UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

ELIZA BLANK COSTA NUNES

FERRAMENTA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018

ELIZA BLANK COSTA NUNES

FERRAMENTA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Eliza Blank Costa Nunes**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018

ELIZA BLANK COSTA NUNES

FERRAMENTA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Eliza Blank Costa Nunes**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Aprovada em 13, de dezembro de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Jussara Farias Fardin
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Prof. MSc. Eng. José Luiz Borba
Universidade Federal do Espírito Santo e Vale S.A.
Examinador

Dedicado à Neuza Maria Blank, minha mãe, e Flora Schopp Blank, minha avó.

Sou muito grata a Deus que me permitiu chegar até aqui, “porque dEle e por Ele e para Ele são todas as coisas; glória, pois a Ele eternamente”. Romanos 11:36.

Aos meu amigos e família que são o verdadeiro motivo do meu sucesso acadêmico e, em especial, agradeço ao meu esposo amado, Tharcisio H. Nunes, por acreditar em mim e me motivar para continuar nossos projetos de vida.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal do Espírito Santo do curso de Engenharia Elétrica que, de certa forma, contribuíram para todo o conhecimento que adquiri e apliquei neste projeto. Em especial, ao Professor Domingos Sávio Lyrio Simonetti por sua disponibilidade, recomendações e apoio que enriqueceram muito este trabalho.

RESUMO

Inspirado no conceito de indústria 4.0, este trabalho trata de uma ferramenta de banco de dados para a inserção das medidas elétricas e inspeções visuais realizadas pelas oficinas elétricas de manutenção na etapa inicial de diagnóstico das falhas. Além disso, a ferramenta entrega, com base nesses dados coletados, nas normas e estudos apresentados neste trabalho, uma recomendação de manutenção para motores de indução trifásicos com rotor gaiola.

Propondo-se a substituir os relatórios manuais, praticados atualmente nas oficinas de manutenção, a ferramenta utiliza a plataforma Microsoft Access que permite o desenvolvimento rápido de aplicações que requerem banco de dados e interface com os usuários.

A ferramenta tem a finalidade de armazenar o histórico para acompanhamento de tendência dos motores e de automatizar ao máximo a tomada de decisão dos técnicos de manutenção. O objetivo é a criação de um sistema unificado que permite a troca de informações entre os departamentos de manutenção e os responsáveis pelos equipamentos na busca da causa raiz do problema, visando assertividade e produtividade no processo de manutenção das máquinas elétricas.

ABSTRACT

Inspired by the concept of industry 4.0, this work is a database system for the register of electrical measurements and visual inspections executed by electrical maintenance factories in the initial stage of fault diagnosis. Furthermore, the system provides, based on these collected data, in the standards and studies presented in this work, a maintenance recommendation for three-phase induction motors with cage rotor.

By proposing to replace the manual reports, currently practiced in maintenance factories, the system uses the Microsoft Access platform that supply the quick development of applications that require database and interface with users.

The system has the purpose of development of a log to monitor the trend of the motors and to automate to the maximum the decision making of the maintenance technicians. The objective is to create a unified system that provide the exchange of information between the maintenance departments and those keeper for the equipment in the search for the root cause of the problem, aiming for assertiveness and productivity in the maintenance process of the electric machines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos motores elétricos. 19
Figura 2 - Sistema de acionamento eletromecânico (ponte rolante). 20
Figura 3 - Visão explodida motor de indução rotor gaiola. 21
Figura 4 – Estator fixado na carcaça. 22
Figura 5 - a) Rotor bobinado b) Rotor gaiola 24
Figura 6 - Tipos de acoplamentos. 25
Figura 7 - Mancal de deslizamento. 25
Figura 8 - Rolamentos de esferas e rolos. 26
Figura 9 - Circuito equivalente por fase de um motor de indução. 28
Figura 10 – Motor rolo. 29
Figura 11 - Motor freio. 29
Figura 12 - Motor para redutores. 30
Figura 13 - Motor para ventilação e exaustão. 30
Figura 14 – Motor para bomba. 31
Figura 15 - Motor para indústria de mineração. 32
Figura 16 - Tipos de falhas no estator. 34
Figura 17 - Exemplos de falhas no estator: a) Curto circuito entre espiras; b) Curto circuito entre fases; c) Curto circuito nas ligações; d) Curto circuito para massa. 34
Figura 18 - À esquerda, queima generalizada por sobrecarga e à direta, rotor travado. 35
Figura 19 - À esquerda, uma fase queimada (ligação em delta) e à direta, queima de duas fases (ligação em estrela). 36
Figura 20 - Rotor com múltiplas barras quebradas. 37
Figura 21 - Tipos de falha no rotor gaiola de esquilo. 37
Figura 22 - Circuito representativo do dielétrico. 41
Figura 23 - Diagrama fasorial das correntes em um dielétrico. 43
Figura 24 - Resumo das três revoluções industriais seguidas da quarta, ou indústria 4.0. 52
Figura 25 - Taxa de crescimento da produtividade do trabalho na indústria 2000-2016. 55
Figura 26 - Tabela de banco de dados do Access. 57
Figura 27 - Formulário do Access. 57
Figura 28 - Parte do formulário para os dados dos motores. 59

Figura 29 - Caixa de listagem para a variável bobinado do estator. 59
Figura 30 – Parte do formulário para o *check list* de inspeção. 60
Figura 31 - Fluxograma da função que avalia a resistência ôhmica. 61
Figura 32 - Fluxograma da função que avalia a resistência isolamento. 62
Figura 33 - Exemplo de recomendação de manutenção e campo para informações adicionais. 63
Figura 34 - Formulário de entrada do sistema. 63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Causas das paradas forçadas na fábrica Stora Enso. 16
Gráfico 2 - Porcentagem de falhas nos motores de indução trifásicos. 33
Gráfico 3 - Componentes da corrente de um dielétrico em função do tempo. 42
Gráfico 4 - Coeficiente de correção da resistência de isolamento por temperatura. 46
Gráfico 5 - Variação da resistência de isolamento no tempo. 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da tensão de ensaio para medição da resistência de isolamento. 47
Tabela 2 - Valores mínimos para resistência de isolamento..... 48
Tabela 3 - *Check List* dos componentes de um motor de indução trifásico RG. 67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABII	Associação Brasileira de Internet Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AT	Alta Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CNI	Confederação Nacional da Indústria
ETA	Estação de Tratamento de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Água
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PDF	*Portable Document Format*
RB	Rotor Bobinado
RG	Rotor Gaiola
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_{Al}	Resistividade do alumínio [Ωm]
ρ_{Cu}	Resistividade do cobre [Ωm]
ρ_{Fe}	Resistividade do ferro [Ωm]
s	Escorregamento
f	Frequência da rede [Hz]
IP	Índice de polarização
P	Número de polos
n_m	Velocidade do eixo [rpm]
n_{sinc}	Velocidade síncrona [rpm]
R_1	Resistência do enrolamento do estator por fase [Ω]
X_1	Reatância por dispersão do estator por fase [Ω]
R_2	Resistência do enrolamento do rotor por fase [Ω]
X_2	Reatância por dispersão do rotor por fase [Ω]
R_C	Perdas no núcleo do estator por fase [Ω]
X_M	Reatância de magnetização [Ω]
SF6	Hexafluoreto de enxofre
tg δ	Fator de perdas
cos φ	Fator de potência do isolamento
$R_{isolamento}$	Resistência de isolamento [MΩ]
$R_{40ºC}$	Resistência de isolamento corrigida a 40ºC [MΩ]
R_t	Resistência medida à temperatura t [MΩ]
$K_{t\ 40ºC}$	Fator de correção da resistência de isolamento na temperatura t a 40ºC

SUMÁRIO

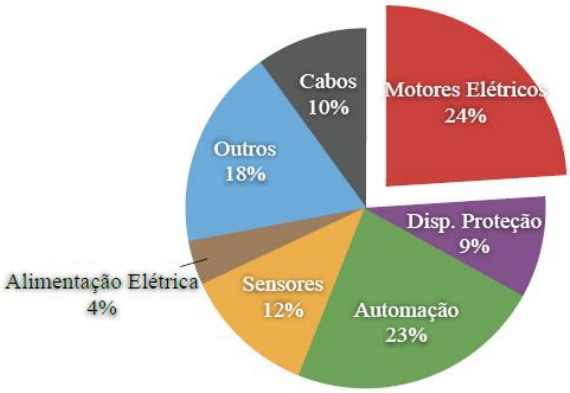
1 INTRODUÇÃO 16
2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS 19
2.1 Aspectos construtivos 20
2.1.1 Carcaça 21
2.1.2 Estator 22
2.1.3 Rotor 23
2.1.4 Eixo 24
2.1.5 Mancais 25
2.2 Princípio de funcionamento 26
2.3 Circuito equivalente 27
2.4 Aplicações dos motores elétricos de indução trifásicos 28
2.4.1 Motor Rolo 29
2.4.2 Motor Freio 29
2.4.3 Motor Redutor 30
2.4.4 Motor Exaustor 30
2.4.5 Motor Bomba 31
2.4.6 Motor para Indústria de Mineração 31
3 FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS 33
3.1 Falhas no Estator 33
3.2 Falhas no Rotor 36
3.3 Falhas Mecânicas 37
3.3.1 Folgas mecânicas 38
3.3.2 Fratura e trinca 38
3.3.3 Desgaste 38
3.3.4 Corrosão 39
3.3.5 Falhas nos mancais 39
4 AVALIAÇÃO DO DIELÉTRICO DE MOTORES 40
4.1 O sistema isolante 40
4.2 Corrente de Fuga 40
4.3 Comportamento do isolamento com aplicação de tensão contínua 41

