

INVERSOR DE FREQUÊNCIA COM ACIONAMENTO DE MOTOR

FREQUENCY INVERTER WITH MOTOR DRIVE

Kleiton Santos Galori¹

Ronaldo Donizeti de Souza²

Lucas Antônio Alves de Godoi³

RESUMO

Este trabalho resume-se na montagem de uma bancada didática de Freio de Foucault também conhecido como Freio Eletrodinâmico, que consiste em um disco de alumínio acoplado em um eixo de um motor de indução trifásico. O disco de alumínio gira dentro de um campo magnético cuja intensidade é controlada através de bobinas eletromagnéticas alimentada por corrente contínua. Com a variação de corrente nas bobinas é possível aumentar ou diminuir a força de frenagem do equipamento. O sistema proposto é acionado por um motor de indução trifásico controlado por um inversor de frequência, possibilitando desta forma ajustar a velocidade do motor. Ao energizar as bobinas eletromagnéticas, ocorre o aumento da corrente de trabalho do motor, simulando o comportamento de carga conectada ao eixo MIT. A leitura da corrente será mostrada na IHM do inversor de frequência ou até mesmo no alicate amperímetro.

Palavras-chave: Motor de indução, Inversor de Frequência, Freio de Foucault.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: kleiton_sg_@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: ronaldo_souza.eng@outlook.com.

³ Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: profgodoi@gmail.com.

ABSTRACT

This paper is summarized in the assembly of a didactic workbench of Foucault Brake also known as Electrodynamic Brake, which consists of an aluminum disc coupled to an axis of a three-phase induction motor. The aluminum disk rotates within a magnetic field whose intensity is controlled by electromagnetic coils powered by direct current. With the variation of current in the coils it is possible to increase or decrease the braking force of the equipment. The proposed system is driven by a three-phase induction motor controlled by a frequency inverter, making it possible to adjust the motor speed. By energizing the electromagnetic coils, the motor current increases, simulating the load behavior connected to the MIT axis. The current reading will be shown on the HMI of the frequency inverter or even on the ammeter.

Keywords: Induction Motor, Frequency Inverter, Foucault Brake.

1 INTRODUÇÃO

Segundo FRANCHI (2014), antes do surgimento do inversor de frequência na indústria para obter um controle de velocidade em máquinas, processo ou produção com velocidade ajustável, era necessários motores assíncronos com seu rotor bobinado, conversores de frequência e motores de corrente contínua, mas devido ao auto custo de manutenção especializada, os motores de corrente contínua têm sido substituídos pelos motores de indução trifásicos.

Com o desenvolvimento da eletrônica, os inversores de frequência não são utilizados simplesmente para acionamento de motores elétricos, mas também para obter o controle de velocidade durante o processo industrial. Com esse tipo de controle foi possível melhorar a qualidade do acionamento dos motores de indução trifásicos, onde o operador pode fazer tanto manual quanto automático, através do Controle Lógico Programável, o aumento ou diminuição da rotação do equipamento (MAMEDE FILHO, 2013).

O inversor de frequência tem um custo inicial alto para as empresas, sendo assim, se o dimensionamento for incorreto e o sistema não funcionar como previsto, os prejuízos serão altos. Normalmente os fabricantes fornecem uma lista de

checagem para auxiliar a especificação do inversor, que não depende somente da potência do motor e da tensão de trabalho, mas sim de todos os dados de aplicação e das características desejadas no projeto para aquisição do inversor (NASCIMENTO, 2011).

Com aumento da demanda por parte das indústrias tanto de processo quanto de manufaturas, tais como linha de montagem automobilística, bebidas, alimentícias, papel, celulose e petroquímicas, que necessitam cada vez mais de processos produtivos e eficientes, a forma para controlar a velocidade de motores de indução trifásicos tem sido mudada para atender melhor o mercado, visando um custo baixo de manutenção e um lucro alto na produção (AHMED, 2000).

Segundo CREDER (2014), as vantagens de utilizar o inversor de frequência são que não ocorre pico de corrente na rede elétrica na partida do motor, evita aquecimentos anormais, elimina vibrações exageradas, possibilita a partida em rampa, melhora no rendimento do motor em toda faixa de velocidade, parando suavemente, melhorando o fator de potência na indústria.

Freio de Foucault é um esforço de frenagem sobre um disco rotativo de metal conectado a um rotor, para frear o disco são colocadas duas bobinas eletromagnéticas próximas a ele, quando energizadas gera um campo eletromagnético no rotor, o campo gerado pelas bobinas é o inverso do campo girante do induzido no rotor, devido a intensidade do campo gerado nas bobinas é o que faz frear o rotor (PEREIRA 2006).

O objetivo do trabalho consiste na montagem de uma bancada didática de um Freio de Foucault também conhecido como Freio Eletrodinâmico, para simulação de diferentes cargas conectadas ao eixo de um motor elétrico de indução trifásico.

