

FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO: Estudo de Caso

Alexandre Soares Faustino

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Thiago Raniel

Mestre em Engenharia Elétrica (Automação) – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Daniela Cabral de Oliveira

Mestra em Engenharia Mecânica – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS

RESUMO

Este estudo tem como finalidade descrever os tipos de motores elétricos de indução com ênfase no motor de indução trifásico (MIT). O objetivo é apresentar as características físicas, construtivas e elétricas e analisar as principais causas de falhas ocorridas de forma prematura ou por vida útil do componente aplicado aos motores MIT. Com base em um registro de ocorrências de aproximadamente três anos em uma fábrica de Celulose que possui um parque instalado de 2761 motores, foi possível identificar os principais componentes destes equipamentos que apresentaram falhas. Além disso, com o auxílio das orientações dos fabricantes quanto a cada uma das falhas ocorridas, dos principais dispositivos aplicados para proteção e monitoramento on-line e das técnicas preventivas e preditivas foi possível reduzir ou até mesmo eliminar as paradas do processo. Portanto, a vantagem para um processo industrial é sempre uma maior disponibilidade dos equipamentos para o processo produtivo, associado a uma redução dos custos.

PALAVRAS-CHAVE: motor de indução trifásico; falhas; monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

Os motores de indução trifásico (MIT) deste estudo de caso têm como características elétricas e construtivas: carcaça do tamanho 71 até 500, grau de proteção IP55, tensão de alimentação 660 V, frequência 60 Hz, fator de serviço S1, potência de 0,37 kW até 1200 kW (WEG, 2016).

As principais falhas encontradas nos MIT são: falhas em rolamentos, falha de baixa isolamento e falha de curto-circuito.

Essas falhas geram impacto ao processo produtivo, provocando perda de produção para a empresa.

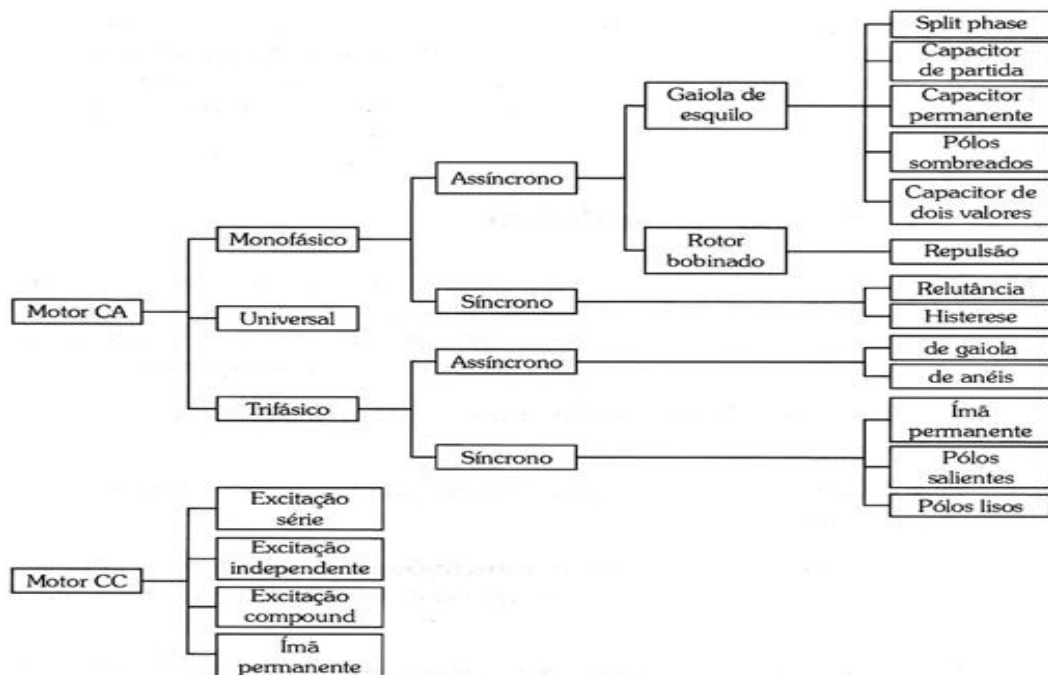
Para o monitoramento das falhas são utilizadas técnicas de manutenção preventiva (testes de isolamento e teste de resistência ôhmica), rotas de inspeção visual e técnicas de manutenção preditiva (monitoramento de vibração e monitoramento de temperatura).

