

**CENTRO UNIVERSITÁRIO VALE DO IGUAÇU
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

MATEUS OTOKOVIESKI TREVISAN

**KEPPE MOTOR ALIADO A REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA
INDÚSTRIA**

**UNIÃO DA VITÓRIA - PR
2020**

MATEUS OTOKOVIESKI TREVISAN

**KEPPE MOTOR ALIADO A REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA
INDÚSTRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, Área das Ciências Exatas do Centro Universitário Vale do Iguaçu, como requisito à obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Professor Orientador: Me Higor Barbosa Santos

**UNIÃO DA VITÓRIA - PR
2020**

TERMO DE APROVAÇÃO

KEPPE MOTOR ALIADO A REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA INDÚSTRIA

MATEUS OTOKOVIESKI TREVISAN

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Vale do Iguaçu, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, considerado aprovado pela banca examinadora e avaliado como nota: _____ em sua defesa pública.

Orientador: Me Higor Barbosa Santos
Centro Universitário Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU

Membro da banca: Titulação e Nome completo (fornecido em edital NOPESU)
Centro Universitário Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU

Membro da banca: Titulação e Nome completo (fornecido em edital NOPESU)
Centro Universitário Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU

União da Vitória – PR, 00 de novembro de 2020

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, que foi um verdadeiro guia nessa jornada. Sem a sua infinita sabedoria, jamais teria conquistado os meus sucessos.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre esteve comigo nos momentos alegres, mas também naqueles de muita dificuldade e desafios.

A minha família e familiares que em todos os momentos me incentivaram a continuar estudando, independente dos problemas, e contribuíram para a formação do meu conhecimento.

Ao meu professor orientador Mestre Higor Barbosa Santos, que me mostrou o caminho em diversas situações. Mas também a todos os professores que me ajudaram ao longo desta caminhada de muitos anos, sempre com muita paciência e dedicação.

Aos amigos que estiveram presentes em minha vida.

“Se você quiser descobrir os segredos do Universo, pense em termos de energia, frequência e vibração.”

Nikola Tesla

RESUMO

TREVISAN, Mateus Otokovieski. **KEPPE MOTOR ALIADO A REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA INDÚSTRIA**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Centro Universitário Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU. União da Vitória, 2020.

Com a constante e crescente demanda por energia elétrica em nossa sociedade, com as indústrias sendo um dos principais agentes consumidores, está se criando uma enorme escassez de recursos em nosso planeta, recursos estes necessários para a geração de energia elétrica. Devido ao fato das indústrias serem responsáveis por quase 40% do consumo mundial de energia, é necessário a busca contínua de novas tecnologias para aumentar a eficiência energética e eliminar gastos. O Keppe Motor é justamente uma dessas tecnologias que visa aumentar a eficiência das máquinas e reduzir custos com energia elétrica. Entretanto, como esse motor não é tão conhecido e difundido, causa certa dúvida na viabilidade de implantação dentro das fábricas. O atual trabalho tem como objetivo fazer experimentos com o Keppe Motor e analisar se é vantajosa a substituição dos conhecidos motores trifásicos de indução por este modelo de motor ressonante. Caso seja viável e realmente exista essa eficiência energética que o fabricante divulga, as indústrias poderão economizar uma grande porcentagem da conta de energia. Para obter corretas informações sobre o Keppe Motor, é realizado ensaio em laboratório, com ambiente controlado e instrumentos de precisão, a fim de descobrir informações de consumo, torque, velocidade e aquecimento. Devido ao caráter de avaliação e comparação, é feita uma pesquisa quantitativa para auxiliar a obtenção dos valores técnicos, com diversas amostras e utilizando ferramentas de estatísticas para ajudar na precisão dos dados. Entre os resultados obtidos que mais são evidentes, é a enorme diferença de consumo entre um Keppe Motor e um WEG, chega a ser quase 4x mais econômico. Contudo, por conta da falta de robustez do motor e alguns outros problemas, não é recomendado, pelo menos por enquanto, a sua implantação dentro das fábricas, porque em um ambiente industrial existem diversos fatores que causam o desgaste e falhas nos equipamentos.

Palavras-chave: Keppe Motor. Eficiência energética. Indústria. Motor elétrico. Motor Ressonante.

ABSTRACT

TREVISAN, Mateus Otokovieski. **KEPPE MOTOR ALIADO A REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA INDÚSTRIA**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Centro Universitário Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU. União da Vitória, 2020.

O resumo em língua estrangeira é um elemento obrigatório do trabalho (ABNT NBR 6028:2003). Apresenta as mesmas características do resumo sendo chamado em inglês, Abstract. Também deve ser seguido pelas palavras-chave, em inglês, Keywords.

Keywords: Keyword1. Keyword2. Keyword3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um motor elétrico	17
Figura 2 – Classificação dos motores elétricos	19
Figura 3 – Motor <i>brushless inrunner</i>	22
Figura 4 – Visão interna do Keppe-Motor® aplicado a um ventilador de teto	23
Figura 5 – Princípio de funcionamento do Keppe-Motor®	25
Figura 6 – Ensaio de torque com 0,1Kgfm no Keppe-Motor®	29
Figura 7 – Ensaio de aquecimento do Keppe-Motor®	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ensaio de potência com torque de 40 Kgfc _m	31
Quadro 2 – Ensaio de potência com torque de 0,1 Kgfm.....	31
Quadro 3 – Ensaio de aquecimento interno após 1 min	32
Quadro 4 – Ensaio de aquecimento interno após 10 min	32
Quadro 5 – Ensaio de aquecimento interno após 20 min	32
Quadro 6 – Ensaio de aquecimento interno após 40 min	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio de torque com 40 Kgfcmm sobre o Keppe Motor	39
Tabela 2 – Ensaio de torque com 10 Kgfm sobre o Keppe Motor	41
Tabela 3 – Ensaio de aquecimento com 1 minuto no Keppe Motor.....	43
Tabela 4 – Ensaio de aquecimento com 10 minutos no Keppe Motor	45
Tabela 5 – Ensaio de aquecimento com 20 minutos no Keppe Motor	47
Tabela 6 – Ensaio de aquecimento com 40 minutos no Keppe Motor	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira

Petawatts – Representa 10^{15} Watts

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PWh – Petawatts por hora

Terawatts – Representa 10^{12} Watts

TWh – Terawatts por hora

Watts – Unidade de medida de potência do Sistema Internacional de Medidas

Km/h – Quilômetros por hora

STEM – Sistema Turbo Eletromagnético do Keppe-Motor®

PWM – Pulse Width Modulation, modulação por largura de pulso

RMS – Root Mean Square, raiz do valor quadrático médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.1.1 Problema de pesquisa.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 HISTÓRICO	15
2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR ELÉTRICO	16
2.3 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA	20
2.3.1 Motores assíncronos	20
2.3.2 Motores síncronos.....	21
2.4 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	21
2.4.1 Motores brushless	22
2.4.2 Motores Keppe.....	23
3 MÉTODO	25
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA	25
3.2 ESBOÇO DE COMO SERÁ REALIZADO O TRABALHO	25
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS resultados	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E conclusão	34
6 REFERÊNCIAS	37
7 APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO.....	39

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da globalização, da abertura de mercados e comercialização de produtos para outros países, ocorreu um aquecimento econômico, principalmente nas indústrias, que viu a oportunidade de novos ganhos. Mas, não só as empresas que se beneficiaram, a população também aproveitou essa mudança, vários países cresceram, o que melhorou a qualidade de vida de suas populações, afirma o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2018).

Entretanto, esta expansão acentuada do consumo de energia elétrica pode criar um aspecto negativo, que é a limitação dos recursos naturais do planeta, possibilitando que várias fontes sejam esgotadas. Outro aspecto são os altos e caros investimentos realizados para o desenvolvimento de tecnologias que sejam mais eficientes.

Segundo a International Energy Outlook (2019), o consumo de energia projetado até 2050 deve crescer aproximadamente 50%, chegando aos impressionantes 266,99 Petawatts/hora. Só a indústria é responsável por 34,6% deste aumento, atingindo em 2050 o uso de 92,31 Petawatts/hora.

É justamente vendo esta necessidade por equipamentos e tecnologias mais econômicas que este trabalho deseja verificar alguns motores disponíveis no mercado. A principal tecnologia que será abordada é a Keppe Motor, motor ressonante com uma alta eficiência, segundo o PROCEL (2016), possuindo diversos prêmios e selo de eficiência energética.

Será realizado alguns experimentos e testes a fim de identificar algumas características do motor, de forma que seja possível analisar a viabilidade da utilização do Keppe Motor nas indústrias.

1.1 JUSTIFICATIVA

Grande parte dos gastos das indústrias é sem dúvidas com a energia elétrica, seja por utilização de fornos por indução, seja por motores que movimentam grandes máquinas, como por exemplo: extrusoras, compressores, mixers, exaustores...

O consumo de energia elétrica nas fábricas é um dos maiores gastos fixos que existem, principalmente quando o número de máquinas e de equipamentos aumenta. Custo este que pode ser diminuído, e a economia gerada reinvestida. (FLUXO CONSULTORIA, 2019)

Com a necessidade da melhoria constante em eficiência energética da indústria, a busca por tecnologias inovadoras e revolucionárias são de extrema importância para a perpetuação de uma empresa. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2019), projeta-se que o consumo de energia elétrica do país deva crescer a um percentual médio de 4,5% ao ano, do período de 2019

a 2029. O crescimento total previsto é de 45%, passando de 548,6 Terawatts/hora, em 2019, para 793,3 TWh, em 2029.

Desta forma, quando o pesquisador teve o contato com a tecnologia Keppe Motor, viu a oportunidade de uma grande economia financeira aos caixas das empresas e, ao mesmo tempo, ajudar a reduzir esta demanda crescente por energia elétrica.

Com o objetivo de colaborar para a economia e redução de custos, o trabalho pretende verificar se a tecnologia realmente atende ao que o mercado procura, e se realmente proporciona uma diminuição dos gastos energéticos com motores elétricos. Pois não basta olhar apenas os aspectos microeconômicos, como apenas a redução do custo em si, é necessário olhar a situação como um todo, pela visão macroeconômica.

Quando se olha pelo aspecto geral, surge a necessidade de analisar diversos fatores, como: os custos com a manutenção dos Keppe Motors; o tempo de retorno financeiro sobre o investimento; os riscos que uma modificação nos componentes de uma máquina pode trazer à qualidade do produto de uma empresa... Por conta disto é de extrema importância a realização desta pesquisa científica.

1.1.1 Problema de pesquisa

Com a crescente demanda por energia a cada dia por parte do mercado, e principalmente das indústrias, a utilização do Keppe Motor na indústria é realmente viável em termos econômicos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a utilização dos motores Keppe, e da sua tecnologia ressonante, para a redução de custos relacionados à energia elétrica de uma indústria, promovendo a maior eficiência das máquinas e reduzindo os gastos com energia.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar o consumo, potência, torque, fator de potência, aquecimento e velocidade de rotação do Keppe Motor;
- b) Comparar as tecnologias existentes de motores e identificar qual a mais econômica;
- c) Verificar a viabilidade da implementação do Keppe Motor na indústria.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO

Estejam em residências, dentro de aparelhos eletrodomésticos, ou em indústrias, deslocando cargas e movendo máquinas, os motores elétricos proporcionam uma comodidade e produtividade muito superior a outros meios. Entretanto, o desenvolvimento dos motores levou séculos até se obter uma boa eficiência.