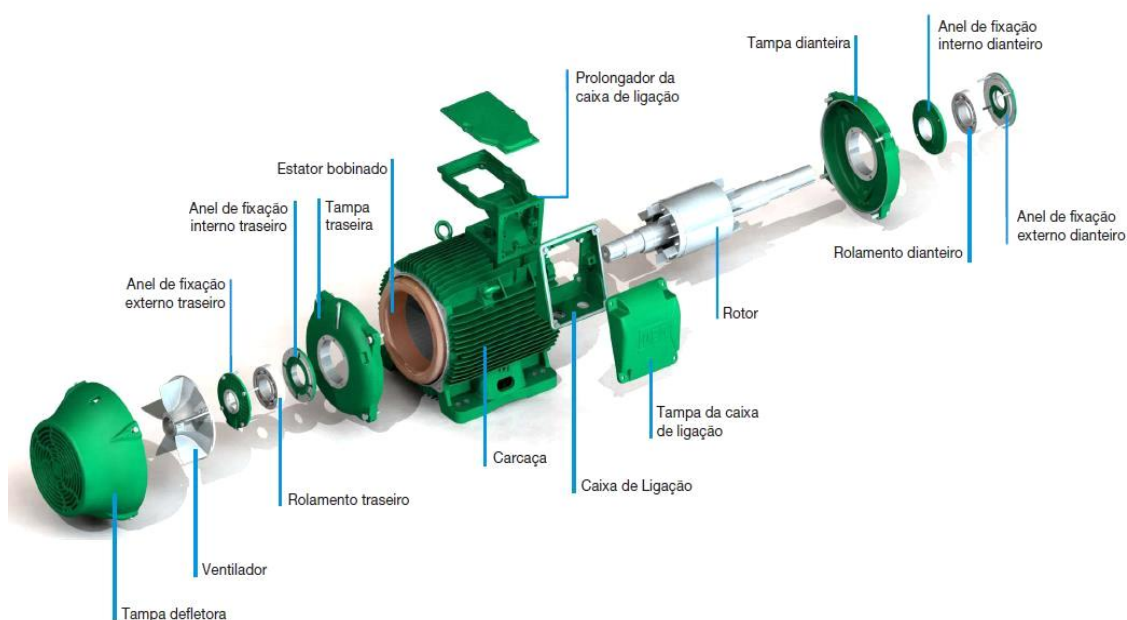
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Motor de indução trifásico.

Os motores de indução assíncrono trifásico (MIT) é uma das máquinas elétricas mais utilizadas nas indústrias, é o pilar da indústria moderna, devido a sua

grande simplicidade, baixo custo de operação e manutenção, baixa relação peso (kg)/potência (W) e grande robustez, sobretudo na sua variante construtiva. Na figura 1 mostra as partes do motor de indução assíncrono trifásico (UMANS, 2014).

Figura 1. Mostra as partes do motor de indução trifásico



FONTE: Weg motores (2004)

As correntes circulam no enrolamento de armadura do motor por indução, o que cria uma distribuição ampère-condutor que se interage com campo magnético, para produzir um torque. A máquina de indução com excitação única é capaz de produzir torque no rotor do motor a qualquer velocidade menor que a velocidade síncrona, através do inversor de frequência que consegue controlar a rotação por minuto da máquina, variando sua frequência nominal da rede elétrica (TORO, 1990).

a) Especificação da placa, os motores elétricos possuem uma placa de identificação, instalada pelo fabricante, para a instalação adequadamente do motor, como mostra a figura 2. Entre as principais especificações para o bom funcionamento do motor se encontra: potência do motor em HP ou CV, a tensão

alimentadora que o motor exige, a corrente nominal que o motor consumirá sendo essas últimas informações de extrema importância para o dimensionamento dos condutores de alimentação e os componentes de proteção. A placa também indica a rotação do motor em RPM (WEG MOTORES, 2004).

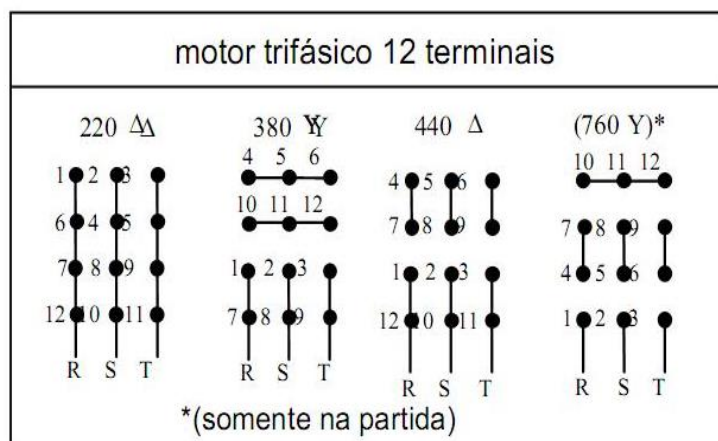
Figura 2. Especificação da placa do motor de indução trifásico

WEG W22 Premium		RENDIMENTO E FATOR DE POTENCIA APROVADOS PELO INMETRO		INMETRO	
21SEP10 1000000000		CE		PROCEL	
NBR - 17094-1:2008					
~ 3 kW(HP-cv)	75(100)	250S/M			
MOTOR INDUÇÃO - GAÍOLA INDUCT. MOTOR-SQUIRREL CAGE	F5 SF 1.25	Hz 60			
V 220/380/440	A 236/137/118				
RPM 1780	W 7.5		I _{sc} 0.87		
REG. DUTY S1	REND(N) 95.5		AMB. 40°C		
ISOL. INGL. F ΔI 80 K	CAT. DES. N	I.F.S. S.F.A. 295/171/148 A		- 6314-C3(27g) MOBIL POLYREX EM - 6314-C3(27g) 12000 h	
IPW55 AIR	1000	M.A.A.T. 527 kg			

Fonte: Weg motores (2004)

b) Tipos de ligações, Os motores elétricos de indução trifásico, podem ser acionados com valores de tensões diversos, (220V, 380V, 440V e 760V), para esses tipos de tensões é preciso de um motor de 12 pontas, precisa-se fazer o fechamento adequado para cada tipo tensão. As tensões de trabalho não atrapalha o rendimento da velocidade de rotação do motor, elas servem para fazer os fechamentos das ligações necessárias de acordo com a tensão de trabalho para alimentar as bobinas de maneira que gerem o campo magnético necessário para movimentar o rotor. O esquemático está alojado dentro da carcaça do motor (LOBOSCO, 1988).

