

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MARIANA FERREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM MOTORES DE INDUÇÃO  
MONOFÁSICOS COM LONGO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO**

**CARATINGA**

**2018**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MARIANA FERREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM MOTORES DE INDUÇÃO  
MONOFÁSICOS COM LONGO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eficiência Energética.

Professor Orientador: MSc. Robson da Silva.

**CARATINGA**

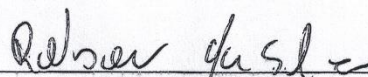
**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DE DESEMPENHO EM MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS COM LONGO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO, elaborado pelo(s) aluno(s) MARIANA FERREIRA DA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

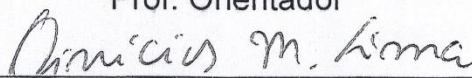
**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 10/12/2018



ROBSON DA SILVA

Prof. Orientador



VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES

Prof. Avaliador 1



JOILDO FERNANDES COSTA JUNIOR

Prof. Examinador 2

*Aos meus pais, Nadir e Evenissio, irmãos, Juliano e Leonardo e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, e ao meu noivo Ricardo pelo carinho, paciência, incentivo e amor.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui.

Aos professores da Rede de Ensino Doctum eu agradeço a orientação incansável, o empenho e a confiança que ajudaram a tornar possível este sonho. Em especial quero agradecer ao Prof. Robson da Silva pela orientação deste trabalho, pela extrema disposição, pela paciência e pelos ensinamentos que irei levar pelo resto de minha vida, e ao Prof. Joildo Fernandes Costa Júnior pela colaboração e sugestões de grande valia durante o decorrer deste trabalho.

A todos os professores, funcionários e amigos da Doctum Caratinga que, estando ao meu lado nos momentos difíceis ou descontraídos, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus padrinhos, vizinhos, parentes e amigos que me apoiaram e incentivaram no decorrer de mais esta etapa.

*"Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim." (Nikola Tesla)*

SILVA, Mariana Ferreira da. **ANÁLISE DE DESEMPENHO EM MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS COM LONGO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO** Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2018

## **RESUMO**

Desde a revolução industrial a humanidade tem procurado meios que melhore a produção manufatureira aliada ao aumento da produtividade. Porém melhorias no sistema de produção está sempre atrelado ao aumento da demanda de energia elétrica. Logo, a busca por fatores que nos direcione a atingir melhores níveis de eficiência energética é primordial. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um motor de indução monofásico com elevado período de uso, para tanto, foi criado e testado um protocolo de ensaio para parametrização das condições de funcionamento de motores elétricos de indução, utilizando freio eletromagnético, como dispositivo de carga, aplicado ao torque do motor e tensão na célula de carga, juntamente com o tacômetro como principais instrumentos de medição. O objetivo principal é analisar o desempenho dos motores elétricos de indução visando melhorar a eficiência energética.

**Palavras-chave:** Motores Elétricos. Rendimento. Freio Eletromagnético. Eficiência Energética.

SILVA, Mariana Ferreira da. **ANÁLISE DE DESEMPENHO EM MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS COM LONGO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2018

### **ABSTRACT**

Since the industrial revolution mankind has sought ways to improve manufacturing production coupled with increased productivity. However improvements in the production system is always linked to the increase in demand for electricity. Therefore the search for factors that lead us to achieve better levels of energy efficiency is paramount. In this context, this work aims to evaluate the performance of a single-phase induction motor with high period of use. For this purpose, a test protocol was created and tested for parameterization of the operating conditions of electric induction motors, using electromagnetic brake as load device applied to the motor torque and load cell voltage together with the tachometer as the main measuring instruments. The main objective is to analyze the performance of electric induction motors in order to improve energy efficiency.

**Key-words:** Electric motors. Income. Electromagnetic Brake. Energy Efficiency.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motores de Indução .....	16
Figura 2 - Estator típico de um motor de indução.....	17
Figura 3 - Motor de indução típico com rotor gaiola de esquilo.....	18
Figura 4 - Decomposição do campo magnético de um motor monofásico.....	19
Figura 5 - Conjugado <i>versus</i> velocidade de um motor de indução monofásico .....	21
Figura 6 - Módulos dos campos magnéticos em função do tempo. ....	22
Figura 7 - Placa do freio eletromagnético.....	24
Figura 8 - Ponte de Wheatstone.....	25
Figura 9 - Triângulo das potências.....	28
Figura 10 - Fluxo de potência de um motor de indução. ....	31
Figura 11 - Localização das perdas em um motor .....	33
Figura 12 - Bancada didática inversor de frequência .....	35
Figura 13 - Motor utilizado nos ensaios.....	36
Figura 14 - Placa MIM VOGES .....	36
Figura 15 - Termômetro Infravermelho.....	37
Figura 16 - Multímetro digital ET-2082C .....	38
Figura 17 - Alicates Wattímetro ET-4055.....	38
Figura 18 - Sistema freio-motor.....	39
Figura 19 - Ensaio montado .....	40
Figura 20 - Curva de desempenho em carga do Motor WEG .....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre as potências e peso aplicado ao motor .....	44
Gráfico 2 - Relação entre rendimento, fator de potência e peso aplicado ao motor ..	45
Gráfico 3 - Relação entre tensão, corrente e peso aplicado ao motor .....	46
Gráfico 4 - Relação entre peso e velocidade angular.....	47
Gráfico 5: Interpolação de dados de rendimento.....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas

FP - Fator De Potência

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional

IHM - Interface Homem-Máquina

MIM - Motor De Indução Monofásico

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

RAD/S - Radiano Por Segundo

RPM - Rotações Por Minuto

## LISTA DE SIMBOLOS

- $B_{AHO}$  - Campo magnético girante anti-horário
- $B_{HO}$  - Campo magnético girante horário
- $B_{max}$  - Campo magnético máximo
- $B_S$  - Campo magnético pulsante estacionário
- $n_m$  - Velocidade angular mecânica medida em RPM
- $^{\circ}C$  - Grau Celsius
- $^{\circ}F$  - Grau fahrenheit
- $d$  - Distancia, normalmente medida em metros
- $f$  - Frequência
- $F$  - Força, normalmente medida em Newton
- Hz - Unidade de medida para frequência
- $I$  - Corrente elétrica, normalmente medida em Amperes(A)
- Kg - Quilograma, unidade para a grandeza massa
- $P_{EL}$  - Potência Elétrica
- $P_{ME}$  - Potência Mecânica
- $R$  - Resistência, normalmente medida em ohms ( $\Omega$ )
- $R_1$  - Resistência do estator
- $R_2$  - Resistência do rotor
- $t$  - Tempo, normalmente dado em segundos
- $T$  - Torque, normalmente medido em Newton-metro
- $V$  - Voltagem, normalmente medido em Volts (V)
- $\eta$  - Rendimento
- $\pi$  - Pi
- $\Sigma Perdas$  - Somatório do perdas
- $\phi$  - Phi
- $\omega$  - Frequência Angular =  $2\pi f$
- $\omega$  - Velocidade angular
- $\omega_m$  - Velocidade angular mecânica medida em RAD/S

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Motores de indução monofásico .....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Principais componentes do motor de indução .....	17
2.1.2 Princípio de Funcionamento.....	18
2.1.2.1 Teoria do duplo campo girante.....	19
2.1.2.2 Teoria do campo cruzado.....	21
2.1.3 Motor VOGES e Motor WEG.....	22
<b>2.2 Ensaio carga variável em motores assíncronos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Bancada didática de inversor de frequência .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Freio Eletromagnético .....	23
2.3.2 Célula de Carga .....	24
2.3.2.1 Ponte de Wheatstone.....	24
2.3.2.2 Operação da célula de carga .....	25
<b>2.4 Multímetro.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Termômetro Infravermelho.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6 Alicate Wattímetro.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7 Triângulo de potências .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8 Potência de entrada .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9 Torque.....</b>	<b>28</b>
<b>2.10 Velocidade angular.....</b>	<b>29</b>
<b>2.11 Potência mecânica .....</b>	<b>29</b>
<b>2.12 Eficiência energética em motores elétricos.....</b>	<b>29</b>
2.12.1 Rendimento .....	30
2.12.2 Perdas internas .....	31
2.12.2.1 Perdas no cobre .....	31
2.12.2.2 Perdas no núcleo.....	32
2.12.2.3 Perdas por atrito e ventilação.....	32
2.12.2.4 Perdas suplementares.....	32
2.12.3 Superdimensionamento dos motores .....	33
2.12.4 Manutenção.....	33

2.12.5	Reparo e recondicionamento .....	34
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Bancada didática inversor de frequência.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Motor de indução eletromagnético monofásico .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Termometro Infravermelho .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Multímetro digital ET-2082C .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5</b>	<b>Alicate Wattímetro ET-4055 .....</b>	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>Procedimento experimental e obtenção dos dados.....</b>	<b>39</b>
3.6.1	Calibração .....	39
3.6.2	Sequência de ensaios .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados da calibração .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultado dos ensaios .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Tratamento de dados .....</b>	<b>43</b>
4.3.1	Relação potência - peso.....	43
4.3.2	Relação fator de potência - rendimento.....	44
4.3.3	Relação tensão - corrente .....	45
4.3.4	Relação peso – velocidade angular .....	46
<b>4.4</b>	<b>Curva do motor WEG .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O início do século XXI trouxe a tona um antigo paradoxo que há muito tempo vem preocupando governo e sociedade. A necessidade de aperfeiçoar e ampliar meios de produção e simultaneamente promover a preservação e a extinção de impactos ambientais tem servido de fomento em rodas de debates de diversos seguimentos. A revolução industrial, que possibilitou aumentar a capacidade produtiva, veio atrelada a uma demanda cada vez mais crescente por energia.

Hoje a energia elétrica é a forma de energia mais utilizada pela humanidade. Porém os processos de conversão desse tipo de energia são os que geram maior quantidade de impactos ambientais. Na tentativa de solucionar ou minimizar os efeitos do paradoxo Produtividade X Impactos Ambientais, muito tem-se investido na criação e aperfeiçoamento de usinas que utilizam fontes renováveis de energia. No entanto, essa não deve ser a única alternativa a ser implantada como possível solução para esse problema.

A melhoria na eficiência energética durante a realização dos processos também é uma alternativa muito importante nesse paradoxo, pois significa “utilizar processos e equipamentos que sejam mais eficientes, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica, tanto na produção de bens como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade” (PINTO *Et al*, 2009, p. 14). Um exemplo prático que pode contribuir para a eficiência energética seria a avaliação técnica de motores utilizados na indústria.

De acordo com Franchi (2008) o motor de indução se tornou um equipamento muito popular devido a maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica serem de corrente alternada. Logo a caracterização dos parâmetros de funcionamento de motores de indução, com longos períodos de utilização é um procedimento que pode contribuir para a melhoria na eficiência energética de uma fábrica, indústria e do sistema de geração de energia. Como hoje o mercado ainda não fornece procedimentos que possam ser utilizados para avaliar o desempenho de motores de indução de baixa potência e devido ao fato desses motores serem largamente utilizados. A implementação de um protocolo de teste é um mecanismo extremamente necessário para avaliar o funcionamento dessas máquinas rotativas. Neste contexto desenvolvemos um protocolo de testes que podem ser aplicados a qualquer motor eletromagnético que se enquadre nas características apresentados nesse trabalho.