1.1 Motor de Indução Trifásico (Mit)

O motor elétrico é uma máquina destinada a converter a energia elétrica em energia mecânica a fim de produzir trabalho no sistema mecânico com funcionamento baseado no princípio do eletromagnetismo.

Os motores podem ser divididos em motor corrente contínua (CC) e motor corrente alternada (CA). A figura 1 apresenta os tipos de motores CA e CC.

Figura 1. Tipos de motores.



Fonte: Extraído de Catálogo Técnico WEG, 2017.

Os principais tipos e vantagens dos motores de corrente alternada CA trifásicos são: (i) motor síncrono: opera com velocidade fixa, sendo utilizado para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade constante e (ii) motor assíncrono: funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo.

O motor de indução trifásico apresenta-se atualmente como uma boa opção para acionamentos controlados, pois possui algumas vantagens sobre o motor de corrente contínua. Entre estas vantagens, podem-se citar: o custo do MIT é muito menor que o motor CC de mesma potência, a manutenção do MIT é mais simples e menos onerosa e o consumo de energia do MIT nos processos de aceleração e frenagem é menor (WEG, 2016).

A desvantagem é a dependência entre fluxo e a tensão do estator, limitando a faixa de variação de velocidade do motor, porém com o uso de sistemas eletrônicos como o inversor de frequência é possível controlar a tensão, frequência e torque dos motores.

A evolução dos motores elétricos de indução em CA quanto à economia de energia pode ser constatada conforme a Figura 2.

Figura 2. Evolução dos MITs.



Fonte: Extraído de Catálogo Técnico WEG, 2017.

Atualmente, devido às exigências de conservação ambiental, os principais fabricantes oferecem motores com maior eficiência energética, térmica, com menos ruídos e vibrações. Além disso, fabricam motores com facilidade de manutenção para serem aplicados em processos que exigem velocidades variáveis com flexibilidade e modularidade (WEG, 2017, p.2).

Em relação ao consumo de energia elétrica no Brasil, os motores de indução trifásicos são os responsáveis pela maior parcela do consumo (MME, 2017), porém a Associação Brasileira de Normas Técnicas e internacionais (ABNT) que estabelecem requisitos mínimos para os MIT estabelece aos fabricantes produzirem motores de alto rendimento.

Os custos com manutenção em equipamentos dentro da indústria representam um valor elevado no custo final da produção. Por se tratarem de equipamentos utilizados extensivamente nas fábricas e de importância para o processo produtivo, se faz necessário manter um programa de manutenção prevenindo as falhas e mantendo o equipamento em operação.

1.2 Características Construtivas do MIT

Todos os fabricantes de motores no Brasil devem seguir as normas da ABNT para que as dimensões dos motores sejam as mesmas para cada faixa de potência (ABNT NBR-15623, 2018), sendo que estes possuem diversos componentes internos como ilustrados na Figura 3.

Figura 3. Componentes de um motor MIT.



Fonte: Extraído de Catálogo Técnico WEG, 2017.

1.2.1 Formas Construtivas Normalizadas

“Forma construtiva é o arranjo das partes construtivas das máquinas com relação a sua fixação, a disposição de seus mancais e a ponta de eixo; que são padronizadas pelas normas” (WEG, 2017 apud FAUSTINO, 2018).

Os motores podem ser fabricados com pés ou flangeados (Figura 4).