Figura 3. Ligação do motor de indução com 12 pontas



Fonte: Weg motores (2004)

2.2 Inversor de frequência e seus princípios básicos.

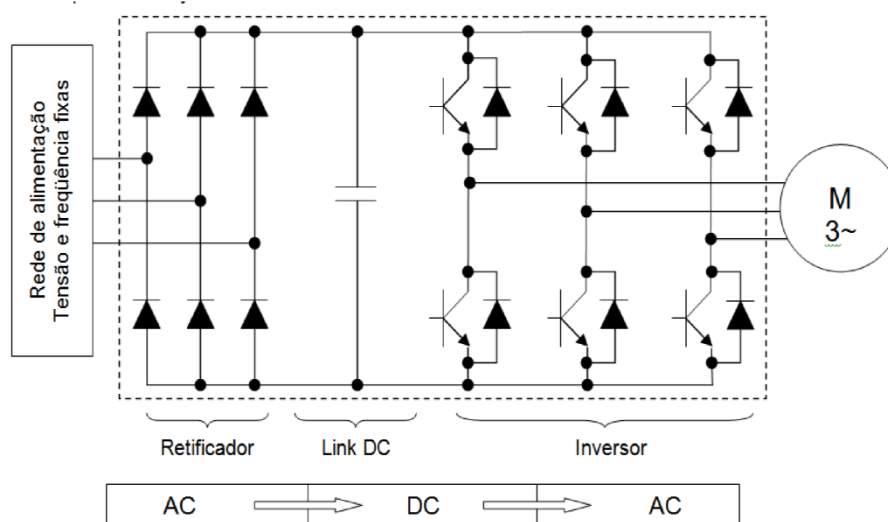
O inversor de frequência é um equipamento eletrônico utilizado para a partida e o controle de velocidade do motor de indução trifásico com esse equipamento é possível variar a tensão e a frequência que está sendo fornecida ao motor possibilitando controlar a sua velocidade e potência consumida. O inversor de frequência retifica o sinal alimentando um link cc, e a partir deste sinal estabilizado o mesmo gera um sinal trifásico na frequência desejada (FRANCHI, 2009).

a) Retificador, no circuito de retificação, os diodos são componentes semicondutores que permitem a passagem da corrente em apenas uma direção, do anodo para o catodo, não sendo possível controlar a intensidade da corrente. A tensão alternada sobre um diodo e convertida em uma tensão CC pulsante, se uma fonte trifásica é catodo, não sendo possível controlar a intensidade da corrente. A tensão alternada sobre um diodo e convertida em uma tensão CC pulsante (OLIVEIRA, 2013).

b) Controle de chaveamento, segundo GUEDES (2015), controle de chaveamento mostra um diagrama esquemático do circuito de um inversor de frequência, sendo uma ponte retificadora na entrada da alimentação, trifásica. A tensão continua ligada aos terminais de saída pelos os tiristores, que funcionam no

corrente ou na saturação como uma chave estática. Os transistores trabalham como botão liga ou desliga, de forma que a onda de tensão de saída do conversor de frequência é sempre quadrada, para ter uma tensão de saída mais próxima da senoidal, o transistor é que modula a largura de pulso através de uma técnica chamada PWM. Como mostra a figura 4.

Figura 4. Diagrama do Controle de Chaveamento



Fonte: Claiton Moro Franchi (2014)

2.3 BLOCOS CONSTITUINTES DO INVERSOR.

a) Bloco unidade central de processamento, formada por um micro controlador e um microprocessador, é na unidade central de processamento que todas as informações, como parâmetros e dados do sistema de funcionamento que estão armazenadas na memória. A CPU não só armazena os dados e parâmetros relativos aos equipamentos, como também executa a função, para o funcionamento do conversor de frequência geração dos pulsos de disparo através de uma lógica de controle coerente para os transistores bipolares de porta isolada (FRANCHI,2008).

b) Bloco interface homem maquina (IHM) é por meio desse dispositivo que se pode visualizar os parâmetros no inversor (display), e parametrizá-lo de acordo com o tipo de motor que será utilizado. Por meio da IHM, podem-se visualizar algumas grandezas do motor, como corrente, frequência ,tensão, alarmes, entre

outras funções, é também possível é alterar o sentido de rotação e alterar o modo de operação (local ou remoto), ligar ou desligar o inversor, variar e frequência de velocidade, alterar parâmetros e outras (STEPHAN, 2013).

c) Sistemas de entrada e saídas de dados, entradas e saídas digitais são utilizadas para ligar e desligar o inversor, e também indicar para o operador se o equipamento está em funcionamento através de sinais discretos, como chaves liga/desliga. Interface de comunicação serial permite que o conversor seja controlado por um computador central. Essa comunicação é ligada através de fios, conectado a um inversor e o CLP (WEG AUTOMAÇÃO, 2005).

d) Parametrização, para que o inversor funcione de forma desejável, não basta apenas instalá-lo corretamente, é preciso informar as condições em que irá operar, essa tarefa justamente é parametrizá-lo inversor de acordo com a sua necessidade, quanto maior o número de parâmetros o inversor oferece, maior será o número de recursos disponíveis (FRANCHI, 2009).