Este trabalho foi organizado em cinco capítulos, assim apresentados:

No primeiro capítulo é feita uma introdução onde o tema, eficiência energética em motores elétricos de indução, é inserido no contexto atual da sociedade, ressaltando a importância do mesmo no dia a dia das pessoas. Os objetivos são apresentados e justificados face à bibliografia existente.

No segundo capítulo, o referencial teórico abordará os fatores que influenciam no desempenho de motores elétricos. Serão descritos o princípio de funcionamento e as principais características técnicas e construtivas dos motores. Neste capítulo ainda será abordado características das ferramentas usadas no protocolo e alguns conceitos utilizados para o tratamento de dados.

O terceiro capítulo irá apresentar o protocolo de teste criado e utilizado para aferir o rendimento dos motores elétricos de indução, bem como a descrição das etapas, técnicas e ferramentas empregadas para alcançar os objetivos propostos.

O quarto capítulo apresentará e discutirá os resultados alcançados no capítulo terceiro, utilizando as informações coletadas no protocolo.

O quinto capítulo apresentará as conclusões mais importantes deste trabalho bem como sugestões futuras para novos trabalhos.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para facilitar o entendimento deste trabalho, se faz necessário uma revisão dos aspectos gerais dos motores de indução, além de falar sobre as perdas, potência mecânica e ensaios em motores.

### 2.1 Motores de indução monofásico

O motor de indução, figura 1, “é uma máquina elétrica de corrente alternada mais utilizada nos sistemas de acionamentos eletromecânicos” (GUEDES, 1993, p.1), foi criado na década 1880 por Nikola Tesla. O motor de indução tem atualmente uma aplicação muito grande tanto na indústria como em utilizações domésticas, dada a sua grande robustez e baixo preço.

O motor elétrico de indução monofásico “é um equipamento que, baseado em fenômenos eletromagnéticos, converte energia elétrica em energia mecânica” (BORTONI *Et al.*, 2007, p. 89), os motores monofásicos possuem os enrolamentos ligados diretamente a uma fonte monofásica. Existem diversos modelos de motores monofásicos, o motor com rotor gaiola de esquilo é o que mais se destaca, principalmente pela sua simplicidade, que se traduz em baixo custo.

Figura 1 - Motores de Indução



Fonte: Weg (2018)

Os motores de indução, segundo Alves (2003), também são conhecidos como motores assíncronos, pois a velocidade de rotação do rotor não é igual à velocidade de rotação do campo girante criado pelo estator, isto é, o movimento do rotor não é síncrono com o movimento do campo girante do estator.

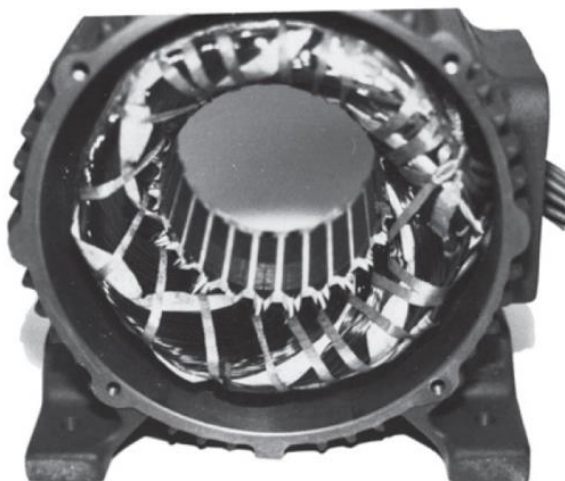
Basicamente, o motor é um conversor eletromecânico que, baseado em princípios eletromagnéticos, converte a energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, quando passa a ser chamado de gerador. “Embora seja possível usar uma máquina de indução como motor ou como gerador, ela apresenta muitas desvantagens como gerador e, por isso, ela é usada como gerador somente em aplicações especiais” (CHAPMAN, 2013, p. 307).

### 2.1.1 Principais componentes do motor de indução

Segundo Gonçalves (2014), as máquinas de indução são constituídas por dois circuitos elétricos, o estator e o rotor, e um circuito magnético. O estator é a parte imóvel, em que é produzido o campo magnético girante. O rotor é a parte móvel da máquina podendo ser em gaiola de esquilo ou rotor bobinado.

“O motor de indução tem fisicamente o mesmo estator que uma máquina de corrente contínua” (CHAPMAN, 2013, p. 309), figura 2. O estator geralmente é formado de chapas de aço-silício, que possuem pequena espessura e apresentam baixas perdas no ferro. Em motores de baixo custo estas chapas são fabricadas com aço convencional de baixo teor de carbono que causa um nível mais elevado de perdas e conseqüentemente um rendimento menor do motor.

Figura 2 - Estator típico de um motor de indução

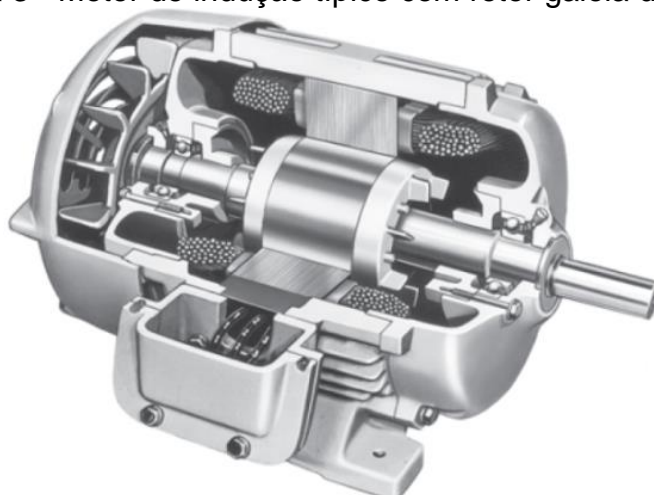


Fonte: Chapman (2013)

O rotor pode ser de dois tipos básicos: rotor tipo gaiola, de maior quantidade de aplicações, e rotor bobinado, para aplicações especiais.

O rotor gaiola de esquilo, mostrado na figura 3, é constituído por barras condutoras curto-circuitadas em suas extremidades através de anéis condutores. Essa forma construtiva é conhecida como rotor de gaiola de esquilo porque, se os condutores fossem examinados isoladamente, seriam semelhantes àquelas rodas nas quais os esquilos ou os hamsters correm fazendo exercício.

Figura 3 - Motor de indução típico com rotor gaiola de esquilo



Fonte: Chapman (2013)

### 2.1.2 Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento do motor de indução se baseia na criação de um campo eletromagnético rotativo, ou lei de Faraday. Diferente do motor de indução trifásico que através da aplicação de uma tensão alternada no estator consegue-se produzir um campo magnético rotativo de magnitude constante, girando a velocidade síncrona, o motor de indução monofásico apresenta uma grande desvantagem, pois “possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento gera um campo magnético que se alterna com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado não é rotativo” (PINTO *Et al*, 2009, p. 50) e sim pulsante, de forma variável. “Como não há campo magnético girante no estator, um motor de indução monofásico não tem conjugado de partida” (CHAPMAN, 2013, p. 569) de forma que é necessário o uso de uma técnica para que o mesmo tenha conjugado de partida, saindo do estado de inércia.

Para solucionar o problema da partida, utiliza-se enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário

para partida. Assim, teremos um enrolamento de armadura com duas partes: um enrolamento principal, que é conectado diretamente à rede de alimentação. A outra parte é o enrolamento secundário ligado em série com capacitor e esse circuito é ligado em paralelo com o circuito principal. Desta maneira, a corrente elétrica que circula pelo enrolamento auxiliar está adiantada em aproximadamente  $90^\circ$  da corrente do enrolamento principal. (FRANCHI, 2008, p. 24)

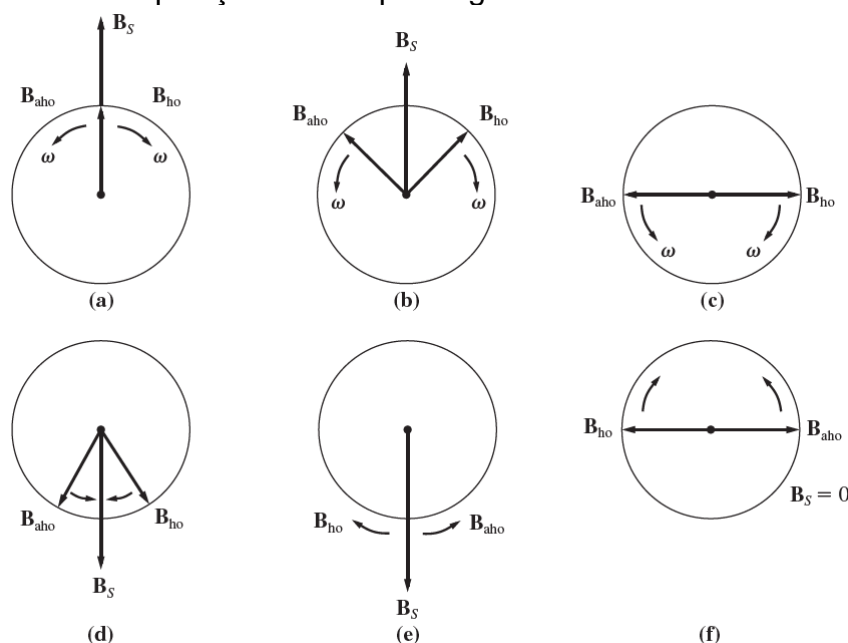
Após o rotor ser retirado do estado de inércia o mesmo mantém sua rotação. Para explicar esta rotação usa-se duas teorias: a teoria do duplo campo girante e a teoria do campo cruzado.

### 2.1.2.1 Teoria do duplo campo girante

Basicamente, a teoria do duplo campo girante dos motores de indução monofásicos afirma que um campo magnético pulsante estacionário pode ser decomposto em dois campos magnéticos *girantes*, de mesmo módulo e girando em sentidos opostos. O motor de indução responde diferentemente a cada um desses campos magnéticos em separado. O conjugado líquido resultante da máquina será a soma dos conjugados produzidos por cada um desses campos magnéticos. (CHAPMAN, 2013, p. 570)

A figura 4 ilustra a decomposição do campo magnético em dois campos girantes, um que irá girar em sentido horário (progressivo) e outro que irá girar em sentido anti-horário (retrógrado), ambos com mesmo módulo e velocidade. A soma vetorial dos campos magnéticos está em uma linha vertical.

