

## ENSAIO DE TANGENTE DELTA EM MOTORES DE MÉDIA TENSÃO: Manutenção preditiva em motores CA de 4.16 kV

Diego Cordeiro de Oliveira<sup>1</sup>; Heitor Ferreira Paulino<sup>1</sup>; Mariana Costa Falcão<sup>2,6</sup>; Jair Antônio Longo Junior<sup>3,6</sup>; Thiago Raniel<sup>4,6</sup>; Rogério Henrique Zuliani Scheolin<sup>5,6\*</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro eletricitista – FITL/AEMS; <sup>2</sup> Engenheira eletricitista – UNESP; Mestre em engenharia elétrica – UNESP; Doutoranda em engenharia elétrica – UNESP; <sup>3</sup> Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP; <sup>4</sup> Mestre em Engenharia Elétrica (Automação) – UNESP; <sup>5</sup> Engenheiro eletricitista – UNESP; <sup>6</sup> Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

\* Autor correspondente: rhzuliani@yahoo.com.br

### RESUMO

Este artigo tem como objetivo explicar a funcionalidade do ensaio em motores de indução trifásico em corrente alternada na tensão de quatro mil cento e sessenta volts, associando os ensaios de acordo com a norma 286-2000 do Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica, IEEE. Nesta norma, é descrito a prática recomendada para medição da redução do fator de potência da isolação de bobina de máquinas elétricas, exemplificando as equações utilizadas e representando na prática o que esse ensaio pode refletir no conhecimento da condição da isolação das bobinas da máquina. Além disso, é possível levantar a condição da vida útil do motor elétrico, ou seja, classificar de forma prática e objetiva o nível de envelhecimento do dielétrico em análise, descrevendo a configuração do teste com o passo a passo dos ajustes de configuração do software e valores do capacitor e indutor acoplados no motor. Entretanto, esse ensaio pode ser utilizado para método preditivo e inserido na indústria 4.0 também conhecida como quarta revolução industrial e contribuir para a gestão do ativo, antecipando consideravelmente a indicação de um início de anormalidade na isolação da bobina, permitindo ao gestor de manutenção de ativos a programação antecipada para o reparo ou substituição do motor elétrico de corrente alternada da máquina, garantindo uma melhor gestão de ativos.

**PALAVRAS-CHAVE:** tangente delta; fator de potência; isolação; motor; bobina.

### 1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica chega às fábricas com a indústria 4.0 ou quarta revolução industrial (Klaus Schwab, A Quarta Revolução Industrial, 2016). Neste contexto, a predição de falhas é apontada como a quinta etapa na modernização e controle absoluto da gestão dos parques fabris. A utilização de sistemas automatizados aponta com antecedência os possíveis problemas envolvendo máquinas e equipamentos. Por meio de ferramentas de medição, conectividade e do acompanhamento em tempo real da capacidade produtiva, dos históricos de cada equipamento, das intervenções da área de manutenção e dos

controles na substituição das peças de cada máquina é possível evitar a onerosa parada inesperada na produção. Além disso, prejuízos, retrabalhos, equipes paradas, falta de peças, alto custo de aquisição de material e contratação de mão de obra especializada em caráter emergencial, horas extras de equipes internas e outros fatores são evitados com a implantação desta importante etapa da indústria 4.0 (BRASIL LOGIC SISTEMAS, S.D.).

Os motores são um dos mais numerosos ativos elétricos de uma fábrica, e como protagonista o motor de indução é o mais utilizado devido as suas diversas vantagens como por exemplo, o baixo custo em manutenção, montagem,

fabricação e simplicidade em relação aos motores de corrente contínua. O funcionamento do motor de indução se baseia na criação de um campo magnético rotativo, ou campo girante. Uma tensão alternada aplicada ao estator do motor cria um campo girante, que a partir de então produz um campo magnético rotativo que atravessa os condutores do rotor. Este campo magnético girante criado pelo rotor tenta se alinhar com o campo girante do estator, que produz um movimento de rotação no rotor. Os motores elétricos trifásicos podem ser facilmente encontrados nas indústrias para as mais variadas aplicações como em torno, fresa, esteiras rolantes, além de outras aplicações fora das indústrias, como em elevadores e escadas rolantes (MUNDO DA ELÉTRICA, S.D.).