4.4 Comportamento do isolamento com a aplicação de tensão alternada 42
4.5 Ensaios 43
5 MÉTODOS DE ENSAIO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS 45
5.1 Medição da Resistência de Isolamento 45
5.2 Medição da Resistência Ôhmica 48
6 INDÚSTRIA 4.0 50
6.1 Evolução da indústria 50
6.2 Toyotismo 50
6.3 Quarta Revolução Industrial 51
6.4 Principais Conceitos da Indústria 4.0 53
6.5 A situação atual no Brasil 54
7 FERRAMENTA PROPOSTA 56
7.1 Microsoft Office Access 56
7.2 Diagnóstico de falhas 58
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 64
9 REFERÊNCIAS 65
APÊNDICE A 67
APÊNDICE B 74

1 INTRODUÇÃO

Os motores de indução trifásicos estão presentes em praticamente todos os processos industriais, e muitas vezes exercem funções críticas nos sistemas e requerem muita atenção quanto ao seu bom funcionamento. Segundo um estudo na fábrica de papel finlandesa Stora Enso apresentado no trabalho de Lindh (2003, citado por ÁGUAS, 2013), os motores elétricos são responsáveis por 24% das paradas inesperadas nessa fábrica. O Gráfico 1 mostra a identificação das paradas por causa, na referida empresa.

Gráfico 1 - Causas das paradas forçadas na fábrica Stora Enso.



Fonte: ÁGUAS (2013).

Além de paradas não programadas e prejuízos financeiros, as falhas dos motores elétricos podem causar acidentes graves à vida humana. Portanto, as indústrias devem traçar planos de manutenção periódicos e eficientes para garantir a confiabilidade dos equipamentos do sistema.

Afinal, qual é a responsabilidade da manutenção?

> Ela é o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas ou equipamentos, para mantê-los nas mesmas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir a consecução de sua função dentro dos parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e de vida útil adequados. (BORBA, 2018, p.26)

Existem três estratégias de manutenção possíveis que os gestores responsáveis pela indústria podem seguir: corretiva, preventiva e preditiva. A escolha da estratégia da manutenção pode ser determinante para a indústria no que diz respeito a produtividade da

empresa. Um sistema confiável, além de demonstrar segurança no ponto de vista de evitar prejuízos financeiros, pode evitar muitos acidentes de trabalho entre os operários.

A manutenção corretiva é baseada na atuação para correção de uma falha, esperada ou não. A manutenção preventiva consiste na atuação que obedece a um planejamento baseado em períodos estabelecidos de tempo. A manutenção preditiva é o acompanhamento de parâmetros por meio de técnicas que indicam o desempenho do equipamento, de forma a prever uma falha antes que esta aconteça. Ambas se complementam e podem atuar juntas em um sistema unificado de manutenção.

Entretanto, nas indústrias muitas vezes esse sistema é fragmentado, pelo simples fato de uma equipe de manutenção não ter acesso às informações de outra equipe. Muitas vezes os relatórios de medições e recomendações de manutenção são feitos em formulários escritos a mão e escaneados para o sistema de manutenção da empresa ou são feitos na forma digital e dispostos em formato PDF. Essa forma de dados dificulta qualquer consulta e inviabiliza estudos aprofundados no que pode ter ocasionado a falha. A análise de dados das máquinas de um mesmo sistema pode dar a informação se as falhas estão acontecendo em determinada peça comprada de um fornecedor. Pode também apontar um problema de qualidade da energia elétrica fornecida, entre outros.

Inspirado no conceito de *Big Data* da Indústria 4.0, foi pensado uma ferramenta de banco de dados para a inserção das medidas elétricas e inspeções visuais realizadas por oficinas de manutenção. O programa, além de um banco de dados, é uma ferramenta que entrega, com base nesses dados coletados, nas normas e estudos apresentados neste trabalho, uma recomendação de manutenção para motores de indução trifásicos com rotor gaiola. Tem a finalidade de reduzir ao máximo a tomada de decisão dos técnicos de manutenção, visando a automação e uma consequente assertividade e produtividade na manutenção das máquinas elétricas de uma indústria.

O texto está dividido como segue: O Capítulo 1 apresentou a importância da manutenção e a utilidade de um banco de dados no acompanhamento da manutenção. O Capítulo 2 versará sobre aspectos básicos de construção, funcionamento e aplicação dos motores de indução. Os Capítulos 3 e 4 são complementares e abordarão as principais falhas mecânicas e elétricas nessas máquinas, com foco no componente dielétrico. O Capítulo 5 descreve os principais testes para diagnóstico de falhas nas bobinas dos motores de indução trifásicos. O Capítulo 6 discorrerá o termo Indústria 4.0 e a situação na qual se encontra o país

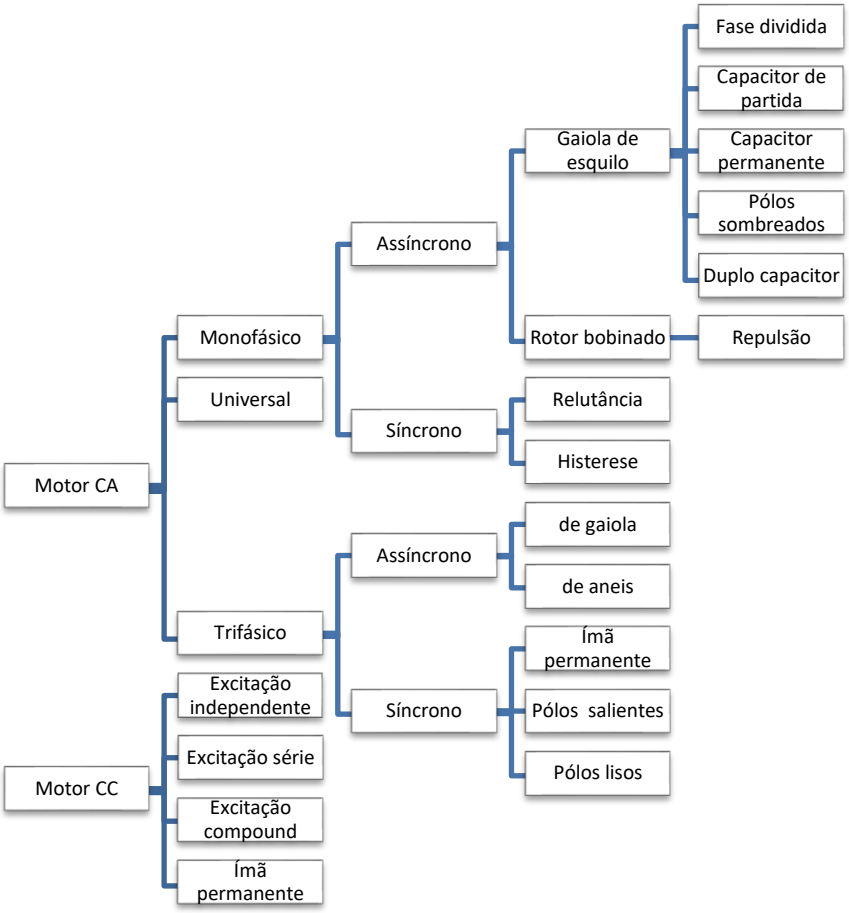
nessa corrida tecnológica. O Capítulo 7 apresentará o sistema proposto para monitoramento e diagnóstico dos motores de indução trifásicos de rotor gaiola e, para finalizar, o Capítulo 8 irá concluir apontando as melhorias alcançadas com a ferramenta e os trabalhos futuros para complementação do programa proposto.

2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Máquinas elétricas são dispositivos capazes de promover a transformação da energia elétrica em energia mecânica (os motores), ou energia mecânica em energia elétrica (os geradores). Como toda transformação de energia tem uma perda associada, nas máquinas elétricas não é diferente. Na maioria das vezes essas perdas são pequenas e, por esse motivo, as máquinas elétricas são consideras dispositivos de alto rendimento energético. Além disso, a energia elétrica é uma fonte de energia limpa e eficiente, fácil de ser transmitida a longas distâncias e fácil de ser controlada (CHAPMAN, 2013), sendo assim muito utilizada nas casas e indústrias.

Os motores elétricos são divididos conforme suas características de construção e funcionamento. As principais categorias dessas máquinas são mostradas na Figura 1, em que estão separados entre os motores CA e os motores CC.

Figura 1 - Classificação dos motores elétricos.