Figura 4 - Decomposição do campo magnético de um motor monofásico



Fonte: Chapman (2013)

Segundo Chapman (2013) a densidade de fluxo do campo magnético estacionário é expressa pela equação 1.

$$B_S(t) = (B_{\max} \cos \omega t) \hat{j} \quad (1)$$

Logo o campo magnético girante horário (HO) pode ser expressa através da equação 2.

$$B_{HO}(t) = \left(\frac{1}{2} B_{\max} \cos \omega t\right) \hat{i} - \left(\frac{1}{2} B_{\max} \cos \omega t\right) \hat{j} \quad (2)$$

O campo magnético girante anti-horário(AHO) pode ser expresso como, equação 3:

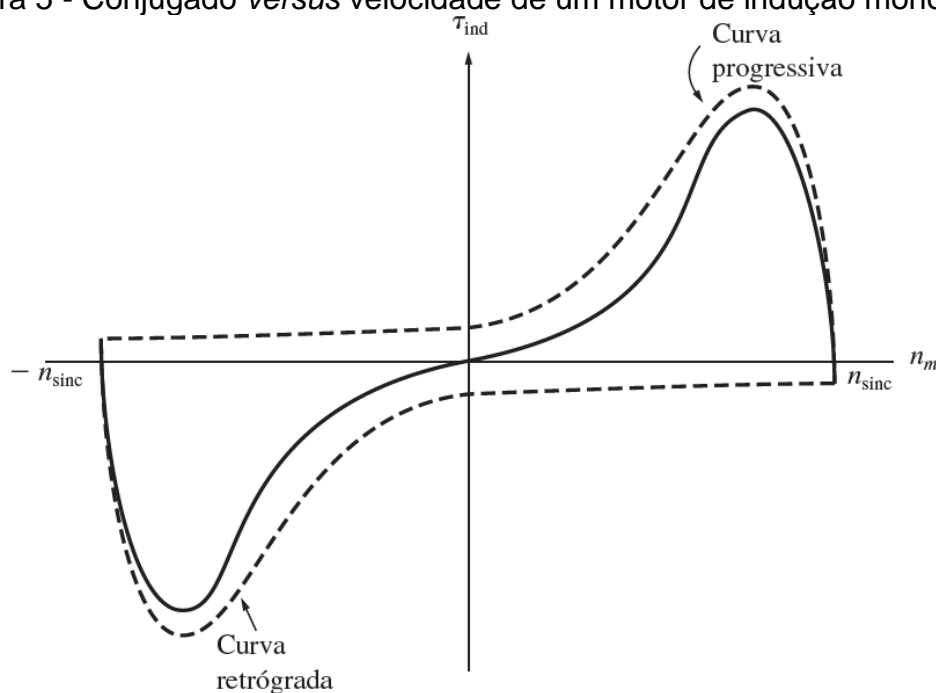
$$B_{AHO}(t) = \left(\frac{1}{2} B_{\max} \cos \omega t\right) \hat{i} + \left(\frac{1}{2} B_{\max} \cos \omega t\right) \hat{j} \quad (3)$$

A soma dos campos magnéticos, equação 4, é igual ao campo magnético pulsante estacionário  $B_S(t)$ :

$$B_S(t) = B_{HO}(t) + B_{AHO}(t) \quad (4)$$

A característica do conjugado do motor de indução monofásico é igual a diferença entre o conjugado dos dois campos magnéticos presentes nele, a figura 5 apresenta o conjugado resultante do motor de indução. Não há conjugado quando a velocidade é igual a zero, ou seja, ele não possui conjugado de partida.

Figura 5 - Conjugado versus velocidade de um motor de indução monofásico



Fonte: Chapman (2013)

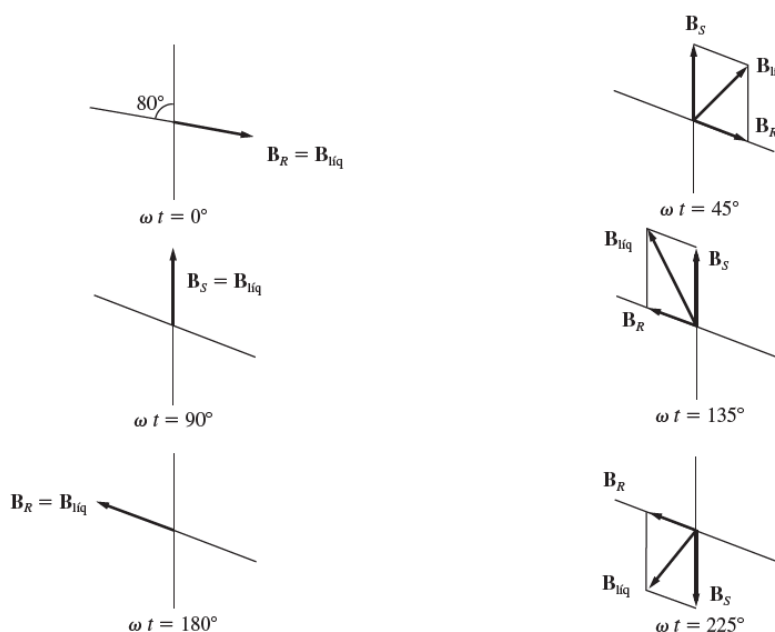
### 2.1.2.2 Teoria do campo cruzado

A teoria do campo cruzado destaca as tensões e correntes que o estator pode induzir no rotor que já está em movimento.

Considere um motor de indução monofásico com um rotor que foi levado até a velocidade de operação por meio de algum método externo. [...]. As tensões são induzidas nas barras desse rotor, com a tensão de pico ocorrendo nos enrolamentos que passam diretamente abaixo dos enrolamentos do estator. Por sua vez, essas tensões produzem um fluxo de corrente no rotor que, devido à sua elevada reatância, está atrasada em relação à tensão em quase  $90^\circ$ . Como o rotor está girando próximo da velocidade síncrona, esse intervalo de tempo de  $90^\circ$  na corrente produz um deslocamento angular de quase  $90^\circ$  entre o plano da tensão de pico do rotor e o plano da corrente de pico. (CHAPMAN, 2013, p. 575)

Os campos magnéticos do rotor e estator diferem entre si aproximadamente  $90^\circ$  tanto no espaço quanto no tempo. O campo magnético do estator é maior que o campo magnético do rotor, isso ocorre devido as perdas existentes no rotor. A soma vetorial desses campos produz um campo magnético que gira no sentido em que o rotor foi posto a girar inicialmente, de forma que o torque resultante deste campo sustente a rotação do motor. A figura 6 mostra a soma vetorial desses campos em diferentes momentos de tempo.

Figura 6 - Módulos dos campos magnéticos em função do tempo.



Fonte: Chapman (2013)

### 2.1.3 Motor VOGES e Motor WEG

Os motores das marcas VOGES e WEG, com os respectivos modelos 1OVD56 e 13028156, possuem grande semelhança em seus dados fornecidos pelo fabricante.

Ambos os motores têm função de uso geral, possuem proteção do tipo IP21 que protege contra objetos sólidos maiores que 12 mm e contra gotejamento vertical. Esta proteção é muito utilizada em motor de chapa aberta e está detalhada na ABNT NBR-IEC 60034-5.

## 2.2 Ensaio carga variável em motores assíncronos

Os motores de indução são máquinas que possuem aplicações em uma grande diversidade de carga, por isso os ensaios elétricos com carga variável são muito importantes para a determinação das condições destes motores.

Para a representação em laboratório das condições reais de operação é fundamental a execução de ensaios dinâmicos que possibilitem a caracterização quanto à potência, torque, demandas de corrente, aquecimento, eficiência energética de conversão do sistema máquina elétrica de indução – inversor de tensão. Para obtenção destas características se faz necessário um dispositivo de ensaio com torque variável capaz de representar as diversas condições de carga. (Pereira, Cunha e Pontes, 2016, p. 1)

## 2.3 Bancada didática de inversor de frequência

Esta bancada didática do inversor de frequência, com marca Bit9 e série MEL301, é uma bancada que possibilita o aluno a ampliar seus conhecimentos referente a acionamento e parametrização dos motores elétricos.

Uma bancada didática de inversor de frequência normalmente é composta do inversor de frequência que é conectado a um motor elétrico de indução, geralmente trifásico, com os dispositivos de proteção.

O motor que está conectado o inversor de frequência pode-se ser adicionado cargas com o freio eletromagnético. O inversor normalmente é configurado através da interface homem-máquina (IHM) remota no painel ou por software específico. Os terminais de comandos mais utilizados estão disponíveis em bornes.

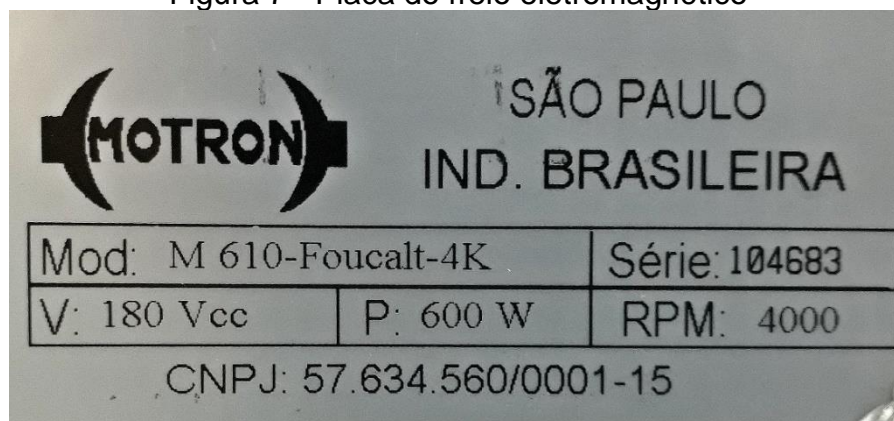
### 2.3.1 Freio Eletromagnético

O freio eletromagnético, também conhecido como freio de Foucault, serve para simular cargas reais e analisar a resposta do motor a estas cargas. Ele tem como princípio de funcionamento a criação de correntes parasitas de Foucault criadas dentro de um disco, metálico e de boa condução elétrica, girando no interior de um campo magnético constante, provocando a indução das correntes parasitas de Foucault.

Para o ensaio foi utilizado o freio eletromagnético, com capacidade de 40Kg, que está embutido na bancada do inversor de frequência, ele possui a marca MOTRON, modelo: M 610 - Foucault - 4k, serie 104683, os dados técnicos do freio fornecidos pelo fabricante estão listados na figura 7.



Figura 7 - Placa do freio eletromagnético



Fonte: Próprio autor (2018)

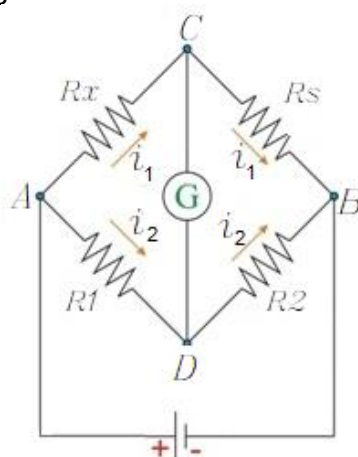
### 2.3.2 Célula de Carga

A célula de carga nada mais é que um tipo de transdutor de força, que tem como função converter a carga que atua sobre ele, normalmente através de tensão ou deformação, em uma saída elétrica mensurável. A célula de carga utilizada neste trabalho é do tipo single point, ou seja, insensível a forças laterais, normalmente são utilizadas em balanças e equipamentos que medem peso. O princípio de funcionamento da célula de carga utilizada no desenvolvimento deste trabalho se dá pela ponte de Wheatstone.