A norma 286-2000 do Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (IEEE) trata das práticas recomendadas para medição da redução do fator de potência do isolamento da bobina do estator de máquinas elétricas, essa recomendação chamada tecnicamente de ensaio de tangente delta é um dos ensaios tratados na bateria de testes realizados no motor em estudo. O intuito de realizar o ensaio de medição de tangente delta do isolamento nada mais é que levantar a condição da vida útil da isolação da bobina da máquina elétrica, ou seja, determinar o nível de envelhecimento do dielétrico em análise. A medição de tangente delta é realizada pela injeção de tensão AC nos terminais do motor variando-a em passos de 10%, a uma razão de 1 kV por min, até atingir no máximo, 100% da tensão nominal fase-terra. Em cada ponto de tensão é medida a corrente resistiva e capacitiva que flui pelo dielétrico e assim determina-se o valor de tangente delta. De acordo com o IEEE, outro ensaio que deve ser levado em conta é a medição da capacitância, que é “a propriedade de um sistema de condutores e dielétricos que permite o armazenamento de cargas separadas separadamente quando existem

diferenças de potencial entre os condutores. Capacitância (C) é a razão entre uma quantidade (q) da carga elétrica armazenada em um capacitor e o potencial diferença (V)”. Para execução desse teste, uma fonte de tensão e de corrente AC, é conectada entre os terminais da bobina do motor e o terminal de terra e é realizada a leitura da corrente capacitiva, determinando assim, a capacitância do isolamento. Este valor é comparado com o valor de projeto do fabricante, no qual podemos analisar se há pontos críticos no dielétrico da bobina do motor. Quando se encontram grandes diferenças entre os valores medidos e de fábrica é possível concluir que há sérios danos na isolação. A descarga parcial é uma descarga elétrica localizada, que une apenas parcialmente o isolamento entre condutores e que pode ou não ocorrer adjacente a um condutor. As descargas parciais são geralmente uma consequência das concentrações locais de tensão elétrica no isolamento ou na superfície do isolamento. Geralmente, essas descargas aparecem como pulsos com duração de muito menos que 1 ps. Podem ocorrer, no entanto, formas mais contínuas, como as chamadas descargas de pulso em dielétrico gasoso. Este tipo de descarga normalmente não será detectado pelos métodos de medição descritos nesse padrão, sendo que descargas parciais geralmente são acompanhadas pela emissão de som, luz, calor e reações químicas (IEC 60270, 2000).

A medição de descargas parciais é muito importante para detectar e quantificar descargas elétricas que são geradas dentro de bolhas, cavidades e trincas no isolamento desses motores. Para esse teste, o motor é energizado com tensão e frequência nominal do sistema no qual ele está inserido, neste sistema é instalado um circuito de acoplamento formado por capacitor de acoplamento e impedância de medição, os sinais de tensão e descargas parciais são digitalizados e integrados no domínio do tempo por um