Os primeiros estudos e pesquisas para o desenvolvimento de uma máquina que convertesse energia elétrica em movimento, datam do século XVII, com William Gilbert publicando o estudo: a força de atração magnética (MAGALHAES; SANTOS; DIAS, 2002). Posteriormente, Otto Guericke criou a primeira máquina eletrostática em 1663 (ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2019).

Mesmo com toda a pesquisa realizada por estes e demais cientistas da época, o motor elétrico só pode ser criado séculos mais tarde, em meados de 1830. Porém, não se pode afirmar com absoluta certeza o(s) autor(es) deste invento, quem de fato criou o primeiro motor elétrico.

Muitos húngaros defendem que os inventores do primeiro motor elétrico foram Istvan e Jedlik, desenvolvendo, em 1828, a primeira máquina rotatória com eletroímãs e um comutador. Mas, esta invenção só foi divulgada décadas depois, e mesmo assim não contribuiu significativamente (KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2018). Por conta disso, esta contribuição não é aceita como o primeiro protótipo.

Logo alguns anos mais tarde, o britânico William Ritchie apresentou, em 1833, um gerador eletromagnético rotativo com quatro bobinas de rotor, possuindo escovas e um comutador. Assim, William ficou conhecido como o primeiro a criar um comutador, mas sua invenção era o princípio do motor elétrico.

Foi somente em 1838 que um motor elétrico funcional foi desenvolvido, criado pelo professor alemão Moritz Hermann von Jacobi. Com seu dispositivo, Jacobi conseguiu elevar um peso de aproximadamente 5 Kg, com velocidade de 30 centímetros por segundo, equivalendo a quase 15 Watts de potência mecânica (KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2018).

Para testar a funcionalidade e comprovar o êxito, Moritz colocou seu motor em uma lancha com 14 passageiros e alimentou com células de baterias. A embarcação conseguiu se deslocar a uma velocidade de 4,8 km/h, comprovando assim a possibilidade de transformar energia elétrica em energia mecânica (SILVA; AGUIAR, 2017, p. 142).

Logo em seguida, o eletrotécnico alemão Werner von Siemens, em 1866, fabricou um gerador/motor que possibilitava a produção em grande escala e barateamento dos geradores. Para demonstrar o funcionamento, a sua empresa, Siemens & Halske, implementou em uma locomotiva a invenção, desempenhando uma potência de 2kW (MUSEU WEG, 2018). Assim, Siemens comprovou que o motor elétrico tinha muito mais vantagens que outros meios de movimento mecânico.

Contudo, o motor de Siemens não era eficiente em termos energéticos, gastava grande quantidade de energia das baterias, que eram muito caras e difíceis de serem fabricadas na época. Com isso, surgiu uma corrida em aprimorar este dispositivo, torná-lo eficiente e mais acessível.

Vendo essa necessidade, dois cientistas, Nikola Tesla e Galileo Ferraris, desenvolveram quase que simultaneamente, em 1885-1886, o motor de indução bifásico com corrente alternada. Tesla focou em motores apenas de duas fases e com frequências na ordem de 125 Hz e 133 Hz (KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2018). Desta forma, demonstraram que era possível utilizar a corrente alternada para produzir movimento e de forma muito mais eficiente que a corrente contínua para a época.

Com o advento da eletricidade e da evolução de tecnologias elétricas, uma segunda revolução industrial se iniciou, devido a utilização do sistema de corrente alternada de Nikola Tesla, que permitiu uma fácil transmissão de energia. O impacto disso afetou positivamente a indústria, porém, não somente ela, ocorreu uma transformação na economia e na vida de toda a população (DATHEIN, 2003, p. 5).

Os motores elétricos, por sua vez, permitiram acoplamentos a instrumentos e máquinas, diminuindo a utilização de eixos e correias para a transmissão do conjugado (DATHEIN, 2003, p. 6).

Dentro de alguns anos mais tarde, motores, máquinas e aparelhos menores, começaram a aparecer no mercado e adentrar nas residências. Várias utilidades domésticas, os bens de consumo duráveis, foram inventadas e comercializadas pelas indústrias, permitindo uma maior facilidade nas tarefas manuais.

2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR ELÉTRICO

Uma máquina elétrica nada mais é que um equipamento que faz a conversão de energias, da elétrica para a mecânica ou da mecânica para elétrica. O motor elétrico é um dispositivo que realiza a conversão de energia elétrica para a mecânica, então aplicando uma tensão e corrente em seus terminais, o mesmo produz movimento e conjugado mecânico ao girar o seu eixo. Já

os dispositivos que realizam o trabalho inverso, que através de movimento transformam em eletricidade, são identificados como geradores elétricos (SEIXAS; FERNANDES, 2016, p. 3).

As máquinas elétricas, como motores e geradores, são constituídas de forma muito semelhante, possuindo duas partes principais: o rotor, também conhecido como indutor, é a parte móvel responsável pelo movimento rotatório do eixo; e o estator, também conhecido como armadura, é a parte fixa, responsável pela produção do campo magnético.

Um motor de indução, que é o mais visto nas indústrias, é formado pelos seguintes componentes, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Componentes de um motor elétrico



Fonte: Resumo para engenheiros, 2020.

a) Rotor

- Eixo: responsável por transmitir o conjugado mecânico, o torque, para a carga;
- Núcleo de chapas: conjunto de chapas magnéticas agrupadas e fixadas ao eixo;
- Barras e anéis de curto-circuito: barras e anéis de alumínio dispostas em forma de uma gaiola cilíndrica;
- Enrolamentos (motor com rotor bobinado): bobinas de fios condutores isolados dispostos sobre o núcleo de chapas do rotor.

b) Estator

- Carcaça: estrutura responsável por suportar todas as partes do motor, além de transmitir o calor através das aletas para o ar;

- Núcleo de chapas: conjunto de chapas magnéticas agrupadas e fixadas ao estator;
- Enrolamentos: bobinas de fios condutores isolados dispostos sobre, ou através, do núcleo de chapas da armadura e conectados à rede elétrica.

c) Outros componentes

- Ventilador: responsável por retirar o calor das aletas da carcaça;
- Tampa defletora: tampa com aberturas instalada, sobre o ventilador, na parte traseira;
- Terminais: conectores metálicos para a conexão com a rede elétrica;
- Rolamentos: permitem firmar o eixo em sua posição deixando ao mesmo tempo livre para a rotação;
- Caixa de ligação e tampa: espaço reservado para a conexão do motor a rede elétrica.

Para explicar o funcionamento dos dispositivos de conversão elétrica, antes é necessário entender como acontece o princípio da indução eletromagnética. O primeiro indício sobre a realização da conversão eletromecânica aconteceu em 1831, quando Michael Faraday apresentou um experimento que produzia campo magnético através da passagem de energia por bobinas (DIAS; MARTINS, 2004, p. 525).

Nas suas anotações, Faraday acreditava, através dos resultados com imãs que obteve na época, que a corrente que saía da bateria e percorria o fio, induzia uma corrente parecida no outro fio. Contudo, esta corrente induzida aparecia somente por um breve momento, e logo em seguida, desaparecia. Comparou também esta onda elétrica a mesma onda que passa quando se leva choque de uma garrafa de Leyden, mas não como a corrente elétrica de uma bateria (FARADAY, 1839-1855, p. 266).

Portanto, com este experimento, Faraday constatou que a corrente continua somente produz um campo magnético momentâneo, quando se abre ou se fecha os terminais de uma espira. Logo em seguida, realizou uma série de experimentos para descobrir mais fenômenos eletromagnéticos.

Também descobriu que o inverso é válido, caso coloque e movimente um campo magnético, que pode ser de um imã permanente, perto de uma bobina, gera uma corrente elétrica no condutor (DIAS; MARTINS, 2004, p. 528). O trabalho de Michael Faraday deu as bases para, em anos posteriores, a criação de motores, geradores e transformadores.

Desta forma, quando o motor está recebendo um fluxo de corrente elétrica em seus enrolamentos, do rotor e do estator, através da lei de Faraday cria-se campos magnéticos pela passagem desses elétrons, consequentemente, polos magnéticos surgem através da bobina.

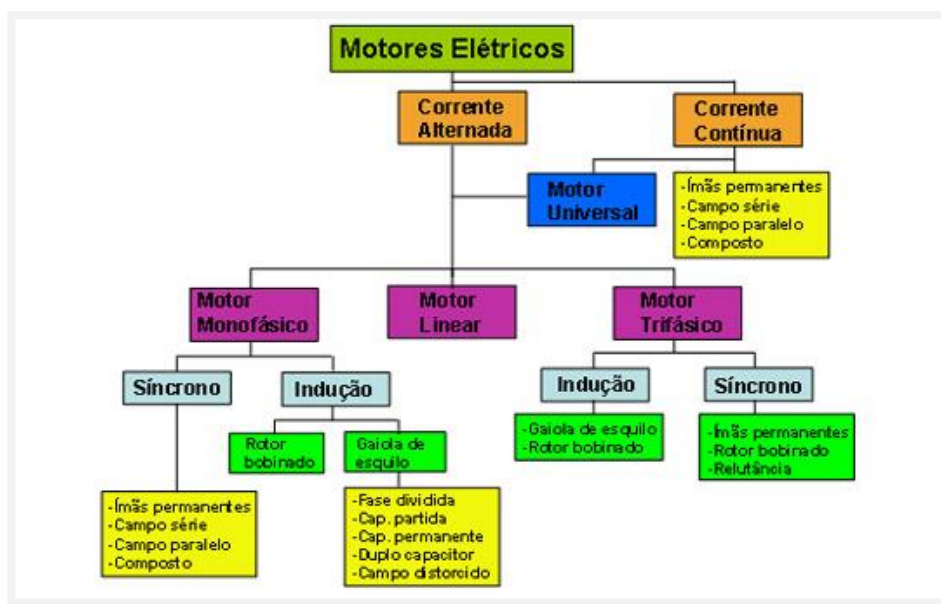
Polos iguais se repelem e contrários se atraem, assim, nesse jogo de atração e repulsão, é criado o movimento rotatório do rotor.

Este princípio de funcionamento ocorre em todos os motores elétricos, o que pode variar é o tipo da corrente, se há ou não sincronismo, a quantidade de fases, a forma de excitação e algumas outras características construtivas.

Em motores trifásicos, ocorre uma peculiaridade. Devido a utilização de 3 fases nas bobinas, surge um campo magnético girante, mesmo com enrolamentos fixos. Este campo que gira na periferia do estator, possui frequência igual à da rede elétrica em que a máquina está conectada (PINTO, 2013, p. 28-29).

Os motores podem ser divididos em algumas categorias, diferenciando principalmente pelo tipo da corrente utilizada, corrente alternada ou contínua, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Classificação dos motores elétricos



Fonte: Keppe-Motor®, 2020.

