. Redução da corrente de partida. 4. Tipos de partida adequada para cada caso. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

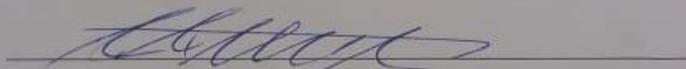
SAMANTHA LOPES FALCÃO

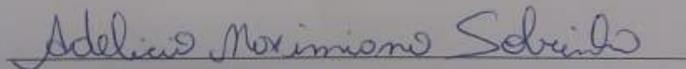
**ANÁLISE DA CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO
TRIFÁSICO**

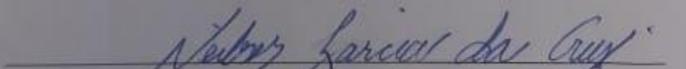
Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e
pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13 / 10 / 2019

Banca Examinadora


Prof. Msc. Alexandre Motta de Andrade, UFT


Prof. Dr. Adélcio Maximiano Sobrinho, UFT


Técnico de Laboratório Neiber Garcia da Cruz, UFT

A DEUS e à minha família.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo informar quanto à importância da eficiência energética e das suas vantagens. Aborda as principais ações e programas concernentes à eficiência energética adotadas no Brasil, oriundos de iniciativas ou apoio do Ministério de Minas e Energia – MME. Também pretende estudar os métodos e as tecnologias atuais disponíveis para acionamento de motores elétricos em termos da minimização de suas correntes de partidas, assim como a confiabilidade de suas instalações, para assim aumentar confiabilidade do conjunto, reduzir a queda de tensão nas redes, transitórios e a minimização dos gastos com manutenção.

Palavras-chaves: energy quality; electric motors; starting streams.

ABSTRACT

This paper aims to inform about the importance of energy efficiency and its advantages. It discusses the main actions and programs concerning energy efficiency adopted in Brazil, coming from initiatives or support from the Ministry of Mines and Energy - MME. It also intends to study current methods and technologies available for driving electric motors in terms of minimizing their starting currents, as well as the reliability of their installations, thereby increasing assembly reliability, reducing voltage drop in mains, transients and minimization of maintenance expenses.

Key-words: Energy quality; electric motors; starter currents.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tripé de Energia Sustentável	16
Figura 2- Corte de um motor gaiola de esquilo	20
Figura 3- Diagrama fasorial de correntes	23
Figura 4 - Correntes em função do tempo	23
Figura 5 - Ligação motor de dois polos	23
Figura 6 - Circuito Equivalente aproximado motor de indução	24
Figura 7 - Triângulo de Potência	26
Figura 8 - Diferença de rendimento entre os motores standard e motores de alto rendimento .	28
Figura 9 - Comportamento do rendimento em função da carga	28
Figura 10 - Distribuição das perdas em um motor de indução trifásico	29
Figura 11- Curvas características das cargas	36
Figura 12 - Interface aparelho de medição	45
Figura 13 - Conexões aparelho de medição.....	46
Figura 14 - Bobina de medição.....	47
Figura 15 - Medição motor de 7CV	48
Figura 16 - Print sobre a tela, registro fase A motor de 7CV	49
Figura 17 - Print sobre a tela, registro fase B motor de 7CV	49
Figura 18 - Print sobre a tela, registro fase C motor de 7CV	50
Figura 19 - Medição motor de 15CV.....	50
Figura 20 - Print sobre a tela, registro fase A motor de 15CV	51
Figura 21 - Print sobre a tela, registro fase B motor de 15CV	51
Figura 22 - Print sobre a tela, registro fase C motor de 15CV	52
Figura 23 - Print sobre a tela, diagrama de Força.....	53
Figura 24 - Print sobre a tela, diagrama de comando	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações Construtivas, bomba 4 polegadas	39
Tabela 2 -Especificações Construtivas	41
Tabela 3- Limites de tensão percentual e seus efeitos no sistema.....	42
Tabela 4 - Motor alimentador da bomba de 4 polegadas.....	43
Tabela 5 - Motor alimentador da bomba de 6 polegadas.....	44
Tabela 6 – Conexões do aparelho de medição.....	46
Tabela 7 - Motor 7CV.....	52
Tabela 8 - Motor 15CV.....	52
Tabela 9- Redução da corrente usando chave estrela – triângulo, motor 7CV.....	56
Tabela 10 - Redução da corrente usando chave estrela – triângulo, motor 15CV.....	56
Tabela 11- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 65% motor 7CV.....	57
Tabela 12- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 65% motor 15CV.....	57
Tabela 13- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 80% motor 7CV.....	57
Tabela 14 - Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 80% motor 15CV.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UFT	Universidade Federal do Tocantins
BEM	Balço Energético Nacional
LED	Diodo Emissor de Luz
AIE	Agência Internacional de Energia
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
PNEE	Plano Nacional de Eficiência Energética
CREA-PR	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura do Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
AEA	Associação de Engenharia Automotiva
CNPE	Conselho Nacional de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
PNE	Plano Nacional de Energia

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Metodologia	14
1.3.1 Metodologia da Pesquisa.....	14
1.4 Estrutura do trabalho	14
1.4.1 Capítulo 1: Introdução.....	15
1.4.2 Capítulo 2: Revisão Bibliográfica	15
1.4.3 Capítulo 3: Características dos motores estudados	15
1.4.4 Capítulo 4: Resultados	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Vantagens do Uso das Técnicas de Eficiência Energética	16
2.2 Legislação pertinente sobre o tema	17
2.2.1 lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.....	17
2.2.2 Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 e o decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 ..	18
2.3 Programas de eficiência	18
2.4. Programas de eficiência para motores elétricos	19
2.5 Motores elétricos de indução trifásico	19
2.5.1 Princípio de funcionamento	21
2.5.1.1 <i>Campo Girante no Estator</i>	21
2.5.1.2 <i>Circuito Equivalente de um Motor de Indução</i>	23
2.5.2 Especificações gerais dos motores	24
2.5.2.1 <i>Dimensionamento do motor</i>	25
2.5.2.2 <i>Fator de potência</i>	26
2.5.2.3 <i>Fator de serviço</i>	26
2.5.2.4 <i>Características da Rede Elétrica</i>	27
2.5.2.5 <i>Vida útil do motor</i>	27
2.6 Perdas no motor	28
2.6.1 Perdas no núcleo.....	30
2.6.2 Perdas mecânicas.....	30
2.6.3 Perdas por efeito joule no estator	30
2.6.4 Perdas por efeito joule no rotor	30
2.6.5 Perdas suplementares	31
3. SISTEMA DE PARTIDAS DE MOTORES	32
3.1 Partida Direta	32
3.2 Partida Estrela – Triângulo	32
3.3 Partida Através de Chave Compensadora	33
3. 4 Partida através de Chaves Estáticas (<i>Softstarter</i>)	33
3. 5 Partida através de inversores de frequência	34
4. CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS	36
4.1 Bombas Submersas	37
4.1.1 Recomendações de uso.....	37
4.2 Bombas Submersíveis	37
4.2.1 Recomendações de uso.....	37

4.3 Modelos das bombas	38
4.3.1 Bomba de 4 polegadas, anexo A (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).	38
4.3.1.1 Seguem os dados construtivos, na Tabela 1 da primeira bomba analisada, acoplada ao motor de 7CV, anexo A (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).	39
4.3.2 Bomba de 6 polegadas, anexo C (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).	39
4.3.2.1 Dados construtivos na Tabela 2, da bomba alimentada pelo motor de 15CV anexo C (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).	41
5. RESULTADOS	42
5.1 Especificação Técnica dos motores analisados, nas Tabelas 4 e 5.	43
5.3 Aparelhos de Medição.....	44
5.4 Resultados das medições	49
5.5 Métodos de Partidas.....	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	60
ANEXOS	64
ANEXO A Características construtivas bomba quatro polegadas.....	64
ANEXO B Curvas de performance bomba quatro polegadas	65
ANEXO C Características construtivas bomba seis polegadas	66
ANEXO D Curvas de performance bomba seis polegadas	67
ANEXO E Curvas de desempenho motor de 7CV	68
ANEXO F Dados fundamentais motor de 7CV	69
ANEXO G Dados fundamentais motor de 15 CV	69
ANEXO H Folheto contatore K1 e K2	70
ANEXO H Relé térmico.....	70
ANEXO I Folheto contator K3	71

1 INTRODUÇÃO

Privatizações no setor elétrico somado a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em meados dos anos 90, modificaram o setor elétrico. Tais mudanças demonstram que a energia elétrica é um insumo valioso, e, dessa forma, deve ser usada de maneira racional. O uso eficiente de energia, que pode ser entendido como a utilização da menor quantidade possível para realizar um trabalho sem que se perca qualidade e segurança na realização e tem como campo de atuação os mais diversos ramos de atividade da sociedade. Utilizar a energia com responsabilidade e sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania (FREITAS, 2013).

A energia elétrica tornou-se um recurso essencial à vida e sobrevivência do homem e indispensável ao desenvolvimento econômico das nações devido à sua multiplicidade de aplicações e à comodidade que a sua utilização confere, no entanto, o uso excessivo e contínuo deste recurso traz consequências econômicas e ambientais (PIRES, 2016). Sendo assim, buscar soluções para esse aumento constante do consumo, envolve por exemplo, a construção de novas usinas, a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e sobretudo investimento em ações que promovam o aumento da eficiência no uso adequado de aparelhos (NATURESA, 2011).

Segundo Aneel (2015), o aumento de ações que visem a redução do consumo de energia elétrica, assim como ferramentas que ajudem a manter o sistema elétrico de potência estável, tem um grande poder na implementação de políticas de consumo sustentável. O uso racional de energia tem importante contribuição para satisfazer a demanda futura, garantir a segurança do fornecimento energético e melhorar a modicidade tarifária da energia elétrica, bem como reduzir os impactos ambientais. Dessa forma, define-se como sendo eficiência energética um conjunto de políticas e ações que tem por objetivo a redução dos custos de energia efetivamente utilizada ou ainda, o aumento da quantidade de energia oferecida sem aumento de geração (AUGUSTO JR, 2001).

O aquecimento da economia nacional implica diretamente na ampliação do parque industrial brasileiro, nitidamente reconhecido como o grande setor consumidor de energia elétrica (FREITAS, 2013). De acordo com o Relatório Balanço Energético Nacional 2018 (BEN 2018), no Brasil, houve um consumo no total de 472.242GWh, e que aproximadamente 31% desse total foi destinado somente ao setor industrial devido ao uso em grande escala de motores de indução. Assim, para que se tenha um maior controle acerca do estudo de eficiência energética de motores elétricos, e dos impactos que estes causam no sistema elétrico de potência leis foram criadas, com o objetivo de estabelecer níveis mínimos de consumo, ou mínimos de

eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados no país. Sendo assim, os fabricantes de motores são obrigados a se adequar e oferecer produtos de acordo com os critérios mínimos estipulados por lei (GADELHA, 2014). Embora os motores de indução sejam máquinas intrinsecamente eficientes, são verificadas que grandes parcelas dos problemas que ocorrem com essas máquinas são ocasionadas devido ao seu mau dimensionamento, falta de manutenção, excesso de rebobinagens, não utilização de acionamento eletrônico, etc., dessa forma, reforça-se a importância de estudos direcionados ao seu uso de forma adequada (GADELHA, 2014).

Este trabalho, portanto, visa ressaltar a importância das técnicas adequadas de acionamento em sistemas motrizes, assim como ressaltar o impacto de sua corrente de acionamento na rede de energia elétrica, sendo dividido em quatro partes. Primeiramente enfatizando a importância dessas máquinas no atual setor industrial, análise das diretrizes de eficiência energética que já foi feito no Brasil, destacando algumas de suas características construtivas assim como suas perdas. E por fim, levantamento da corrente de acionamento de dois dos motores instalados no campus da Universidade Federal do Tocantins campus de Palmas – TO.

1.1 Justificativa

A expansão de geração em virtude do aumento da oferta de energia elétrica enfrenta dificuldade no setor elétrico brasileiro, entre os métodos adotados para evitar o racionamento, destacam-se os programas de conservação de energia como sendo um dos principais caminhos (RAMOS, 2005).

Desta forma, a justificativa deste trabalho está centrada na necessidade incessante de se buscar mais técnicas que minimizem o impacto no sistema elétrico de forma a contribuir com o desempenho e com a redução dos desperdícios através da implementação de práticas mais aperfeiçoadas na utilização dos motores elétricos, uma vez que estes são responsáveis pela maior fatia da demanda de energia, junto a isso, a adoção de medidas que proporcionem eficiência, tais como implementação de painéis fotovoltaicos, substituição de lâmpadas, campanhas de conscientização, são levadas como pauta importante na economia gerada nos custos das instituições.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo aprofundado sobre o uso de motores elétricos de indução, destacando sua importância, aplicabilidade e levantamento das cargas que são alimentadas por dois motores da Universidade Federal do Tocantins campus de Palmas – TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, que vão fomentar o objetivo principal mencionado, são os seguintes:

- 1.** Descrever o conceito de eficiência energética relacionado principalmente a motores trifásico de indução;
- 2.** Fazer um levantamento dos dois maiores motores utilizados no campus da Universidade Federal do Tocantins;
- 3.** Fazer as medições de suas respectivas correntes de acionamento utilizando um analisador de energia;
- 4.** Fazer os diagramas de acionamentos adequado para os motores.

1.3 Metodologia

1.3.1 Metodologia da Pesquisa

Os procedimentos utilizados nesse trabalho serão realizados através de métodos práticos, o qual chega-se a novas conclusões por meio das premissas analisadas. Portanto, primeiramente, será feito um levantamento bibliográfico acerca de eficiência energética ligadas a motores elétricos de indução. Posteriormente, será realizado um levantamento de dados dos motores da Universidade Federal do Tocantins, o qual será uma pesquisa qualitativa descritiva. Em seguida será analisado os tipos de acionamento usado em motores a fim de limitar a corrente de partida, assim como a medição das correntes nominais e condições das instalações. Por fim, será dimensionado um sistema de substituição mais eficiente de acionamento.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em quatro capítulos, conforme descritos a seguir:

1.4.1 Capítulo 1: Introdução

Neste capítulo introdutório, são apresentados os principais conceitos que fundamentam o desenvolvimento deste trabalho da seguinte forma: o enfoque central do trabalho, objetivos geral e específico, justificativa, e, por fim, a metodologia.

1.4.2 Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

O capítulo 2 apresenta pesquisas bibliográficas, a fim de se obter um levantamento teórico caracterizando as vantagens do uso de técnicas de eficiência energética, os atuais programas de incentivo de economia de energia que existem no Brasil. Aborda também algumas das características construtivas dos motores elétricos e suas perdas e considerações sobre sua utilização.

1.4.3 Capítulo 3: Características dos motores estudados

O capítulo 3 apresenta um levantamento das características nominais dos motores assim como as características das cargas que os mesmos alimentam.

1.4.4 Capítulo 4: Resultados

No capítulo 4, demonstra os resultados práticos, após realização das medições das correntes de acionamento dos motores escolhidos apontando as técnicas adequadas para o seu acionamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vantagens do Uso das Técnicas de Eficiência Energética

Os melhores resultados em termos de eficiência energética são alcançados através da melhor tecnologia e práticas disponíveis. O retorno do investimento da adoção de um método eficiente da utilização de energia, a curto prazo dá-se pela economia na fatura, e a longo prazo, pode-se destacar a redução nos custos de operação e manutenção (ABB, 2012).

Conforme a Agência Internacional de Energia (AIE) deve-se priorizar a máxima eficiência energética, já que esta é a forma que oferece maior potencial para a redução das emissões de carbono, ao menor custo. Na prática, no entanto, pode ser um desafio capturar estes benefícios. Governos, empresas e indivíduos, todos desempenham um papel, não existindo forma fácil para coordenar as suas ações. As barreiras no investimento em eficiência energética incluem a falta de conhecimento, a falta de recursos e o capital limitado. O processo de encontrar, recolher e transformar recursos energéticos em produtos como eletricidade, gasolina e a sua posterior utilização, são tão ineficientes que a maior parte de seu valor potencial é perdida. Confrontados com os recursos finitos das fontes fósseis e com o aumento da procura, atinge-se uma situação que não é sustentável (ABB, 2012).

O conceito do programa de Eficiência Energética Sustentável, apresentado na Figura 1, é baseado no tripé – eficiência energética - sustentabilidade - política energética - que deve ser articulado de forma integrada, com apoios sincronizados de forma a obter os benefícios pretendidos (AEA, 2017).

Figura 1- Tripé de Energia Sustentável



Fonte: Adaptado, CREA-PR (2018)

Dessa forma, pode-se citar como vantagens significativas o uso de técnicas de eficiência energética, como descrito abaixo (CREA-PR, 2018):

- O custo da economia de energia é inferior ao de geração;
- Aumenta-se a segurança no fornecimento, poupando recursos que são finitos;
- Há ganhos micro e macros econômicos associados a um aumento de produtividade e competitividade industrial;
- Aumenta-se a disponibilidade de acesso a serviços de energia;
- Reduzem-se impactos ambientais, em especial a emissão de gases poluentes e de efeito estufa.