1.3 Características Elétricas do MIT

O fabricante projeta um motor adotando o seguinte padrão: (i) características da rede elétrica de alimentação do motor; (ii) características da carga a ser acionada e (iii) condições em que o motor irá funcionar.

“O conjunto desses valores constitui as características nominais do motor, sendo que o fabricante comunica estas informações através da placa de identificação do motor conforme figura 5” (WEG, 2016 apud FAUSTINO, 2018).

Figura 4. Forma construtiva.

Forma Construtiva	Configuração							
	Referência	B3E	B3D	B5E	B5D	B35E	B35D	B14E
Detalhes	Carcaça	com pés	com pés	sem pés	sem pés	com pés	com pés	sem pés
	Ponta de eixo	à esquerda	à direita	à esquerda	à direita	à esquerda	à direita	à esquerda
	Fixação	base ou trilhos	base ou trilhos	flange FF	flange FF	base ou flange FF	base ou flange FF	flange FC
Forma Construtiva	Configuração							
	Referência	B14D	B34E	B34D	V5	V6	V1	V3
Detalhes	Carcaça	sem pés	com pés	com pés	com pés	com pés	sem pés	sem pés
	Ponta de eixo	à direita	à esquerda	à direita	para baixo	para cima	para baixo	para cima
	Fixação	flange FC	base ou flange FC	base ou flange FC	parede	parede	flange FF	flange FF
Forma Construtiva	Configuração							
	Referência	V15	V36	V18	V19	B6	B7	B8
Detalhes	Carcaça	com pés	com pés	sem pés	sem pés	com pés	com pés	com pés
	Ponta de eixo	para baixo	para cima	para baixo	para cima	para frente	para frente	para frente
	Fixação	parede ou flange FF	parede ou flange FF	flange C	flange C	parede	parede	teto

Fonte: Extraído de Catálogo Técnico WEG, 2017.

Figura 5. Placa de dados de um motor.

WEG W22 Premium		RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA APROVADOS PELO INMETRO		CE		PROGEL		NBR - 17094-1:2008		INMETRO	
21SEP10 1000000000		~ 3 kW(HP-cv) 75(100)		250S/M							
MOTOR INDUÇÃO - BAIXA INDUCT. MOTOR-SQUERREL CAGE		FS SF 1.25		Hz 60							
V 220/380/440		A 236/137/118									
RPM min-1 1780		η 7.5		P.F. 0.87							
RED DUTY S1		REND(%) 95.5		AMB. 40°C							
ISOL INSL F ΔI 80 K CAT DES N		M.F.S. S.F.A. 295/171/148 A									
IPW55 All 1000		m.a.a.m. m.a.a.l. 527 kg									
										→ 6314-C3(27g) MOBIL POLYREX EM → 6314-C3(27g) 12000 h	

Fonte: Manual de operação e instalação WEG, 2016.

1.3.1 Velocidade (RPM)

1.3.1.1 Velocidade Síncrona

“A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de polos do motor e da frequência da rede”, (WEG, 2016, p.14), conforme a equação 1:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Sendo:

f: Frequência;

p: Número de polos;

n_s : Velocidade síncrona.

As velocidades síncronas são apresentadas conforme tabela 1, em função do número de polos do motor e a frequência de trabalho.

Tabela 1. Velocidades síncronas.

Nº de polos	Rotação síncrona por minuto	
	60 Hz	50 Hz
II	3600	3000
IV	1800	1500
VI	1200	1000
VIII	900	750
X	720	600

Fonte: Extraído de Catálogo Técnico WEG (2017)

1.3.1.2 Velocidade Nominal

“É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais, dependendo do escorregamento e da velocidade síncrona”, conforme expressa a equação 2:

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s\%}{100}\right) \text{ rpm} \quad (2)$$

Sendo:

n_s : Velocidade síncrona;

n: Velocidade;

s: Escorregamento;

rpm: Rotação por minuto.