Contudo, mesmo com grande diversidade de motores, para a atual pesquisa será abordado apenas dois tipos: o motor de corrente alternada assíncrono de indução, que é amplamente utilizado nas indústrias de todo o mundo; e o motor de corrente contínua com imã permanente, modelo similar ao do motor Keppe, que será comparado mais adiante.

2.3 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

O motor de corrente alternada, ou motor CA, utiliza como fonte para sua alimentação a corrente alternada. Pode ser construído em monofásico, bifásico ou trifásico (SEIXAS; FERNANDES, 2016, p. 4). Quando construído em monofásico, são utilizados alguns artifícios, como bobina auxiliar e capacitores. Desta forma, são posicionados e dimensionados para simular uma fase extra, uma fase fictícia, e momentânea (MUNHOZ, 1987, p. 186).

2.3.1 Motores Assíncronos

Motor assíncrono, ou também conhecido como motor de indução, é conhecido por este nome, porque operam em uma frequência desproporcional a frequência da rede elétrica. Fica mais simples o entendimento quando se entende brevemente como funciona o motor síncrono. Como o síncrono trabalha em uma frequência proporcional a rede elétrica, em múltiplos da frequência fundamental, diz que está sincronizado com a rede. Assim, o motor de indução, que não está sincronizado com a rede, recebe este nome.

Acontece que o assíncrono não pode operar em frequências múltiplas da fundamental devido ao seu princípio de funcionamento, por utilizar a indução eletromagnética para criar a rotação. A explicação para este fenômeno é bem simples, como a corrente alternada do estator é a fundamental, quando passa pelo enrolamento induz uma corrente no rotor (SEIXAS; FERNANDES, 2016, p. 28).

Esta segunda corrente provoca um campo magnético, assim, cria-se polos no rotor e, conseqüentemente, o movimento. Contudo, quando a frequência do rotor se aproxima de um múltiplo da fundamental, começa a diminuir a corrente no rotor, porque para haver a indução, é necessário antes haver uma contínua variação da intensidade do campo magnético (SEIXAS; FERNANDES, 2016, p. 29).

Dessa maneira, em resumo, para poder girar o rotor é necessária uma força provinda da indução, e para essa indução é necessário o movimento relativo entre o campo girante do estator e o do rotor (SEIXAS; FERNANDES, 2016, p. 29). Assim, este tipo de motor opera em valores próximos a frequências múltiplas da rede elétrica.

Devido a sua simples fabricação e manutenção, é amplamente utilizado nas indústrias, principalmente quando a máquina permite uma variação de velocidade. Caso seja necessário uma precisão e constância na velocidade de rotação do motor, é empregado o motor síncrono.

2.3.2 Motores Síncronos

O motor síncrono, explicado brevemente anteriormente, tem esse nome pelo sincronismo que o seu rotor possui com a frequência fundamental, frequência original da rede elétrica. Assim, o rotor tende a estabilizar a rotação no múltiplo da fundamental em que originalmente foi construído.

Neste tipo de motor, é necessário a aplicação de uma tensão alternada nos enrolamentos do estator e uma corrente contínua (CC) nos enrolamentos do rotor. Essa fonte CC pode ser obtida através de uma rede elétrica CC; ou de um conjunto de retificadores; ou de um dínamo acoplado diretamente ao eixo, chamado também de excitatriz; ou de um grupo motor-gerador (FILHO, 2007, p. 268).

Uma outra função para o motor síncrono é a sua utilização para a correção do fator de potência de uma indústria (FILHO, 2007, p. 268). Caso a corrente de excitação seja elevada de forma gradual, chegará a um ponto em que seu fator de potência será unitário, tendo a fase de sua corrente e tensão alinhadas. Elevando ainda mais essa excitação, o motor começará a produzir potência reativa à rede.

Uma desvantagem para o motor síncrono é que sua fabricação é mais custosa do que os outros tipos de motores, porém, é mais viável em potências mais elevadas. Outra desvantagem é na partida, já que a mesma precisa entrar em funcionamento com uma rotação próxima a frequência da rede, para poder sincronizar o rotor com o campo girante do estator (FILHO, 2007, p. 269).

2.4 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Todo motor acionado através de uma fonte de corrente contínua é denominado motor de corrente contínua (ou motor CC). É extremamente empregado quando há a necessidade de obter uma velocidade muito precisa para um processo de fabricação, com uma aceleração em regime permanente próximo a zero (FILHO, 2007, p. 264).

Motores e geradores CC possuem praticamente a mesma estrutura física, apenas diferenciam o propósito a ser empregado. Dentro destas máquinas há um indutor com polos salientes, fixado juntamente a carcaça; além também de um rotor induzido, que se assemelha a um indutor dos motores síncronos.

Há vários modelos, porém a característica que se diferem é pelo tipo da excitação de seus enrolamentos. Alguns usando ligações em série, já outros em paralelo, e até mesmo pode

ocorrer uma união de ligações em série e paralelo, formando uma ligação híbrida. (LACERDA, 2015, p. 31). A excitação pode ser de várias formas:

- 1) *Série*: Tanto os enrolamentos do rotor, quanto do estator são ligados em série. Esta ligação fornece um grande torque ao motor;
- 2) *Independente*: Cada enrolamento, tanto do rotor, quanto do estator, usam fontes de alimentação diferentes. Ligação utilizada para conseguir um controle preciso de velocidade;
- 3) *Paralela*: Através da mesma fonte de alimentação, são ligados em paralelo os enrolamentos. Usado para aplicações simples e que não precisam de um preciso controle de velocidade;
- 4) *Compound*: Utiliza a ligação em série e a paralela, híbrida, para criar um meio termo entre as duas ligações e assim aproveitar algumas características das duas.

2.4.1 Motores brushless

O motor *brushless*, também conhecido como motor CC sem escovas, tem esse nome porque não utiliza escovas para alimentar os enrolamentos, devido ao uso de ímãs permanentes no rotor (CHAPMAN, 2013, p. 606). Pode-se encontrar também pequenos motores utilizando ímãs como estator. Quando os ímãs são fixados na carcaça, é chamado de *outrunner*, porque a parte externa, para o lado de fora, rotaciona e gira o eixo. Quando fixados no rotor, é chamado *inrunner*, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Motor *brushless inrunner*



Fonte: Richtek Technology Corporation, 2020.

O motor *brushless* utiliza ímãs permanentes e eletroímãs para criar a força de atração e repulsão dos polos magnéticos. Contudo, para a utilização desse motor, é necessário um controlador eletrônico de velocidade. Esse chaveamento de estado sólido cria uma variação na

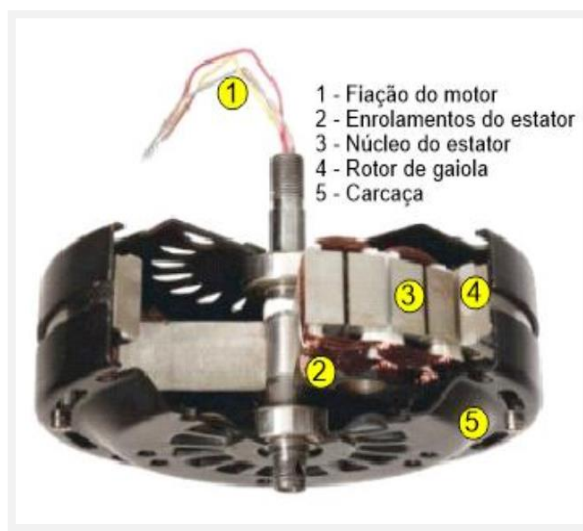
corrente CC da armadura através de um PWM (do inglês, *Pulse Width Modulation*), ou modulação por largura de pulso. Esses controladores simulam uma onda analógica apenas com a variação do tempo de pulsos digitais (CHAPMAN, 2013, p. 517).

Em resumo, através dos eletroímãs, os ímãs são atraídos ou repelidos durante um pequeno espaço de tempo, até chegarem próximo ao seu ponto de alinhamento. Logo em seguida, é desenergizada esta fase, juntamente com os eletroímãs, e acionada a próxima sequência, assim cria-se o movimento.

2.4.2 Motores Keppe

O Keppe-Motor®, resultado dos esforços dos brasileiros Cesar Soós e Roberto Frascari, é o primeiro motor altamente eficiente com base na ressonância, foi lançado em 2008 e aplicado a um ventilador, como mostrado na Figura 4. Caracteriza-se por ser um motor e gerador simultaneamente, operando através da ressonância magnética (CAROZZI; MAIA; NOGUEIRA, 2014, p. 85).

Figura 4 – Visão interna do Keppe-Motor® aplicado a um ventilador de teto



Fonte: MOREIRA, Robs W. B. 2017.

Assim, com seu lançamento, ampliou a forma de classificação dos motores, que era apenas de motores CC e CA, para também motores CR, de corrente ressonante. Este novo motor aborda a corrente sob um novo aspecto, que é possível utilizar a corrente ressonante na aplicação com máquinas rotativas.

Para explicar de forma simples o conceito de eficiência descoberta pelos inventores, é necessário imaginar um balanço, com uma pessoa sentada e outra empurrando. O motor é o balanço, a pessoa sentada é a carga e a que está empurrando é a energia elétrica. Supondo que

todo o sistema esteja em repouso, para colocar em movimento o balanço, será preciso grande quantidade de energia em um momento inicial. Entretanto, à medida que empurra a pessoa, cada vez menos é solicitada energia, até que chegue em um ponto que um simples toque mantém todo o sistema em movimento.

Para criar a ressonância, o motor liga e desliga seus enrolamentos milhares de vezes por minuto. Quanto menor a velocidade do rotor, mais tempo os enrolamentos ficam ligados; assim que atinge certa velocidade, a própria máquina se regula para permanecer no ponto de rotação de maior eficiência energética, no ponto de maior ressonância (KEPPE-MOTOR®, 2020).

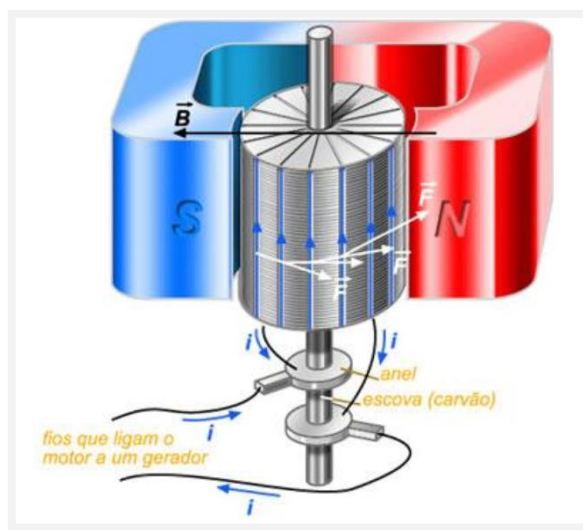
Este ponto de ajuste no dispositivo, concede a frequência de ressonância ou corrente ressonante (CR). O equilíbrio da dualidade, entre fase motora e geradora, quando atingida, proporciona o valor mínimo de corrente necessária, tornando assim a fase motora muito mais eficiente (CAROZZI; MAIA; NOGUEIRA, 2014, p, 85).