2.2 Legislação pertinente sobre o tema

Desde a crise do petróleo, nos anos 70, quando ficou evidente que as reservas fósseis não seriam suficientes e nem baratas para sempre. Logo notou-se, que, os mesmos serviços proporcionados pela energia, poderia ser realizado com menos gastos, e com ainda, repercussões econômicas, ambientais, sociais e culturais (PNE 2030, 2006). Desde então, surgiram iniciativas que visam conscientizar sobre o uso racional de energia, incentivos fiscais e descontos tarifários para a aquisição de equipamentos mais eficientes, além de consideráveis investimentos na área (ALTOÉ, Leandra. *et al*). O uso de equipamentos e hábitos que provocam um menor uso da energia para realizar o mesmo serviço prestado, receberam o nome de “medidas de eficiência energética” (PNE 2030, 2006).

No Brasil, as consistências de programas nacionais combinam adesões voluntárias, de pequeno, médio e grande porte com legislação compulsória, e um suporte proporcionado pelos recursos decorrentes das receitas das concessionárias, fez com que o país tivesse um forte avanço no que diz respeito a programas de eficiência energética (ALTOÉ, Leandra. *et al*). Nesse contexto, existem diversos mecanismos que visam à promoção da eficiência oriundos do apoio do Ministério de Minas e Energia, tanto do ponto de vista de leis e decretos que regulamentam a matéria, quanto de programas (ALTOÉ, Leandra. *et al*).

2.2.1 lei n° 9.478, de 6 de agosto de 1997

A Lei n° 9.478, de 6 de agosto de 1997, restabelece os princípios e objetivos da “Política Energética Nacional” que define, em seu artigo primeiro, a competência do Estado brasileiro quanto à proteção ao meio ambiente e à promoção da conservação de energia, dentre outros assuntos. Esta lei instituiu o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE.

Entre outras competências, o CNPE deve “Promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do País” (ALTOÉ, Leandra. *et al*). O Anexo I, do Decreto n. 2.335, de 06.10.1997, no seu artigo quarto, incisos IX, XX e XXIII, apresenta como competências da ANEEL,

respectivamente, “incentivar o combate ao desperdício de energia no que diz respeito a todas as formas de produção, transmissão, distribuição, comercialização e uso da energia elétrica”, “articular-se com outros órgãos reguladores do setor energético e da administração federal sobre matérias de interesse comum” e “estimular e participar das atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico necessário ao setor de energia elétrica” (CREA-PR, 2018).

2.2.2 Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 e o decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, também conhecida como a “Lei de Eficiência Energética” (regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001), estabelece o procedimento para a adoção de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país (SOUZA, Hamilton 2009). Fica estabelecido ainda que o Inmetro seja o órgão responsável pelos Programas de Fiscalização e Avaliação da Conformidade (CREA-PR, 2018).

2.3 Programas de eficiência

Há em curso no Brasil, mecanismos que visam a promoção da conservação de energia de forma geral (CREA-PR, 2018). Os principais programas observados no âmbito do Governo Federal, e que, portanto, seguem as diretrizes do Ministério de Minas e Energia no que concerne às políticas para as questões energéticas são:

- CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural;
- PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
- PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem; PEE – Programa de Eficiência Energética.

Com relação ao estabelecimento destes programas, a Lei de Eficiência Energética n. 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, é peça fundamental como base legal na aplicação das metas em busca de horizontes de consumo mais eficientes. Neste contexto, o que se observa é uma atuação sinérgica institucional entre o MME, Eletrobrás, Petrobrás, ANEEL e Inmetro, bem como as concessionárias de energia, que contribuem para um ambiente propício ao fortalecimento e ampliação do tema eficiência energética no Brasil, de forma coesa e garantindo o ambiente de crescimento sustentado e capacitação tecnológica (CREA-PR, 2018).

2.4. Programas de eficiência para motores elétricos

O planejamento energético passa a ser fundamentado como estratégia para diversificação das matrizes de energia em uma tentativa de diminuição da dependência das reservas fósseis e do mundo se conscientizar da necessidade de se desenvolver ferramentas mais eficientes no que diz respeito à racionalização do consumo de energia. A partir de então, o problema da energia deixou de ser tratado em segundo plano, haja vista, entre outros aspectos, a sua crescente utilização e seu relevante papel na sociedade urbana e industrial (MACHADO, 2005).

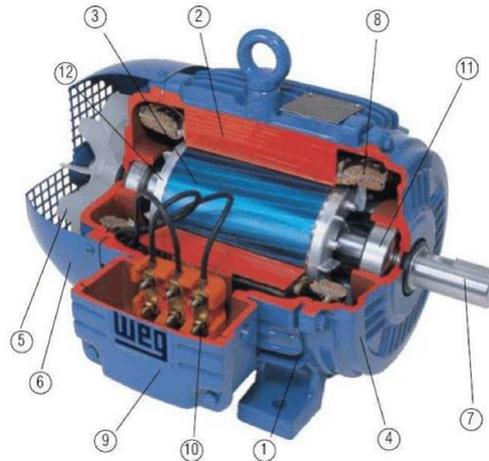
Dessa forma, os motores elétricos ganham uma atenção especial já que são grandes consumidores de energia e são usados em grande escala não só na indústria, como em pequenas áreas comerciais, residenciais, rurais e etc.

Algumas empresas que fabricam motores elétricos possuem programas que tem como objetivo o incentivo à troca de motores elétricos ditos ineficientes por motores de rendimento superior. Como exemplo de programas desse tipo, a WEG, principal fabricante de motores elétricos do país, possui um programa intitulado "Plano de Troca". Este plano tem como premissa a compra em forma de crédito, de motores elétricos sucateados ou de baixa eficiência pelo valor de 12% do seu valor original, ou seja, o consumidor fica com um crédito na empresa para ser utilizado quando for comprar um motor novo. Tais medidas incentivam as empresas a aderir uma política de eficiência energética (ou do uso inteligente de energia). (GADELHA, 2009).

2.5 Motores elétricos de indução trifásico

Destes motores, destaca-se os motores de rotor bobinado e gaiola de esquilo, sendo este último objeto de estudo deste trabalho. A Figura 2, ilustra um motor de indução do tipo gaiola de esquilo, os quais são amplamente difundidos na indústria devido a sua simplicidade construtiva e atratividade financeira. (MEDEIROS,2016).

Figura 2- Corte de um motor gaiola de esquilo



Fonte: WEG (2015)

Onde:

- 1) Carcaça;
- 2) Núcleo de chapas – estator;
- 3) Núcleo de chapas – rotor;
- 4) Tampa;
- 5) Ventilador;
- 6) Tampa defletora;
- 7) Eixo;
- 8) Enrolamento trifásico
- 9) Caixa de ligação;
- 10) Terminais;
- 11) Rolamentos;
- 12) Barra de anéis de curto-circuito.

Os principais componentes do motor de indução trifásico são: o estator e o rotor. O estator é composto basicamente por três enrolamentos, simétricos e defasados eletricamente entre si de 120° . O rotor em gaiola de esquilo é constituído de barras condutoras encaixadas em ranhuras no ferro do rotor, essas barras são curto-circuitadas através de um anel nas extremidades. Ao alimentar o estator a partir de uma fonte de tensão alternada trifásica, dada por uma frequência f_s , as correntes que circulam no estator geram um campo magnético no entreferro, que gira em velocidade constante. Esse mesmo campo girante induz correntes no roto, a uma frequência f_r , essas correntes produzirão um outro campo magnético, que, tentará se alinhar com o primeiro (MEDEIROS,2016). Dessa forma, a iteração entre esses dois campos

produzirá um torque no rotor, fazendo com que o mesmo gire. A velocidade síncrona pode ser obtida a partir da Equação 1:

$$n_s = 120 \cdot f_s \cdot P \quad (1)$$

Onde:

n_s = velocidade síncrona [rpm];

f_s = frequência elétrica no estator [Hz];

P = número de polos do motor.

2.5.1 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento de um motor de indução trifásico é o mesmo de todos os motores elétricos, baseando-se na interação do fluxo magnético com uma corrente em um condutor, resultando numa força no condutor, sendo esta, proporcional às intensidades de fluxo e de corrente (GADELHA, 2009).

2.5.1.1 Campo Girante no Estator

Ao ser alimentado por uma fonte de tensão de corrente alternada, com um defasamento de 120° , as correntes irão produzir um fluxo resultante em relação ao estator, que por sua vez irão induzir tensões nos enrolamentos do rotor (CASTRO, 2014). Considera-se uma sequência equilibrada ABC, a representação das correntes das fases A, B e C são dadas nas Equações 2,3 e 4 respectivamente então as correntes em cada fase será:

$$I_a(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (2)$$

$$I_b(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \quad (3)$$

$$I_c(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t + 120^\circ) \quad (4)$$

Onde:

$I_a(t)$ = Corrente instantânea na fase A;

$I_b(t)$ = Corrente instantânea na fase B;

$I_c(t)$ = Corrente instantânea na fase C;

I = Amplitude de corrente da fonte de alimentação;

ω = Frequência angular em [rad/s].

Quando essas correntes percorrem as bobinas do estator, campos magnéticos variáveis no tempo são gerados, no qual irá produzir, em cada uma das bobinas, uma força magnetomotriz (fmm), dada pelas seguintes Equações 5, 6 e 7 (MEDEIROS,2016):

$$fmm_a = N.I.\text{sen}(\omega t) \quad (5)$$

$$fmm_b = N.I.\text{sen}(\omega t - 120^\circ) \quad (6)$$

$$fmm_c = N.I.\text{sen}(\omega t + 120^\circ) \quad (7)$$

Onde:

fmm = Força magnetomotriz;

N = Número de espiras do enrolamento.

A força magnetomotriz resultante dessa iteração de correntes será a soma vetorial das três forças individuais, Equação 8 e 9 (MEDEIROS,2016).

$$fmm_r(t) = fmm_a.\text{cos}(0^\circ) + fmm_b.\text{cos}(120^\circ) + fmm_c.\text{cos}(240) \quad (8)$$

$$fmm_r(t) = N.I. [\text{sen}(\omega t).\text{cos}(0^\circ) + \text{sen}(\omega t - 120^\circ).\text{cos}(120^\circ) + \text{sen}(\omega t + 120^\circ).\text{cos}(240)] \quad (9)$$

Usando a relação trigonométrica, tem-se a Equação 10:

$$\text{sen}(a) + \text{sen}(b) = 2.\text{sen}\frac{(a+b)}{2}.\text{cos}\frac{(a-b)}{2} \quad (10)$$

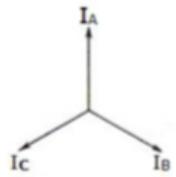
Substituindo (9) em (10), resultando a Equação 11:

$$fmm_r(t) = 1,5.N.I.\text{sen}(\omega t) \quad (11)$$

Dessa forma, percebe-se que a fmm_r , irá produzir um campo magnético que irá girar com velocidade e intensidade constantes. Essa velocidade vai depender da frequência da corrente elétrica aplicada às bobinas do estator. Portanto, quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, há formação de um “campo girante” como se apenas um par de pólos, com intensidade constante, girasse ao redor do estator (MEDEIROS,2016).

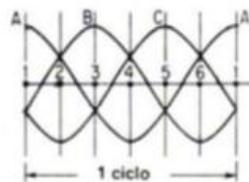
A Figura 3, apresenta um diagrama fasorial de correntes de uma fonte de tensão trifásica e equilibrada. Já a Figura 4 representa o comportamento dessas correntes em função do tempo, e a última, a Figura 5 mostra um esquema de ligação de um motor de dois polos alimentado por uma fonte de tensão alternada e equilibrada.

Figura 3- Diagrama fasorial de correntes



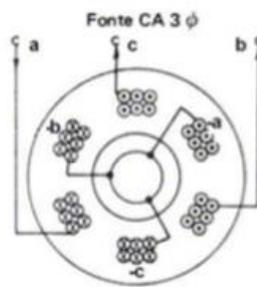
Fonte: MEDEIROS (2016)

Figura 4 - Correntes em função do tempo



Fonte: MEDEIROS (2016)

Figura 5 - Ligação motor de dois polos



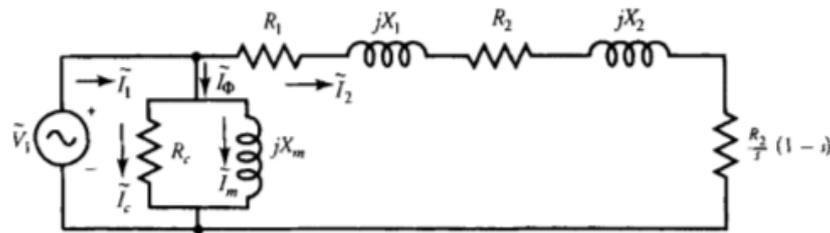
Fonte: MEDEIROS (2016)

2.5.1.2 Circuito Equivalente de um Motor de Indução

Como já foi citado anteriormente, assim que um motor de indução trifásico é alimentado a partir de uma fonte também trifásica e equilibrada, as correntes nos seus respectivos enrolamentos devem estar defasadas a 120° eletricamente. A mesma coisa acontece nas correntes do rotor, quando a energia induzida é transferida através do entreferro (GURU, 2001). O circuito equivalente do motor de indução se assemelha a de um transformador monofásico. Quando o escorregamento é igual a um, o motor poderá ser representado com a base de um circuito equivalente para qualquer deslize (GURU, 2001).

A Figura 6 mostra um circuito equivalente de um motor de indução em regime permanente (GURU, 2001).

Figura 6 - Circuito Equivalente aproximado motor de indução



Fonte: Guru (2001)

Onde:

 V_1 = Tensão por fase, em [V]; R_1 = Resistência do enrolamento do estator, em [Ω]. Representa as perdas por efeito joule no estator; X_1 = Reatância de dispersão do estator em [Ω]. Parte do fluxo magnético que enlaça parcialmente ou totalmente o enrolamento do estator; \vec{E} = Fator de tensão no estator aplicada por fase, em [V]; I_1 = Corrente do estator em [A]; R_2 = Resistência do enrolamento do rotor, referida ao estator em [Ω]. X_2 = Reatância do rotor, referida ao estator, em [Ω]; I_2 = Corrente do rotor referida ao estator em [A]; I_0 = Corrente de magnetização do estator [A]; R_m = Resistência das perdas no ferro em [Ω]. Representa as perdas ôhmicas no núcleo devido aos fenômenos da histerese e correntes parasitas; X_m = Reatância de magnetização do enrolamento do estator em [Ω]. Representa a parcela do fluxo útil no motor, isto é, o fluxo que induz tensão nas barras do rotor;

Vale ressaltar que todos esses parâmetros são representados por fase, sendo assim os cálculos são equivalentes monofásicos (MEDEIROS,2016).

2.5.2 Especificações gerais dos motores

O desempenho de motores, de forma geral, está relacionado aos seguintes parâmetros (MAMEDE FILHO, 2013).

- Rendimento;
- Fator de potência;
- Conjugado de partida;

- Conjugado máximo;
- Velocidade de operação;
- Capacidade de Operação;
- Classe de isolamento;
- Corrente de partida;
- Fator de serviço;
- Ruído;
- Temperatura de operação;
- Tipo de carcaça.

As características técnicas devem definir os requerimentos de desempenho e demonstrar as condições técnicas em que o motor irá operar. Um desequilíbrio entre os vários parâmetros de desempenho pode resultar num decréscimo do rendimento do motor se as especificações técnicas não estiverem cuidadosamente elaboradas.

2.5.2.1 Dimensionamento do motor

Um dos maiores motivos de desperdício de energia em motores elétricos é superdimensionamento, ou seja, um motor elétrico maior que o necessário para uma dada aplicação (WANDER *et al*, 2007, p. 5). As razões mais frequentes para esta ocorrência são:

- Desconhecimento das características da própria carga;
- Desconhecimento de métodos para um dimensionamento adequado;
- Aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas do projeto industrial;
- Expectativa de aumento futuro de carga;
- A não especificação de fator de serviço maior que 1.0 para motores que esporadicamente apresentam picos de carga.

Sendo assim, os custos com motores superdimensionados podem aumentar da seguinte forma:

- A compra do motor de potência maior;
- A compra de equipamentos da fonte de alimentação, por solicitar potências aparente (kVA) e reativa (kVAr);
- A energia elétrica consumida, por apresentar rendimento menor;
- A penalidade, devido ao baixo fator de potência.

Em condição normal de funcionamento, o motor deve ser adequado à carga, ou seja, deve operar entre 75 e 100% da potência nominal. O motor bem dimensionado proporcionará uma máxima economia de energia, permitindo obter elevador rendimentos (FREITAS, 2014).