A diferença entre a velocidade do motor (n) e a velocidade síncrona (n_s) chama-se escorregamento (s), que pode ser expresso em rotações por minuto (rpm), como fração da velocidade síncrona, ou em porcentagem (WEG, 2016 apud FAUSTINO, 2018). A equação 3 descreve o cálculo do escorregamento em rpm e o cálculo do escorregamento em %:

$$s(\text{rpm}) = n_s - n; \quad s = \frac{n_s - n}{n_s}; \quad s(\%) = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo:

n_s : Velocidade Síncrona;

n : Velocidade;

s : Escorregamento;

rpm: Rotação por Minuto.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como finalidade descrever os tipos de motores elétricos de indução com ênfase no motor de indução trifásico (MIT), apresentando características construtivas e elétricas. Identificando as principais causas de falhas ocorridas de forma prematura ou por vida útil do componente aplicado aos motores MIT com base em um histórico de uma fábrica de celulose de um período de três anos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Motor de Indução Trifásico

No presente trabalho foram apresentadas as principais falhas apresentadas nos motores MIT utilizando os dados de uma fábrica de celulose instalada na cidade de Três Lagoas no estado do Mato Grosso do Sul, avaliando um banco de dados nos anos de 2015, 2016 e 2017.

Esta fábrica possui um parque instalado de 2761 motores MIT e 300 motores reservas armazenados no almoxarifado sendo que o regime de trabalho dos motores é de 24 horas por dia em 355 dias no ano.

As principais características mecânicas e elétricas dos motores foram: (i) fabricante WEG; (ii) carcaça do tamanho 71 até 500; (iii) grau de proteção IP55; (iv) tensão de alimentação 660v; (v) frequência 60hz; (vi) fator de serviço S1 e (vii) potência de 0,37-1200 kw.

Com base nas literaturas, manuais, guias e catálogos da WEG, situada em Jaraguá do Sul no estado de Santa Catarina para embasar o presente trabalho.

Através da estratificação do banco de dados de 2015, 2016 e 2017 foi possível avaliar que a equipe de manutenção da fábrica executou o reparo dos motores conforme indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de motores reparados.

ANO	QUANT. MOTORES REPARADOS
2015	87
2016	311
2017	220
TOTAL	618

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram reparados 618 motores, divididos em reparo interno e externo conforme Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de motores reparados internamente e externamente.

ANO	QUANT. MOTORES REPARADOS	REPARO INTERNO	REPARO EXTERNO
2015	87	41	46
2016	311	189	122
2017	220	120	100
TOTAL	618	350	268

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1.1 Falhas em Rolamentos

Os rolamentos utilizados nos motores dependem da aplicação do equipamento no processo e podem ser do tipo esferas ou rolos sendo que a falha apresentada foi devido à vida útil do próprio rolamento ou de forma prematura conforme Figura 6.

Figura 6. Falhas em rolamentos.