#### 2.3.2.1 Ponte de Wheatstone

“A ponte de Wheatstone é um circuito elétrico utilizado para medir uma resistência desconhecida, normalmente com valor próximo às outras resistências do circuito” (LIMA, 2014). A ponte de Wheatstone, figura 8, consiste na ligação em losango dividido em dois ramos de circuito cada um contendo dois resistores e interligados por um galvanômetro.

Figura 8 - Ponte de Wheatstone



Fonte: Barros [Et al.] (2017)

### 2.3.2.2 Operação da célula de carga

A operação da célula de carga é a relação entre a potência aplicada ao freio eletromagnético e o peso inserido no eixo do motor. Esta operação é feita através da relação entre o valor encontrado do multímetro conectado a ponte Wheatstone com o valor máximo de alimentação da célula de carga, equação 5.

$$\frac{mv}{v} = \frac{mV}{V} \quad (5)$$

Onde  $mv/v$  é a relação de operação da célula de carga,  $mV$  é a medida de tensão informada pelo multímetro no momento alimentação máximo da célula e  $V$  a voltagem máxima aplicada a célula de carga.

Para esta célula de carga temos que:  $mV=22,3mV$  e  $V=11,15$  Volts.

$$\frac{mv}{v} = \frac{22,3mv}{11,15v} = 2 \text{ mv/v} \quad (6)$$

Essa equação estabelece que a relação de operação da célula de carga funciona a cada  $2mv/v$ .

Para efetuar a calibração do sistema é necessário estabelecer a relação de massa aplicada ao freio eletromagnético de acordo com a relação de operação da célula de carga, equação 7.

$$\frac{Mv}{mv/v} = \frac{M}{Mop} \quad (7)$$

Onde M é a massa total atribuída ao freio eletromagnético e Mop é a massa atribuída a relação de operação da célula de carga.

Utilizamos na calibração M=40Kg.

$$\frac{22,3 \text{ mv}}{2 \text{ mv/v}} = \frac{40 \text{ kg}}{Mop} = Mop = 3,58\text{Kg/v} \quad (8)$$

Essa relação estabelece que para cada 2mv/v aplicado pela célula de carga é introduzido uma massa relativa a 3,58Kg no torque do freio eletromagnético.

## 2.4 Multímetro

O multímetro é um instrumento de medição que pode ser tanto do tipo analógico como do tipo digital, tem como função mensurar diversas unidades elétricas. Este equipamento integra outros instrumentos de medição em apenas um instrumento, ele é capaz de medir tensão, corrente, resistência, capacitância, indutância, frequência entre outros. Para realizar a medição das grandezas utiliza-se uma chave rotativa de forma a selecionar a função a ser medida.

Neste trabalho foi utilizado o multímetro da marca Minipa, que atualmente é o líder de mercado, trazendo aparelhos bastante confiáveis. O modelo utilizado de multímetro é o ET 2082C que possui taxa de amostragem de aproximadamente 3 vezes por segundo.

## 2.5 Termômetro Infravermelho

“O termômetro infravermelho ou pirômetro ótico é um aparelho que mensura a temperatura do objeto sem a necessidade de tocar o corpo/meio do qual se pretende verificar a temperatura” (OMEGA, 2018). A medição é feita através da radiação de energia infravermelha transmitida pelo corpo até o medidor através de uma lente. Este instrumento possui amplificadores e filtros que são responsáveis em converter o sinal

elétrico em medidas de temperatura, após passar pela compensação da variação da temperatura ambiente.

O termômetro utilizado neste trabalho faz a leitura em °C e em °F, seu tempo de resposta é de aproximadamente 500 milissegundos, sua emissividade é pré-ajustada em 0,95. Este termômetro tem capacidade de medir a temperatura entre -50°C à 420°C.

## **2.6 Alicate Wattímetro**

Um alicate wattímetro é um instrumento de medição de potência elétrica. Este instrumento é considerado o ideal para medir a tensão sem desvio de fluxo da corrente, geralmente operam nas frequências entre 450 kHz e 2,7 GHz.

O alicate wattímetro utilizado neste trabalho, assim como o multímetro, é da marca Minipa, modelo ET 4055, ele mensura diversas grandezas como por exemplo: tensão e corrente alternada, frequência, potência ativa; reativa e aparente, fator de potência e energia ativa (watt hora).

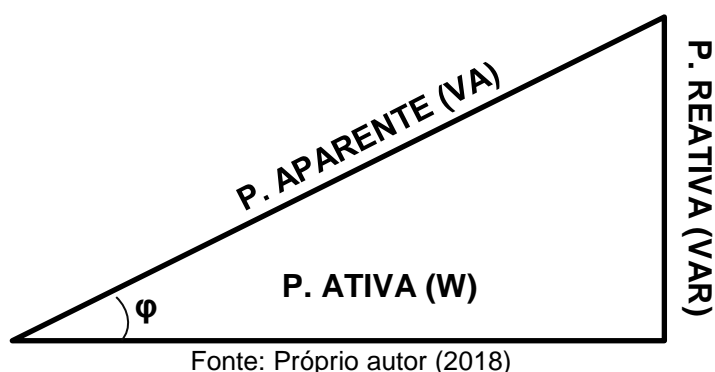
## **2.7 Triângulo de potências**

O triângulo de potências refere-se a três componentes da potência elétrica: potências aparente, ativa e reativa. A potência aparente “é o resultado do produto da multiplicação entre a tensão e a corrente” (MORAES, 2013). A potência ativa é que realiza o trabalho, enquanto a potência reativa é consumida pelas reatâncias indutivas e capacitivas.

Enquanto a potência ativa é utilizada na execução de trabalho, a reativa circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

A relação existente entre essas potências é conhecida como fator de potência, figura 9, ele indica a eficiência do uso de energia.

Figura 9 - Triângulo das potências



A relação entre as potências e o fator de potência é na forma de um triângulo, onde é possível encontrar os valores das potências através das regras de trigonometria.

### 2.8 Potência de entrada

A potência elétrica é responsável por medir a quantidade de energia elétrica que o aparelho é capaz de transformar em outras formas de energia a cada segundo. Sua medida, de acordo com o sistema internacional, é o Watts.

A potência de entrada de um motor é encontrada através da equação 9, obtida pela lei de ohm.

$$P = V \cdot I \quad (9)$$

Onde V é a tensão(volts) medida na entrada do motor e I é a corrente(A).

### 2.9 Torque

O torque, também conhecido como trabalho, é dado pelo produto da força (F) pela distância(d), equação 10.

$$T = F \cdot d \quad (10)$$

A medida de torque, de acordo com o sistema internacional, é o newton-metro.

## 2.10 Velocidade angular

“A velocidade angular é a taxa de variação da posição angular em relação ao tempo” (Chapman, 2013, P.03).

Normalmente a velocidade angular é informada em rotações por segundo ou rotações por minuto. “Como a velocidade é uma grandeza muito importante no estudo das máquinas, costuma-se usar símbolos diferentes para a velocidade quando ela é expressa em unidades diferentes. Usando esses símbolos diferentes, qualquer confusão possível em relação às unidades usadas é minimizada” (Chapman, 2013, P.04).

Para converter a velocidade angular de rotações por minuto (RPM) em radianos por segundo (RAD/S), utiliza-se a seguinte equação 11:

$$\omega_m = \frac{2\pi n_m}{60} \quad (11)$$

Onde  $\omega_m$  é velocidade angular expressa em radianos por segundo (RAD/S), e  $n_m$  é a velocidade angular expressa em rotações por minuto (RPM).

## 2.11 Potência mecânica

A potência mecânica, também conhecida como potência convertida, é a medida de potência utilizada para realizar trabalho. A potência mecânica é encontrada a partir da equação 12.

$$P_{ME} = T \cdot \omega_m \quad (12)$$

Onde T é o torque inserido na máquina e  $\omega_m$  é a velocidade angular.

## 2.12 Eficiência energética em motores elétricos

Os motores de indução são máquinas muito eficientes, no entanto “não basta simplesmente usar um motor elétrico dito de alto rendimento. É necessário usá-lo bem

e de forma mais eficiente possível, procurando eliminar as principais causas de desperdício no seu uso” (PINTO *Et al*, 2009, P. 151).

Os motores elétricos são grandes consumidores de energia elétrica em alguns segmentos econômicos, como por exemplo, o industrial onde são usados para os diversos tipos de aplicações. Desta forma, pequenas melhorias no rendimento poderão resultar em quantidades razoáveis de economias de energia. A medição dos valores de rendimento é calculada de acordo com os padrões normatizados (Yamachita, 2013, P. 11).

Entre os fatores que são evidenciados como responsáveis pela diminuição da eficiência de um motor estão os seguintes:

- a) Rendimento;
- b) Perdas internas;
- c) Superdimensionamento dos motores;
- d) Manutenção;
- e) Reparo e recondicionamento.

#### 2.12.1 Rendimento

As máquinas e aparelhos são sistemas incapazes de transformar toda a potência fornecida em trabalho, por isso “desperdiçam” parte da potência em outras formas de energia menos úteis, como calor, vibração e ruídos.

Segundo Yamachita (2013), a potência elétrica absorvida da rede ( $P_{EL}$ ) menos as perdas ( $\Sigma$ Perdas) resulta na potência mecânica ( $P_{ME}$ ) disponível no eixo do motor, equação 13. O rendimento ( $\eta$ ) será dado pela relação entre potência mecânica e a potência elétrica.

$$P_{ME} = P_{EL} - \Sigma \text{Perdas} \quad (13)$$

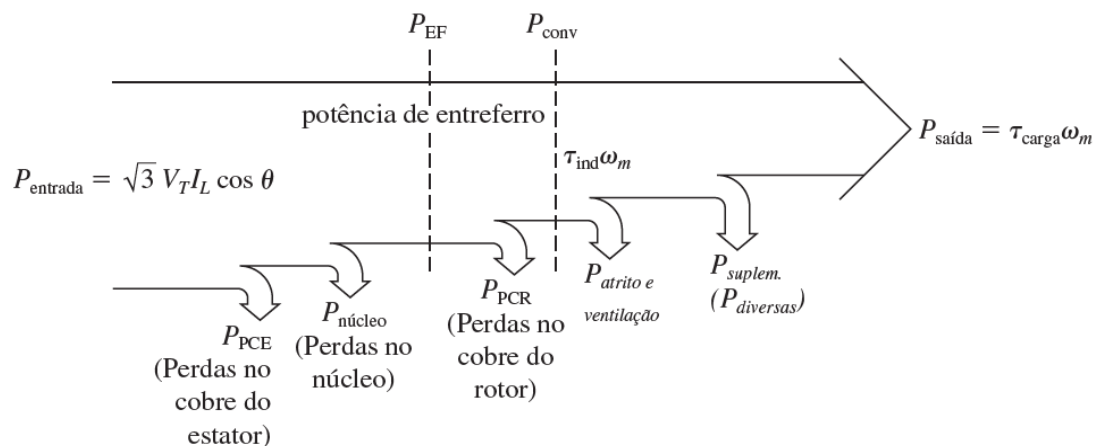
O rendimento( $\eta$ ) de um motor elétrico de indução monofásico é definido pela equação 14.

$$\eta = \frac{P_{ME}}{P_{EL}} \times 100\% \quad (14)$$

### 2.12.2 Perdas internas

O motor elétrico transforma a potência elétrica em mecânica, normalmente “esta conversão não é completa devido a uma serie de perdas que ocorrem no interior da máquina durante este processo” (BORTONI *Et al.*, 2007, p.89), como mostra na figura 10.