hardware de teste, o qual transmite esses sinais, por fibra ótica, para o computador, onde está instalado o software de tratamento e análise dos sinais. Uma vez que os dados são digitalizados, é necessário que se faça uma análise detalhada, na qual o principal objetivo é a separação dos pulsos de descargas parciais dos demais pulsos de ruídos provenientes de radiação eletromagnética gerada por máquinas elétricas adjacentes, ruídos vindos do aterramento, entre outros. Para que se obtenha uma separação de eventos de descargas parcial eficiente, principalmente quando se trata de ensaios em campo, é preciso aplicar ferramentas matemáticas para alcançar um nível de separação adequado. Neste caso, a metodologia adotada utiliza a transformada rápida de Fourier (FFT), no qual permite a separação dos pulsos de descargas no domínio da frequência, permitindo que, mesmo na presença de ruídos de alta intensidade, seja possível separar, quantificar e analisar individualmente os diversos tipos de pulsos de descargas parciais mesmo com baixas amplitudes de sinal. Com a aplicação da FFT, a visualização dos dados no domínio da frequência é extremamente eficiente para a separação das fontes de descargas, porém não é adequada para a avaliação do padrão dos pulsos gerados que permitem a interpretação por parte do usuário sobre qual o tipo de falha que foi detectada pelo medidor. Sendo assim, dando prosseguimento ao processo de medição, após a separação dos eventos, os pulsos são selecionados individualmente e é executada a transformada rápida de Fourier inversa, para que apenas aquela fonte de descargas parciais seja analisada, agora no domínio do tempo, no qual todos os padrões de descargas parciais são conhecidos. E é a partir daí que é determinada se a fonte de descarga parcial separada, identificada e quantificada é do tipo corona, superficial, cavidade ou ruído. Este processo é repetido até que se analise cada fonte geradora de

descargas parciais (RELATÓRIO TÉCNICO – Nº 136; EngPositivo, 2017).

A norma 43-2000 do IEEE trata das práticas recomendadas para teste de resistência e isolamento de máquinas elétricas rotativas e de acordo com o IEEE: “A medição da resistência de isolamento é recomendada e usada há mais de meio século para avaliar a condição de isolamento elétrico. Considerando que as medições individuais da resistência de isolamento podem ser questionáveis, o registro cuidadosamente mantido de medições periódicas, acumuladas ao longo de meses e anos de serviço, é de valor inquestionável como uma medida de alguns aspectos da condição do isolamento. Originalmente, em 1950, essa prática recomendada foi publicada pela AIEE como um guia para apresentar as várias facetas associadas à medição e compreensão da resistência do isolamento elétrico”. A resistência ôhmica de isolamento é a medida da dificuldade oferecida à passagem de corrente pelos materiais isolantes. Os seus valores se alteram com a umidade, a sujeira e com o envelhecimento do material, constituindo-se, portanto, em uma boa indicação da condição do dielétrico provocada por estas causas. Através de uma fonte de tensão DC aplica-se uma tensão entre os terminais da bobina do motor sob teste e o terminal de terra. Durante um período suficientemente hábil, para que as correntes de polarização e absorção alcancem o seu pico máximo e se estabilizem. Recomenda-se, quando possível, que cada fase seja isolada e testada separadamente. Testes separados permitem comparações a serem feitas entre as fases. Quando uma fase é testada, as outras duas fases devem ser aterradas no mesmo ponto que o núcleo do estator ou o corpo do rotor. Ao testar todas as fases simultaneamente, apenas o isolamento à terra é testado e nenhum teste é feito do isolamento fase a fase. O isolamento fase a fase é testado apenas quando uma fase é energizada e outras fases são aterradas. Os cabos de

conexão, cabos da escova, cabos, interruptores, capacitores, para-raios, transformadores de tensão e outro equipamento externo pode influenciar bastante a leitura da resistência de isolamento. Recomenda-se que medições da resistência de isolamento devam ser feitas com todos os equipamentos externos desconectados e aterrados. Em todos os casos, deve-se usar um ponto de terra comum para evitar efeitos indesejáveis nos resultados do teste devido as perdas no circuito de terra. Vale ressaltar que eles são referenciados para temperatura de 40 °C. Após esta etapa e, através dos valores de resistências ôhmicas, são calculados os índices de polarização, absorção e envelhecimento do dielétrico.

O índice de polarização (IP) é uma avaliação da variação da resistência do isolamento com o tempo de aplicação de tensão, ou, em outras palavras, a maneira com que a corrente de polarização influencia na resistência do isolamento (IEEE 43, 2000).

O índice de polarização é normalmente definido como a razão entre o valor da resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 10 min e a resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 1 min. O índice de absorção (IA) é uma avaliação da variação da resistência do isolamento com o tempo de aplicação de tensão, ou, em outras palavras, a maneira com que a corrente de absorção influencia na resistência do isolamento.