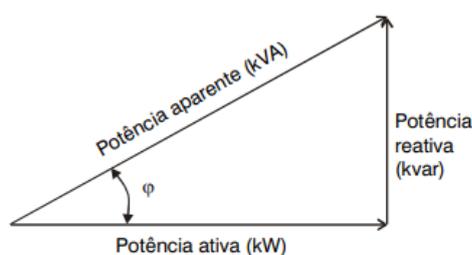
2.5.2.2 Fator de potência

O fator de potência relaciona a potência que o motor precisa para acionar a carga e suprir suas perdas internas, e a potência total solicitada à rede (FREITAS, 2014). A maioria das cargas das unidades consumidoras consomem energia reativa indutiva, tais como: motores, transformadores, reatores para lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros (WEG, 2009). As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência: A potência aparente (S) que engloba duas componentes distintas de potência:

- Potência ativa (P), relacionada com trabalho mecânico e perdas, W;
- Potência reativa (Q), necessária para magnetização, ou seja, para assegurar a existência dos campos magnéticos, VAr.

Esta característica pode ser vista na Figura 7, onde é apresentado o triângulo das potências de uma carga indutiva.

Figura 7 - Triângulo de Potência



Fonte: WEG (2009)

É importante que se trabalhe com alto valor de fator de potência, diminuindo, assim, a potência aparente drenada da rede elétrica. A legislação atual exige que as indústrias de determinado grupo tarifário operem com fator de potência mínimo de 0,92 (ANEEL, 2012). Abaixo deste valor, existem grandes penalizações financeiras aos consumidores.

2.5.2.3 Fator de serviço

O fator de serviço é um multiplicador que aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob tensão e frequência nominais e

com limite de elevação de temperatura do enrolamento estabelecido (FREITAS, 2014). A utilização do fator de serviço implica vida útil inferior àquela do motor com carga nominal. Entretanto, sua utilização permite atender a esporádicos picos de carga, sem que seja necessário superdimensionar o motor.

2.5.2.4 Características da Rede Elétrica

O desempenho eficiente dos motores de indução trifásicos depende, sobretudo, da qualidade da rede elétrica de alimentação (FREITAS, 2014). As principais distorções que ocorrem nas redes trifásicas são:

- Variação da tensão e/ou frequência;
- Conteúdo de harmônicos;
- Desequilíbrio da rede trifásica, com as tensões apresentando diferentes amplitudes e/ou defasagens.

2.5.2.5 Vida útil do motor

O motor de indução trifásico é uma máquina robusta que, quando utilizado corretamente, irá operar por vários anos com o mínimo de manutenção. Entretanto, uma inspeção do motor e do sistema elétrico de alimentação irão aumentar a sua vida útil (FREITAS, 2014). A vida de um motor praticamente termina quando o isolamento dos seus enrolamentos se deteriora, tornando-se ressecado e quebradiço. A melhor maneira de prevenir defeitos é seguir as instruções de manutenção do fabricante e observar o desempenho normal do motor (WEG, 2013). A interpretação adequada destas observações pode ajudar a evitar sérios defeitos ou falhas do motor. Algumas observações simples podem ser feitas para verificar se o motor sofreu alguma mudança, conforme abaixo:

- Observar se o motor está fazendo mais ruído que o normal;
- Observar se a temperatura na carcaça do motor está acima do normal;
- Observar se o tempo de aceleração do motor para atingir a velocidade de operação está acima do normal;
- Observar se há aumento da vibração.

2.6 Perdas no motor

Há anos que os fabricantes de motores vêm desenvolvendo técnicas que visem a redução das perdas destes equipamentos. Desta forma, além de produzirem motores classificados como *standard* (motores da linha padrão ou convencional) apresentam também uma linha de produtos denominada Motor de Alto Rendimento.

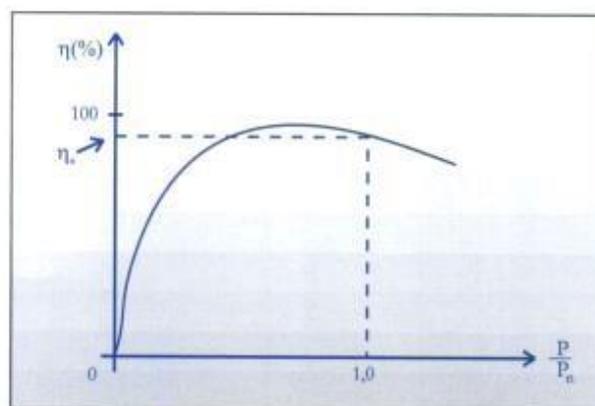
Os motores de alto rendimento são oferecidos pela grande maioria dos fabricantes como uma alternativa vantajosa para determinadas aplicações. Eles custam em geral mais caro que os motores *standard*, mas por outro lado, devido a suas características especiais, especialmente aquelas relacionadas ao rendimento, mostrados nas Figuras 8 e 9, a sua utilização pode conduzir a vantagens econômicas importantes que serão auferidas ao longo da sua vida útil (PEREIRA, 2013).

Figura 8 - Diferença de rendimento entre os motores *standard* e motores de alto rendimento



Fonte: PROCEL (2006)

Figura 9 - Comportamento do rendimento em função da carga



Fonte: PROCEL (2006)

O rendimento é a relação entre a potência mecânica desenvolvida no eixo do motor e a potência elétrica ativa que ele consome da rede de alimentação, Equação 12.

$$\eta (\%) = \frac{P_{in} - Perdas}{P_{in}} \times 100 \quad (12)$$

(12)

Onde:

$\eta (\%)$ = Rendimento percentual;

P_{in} = Potência de Entrada (W);

$Perdas$ = Somatório de todas as perdas (W).

Durante o processo de conversão de energia, ocorrem perdas que influenciam diretamente na eficiência do motor elétrico. Essas perdas podem ser agrupadas em:

- Perdas fixas: que independem da carga, e são as perdas nos núcleos e mecânicas;
- Perdas variáveis: que variam com o carregamento do motor, são as perdas nos enrolamentos do estator, do rotor e as perdas suplementares

Portanto, as perdas de um motor variam de acordo com o seu carregamento. A Figura 10 apresenta a distribuição das perdas de um motor operando em condições nominais.

Figura 10 - Distribuição das perdas em um motor de indução trifásico



Fonte: Adaptado, PROCEL (2002)

2.6.1 Perdas no núcleo

As perdas no núcleo correspondem de 15 a 30 % das perdas totais, estas são as perdas que ocorrem nas lâminas magnéticas do estator e do rotor. As quais resultam dos fenômenos de histerese e correntes parasitas que são induzidas nos pacotes magnéticos, no qual dependem da frequência e da densidade máxima de fluxo (PROCEL, 2002). No caso particular da perda por correntes parasitas, ela depende da espessura das lâminas do pacote magnético. Em geral, podem-se reduzir essas perdas a partir da redução da densidade do fluxo ou por meio do aumento do comprimento do pacote magnético ou rearranjo do circuito magnético.

2.6.2 Perdas mecânicas

As perdas mecânicas correspondem de 2 a 15% das perdas totais. Estas perdas são causadas devido ao atrito nos enrolamentos e ventilação. Elas são as menores parcelas das perdas totais. As perdas por atrito são diminuídas utilizando-se rolamentos de baixas perdas e com uma melhor lubrificação (como, por exemplo, lubrificantes sintéticos).

Já as perdas por ventilação podem ser reduzidas pela otimização do projeto do ventilador. Como o motor de alto rendimento produz menores perdas nos enrolamentos e no núcleo, torna-se menor a própria necessidade de ventilação. Uma boa consequência indireta disto é a redução do nível de ruído produzido pelo motor (PROCEL, 2002).

2.6.3 Perdas por efeito joule no estator

As perdas por efeito Joule correspondem de 25 a 50% das perdas totais. Essas são as perdas devido a circulação de corrente nos condutores dos enrolamentos do estator. Nos motores de alto rendimento, a resistência destes enrolamentos é minimizada utilizando-se condutores de cobre de maior bitola, ou seja, condutores mais grossos (PROCEL, 2002).

2.6.4 Perdas por efeito joule no rotor

No rotor essas perdas por efeito joule, representam de 15 a 25% das perdas totais e, ocorrem na gaiola do rotor dependendo da carga, material do condutor, área da ranhura e comprimento das barras. Estas perdas são proporcionais ao escorregamento de operação. Assim como no estator, a redução destas perdas é feita pelo aumento da quantidade de material da gaiola. Naturalmente, isto pode contribuir também para o aumento das dimensões da carcaça. No entanto, a resistência do rotor apresenta forte influência no desempenho do motor. Portanto, a redução destas perdas fica limitada às imposições aos valores mínimos de conjugado de partida e da máxima corrente de partida (PROCEL, 2002).

2.6.5 Perdas suplementares

Perdas suplementares representam de 5 a 20% das perdas totais, e são todas as perdas que não estão incluídas nos outros tipos. São definidas como a diferença entre a perda total do motor e os outros quatro tipos de perdas.

Elas levam em consideração diversos fenômenos, tais como a distribuição não uniforme da corrente nos enrolamentos, o efeito de saturação e as imperfeições na densidade de campo magnético (devido às ranhuras do estator e do rotor). Estas imperfeições ocasionam perdas nos dentes das lâminas do estator e do rotor e levam a perdas ôhmicas nas barras das gaiolas, associadas aos harmônicos de corrente. As perdas que ocorrem nas partes metálicas próximas ao campo magnético de dispersão produzidas pelas cabeças das bobinas são também computadas nas perdas suplementares (PROCEL, 2002)

Pode-se aproximar o valor dessas perdas como o quadrado da corrente de carga. Podem contribuir significativamente para o aumento da eficiência do motor e podem ser facilmente reduzidas a partir da adoção de um projeto otimizado e com cuidados de qualidade na fabricação. Estas perdas são um importante componente das perdas totais do motor (PROCEL, 2002).

Os vários tipos de perdas dos motores não são independentes. Por exemplo, aumentar o comprimento do pacote de lâminas para redução das perdas magnéticas provoca aumento no comprimento dos condutores, o que, por sua vez, aumenta suas perdas por efeito joule. O projeto final destes motores deve ser fruto de um balanço dos vários tipos de perdas, de modo a se alcançar um alto rendimento, mas mantendo-se os níveis conjugado de partida, capacidade de sobrecarga, corrente de partida e fator de potência (PROCEL, 2002).

3. SISTEMA DE PARTIDAS DE MOTORES

A adoção de um método de partida eficiente pode ser considerada pré-requisito básico para se obter um motor de vida útil longa, custos operacionais reduzidos além de proporcionar uma maior confiabilidade nas realizações das tarefas diárias (MAMEDE FILHO, 2013). Os critérios para a seleção do método de partida adequado envolvem considerações quanto à capacidade da instalação quanto às legislações do local onde vai ser instalado (MAMEDE FILHO, 2013).

Os principais tipos de partida e suas características particulares serão objeto de estudo detalhado nas seções seguintes.

3.1 Partida Direta

Segundo Mamede Filho (2013) é o método mais simples onde não se emprega dispositivos especiais de acionamento. Em uma partida direta se utiliza apenas contatores, disjuntores ou chaves interruptoras, que atuam como dispositivos de proteção (MAMEDE FILHO, 2013). Há três fatores que devem ser considerados para efetuar a ligação de um motor a rede diretamente, são eles: corrente de partida do motor irrelevante em relação a corrente nominal da rede; motor de potência baixa propiciando uma corrente de partida de baixo valor; o motor parte sem carga. Mamede Filho (2013) cita ainda que há dois fatores que impedem que uma partida direta seja efetuada: Potência do motor acima do permitido pela concessionária para ligação direta a rede de alimentação; Cargas que necessitem de acionamento lento e progressivo.

3.2 Partida Estrela – Triângulo

Em instalações elétricas industriais, principalmente aquelas sobrecarregadas, podem ser usadas chaves estrela – triângulo como forma de amenizar os efeitos da partida dos motores. Porém, observa-se que só é possível o acionamento de um motor através de chaves estrela – triângulo se este possuir seis terminais acessíveis, ter dupla tensão nominal, a tensão da rede deve coincidir com a menor tensão de placa do motor, e se possível o motor ser acionado sem carga (MAMEDE FILHO, 2013).

Abaixo segue algumas das vantagens do uso das chaves estrela – triângulo.

- Custo reduzido;
- Elevado número de manobras;
- Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal;

- Baixas quedas de tensão durante a partida;
- Dimensões relativamente reduzidas.

Na configuração estrela, aciona-se o motor até que ele alcance a velocidade de regime e, posteriormente esta conexão é desfeita e realiza-se a ligação em triângulo. (MAMEDE FILHO 2013). Essa troca de ligação durante a partida acarreta em um aumento de corrente, o que faz que sua comunicação seja inviável se acontecer antes do ponto ideal (MAMEDE FILHO, 2013).

3.3 Partida Através de Chave Compensadora

A chave compensadora é composta basicamente, com um autotransformador de várias derivações, sendo essas, destinadas a controlar o processo de partida. O autotransformador é ligado ao circuito do estator, onde o ponto estrela dele fica acessível e durante a partida é curto circuitado (MAMEDE FILHO, 2013). Geralmente, este tipo de partida é empregado em motores de maior porte, com potência mais elevada, onde acionem carga com maior atrito.

Podem citar algumas vantagens e desvantagens em relação às chaves estrela – triângulo, tais como:

- Nas derivações 65% da corrente de partida na linha se aproximam do valor da corrente de acionamento;
- A comutação da derivação de tensão reduzida para tensão não acarreta variação de corrente;
- Há variação gradativa no tape para que possa aplicar a chave adequadamente de acordo com a capacidade do sistema.

Desvantagens:

- Custo superior ao da chave estrela – triângulo;
- Dimensões normalmente superiores às chaves estrela – triângulo, ocasionando um aumento de volume dos centros de controles de motores.

3.4 Partida através de Chaves Estáticas (*Softstarter*)

Conhecidas no mercado como *Softstarter*, são construídas através de um circuito eletrônico junto a um microprocessador que controla um conjunto de tiristores responsáveis pelo ajuste de tensão aplicado aos terminais do motor, conseqüentemente, através desses ajustes acessíveis, pode-se controlar o torque e a corrente de partida da máquina.

As chaves de partidas estáticas são chaves microprocessadas projetada para acelerar ou desacelerar e proteger os motores elétricos de indução. O controle de acionamento é feito através do ajuste de ângulo de disparo dos tiristores, assim controla-se a tensão aplicada no motor. Com o dimensionamento correto das variáveis, o torque e a corrente são ajustados de acordo com as necessidades das cargas (WEG, 2017).

Algumas vantagens das chaves estáticas de partida são:

- Ajuste da tensão de partida por um tempo pré – definido;
- Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado da partida;
- Redução da tensão para níveis ajustáveis;
- Proteções contra falta de fase, sobre - correntes, subcorrentes, etc.

3. 5 Partida através de inversores de frequência

Os motores elétricos de indução também podem ser acionados através de inversores estáticos de frequência, que é uma alternativa nova, porém bastante utilizada nas indústrias. Esses aparelhos são capazes de controlar a velocidade de rotação do motor (WEG, 2016).

Sabe-se que a variação da velocidade de um pode ser feita através de três parâmetros, são eles: alterando o número de pólos, variando o escorregamento, e ainda, controlando a frequência elétrica através de um inversor de frequência (WEG, 2016). Este último, constitui o método mais eficiente para se controlar a velocidade de motores de indução. Os inversores transformam a tensão da rede, que tem amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variável. Quando se varia a frequência da tensão de alimentação do motor, varia-se também a velocidade do seu campo girante, e conseqüentemente a velocidade mecânica de rotação (WEG, 2016).

Muitos dos benefícios tragos por essa aplicação é (WEG, 2016):

- O controle pode ser realizado à distância;
- O aumento da produtividade, uma vez que os inversores de frequência possibilitam o ajuste da velocidade operacional mais adequado ao processo;
- Eficiência energética, uma vez que o rendimento do sistema não depende somente do motor, mas também do controle. Na variação eletrônica, a potência fornecida pelo motor varia de maneira otimizada, produzindo assim elevado índices de rendimento do sistema;
- A versatilidade que os inversores de frequência possuem, os fazem adequados para qualquer tipo de carga;

- O controle preciso da velocidade obtido com os inversores propicia uma otimização dos processos, rendendo uma maior qualidade no produto final.

Para um desempenho adequado do motor de indução, principalmente com relação ao conjugado desenvolvido, o fluxo magnético no entreferro deve ser mantido o mais constante possível. Assim, ao se variar a frequência, a tensão aplicada também irá variar para assim manter o fluxo magnético constante.