Todavia, não é somente esta ressonância física que o Keppe-Motor® explora, vai muito mais além, utilizando também a ressonância magnética para obter a economia de energia. A ressonância magnética só é obtida através do liga e do desliga das bobinas, porque no momento em que se desliga uma bobina, de um circuito fechado, surge picos de tensão muito superiores que a tensão nominal da rede elétrica, na ordem de 2x a 3x a tensão nominal.

Caso a operação se repita diversas vezes em um curto espaço de tempo, percebe-se um aumento gradual, ao longo do tempo, da intensidade dos picos de tensões. Nos demais motores, este fenômeno é entendido como um possível perigo aos componentes elétricos e eletrônicos. Contudo, o Keppe, através do Sistema Turbo Eletromagnético, STEM, absorve esses picos e realimenta os seus enrolamentos, criando, assim, a grande eficiência energética (KEPPE-MOTOR®, 2020).

Outro aspecto que influencia diretamente na eficiência é a utilização de ímãs permanentes no rotor magnético, trabalhando assim com bobinas frias e não precisando de energia para excitar o campo magnético do rotor.

Figura 5 – Princípio de funcionamento do Keppe-Motor®



Fonte: Keppe-Motor®, 2009.

3 MÉTODO

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O método que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho tem sua natureza como pesquisa aplicada, a forma de abordagem do problema é o de pesquisa quantitativa, do ponto de vista dos objetivos é a pesquisa descritiva e do ponto de vista dos procedimentos técnicos é uma pesquisa experimental.

3.2 ESBOÇO DE COMO SERÁ REALIZADO O TRABALHO

A seguinte pesquisa possui como propósito verificar a viabilidade de implantação dos motores Keppe-Motor® nas indústrias; bem como testar e quantificar alguns valores de funcionamento, como: corrente nominal; tensão nominal; torque; potência; fator de potência, aquecimento e velocidade de rotação. Assim, será possível comparar com outros modelos de motores e determinar a sua eficiência.

Também visa analisar outros aspectos industriais para verificar a viabilidade econômica da sua implantação, como: os custos com a manutenção dos Keppe Motors; o tempo de retorno financeiro sobre o investimento; e os riscos que uma modificação nos componentes de uma máquina pode trazer à qualidade do produto de uma empresa. Somente analisando esses aspectos, será possível avaliar se uma implementação e substituição é vantajosa.

Devido ao caráter de avaliação e comparação com outros motores similares, escolheu-se a pesquisa quantitativa para auxiliar a obtenção de valores técnicos citados acima. Principalmente, pois neste tipo de pesquisa é extraído valores matemáticos e usados recursos, como a estatística, para obter informações precisas sobre o real funcionamento.

Para obter uma precisão na informação, não basta apenas fazer uma ou duas medições, deve-se fazer o maior número possível e, posteriormente, usar das ferramentas de estatística para encontrar os valores corretos, **como: a média; mediana; variância e desvio padrão**. Assim, a quantificação por meios matemáticos e estatísticos se fazem necessários.

Pretende-se obter um erro de estimativa de 20% com uma confiança de 90%, assim, sendo necessário obter 68 medições para cada tipo de estimativa de média. Para esta finalidade será utilizada a seguinte fórmula:

$$n = \left(z \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

Onde:

- n = tamanho da amostra
- z = variável aleatória normal padrão
- σ = desvio padrão populacional
- ε = erro de estimativa

Segundo a tabela de distribuição normal padrão, z para uma confiança de 90% atribui-se um valor de 1,645.

$$n = \left(1,645 \cdot \frac{\sigma}{0,2\sigma} \right)^2$$

$$n = 67,65$$

$$n \cong 68 \text{ amostras}$$

Devido ao caráter da experimentação ter uma população infinita, já que se pode extrair infinitas amostras do motor, será determinado um valor de 68 amostras para tensão, corrente, potência, rotação e fator de potência. Todas as medições serão realizadas em curto espaço de tempo, com o mesmo observador, com os mesmos instrumentos, com os mesmos procedimentos e alocada em um ambiente controlado.

Para a realização da pesquisa serão utilizadas algumas técnicas e procedimentos para se obterem os dados. Será necessário, primeiramente, testar um dos modelos do motor Keppe, que pode ser encontrado em um ventilador de teto Keppe-Motor®. Com esse dispositivo em mãos,

em um ambiente com temperatura controlada em torno de 21°C e um alicate amperímetro de boa precisão, é possível fazer algumas medições como: corrente nominal e tensão nominal, permitindo encontrar a potência ativa.

Para encontrar a potência aparente e reativa, antes é necessário determinar o fator de potência do motor. Sabe-se previamente que o seu fator será capacitivo, devido a retificação da corrente alternada para corrente contínua. Será usado um medidor de fator de potência para essa finalidade.

O ambiente que for utilizado para realizar os ensaios, deverá ter uma temperatura controlada, uma temperatura fixada em torno de 21°C, para que a resistência dos fios elétricos não seja alterada, para que não influencie nas medições finais. Além, claro, que a temperatura também influencia na dilatação dos materiais, então é uma variável que deve ser minimizada o máximo possível.

Para a correta medição e controle do ensaio, alguns equipamentos serão usados, como é o caso do alicate amperímetro, possuindo categoria III e True RMS. Deu-se a escolha deste equipamento devido ao seu elevado grau de confiabilidade, além de proporcionar uma medição rápida e não invasiva da corrente.

Outro instrumento a ser necessário é o higrômetro, que mede a temperatura e umidade do ar. Assim, estando bem calibrado, passará um valor bem próximo da temperatura ambiente. Extremamente importante para analisar e evitar a variação da temperatura ambiente, algo que deve ser minimizado.

Para a medição da velocidade de rotação do eixo do motor, será utilizado um tacômetro a laser, devido a seu caráter não invasivo de medição da velocidade, importante para se obter valores precisos. Através dessa informação, uma correta comparação com outros motores de rpm similares, será feita.

Para encontrar o torque do motor, existem algumas técnicas e instrumentos que auxiliam nesta atividade. Um desses instrumentos é a Unidade de Controle de Torque CVE1707 da Motron, desenvolvida especialmente para controlar e medir o torque de motores elétricos. O Centro Universitário do Vale do Iguaçu, a Uniguaçu, dispõe em um de seus laboratórios um freio de Foucault, que possui integrado esta unidade controladora de torque.

O princípio de funcionamento é muito simples, através de um disco metálico acoplado ao eixo do motor, dois eletroímãs criam campos magnéticos em direção a peça metálica; o campo magnético induzido no disco por sua vez cria uma corrente, que por sua vez cria um segundo campo magnético em atração aos dos eletroímãs.

Essa atração mútua simula uma carga acoplada ao eixo, porém com a vantagem de ser previamente configurada; a unidade controladora já possui em sua programação a quantidade de corrente que deve enviar aos eletroímãs para criar o torque desejado pelo usuário.

Para saber o quanto de aquecimento o Keppe-Motor® emite, será utilizado uma sonda térmica implantada dentro da carcaça fechada do motor. Assim, permitirá conhecer a temperatura no momento do funcionamento e a taxa de crescimento da temperatura em um motor totalmente fechado, sem qualquer resfriamento externo. É extrema importância essa informação para a realização de manutenções pelos técnicos das indústrias.

De forma geral, a análise e amostragem será realizada em uma sala com temperatura e umidade controlada, sempre sendo monitorada através do higrômetro; será acoplado o medidor de fator de potência com o motor; o alicate amperímetro estará analisando a corrente solicitada; a tensão será medida com o multímetro e a unidade controladora de torque realizando a medição do torque.

Para a melhor experimentação, será observado o funcionamento em algumas situações: com a unidade de torque em carga mínima, 40 Kgfc_m; e com o torque máximo suportado pelo motor. Assim, será descoberto quanto será o consumo do Keppe.

4 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados foi necessário realizar o ensaio do motor em um ambiente controlado, com mínima variação de temperatura, e com equipamentos de precisão; sempre cuidando do aperto correto dos parafusos do motor e do acoplamento da unidade controladora de torque.

Tanto os equipamentos de medição, quanto o laboratório para realização dos experimentos, foram cedidos pelo Centro Universitário Vale do Iguaçu. Sem a unidade de torque da instituição, seria amador a obtenção do torque do Keppe Motor, pelo fato desse equipamento ser caro e de difícil acesso.

Durante a realização dos testes, conforme figura 6 exibida abaixo, foram perceptíveis diversas características de funcionamento do motor.

Figura 6 – Ensaio de torque com 0,1Kgfm no Keppe-Motor®



Fonte: O autor, 2020.

A primeira, que é de enorme importância para este estudo, é o fato da partida não poder ser com muito torque, com muita carga. Existe um capacitor eletrolítico de 400v e 100uF para poder impulsionar momentaneamente o eixo, porém, assim que o capacitor é tirado da partida, o mesmo não consegue se manter em rotação por muito tempo, chegando a parar em alguns minutos depois da partida com carga máxima.

Sendo assim, o torque de partida que foi encontrado é de 30% a 40% do torque nominal, do torque em regime permanente. Atualmente a aplicação do motor Keppe é somente para ventiladores, por conta da curva de conjugado dos ventiladores ser parabólico, encaixando perfeitamente nessa característica do motor.

A segunda, é o fato do motor trabalhar de forma assíncrona e sempre variando a velocidade de rotação do eixo para encontrar o ponto de melhor eficiência, justamente um dos segredos da economia de energia. Conforme o motor é alimentado por uma potência, o mesmo irá, dentro de uma faixa de valores, variar sua velocidade para sempre encontrar o ponto de ressonância, o ponto em que existe o maior trabalho com o mínimo de esforço.

A terceira, é o pequeno aquecimento da temperatura interna quando trabalhando a 30% de seu torque nominal. Assim é permitido encapsular o motor e até retirar qualquer sistema de resfriamento, pois o mesmo eleva poucos graus por hora. Entretanto, o fabricante não recomenda o encapsulamento de motores Keppe acima de 0,5 cv. Ensaio de temperatura pode ser visualizado conforme figura 7.

Figura 7 – Ensaio de aquecimento do Keppe-Motor®



Fonte: O autor, 2020.

Esta característica de baixo aquecimento se dá por dois motivos: pelo regime de trabalho do estator não ser constante; e a utilização de ímãs no rotor para a criação dos polos magnéticos. Assim, a corrente só passa pelo tempo necessário para criar o trabalho, permitindo que o enrolamento se resfrie durante parte do funcionamento.

Outra característica importante percebida é a utilização de uma placa eletrônica e um circuito integrado para o controle do motor, além de um sensor magnético acoplado ao estator para a determinação da posição do rotor. Desta forma o microcontrolador identifica a posição do eixo e liga o estator durante o tempo necessário para completar parte do giro, desligando-o depois.

Uma situação notada durante o ensaio foi o travamento do rotor algumas vezes durante a partida. Esse ocorrido pode ter acontecido, ou pelo circuito se perder na partida, do sensor não ler direito a posição, ou então, o rotor entrar em um ponto de alinhamento de polos magnéticos. Geralmente ocorreu quando não se tinha carga acoplada ou quando a mesma era pouca.