São variáveis que podem ser visualizadas no display, para a parametrização do inversor de frequência, no manual do inversor consiste em os seguintes parâmetros, parâmetros de acesso e de leitura P000 até P099, parâmetros de regulação P100 até P199, parâmetros de configuração P200 até P399, parâmetros do motor P400 até P499, parâmetros das funções especiais P500 até P699 (WEG AUTOMAÇÃO, 2005).

2.4 FREIO DE FOUCAULT

Freios de Foucault, ou Freio Eletromagnético, têm como seu principal objetivo de funcionamento a criação de correntes parasitas de Foucault, essas correntes são criadas através de bobinas eletromagnéticas de um disco metálico girante criando-se um campo magnético constante, provocando a indução das correntes parasitas de Foucault (REIS; SILVA, 2015).

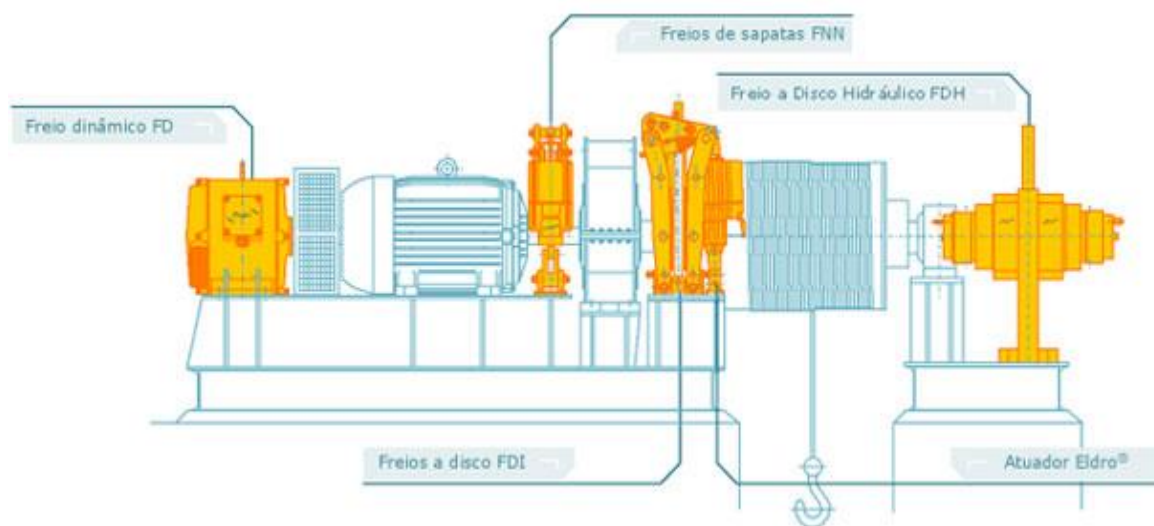
Em diversas aplicações, são necessárias velocidades intermediárias nos acionamentos industriais, seja para ajuste de posições, seja para aceleração/desaceleração suaves. Os freios dinâmicos, também conhecido como

Freio de Foucault, acoplados diretamente a motores com rotor bobinado, reduzem a velocidade quase que independentemente da carga.

Os Freios de Foucault são construídos para aplicações severas. Para tanto, a qualidade é assegurada, desde a seleção dos materiais e dos processos de produção empregados na fabricação de seus componentes até a montagem final. Simulações de funcionamento são realizadas em bancada de testes. Relatórios individuais são emitidos permitindo a rastreabilidade dos freios e de seus componentes mais críticos.

Por não se tratar de freio mecânico envolvendo atrito entre componentes, com conseqüente desgaste dos mesmos, os freios dinâmicos possuem vida útil prolongada e praticamente dispensam manutenção na figura 5 abaixo mostra um Guinchos de Mina utilizando o freio dinâmico.