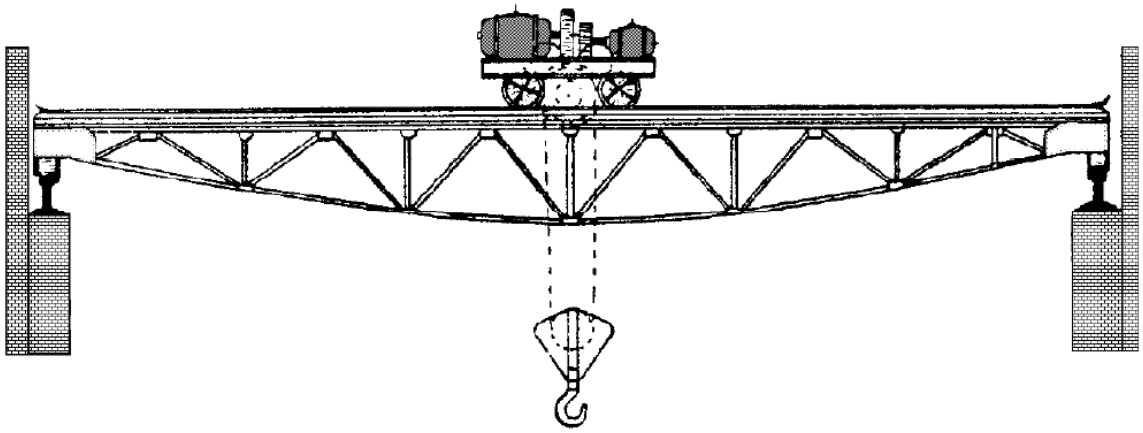


Fonte: VIEIRA, 2016, adaptado.

Existem muitas possibilidades de aplicação de um motor elétrico e diferentes tipos de cargas mecânicas que os motores precisam acionar, mas para cada tipo de motor, devido às suas características de funcionamento serem diferentes, existe um tipo de aplicação específica. Para unir essas duas vias, atualmente existe a alimentação dos motores elétricos por conversores eletrônicos de potência, onde é possível adaptar as características de funcionamento naturais de um determinado tipo de motor elétrico às necessidades da carga mecânica que ele vai acionar (GUEDES, 1994).

No ambiente industrial, os motores elétricos são muito usados para produzirem força motriz a fim de moverem as máquinas e acionar as cargas do processo. A Figura 2 exemplifica uma típica aplicação industrial com motor elétrico, que é uma ponte rolante.

Figura 2 - Sistema de acionamento eletromecânico (ponte rolante).



Fonte: GUEDES, 1994.

Segundo Guedes (1994), entre os diversos tipos de motores elétricos, o motor de indução trifásico tem se destacado em muitas aplicações por ser uma máquina com um princípio de funcionamento simples, com uma construção robusta, com pouca manutenção e que, devido à facilidade de automação do seu processo de fabricação, tem um preço pouco elevado.

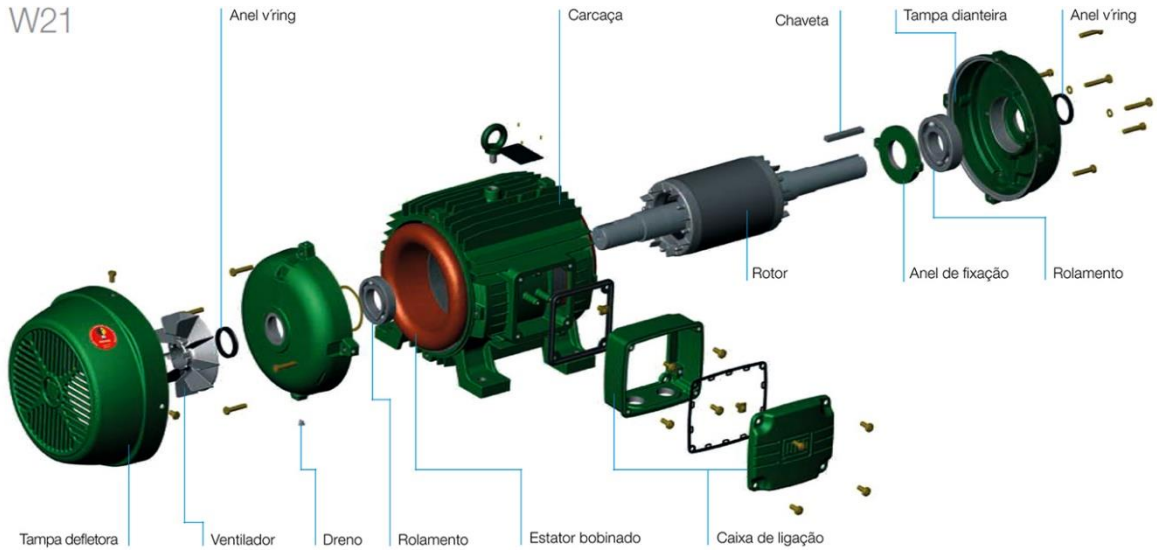
2.1 Aspectos construtivos

O motor assíncrono trifásico de rotor gaiola de esquilo, comparado com outros tipos de motores, é o mais utilizado em aplicações industriais. Deve-se à sua construção simplificada e ao baixo número de partes móveis, o que reduz os custos de manutenção e

fabricação. Ele não usa anéis coletores e comutadores, ou quaisquer outros contatos móveis entre o rotor e o estator, que a nível de manutenção são componentes que requerem um pouco mais de cuidado.

Suas partes estão basicamente discriminadas na Figura 3, e serão detalhadas melhor a seguir.

Figura 3 - Visão explodida motor de indução rotor gaiola.



Fonte: www.himatec.com.br/.

2.1.1 Carcaça

A carcaça é um elemento que pode ser fabricado em alumínio injetado a baixa ou alta pressão, de ferro fundido ou em chapa de aço soldada. Serve basicamente para proteger as partes interiores da máquina do meio exterior que podem trazer contaminantes ambientais e também as pessoas, impossibilitando o contato com as partes elétricas interiores das máquinas.

Assim como todas as partes constituintes de um motor elétrico, a carcaça é fabricada com o propósito de se reduzir ainda mais as perdas associadas à dispersão do fluxo magnético no núcleo. Segundo Chapman (2013), alguns fabricantes usam lâminas na sua construção que servem de caminho de retorno para o fluxo magnético. Outra função da carcaça está relacionada às suas aletas que são uma forma construtiva na qual aumentam a área de troca de calor com o ambiente externo, se tornando uma ventilação muito eficiente contra o aquecimento excessivo do motor e sua consequente queima.

Anexa à carcaça está a base do motor, que serve para conectá-lo a alguma superfície amortecedora ou a outro componente do sistema que seja acoplado ao eixo do motor, neste caso utiliza-se um motor com flange. A base é muito importante na minimização dos esforços mecânicos causados pela carga no eixo do motor, por isso na fase de montagem das máquinas em suas diferentes aplicações tem-se um cuidado muito especial com o alinhamento, com a finalidade de reduzir ao máximo as vibrações.

As tampas dianteiras e traseiras encontram-se nas extremidades da carcaça e são responsáveis pela proteção e sustentação do rotor e eixo. O sistema de refrigeração é fixado na tampa traseira e é composto por um ventilador acoplado ao eixo e pela tampa defletora que serve de proteção externa para o ventilador.

Outros componentes são fixados na carcaça por meio de rosqueamento ou solda, como o olhal que é utilizado para içamento das máquinas, a caixa de ligação e a placa borne, que servem como proteção das fases contra agentes ambientais externos (umidade e poeira) e isolamento da conexão com a carcaça, respectivamente.

2.1.2 Estator

O estator é fixado na carcaça do motor por pressão, conforme ilustrado na Figura 4. Ele é formado por um núcleo magnético constituído de um pacote de chapas de aço-silício com baixas perdas magnéticas, isoladas entre si por uma camada de verniz. Essas chapas são fabricadas na forma de coroa circular com ranhuras semifechadas na parte da periferia interior que recebem as bobinas das fases do enrolamento do estator.

Figura 4 – Estator fixado na carcaça.

Fonte: www.himatec.com.br/.

As fases do estator são constituídas de conjuntos de bobinas que são formadas por fios ou barras de cobre ou alumínio, de seção circular ou retangular, dependendo da potência do motor, e isolados com camadas de esmalte ou fitas de material isolante (mica ou fibra de vidro).

O campo magnético do estator é obtido pela aplicação de um sistema trifásico de tensões em três circuitos idênticos, mas eletricamente independentes entre si, ou seja, três enrolamentos isolados, um para cada fase da rede de alimentação. Cada fase alimenta um determinado número de bobinas dispostas no estator de tal forma que, quando alimentadas, resultem em um sistema de bobinas distribuídas simetricamente e defasadas entre si de 120 graus magnéticos.

Para evitar a corrosão do bobinado devido à condensação da umidade no interior do motor, pode ser instalada uma resistência de aquecimento que deve ser utilizada quando o motor estiver fora de operação.

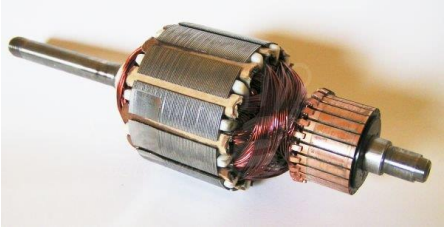
2.1.3 Rotor

O núcleo magnético do rotor é semelhante ao do estator, folheado e construído com o mesmo tipo de chapa magnética. As chapas têm a mesma forma de coroa circular que possui ranhuras fechadas perto da periferia exterior. Segundo Guedes (1994), a quantidade de ranhuras no rotor está relacionada com a quantidade de ranhuras no estator para evitar aparecimento de ruído no funcionamento do motor.