Contudo, mesmo com o travamento do eixo, não há perigo para a queima do estator, outra característica percebida no Motor Keppe. Já quando há o travamento do eixo em motores elétricos, é extremamente preocupante, pois nesse momento a corrente se eleva, gera muito aquecimento dos condutores, e pode resultar no rompimento do verniz isolante das bobinas, causando curto circuito.

Devido ao caráter de liga e desliga do estator, o mesmo só se mantém ligado caso haja rotação do eixo, pela necessidade do rotor “passar” em uma determinada faixa de acionamento. Assim, mesmo que o eixo trave, não existe preocupação com curtos circuitos e incêndios.

Com o ensaio concluído, pode-se analisar os resultados de tensão, corrente, torque, potência ativa, potência aparente, fator de potência e temperatura de aquecimento para um Motor Keppe de 6 polos, monofásico 110v/220v, equivalente a um motor de 60w monofásico. Os valores obtidos no ensaio de laboratório podem ser verificados na Tabela 1.

Quadro 1 – Ensaio de potência com torque de 40 Kgfcmm

Tensão	125,97 V
Corrente	0,57 A
Potência ativa	71,80 W
Potência aparente	73,49 VA
Fator de potencia	-0,977 (capacitivo)
Torque	40 Kgfcmm
Rotação por minuto	3370,66 RPM
Temperatura ambiente	20,19° C
Umidade	39,31%

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 2 – Ensaio de potência com torque de 0,1 Kgfm

Tensão	125,66 V
Corrente	1,36 A
Potência Ativa	170,90 W
Potência Aparente	172,63 VA
Fator de Potencia	-0,990 (capacitivo)
Torque	0,1 Kgfm
RPM	1422,86 RPM
Temperatura Ambiente	20,42° C
Umidade	39%

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 3 – Ensaio de aquecimento interno após 1 min

Torque	0,05 Kgfm
Rotação por minuto	1822,52 RPM
Temperatura ambiente	21,34° C
Umidade ambiente	42%
Temperatura interna do motor	26,54° C
Tempo de motor ligado	1 minuto

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 4 – Ensaio de aquecimento interno após 10 min

Torque	0,05 Kgfm
Rotação por minuto	1956,04 RPM
Temperatura ambiente	22,62° C
Umidade ambiente	40,19%
Temperatura interna do motor	45,99° C
Tempo de motor ligado	10 minutos

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 5 – Ensaio de aquecimento interno após 20 min

Torque	0,05 Kgfm
Rotação por minuto	1920,76 RPM
Temperatura ambiente	22,54° C
Umidade ambiente	40%
Temperatura interna do motor	52,53° C
Tempo de motor ligado	20 minutos

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 6 – Ensaio de aquecimento interno após 40 min

Torque	0,05 Kgfm
Rotação por minuto	1858,53 RPM
Temperatura ambiente	22,17° C
Umidade ambiente	42%
Temperatura interna do motor	61,12° C
Tempo de motor ligado	40 minutos

Fonte: O autor, 2020.

Investigando inicialmente com um olhar macro, sobre os resultados que mais chamam a atenção, podemos citar a enorme economia de energia que o motor Keppe pode trazer. Caso seja comparado o motor com um de mesma potência de outro modelo, o Motor WEG 0.25 cv 4P C56 1F 110-127/220-254 V 60 Hz IC01, notasse que é grande a diferença de consumo.

Dois motores que conseguem colocar em movimento 0,1Kgfm; os dois monofásicos e alimentados com 127V; WEG tem uma corrente de 5,01A com uma potência ativa de 636,27W; e o Keppe tem uma corrente de 1,36A e com 170,9W. Quase 4x mais eficiente e econômico que um WEG.

Em termos simplificados, se deixasse um motor Keppe e um WEG ligados com carga de 0,1 Kgfm durante um mês dentro de casa, com o preço atual do kWh da Copel a R\$ 0,628 teríamos que pagar R\$ 287,70 pela energia do motor WEG e apenas R\$ 77,27 pela do motor Keppe. Realmente uma enorme diferença no fim do mês.

Conforme informações obtidas dos ensaios, é possível perceber que seu fator de potência é capacitivo e muito próximo a 1, chegando a -0,990 sob uma carga de 0,1 Kgfm. A impressão que se teve é que quanto maior a carga, mais próxima a ressonância, ao fator 1, o motor tende.

É importante evidenciar também o caráter construtivo, mesmo tendo 6 polos, o Keppe Motor é aplicado a ventiladores, neste atual momento, então é construído pensando na velocidade de rotação; e quando em vazio, pôde chegar a 3370,66 RPM. Entretanto, mesmo tendo aplicação para velocidade, possui um torque considerável, tendo potência máxima de 0,1 Kgfm. Em alguns testes o motor conseguiu chegar até 0,15Kgfm, mas foi necessário elevar de forma muito lenta o torque até esse valor, e mesmo assim apresentava considerável aquecimento.

De certa forma, esse sobreaquecimento é por conta de estar trabalhando acima de seu dimensionamento, com sobrecarga. Foi comprovado, pelo experimento de aquecimento, que o

motor aquece de forma lenta, e praticamente qualquer sistema de resfriamento retira a quantidade de calor gerada. Em 40 minutos, com metade da potência máxima, aqueceu 34,58°C.

Um ponto interessante a ser citado, e que trás enormes possibilidades de aplicações, é a utilização juntamente com placas solares. O Keppe Motor é um motor de corrente continua, contudo, pode ser alimentado tanto por tensão alternada quanto continua. Desta forma não há a necessidade de utilizar inversores para a conversão de tensão continua dos painéis solar para tensão alternada. Basta simplesmente utilizar um conversor boost CC-CC para elevar a tensão continua e alimentar o motor.

É necessário esse conversor porque a tensão mínima de funcionamento do Keppe é de 90V e das placas solar geram de 18V a 36V, conforme quantidade. Uma aplicação que pode ser utilizada é para o bombeamento de água em regiões afastadas usando painéis solares e a tecnologia Keppe.

5 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Conforme foi comentado anteriormente no trabalho, para determinar se uma tecnologia é vantajosa para o investimento, não basta simplesmente olhar o macro, olhar os belos resultados, mas sim, analisar aspectos secundários e efeitos que uma nova tecnologia pode acarretar dentro da indústria e do seu processo produtivo.

Conforme é analisado sob um aspecto macroscópico, alguns resultados saltam aos olhos, como é o caso da significativa economia de energia que o Keppe Motor gera. Simplificando, se um motor Keppe e um WEG fossem comparados e ligados com carga de 0,1 Kgfm durante um mês dentro de casa, o Keppe iria gastar apenas R\$ 77,27, com 123 kW consumidos; e o WEG gastaria R\$ 287,70, com um consumo de 458 kW.

Isso sem dizer na segunda economia de energia que é gerada simplesmente pelo fator de potência ser capacitivo e próximo a 1, pois evita-se que a empresa gaste na compra e manutenção dos bancos de capacitores. Atualmente um banco pode variar de R\$ 700,00 a R\$ 30.000,00, conforme potência exigida. Claro que é algo praticamente impossível de um banco de capacitores ser retirado de uma indústria, entretanto, com um fator capacitivo dos motores, será necessário um banco muito menor e mais barato, gerando economia para a empresa.

Outro ponto de economia gerada: não é necessário utilizar inversor de frequência para alterar a rotação do motor, basta simplesmente alterar a tensão de alimentação que sua rotação também é alterada. Essa característica é de grande importância, porque reflete em uma serie de

fatores, desde o tamanho dos painéis a também na energia consumida por esses equipamentos, sem esquecer da manutenção que muitas vezes é necessária.

Os inversores são componentes caros para se manterem, podendo ir de R\$ 500,00 e chegar até uns R\$ 15.000,00. E com a tecnologia Keppe apenas é necessário usar um potenciômetro para variar a tensão.

Na questão de placas solares, uma área que está crescendo cada vez mais e entrando fortemente nas indústrias, devido ao caráter construtivo do Keppe Motor e sua alimentação ser tensão contínua, não é necessário a utilização de inversores de frequência para a conversão de energia. O motor é bivolt e ainda aceita os dois tipos de tensão, alternada e contínua, característica já não vista em outros motores, em que é necessário usar o inversor para converter de corrente contínua para alternada.

Além da necessidade de gastar com a compra do inversor, em termos de perdas de energia, o inversor perde parte da energia gerada pela placa quando realiza a conversão, sem dizer também que consome parte dessa energia para permanecer ligado.

Na questão do preço do motor, realizando uma busca na internet, onde geralmente encontra os preços mais baratos dos produtos, foi encontrado um motor WEG parecido com o citado anteriormente custando R\$ 640,00. Em contato com o fabricante do Keppe Motor, está R\$ 350,00 o modelo que foi testado.

Claro que o Keppe não possui uma carcaça em metal para dissipação do calor, porém mesmo adicionando eventualmente no futuro, quando o fabricante desenvolver um modelo industrial, provavelmente o preço não ficará muito longe do preço dos outros motores. Até existe uma possibilidade de ser mais barato, mas é pouco provável, porque motores de corrente contínua precisam de mais fios de cobre, acarretando no maior preço do produto.

No aspecto sobre a manutenção, que é um dos principais fatores determinantes na decisão de implementação de uma tecnologia, é ideal analisar que este tipo de motor possui uma qualidade e uma desvantagem em relação ao conserto do Keppe Motor. A vantagem é que suas bobinas, a enrolação é feita de uma forma muito simples, facilitando o reparo e agilizando o tempo de conserto.

Como desvantagem, para o seu funcionamento há a necessidade de uma placa, de um circuito eletrônico, de comando para fazer o liga e desliga do estator, além de sensor acoplado próximo ao rotor. Causa um certo desconforto saber que um componente eletrônico estará próximo a uma fonte de vibração e variação magnética, além da poeira que existe nas fábricas.

É possível citar como causa número um de defeitos em componentes eletrônicos as tensões termomecânicas provindas de fonte térmica. Em segundo plano, as vibrações

mecânicas, o acúmulo de poeira e a umidade são os causadores das falhas em circuitos impressos. (ESSS, 2008).

É arriscado manter um circuito eletrônico sem proteções contra esses fatores, principalmente dentro de um ambiente industrial, em que muitas vezes não é possível fazer manutenção preventiva nas máquinas elétricas. Então é algo que deve ser o quanto antes implementado pelo fabricante a fim de promover a estabilidade e confiabilidade do motor.

Um dos problemas que causa certa insegurança na determinação dessa tecnologia para a indústria é a falta de torque de partida do motor. Não a primeira partida, mas sim a segunda quando realmente o Keppe Motor começa a trabalhar em ressonância. Como foi comentado anteriormente, algumas vezes durante os ensaios, o rotor chegou a parar devido a ultrapassar o limite de torque de partida.

No ambiente industrial, quase todos motores possuem grande carga para tirarem da inércia. São compressores, exaustores, esteiras, mixers... que estão muitas vezes no limite do seu funcionamento. Por isso precisam de motores com um torque considerável na partida e que não parem depois de alguns minutos. Claro que no motor Keppe o travamento do eixo não causa problema ao seu estator, contudo, uma máquina parando por falta de força não é viável em uma indústria.