Figura 5. Guinchos de Mina



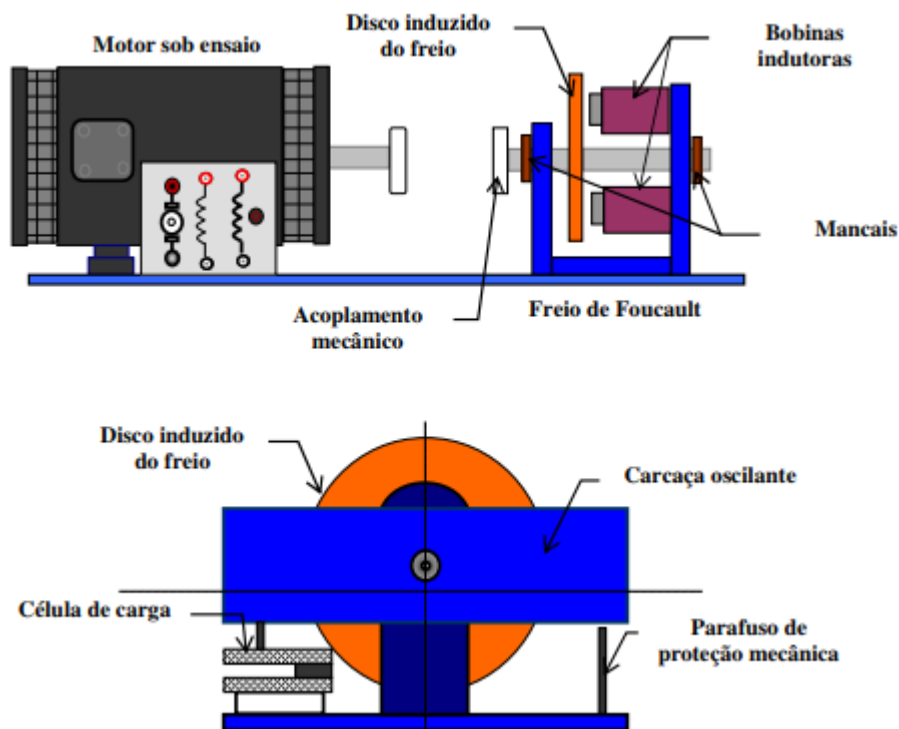
Fonte: www.emh.com.br

Os Freios Dinâmicos também conhecido como Freio de Foucault, são utilizados em pontes rolantes, pórticos e semi-pórticos, transportadores de correias, máquinas de pátio, guindastes portuários, guinchos de mina.

O disco metálico mostrado na Figura 6 tem a liberdade de girar livremente mesmo na ausência de corrente circulando nas bobinas dos eletroímãs. Ao começar a circular corrente nas bobinas destes eletroímãs, o disco é freado, pois cria um

campo magnético que atravessa o disco induzido às forças de Lorentz (REIS; KLAIBER; VISCONTI, 2015).

Figura 6. Motor de Indução trifásico com freio de Foucault



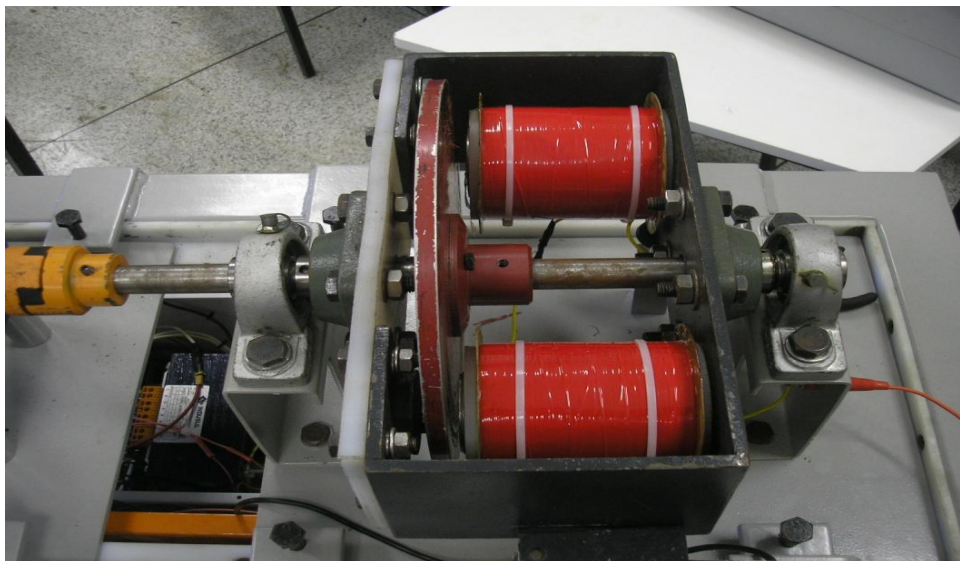
Fonte: Reis e Silva (2015).

a) Campo Magnético, o campo magnético gerado pela corrente que circula nas bobinas tem um sentido oposto ao sentido de rotação do rotor, com finalidade de reduzir a velocidade rapidamente e frear o disco, a maioria dos freios utilizados agem por meio de atrito causando desgaste e gerando calor, semelhante aos freios utilizados nos automóveis. O Freio de Foucault reduz a velocidade por meio de circulação de corrente, tendo melhor desempenho e rendimento (ALVES, 2012).

Segundo Reitz et al. (1988) como mostra a figura 6 sem a presença do campo magnético nas bobinas, o rotor funciona livremente, quando acionado o potenciômetro, as bobinas produzem um campo magnético que induz uma diferença de potencial no rotor, e as correntes de Foucault e a variação de fluxo características do movimento e estrutura do rotor, o sistema de freio é acionado. A regulagem de frenagem é acionada pelo potenciômetro, aumentando ou diminuindo sua eficácia. O

movimento do rotor produz corrente, que neste caso é detectada pelo funcionamento.

Figura 7. Freio de Foucault com a Bobinas Eletromagnéticas



Fonte: Lenzi; Ratti e Rustick, (2010)

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Local do projeto

O trabalho está sendo desenvolvida tanto a parte teórica quanto a pratica na Universidade Unifafibe, em Bebedouro SP, através de livros retirados na biblioteca para a teórica e os equipamentos do laboratório para o uso pratica.

3.1.1 Motor de indução trifásico

Foi utilizado um motor de indução trifásico de 1cv, modelo 80, marca Weg, 1730 rpm, 4 polos, com tensões de trabalho 220v e 380v, com fator de potência 0,82 no eixo desse motor será acoplado no disco de metal para que quando o motor for ligado o disco irá girar de acordo com a rotação do eixo do motor.

Figura 8. Motor de indução trifásico.