O rotor pode ser do tipo gaiola de esquilo ou bobinado, como mostrado na Figura 5. O primeiro é constituído por uma gaiola de alumínio formada por barras de alumínio embutidas no núcleo laminado e curto-circuitadas através de um anel, permitindo a circulação de corrente pelas barras. Segundo Guedes (1994):

> Trata-se de um circuito elétrico polifásico em curto-circuito permanente, constituído com um material com muito menor resistividade (ρ_{Al}=3,2x10^{-8} Ωm) do que o material ferromagnético em que está envolvido (ρ_{Fe}=100x10^{-8} Ωm); por isso os condutores da gaiola não estão envolvidos por qualquer tipo de material isolante. (GUEDES, 1994, p.22)

Figura 5 - a) Rotor bobinado b) Rotor gaiola



a)

b)

Fontes: www.tuzamow.pl/produkt e www.pt.demotor.net

O rotor tipo bobinado é em cobre (ρ_{Cu}=100x10^{-8} Ωm) e os enrolamentos são colocados no interior das ranhuras. Estes, quando em movimento, têm contato com a parte fixa da máquina por meio de anéis conectores e escovas. Desta forma é possível alterar o valor da resistência do rotor durante o funcionamento da máquina, ajustando para um torque maior e menor corrente na partida.

2.1.4 Eixo

O eixo da máquina é fabricado em aço por processo de torneamento e sobre ele é injeto o pacote de chapas que forma o rotor que é apoiado sobre mancais de rolamento ou buchas, geralmente fixados nas tampas do motor. As partes mecânicas garantem o bom funcionamento do motor de indução permitindo que as partes fixas sejam montadas na posição desejada (horizontal ou vertical) e as partes móveis possam desenvolver a velocidade desejada.

Usada como sistema de travamento entre eixo e polia, entre eixo e engrenagem ou qualquer outro acessório, a chaveta é uma peça das máquinas que tem geralmente forma retangular ou semicircular e se interpõe numa cavidade do eixo e da peça.

Assim como as chavetas, os acoplamentos são usados para travamento entre sistemas de transmissão de velocidade. Eles podem ser permanentes ou comutáveis e possuem diversos tipos com a finalidade de atender cada aplicação. A Figura 6 mostra diversos tipos de acoplamentos que podem ser encontrados no ambiente industrial.

Figura 6 - Tipos de acoplamentos.

Fonte: www.tfrolamentos.com.br

2.1.5 Mancais

Os mancais servem de suporte de apoio dos eixos e rolamentos, que são elementos girantes das máquinas. Existem duas categorias de mancais: de deslizamento (Figura 7) e rolamento (Figura 8). Os mancais de deslizamento são concavidades nas quais as pontas de um eixo se apoiam. Já os mancais de rolamento comportam esferas ou rolos nos quais o eixo se apoia, que giram à medida que o eixo gira, e são confinados dentro do mancal.

Figura 7 - Mancal de deslizamento.

Fonte: ALMEIDA.

Os mancais de rolamento podem ser de esferas ou de rolos (Figura 8). A principal diferença entre os rolamentos de esferas e rolos é a superfície de contato com as pistas dos anéis interno e externo onde ficam confinados. As esferas por geometria têm contato pontual, enquanto a superfície de contato dos rolos é linear. Dessa forma, é possível caracterizar cada rolamento para diferentes aplicações. O rolamento de esferas em função do ponto de contato com pouca resistência ao giro, é aplicado para máquinas com baixo torque e alta velocidade. Já o rolamento de rolos tem superfície de contato retangular garantindo maior rigidez e, portanto, o torque pode ser maior.

Figura 8 - Rolamentos de esferas e rolos.

Fonte: www.fg.com.br/.

Por serem instrumentos mecânicos rotativos, os mancais necessitam de lubrificação por meio de óleos ou graxas. Os retentores são montados entre o eixo e o mancal e são utilizados para a vedação desses óleos e graxas de lubrificação usados nos mancais para que não entrem dentro do bobinado do motor, contaminando o dielétrico. Eles são compostos por uma membrana elastométrica em forma de lábio e podem ter uma parte estrutural metálica semelhante a uma mola que permite sua fixação na posição correta de trabalho.

Para vedação dos mancais contra acúmulo de impurezas presentes no ambiente, existem três selos que garantem a proteção: Anel V’Ring, Anel O’Ring e o Labirinto Taconite. Os anéis são de borracha e o labirinto é construído em latão para motores que são submetidos a contaminantes sólidos e abrasivos.

2.2 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do motor de indução trifásico segue o das outras máquinas elétricas que se baseia na interação entre o campo magnético girante produzido pelo

enrolamento do estator quando alimentado por correntes elétricas trifásicas balanceadas e o campo girante produzidos pelas correntes induzidas nos enrolamentos ou barras do rotor.

O rotor gaiola não é ligado eletricamente a nenhuma fonte de alimentação, e o estator é energizado por uma fonte de alimentação CA trifásica resultando em um campo magnético girante no entreferro. A velocidade do campo magnético do estator é chamada síncrona, e varia em função da frequência do sistema trifásico aplicado ao estator em hertz e do número de polos da máquina, representada na Equação (1) a seguir.

$$n_{sinc} = \frac{120f}{P} \tag{1}$$

Esse campo magnético girante passa pelas barras do rotor e induz uma tensão que resulta em um fluxo de corrente nas barras. O fluxo de corrente do rotor produz um campo magnético no rotor que interage com o campo magnético do estator para produzir um torque que atua sobre o rotor fazendo-o girar.

Entretanto, existe um limite para a velocidade do motor. Se o motor de indução estivesse girando na velocidade síncrona, as barras do rotor estariam estacionárias em relação ao campo magnético do estator e não haveria tensão induzida, ou seja, não haveria corrente nem campo magnético do rotor e o conjugado seria zero. Portanto, os campos magnéticos do rotor e do estator giram na velocidade síncrona e o próprio rotor gira a uma velocidade menor.

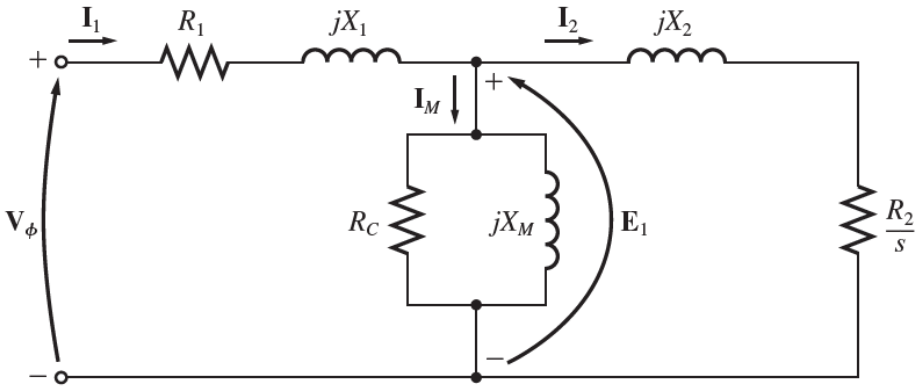
Um termo usado para descrever a velocidade relativa entre os campos magnéticos e o movimento do motor é o escorregamento, expresso em uma base por unidade ou porcentagem. Esse é representado na Equação (2) a seguir.

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} \times 100 \tag{2}$$

2.3 Circuito equivalente

Como anteriormente já foi citado, o funcionamento do motor de indução baseia-se na indução, gerada pelo circuito do estator, de tensões e correntes no circuito do rotor. Segundo Chapman (2013), como as tensões e correntes no circuito do rotor de um motor de indução são basicamente o resultado de uma ação de transformador, os circuitos equivalentes de ambos são semelhantes. A partir do circuito equivalente do transformador com algumas considerações e manipulações matemáticas, chega-se ao circuito equivalente por fase do motor de indução que está representado na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Circuito equivalente por fase de um motor de indução.



Fonte: CHAPMAN (2014).

Os parâmetros do circuito equivalente representam as resistências e indutâncias dos enrolamentos do estator (R_1 e X_1) e do rotor (R_2 e X_2) refletidas para o lado estator, as perdas por histerese e Foucalt (R_C) e a reatância de magnetização (X_M). Já o efeito do escorregamento no circuito equivalente é descrito como um ajuste de R_2 com um fator de 1/s.

2.4 Aplicações dos motores elétricos de indução trifásicos

Muitos são os fatores para seleção de uma máquina elétrica para atuação no ambiente industrial. Além das características elétricas e mecânicas, a escolha de um motor para esse fim consiste na resolução de um problema de engenharia onde as considerações econômicas são um fator determinante. Portanto, não existe uma solução única para um determinado problema para aplicação de um motor elétrico, e qualquer exemplo pode ser susceptível a outras soluções, se fundamentadas em outras considerações.

Os motores de indução trifásicos do tipo rotor bobinado (RB) por usarem de anéis coletores e contatos com escovas têm seu custo de fabricação e manutenção muito mais elevado que um motor de rotor tipo gaiola (RG). Esse último, com a crescente alimentação dos motores elétricos por conversores eletrônicos de potência, tem se tornado o mais utilizado na indústria e, por isso, será o motivo de estudo deste trabalho. Alguns exemplos de aplicações dos motores de indução trifásicos de rotor gaiola na indústria estão apresentados a seguir.

2.4.1 Motor Rolo

Utilizados em mesas de rolos e laminadores da indústria siderúrgica, os motores de indução trifásicos na maioria dos casos operam por acionamento direto e enfrentam agentes corrosivos, água, vapor e poeira sobre o motor, sobreaquecimento, número excessivo de partidas e reversões frequentes de rotação. As condições extremas requerem motores mais robustos e com soluções diversificadas, por isso os motores rolo possuem aletas radiais evitando o acúmulo na superfície da carcaça, avançado sistema de vedação, proteção contra corrosão e rigidez mecânica para garantir uma maior durabilidade. A Figura 10 mostra dois exemplos de motores rolos.