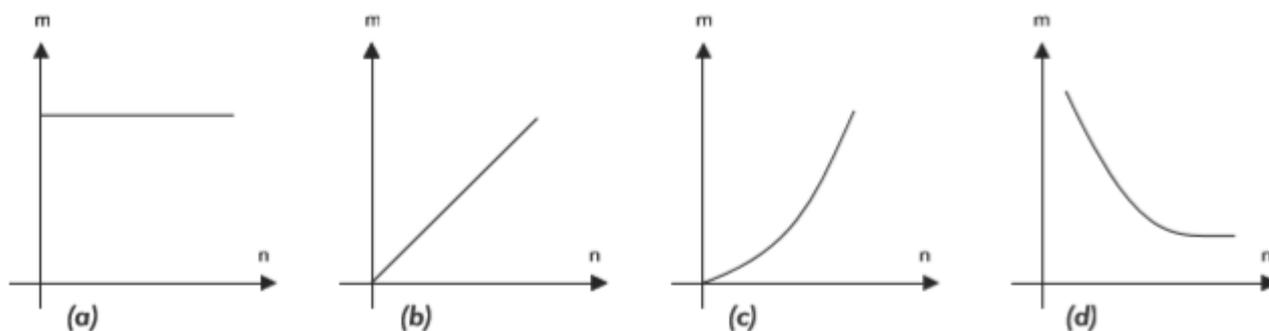
Os inversores devem manter uma relação linear entre a tensão e a frequência, até atingir o ponto de tensão e frequência nominais. Para frequências mais altas que a nominal, não é possível continuar aumentando a tensão proporcionalmente, por que a própria fonte tem limitação, o que implica num enfraquecimento do fluxo, e conseqüentemente do conjugado.

4. CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS

A escolha de um motor para um determinado uso depende principalmente da carga que será acionada por ele e do conhecimento das características dos motores disponíveis. A operação é possível sempre que a solicitação da carga puder ser atendida pela máquina, dessa forma, o conhecimento da carga é o ponto principal durante o processo de seleção. Através da curva torque x velocidade, como mostrado na Figura 11, podem –se definir as cargas como sendo (STEPHAN, 2008):

- a) Torque constante, como os de elevadores, guindastes e pontes rolantes,
- b) Torque linearmente proporcional à velocidade, como por exemplo plainas e serras,
- c) Torque proporcional ao quadrado da velocidade, como em ventiladores e bombas centrífugas,
- d) Torque inversamente proporcional à velocidade, como em furadeiras e em veículos de transporte.

Figura 11- Curvas características das cargas



Fonte: STEPHAN (2008)

Na Universidade Federal do Tocantins utilizam-se motores para o bombeamento de água e, por isso opta-se por bombas submersas instaladas em poços artesianos acopladas a motores, podendo permanecer abaixo do nível da água, dessa forma operam de forma submergida (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019). Essas bombas são divididas em dois grandes grupos: submersas e submersíveis.

4.1 Bombas Submersas

A principal função das bombas submersas é pressionar líquidos, principalmente água, durante o processo de bombeando, operam em meio a um composto líquido no qual será bombeado, dessa forma, tem seu funcionamento constantemente dentro da água.

Comumente utilizadas em poços artesianos, apesar de permitir a aplicação em caixas de coleta, caixas d'água e afluentes. Mas podem ser usadas também para uso em caixas de coleta, em esgotos pré-tratados, efluentes químicos e processos de recirculação e transferência químicas (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

4.1.1 Recomendações de uso

Recomenda-se que estas bombas não sejam acionadas a seco, não sejam instaladas em locais cujos líquidos bombeados possam conter sólidos imersos e, sobretudo que não sejam acionados sem que o rotor esteja submerso, a fim de evitar danos ao equipamento (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

4.2 Bombas Submersíveis

Bombas submersíveis são portáteis e de fácil manuseio, trabalham dentro da água durante um determinado período de tempo, que pode variar dependendo do fabricante. Após o uso, estas devem ser retiradas e armazenadas. Possuem um impulsor que fica fechado para evitar a entrada de água durante o seu funcionamento e também um sistema de selagem que durante a submersão assegura que nenhum líquido entre em contato com o motor, impedindo assim a possibilidade de curto-circuito (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

Essas bombas são mais indicadas para uso em caso de inundações, água residuais, drenagem, principalmente em lugares que contenha sedimentos, diversos tipos de reservatórios como piscinas e caixas d'água (PARAÍSO DAS BOMBAS, 2017).

4.2.1 Recomendações de uso

Usar a bomba submersível a seco é o principal erro cometido e também o mais comum. Operar com essa bomba submersível a seco pode ocasionar a queima de um ou mais motores de estágio do equipamento, o que vai gerar maior pressão e menor vazão de bombeamento, desequilibrando assim o sistema.

4.3 Modelos das bombas

As bombas que constituem o estudo das cargas acionadas pelos motores estudados serão especificadas abaixo.

4.3.1 Bomba de 4 polegadas, anexo A (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

Detalhes técnico:

- Especificação de acoplagem com o motor de acordo com a Norma NEMA;
- Rotor de fluxo radial;
- Vazão: 0,3 a 13m³/h;
- Altura manométrica: 4,5 a 354 m.c.a

Aplicações gerais:

- Captação de água potável em poços tubulares profundos com diâmetro mínimo de 4”;
- Fornecimento de água para uso residencial, industrial e agrícola;
- Pressurização de rede hidráulica;
- Sistemas de abastecimento, irrigação e mineração;
- Reservatórios.

Condições de operação:

- Água limpa com pH entre 6,5 e 8,0;
- Teor máximo de areia permitido: 30 g/m³;
- Temperatura máxima: 40 °C.

4.3.1.1 Seguem os dados construtivos, na Tabela 1 da primeira bomba analisada, acoplada ao motor de 7CV, anexo A (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

Tabela 1- Especificações Construtivas, bomba 4 polegadas

N°	COMPONENTE	MATERIAIS
01	Campo da Válvula	BR
02	Esfera da Válvula	NBR
03	Parafuso Fenda	Al
04	Anel O'ring	NBR
05	Bucha de Guia	NBR
06	Bucha de Desgaste	LT
07	Difusor	PC
08	Corpo da bomba	Al
09	Rotor Radial	PC
10	Corpo de Estágio	Al
11	Eixo	Al
12	Crivo	POM
13	Anel O'ring	NBR
14	Acoplamento	Al
15	Corpo de Sucção	BR

Fonte: Motobomba Leão (2019)

Legenda:

Al – Aço Inox

BR – Bronze

LT – Latão

NBR – Borracha Nitrilíca

PC – Policarbonato

POM – Poliacetal

4.3.2 Bomba de 6 polegadas, anexo C (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

Detalhes técnicos:

- Acoplagem por sistema de chave;

- Rotor de fluxo radial;
- Vazão: 3,6 a 36,0 m³/h;
- Altura Manométrica: 7,0 a 443,0 m.c.a.

Condições de operação:

- Água limpa com pH entre 6,5 a 8,0;
- Teor máximo de areia permitido: 30 g/m³;
- Temperatura máxima: 40 °C.

Aplicações Gerais:

- Captação de água potável em poços tubulares profundos com diâmetro mínimo de 6”;
- Fornecimento de água para uso residencial, industrial e agrícola;
- Pressurização de rede hidráulica;
- Sistemas de abastecimento, irrigação e mineração;
- Reservatórios.

4.3.2.1 Dados construtivos na Tabela 2, da bomba alimentada pelo motor de 15CV anexo C (MOTOBOMBAS LEÃO, 2019).

Tabela 2 -Especificações Construtivas

Nº	COMPONENTE	MATERIAIS
01	Campo da Válvula	FF
02	Disco da Válvula	BR
03	Anel de Fixação	Al
04	Mancal Superior	FF
05	Bucha de Guia	NBR
06	Bucha de Desgaste	LT
07	Anel O'ring	NBR
08	Corpo de Estágio	FF
09	Rotor Radial	Al
10	Bucha de Guia	NBR
11	Eixo	Al
12	Corpo de Sucção	FF
13	Prisioneiro de Ficção	Al
14	Porca Sextavada	Al
15	Acoplamento	BR

Fonte: Motobomba Leão (2019)

Legenda:

Al – Aço Inox

BR – Bronze

FF – Ferro Fundido

NBR – Borracha Nitrílico

5. RESULTADOS

Como já foi mencionado anteriormente, o acionamento de motores no momento da partida, requerem correntes altas se comparado a sua corrente nominal. Em consequência a esse pico instantâneo de corrente, o sistema é submetido a uma queda de tensão superior aos limites estabelecidos para o funcionamento em regime permanente. Isso pode provocar vários distúrbios operacionais em equipamentos de comando, proteção, além de afetar nitidamente a iluminação local (MAMADE FILHO, 2013).

Os contadores podem operar a uma queda de tensão desde que a mesma esteja dentro dos limites estabelecidos pelos fabricantes. Já motores síncronos e assíncronos quando submetidos a limites de tensão inferiores ao estabelecido, podem perder o sincronismo e parar, ou ainda parar por baixa no conjugado do motor. Levando isso para o ramo industrial, no qual faz uso de grandes motores em grandes escalas, implica em grandes perdas operacionais (MAMADE FILHO, 2013).

Durante a elaboração de um projeto de instalação elétrica industrial, deve-se haver uma análise, a partir dos motores de maior potência utilizado, aqueles que pode desequilibrar o sistema, para que seja escolhido o método ideal de partida ou até mesmo o dimensionamento de circuitos exclusivos (MAMADE FILHO, 2013). Deve ser analisada também, a possibilidade de partidas simultâneas de dois ou mais motores com potências muito elevadas capazes de provocar perturbações para que assim seja tomada medidas a fim de se evitar falhas. O estudo realizado nesse trabalho mostra em pequena escala o aumento dessa corrente e propõe alternativas que são utilizadas hoje, para ameniza-la, como métodos de partidas alternativos em virtudes dos problemas já expostos. A Tabela 3 mostra as consequências quando um motor sofre quedas de tensões:

Tabela 3- Limites de tensão percentual e seus efeitos no sistema

Tensão em % de V_{mn}	Consequências
85	Tensão abaixo do qual os contadores de classe 600V não operam
76	Tensão em que os motores de indução síncrono deixam de operar, quando funcionam a 115% de sua potência nominal
71	Tensão em que motores de indução deixam de operar quando estão funcionando em plena carga
67	Tensão em que motores síncronos deixam de operar

Fonte: MAMEDE FILHO (2013)

5.1 Especificação Técnica dos motores analisados, nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Motor alimentador da bomba de 4 polegadas

Potência Nominal (CV)	7,0
Tensão Nominal (V)	380
Corrente Nominal (A)	13,60
Fator de Potência Nom.	0,70
Rendimento Nominal (%)	70,00
Conjugado Nominal (kW)	5,36
Potência Nom. Absorvida (kW)	7,40
Fator de Serviço	1,19
Corrente no Fator de Serviço (A)	15,94
Fator de Potência no Fator de Serviço	0,78
Potência Fornecida no Fator de Serviço (kW)	6,89
Potência Absorvida no Fator de Serviço	9,83
Ip/In	5,95
Conjugado de Partido (kW)	12,16
Conjugado Máximo (kW)	16,08
Frequência (Hz)	60
Rotação Nominal (RPM)	3.466
Número de Fases	3
Número de Polos	2
Regime de Trabalho	Contínuo
Tipo de Rotor	Gaiola
Queda de Tensão Admissível	10%
Temperatura Máximo do Fluido	40° C
Classe de Isolação	Y (NBR 7094)
Grau de Proteção	IP-68 (NBR 6146)

Fonte: Motobombas Leão (2019)

Tabela 5 - Motor alimentador da bomba de 6 polegadas

Potência Nominal (CV)	15,0
Tensão Nominal (V)	380
Corrente Nominal (A)	21,40
Fator de Potência Nom.	0,84
Rendimento Nominal (%)	80
Conjugado Nominal (kW)	6,09
Potência Nom. Absorvida (kW)	13,84
Fator de Serviço (FS)	1,15
Corrente no Fator de Serviço (A)	15,94
Fator de Potência no Fator de Serviço	0,78
Potência Fornecida no Fator de Serviço (kW)	6,89
Potência Absorvida no Fator de Serviço (kW)	9,83
Ip/In	5,07
Conjugado de Partida (%)	215
Conjugado Máximo (%)	320
Frequência (Hz)	60
Rotação Nominal (RPM)	3.451
Número de Fases	3
Número de Polos	2
Regime de Trabalho	Contínuo
Tipo de Rotor	Gaiola
Queda de Tensão Admissível	10%
Temperatura Máximo do Fluido	40° C
Classe de Isolação	Y (NBR 7094)
Grau de Proteção	IP-68 (NBR 6146)

Fonte: Motobombas Leão (2019)

5.3 Aparelhos de Medição

Para medição da corrente de partida dos motores que alimentam as respectivas bombas utiliza-se um analisador de energia avançado FLUKE1738, capaz de fornecer pico instantâneo da corrente (FLUKE, 2019). O registrador de energia fornece dados necessários para se obter

informações importantes sobre qualidade de energia, sendo capaz de capturar aproximadamente 500 parâmetros permitindo também a análise de problemas mais complicados relacionados a energia (FLUKE, 2019). Realiza ainda, análises complexas, fornecendo a compreensão geral sobre a qualidade do sistema elétrico. Esse resumo, da qualidade de energia, é baseado em dados que são fornecidos pelo aparelho detalhadamente, incluindo as formas de ondas visíveis em um evento, para que se tenha uma maior visibilidade (FLUKE, 2019)

O aparelho possui uma interface moderna, simples, como mostrado na Figura 12, e de fácil acesso para o usuário. É possível acessar dados remotamente através do aplicativo que acompanha o aparelho, possuindo conexão via wi-fi (FLUKE, 2019)

Figura 12 - Interface aparelho de medição



Fonte: FLUKE MEDIDOR (2019)

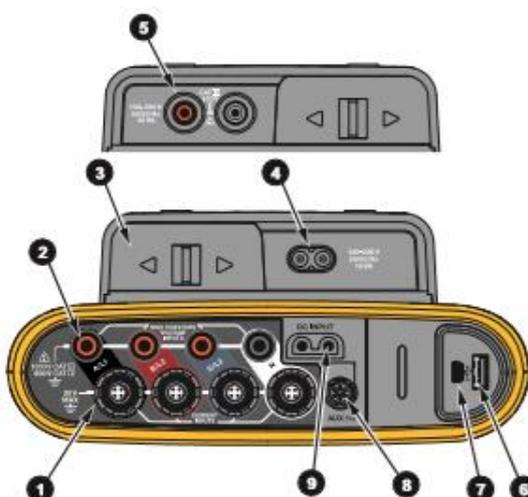
Dentre as medições que o FLUKE 1738 realiza, estão (FLUKE, 2019):

- **Medições básicas:** Tensão (V), Corrente (A), Frequência (Hz), Indicação de rotação de fase, 2 canais CC (oferece suporte a sensor externo fornecido pelo usuário para outras medições, como temperatura, umidade e velocidade do ar);
- **Alimentação:** Potência ativa (W), potência aparente (VA), potência não ativa (VAR), fator de potência;

- **Potência fundamental:** Potência ativa fundamental (W), Potência aparente fundamental (VA), Potência reativa fundamental (var), FP ($\cos\Phi$);
- **Demanda:** Demanda (Wh), Demanda máxima (Wh), Custos de energia;
- **Harmônicos:** Componentes harmônicos até o 50º e distorção harmônica total da tensão e da corrente.

Detalhes das conexões são mostrados na Figura 13 e na Tabela 6 pode-se observar as indicações de cada uma dessas conexões:

Figura 13 - Conexões aparelho de medição



Fonte: FLUKER MEDIDOR (2019)

Tabela 6 – Conexões do aparelho de medição

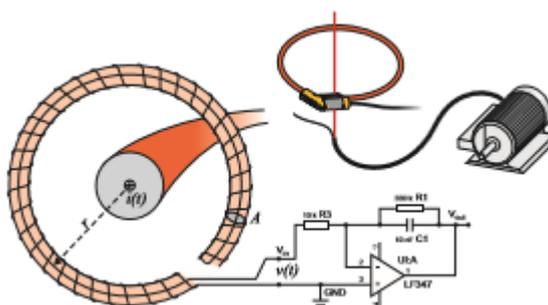
Item	Descrição
01	Entrada de medição de corrente (trifásicas + Neutro)
02	Entrada de medição de tensão (trifásicas + Neutro)
03	Tampa deslizante de cabo de alimentação de medição
04	Entrada CA de cabo de alimentação

05	Entrada CA de linha de medição
06	Conector USB
07	Conector mini USB
08	Conector auxiliar
09	Entrada de energia CC

Fonte: FLUKE MEDIDOR (2019)

Para as medições de corrente foi usado um dos componentes que acompanha o aparelho, cabo “Thin – Flexi Current Probe”, o qual funciona com base no princípio da bobina de Rogowki, que consiste em um toróide de fio usado para medir corrente, como exemplo a Figura 14 abaixo:

Figura 14 - Bobina de medição



Fonte: FLUKER MEDIDOR (2019)

A bobina de Rogowki tem vantagens em relação a outros tipos de medição de corrente, tais como:

- Não é um circuito fechado. O segundo terminal é passado de volta através do centro do núcleo do toroide (normalmente um tubo de plástico ou de borracha) e conectado junto ao primeiro terminal. Isso permite que a bobina seja aberta, flexível e possa ser enrolada ao redor de um condutor energizado sem interferir nele;
- Ele tem um núcleo de ar em vez de um núcleo de ferro. Ele tem baixa indutância e pode responder às correntes de carga rápida;

- Como ele não tem nenhum núcleo de ferro para saturar, é altamente linear, mesmo quando submetido a correntes grandes, como as usadas em transmissão de energia elétrica ou aplicações de potência pulsada.