O índice de absorção é normalmente definido como a razão entre o valor da resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 1 min e a resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 30 seg.

Se o histórico de resistência de isolamento da máquina estiver disponível, as comparações do resultado do teste atual com testes vitais apoiarão preocupações sobre a condição de isolamento. É importante, no entanto, comparar

testes sob condições semelhantes, isto é, temperatura do enrolamento, magnitude da tensão, duração da tensão e umidade. Um declínio acentuado na RI (resistência de isolamento) ou no IP (índice de polarização) pode indicar contaminação da superfície, umidade ou danos graves no isolamento, como rachaduras. Quando um IP baixo ocorre a uma temperatura elevada (acima de 60 °C), recomenda-se uma segunda medição abaixo de 40 °C, mas acima do ponto de orvalho, como verificação do isolamento real da condição de operação.

Para testes realizados em condições semelhantes, um aumento constante da RI, ou seja, uma diminuição na absorção corrente com a idade pode indicar decomposição dos materiais de ligação, especialmente quando os isolamentos são do tipo termoplástico (asfáltica-mica ou shellac-mica-fólio).

A resistência real do isolamento do enrolamento a ser usada para comparação com RI 1 min é o isolamento observado com resistência corrigida a 40 °C, obtida pela aplicação de uma tensão direta constante em todo o enrolamento por 1 min. A resistência mínima de isolamento de uma fase de um enrolamento de armadura trifásico testada com as outras duas fases aterradas deve ser aproximadamente o dobro de toda a resistência do enrolamento. Se cada fase for testada separadamente e circuitos de proteção forem usados nas duas fases que não estão sendo testadas, a resistência mínima observada deve ser três vezes o enrolamento inteiro.

Para todos os enrolamentos de campo a resistência mínima é igual à tensão nominal do terminal da máquina em rms kV + 1 (IEEE 43, 2000).

O objetivo deste trabalho é descrever a funcionalidade do ensaio com relação à antecipação do módulo de falha proveniente da isolação de motores com o maior prazo possível, fornecendo dados precisos que podem auxiliar nas tomadas de decisões e conseqüentemente

garantindo uma melhor confiabilidade operacional, ampliando a programação de uma parada para substituir e regularizar o ativo.

O trabalho foi desenvolvido com o auxílio de relatórios de ensaios reais, normas regulamentadoras e artigos eletrônicos. As palavras chaves utilizadas foram tangente delta; fator de potência; isolamento; motor, bobina.

## 2 MEDIÇÃO E ANÁLISE DE DESCARGAS PARCIAIS

A Figura 1 apresenta o esquema de ligação do ensaio de descargas parciais com calibrador em paralelo ao circuito.

Após a realização do teste, na fase

A/U foi encontrada uma fonte de descarga parcial do tipo laminação. A leitura total mostra um pico na amplitude da capacitância de 7082 pC e uma taxa de repetição significativa, superior a mil pulsos por segundo, gerando uma degradação do dielétrico de nível médio, como nos mostra a Figura 2 a seguir, descrevendo o pico de descarga parcial.