Fonte: Autoria própria (2018)

3.1.2 Inversor de frequência.

O inversor de frequência foi utilizado para o acionamento do motor de indução, controlando a velocidade do motor através da variação de frequência, o mesmo irá mostrar no display do IHM (Interação Homem Máquina), a sua tensão e frequência de trabalho, corrente do motor e velocidade de rotação.

Figura 9. Inversor de frequência



Fonte: Manual Weg CFW 10 (2012)

3.1.3 Bancada de Metal

A bancada de metal fabricada com metalão 30x40 com chapa de 1/8, com fechamento na parte superior com cantoneira de 1" espessura 1/8, nessa bancada será instalado o motor de indução trifásico e o protótipo do freio eletromagnético.

Figura 10. Bancada de metal



Fonte: Aatoria propria (2018)

3.1.4 Disco de Metal

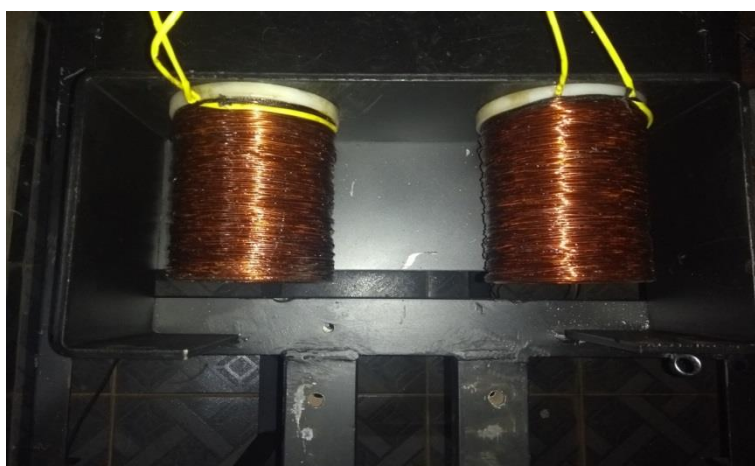
O disco de Alumínio com 73 mm espessura por 300 mm de diâmetro foi acoplado no eixo do motor, o mesmo irá girar de acordo com a rotação do motor. Quando acionado a tensão nas bobinas irá gerar um campo magnético através desse campo e terá uma frenagem no disco fazendo com que o motor reduza a sua velocidade.

Figura 11. Disco de Alumínio

Fonte: Autoria propria (2018)

3.1.5 Bobinas eletromagnéticas

Foram construídas duas bobinas iguais, com os mesmos polos e com 2090 espiras cada uma. Na construção das bobinas foi usado o cabo de cobre 18 AWG. A medida de resistência de cada bobina ficou em torno de 20Ω (medidos). As bobinas eletromagnéticas geram um campo magnético quando é inserido uma corrente elétrica no seu enrolamento de fio, através do campo magnético gerado, isso faz com que a frenagem do disco aconteça.

Figura 12. Bobinas eletromagnéticas

Fonte: Autoria propria (2018)

3.1.6 Disjuntor

O disjuntor servirá de proteção para a ligação do inversor de frequência.

Figura 12. Disjuntor



Fonte: Catálogo Schneider Electric Disjuntores.

3.1.7 Cabos tipo Banana

Os cabos tipo banana servirão para ligação do motor para o inversor e do inversor para o disjuntor de proteção.

Figura 13. Cabos



Fonte: Autoria propria (2018)

3.1.8 Procedimento

O trabalho consiste na montagem de um freio eletromagnético também conhecido como Freio de Foucault, este sistema é utilizado para verificar o desempenho da força de motores. O motor em análise por sua vez, será acionado por um inversor de frequência, ajustando a velocidade da máquina de indução sem alterar seu torque de saída.

Um disco de metal girante está preso em um eixo acoplado no rotor do motor. Ao alimentar as duas bobinas próximas ao disco um campo magnético é gerado, esse fluxo percorre o disco criando desta maneira um campo magnético entre as bobinas e o mesmo. Este fluxo se comporta como uma carga conectada ao eixo do equipamento, ou seja, quanto maior o fluxo circulando pelo campo magnético maior é o conjugado no motor, fazendo reduzir a velocidade do motor e em casos extremos até a parada total do mesmo, ou seja, a frenagem do motor é realizada de forma eletromagnética através das correntes parasitas induzidas.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A princípio era simular uma carga no eixo do motor, no primeiro teste utilizamos duas bobinas de máquina de lavar roupa ligadas 127Vca não deu certo quando energizava as bobinas elas não conseguia fazer a frenagem do disco de ferro.

Partimos para a segunda opção utilizamos duas bobinas de micro-ondas ligadas em 127 Vca, com uma corrente de 17 A, passou ter uma corrente alta, mais não foi suficiente para frear o disco de ferro.

A nossa terceira opção foi a fabricação de duas bobinas tipo carretel com 1145 espiras ligadas em 12 Vcc, quando energizadas o campo magnético não foi suficiente para frear o disco de ferro.

Nossa quarta opção foi uma fabricação de um disco de Alumínio, a princípio parecia que iria funcionar, mais as bobinas não foi suficiente para frear o disco de alumínio.

Partimos para sexta opção aumentando os números de espiras nas de 1145 para 2090, não conseguimos obter um resultado expressivo para o nosso Trabalho.

Após vários testes e discussões chegamos a uma conclusão que tínhamos, que aumentar a tensão aplicada nas bobinas, aonde pegamos duas fontes de alimentação em corrente contínua ligamos em série para aumentar a tensão em 60Vcc após esta análise conseguimos melhorar os resultados do trabalho.