Figura 10 - Fluxo de potência de um motor de indução.



Fonte: Chapman (2013)

As perdas que ocorrem num motor podem ser divididas da seguinte maneira: perdas no cobre do estator e rotor, perdas no núcleo, perdas por atrito e ventilação e perdas suplementares.

Quanta maior a velocidade de um motor de indução, maiores serão as perdas por atrito, ventilação e suplementares. Por outro lado, quanto maior for a velocidade do motor, menores serão suas perdas no núcleo. Portanto, essas três categorias de perdas são algumas vezes combinadas e denominadas perdas rotacionais (CHAPMAN, 2013, P. 322).

#### 2.12.2.1 Perdas no cobre

As perdas no cobre, também conhecidas como perdas do tipo Joule no rotor e estator ou perdas elétricas, são resultantes da passagem de corrente elétrica através dos enrolamentos. Essas perdas aumentam acentuadamente com a carga aplicada ao motor e podem ser reduzidas aumentando a seção do estator, “já no rotor, esta opção de melhoria deve ser analisada de forma rigorosa, pois o torque de partida do motor é proporcional à resistência do secundário” (YAMACHITA, 2013, P. 12).



### 2.12.2.2 *Perdas no núcleo*

As perdas no núcleo ocorrem nas lâminas de ferro do estator e do rotor, por isso também são conhecidas como perdas magnéticas. As perdas magnéticas são constituídas pelas perdas por histerese e Foucault, e variam com a densidade do fluxo e a frequência.

A perda por histerese resulta da constante reorientação do campo magnético sobre o pacote de lâminas de aço-silício, já as perdas de Foucault são devidas as correntes induzidas no interior do material magnético que, circulando, produzem perdas na forma de calor. As perdas por histerese e Foucault, ocorrem tanto na parte estacionária (maior parcela), como na parte girante do motor (BORTONI *Et al.*, 2007, p. 90).

Podem ser reduzidas através do aumento da secção do ferro no estator e rotor, do uso de lâminas delgadas e do melhoramento dos materiais magnéticos.

### 2.12.2.3 *Perdas por atrito e ventilação*

As perdas por atrito e ventilação, também chamadas de perdas mecânicas, “ocorrem devido ao atrito nos enrolamentos da máquina e pelo arrasto aerodinâmico provocado pela geometria irregular do rotor e pelo próprio ventilador por vezes instalado na ponta do eixo” (BORTONI *Et al.*, 2007, p. 90). Podem ser reduzidas, usando procedimentos com baixo atrito e com o aperfeiçoamento do sistema de ventilação.

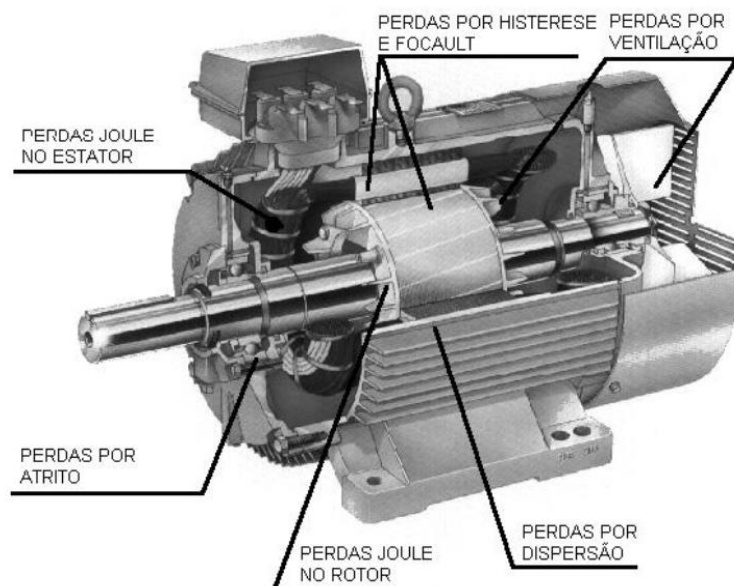
### 2.12.2.4 *Perdas suplementares*

As perdas suplementares, ou por dispersão, “incluem todas as não classificadas anteriormente e normalmente crescem como carregamento da máquina” (BORTONI *Et al.*, 2007, p. 90); ocorrem devida as fugas do fluxo, distribuição de corrente não uniforme, imperfeições mecânicas nas aberturas para escoamento do ar e irregularidades na densidade do fluxo do ar ao ser escoado pelas aberturas.

As perdas por dispersão são as mais difíceis de serem reduzidas, porém podem apresentar uma grande contribuição para o aumento do rendimento do motor através da adoção de um projeto otimizado e com a utilização de materiais com qualidade na fabricação (YAMACHITA, 2013, P. 16).

A figura 11 apresenta o esquema de um motor elétrico de indução, ilustrando onde ocorrem as perdas em seu interior.

Figura 11 - Localização das perdas em um motor



Fonte: Yamachita (2013)

### 2.12.3 Superdimensionamento dos motores

O superdimensionamento de motores pode ocorrer devido o desconhecimento das características próprias da carga, gerando um dimensionamento inadequado. Há várias consequências que se relacionam ao superdimensionamento, entre elas destacam o

“maior custo, volume e peso do motor; redução do fator de potência, provocando a necessidade de instalação de maiores equipamentos para a sua correção; redução de rendimento, embora alguns motores apresentem seu rendimento máximo a, aproximadamente, 75% de sua carga nominal; maior corrente de partida, acarretando maior custo da instalação e proteção.” (PINTO *Et al*, 2009, P. 155).

### 2.12.4 Manutenção

“Os motores elétricos de indução, quando bem utilizados, têm uma vida útil relativamente longa” (BORTONI *Et al.*, 2007, P. 165).

Como avaliado pela Bortoni *Et al.* (2007), as atividades de manutenção preventiva e corretiva de motores, que são ações simples como limpeza e lubrificação resultam em uma melhora no rendimento dos motores analisados.

A limpeza/remoção de materiais que podem obstruir o sistema de refrigeração do motor é uma forma de manutenção muito importante, pois quando esses materiais não são retirados, eles obstruem a passagem de ventilação para o motor, fazendo com que a temperatura interna do mesmo aumente, gerando perdas que conseqüentemente ocasionam aumento no consumo de energia elétrica e reduzindo sua vida útil.

Outro cuidado importante que se deve ter com o motor é referente aos mancais, pois necessitam de uma atenção especial, tanto na lubrificação como troca dos enrolamentos. A presença de vibrações e ruídos indicam a necessidade de manutenção e o desperdício de energia.

#### 2.12.5 Reparo e recondicionamento

“Uma análise criteriosa deve ser feita na substituição de um motor elétrico que apresentou defeito” (BORTONI *Et al.*, 2007, P. 169). Nem sempre compensa reparar motores cuja potência seja pequena, pois o custo de tal reparo geralmente é igual ou próximo ao custo de um motor novo. Outro fator importante a ser levado em consideração é que a prática do recondicionamento dos motores elétricos de indução monofásico acarreta a novos fatores responsáveis pelo aumento das perdas, tais como:

- A. Aquecimento excessivo no núcleo de ferro gerando o aumento de perdas por correntes parasitas;
- B. Perda de rendimento devido rebobinamento de forma diferente ao original do projeto do fabricante;
- C. Grande aumento na corrente de magnetização ocasionando em perdas por efeito Joule ( $I^2 \times R$ ).

É importante avaliar se o motor que foi reparado não perdeu sua eficiência energética e se o mesmo mantém suas condições originais de fábrica, para fazer essa avaliação as empresas devem manter um registro com os dados de seus motores, e sempre após um reparo fazer uma avaliação de desempenho.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Neste capítulo, será apresentado os equipamentos e protocolos de ensaios, utilizados para aferir as características técnicas de um motor de indução eletromagnético monofásico, quanto ao tempo de serviço. Para esse experimento, foi utilizado uma bancada didática, um motor eletromagnético e instrumentos para aferir de temperatura, potência elétrica e tensão.

#### 3.1 Bancada didática inversor de frequência

Neste trabalho utilizou-se uma bancada didática de inversor de frequência Bit9, figura 12. Essa plataforma de ensaios é composta por uma bancada em aço, um motor trifásico de corrente alternada, inversor de frequência, freio eletromagnético com controle eletrônico e medidor digital de grandezas elétricas.

Figura 12 - Bancada didática inversor de frequência



Fonte: Próprio autor (2018)

#### 3.2 Motor de indução eletromagnético monofásico

Para os ensaios utilizamos um motor de indução monofásico (MIM) da marca VOGES, modelo 1OVD56, figura 13 adquirido de um equipamento de ventilação usado em fornalha, sendo o período de operação dado em ciclos semestrais. O motor

nunca foi rebobinado ou passou por qualquer tipo de manutenção em seus cinco anos de funcionamento. Sua aparência desgastada é devido a exposição excessivas impostas pelas interpéris do local.

Figura 13 - Motor utilizado nos ensaios





Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.2.1 Características técnicas do motor monofásico VOGES 10VD56

As características técnicas desse equipamento, fornecidas pelo fabricante de motores VOGES é apresentada na figura 14.

Figura 14 - Placa MIM VOGES

		MOD. 10VD56	130311
		COD. LT904071	
kW (hp-cv) 0,37 (1/2)		60 Hz	
110-127/220-254 V		rpm 1745	
		9-10,6/4,6-5,3 A	ISOL F Δt K
MENOR TENSÃO		FS 1,26	AFS 9,4-11/4,7-5,5 A
MAIOR TENSÃO		REG S1	IP/IN 5,0
P/ INVERTER A ROTAÇÃO TROCAR O T5 PELO T8		REND 81,0 %	COS φ 0,61
GNPJ04.654.447/0004-88 - IND BRASILEIRA		IP 21	
		CAP 270-324 μF/110 VAC	

Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.3 Termometro Infravermelho

Para coleta de dados sobre temperatura utilizamos um termometro de marca BENETECH, modelo GM300 (figura 15). Que serviu para mensurar a temperatura do motor em ciclos de 60 segundos durante a execução dos ensaios.