Em relação ao tempo de retorno do investimento, utilizando o exemplo citado, de um motor em uma residência, o tempo para que a economia gerada fosse maior do que o investimento, é de apenas 3 meses. Isso supondo que o motor Keppe esteja com uma carcaça de metal e com o mesmo preço que um da WEG.

Então, através destes dados, do ensaio em laboratório realizado e das análises feitas em cima da tecnologia Keppe Motor, chega-se à conclusão que o motor é sem dúvidas o melhor na sua área, possui uma excelente eficiência energética com base em simples conceitos da física.

Contudo, acredito que para o motor adentrar a indústria seja necessário melhorias em sua construção, aplicar proteções e melhorar o torque de partida. O ambiente industrial exige mais robustez do motor, com carcaça metálica parecida com as dos motores industriais, para facilitar a implantação e substituição de tecnologias. Basta o fabricante melhorar estes pontos que sem dúvidas será a melhor opção de motor elétrico para as indústrias.

6 REFERÊNCIAS

- DATHEIN, Ricardo. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **DECON**. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/artnoveau/docs/revolucao.pdf>. Acesso em: 24 maio 2020.
- DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 517-530, Dez. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132004000300014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 maio 2020.
- ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (ed.). **Otto von Guericke**. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Otto-von-Guericke>. Acesso em: 02 maio 2020.
- FARADAY, Michael. **Experimental researches in electricity**. New York: Dover, 1965. 3 v.
- FARADAY, Michael. Historical sketch of electro-magnetism. **Annals of Philosophy**, v. 2, p. 195-290, 1821a.
- FLUXO CONSULTORIA. **Conheça alguns dos gastos fixos da indústria**. 2019. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/gestao-empresarial/conheca-alguns-dos-gastos-fixos-da-industria/>. Acesso em: 03 abr. 2020.
- KEPPE MOTOR. **Questões técnicas sobre o Keppe Motor**. Disponível em: <https://www.keppemotor.com/institucional/perguntas-frequentes/>. Acesso em: 21 maio 2020.
- MAGALHAES, Murilo de F.; SANTOS, Wilma M. S.; DIAS, Penha M. C.. Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 489-496, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172002000400016&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 02 maio 2020.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. São Paulo: LTC Editora, 2007.
- Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. 2019. Disponível em: http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=a18d104e-4a3f-31a8-f2cf-382e654dbd20&groupId=36189. Acesso em: 07 abr. 2020.
- MOREIRA, Robs Willian Barbosa. **ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE VENTILADORES KEPPE-MOTOR® E DE INDUÇÃO**. 2017. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Independente do Nordeste, Vitória da Conquista, 2017. Disponível em: <https://www.keppemotor.com/institucional/wp-content/uploads/2018/12/Monografia-ventilador-keppe-motor-Robs-Willian.pdf>. Acesso em: 25 maio 2020.
- MUNOZ, N. T. **Cálculo de enrolamentos de máquinas elétricas e sistemas de alarme**. 4. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1987.

MUSEU WEG. **A história do motor elétrico que você precisa conhecer**. 2018. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>. Acesso em: 19 maio 2020.

PINTO, Joel Rocha. **Máquinas Elétricas**. 2013. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/edisonsilva/maquinas-eleticas/motor-de-inducao/ApostilaMaquinasEletricas_FACENS.pdf/at_download/file. Acesso em: 25 maio 2020.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2018**. 2019. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/RelatoriosDesenvolvimento/2018_human_development_statistical_update.pdf. Acesso em: 13 abr. 2020.

RESUMOS PARA ENGENHEIROS. **Componentes (Motores elétrico Trifásico)**. 2017. Disponível em: <http://resumosparaengenheiros.blogspot.com/2017/12/motores-eletrico-trifasico-componentes.html>. Acesso em: 21 maio 2020.

RICHTEK. **Brushless DC Motor Drivers**. Disponível em: https://www.richtek.com/Home/Applications/BLDC?ForceDevice=1&devicename=richtekwb&sc_lang=en. Acesso em: 16 maio 2020.

SEIXAS, Falcondes José Mendes de; FERNANDES, Rodolfo Castanho. **Máquinas Elétricas II**. 3. ed. Ilha Solteira: [s.n.], 2016. 79 p. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/maquinas-eletricas--ii---3a-ed---2016.pdf>. Acesso em: 25 maio 2020.

SILVA, Lucas Caíque Ribeiro; AGUIAR, Luiz Bizerra de. Alguns Aspectos sobre a Evolução Histórica das Máquinas Elétricas. **Revista Científico**, Fortaleza, v. 17, n. 35, p. 137-168, 2017. Disponível em: <https://revistacientifico.adtalembrasil.com.br/cientifico/article/view/219/365>. Acesso em: 25 maio 2020.

THE RESEARCH UNIVERSITY IN THE HELMHOLTZ ASSOCIATION. **The invention of the electric motor 1800-1854**. 2014. Disponível em: <https://www.eti.kit.edu/english/1376.php>. Acesso em: 02 maio 2020.

THE RESEARCH UNIVERSITY IN THE HELMHOLTZ ASSOCIATION. **The invention of the electric motor 1856-1893**. 2018. Disponível em: <https://www.eti.kit.edu/english/1390.php>. Acesso em: 02 maio 2020.

U.S. Energy Information Administration (EIA). **International Energy Outlook 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

WEG. **Catálogo de Motores Elétricos. Linhas de Produtos**. Características. Especificações. Instalações. Manutenções. Jaraguá do Sul: WEG, 2005. p. 2.

ESSS. **Predição de falhas em componentes eletrônicos**, 2008. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/predicao-de-falhas-em-componentes-eletronicos/>. Acesso em: 22 out. 2020.

7 APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Tabela 1 – Ensaio de torque com 40 Kgfcmm sobre o Keppe Motor

	Tensão (V)	Corrente * 4 (A)	Torque (Kgfcmm)	Fator de Potência	Rotações por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)
1	126	2,43	40	-0,972	3252,7	20	35
2	126,1	2,4	40	-0,993	3276,4	20	36
3	126,7	2,38	40	-0,985	3288,5	20	36
4	126	2,36	40	-0,977	3306,2	20	36
5	126	2,35	40	-0,986	3313,2	20	36
6	126	2,34	40	-0,975	3313,2	20	36
7	125,9	2,32	40	-0,968	3326,5	20	36
8	126,7	2,31	40	-0,977	3337,1	20	36
9	126,7	2,3	40	-0,971	3341,9	20	36
10	126,9	2,3	40	-0,969	3346,7	20,1	38
11	126,7	2,3	40	-0,977	3350,4	20,1	38
12	126,7	2,29	40	-0,974	3354,7	20,1	38
13	126,1	2,29	40	-0,977	3357,3	20,1	38
14	126,1	2,29	40	-0,978	3357,5	20,1	39
15	126,7	2,29	40	-0,981	3359,5	20,1	39
16	125,3	2,29	40	-0,975	3361,1	20,1	39
17	126,7	2,29	40	-0,983	3361,7	20,1	39
18	126,7	2,29	40	-0,977	3364,3	20,1	39
19	126,7	2,28	40	-0,984	3365,2	20,1	39
20	125,7	2,27	40	-0,975	3366,2	20,1	39
21	125,8	2,26	40	-0,986	3366,7	20,1	39
22	125,8	2,26	40	-0,974	3367,1	20,1	39
23	125,8	2,26	40	-0,978	3368,7	20,1	39
24	125,8	2,26	40	-0,976	3370,8	20,1	39
25	125,8	2,26	40	-0,982	3369,8	20,1	39
26	125,8	2,26	40	-0,985	3370,7	20,1	39
27	126	2,26	40	-0,985	3372,1	20,1	40
28	125,9	2,26	40	-0,967	3372,1	20,1	40
29	125,9	2,26	40	-0,975	3372,9	20,2	40
30	125,9	2,26	40	-0,972	3375	20,2	40
31	125,9	2,26	40	-0,986	3373,9	20,2	40
32	125,8	2,26	40	-0,979	3373,5	20,2	40
33	125,8	2,26	40	-0,971	3373,5	20,2	40
34	125,8	2,26	40	-0,977	3375,3	20,2	40
35	125,7	2,27	40	-0,994	3377,2	20,2	40
36	125,8	2,27	40	-0,974	3377,6	20,2	40
37	125,9	2,27	40	-0,971	3378,6	20,2	40
38	125,8	2,26	40	-0,97	3380,9	20,2	40
39	125,9	2,25	40	-0,979	3380,9	20,2	40
40	125,8	2,25	40	-0,973	3380,8	20,2	40
41	125,8	2,25	40	-0,985	3382,1	20,2	40
42	125,9	2,25	40	-0,977	3383,6	20,2	40
43	125,9	2,25	40	-0,973	3385,3	20,2	40
44	125,9	2,25	40	-0,986	3387,3	20,2	40

Continua

	Tensão (V)	Corrente*4 (A)	Torque (KgfcM)	Fator de Potência	Rotações por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)
45	125,8	2,25	40	-0,976	3388	20,2	40
46	125,9	2,25	40	-0,979	3388,5	20,2	40
47	125,9	2,26	40	-0,981	3390,7	20,2	41
48	125,9	2,26	40	-0,963	3390,5	20,3	41
49	125,9	2,25	40	-0,977	3390,7	20,3	41
50	125,9	2,25	40	-0,974	3391,2	20,3	41
51	125,7	2,25	40	-0,971	3391,7	20,3	39
52	125,7	2,25	40	-0,973	3391,7	20,3	39
53	125,8	2,25	40	-0,973	3391,9	20,3	39
54	125,8	2,25	40	-0,981	3391,8	20,3	39
55	125,8	2,25	40	-0,98	3391,8	20,3	39
56	125,8	2,25	40	-0,967	3390,9	20,3	39
57	125,8	2,25	40	-0,986	3390,4	20,3	39
58	125,8	2,25	40	-0,983	3391,3	20,3	41
59	125,9	2,25	40	-0,982	3392,5	20,3	41
60	125,9	2,25	40	-0,975	3393,1	20,3	41
61	125,9	2,25	40	-0,974	3392,5	20,3	41
62	125,8	2,24	40	-0,985	3394,7	20,3	41
63	125,8	2,23	40	-0,976	3395,6	20,3	41
64	125,9	2,23	40	-0,978	3396,6	20,3	41
65	125,8	2,23	40	-0,971	3397,2	20,4	41
66	125,8	2,23	40	-0,988	3398,1	20,4	41
67	125,8	2,23	40	-0,975	3398,5	20,4	41
68	125,7	2,23	40	-0,964	3399,4	20,4	41

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 2 – Ensaio de torque com 10 Kgfm sobre o Keppe Motor