Fizemos testes finais com três fontes de alimentação em corrente contínua ligadas em série com uma tensão de 90Vcc após esse teste conseguimos obter um resultado maior, que será mostrado em nossa planta didática.

Na tabela abaixo mostra algumas medições feitas ao energizarmos as bobinas eletromagnéticas com uma corrente contínua, utilizamos três fontes de 30 Vcc ligadas em série com uma corrente de 3A cada, o primeiro teste ligamos apenas uma fonte de 30Vcc com uma corrente de 1,41A, no segundo teste ligamos duas fontes em série com 60Vcc com uma corrente de 2,91A, no terceiro teste ligamos as três fontes em série com 90Vcc com uma corrente de 4,40A, após ligarmos as três começamos a variar a tensão Vcc para obter os seguintes resultados.

Tabela 1. Tabela de Medição

TABELA DE MEDIÇÃO				
Alimentação do Motor Vca	Frequência de Funcionamento (Hz)	Corrente de Funcionamento	Velocidade do Motor	Tensão das Fontes Alimentação
220V	45 Hz	2,8 A	1297 rpm	0 Vcc
220V	45 Hz	2,9A	1297 rpm	30 Vcc
220V	35 Hz	3,7 A	1009 rpm	45Vcc
220V	25 Hz	4,65 A	721 rpm	60 Vcc
220V	10Hz	5,6 A	288 rpm	90 Vcc

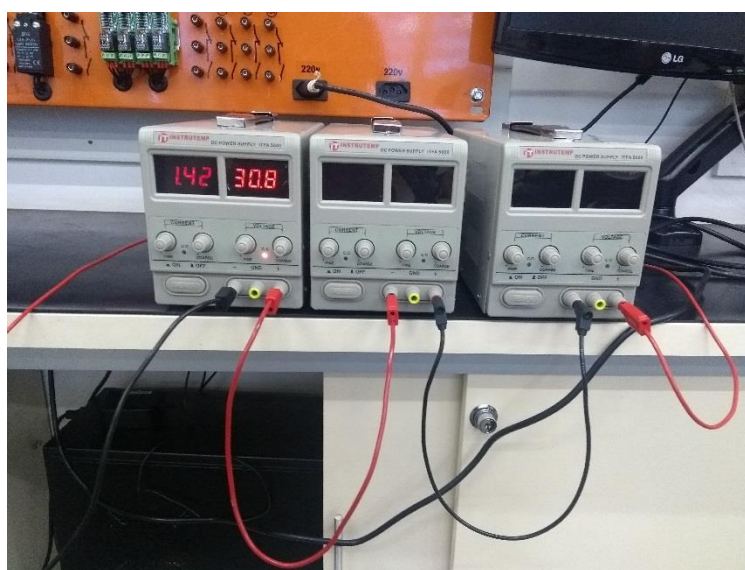
Fonte: Autoria própria (2018).

Na figura 14 mostramos as três fontes ligadas em série.

Figura 14. Fontes Ligadas em Série

Fonte: Autoria própria (2018)

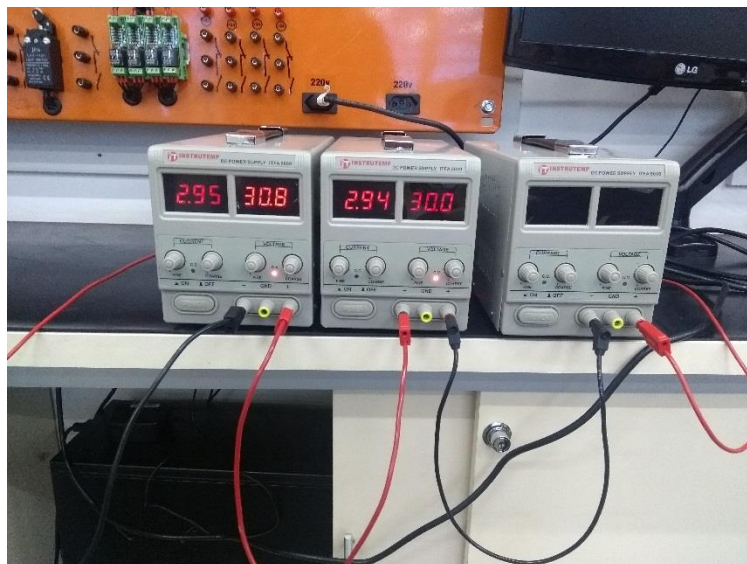
Na figura 15 mostramos as três fontes ligadas em série com uma energizada com 30Vcc aplicando uma corrente contínua nas bobinas de 1,42A.

Figura 15. Fontes Ligadas em Série com 30Vcc.

Fonte: Autoria própria (2018)

Na figura 16 mostramos as três fontes ligadas em série com uma energizada com 60Vcc aplicando uma corrente contínua nas bobinas de 2,95A.