As medidas de temperaturas foram feitas em um local padrão no motor pré-estipulado antes do ensaio. Por questões de segurança, o ensaio foi realizado até que a temperatura do motor estivesse próxima de 70°C, temperatura máxima suportada pelo motor utilizado num ambiente com temperatura de 40°C.

Figura 15 - Termometro Infravermelho



Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.4 Multometro digital ET-2082C

O monitoramento da tensão na célula de carga utilizamos um multometro digital ET-2082C da marca Minipa, figura 16, plugado em paralelo aos conectores da ponte Wheatstone da célula de carga.

Figura 16 - Multímetro digital ET-2082C



Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.5 Alicate Wattímetro ET-4055

A medida de corrente de entrada no motor, tensão, potência ativa, potência reativa, potência aparente e fator de potência foi coletada utilizando um alicate ET-4055 da marca Minipa, figura 17. O acoplamento deste equipamento, para o monitoramento destas grandezas é feito através de um dos cabos de alimentação do motor.

Figura 17 - Alicate Wattímetro ET-4055



Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.6 Procedimento experimental e obtenção dos dados

Para iniciar a sequência de ensaios, substituímos o motor trifásico, original da bancada, pelo motor monofásico VOGES. Após o acoplamento do motor no freio magnético, realizamos o balanceamento dinâmico do sistema. A figura 18 mostra o resultado da montagem do sistema freio-motor pronto para a realização dos ensaios.

Figura 18 - Sistema freio-motor



Fonte: Próprio autor (2018)

Com todos os procedimentos devidamente finalizados iniciou-se a fase de testes.

#### 3.6.1 Calibração

Para a calibração, começamos alimentando a bancada didática em corrente contínua. Em seguida variaram-se os níveis de tensão aplicados à célula de carga entre zero volt até o seu valor máximo de alimentação 11,15 volts.

Encerrada a calibração da célula de carga, retornamos os níveis de tensão aplicado ao valor mínimo (0 volt) e finalmente alimentamos o motor em corrente alternada com tensão 220 volts. O resultado da fase preparatória é apresentado na figura 19.



Figura 19 - Ensaio montado



Fonte: Próprio autor (2018)

### 3.6.2 Sequência de ensaios

A coleta de dados foi realizada alimentado o motor de indução e alternando o valor da tensão aplicado à célula de carga.

A alternância dos níveis de tensão aplicados modifica o peso no freio eletromagnético e conseqüentemente o torque realizado pelo motor. A cada ciclo de 60 segundos, variamos o nível de tensão aplicado à célula de carga e coletamos as leituras exibidas por cada instrumento de monitoração.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados no capítulo 4.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos com os ensaios realizados utilizando os protocolos descritos no capítulo 3.

### 4.1 Resultados da calibração

A calibração para início dos ensaios levou em consideração dois estados de funcionamento do experimento: Motor acionado livre e motor acionado com o freio magnético ligado sem carga. Os resultados da calibração são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Calibração do Motor

Situações do motor	Tensão (V)	Corrente (A)	FP	Temperatura °C	RPM	Potencia (W)
A VAZIO	222,4	5,501	0,2283	34,6	1740	279,3
COM O FREIO LIGADO	221,5	5,575	0,2548	35,5	1740	314,6
INFORMAÇÕES DE FABRICA	220 a 254	4,5 A 5,3	0,61	40° C	1745	370

Fonte: Próprio autor (2018)

Analisando os dados da tabela 1, notamos que os níveis de tensão, temperatura e frequência encontrados durante a calibração estão em conformidade com as informações especificadas pelo fabricante.

Notamos ainda que a corrente encontrada na calibração é maior do que o indicado pelo fabricante, e a potência de entrada menor, o que pode indicar possíveis perdas e desgastes no motor.

### 4.2 Resultado dos ensaios

Os resultados dos ensaios são apresentados por duas tabelas:

A) A tabela 2 apresenta os dados extraídos direto da leitura dos instrumentos durante os ensaios.

Tabela 2 - Dados obtidos através dos instrumentos de medição

<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>FP</b>	<b>P. Ativa (Kw)</b>	<b>P. Aparente (Kva)</b>	<b>P. Reativa (Kvar)</b>	<b>mv/V</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>RPM</b>
221,4	6,224	0,4023	0,5544	1,3780	1,2616	0,2	0,358	38,3	1700
221,7	6,452	0,4145	0,5929	1,4304	1,3017	0,4	0,716	41,2	1700
220,9	6,669	0,4262	0,6279	1,4732	1,3327	0,6	1,074	43,9	1700
220,5	6,873	0,4286	0,6495	1,5155	1,3692	0,8	1,432	48,2	1700
220,2	7,003	0,4455	0,6870	1,5421	1,3806	1	1,790	54,9	1620
219,7	7,121	0,5458	0,8539	1,5645	1,3109	1,2	2,148	55,3	1620
219,5	7,548	0,6404	1,0610	1,6568	1,2725	1,4	2,506	55,6	1620
219,2	7,862	0,6777	1,1679	1,7234	1,2672	1,6	2,864	56,4	1620
218,9	8,078	0,7042	1,2452	1,7683	1,2555	1,8	3,222	56,5	1580
218,5	8,341	0,7183	1,3091	1,8225	1,2680	2	3,580	57,5	1580
218,3	8,686	0,7413	1,4056	1,8962	1,2726	2,2	3,938	57,5	1580
218,2	8,833	0,7656	1,4756	1,9274	1,2399	2,4	4,296	59	1530
217,9	9,074	0,7869	1,5559	1,9772	1,2201	2,6	4,654	61	1530
217,7	9,264	0,7994	1,6122	2,0168	1,2117	2,8	5,012	64,5	1500
217,4	9,502	0,8143	1,6821	2,0657	1,1990	3	5,370	67,4	1500
216,7	9,967	0,8269	1,7860	2,1598	1,2146	3,2	5,728	69,9	1450

Fonte: Próprio autor (2018)

É notório que à medida que introduzimos massa no sistema de freio gera redução na frequência e elevação na temperatura.

B) A tabela 3 apresenta grandezas obtidas através do tratamento dos dados fornecidos pela tabela 2.

Tabela 3 - Tratamento de dados

<b>Vel. Angular (Rad/S)</b>	<b>Torque (Nm)</b>	<b>P. Mec (KW)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
178,0236	0,5268	0,0938	16,917%
178,0236	1,0536	0,1876	31,635%
178,0236	1,5804	0,2813	44,810%
178,0236	2,1072	0,3751	57,753%
169,6460	2,6340	0,4468	65,044%
169,6460	3,1608	0,5362	62,796%
169,6460	3,6876	0,6256	58,961%
169,6460	4,2144	0,7150	61,216%
165,4572	4,7412	0,7845	62,998%
165,4572	5,2680	0,8716	66,581%
165,4572	5,7948	0,9588	68,211%
160,2212	6,3216	1,0128	68,640%
160,2212	6,8484	1,0973	70,523%
157,0796	7,3752	1,1585	71,857%
157,0796	7,9020	1,2412	73,790%
151,8436	8,4288	1,2799	71,661%

Fonte: Próprio autor (2018)

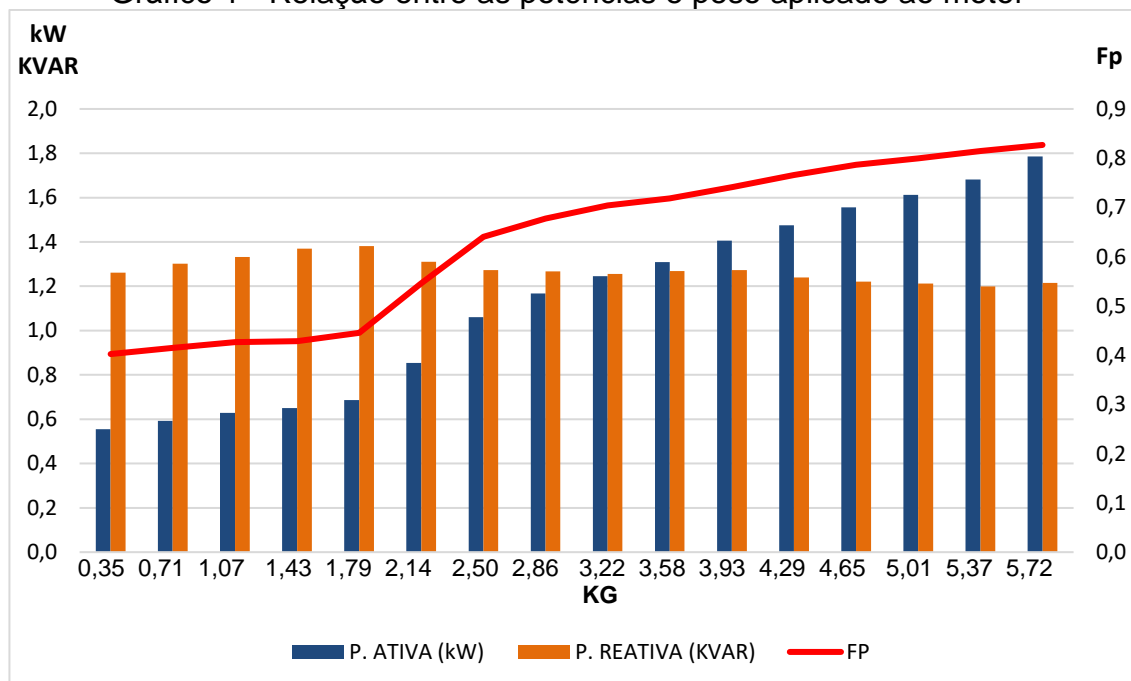
Observamos que a medida que é inserido torque no eixo do motor o mesmo apresenta melhora em seu rendimento, ou seja, os motores apresentam melhor rendimento quando estão com cargas próximas de seu valor nominal.

### **4.3 Tratamento de dados**

#### **4.3.1 Relação potência - peso**

O gráfico 1 apresenta as relações entre potência ativa, potência reativa e fator de potência ligado ao aumento de massa aplicado ao torque no eixo do motor.