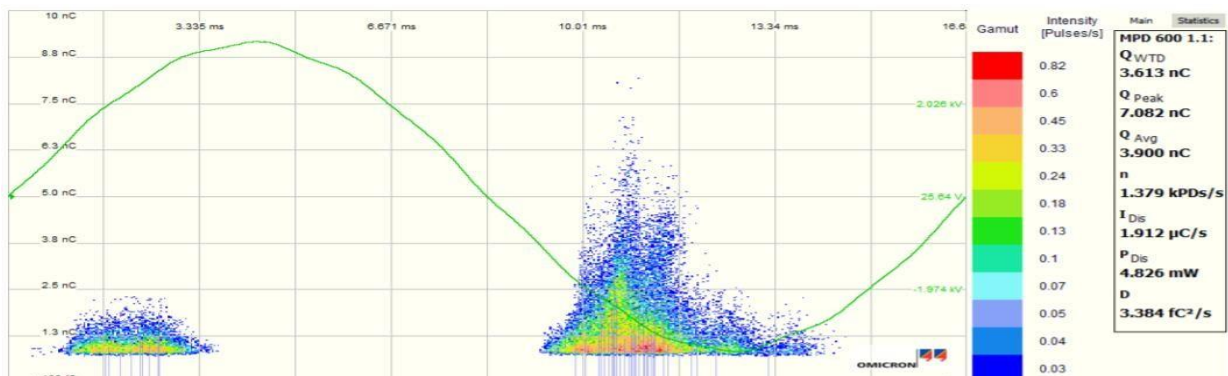
Já na fase B/V, foi encontrada uma fonte de descarga parcial do tipo cavidade. A leitura total mostra um pico de 7669 pC na amplitude e uma taxa de repetição significativa, superior a dois mil pulsos por segundo, gerando uma degradação do dielétrico de nível médio, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 1. Esquema de ligação do ensaio de descargas parciais com calibrador em paralelo ao circuito.



Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

Figura 2. Gráfico de descargas parciais do motor – fase A/U.



Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

Por outro lado, na fase C/W foi encontrada uma fonte de descarga parcial do tipo delaminação. A leitura total

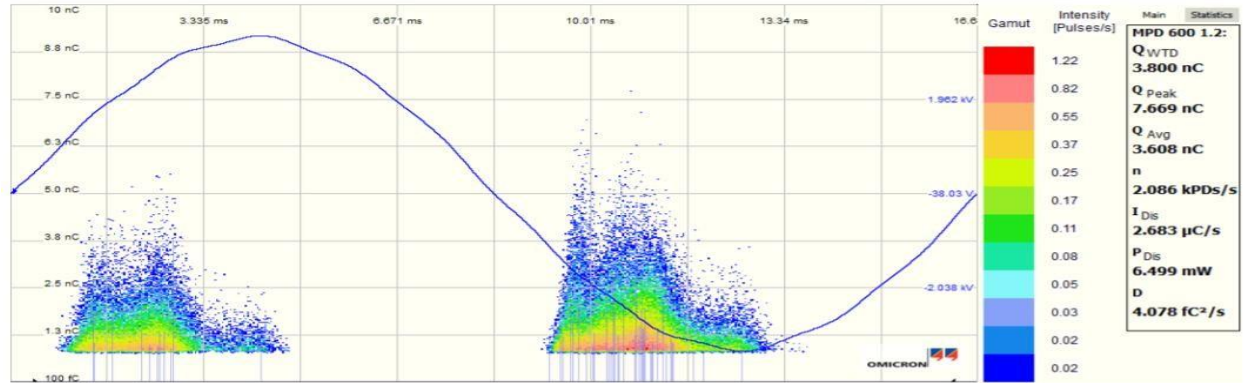
mostra um pico de 3112 pC na amplitude de capacitância, gerando uma degradação do dielétrico de nível baixo, como

pode ser visto na Figura 4.

O ruído de fundo mostrado nas figuras acima e apresentado nas três fases foi pesquisado e analisado minuciosamente e não foi encontrada nenhuma