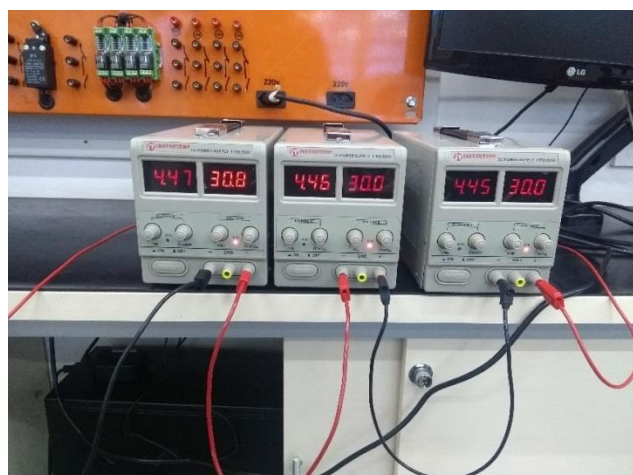
Figura 16. Fontes Ligadas em Série com 60Vcc.



Fonte: Autoria própria (2018)

Na figura 17 mostramos as três fontes ligadas em série com uma energizada com 90Vcc aplicando uma corrente contínua nas bobinas de 4,45A.

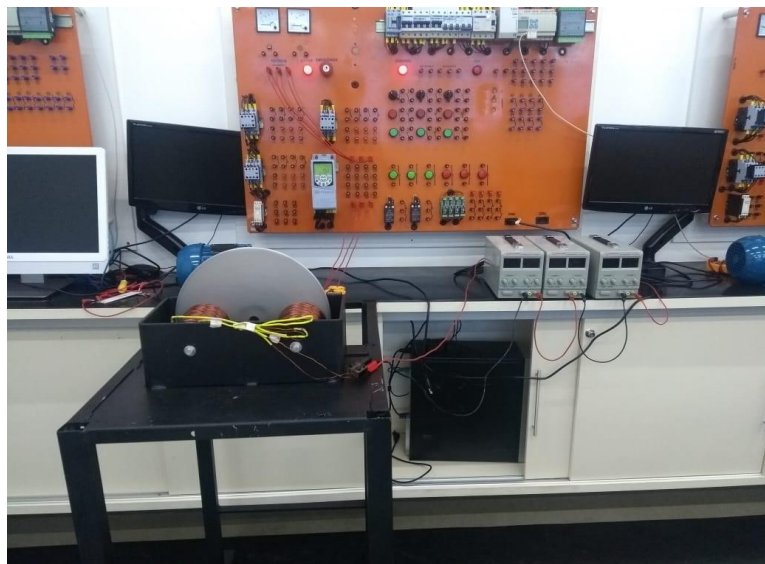
Figura 17. Fontes Ligadas em Série com 90Vcc



Fonte: Autoria própria (2018)

Na figura 18 mostramos a imagem do desenvolvimento da planta didático do Freio de Foucault utilizado em nosso Trabalho de Conclusão do Curso.

Figura 18. Planta Didático



Fonte: Autoria propria (2018)

5 CONCLUSÃO

O trabalho atingiu plenamente os objetivos delineados previamente pela pesquisa, que era o desenvolvimento de um Freio Eletrodinâmico para simulação de carga no eixo do motor com fins didático.

Testes realizados no laboratório de Máquinas Elétricas com o auxílio do inversor de frequência comprovaram os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. São Paulo- SP, 2000.

ALVES, T.Q et al 2012; **Freios Eletromagnéticos**: Atividade avaliativa discente para a disciplina de Elementos de Maquinas 2, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Recife.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15.ed. Rio de Janeiro- RJ: LCT, 2014.

Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Elétrica, Bebedouro SP, 1 (1): 203-224, 2018. unifafibe.com.br/revistaeletrica/

FRANCHI, Claiton. **Acionamentos Elétricos**. 3. Ed São Paulo: Érica, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 5.ed. São Paulo-SP: Érica, 2014.

GUEDES, Sersan Dias. **Projeto de Inversor Trifásico Aplicado ao Acionamento de Motor de Indução**. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2015.

KICH, F. M., 2011. **Bancada Dinamométrica Para a Medição de Rendimentos de Sistemas de Transmissão Mecânica**. Monografia (Trabalho de Conclusão) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOBOSCO, O.S., DIAS, L.P.C. **Seleção e aplicação de motores elétricos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2013.

NASCIMENTO, G. **Comandos Elétricos Teoria e Atividades**. São Paulo-SP: Érica, 2011.

OLIVEIRA, W.R., (2013). **Uma avaliação sobre inversores de frequência e distorções harmônicas e inter-harmônicas**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 02/2013, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília,DF.

PEREIRA, A. H., 2006; **Freio Eletromagnético Para Ensaio de Motores Elétricos de Indução**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

REIS, Luiz Octávio Mattos dos; SILVA, Valberto Ferreira da. **Aspectos técnicos sobre o funcionamento e a utilização do freio de foucault**. Taubaté: Schooltec Treinamentos Técnicos, 2015.

REIS, Luiz Octávio Mattos dos; KLAIBER, Walter; VISCONTI, Antonio Carlos. **Aspectos técnicos sobre o funcionamento e a utilização dos freios eletrodinamométricos**. Taubaté: Lorenzo do Brasil, 2015.

REITZ, J. R., Milford, R. J., Christy, R. W., **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**, 3 ed., Editora Campos, Rio de Janeiro, 1988.

STEPHAN, R. M. **Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas**, Ciência Moderna, 2013.

TORO, Vincent del. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1990.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed., Porto Alegre: AMGH, 2014

WEG. **Catálogo Geral de Motores Elétricos**: Características, especificação, instalação e manutenção. Jaraguá do Sul, SC, 2004.

WEG Automação. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência**. WEG. [Online] www.weg.com.br. 3ª Edição, 2005.

Recebido em 3/12/2018

Aprovado em 19/12/2018