Figura 10 – Motor rolo.

Fonte: WEG.

2.4.2 Motor Freio

Os motores de indução trifásicos com freio (Figura 11) são muito utilizados na indústria como elevadores de carga, talhas, guilhotinas, equipamentos de usinagem, *teares*, máquinas de embalagem, transportadores, máquinas de lavar e engarrafar, dobradeiras entre outras. O freio mecânico (disco de frenagem) acoplado é comandado por um eletroímã de corrente contínua e em alguns modelos, há possibilidade de desbloqueio do freio manualmente.

Figura 11 - Motor freio.

Fonte: WEG.

2.4.3 Motor Redutor

São motores de indução trifásicos ligados a um redutor de velocidade de engrenagens cilíndricas de dentes retos e helicoidais com um ou dois andares de engrenagens numa construção compacta. Segundo Guedes (1994), normalmente o escalonamento de velocidades obedece a uma série (série de Renard de razão 20) com uma gama de velocidades de 18 a 630 rotações por minuto. O motor redutor (Figura 12) é aplicado em redutoras utilizadas em talhas, pontes rolantes, elevadores, polias automáticas, guinchos e máquinas operatrizes.

Figura 12 - Motor para redutores.

Fonte: SEW EURODRIVE.

2.4.4 Motor Exaustor

Os motores exaustores, ilustrados na Figura 13, trabalham para fornecer exaustão e ventilação para diversas aplicações. Podem ter valores variados de potência nominal, e atuarem desde a ventilação de um ambiente até a exaustão de gases para o sistema de despoeiramento em plantas de sinterização e pelotização.

Figura 13 - Motor para ventilação e exaustão.

Fonte: WEG.

2.4.5 Motor Bomba

São motores ligados a uma bomba hidráulica (horizontal, centrífuga, mono ou multicelular) por meio do flange, formando um monobloco. Aplica-se em sistemas hidráulicos de transporte de líquidos tanto com finalidade de uso pessoal ou em sistemas como os de resfriamento, quanto para tratamento nas ETE's (estação de tratamento de esgoto) e ETA's (estação de tratamento de água). Os motores utilizados em bombas, Figura 14, geralmente dispõem de carcaça com invólucro fechado permitindo aos motores que operem bombas em ambientes úmidos.

Figura 14 – Motor para bomba.

Fonte: WEG.

2.4.6 Motor para Indústria de Mineração

Muitos motores atuam na indústria de mineração com a funcionalidade de extração do material, transporte e processamento. Ilustrados na Figura 15, esses motores requerem performance otimizada e devem ser projetados para atuação em ambientes severos com alta concentração de poeiras e calor. É aplicado em máquinas de extração de minérios, correias transportadoras e britadores que fazem a fragmentação de grande quantidade de materiais sólidos como materiais rochosos, carvão, vidro, entre outros.

Figura 15 - Motor para indústria de mineração.

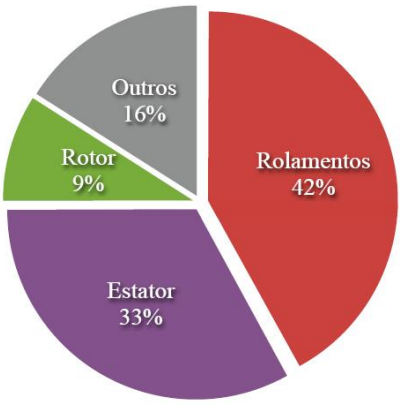
Fonte: WEG.

Uma vez apresentados os principais aspectos mecânicos e elétricos dos motores de indução, o Capítulo 3 traz mais informações sobre as falhas elétricas e mecânicas que podem ser encontradas nos motores.

3 FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Apesar da robustez dos motores de indução, inevitavelmente com o tempo e a utilização em ambientes agressivos surgem falhas nos seus componentes. Segundo uma pesquisa apresentada no trabalho de Águas (2013) e ilustrada no Gráfico 2, o maior número de falhas está nos rolamentos com 42%, em seguida nos estatores dos estatores com 33%, rotores com 9% e outros com 16%.

Gráfico 2 - Porcentagem de falhas nos motores de indução trifásicos.



Fonte: ÁGUAS, 2013.

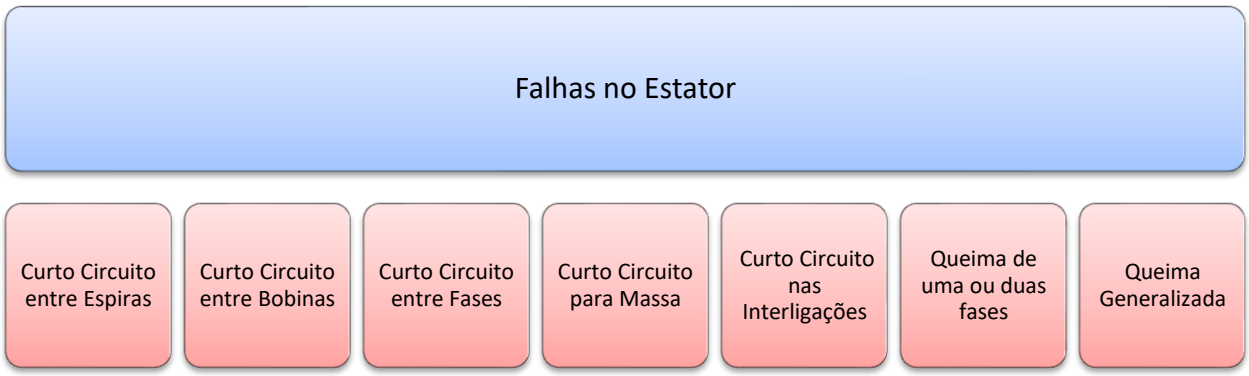
As falhas desses equipamentos podem acontecer por diversos motivos, sendo alguns deles: contaminação, umidade, sobreaquecimento, falhas no isolamento, falhas nas instalações elétricas e falhas mecânicas. Em geral são oriundas de partidas indevidas, sobrecargas, falta de fase, falha na atuação da proteção, alta temperatura ambiente ou falta de ventilação, vedações danificadas, lubrificação inadequada, desalinhamento, desbalanceamento, vibração, mal contato, envelhecimento natural do motor, entre outros.

3.1 Falhas no Estator

As falhas no estator são geralmente relacionadas “à deterioração de um dos componentes intrínsecos mais frágeis de uma máquina elétrica, o isolamento” (ÁGUAS, 2013, p. 13). Um bom isolamento permite que as correntes no motor não circulem por caminhos indesejados, impedindo curto-circuito entre eles. O que influencia no isolamento e os métodos de acompanhamento do bom estado deste componente é assunto do próximo capítulo, mas “vale ressaltar que as falhas elétricas muitas vezes têm um avanço muito rápido,

e muitas vezes é inevitável uma manutenção corretiva, ou seja, a troca de todo o enrolamento do estator" (ASSUNÇÃO, 2006, p. 33). A Figura 16 apresenta as principais falhas encontradas no estator. Os pontos de ocorrência dessas falhas podem ser na saída da ranhura, interior da ranhura e na cabeça da bobina.

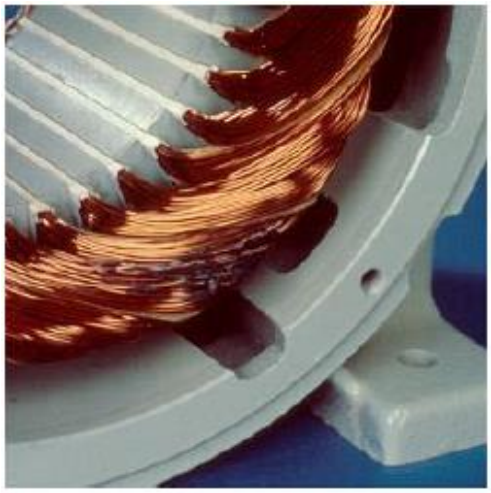
Figura 16 - Tipos de falhas no estator.



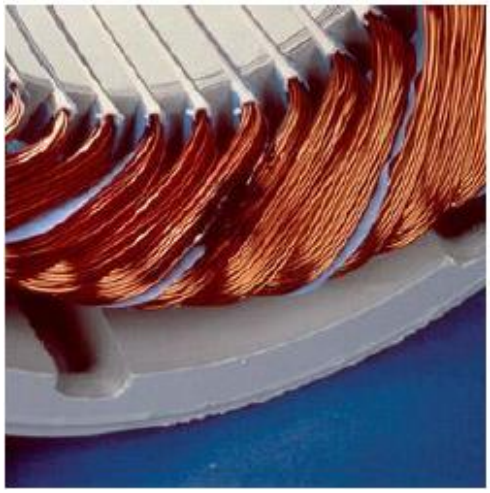
Fonte: Próprio autor.

Os curtos circuitos, ilustrados na Figura 17, são causados basicamente pela degradação do isolamento que pode ser devido a surtos de tensão no sistema elétrico, aquecimento proveniente de sobrecargas, envelhecimento, contaminação (por poeira, óleo ou água), vibração, abrasão (por peças desprendidas ou pelo próprio rotor) e outras falhas na manutenção ou projeto.