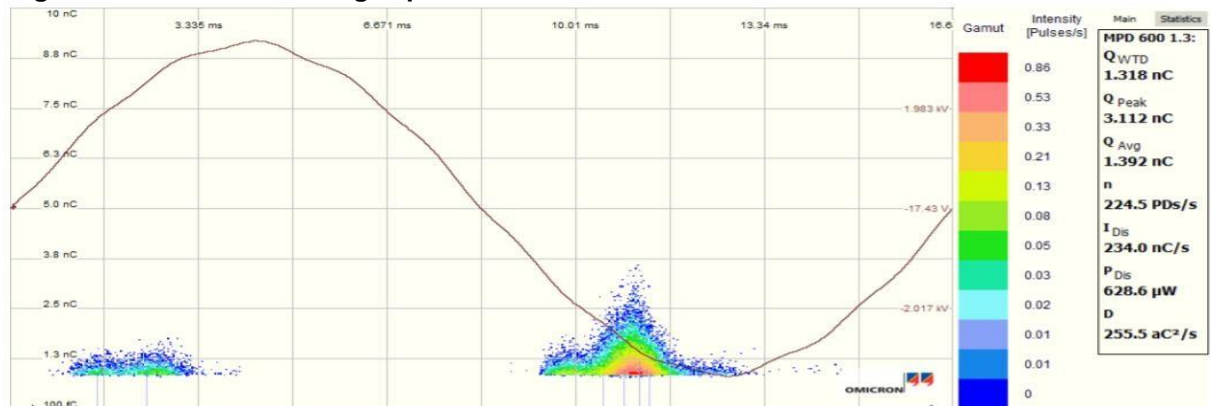
fonte de descargas parciais. Com isso, fizemos os ensaios das descargas parciais, apresentados na Tabela 1.

**Figura 3. Gráfico de descargas parciais do motor – fase B/V.**



Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

**Figura 4. Gráfico de descargas parciais do motor – fase C/W.**



Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

**Tabela 1. Resultado do ensaio de descargas parciais.**

Objeto - Motor de Indução Trifásico					Identificação - 3408-20-001		
Temperatura Ambiente - 24.8 °C			Umidade Ambiente - 52%		Calibração - Sim		
Fase	Tipo Descarga	Taxa Repetição	Amplitude sinal (referência)	Amplitude Média	Amplitude Pico	Tensão	Degradação Dielétrico
A/U	Delaminação	1.379 [kPDs/s]	15000[pC]	3900 [pC]	7082 [pC]	2.4 kV	Média
B/V	Cavidade	2.086 [kPDs/s]		3608 [pC]	7669 [pC]	2.4 kV	Média
C/W	Delaminação	224.5 [PDs/s]		1392 [pC]	3112 [pC]	2.4 kV	Baixa

Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

### 3 MEDIÇÃO DE TANGENTE DELTA (TD) TIP-UP

segue a equação:  $TD = I_r / I_c$   
 $I_r$  = corrente resistiva,  $I_c$  = corrente capacitiva

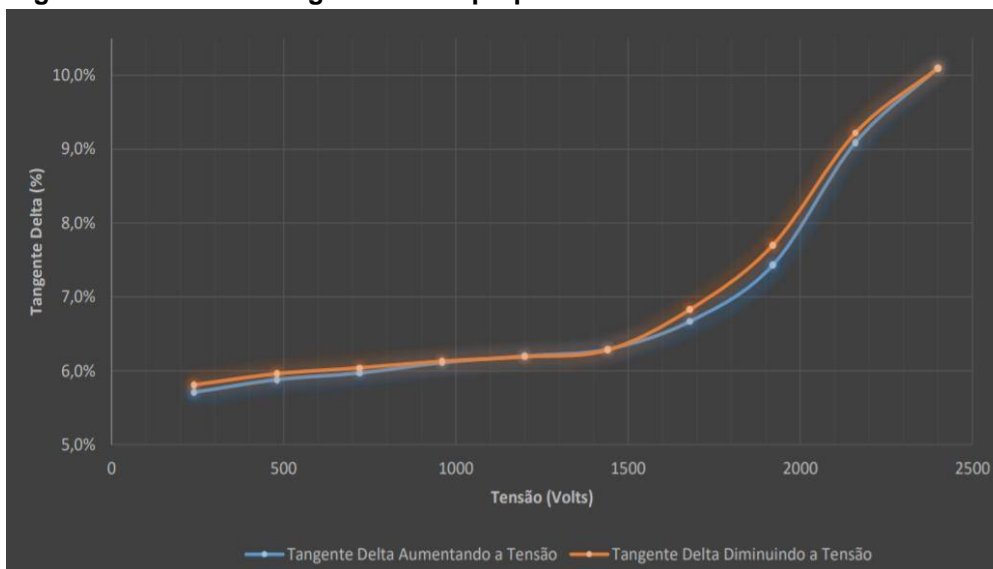
#### 3.1 Determinação da TD

Para determinar tangente delta

$Tip - Up = TD (80\%U_n (ft)) - TD (20\%U_n(ft))$

Un (ft) = tensão nominal fase / terra.