	Tensão (V)	Corrente*4 (A)	Torque (Kgfm)	Fator de Potência	Rotações por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)
1	125,6	5,43	0,09	-0,99	1446,5	20,5	39
2	125,6	5,44	0,09	-0,992	1445,4	20,5	39
3	125,5	5,43	0,09	-0,987	1444	20,5	39
4	125,7	5,43	0,09	-0,99	1443,7	20,5	39
5	125,7	5,43	0,09	-0,99	1443	20,5	39
6	125,7	5,42	0,09	-0,99	1443,3	20,5	39
7	125,6	5,42	0,09	-0,99	1443,2	20,5	39
8	125,6	5,42	0,09	-0,992	1442,4	20,5	39
9	125,6	5,42	0,09	-0,988	1441,7	20,5	39
10	125,6	5,42	0,09	-0,99	1441,2	20,5	39
11	125,6	5,43	0,09	-0,992	1439,8	20,5	39
12	125,5	5,43	0,09	-0,992	1438,6	20,5	39
13	125,5	5,43	0,1	-0,991	1437,9	20,5	39
14	125,5	5,43	0,1	-0,993	1436,8	20,5	39
15	125,5	5,43	0,1	-0,99	1434,7	20,5	39
16	125,7	5,43	0,1	-0,99	1433,6	20,5	39
17	125,5	5,43	0,1	-0,99	1432,9	20,5	39
18	125,5	5,43	0,1	-0,992	1431,8	20,4	39
19	125,5	5,44	0,1	-0,991	1431,1	20,4	39
20	125,5	5,45	0,1	-0,99	1429,9	20,4	39
21	125,5	5,44	0,1	-0,987	1427,5	20,4	39
22	125,7	5,43	0,1	-0,995	1427,1	20,4	39
23	125,7	5,43	0,1	-0,993	1426,4	20,4	39
24	125,7	5,46	0,1	-0,99	1425,9	20,4	39
25	125,7	5,46	0,1	-0,988	1425,6	20,4	39
26	125,6	5,45	0,1	-0,99	1425,6	20,4	39
27	125,7	5,45	0,1	-0,992	1424,9	20,4	39
28	125,7	5,43	0,1	-0,987	1424,3	20,4	39
29	125,7	5,42	0,1	-0,991	1423,8	20,4	39
30	125,7	5,42	0,1	-0,989	1422,8	20,4	39
31	125,7	5,43	0,1	-0,992	1422,3	20,4	39
32	125,7	5,43	0,1	-0,99	1421,7	20,4	39
33	125,7	5,44	0,1	-0,993	1421,1	20,4	39
34	125,7	5,45	0,1	-0,997	1420,2	20,4	39
35	125,7	5,45	0,1	-0,991	1419,3	20,4	39
36	125,6	5,45	0,1	-0,989	1419,5	20,4	39
37	125,6	5,45	0,1	-0,988	1417,8	20,4	39
38	125,6	5,45	0,1	-0,99	1417,9	20,4	39
39	125,6	5,45	0,1	-0,984	1417,6	20,4	39
40	125,6	5,45	0,1	-0,985	1417,3	20,4	39
41	125,8	5,45	0,1	-0,989	1416,1	20,4	39
42	125,8	5,46	0,1	-0,993	1416,5	20,4	39
43	125,8	5,46	0,1	-0,983	1416	20,4	39
44	125,8	5,45	0,1	-0,992	1415,9	20,4	39

Continua

	Tensão (V)	Corrente* 4 (A)	Torque (Kgfm)	Fator de Potência	Rotações por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)
45	125,7	5,45	0,1	-0,991	1415,3	20,4	39
46	125,7	5,46	0,1	-0,993	1415,9	20,4	39
47	125,6	5,46	0,1	-0,986	1414,3	20,4	39
48	125,6	5,45	0,1	-0,988	1415,6	20,4	39
49	125,6	5,41	0,1	-0,989	1412,3	20,4	39
50	125,7	5,44	0,1	-0,991	1412,5	20,4	39
51	125,7	5,47	0,1	-0,988	1414,4	20,4	39
52	125,8	5,46	0,1	-0,99	1412,2	20,4	39
53	125,8	5,44	0,1	-0,989	1410,3	20,4	39
54	125,7	5,47	0,1	-0,991	1408,8	20,4	39
55	125,7	5,48	0,1	-0,991	1407,7	20,4	39
56	125,7	5,48	0,1	-0,992	1409,9	20,4	39
57	125,7	5,47	0,1	-0,991	1411,5	20,4	39
58	125,7	5,48	0,1	-0,988	1412,1	20,4	39
59	125,7	5,488	0,1	-0,991	1411,1	20,4	39
60	125,7	5,48	0,1	-0,993	1417,4	20,4	39
61	125,7	5,48	0,1	-0,989	1410,3	20,4	39
62	125,7	5,49	0,1	-0,99	1411	20,4	39
63	125,7	5,49	0,1	-0,991	1409,5	20,4	39
64	125,6	5,48	0,1	-0,991	1410,4	20,4	39
65	125,8	5,48	0,1	-0,99	1410,8	20,4	39
66	125,7	5,48	0,1	-0,992	1410,2	20,4	39
67	125,7	5,48	0,1	-0,991	1410,7	20,4	39
68	125,7	5,48	0,1	-0,993	1410,1	20,4	39

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 3 – Ensaio de aquecimento com 1 minuto no Keppe Motor

	Torque (Kgfm)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
1	0,05	1865,1	16,8	42	21,4	1 min
2	0,05	1851,3	16,8	42	21,4	1 min
3	0,05	1828,4	16,8	42	21,4	1 min
4	0,05	1820,1	16,8	42	21,4	1 min
5	0,05	1817,7	16,8	42	21,4	1 min
6	0,05	1815,2	16,8	42	21,4	1 min
7	0,05	1813,6	16,8	42	21,4	1 min
8	0,05	1813,4	16,8	42	21,4	1 min
9	0,05	1814	16,8	42	21,4	1 min
10	0,05	1813,9	16,8	42	21,4	1 min
11	0,05	1813,9	20,5	42	25,4	1 min
12	0,05	1812,6	20,5	42	25,4	1 min
13	0,05	1811,1	20,5	42	25,4	1 min
14	0,05	1810,3	20,5	42	25,4	1 min
15	0,05	1809,5	20,5	42	25,4	1 min
16	0,05	1809,5	20,5	42	25,4	1 min
17	0,05	1809,1	20,5	42	25,4	1 min
18	0,05	1807,8	20,5	42	25,4	1 min
19	0,05	1807,8	20,5	42	25,4	1 min
20	0,05	1806,8	20,5	42	25,4	1 min
21	0,05	1805,9	20,5	42	25,4	1 min
22	0,05	1804,1	20,5	42	25,4	1 min
23	0,05	1802,4	20,5	42	25,4	1 min
24	0,05	1802,4	22,9	42	25,4	1 min
25	0,05	1802	22,9	42	27,9	1 min
26	0,05	1801,2	22,9	42	27,9	1 min
27	0,05	1803,1	22,9	42	27,9	1 min
28	0,05	1803,1	22,9	42	27,9	1 min
29	0,05	1807,7	22,9	42	27,9	1 min
30	0,05	1814,8	22,9	42	27,9	1 min
31	0,05	1821,5	22,9	42	27,9	1 min
32	0,05	1821,5	22,9	42	27,9	1 min
33	0,05	1827,8	22,9	42	27,9	1 min
34	0,05	1827,7	22,9	42	27,9	1 min
35	0,05	1833,7	22,9	42	27,9	1 min
36	0,05	1838,7	22,9	42	27,9	1 min
37	0,05	1841,4	22,9	42	27,9	1 min
38	0,05	1841,4	22,9	42	27,9	1 min
39	0,05	1843,1	22,9	42	27,9	1 min
40	0,05	1845	22,9	42	27,9	1 min
41	0,05	1844,9	22,9	42	27,9	1 min
42	0,05	1844,9	22	42	27,9	1 min
43	0,05	1844,3	22	42	27,6	1 min
44	0,05	1844	22	42	27,6	1 min

Continua

	Torque (Kgf _m)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
45	0,05	1844	22	42	27,6	1 min
46	0,05	1842,7	22	42	27,6	1 min
47	0,05	1841,9	22	42	27,6	1 min
48	0,05	1841,9	22	42	27,6	1 min
49	0,05	1840,5	22	42	27,6	1 min
50	0,05	1839	22	42	27,6	1 min
51	0,05	1839	22	42	27,6	1 min
52	0,05	1836,9	22	42	27,6	1 min
53	0,05	1834	22	42	27,6	1 min
54	0,05	1834	22	42	27,6	1 min
55	0,05	1830,9	22	42	27,6	1 min
56	0,05	1826,7	22	42	27,6	1 min
57	0,05	1829,1	22	42	27,6	1 min
58	0,05	1826,7	22	42	27,6	1 min
59	0,05	1824,1	22	42	27,6	1 min
60	0,05	1821,6	22	42	28,8	1 min
61	0,05	1821,6	22,9	42	28,8	1 min
62	0,05	1819	22,9	42	28,8	1 min
63	0,05	1816,6	22,9	42	28,8	1 min
64	0,05	1813,5	22,9	42	28,8	1 min
65	0,05	1811,2	22,9	42	28,8	1 min
66	0,05	1807,6	22,9	42	28,8	1 min
67	0,05	1805,4	22,9	42	28,8	1 min
68	0,05	1805,4	22,9	42	28,8	1 min

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 4 – Ensaio de aquecimento com 10 minutos no Keppe Motor

	Torque (Kgfm)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
1	0,05	1957,1	22,7	40	45,3	10 min
2	0,05	1959,4	22,7	40	45,3	10 min
3	0,05	1957,3	22,6	40	45,3	10 min
4	0,05	1959,9	22,6	40	45,3	10 min
5	0,05	1961,1	22,6	40	45,3	10 min
6	0,05	1961,2	22,6	40	45,3	10 min
7	0,05	1960,7	22,6	40	45,3	10 min
8	0,05	1959,4	22,6	40	45,5	10 min
9	0,05	1959	22,6	40	45,5	10 min
10	0,05	1958,2	22,6	40	45,5	10 min
11	0,05	1957,6	22,6	40	45,5	10 min
12	0,05	1958,3	22,6	40	45,5	10 min
13	0,05	1957,6	22,6	40	45,5	10 min
14	0,05	1955,2	22,6	40	45,5	10 min
15	0,05	1954,5	22,6	40	45,5	10 min
16	0,05	1955,1	22,6	40	45,5	10 min
17	0,05	1955,1	22,6	40	45,7	10 min
18	0,05	1955,4	22,6	40	45,7	10 min
19	0,05	1954,6	22,6	40	45,7	10 min
20	0,05	1956,2	22,6	40	45,7	10 min
21	0,05	1956,6	22,6	40	45,7	10 min
22	0,05	1956,9	22,6	40	45,7	10 min
23	0,05	1957,1	22,6	40	45,7	10 min
24	0,05	1957,4	22,6	40	45,7	10 min
25	0,05	1957,7	22,6	40	45,7	10 min
26	0,05	1958,8	22,6	40	45,9	10 min
27	0,05	1960,5	22,6	40	45,9	10 min
28	0,05	1962,4	22,6	40	45,9	10 min
29	0,05	1963	22,6	40	45,9	10 min
30	0,05	1961,8	22,6	40	45,9	10 min
31	0,05	1957,5	22,6	40	45,9	10 min
32	0,05	1955,7	22,6	40	45,9	10 min
33	0,05	1954,9	22,6	40	45,9	10 min
34	0,05	1953,3	22,6	40	45,9	10 min
35	0,05	1951,8	22,6	40	45,9	10 min
36	0,05	1950,6	22,6	40	45,9	10 min
37	0,05	1950	22,6	40	46,1	10 min
38	0,05	1951,4	22,6	40	46,1	10 min
39	0,05	1952,6	22,6	40	46,1	10 min
40	0,05	1954	22,6	40	46,1	10 min
41	0,05	1954	22,6	40	46,1	10 min
42	0,05	1955,3	22,6	40	46,1	10 min
43	0,05	1956	22,6	40	46,1	10 min
44	0,05	1957,9	22,6	40	46,1	10 min