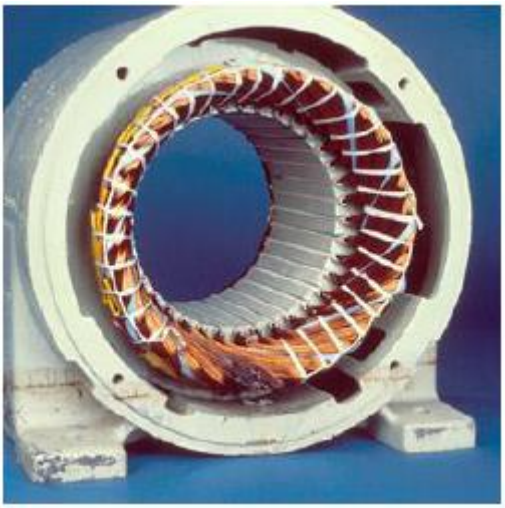
Figura 17 - Exemplos de falhas no estator: a) Curto circuito entre espiras; b) Curto circuito entre fases; c) Curto circuito nas ligações; d) Curto circuito para massa.



a)



b)

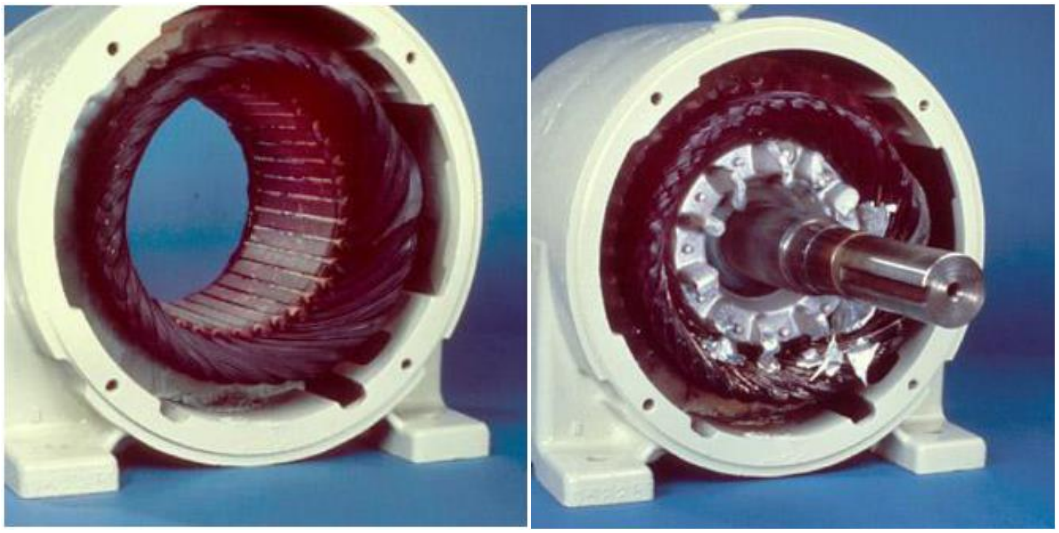


c) d)

Fonte: MPC SERVICE, citado por ASSUNÇÃO (2006).

A queima generalizada em um motor ocorre devido ao sobreaquecimento do pacote magnético que pode ser oriundo da circulação de corrente maior do que a nominal, visto que o calor gerado no enrolamento é proporcional ao quadrado do valor da corrente. Nesse caso, o enrolamento atinge seu limite térmico de projeto e pode sofrer danos graves, inclusive o travamento do rotor, como pode ser visto na Figura 18.

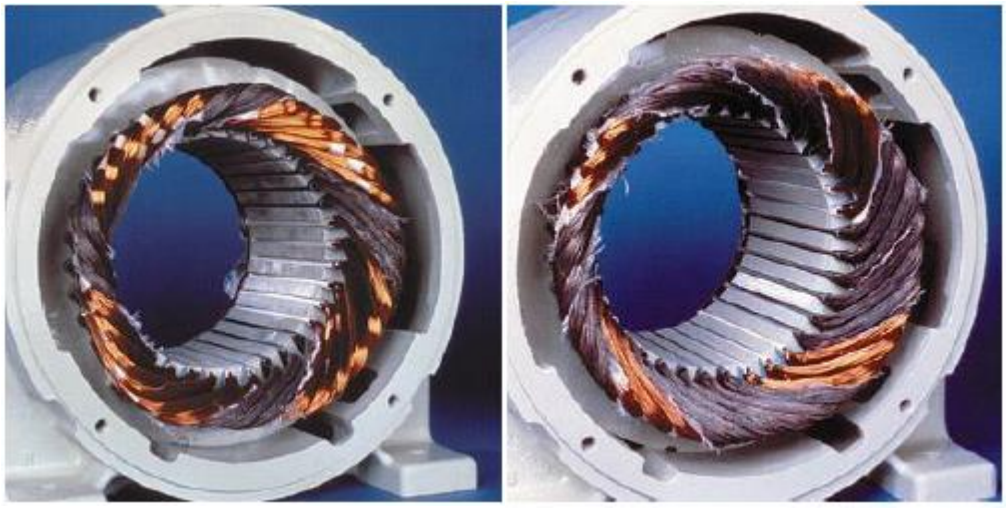
Figura 18 - À esquerda, queima generalizada por sobrecarga e à direta, rotor travado.



Fonte: MPC SERVICE, citado por ASSUNÇÃO (2006).

A queima de uma ou duas fases do motor (Figura 19) é causada pela perda de uma fase ou desbalanceamento do sistema de alimentação levando a uma corrente muito elevada em uma das bobinas (caso delta) ou em duas bobinas (caso estrela).

Figura 19 - À esquerda, uma fase queimada (ligação em delta) e à direta, queima de duas fases (ligação em estrela).



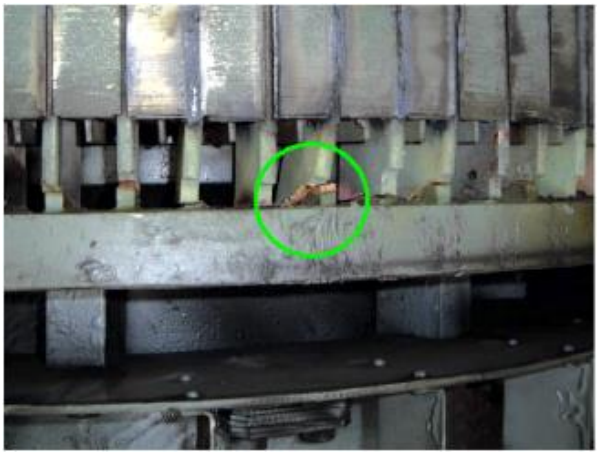
Fonte: MPC SERVICE, citado por ASSUNÇÃO (2006).

A maioria das falhas nas bobinas são fatais ao isolamento dos motores. Na indústria, após uma análise de viabilidade, é recomendado o rebobinamento desses estatores que apresentaram falha. O processo de rebobinamento consiste em uma série de atividades com o objetivo de trocar o enrolamento do motor. Esse processo demanda muita atenção, visto que exige a reprodução de todos os parâmetros de fábrica (número de espiras, número de bobinas, bitolas dos fios, passo do enrolamento, ligação elétricas e etc.) para que não haja alteração nas características do motor (corrente, conjugado, tensão, velocidade e potência).

3.2 Falhas no Rotor

O rotor tipo gaiola de esquilo é construído por barras curto circuitadas nas extremidades através de dois anéis que, apesar da simplicidade, são componentes que podem apresentar falha. Uma barra pode vir a quebrar devido ao sobreaquecimento do rotor e "encadear um processo de deterioração em cadeia das barras e no núcleo laminado que constituem o rotor" (ÁGUAS, 2013, p.18), como pode ser visto na Figura 20. Os anéis também estão sujeitos a quebrar devido a sobreaquecimento, má qualidade, geometria não satisfatória para suporte das barras e soldagem deficiente com as barras.

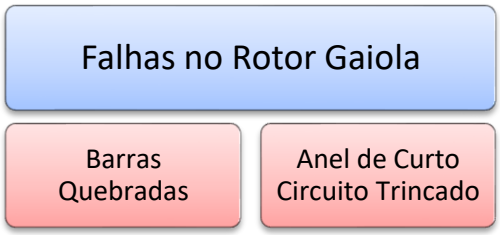
Figura 20 - Rotor com múltiplas barras quebradas.



Fonte: ÁGUAS, 2013.

As falhas no rotor também podem ser fatais para os motores de indução, podendo encadear altas vibrações e abrasão no pacote magnético do estator pelos componentes quebrados ou por excentricidades, que "ocorrem quando os eixos geométricos do estator e do rotor deixam de ser coincidentes" (ÁGUAS, 2013, p.19). As principais falhas do rotor tipo gaiola estão sintetizadas na Figura 21 a seguir.

Figura 21 - Tipos de falha no rotor gaiola de esquilo.



Fonte: Próprio autor.

3.3 Falhas Mecânicas

As falhas de origem mecânica são as principais causas de avarias em um motor elétrico, conforme visto no Gráfico 2. Por isso suas evidências devem ser verificadas todas as vezes que um motor elétrico passa pela oficina de manutenção. Essas verificações são realizadas pelo processo de inspeção visual nas peças quando o motor se encontra parado e, principalmente, por meio de análise de vibração, ruído e temperatura quando está em operação.