Figura 5. Gráfico de tangente delta tip-up.



Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

### 3.2 Resultados Medição Tangente Delta Tip-Up

Fase U/V/W O ensaio de tangente delta apresentou valores acima do valor de referência (5%) para um motor novo. Além disso, o nível de envelhecimento se encontra alto, pois a curva possui uma inclinação (observada pelo Tip-Up) elevada quando se eleva o valor da tensão de teste, mais acentuada acima de 1500V. Abaixo seguimos com os resultados da medição de capacitância do

mesmo, como pode ser visto na Figura 5.

### 4 MEDIÇÃO DE CAPACITÂNCIA

O ensaio realizado mostra que os valores de capacitâncias medidos se mantiveram constantes com a variação de tensão, demonstrando assim que não há nenhuma alteração significativa no dielétrico da máquina, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado do ensaio de tangente delta tip-up.

Objeto Motor de indução trifásico		Identificação 3408-20-001		
FASE U/V/W - MASSA (*)		Temperatura Ambiente - 24.8° C		Umidade Ambiente - 52%
Pontos de Medição	V Teste	I Teste	Capacitância	Tan (&)
1	240V	0.02 A	163.7 nF	5.71 %
2	480V	0.05 A	163.7 nF	5.88 %
3	720V	0.07 A	164.0 nF	5.97 %
4	960V	0.10 A	164.2 nF	6.11 %
5	1200V	0.12 A	164.7 nF	6.20 %
6	1440V	0.15 A	164.8 nF	6.29 %
7	1680V	0.18 A	165.3 nF	6.67 %
8	1920V	0.20 A	166.6 nF	7.43 %
9	2160V	0.23 A	169.4 nF	9.09 %
10	2400V	0.26 A	171.7 nF	10.1 %
11	2160V	0.23 A	169.5 nF	9.22 %
12	1920V	0.20 A	166.7 nF	7.70 %
13	1680V	0.18 A	165.2 nF	6.83 %
14	1440V	0.14 A	164.5 nF	6.28 %

Continuação da Tabela 2.

15	1200V	0.12 A	164.2 nF	6.19 %
16	960V	0.10 A	163.6 nF	6.13 %
17	720V	0.07 A	163.7 nF	6.04 %
18	480V	0.05 A	162.9 nF	5.96 %
19	240V	0.02 A	162.8 nF	5.81 %
<b>Tip-Up (TD80%-TD20%)</b>				1.55 %

Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

## 5 RESISTENCIA ÔHMICA DE ISOLAMENTO

### 5.1 Determinando IP (IEEE 43-2000)

$IP = R_i(10 \text{ min}) / R_i(1 \text{ min})$  onde

IP Índice de Polarização

$R_i(10 \text{ min})$  Resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 10 minutos;

$R_i(1 \text{ min})$  Resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 1 minuto.

### 5.2 Determinando IA (IEEE 43-2000)

$IA = R_i(1 \text{ min}) / R_i(30 \text{ s})$  Onde

IA Índice de Absorção

$R_i(1 \text{ min})$  Resistência de isolamento

medida com a aplicação de tensão durante 1 minuto.

$R_i(30 \text{ s})$  Resistência de isolamento medida com a aplicação de tensão durante 30 segundos

### 5.3 – Determinando Índice de Envelhecimento (IE)

$IE = R_i(500 \text{ V}/1 \text{ min}) / R_i(2500 \text{ V}/1 \text{ min})$ .

Onde, as resistências devem ser medidas entre os enrolamentos e a massa durante 1 minuto, primeiro aplicando-se 500 V e, depois, 2500 V, para máquinas com tensão de linha de 4.0 kV. A Tabela 3 mostra a faixa de valores do índice de envelhecimento considerada durante o teste tangente delta.