Para medição da corrente de acionamento do motor, configurou-se o aparelho para registro de operação, e então conectou-se as bobinas nos terminais de entrada do motor já em operação como mostra a Figura 15:

Figura 15 - Medição motor de 7CV



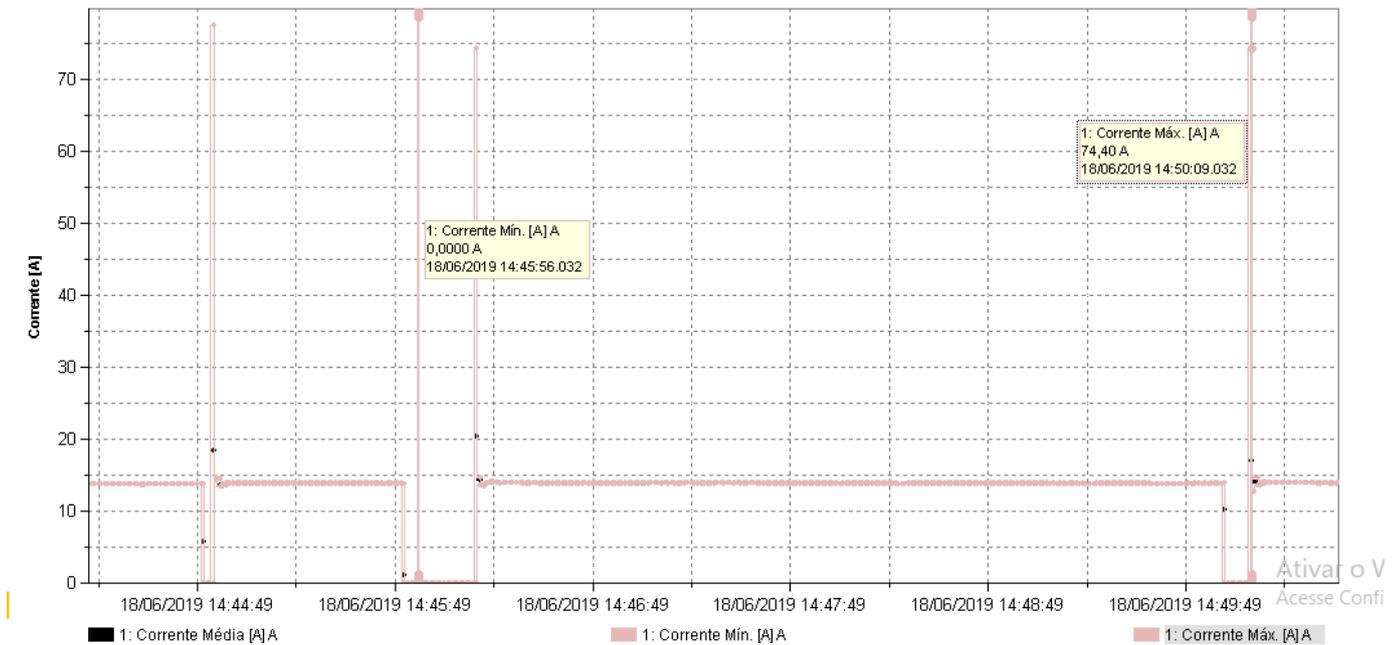
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Durante a medição foram feitas algumas interrupções para afim de uma melhor análise a respeito da corrente de operação do motor e da corrente máxima, como pode ser visto na Figura 16:

5.4 Resultados das medições

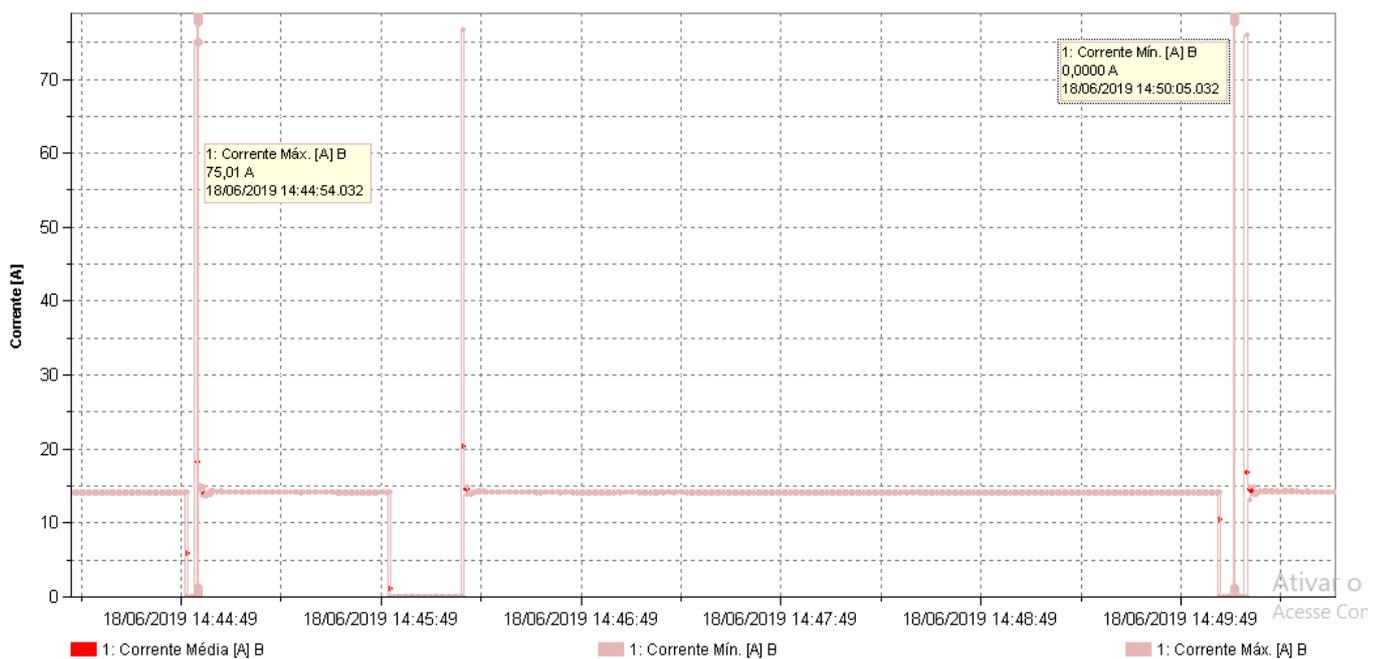
As Figuras 16, 17, 18, 20, 21 e 22 mostram o pico instantâneo de corrente registrado nas fases A, B e C dos motores de 7CV e 15CV respectivamente.

Figura 16 - Print sobre a tela, registro fase A motor de 7CV



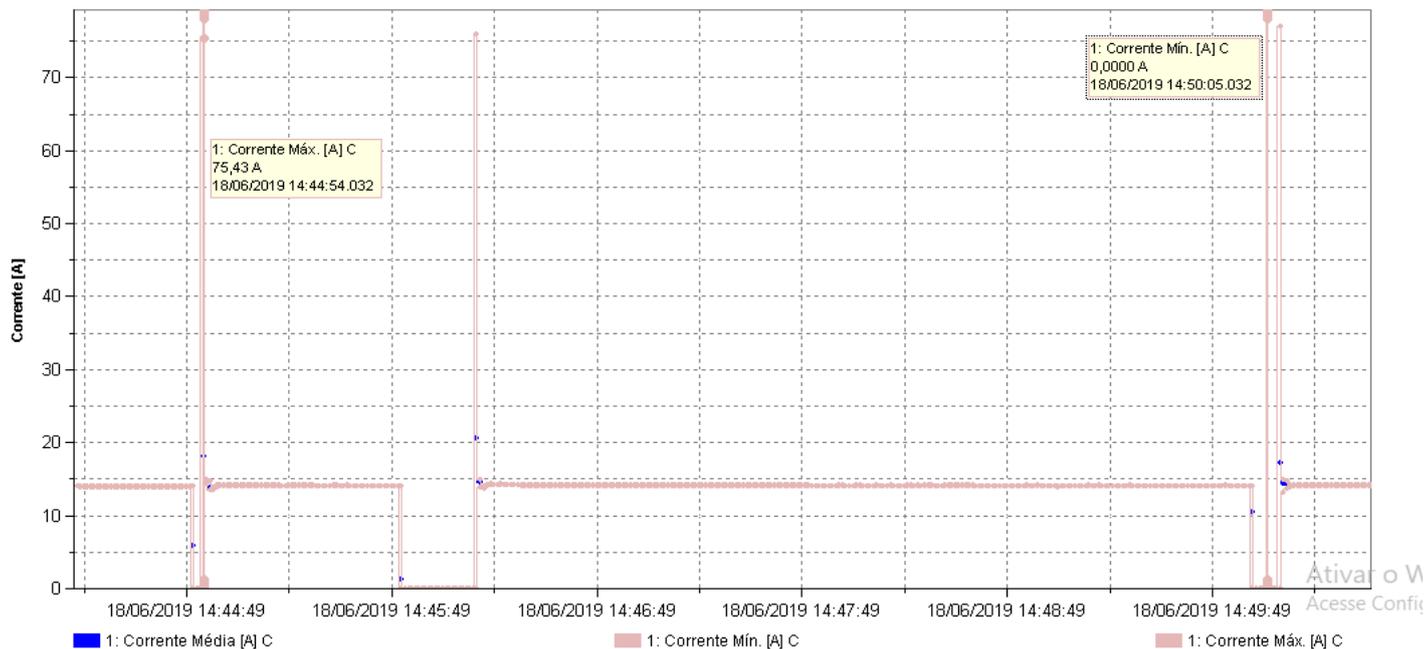
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 17 - Print sobre a tela, registro fase B motor de 7CV



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 18 - Print sobre a tela, registro fase C motor de 7CV



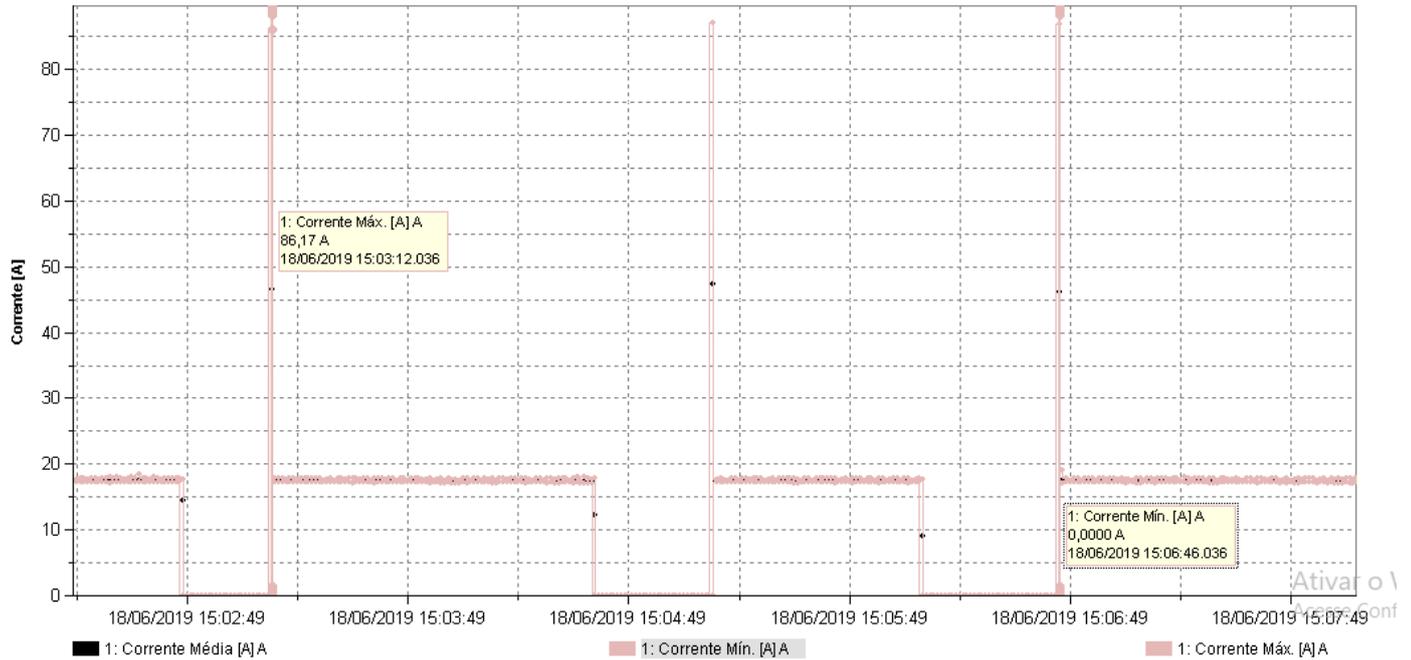
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 19 - Medição motor de 15CV



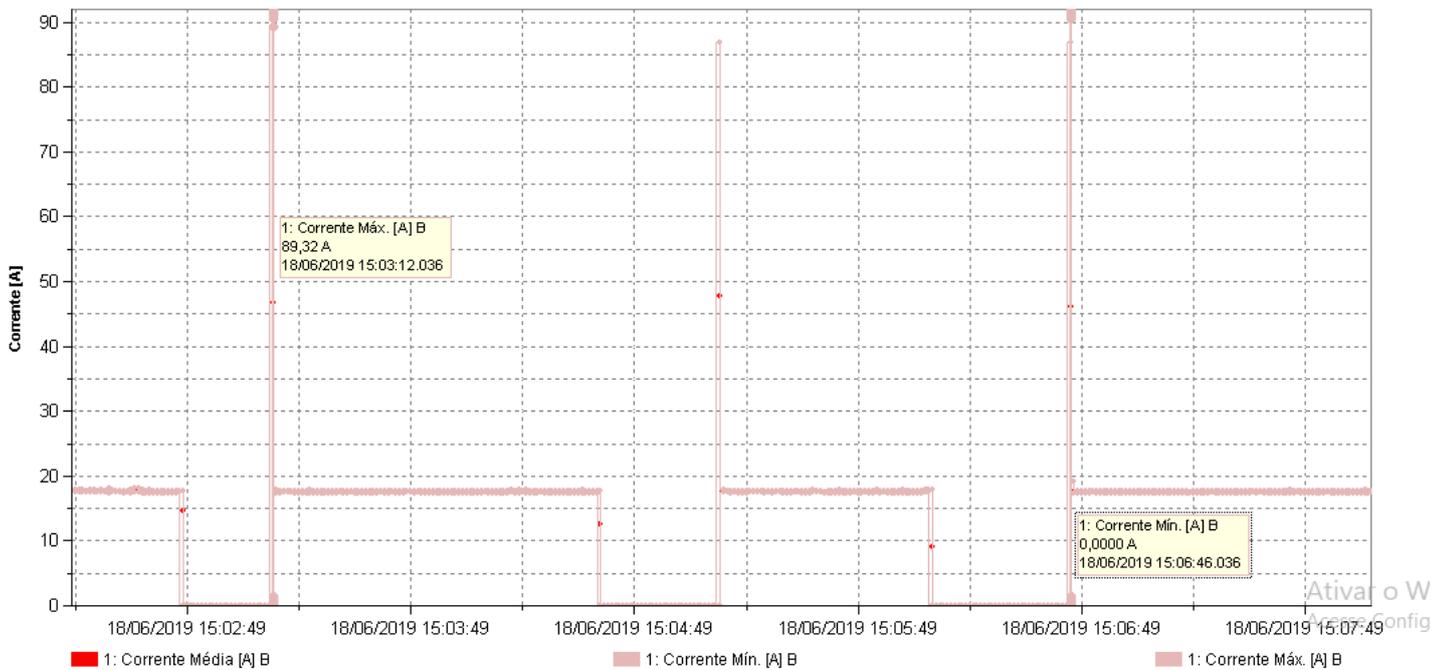
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 20 - Print sobre a tela, registro fase A motor de 15CV



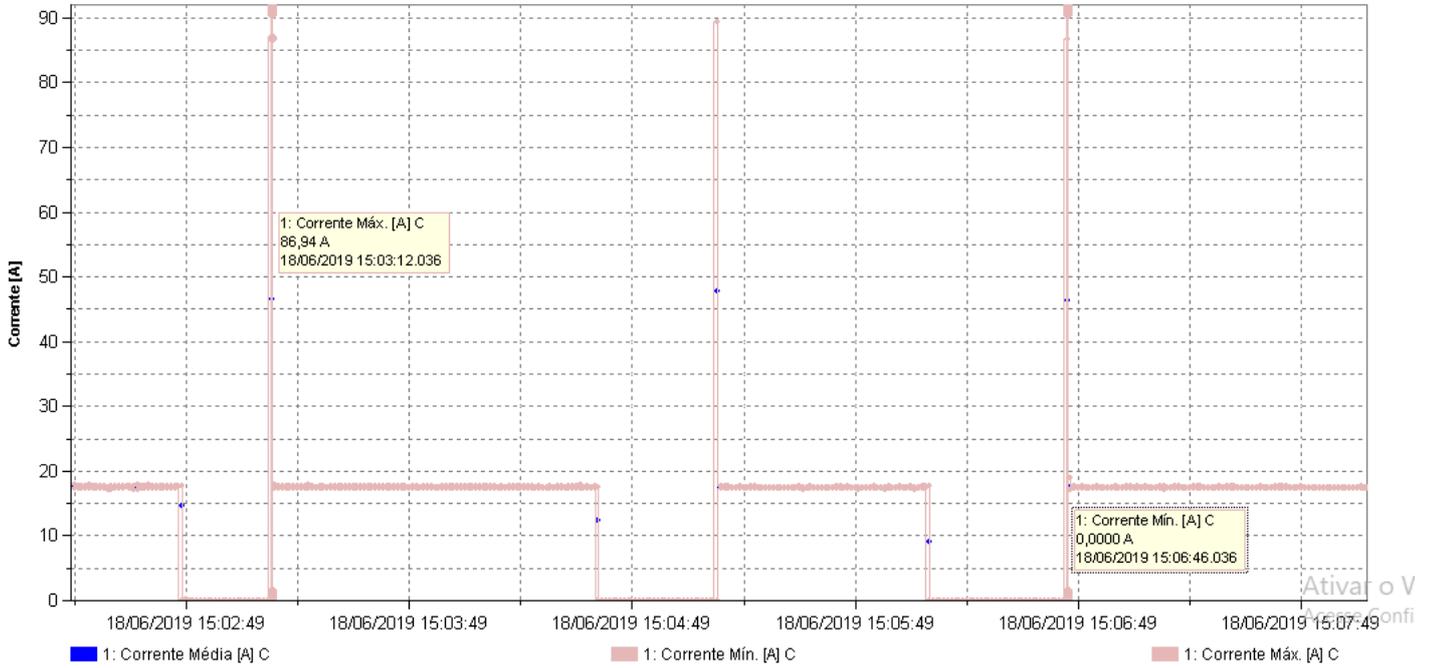
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 21 - Print sobre a tela, registro fase B motor de 15CV



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 22 - Print sobre a tela, registro fase C motor de 15CV



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Nas Tabelas 7 e 8 respectivamente, tem-se o aumento percentual do pico de corrente, em relação a sua corrente nominal.