3.3.1 Folgas mecânicas

As estruturas de suporte de uma máquina são construídas e instaladas de maneira que não podem mover-se livremente. Porém, devido a erros de instalação, manutenção, parafusos soltos ou deterioração do suporte, podem existir movimentos relativos entre as superfícies. São comuns folgas mecânicas entre a base e a superfície de conexão, que são fixadas por meio de parafusos, e entre as tampas e os rolamentos, os quais são acoplados por interferência mecânica (ajuste mecânico onde o diâmetro do furo é menor ou igual ao da peça a ser inserida). Quando folgas mecânicas estão presentes, pode existir desbalanceamento do conjunto levando a vibrações que podem levar ao desgaste e, consequentemente, à fratura dos componentes da máquina.

3.3.2 Fratura e trinca

A falha por fratura normalmente é resultado de uma trinca que se propaga. A fratura pode ser classificada em duas categorias gerais: frágil e dúctil. “A fratura dúctil é caracterizada pela ocorrência de uma apreciável deformação plástica antes e durante a propagação da trinca” (DIETER, 2ªed., p.213). A fratura frágil é mais perigosa, pois é caracterizada pela propagação rápida da trinca sem deformações visíveis. As falhas por fratura ocorrem após a peça sofrer solicitações acima das suportáveis e, segundo Dieter, dependem do tipo de material, do estado de tensões (mecânicas) e da taxa de carregamento.

Nos motores elétricos, as trincas podem ocorrer em todos os equipamentos de metal como rolamento, tampas, caixa de ligação, acoplamento, labirinto, eixo, base e olhal. No processo de recuperação desses componentes, deve ser especificado o processo de soldagem e o metal de adição de modo que a peça mantenha suas características mecânicas e suporte as solicitações durante o seu trabalho.

3.3.3 Desgaste

Segundo a norma alemã DIN 50320, o desgaste é a “perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido às ações mecânicas, isto é, o contato e movimento relativo contra um corpo sólido, líquido ou gasoso”. Pode ser dividido em abrasão, impacto, erosão e cavitação.

Assim como a fratura e a trinca, o desgaste ocorre nos componentes de metal que constituem uma máquina elétrica como eixos, tampas, acoplamento, rolamento e olhal. Pode

ser responsável pelas folgas mecânicas e, por isso, as peças desgastadas devem ser recuperadas como forma preventiva de avarias já apresentadas neste capítulo. As peças são submetidas ao processo de soldagem e acabadas por meio de esmerilhamento ou usinagem.

3.3.4 Corrosão

A corrosão dos materiais metálicos é favorecida por vários fatores como umidade, temperatura e reações químicas. Algumas ligas metálicas, em contato com o oxigênio do ar, podem adquirir uma camada protetora de óxido que serve de proteção. Se essa camada de óxido perder a impermeabilidade, a oxidação prossegue para a corrosão. A corrosão pode ser sanada com produtos químicos de revestimento, chamados anticorrosivos.

3.3.5 Falhas nos mancais

Conforme já citado e ilustrado no Gráfico 2, os mancais ou rolamentos são a primeira causa de falhas nos motores elétricos. Eles são componentes críticos que suportam o eixo e permitem o seu movimento de rotação. Constituem-se de dois anéis, o interior e o exterior, e, entre os anéis, elementos rolantes colocados dentro de uma gaiola lubrificada.

As falhas nos mancais geralmente envolvem a contaminação, deterioração, ausência ou excesso de lubrificante. Esses fatores aumentam o atrito entre as esferas ou rolos provocando um acréscimo de temperatura no interior do rolamento. A alta temperatura desse componente pode causar sérios problemas, como o desgaste e até mesmo a fratura. Quando esse componente ou qualquer vedação que o envolve falha, o lubrificante pode entrar no bobinado do estator, contaminando toda a isolação. Se fraturados, podem desprender suas partes e danificar o bobinado por abrasão.

Os mancais podem sofrer muitos tipos de falhas mecânicas como desgaste, trincas, fratura e corrosão. Por serem componentes muito críticos e exigirem alta performance, quando apresentam algum tipo de falha, os mancais normalmente são substituídos por novos.

4 AVALIAÇÃO DO DIELÉTRICO DE MOTORES

4.1 O sistema isolante

O sistema de isolamento de um componente é uma parte crítica e seus aspectos devem ser bem especificados desde o projeto. A escolha de um elemento dielétrico deve incluir uma análise completa que abrange aspectos elétricos e mecânicos de sistemas que podem operar em condições normais e anormais.

Os materiais isolantes realizam um papel tão importante que a vida útil dos equipamentos elétricos é considerada como a do próprio sistema de isolamento (ALMEIDA; GIACCHETTA, 2016). Sua principal função é o isolamento entre condutores, entre estes e a massa do equipamento ou a terra e entre os condutores e qualquer outra massa metálica existente naquele mesmo local.

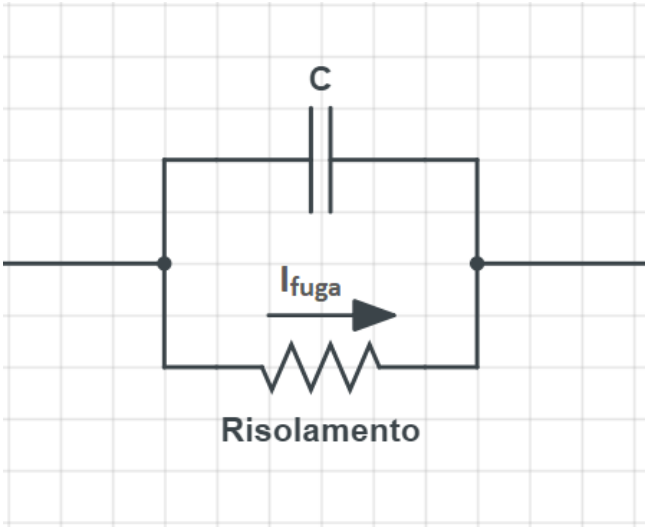
Os materiais usados como isolantes podem ser encontrados em estado sólido como porcelana, vidro, fenolite, amianto, borracha e polímeros, em estado líquido como óleo mineral e silicone, e em estado gasoso como SF_6 e ar.

4.2 Corrente de Fuga

Em materiais condutores, o átomo tem alguns elétrons fracamente ligados ao núcleo e quando há presença de campos elétricos, esses elétrons de movem com certa facilidade, dando origem a corrente elétrica. Diferentemente, em isolantes tal mobilidade é dificultada pela alta resistividade desses materiais que se opõe à passagem de corrente elétrica, motivo pelo qual recebem o nome de dielétricos.

Porém na prática existem elétrons livres nos dielétricos devido, principalmente, a impurezas, umidade e forças internas no material. Dessa forma, ao se aplicar uma diferença de potencial entre condutores que estejam na vizinhança do dielétrico, haverá um movimento desses elétrons dentro do material isolante gerando uma corrente elétrica, denominada corrente de fuga. Esse efeito pode ser representado em termos de um circuito elétrico por um capacitor que simula os condutores vizinhos e o material isolante entre os condutores, e um resistor em paralelo o qual simula a perda de energia referente a corrente de fuga, como apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Circuito representativo do dielétrico.



Fonte: Próprio autor.

"A quantificação da dificuldade de circulação da corrente de fuga pelo dielétrico é chamada de resistência de isolamento" (ALMEIDA; GIACCHETTA, 2016).

4.3 Comportamento do isolamento com aplicação de tensão contínua

Quando se aplica uma tensão nos enrolamentos de um equipamento elétrico, segundo Almeida e Giacchetta (2016), "o seu isolamento ficará submetido a uma diferença de potencial originando um campo elétrico". Dessa forma, representa-se esse efeito por meio de um capacitor assim como na Figura 22.

Ao se aplicar uma tensão contínua em um dielétrico, a corrente que circula nesse circuito é composta de três partes basicamente: corrente de carga capacitiva, corrente de absorção e corrente de condução acrescida da corrente de fuga.

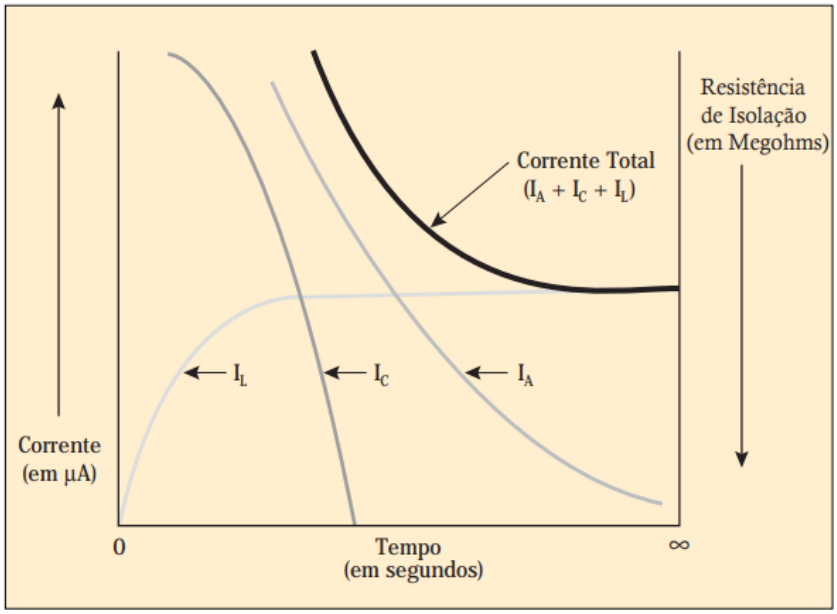
A corrente de carga capacitiva (I_C) surge no instante da energização e possui a mesma função da corrente de carga do capacitor, conhecida como corrente de energização (*inrush)*, e depende do tipo de material isolante. Percebe-se então que ela assumirá um valor máximo na energização e decrescerá rapidamente a um valor desprezível.