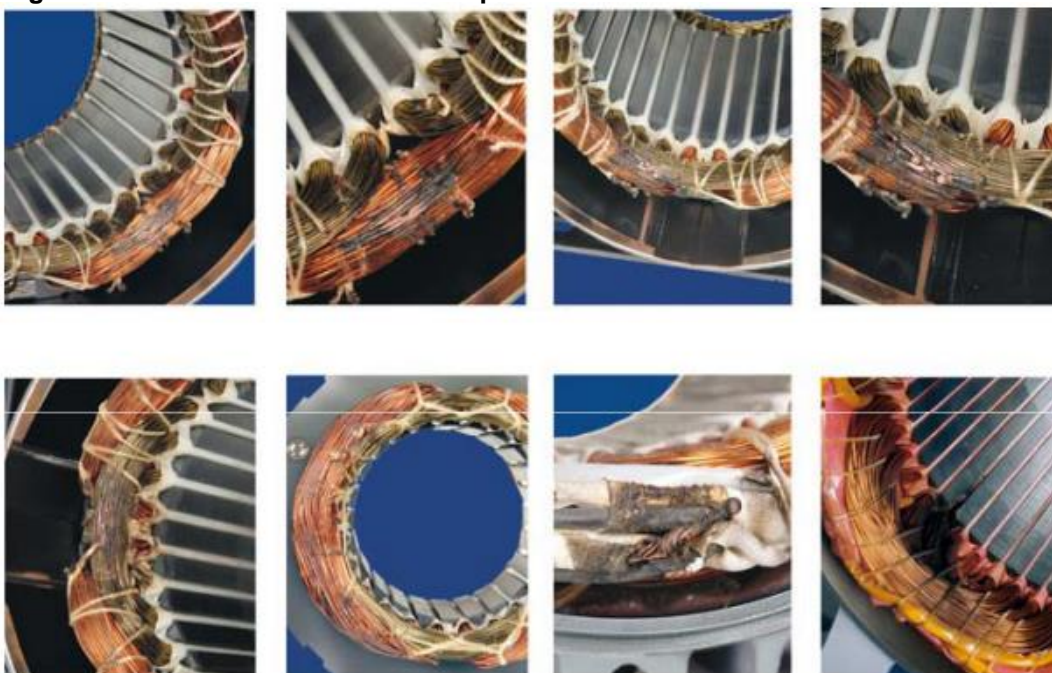
Fonte: Extraído de SKF, 2018.

A vida média dos rolamentos aplicados nos motores foi aproximadamente de 50.000 horas, sendo que nenhum dos motores apresentou esse número de horas trabalhadas.

3.1.2 Curto Circuito Entre Espiras

A deterioração do isolamento do estator normalmente começou com curto circuito envolvendo poucas espiras da mesma fase. A corrente de falta de aproximadamente duas vezes a corrente de rotor bloqueado provocou aquecimento nas seções do enrolamento. A Figura 7 apresenta os diversos estados do motor após o curto entre espiras.

Figura 7. Falha curto circuito entre espiras.



Fonte: Extraído de WEG, 2016.

A Tabela 4 mostra os valores de resistência entre fases recomendados pelo fabricante para os motores durante realização do teste de resistência entre fases, através da divisão do menor valor de resistência pelo maior valor identificado durante o teste.

Tabela 4. Cálculo de resistências entre fases.

DIAGNÓSTICO DE RESISTÊNCIA ENTRE FASES	
Cálculo da maior diferença em % entre os valores medidos (menor/menor - 1x100)	
ALARME	>10%
ALERTA	6%-10%
NORMAL	<5%

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1.3 Baixa Isolação

A falha de baixa isolação foi provocada por umidade interna no motor ou danos no material isolante.

Para avaliar a condição de isolamento mínima do motor durante o teste de isolamento por 1 minuto utilizou a equação 4:

$$R_i = V_n + 1M\Omega \quad (4)$$

Sendo:

Ri: Resistência de isolamento;

Vn: Tensão nominal do motor em kV.

Para a medição de resistência de isolamento foi realizada a correção de temperatura pelo produto da resistência de isolamento e do fator KT, expresso pela equação 5.

$$R_i(40\text{ }^\circ\text{C}) = R_i(t) \cdot \text{Fator KT} \quad (5)$$

Sendo:

Ri: Resistência de isolamento;

KT: Fator de correção de temperatura.

Verificou a temperatura do motor conforme tabela 5 e avaliou o valor correto utilizado no cálculo de resistência de isolamento.

Tabela 5. Cálculo correção de temperatura.

CORREÇÃO DE TEMPERATURA PARA 40 °C			
Ri(40°C)=Ri(t) x Fator KT			
Ri – resistência de isolamento			
Temp. °C	Fator KT	Temp. °C	Fator KT
110	128	50	2,00
100	64	45	1,50
90	32	40	1,00
80	16	35	0,75
75	12	30	0,50
70	8	25	0,37
65	6	20	0,25
60	4	15	0,18
55	3	10	0,12

Fonte: Elaborado pelos autores.