Tabela 7 - Motor 7CV

Corrente Nominal (A)	Fase	Corrente Máxima (A)	Aumento (%)
13,40	A	74,40	555,22
	B	75,01	559,77
	C	75,43	562,91

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Tabela 8 - Motor 15CV

Corrente Nominal (A)	Fase	Corrente Máxima (A)	Aumento (%)
21,40	A	86,17	343,66
	B	89,32	350,51
	C	86,94	352,47

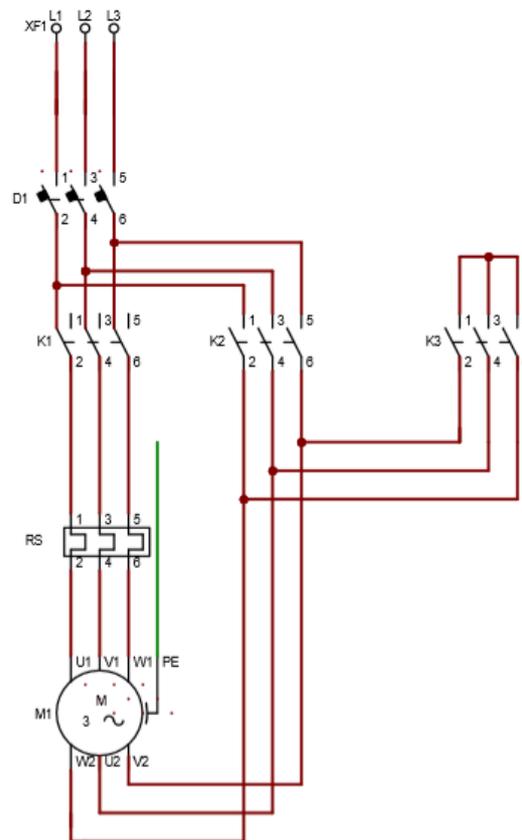
Fonte: Produzido pelo próprio autor

5.5 Métodos de Partidas

De acordo com a NDU 001, para motores entre 5 e 15CV de potência recomenda-se ligação com partida estrela - triângulo. Esse tipo de partida é usado de modo a suavizar os efeitos da corrente nos motores elétricos de indução.

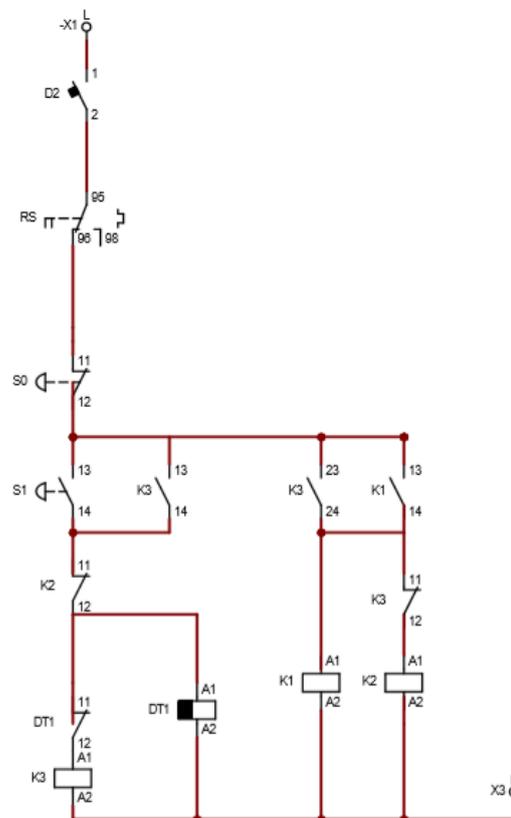
O procedimento realizado para acionamento estrela - triângulo, é feito, ligando o motor primeiramente em estrela, após esse alcançar uma velocidade próxima do regime nominal, essa primeira conexão é desfeita e assim entra uma segunda conexão em triângulo (MAMEDE FILHO, 2013). Acontecendo isso, o motor reduz seu torque em aproximadamente 1/3, e, dessa forma reduz sua corrente na mesma proporção. Nas Figuras 28 e 29 apresentam os diagramas de força e comando, respectivamente, de uma chave estrela-triângulo.

Figura 23 - Print sobre a tela, diagrama de Força



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 24 - Print sobre a tela, diagrama de comando



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Para se dimensionar uma partida estrela – triângulo corretamente, têm-se como ponto de partida as características individuais de cada componente que faz parte do circuito, pois a corrente que circulará em cada um deles será diferente uma da outra, dessa forma, para o motor escolhido, são necessários obter-se os seguintes valores:

- Potência
- Corrente Nominal
- Fator de Serviço
- I_p/I_n
- Tempo de partida

Para o dimensionamento dos contatores K1 e K2, precisa-se da corrente de fase do motor, que nesse primeiro caso é o de 7CV, que será de 9,048 A, dessa forma, pode-se determinar a corrente de emprego do contator, I_e , mais um acréscimo de 15%, referente ao fator de serviço do motor de seu valor, pela Equação 13:

$$I_e > I_f \times 1,15 \quad (13)$$

Onde:

I_e = Corrente do contator;

I_f = Corrente de fase do motor.

Portanto, a corrente de emprego será de aproximadamente 13,572A. Com isso, pode-se definir os contadores a serem utilizados para aplicação com rotor gaiola de esquilo através dos folhetos dos aparelhos. Nesse caso de estudo, o contator escolhido foi o CWM25, classe AC3 da WEG.

Para o dimensionamento do contator K3, leva-se em consideração que ele somente será utilizado pelo sistema no momento da partida, ou seja, quando o fechamento estiver em estrela, dessa forma, a corrente que passará por este contator será 0,33 da corrente nominal. Pela Equação 14, pode-se determinar sua corrente:

$$I_e > I_n \times 1,15 \times 0,33 \quad (14)$$

Onde:

I_n = Corrente de moninal do motor.

Tem-se então que o I_e de K3, deve ser maior ou igual a 5,92 A. Dessa forma, o melhor contato será o CWC 025 da WEG.

Para o dimensionamento do relé de sobrecarga, observa-se que a corrente que passa por ele não será a corrente nominal, mas sim a corrente de fase quando fechado em estrela, dessa forma, leva-se em consideração apenas a corrente de fase para o seu dimensionamento. A partir do valor da corrente de fase, para esse estudo, o relé adequado seria o RW27, com faixa de ajuste entre 11 e 17A.

O mesmo procedimento que foi citado acima, deve ser feito para o motor de 15CV. Sendo assim, pode-se ter uma estimativa do quanto as correntes de partidas desses motores irão reduzir, através da Equação 15.

$$I_m = 0,58 \times 0,58 \times I_p \quad (15)$$

Onde:

I_m = Corrente do motor usando partida estrela – triângulo;

I_p = Corrente de partida do motor.

Nas tabelas 9 e 10, tem-se uma estimativa da redução percentual que a corrente de partida teria caso usasse um acionamento com chave estrela – triângulo nos motores de 7CV e 15CV respectivamente.

Tabela 9- Redução da corrente usando chave estrela – triângulo, motor 7CV

Corrente (A) Motor 7CV	Partida Direta (A)	Estrela – Triângulo (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	15,60	15,60	-
I_p	79,40	26,74	33,67

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Tabela 10 - Redução da corrente usando chave estrela – triângulo, motor 15CV

Corrente (A) Motor 15CV	Partida Direta (A)	Estrela – Triângulo (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	21,40	21,40	-
I_p	87,47	29,42	33,16

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Assim, como a chave estrela – triângulo, a partida através de chave compensadora tem o intuito de reduzir a corrente de partida. Para que isso ocorra, no momento da partida, a tensão nas bobinas é reduzida. Primeiramente o motor deve ser ligado em série com um autotransformador trifásico, após acelerar por aproximadamente 15 segundos, as bobinas voltam a receber a tensão nominal. A redução da corrente de partida vai depender do TAP em que estiver ligado o autotransformador. Quando o TAP está em 65%, a redução cai para aproximadamente 42% do seu valor de partida direta, o usando o TAP em 80%, a corrente cai para 64%. Pode ser usado em motores que partem com carga, mas existem algumas condições, tais como: o autotransformador deve ter potência igual ou superior a do motor e o conjugado da carga deve ser inferior a metade do conjugado do motor. Esse tipo de partida é indicado para motores de potência elevada. A partir da Equação 16 e 17, pode-se estimar a redução da corrente

usando as chaves compensadoras para o TAP em 65% e em 80% respectivamente, a partir das Tabelas 11, 12 13 e 14, pode-se observar os resultados.

$$I_m = 0,65 \times 0,65 \times I_p \quad (16)$$

$$I_m = 0,80 \times 0,80 \times I_p \quad (17)$$

Tabela 11- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 65% motor 7CV

Corrente (A) Motor 7CV	Partida Direta (A)	Chave compensadora (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	15,60	15,60	-
I_p	79,40	33,54	42,22

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Tabela 12- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 65% motor 15CV

Corrente (A) Motor 7CV	Partida Direta (A)	Chave compensadora (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	21,40	21,40	-
I_p	87,47	36,95	42,25

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Tabela 13- Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 80% motor 7CV

Corrente (A) Motor 7CV	Partida Direta (A)	Chave compensadora (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	15,60	15,60	-
I_p	79,40	50,81	64,00

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Tabela 14 - Redução da corrente usando chave compensadora TAP em 80% motor 15CV

Corrente (A) Motor 7CV	Partida Direta (A)	Chave compensadora (A)	Percentual de I_p (%)
I_n	21,40	21,40	-
I_p	87,47	55,98	64,00

As chaves de partidas *softstart*, é uma chave que utiliza equipamentos eletrônicos capaz de controlar a potência do motor no instante da partida, assim como sua frenagem. Nessas chaves, para que a partida do motor ocorra de modo suave, o usuário deve parametrizar a tensão inicial de modo que ela assuma o menor valor possível, suficiente apenas para começar o movimento da carga. A partir desse ponto a tensão começa a subir a partir de um tempo parametrizado no próprio aparelho, até atingir seu valor nominal. Para o seu dimensionamento, além de detalhes técnicos dos motores, faz-se necessário também os detalhes técnicos das cargas que serão acionadas. Algumas empresas, como a WEG, oferecem sistemas que o usuário fornece os dados do motor e da carga, e o próprio site dimensiona e indica a chave ideal.

Assim, como as chaves *softstart*, o princípio de funcionamento do inversor de frequência é baseado em circuitos eletrônicos. Como já foi citado nesse trabalho, a velocidade síncrona de um motor é função da frequência de alimentação e do número de pólos. Quando há variação na frequência de alimentação, há também variação na velocidade do campo, controlando assim, a velocidade de rotação. Assim que a tensão de alimentação alternada entra no inversor, é retificada para tensão contínua. Para se conseguir o sinal alternado para alimentar o inversor, é usado uma técnica chamado de modulação por largura de pulso, que reconstrói a tensão na saída do inversor, só que agora com uma frequência definida pelo usuário.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos problemas analisados quando se faz a partida de um motor de indução trifásico com métodos convencionais, ou seja, partida direta é uma conseqüente perda da vida útil dos motores elétricos, pois esse pico instantâneo de corrente pode causar aquecimento excessivo de seus enrolamentos, o que reduz, consideravelmente as características térmicas presente nos condutores.

Outro ponto observado pelo estudo, são os afundamentos de tensão provocados pelo pico instantâneo de corrente, que produzem efeitos nocivos ao sistema elétrico, desde a redução de sua velocidade até a perda de vida útil. Portanto, o estudo de técnicas que aumente a confiabilidade do sistema elétrico e minimização de gastos com manutenção se tornam pontos primordiais no estudo de eficiência de sistemas motrizes.

A escolha das chaves de partidas varia de caso para caso, isso leva em consideração a potência nominal do motor, condições das instalações, viabilidade econômica e etc. Analisando as condições de instalação dos motores estudados, não se pode definir qual o tipo de partida ideal devido à falta de informações sobre as cargas que estavam sendo acionadas, pois a escolha do método de partida parte do princípio de conhecimento das características das cargas. Atualmente existem chaves eletrônicas, que possuem maior queda no pico de corrente, controle de velocidade do motor, e pode ser utilizada sem causar danos nas características do motor, que são as chaves *softstart*, amplamente utilizados em sistemas de controle de vazão.

Outra solução, do ponto de vista exclusivo visando economia de energia, uma solução completa é a substituição de motores *stantard* por motores de alto rendimento, reduzindo a potência de acionamento quando possível e adequando o sistema junto ao uso com inversores de frequência, tornando assim o ajuste de velocidade o mais eficiente possível nos conjuntos motor-bombas.

A partir dos cálculos realizados, pôde-se observar que as partidas estrela – triângulo reduz a corrente de partida em um terço, sendo assim, bastante útil. Porém para que a mesma seja implantada, há condições que devem ser obedecidas, como por exemplo: o motor possuir seis terminais, a sua menor tensão de placa deve coincidir com a tensão da rede, e sua partida deve ser a vazio. Para chaves compensadoras, como já foi explanado, sua redução depende do TAP em que o autotransformador for ajustado, se for ajustado em 65% de sua tensão, implicará em uma redução na mesma proporção da corrente. Para controles a partir de chaves *softstarter* ou inversores de frequência, o ajuste é feito de forma eletrônica pelo próprio usuário.

REFERÊNCIAS

AEA, Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. **Eficiência Energética Sustentável**. Brasília, 2017. 16 p. Disponível em < <http://etanoleficiente.org.br/noticia/2017/06/aeaeficiencia-energetica-sustentavel> >. Acessado em: 19 de fevereiro de 2019.

ALTOÉ, Leandra. *et al.* **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. 13 f. Viçosa: Estudos avançados, 2017.

ABB, Asea Brown Boveri, **Os benefícios da eficiência energética Fazendo mais diminuindo os custos e as emissões**. 2017. 16 g. Disponível em <[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/e308f3e92d9a8fc5c1257c9f00349c99/233fdcaafc1899a2c125796100569880/\\$FILE/Benef%C3%ADcios_da_Efici%C3%AAncia_Energ%C3%A9tica_ABB.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/e308f3e92d9a8fc5c1257c9f00349c99/233fdcaafc1899a2c125796100569880/$FILE/Benef%C3%ADcios_da_Efici%C3%AAncia_Energ%C3%A9tica_ABB.pdf)>. Acessado em: 25 de janeiro de 2019.

BRASIL, Agencia Brasileira de Energia Elétrica. **Revista de Eficiência Energética**, Brasília, 2017. 84 p. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/revistas/-/asset_publisher/H3p1EGedaVB6/content/revista-eficiencia-energetica-n2/656835?inheritRedirect=false >. Acessado em: 10 de janeiro de 2019.