Gráfico 1 - Relação entre as potências e peso aplicado ao motor



Fonte: Próprio autor (2018)

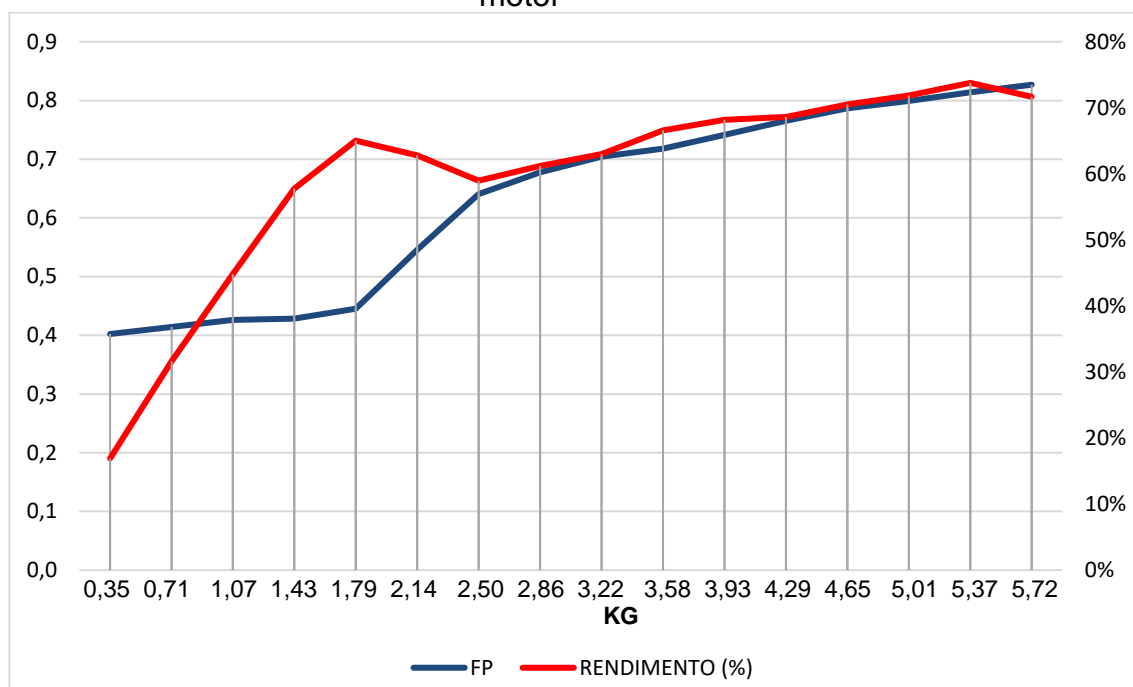
Notamos que o fator de potência e a potência ativa aumentam conforme é elevado o torque do motor. Quando a carga aplicada for igual a 2,506 Kg o fator de potência se iguala ao fator de potência fornecido pelo fabricante.

Outra observação importante a se fazer é que quando o motor está com carga baixa seu fator de potência é baixo e sua potência reativa é muito maior que a potência ativa.

#### 4.3.2 Relação fator de potência - rendimento

O gráfico 2 apresenta a relação entre fator de potência e rendimento do motor durante o ensaio.

Gráfico 2 - Relação entre rendimento, fator de potência e peso aplicado ao motor



Fonte: Próprio autor (2018)

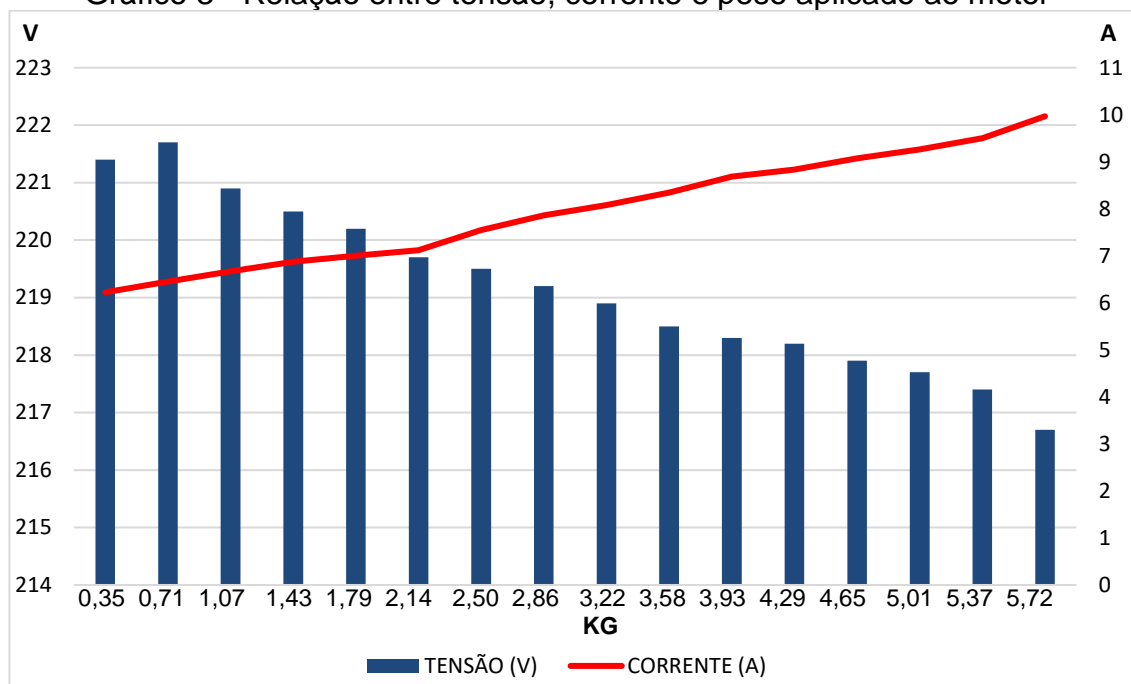
O padrão irregular apresentado pela curva de rendimento, ocorreu devido à pouca sensibilidade do aparelho multimetido digital em medir as pequenas variações na velocidade angular.

Mas é notório que mesmo apresentando padrão irregular a curva deste motor é ascendente, mostrando que o motor apresenta melhoria no rendimento à medida que é aumentado o torque.

#### 4.3.3 Relação tensão - corrente

O gráfico 3 apresenta a relação entre tensão e corrente do motor durante o ensaio.

Gráfico 3 - Relação entre tensão, corrente e peso aplicado ao motor



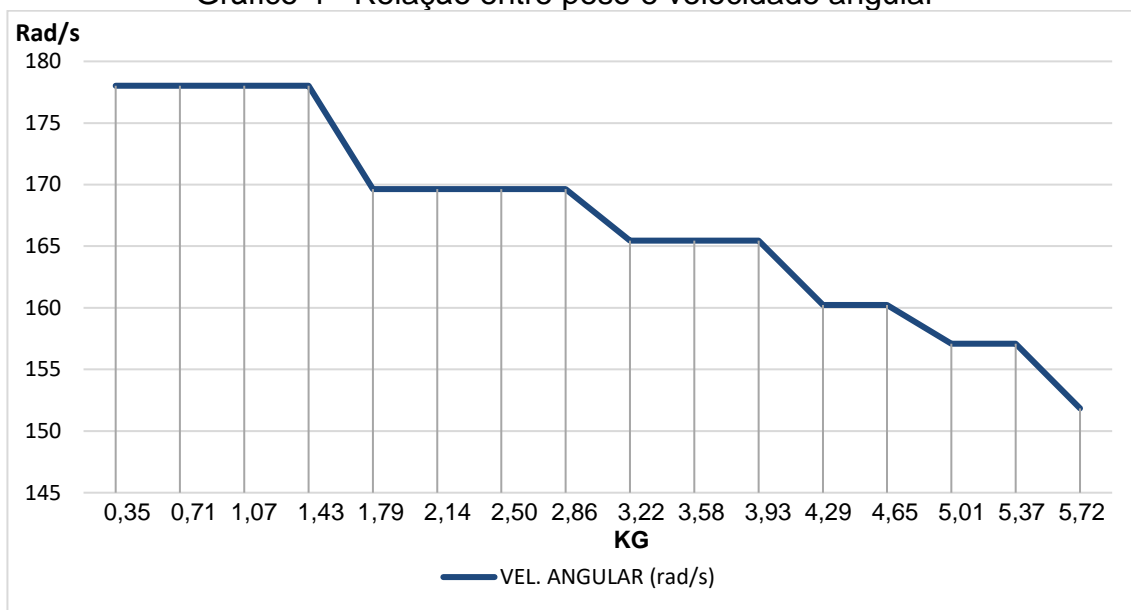
Fonte: Próprio autor (2018)

A pequena flutuação de tensão apresentada no gráfico pode ter ocorrido devido alimentação da rede. A corrente máxima medida nos ensaios excedeu o valor de corrente fornecida pelo fabricante deste motor. Esse fato indica possível desgaste no motor.

#### 4.3.4 Relação peso – velocidade angular

O gráfico 4 apresenta a relação entre peso e velocidade angular durante o ensaio.

Gráfico 4 - Relação entre peso e velocidade angular



Fonte: Próprio autor (2018)

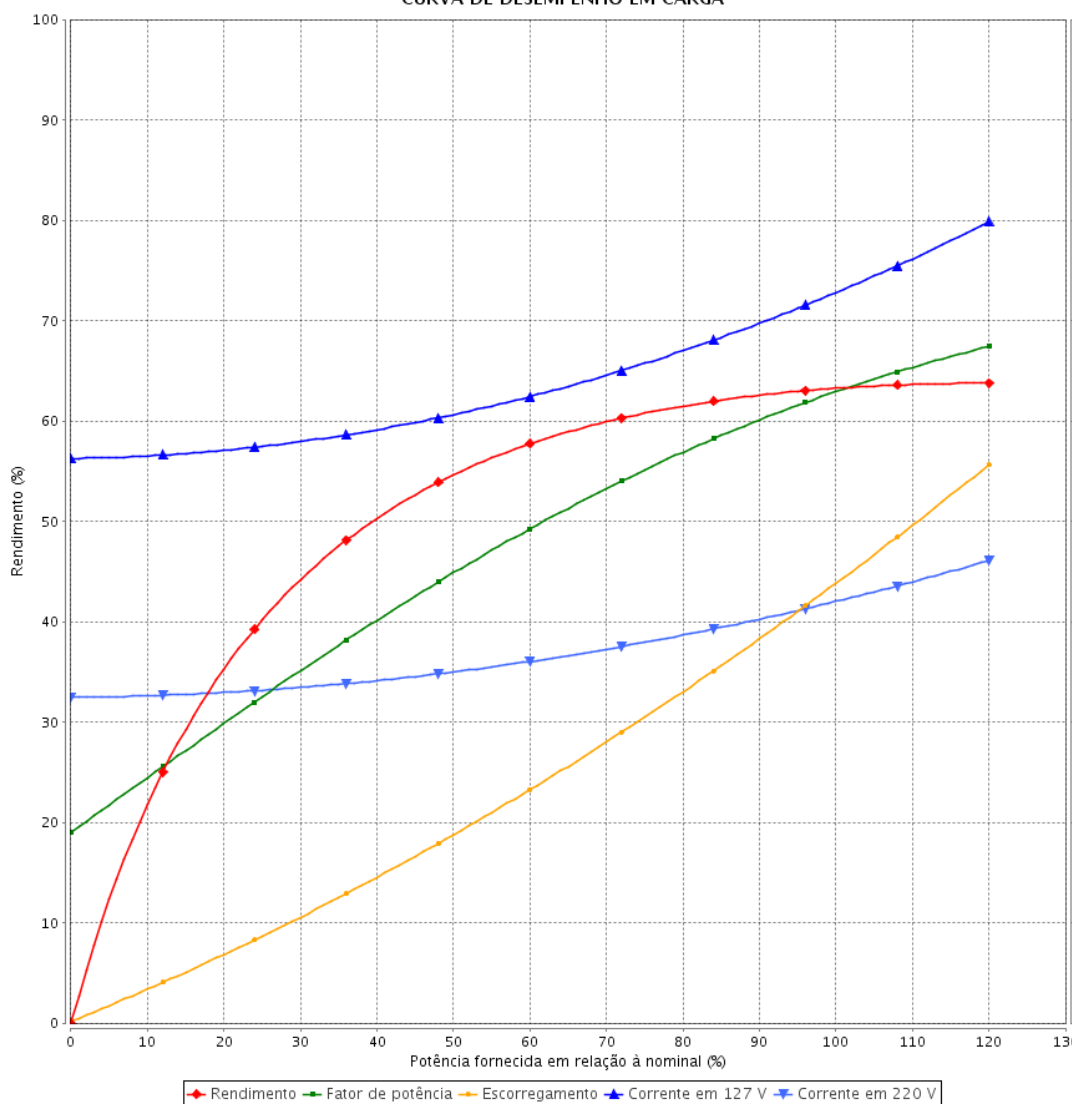
A medida que é introduzida a massa no freio, o torque gera uma queda significativa na velocidade angular do motor.