Através do teste de resistência de isolamento foi possível avaliar o índice de polarização (IP), índice de absorção (IA) e índice de envelhecimento do motor, definindo a classificação, conforme Tabela 6.

Com o índice de polarização, determinou e detectou quais os níveis de umidade, poeira e contaminação nos enrolamentos do motor. Assim foi comparada a gradual deterioração do material isolante.

Com o índice de absorção, determinou o grau de contaminação nos materiais isolantes do motor. Assim, foi possível avaliar o nível de segurança do motor.

Os testes de índice de polarização e absorção deram indícios da situação do material isolante.

Tabela 6. Diagnóstico resistência de isolação.

DIAGNÓSTICO RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO		
IA – ÍNDICE DE ABSORÇÃO		
IP – ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO		
IA = Ri (1 min) / Ri (1/2 min)		
IP = Ri (10 min) / Ri (1 min)		
OBS.: Ri à 40 °C (Calculado)		
CLASSIFICAÇÃO	IA	IP
PERIGOSO	-----	<1,0
POBRE	<1,1	<1,5
QUESTIONÁVEL	1,5 à 1,25	1,5 à 2,0
REGULAR	1,25 à 1,4	2,0 à 3,0
BOM	1,4 à 1,6	3,0 à 4,0
EXCELENTE	>1,6	>4,0

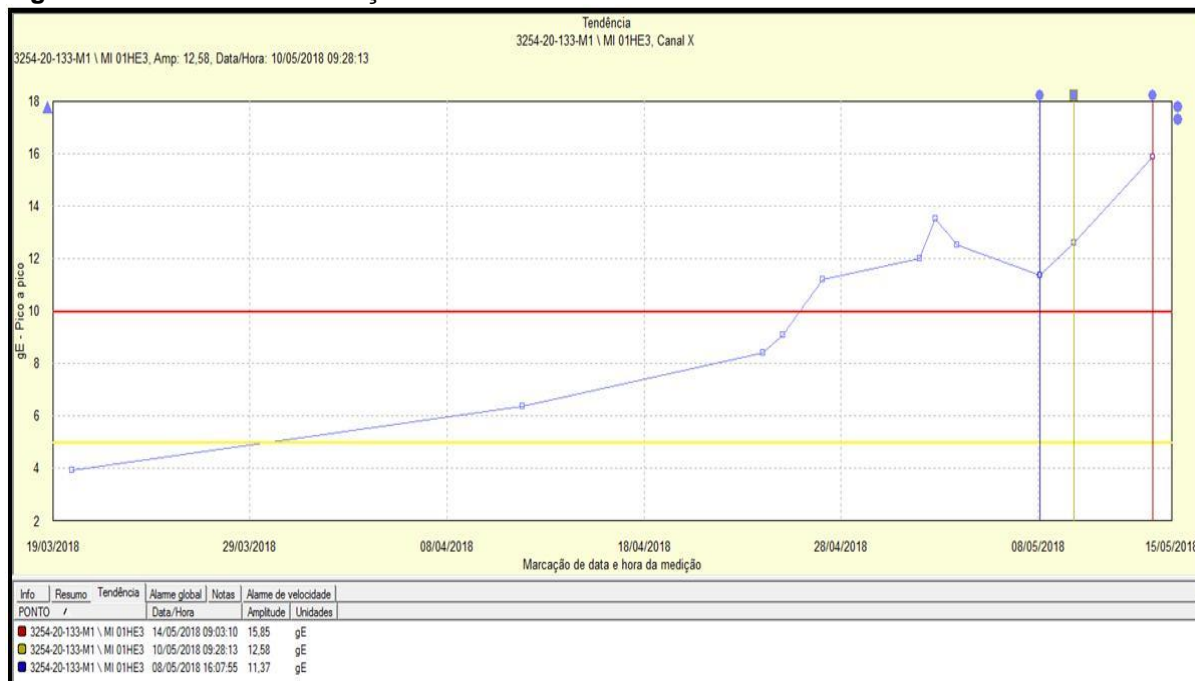
Fonte: Elaborado pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Reparos Internos

Por definição da empresa analisada os reparos internos corresponderam a pequenos reparos como substituição de peças e substituição de rolamentos.