BRASIL, Agencia Brasileira de Energia Elétrica. **Revista de Eficiência Energética**, Brasília, 2016. 84 p. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/revistas/-/asset_publisher/H3p1EGedaVB6/content/revista-eficiencia-energetica-n2/656835?inheritRedirect=false >. Acessado em: 10 de janeiro de 2019.

BRASIL, Agencia Brasileira de Energia Elétrica. **Revista de Eficiência Energética**, Brasília, 2015. 84 p. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/revistas/-/asset_publisher/H3p1EGedaVB6/content/revista-eficiencia-energetica-n2/656835?inheritRedirect=false>. Acessado em: 10 de janeiro de 2019.

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2006 – 2007. 244 p. Disponível em < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acessado em: 12 de janeiro de 2019.

BRASIL, Agencia Brasileira de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2009. 12 p. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> >. Acessado em: 19 de fevereiro de 2019

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2010, 156 p. Disponível em < <http://bibspi.planejamento.gov.br/handle/iditem/183>>. Acessado em: 20 de janeiro de 2019.

BRASIL, Séries de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. **Eficiência Energética**. Curitiba: CREA-PR, 2018.

CHAPMAN, Stephen J; **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5° Ed. Porto Alegre: BAE Systems Austrália, 2013.

GADELHA, Witor. P.S. **Eficiência Energética em Motores Elétricos**. 86 p. Centro de Tecnologia e Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

FREITAS, Gabriel. V. C. **Eficiência Energética em Motores de Indução Trifásico Através do uso de Inversor de Frequência PWM**. 85 p. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2013.

GEORGE, Antônio B. P. **Eficiência Energética na Iluminação Pública do Centro Consumidor de Energia AECT Duero-Douro**. 151 f. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para a obtenção do Grau Mestre em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança – PT, 2016.

HENRIQUE, Hélio. Instituto Federal do Educação, Ciência e Tecnologia. **Motores Elétricos Trifásicos CA**. 2013. 67 slides, Campus Mossoró. Disponível em < <http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-demotores-trifasicos-de-ca/view> >. Acessado em: 16 de fevereiro de 2019.

RAMOS, Cesar, E. S.; **Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução trifásico visando a conservação de energia em aplicações industriais**. 246 f. Dissertação Programa de Pós-Graduação. Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

SANTOS, Vasco M. S. **As alterações climáticas e o consumo de energia elétrica dos estudantes de licenciatura da FCSH**. 266 f. Dissertação de Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade NOVA de Lisboa. Lisboa-PT, 2017.

SAADI, Rafael D. T. **Perda de Eficiência Energética Causada por Motores Elétricos Recondicionados no Brasil**. 51 f. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio. Rio de Janeiro, 2017.

SOUSA, Hamilton. Moss *et al.* **Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil**. 20 f. Revista brasileira de Energia, Vol. 15. 2009.

MAMEDE, João Filho. **Instalações Elétricas Industriais: Partidas de Motores Elétricos de Indução**. 7ª Edição. São Paulo - SP, Brasil. LTC Editora, 2001.

SÁ, J.S *et al.* **Determinação do Circuito Equivalente de Motores de Indução Trifásico a Partir de dados de Listas Técnicas de Fabricantes, e Considerando o Efeito da Saturação**. 7 f. GSI Engenharia e Consultoria LTDA. Itajubá-MG, Brasil, 2015.

BATISTA, Edson L. **Monitoramento e Simulação de Motores sob Condições Não-Ideais: Efeito Combinado Desequilíbrio e Distorção Harmônica**. 12 f. XVIII Seminário de Distribuição de Energia Elétrica, Olinda-PE, Brasil, 2008.

SHINDO, Reinaldo. **Cálculo de Parâmetros de Motor de Indução Trifásico Utilizando o Método Dos Elementos Finitos**. 188 f. Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2003.

WEG. **Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas**. 199 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em < <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/apostila-basica>>. Acessado em: 05 de maio de 2019.

COGO, João R. *et al.* **Avaliação do Desempenho do Programa Microtran para Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos na “Escola Federal de Engenharia de Itajubá**. 3 f. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá-MG, Brasil. 1995.

MEDEIROS, Arthur S. **Desenvolvimento de Software para Simulação de Motores com Dispositivos de Partida Baseada na Integração do ATP com TOPReDE**. 67 f. Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, Brasil, 2011.

WANDER, P. Roberto *et al.* **Eficiência Energética - Um Estudo de Caso na Indústria Moveleira**. 9 f. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A energia que move a produção: Um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade. Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 2007.

CREDER, Helio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Edição. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. LTC editora. 2004.

FLUKE, 1736/1738. **Manual do Usuário**. 86 f. 1ª Edição. Fluke Corporation, 2015.

JESUS, Nelson C. *et al.* **Modelagem, Simulação e Análise do Desempenho de Motores de Indução Trifásicos com o Programa ATPDRAW**. GSI Engenharia e Consultoria LTDA. 12 f. Universidade Federal do Taubaté – UNIFEI. Taubaté – SP, Brasil, 2015.

MORAIS, Thiago J. S. **Levantamento de Curvas Características de um Motor de Indução com Enrolamento Dahlander**. Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 51 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2012.

BRASIL, Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa N° 414 de 2010. Definição dos Valores de Referência e Abrangência na Aplicação de Fator de Potência para faturamento de reativos Excedentes em Unidades Consumidoras. Disponível em < www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf > Acessado em: 06 de junho de 2019.

WEG. **Eficiência Energética para Pequenos Negócios – Motores Elétricos**. 28 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em < <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-e-sebrae-mato-grosso-promovem-solucoes-para-eficiencia-energetica-em-pequenos-negocios>> Acessado em: 05 de junho de 2019.

WEG. **Guia de Especificação – Motores Elétricos**. 68 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em < <https://www.weg.net/institucional/US/en/search/downloadcenter?q=WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>> Acessado em: 10 de junho de 2019.

WEG. **Manual para Correção do Fator de Potência**. 40. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em < <https://www.weg.net/institucional/US/en/search/downloadcenter?q=WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf> >. Acessado em: 12 de junho de 2019.

WEG. **Regulamentações Globais de Eficiência para Motores Elétricos de Baixo Tensão**. 12 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em < <https://www.weg.net/institutional/US/en/search/downloadcenter?q=WEG-regulamentacoes-globais-de-eficiencia-para-motores-eletricos-de-baixa-tensao-50065222-catalogo-portugues-br.pdf> > Acessado em: 12 de junho de 2019.

SALA DA ELÉTRICA. **10 Partidas de Motores que Você Precisa Conhecer**. 39 f. Recife-PE, Brasil. Disponível em < <https://www.saladaeletrica.com.br/> >. Acessado em: 12 de junho de 2019.

PEREIRA, Breno D.B. *et al.* **Estudo de Adicionamento das Chaves de Partidas Elétricas e Eletrônicas para Motores Elétricos**. 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense - SICT. 9 f. Criciúma-SC, Brasil, 2012.

ARAÚJO, André L. *et al.* **Desenvolvimento de Modelos de Dispositivos no ATPDraw para Simulação de Partida de Motores**. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia. 9 f. Elétrica. Olinda-PE, Brasil, 2008.

MEDEIROS, Aristóteles P. S. **Estudo da Influência da Tensão na Partida e Operação dos Motores de Indução, utilizando o ATPDraw**. 72 f. Escola Politécnica da Universidade Federal do Pernambuco. Recife-PE, Brasil, 2016.

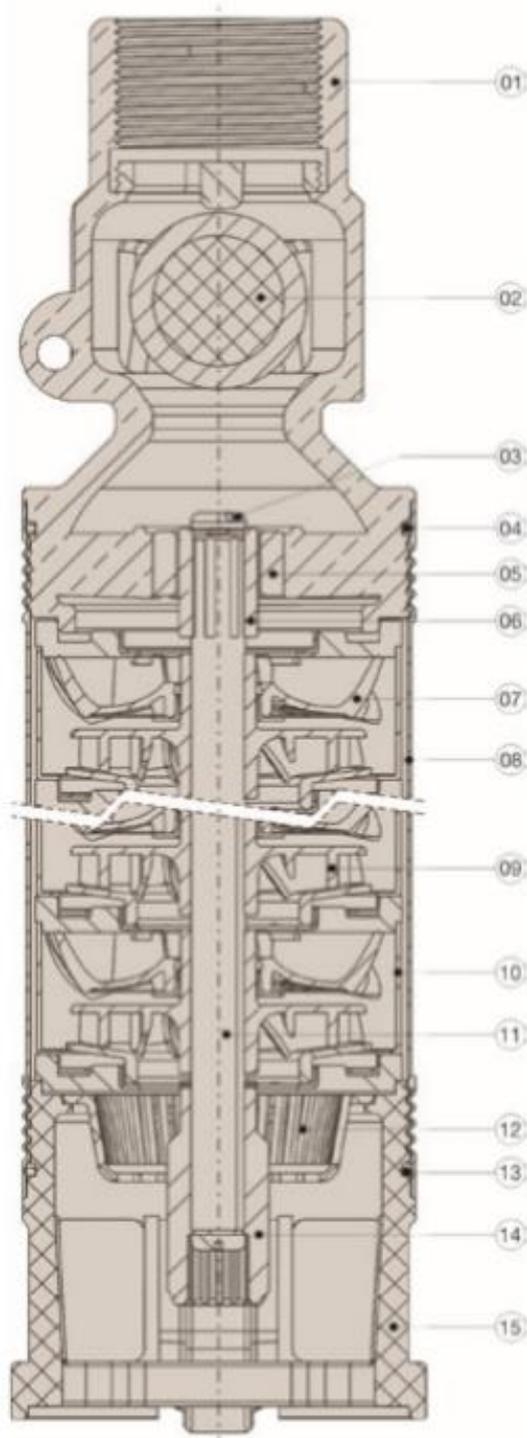
MACHADO, Flávia V.P. **Eficiência Energética de Conjunto Moto - Bomba. II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - IICBEE**. 8 f. Vitória - ES, Brasil, 2014.

PROCEL, **Guia Técnico de Motores de Alto Rendimento**. 30 f. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2009.

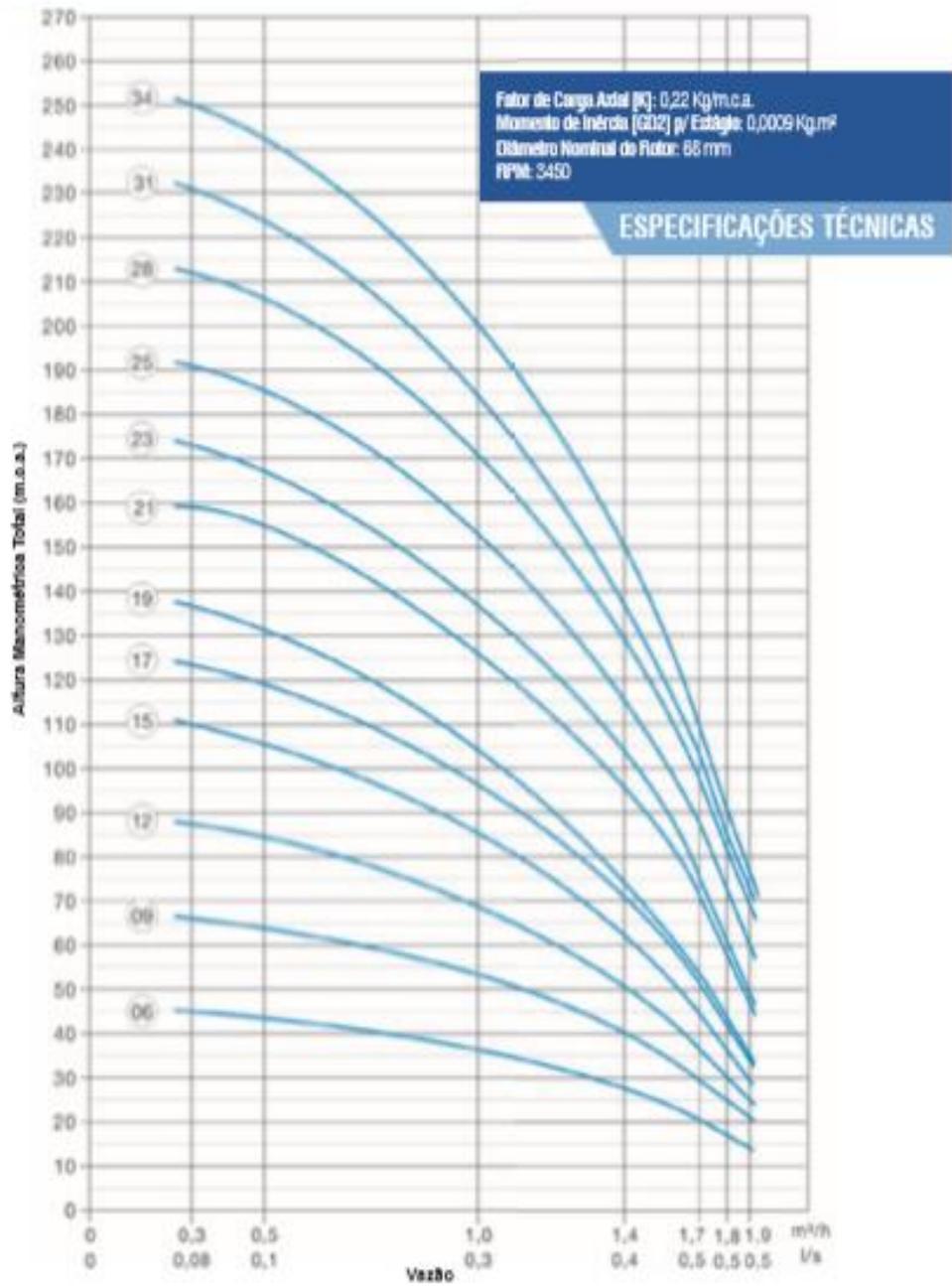
SOUZA, Marcelo O. *et al.* **Análises das Correntes de Partidas de um Motor Trifásico Acionado por Chave Convencional e por Inversor de Frequência**. Graduação em Engenharia Mecatrônica Universidade Federal de Tiradentes – UNIT. 12 f. Tiradentes-MG, Brasil, 2017.

GIBELLI, Gerson B. **Resposta Dinâmica de Motores de Indução Trifásico a Afundamentos de Tensão na Rede de Alimentação**. Trabalho de Obtenção de Título de Mestre em Engenharia Elétrica 87 f. Universidade de São Carlos. São Carlos-SP, Brasil, 2009.

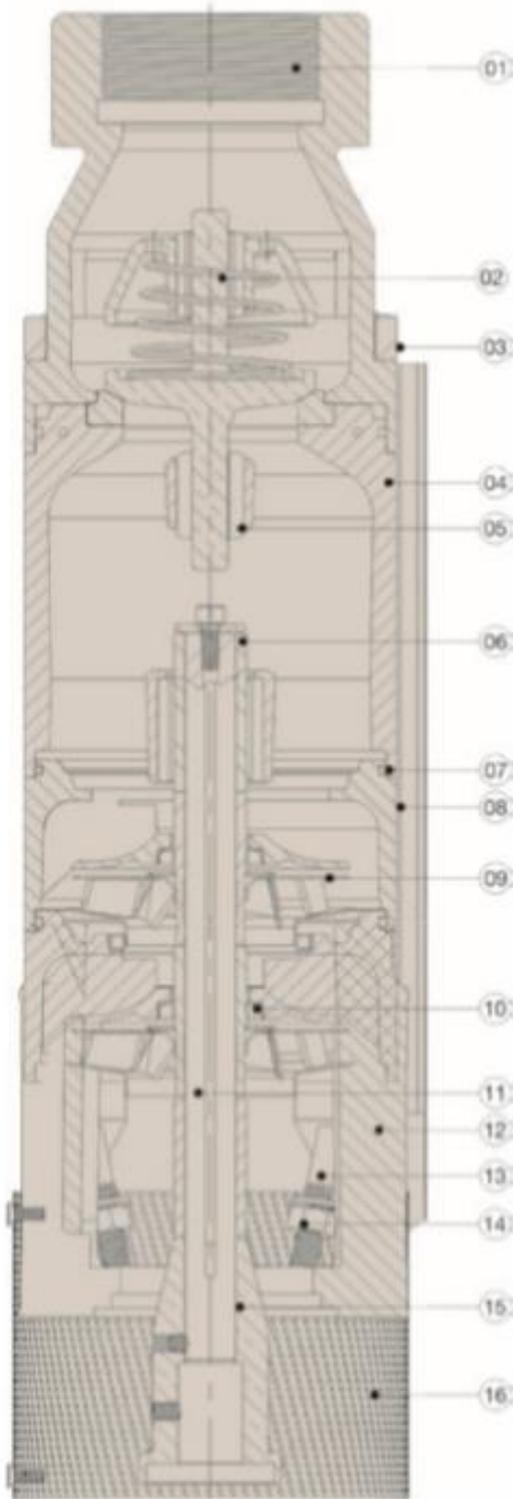
MEDEIROS, Firmino M. Jr., *et al.* **Simulação de Partida de Motores através de Soft-Starter utilizando o ATPDraw**. GSI Engenharia e Consultoria LTDA. Itajubá-MG, Brasil, 2015.