Tabela 3. Valores de referência, índice de envelhecimento.

$0.85 < IE < 1.25$

Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

Tabela 4. Resultado do ensaio de resistencia ôhmica de isolamento

Objeto Motor de Indução Trifásico				Identificação 3408-20-001		
Temperatura ambiente - 24.8 °C				Umidade ambiente- 52 %		
Medição	V Teste	R isolamento (Ohms)	Índice de polarização (IP)	Índice de absorção (IA)	Índice de envelhecimento (IE)	Avaliação
U/V/W - Massa (*)	2,5 KV	5.21Gohms (**)	>5	2.00	1.38	Excelente

Fonte: Extraído de Leonardo, 2017.

Valores superiores a 1.25 indicam um envelhecimento da isolação e eles independem da temperatura de ensaio, não necessitando de correções para temperaturas de referência.

### 5.4 Resultados da Medição Resistência Ôhmica de Isolamento

O ensaio realizado utilizando-se corrente contínua, possibilitou a

determinação dos índices de polarização, absorção e envelhecimento. Os resultados mostram valores esperados para uma máquina em boas condições, conforme mostrado nos valores referência da Tabela 5, exceto o IE que está alto. O valor absoluto da resistência ôhmica de isolamento, já corrigido para a temperatura de referência, está bem acima do mínimo exigido por norma, já os índices

de polarização e absorção apontam que a condição do isolamento está “excelente”. Porém, o índice de envelhe-

cimento aponta que o isolamento está “envelhecido”, como pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 5. Valores de referência de IA e IP.**

Valores de Referência IA e IP		
Condições de Isolamento	Índice de Absorção	Índice de Polarização
Perigosa	< 1	< 1
Ruim	1 a 1,1	1 a 1.5
Duvidosa	1.1 a 1.2	1.5 a 2
Razoável	1.2 a 1.4	2 a 3
Boa	1.4 a 2	3 a 4
Excelente	>2	> 4

Fonte: Extraído de Leonardo (2017).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do resultado de descargas parciais apresentar valores de amplitude abaixo do limite máximo especificado por norma para uma máquina em boas condições, é necessário o acompanhamento desses valores de amplitude, pois associados ao envelhecimento acentuado determinado no ensaio de Tip-UP, eles podem auxiliar no diagnóstico para detectar a causa do processo de degradação do dielétrico, assim evitando uma falha precoce dele. Adicionalmente, uma vez que o motor não possui histórico de medições, é indicado a repetição desta bateria de ensaios dentro de um prazo máximo de nove a doze meses, a fim de determinar se a descarga parcial possui uma tendência de alta (e quanto é esta tendência) ou se ela tende para a estabilidade com o passar do tempo. Portanto, frente aos resultados obtidos durante os ensaios pode-se dizer que o ativo apresenta pontos que denotam um risco médio de falha da isolação.

## REFERÊNCIAS

286-2000 - IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-up of Electric Machinery, Coil Insulation.

43-2000 – IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery

BRASIL LOGIC SISTEMAS. Predição de falhas a quinta etapa da Indústria 4.0. Disponível em <<http://www.blsistemas.com.br/predicao-de-falhas-a-quinta-etapa-da-industria-4-0/>>.

IEC 60270 – 2000 - 12 Third Edition High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

LEONARDO, B. G. RELATÓRIO TÉCNICO. ENSAIOS ELÉTRICOS EM MOTOR DE INDUÇÃO, Belo Horizonte, v. 136, n. 00, jul. 2017.

MUNDO DA ELÉTRICA. Tipos de motores elétricos. Disponível em <[SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial, 2016.](https://www.mundodaeletrica.com.br/tipos-de-motores-eletricos-quais-sao/#:~:text=Motores%20de%20corrente%20alterada%3A%20Trif%C3%A1sicos&text=O%20funcionamento%20do%20motor%20de,atravessa%20os%20condutores%20do%20rotor.></a>></p>
</div>
<div data-bbox=)