Figura 8. Tendência de vibração de um motor.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os reparos internos correspondem a 56% do total de motores reparados, sendo a substituição dos rolamentos/mancais dianteiros ou traseiros que

apresentaram falhas. As falhas em rolamentos foram identificadas por técnica preditiva de monitoramento de vibração ou após a parada por falha do equipamento.

4.1.1 Falhas em Rolamentos

O monitoramento do motor que em determinado período apresentou vibração gerada por falha nos rolamentos acima do limite aceitável, então solicitou a substituição do motor. A imagem evidencia o registro periódico dos níveis classificados como: normal (abaixo da linha amarela), alerta (entre as linhas amarela e vermelha) e crítico (acima da linha vermelha), conforme demonstrado na Figura 8.

4.2 Reparos Externos

Por definição da empresa os reparos externos correspondentes a queima de motores devido baixa isolamento ou curto circuito entre espiras.

Os reparos externos correspondem a 43% do total de motores reparados. As queimas dos motores foram por baixa isolamento ou curto circuito entre espiras, sendo identificadas após as manutenções corretivas.

4.2.1 Curto Circuito Entre Espiras

Através da medição de resistência entre as fases utilizou um micro-ohmímetro onde foi possível verificar os valores de resistência a avaliar a condição do motor. Na Figura 9, o teste do motor aplicou uma corrente de 10 mA.

Figura 9. Teste de resistência entre fases.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante o teste de resistência entre fases foi confirmada que a resistência do equipamento analisado foi de 0,319 ohms e equilibrada entre as 03 fases conforme Figura 10.

Figura 10. Resistência entre fases equilibrada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Baixa Isolação

Para a medição de resistência de isolação entre fase e terra foi utilizado um megômetro, verificando os valores de resistência de isolação do motor. Os testes de isolação medindo o índice de absorção (IA) duraram 1 minuto e o índice de polarização (IP) durou 10 minutos. Na Figura 11, o teste do motor foi aplicado uma tensão de 1000 V.

Figura 11. Teste de resistência de isolação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante o teste de resistência de isolamento entre fase e terra por um período de 1 minuto foi confirmada que a resistência do equipamento analisado foi de 92,5Gohms conforme a Figura 12.

Figura 12. Resistência de isolamento por 1 minuto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÃO

Com isso foi possível concluir que os motores MIT desempenham papel crucial no desenvolvimento dos equipamentos para as indústrias e diversos eletrodomésticos.

A análise das principais falhas apresentadas e as ações aplicadas para o monitoramento possibilita uma disponibilidade do equipamento para o processo.

As técnicas preventivas e preditivas, associadas a uma rota de inspeção mantem o equipamento motor operando o maior tempo possível e com o mínimo de impacto ao processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Norma Brasileira – NBR 5422/2005.1985. Disponível em <http://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

SKF. Rolamentos de Esfera SKF. Disponível em: <http://www.skf.com/binary/82-121486/10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf>. Acessado em: 18 de maio de 2018.

WEG. Catálogo Técnico WEG. Disponível em:<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acessado em: 11 de abril de 2018.

WEG. Guia de Especificação Motores Elétricos WEG. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>. Acessado em: 10 de abril de 2018.

WEG. Manual Geral de Operação e Manutenção de Motores Elétricos WEG. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-iom-general-manual-of-electric-motors-manual-general-de-iom-de-motores-electricos-manual-geral-de-iom-de-motores-electricos-installations-betriebs-und-wartungsanleitung-fur-elektrische-motoren-50033244-manual-english.pdf>>. Acessado em: 10 de abril de 2018.