Continua

	Torque (Kgf _m)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
45	0,05	1959,2	22,6	40	46,1	10 min
46	0,05	1959,7	22,6	40	46,1	10 min
47	0,05	1959,3	22,6	40	46,3	10 min
48	0,05	1957,3	22,6	40	46,3	10 min
49	0,05	1956,6	22,6	40	46,3	10 min
50	0,05	1954,8	22,6	40	46,3	10 min
51	0,05	1953,9	22,6	40	46,3	10 min
52	0,05	1953,1	22,6	40	46,3	10 min
53	0,05	1953,8	22,6	40	46,3	10 min
54	0,05	1953,8	22,6	40	46,3	10 min
55	0,05	1953,8	22,6	40	46,3	10 min
56	0,05	1954,4	22,6	40	46,3	10 min
57	0,05	1953,8	22,6	40	46,6	10 min
58	0,05	1953,4	22,6	41	46,6	10 min
59	0,05	1952,6	22,6	41	46,6	10 min
60	0,05	1951,3	22,7	41	46,6	10 min
61	0,05	1949,5	22,7	41	46,6	10 min
62	0,05	1950,5	22,7	41	46,6	10 min
63	0,05	1952	22,7	41	46,6	10 min
64	0,05	1955,6	22,7	41	46,6	10 min
65	0,05	1955,9	22,7	41	46,6	10 min
66	0,05	1956,7	22,7	41	46,6	10 min
67	0,05	1956,6	22,7	41	46,6	10 min
68	0,05	1955,4	22,7	41	46,6	10 min

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 5 – Ensaio de aquecimento com 20 minutos no Keppe Motor

	Torque (Kgfm)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
1	0,05	1914,7	22,5	40	52,3	20 min
2	0,05	1921,7	22,5	40	52,4	20 min
3	0,05	1922,6	22,5	40	52,4	20 min
4	0,05	1923,1	22,5	40	52,4	20 min
5	0,05	1923,2	22,5	40	52,4	20 min
6	0,05	1922,2	22,5	40	52,4	20 min
7	0,05	1921,4	22,5	40	52,4	20 min
8	0,05	1921,3	22,5	40	52,4	20 min
9	0,05	1920,2	22,5	40	52,4	20 min
10	0,05	1920,2	22,5	40	52,4	20 min
11	0,05	1920,6	22,5	40	52,4	20 min
12	0,05	1921,6	22,5	40	52,4	20 min
13	0,05	1922,9	22,5	40	52,4	20 min
14	0,05	1923,2	22,5	40	52,4	20 min
15	0,05	1923,2	22,5	40	52,4	20 min
16	0,05	1922,9	22,5	40	52,4	20 min
17	0,05	1922,3	22,5	40	52,5	20 min
18	0,05	1919,7	22,5	40	52,5	20 min
19	0,05	1919,3	22,5	40	52,5	20 min
20	0,05	1918,3	22,5	40	52,5	20 min
21	0,05	1918,8	22,5	40	52,5	20 min
22	0,05	1920,7	22,5	40	52,5	20 min
23	0,05	1920,6	22,5	40	52,5	20 min
24	0,05	1920,2	22,5	40	52,5	20 min
25	0,05	1921,7	22,5	40	52,5	20 min
26	0,05	1921,6	22,5	40	52,5	20 min
27	0,05	1922,2	22,5	40	52,5	20 min
28	0,05	1923,2	22,5	40	52,5	20 min
29	0,05	1923,2	22,6	40	52,5	20 min
30	0,05	1922,9	22,6	40	52,5	20 min
31	0,05	1922,9	22,6	40	52,5	20 min
32	0,05	1923,1	22,6	40	52,5	20 min
33	0,05	1922,3	22,6	40	52,5	20 min
34	0,05	1920,6	22,6	40	52,5	20 min
35	0,05	1920,2	22,6	40	52,5	20 min
36	0,05	1920,2	22,6	40	52,5	20 min
37	0,05	1920,6	22,6	40	52,5	20 min
38	0,05	1922,3	22,6	40	52,6	20 min
39	0,05	1919,7	22,6	40	52,6	20 min
40	0,05	1919,3	22,6	40	52,6	20 min
41	0,05	1921,4	22,6	40	52,6	20 min
42	0,05	1919,7	22,6	40	52,6	20 min
43	0,05	1919,3	22,6	40	52,6	20 min
44	0,05	1918,3	22,6	40	52,6	20 min

Continua

	Torque (Kgf _m)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
45	0,05	1918,8	22,6	40	52,6	20 min
46	0,05	1917,7	22,6	40	52,6	20 min
47	0,05	1916,5	22,6	40	52,6	20 min
48	0,05	1916,5	22,6	40	52,6	20 min
49	0,05	1917,7	22,6	40	52,6	20 min
50	0,05	1917,9	22,6	40	52,6	20 min
51	0,05	1918,3	22,6	40	52,6	20 min
52	0,05	1916,2	22,6	40	52,6	20 min
53	0,05	1915,9	22,6	40	52,6	20 min
54	0,05	1915,9	22,6	40	52,6	20 min
55	0,05	1917,1	22,6	40	52,6	20 min
56	0,05	1918	22,6	40	52,6	20 min
57	0,05	1921,6	22,5	40	52,6	20 min
58	0,05	1923,4	22,5	40	52,6	20 min
59	0,05	1923,3	22,5	40	52,6	20 min
60	0,05	1923,3	22,5	40	52,6	20 min
61	0,05	1923,2	22,5	40	52,6	20 min
62	0,05	1923,2	22,5	40	52,7	20 min
63	0,05	1922,9	22,5	40	52,7	20 min
64	0,05	1923	22,5	40	52,7	20 min
65	0,05	1923,2	22,5	40	52,7	20 min
66	0,05	1923,2	22,5	40	52,7	20 min
67	0,05	1922,8	22,5	40	52,7	20 min
68	0,05	1922,7	22,5	40	52,7	20 min

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 6 – Ensaio de aquecimento com 40 minutos no Keppe Motor

	Torque (Kgfm)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
1	0,05	1845,3	22,2	42	60,8	40 min
2	0,05	1846,8	22,2	42	61	40 min
3	0,05	1847,7	22,2	42	61	40 min
4	0,05	1848,2	22,2	42	61	40 min
5	0,05	1850,3	22,2	42	61	40 min
6	0,05	1852,1	22,2	42	61	40 min
7	0,05	1852,1	22,2	42	61	40 min
8	0,05	1853,8	22,2	42	61	40 min
9	0,05	1855,9	22,2	42	61	40 min
10	0,05	1857,3	22,2	42	61	40 min
11	0,05	1857,3	22,2	42	61	40 min
12	0,05	1857,7	22,2	42	61	40 min
13	0,05	1858,8	22,2	42	61	40 min
14	0,05	1860,2	22,2	42	61	40 min
15	0,05	1861,2	22,2	42	61	40 min
16	0,05	1861,8	22,2	42	61,1	40 min
17	0,05	1861,8	22,2	42	61,1	40 min
18	0,05	1862,2	22,3	42	61,1	40 min
19	0,05	1863,9	22,3	42	61,1	40 min
20	0,05	1864,1	22,3	42	61,1	40 min
21	0,05	1864,5	22,3	42	61,1	40 min
22	0,05	1864,3	22,3	42	61,1	40 min
23	0,05	1863,1	22,3	42	61,1	40 min
24	0,05	1862,6	22,3	42	61,1	40 min
25	0,05	1862,3	22,3	42	61,1	40 min
26	0,05	1862,2	22,3	42	61,1	40 min
27	0,05	1863,2	22,3	42	61,1	40 min
28	0,05	1863,2	22,3	42	61,1	40 min
29	0,05	1863,9	22,3	42	61,1	40 min
30	0,05	1865,4	22,1	42	61,1	40 min
31	0,05	1864,4	22,3	42	61,1	40 min
32	0,05	1865,2	22,1	42	61,1	40 min
33	0,05	1865,5	22,1	42	61,1	40 min
34	0,05	1864,6	22,1	42	61,1	40 min
35	0,05	1864,6	22,1	42	61,1	40 min
36	0,05	1864,6	22,1	42	61,1	40 min
37	0,05	1864,6	22,1	42	61,1	40 min
38	0,05	1864,1	22,1	42	61,1	40 min
39	0,05	1862,1	22,1	42	61,1	40 min
40	0,05	1862,8	22,1	42	61,1	40 min
41	0,05	1859,6	22,1	42	61,1	40 min
42	0,05	1857,5	22,1	42	61,1	40 min
43	0,05	1857,5	22,1	42	61,2	40 min
44	0,05	1856,3	22,1	42	61,2	40 min

Continua

	Torque (Kgfm)	Rotação por Minuto (RPM)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade (%)	Temperatura Interna do Motor (°C)	Tempo do Motor Ligado (min)
45	0,05	1855,2	22,1	42	61,2	40 min
46	0,05	1855,2	22,1	42	61,2	40 min
47	0,05	1855	22,1	42	61,2	40 min
48	0,05	1855	22,1	42	61,2	40 min
49	0,05	1854,8	22,1	42	61,2	40 min
50	0,05	1854,5	22,1	42	61,2	40 min
51	0,05	1855	22,1	42	61,2	40 min
52	0,05	1855	22,1	42	61,2	40 min
53	0,05	1856,2	22,1	42	61,2	40 min
54	0,05	1856,6	22,1	42	61,2	40 min
55	0,05	1856,6	22,1	42	61,2	40 min
56	0,05	1857,4	22,1	42	61,2	40 min
57	0,05	1857,4	22,1	42	61,2	40 min
58	0,05	1857,8	22,1	42	61,2	40 min
59	0,05	1857,8	22,1	42	61,2	40 min
60	0,05	1857,8	22,1	42	61,2	40 min
61	0,05	1857,8	22,1	42	61,3	40 min
62	0,05	1857,8	22,1	42	61,3	40 min
63	0,05	1857,5	22,1	42	61,3	40 min
64	0,05	1856,6	22,1	42	61,3	40 min
65	0,05	1856,6	22,1	42	61,3	40 min
66	0,05	1856,6	22,1	42	61,3	40 min
67	0,05	1856,5	22,2	42	61,3	40 min
68	0,05	1856,5	22,2	42	61,3	40 min

Fonte: O autor, 2020