ANEXOS**ANEXO A** Características construtivas bomba quatro polegadas

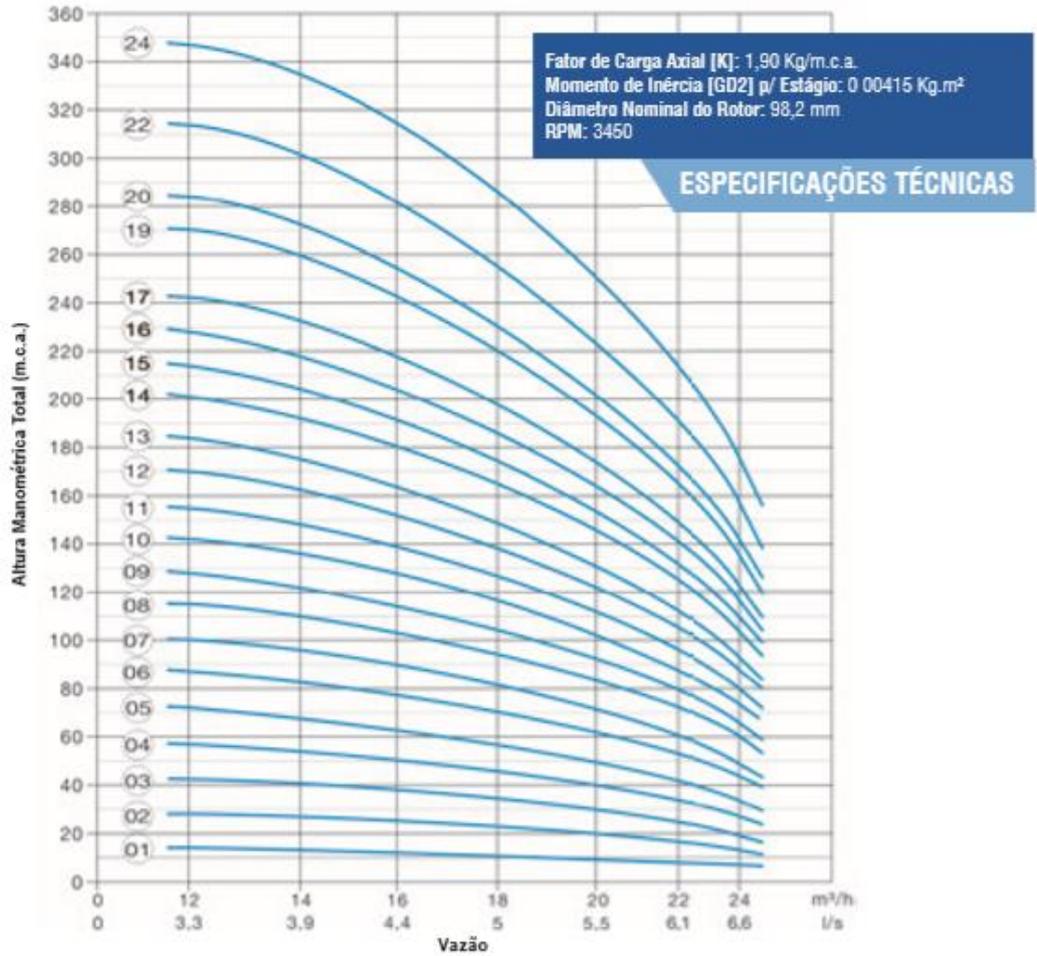
ANEXO B Curvas de performance bomba quatro polegadas



ANEXO C Características construtivas bomba seis polegadas



ANEXO D Curvas de performance bomba seis polegadas



ANEXO E Curvas de desempenho motor de 7CV

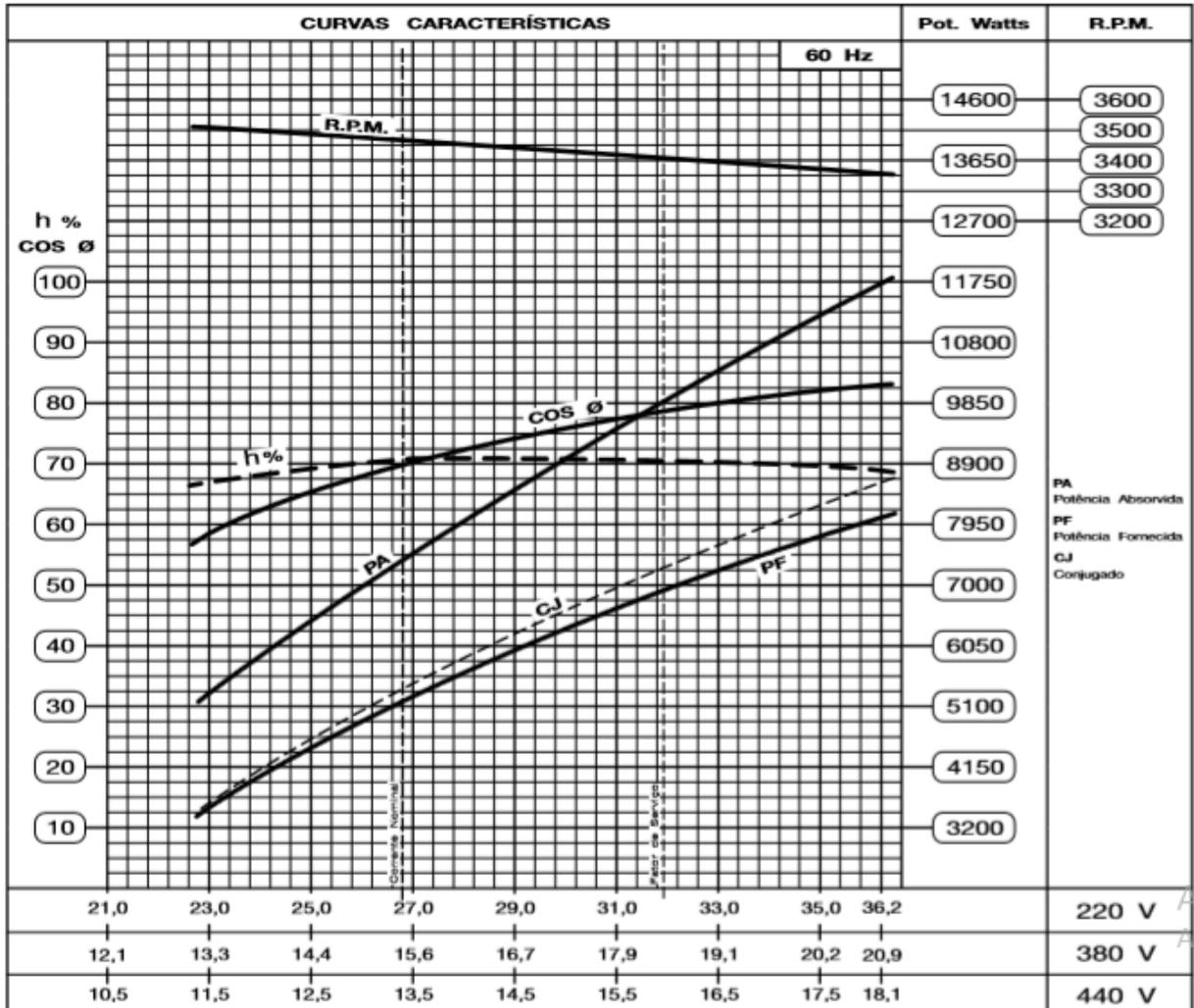


BOMBAS LEÃO S.A.

MOTOR ASSÍNCRONO TRIFÁSICO SÉRIE MB4-450

POTÊNCIA

7,0 CV



Ativar
Acesse C

ANEXO F Dados fundamentais motor de 7CV

DADOS FUNDAMENTAIS			
POTÊNCIA NOMINAL	7,0CV / 5,15 KW	CONJUGADO CATEGORIA	N (NBR 7094)
TENSÃO NOMINAL (V)	220 / 380 / 440	FREQÜÊNCIA	60 HZ
CORRENTE NOMINAL (AMP)	26,80/ 15,50/ 13,40	ROTAÇÃO NOMINAL (RPM)	3.466
FATOR DE POTÊNCIA NOMINAL	0,70	NÚMERO DE FASES	03
RENDIMENTO NOMINAL (%)	70,00	NÚMERO DE POLOS	02
CONJUGADO NOMINAL (KW)	5,36	REGIME DE TRABALHO	CONTÍNUO
POTÊNCIA NOMINAL ABSORVIDA (KW)	7,40	TIPO DO ROTOR	GAIOLA
FATOR DE SERVIÇO	1,19	ISOLAÇÃO (a 1000 Volts)	10.000 MO
CORRENTE NO FATOR DE SERVIÇO (AMP)	31,89/ 18,46/ 15,94	QUEDA DE TENSÃO ADMISSÍVEL	10%
FATOR DE POTÊNCIA NO FATOR DE SERVIÇO	0,78	NÚMERO MÁXIMO DE PARTIDAS HORAS	10
POTÊNCIA FORNECIDA NO FATOR DE SERVIÇO (KW)	6,89	TEMPERATURA MAX. DO FLUIDO BOMBEADO	40 °C
POTÊNCIA ABSORVIDA NO FATOR DE SERVIÇO (KW)	9,83	CLASSE DE ISOLAÇÃO	Y (NBR 7094)
IP/IN	4,95	GRAU DE PROTEÇÃO	IP-68 (NBR 6146)
CONJUGADO DE PARTIDA (KW)	12,16		
CONJUGADO MÁXIMO (KW)	16,08		

Características e Especificações Técnicas Sujetas a Alterações para Melhoria do Produto.

Data Efetiva:


 Ativar
 Acesse C

ANEXO G Dados fundamentais motor de 15 CV

SÉRIE		POTÊNCIA		CORRENTE NOMINAL			IP/IN	POTÊNCIA ABSORVIDA (Kw)	ROTAÇÃO (RPM)	RENDIMENTO			FATOR DE POTÊNCIA			FATOR DE SERVIÇO	COMPR. DO MOTOR	MASSA
		CV	Kw	(Amperes)						η(%)			Cos φ					
				220V	380V	440V				50%	75%	100%	50%	75%	100%		MM	Kg
MB4-360	0,50	0,37	2,40	1,39	1,60	2,07	0,75	3447	--	48,00	51,00	--	0,78	0,80	1,52	371	13,90	
	0,75	0,55	3,30	1,91	1,75	1,86	1,07	3446	--	55,00	52,00	--	0,83	0,83	1,11			
	1,0	0,73	5,20	3,00	2,60	2,07	1,69	3447	--	42,00	44,00	--	0,81	0,83	1,20	431	14,90	
	1,5	1,10	7,30	4,22	3,65	2,86	2,18	3455	--	48,00	51,00	--	0,69	0,76	1,20	481	17,40	
	2,0	1,47	8,30	4,80	4,15	3,14	2,70	3456	46,00	53,00	56,00	0,69	0,77	0,83	1,20	584	19,6	
	2,5	1,84	9,00	5,21	4,50	3,43	3,00	3449	53,00	60,00	62,00	0,75	0,81	0,85	1,13			
	3,0	2,21	11,00	6,36	5,50	4,00	3,57	3444	54,00	61,00	63,00	0,67	0,76	0,83	1,20	704	25,1	
3,5	2,57	12,20	7,06	6,10	3,85	4,07	3444	57,00	63,00	64,00	0,70	0,79	0,85	1,10				
MB4-350	4,0	2,94	14,80	8,60	7,40	3,79	4,91	3449	52,00	59,00	61,00	0,71	0,79	0,85	1,15	753	27,6	
	4,5	3,31	15,70	9,10	7,85	3,97	5,20	3445	55,00	62,00	64,00	0,72	0,80	0,85	1,15			
	5,0	3,68	17,00	9,84	8,50	3,53	5,75	3450	58,00	63,00	65,00	0,76	0,83	0,86	1,15	824	30,4	
	5,5	4,04	18,10	10,48	9,05	3,61	6,18	3450	60,00	65,00	66,00	0,77	0,84	0,87	1,15			
	6,0	4,41	20,30	11,75	10,15	3,43	6,38	3450	65,00	69,00	70,00	0,67	0,75	0,80	1,15			
MB6-710 (71E)	14,0	10,30	40,50	23,40	20,25	4,18	13,64	3450	72,00	76,00	76,00	0,76	0,83	0,86	1,15	887	62,80	
	15,0	11,03	42,00	24,30	21,00	5,07	13,84	3451	76,00	79,00	80,00	0,71	0,80	0,84	1,15	987	79,30	
	16,0	11,77	45,00	26,10	22,50	4,85	15,09	3451	73,00	77,00	79,00	0,75	0,82	0,85	1,20	1047	84,00	
	17,0	12,50	47,90	27,70	23,95	4,64	16,08	3451	73,00	77,00	78,00	0,75	0,82	0,86	1,19			
	18,0	13,24	50,50	29,20	25,25	4,45	17,03	3450	74,00	78,00	78,00	0,83	0,76	0,86	1,13	1067	87,30	
	19,0	13,97	53,50	31,00	26,75	4,67	18,19	3451	75,00	78,00	77,00	0,76	0,83	0,87	1,15			
	20,0	14,71	57,00	33,00	28,50	4,46	19,42	3450	73,00	76,00	76,00	0,77	0,84	0,87	1,13			
	22,5	16,55	62,00	35,90	31,00	4,69	20,75	3449	77,00	80,00	80,00	0,74	0,82	0,85	1,15			

ANEXO H Folheto contatore K1 e K2



		CWM9	CWM12	CWM18	CWM25	CWM32	
		Contatos auxiliares (NA / NF): 3 polos: -10 / -01 / -11 / -22 4 polos: -00			Contatos auxiliares (NA / NF): 3 polos: -00 / -10 / -01 / -11 / -22		
							
AC-3 Serviço normal de manobras de motores com rotor gaiola com desligamento em regime	I_n máx. ($U_n \leq 440$ V)	(A)	9	12	18	25	32
	Potência 60 Hz ⁽¹⁾	220 V (cv)	3	4	6	8,7	12,5
		380 V (cv)	5,4	7,5	10	16,8	20
	440 V (cv)	6	8,7	12,5	16,8	20	
AC-4 Manobras pesadas. Acionar motores com carga plena, comando intermitente, reversão a plena marcha e paradas por contracorrente	I_n máx. ($U_n \leq 440$ V)	(A)	5	7	8	12	16
	Potência 60 Hz ⁽¹⁾	220 V (cv)	1,5	2	2	4	6
		380 V (cv)	3	4	5	7,5	10
	440 V (cv)	3	5	6	7,5	12,5	
AC-1 Manobras de cargas resistivas puras ou pouco indutivas	$I_n = I_n$ ($U_n \leq 690$ V)	(A)	25	25	32	45	60
	Potência 50 / 60 Hz ($\theta \leq 55$ °C)	220 V (kW)	9,5	9,5	12	17	22,5
		380 V (kW)	16,5	16,5	21	29,5	39,5
	440 V (kW)	19	19	24	34	45,5	
Número de polos		3 polos	4 polos	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos
Fusível máximo gL / gG ⁽¹⁾		(A)	25	35	35	50	63
Consumo bobina CA em 60 Hz "Ligar" / "Ligada"		(VA)	70 / 5,5...9,3				115 / 9,5...11
Consumo bobina CC "Ligar" / "Ligada"		(W)	3,8...7,5 / 3,8...7,5				240 / 6
Peso bobina CA / CC		(kg)	0,360 / 0,520	0,360 / 0,520	0,360 / 0,520	0,390 / 0,520	0,620 / 0,640
Dimensões	Largura	(mm)	45				55
	Altura	(mm)	81				87
	Profundidade bobina CA / CC	(mm)	87 / 115				87 / 117

ANEXO H Relé térmico

RW27-2D



Referência	Faixas de ajuste (A)	Fusível máx. gL/gG ⁽¹⁾
RW27-2D3-D004	0,28...0,4	2
RW27-2D3-C063	0,4...0,63	2
RW27-2D3-D008	0,56...0,8	2
RW27-2D3-D012	0,8...1,2	4
RW27-2D3-D018	1,2...1,8	6
RW27-2D3-D028	1,8...2,8	6
RW27-2D3-U004	2,8...4	10
RW27-2D3-D063	4...6,3	16

Referência	Faixas de ajuste (A)	Fusível máx. gL/gG ⁽¹⁾
RW27-2D3-U008	5,6...8	20
RW27-2D3-U010	7...10	25
RW27-2D3-D125	8...12,5	25
RW27-2D3-U015	10...15	35
RW27-2D3-U017	11...17	40
RW27-2D3-U023	15...23	50
RW27-2D3-U032	22...32	63
RW27-2D3-U040	32...40	90

ANEXO I Folheto contator K3

	CW07	CWC07	CWC09	CWC012	CWC016	CWC025
						
I_n máx. AC-3 ($U_n \leq 440$ V) (A)	7 ($U_n < 400$ V)	7	9	12	16	22