#### 4.4 Curva do motor WEG

A figura 20 mostra a curva de desempenho em carga de um motor monofásico WEG com as mesmas características do motor utilizado nos ensaios.



Figura 20 - Curva de desempenho em carga do Motor WEG  
CURVA DE DESEMPENHO EM CARGA



Fonte: WEG (2018)

Nota-se que apesar de pequenas divergências, o desempenho do motor VOGES é bastante similar com o desempenho apresentado pelo motor WEG.

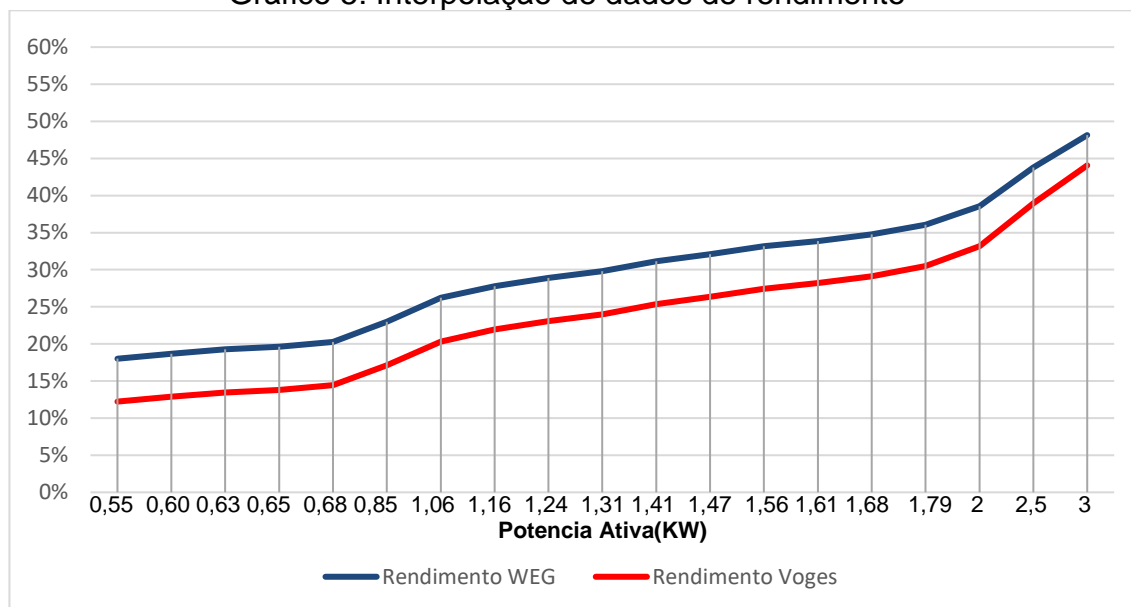
Ambos os motores apresentam um aumento de rendimento e fator de potência a medida que o torque aumenta.

Em comparação com o gráfico 2 notamos que ambos os motores possuem comportamentos de curva ascendente. Porém o gráfico da WEG que é obtido em padrões ideais e ambientes controlados apresenta uma curva regular diferente da curva irregular apresentada pelo motor da VOGES.

Para uma melhor comparação destes gráficos foi feita a interpolação dos dados de rendimento do gráfico 2, obtidos através do protocolo de teste, com os dados

informados pela curva de desempenho em carga do motor da WEG, obtendo o gráfico 5.

Gráfico 5: Interpolação de dados de rendimento



Fonte: Próprio autor (2018)

A partir da interpolação de dados foi possível observar que o rendimento do motor VOGES não apresenta valores de rendimento tão bons quanto os dados do motor WEG.

## 5 CONCLUSÕES

Durante a fase de calibração foi possível concluir que os níveis de corrente e potência de entrada deste motor, mesmo no estado vazio, já apresentam significativa divergência com os dados informados pelo fabricante, o que pode indicar possível variação na resistência interna deste motor.

Concluimos também que os valores referentes a velocidade angular apresentam variações à medida que é acrescentada massa ao sistema de torque.

Concluimos que após a comparação da curva de desempenho do motor VOGES com o motor WEG, notamos que ambos os padrões da curva apresentam aumento no rendimento e fator de potência ao se introduzir massa no sistema de torque.

Após ser feita a comparação através da interpolação de dados de rendimento do motor VOGES com a curva de desempenho de um motor novo que possui as mesmas características, notamos que o motor VOGES apresenta rendimento inferior ao rendimento previsto, portanto foi possível concluir que mesmo o motor não tendo passado por manutenções, como por exemplo o rebobinamento, ele apresenta perda de rendimento recomendando-se a substituição do motor por um novo para uma melhor eficiência energética no processo em que o mesmo é empregado.

Para trabalhos futuros pretendo aplicar o mesmo protocolo de teste em um par de motores monofásicos e em outro par de motores trifásicos, ambos de mesmo modelo e marca, porém com tempo de serviço diferentes.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Mario Ferreira. *ABC das máquinas eléctricas*. 2003. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 59p.

ANEEL. *Chamada Nº002/2015 Projeto prioritário de eficiência energética*. Incentivo à substituição de motores elétricos: Promovendo a eficiência energética no segmento de força motriz. Brasília. 2015. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14944744/Chamada+PEE+Priorit%C3%A1rio+002+-+2015.pdf/1782b9cb-6c10-46c0-ae99-3a7add9d9fa2>>. Acesso em: 19 de abril de 2018.

ANJOS, Talita Alves dos. *O multímetro*. Disponível em:

<<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-multimetro.htm>> Acesso em 10 de novembro de 2018.

BARROS, E. C. [ET AL.]. *Ponte de Wheatstone*. Rondônia. 2017. Disponível em:

<[http://www.labs.eletrica.unir.br/uploads/41414141/arquivos/ARQUIVOS%20ELETRONICA%20II/ROTEIRO\\_1\\_Eletronica\\_2.pdf](http://www.labs.eletrica.unir.br/uploads/41414141/arquivos/ARQUIVOS%20ELETRONICA%20II/ROTEIRO_1_Eletronica_2.pdf)>. Acesso em: 03 de outubro de 2018.

BIANCHETTI, Mara. *Abimaq propõe renovar parque industrial brasileiro*. Objetivo é substituir máquinas obsoletas. Jornal Diário do Comércio. Minas Gerais. 02 de fev. de 2016. Disponível em:

<[http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=abimaq\\_propoe\\_renovar\\_parque\\_industrial\\_brasileiro&id=165578&utm\\_source=blog&utm\\_campaign=rc\\_blogpost](http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=abimaq_propoe_renovar_parque_industrial_brasileiro&id=165578&utm_source=blog&utm_campaign=rc_blogpost)>.

Acesso em: 10 de abril de 2018.

BORTONI, Eduardo da C. *Et al. Eficiência energética: Teoria & Prática*. 1. ed. Itajubá. FUPAI. 2007. Volume único. 244p.

BORTONI [ET AL.]. *Eficiência Energética*. Fundamentos e Aplicações. 1ª Ed. Campinas. FUPAI. 2012. Volume único. 315p.

CHAPMAN, Stephen J. *Fundamentos de máquinas eléctricas*. 5ª Ed. Porto Alegre. AMGH. 2013. Volume Único. 684p.

EPE. *Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017*. Rio de Janeiro, 2008.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Disponível em: <

<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

FRANCHI, C. M. *Acionamentos elétricos*. 4ª ed. São Paulo. Editora Érica LTDA. 2008. Volume único. 240p.

GONÇALVES, Felipe Pires. *Estudo prático da máquina de indução trifásica considerando a saturação magnética*. 2014. 36p. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2014. Disponível em: <[https://www3.dti.ufv.br/sig\\_del/consultar/download/240](https://www3.dti.ufv.br/sig_del/consultar/download/240)>. Acesso em: 28 de abril de 2018.

GUEDES, Manuel Vaz. *O motor de indução trifásico*. Modernização. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 1993. 69p. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/maquel/AD/MI\\_model.pdf](https://paginas.fe.up.pt/maquel/AD/MI_model.pdf)>. Acesso em 28 de abril de 2018.

LIMA, Thiago. *Ponte de Wheatstone*. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/ponte-de-wheatstone/>>. Acesso em 15 de outubro de 2018.

MORAIS, Everton. *Potência Elétrica: Os Principais Conceitos*. 2013. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/potencia-eletrica-podcast-002/>>. Acesso em 15 de outubro de 2018.

OMEGA. *Termômetros Infravermelhos*. Introdução aos termômetros infravermelhos Disponível em: <<https://br.omega.com/prodinfo/termometros-infravermelhos.html>>. Acesso em 28 de outubro de 2018.

PEREIRA, Adriano Holanda. CUNHA, Henrique Antunes. PONTES, Ricardo Silva Thé. *Freio eletromagnético aplicado as máquinas elétricas de Indução para ensaios em carga variável*. 2016. Disponível em: <[http://www.lamotriz.ufc.br/Artigos/artigo\[3\].pdf](http://www.lamotriz.ufc.br/Artigos/artigo[3].pdf)>. Acesso em 10 de outubro de 2018.

PINTO, Alvaro Braga Alves. *Et al. Motor elétrico: guia básico*. Brasília. IEL/NC. 2009. Volume único 194p.

WEG. *Folha de dados*. Motor Monofásico de Indução - Rotor de Gaiola. 2018. Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%3%A9tricos/Monof%3%A1sico/Usos-Gerais/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-0-5-cv-4P-C48C-1F-127-220-V-60-Hz-IC01---ODP---Comp%3%A9s/p/13028156>>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

WEG. *W22 Motor Elétrico Trifásico*. Catálogo Técnico Mercado Brasileiro. 2018. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em 01 de maio de 2018.

YAMACHITA, R. A. *Determinação das perdas e rendimento em motores elétricos empregando termografia infravermelha*. 2013. 158p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/736/tese\\_yamachita\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/736/tese_yamachita_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em 10 de abril de 2018.