De acordo com Almeida e Giacchetta (2016), a corrente de absorção (I_A) é responsável pela polarização dos dipolos elétricos que constituem a massa do dielétrico. Em equipamentos

com baixa capacitância, a corrente de absorção é alta nos primeiros segundos e decresce devagar a quase zero. Nos dielétricos de alta capacitância ou isolação úmida e contaminada não haverá decréscimo na corrente de absorção por um período longo.

Segundo IEEE (2000), a corrente de fuga flui sobre a superfície da isolação e é causada por umidade e algum tipo de contaminação parcialmente condutiva persente no isolamento. Segundo Almeida e Giacchetta (2016), a corrente de fuga é a componente mais importante quando se deseja avaliar o estado em que se encontra o isolamento, pois praticamente não varia com o tempo de aplicação da tensão e, quando há elevação do seu nível, existe um indicativo que o isolamento pode vir a falhar. Como pode-se ver no Gráfico 3, a corrente total se torna a própria corrente de condução acrescida da corrente de fuga (I_L) após as outras componentes terem sido eliminadas em até 10 minutos.

Gráfico 3 - Componentes da corrente de um dielétrico em função do tempo.

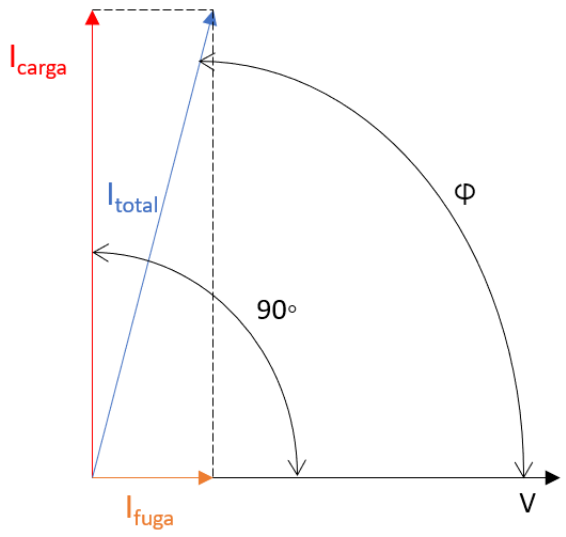


Fonte: FLUKE.

4.4 Comportamento do isolamento com a aplicação de tensão alternada

Quando o dielétrico é submetido a uma tensão alternada, além da corrente de fuga, surge uma corrente de carga pelo capacitor da Figura 22. Na condição ideal de um dielétrico, a corrente de fuga não existe e a corrente total é igual à de carga capacitiva que estará avançada de 90º em relação à tensão aplicada. Porém em condições reais, existe a circulação da corrente de fuga que é em fase com a tensão, como ilustra o diagrama fasorial (Figura 23).

Figura 23 - Diagrama fasorial das correntes em um dielétrico.



Fonte: Próprio autor.

O *cos* φ é definido como fator de potência do isolamento que é o valor relativo da corrente de fuga comparada à total, mostrado na Equação (3) a seguir. Porém ao contrário do fator de potência dos sistemas elétricos, é ideal que ele assuma os menores valores possíveis, ou seja, a corrente de fuga tenda a zero.

$$cos\varphi = \frac{I_{fuga}}{I_{Total}} \tag{3}$$

O ângulo complementar ao de fase da Figura 23 é chamado ângulo de perdas (δ=90º-φ) e é muito analisado através da *tg* δ que tem o nome de fator de perdas ou de dissipação dielétrica.

4.5 Ensaios

O dielétrico deve ser projetado a fim de suportar uma grande gama de solicitações elétricas e também mecânicas, como a exposição ao tempo que inclui variações de temperatura, exposição a umidade, agentes químicos, entre outros.

As características elétricas de um isolante podem ser avaliadas por meio de testes não destrutivos com a aplicação de tensão contínua ou alternada. São estes alguns deles:

a) **Teste de tangente de delta**: Consiste na aplicação de tensão CA e é expresso em função dos valores de *tg* δ ou *cos* φ obtidos com os instrumentos do tipo ponte *Schering*;
b) **Teste de resistência de isolamento**: Consiste na aplicação de tensão CC e expressa o valor da resistência de isolamento em Ω obtida com instrumentos do tipo ponte *megôhmetro*.
c) **Teste de medição da corrente de fuga**: Consiste na aplicação de tensão CC e é expresso em termos de corrente obtida com instrumentos do tipo *hipot*.
d) **Teste de tensão suportável**: Consiste na aplicação de tensão CA e é expresso em termos de tensão disruptiva.

De todos os testes relacionados, os mais usados hoje são os testes que aplicam tensão CC, pois utilizam instrumentos de menor tamanho e baixo custo. Quando se fala em máquinas elétricas, o mais praticado para avaliação e acompanhamento do estado do dielétrico é o de resistência de isolamento.

5 MÉTODOS DE ENSAIO PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

A norma brasileira ABNT NBR 17094-3:2018 especifica os métodos de ensaios aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução trifásicos e verificação de sua conformidade com a ABNT NBR 17094-1:2018. Ela engloba ensaios sem carga e com carga que fazem parte dos procedimentos de manutenção preditiva, corretiva e preventiva de qualquer estabelecimento que presta esse tipo de serviço, dentro ou fora das indústrias. São eles: ensaio para medição da resistência de isolamento, ensaio para medição da resistência ôhmica dos enrolamentos, ensaio de partida, ensaios térmicos, ensaios para cálculo das perdas no motor, rendimento e fator de potência, ensaio dielétrico, ensaio de sobrevelocidade, ensaio de nível de ruído, ensaio de tensão no eixo e medição da resistência de isolamento do mancal, ensaio de vibração e ensaio para medição da tangente do ângulo de perdas.

Nesta seção serão abordados os dois ensaios mais utilizados nas oficinas de manutenção na fase inicial de “pré-manutenção”, sendo esta corretiva ou preventiva. São esses: o ensaio para medição da resistência de isolamento e o ensaio para medição da resistência ôhmica dos enrolamentos. Nesta etapa da manutenção, ambos ensaios têm a função de determinar um diagnóstico para os motores elétricos que chegam na oficina de manutenção com algum tipo de falha ou que passaram o tempo de manutenção preventiva previsto nos planos de manutenção das indústrias.

5.1 Medição da Resistência de Isolamento

Segundo a NBR 17094-3: 2018, a medição da resistência de isolamento varia diretamente com a espessura da isolação e inversamente com a área da superfície condutora e é afetada pelo estado da superfície, umidade e temperatura do enrolamento, magnitude da tensão contínua de ensaio, duração da aplicação da tensão contínua de ensaio e carga residual no enrolamento.

Se a temperatura do enrolamento estiver no ponto de orvalho do ar ambiente ou abaixo, uma película úmida se forma na superfície da isolação e pode reduzir a resistência de isolamento. Por isso as medições devem ser realizadas quando a temperatura do enrolamento estiver acima do ponto de orvalho.

A resistência de isolamento da maioria dos materiais varia inversamente com a temperatura e ao comparar as medidas é importante a correção para a temperatura de 40ºC por meio da Equação (4) a seguir.

$$R_{40ºC} = K_{t\ 40ºC} \times R_t \tag{4}$$

Onde:

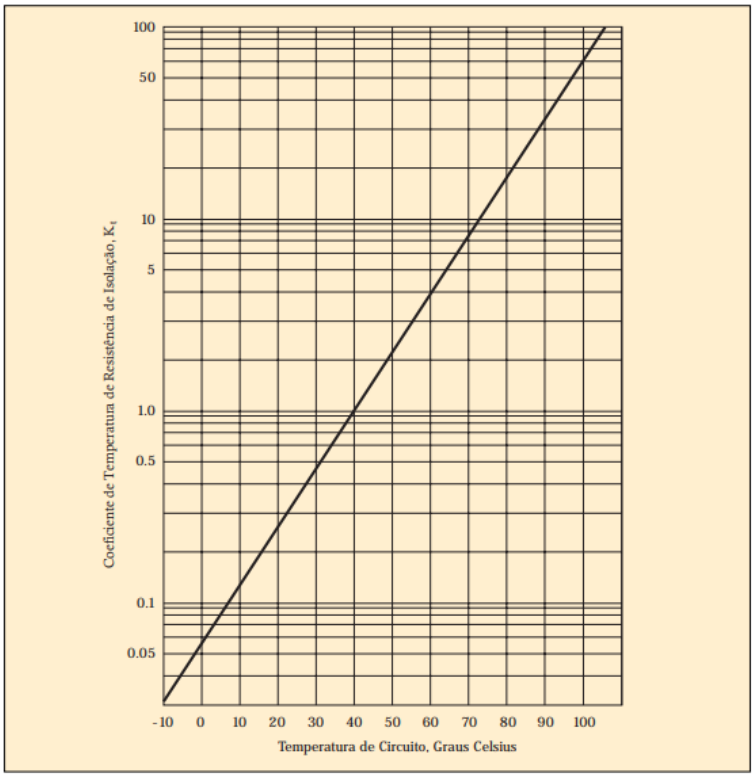
$R_{40ºC}$ é a resistência de isolamento corrigida a 40ºC, expressa em MΩ;

R_t é a resistência medida à temperatura t, expressa em MΩ;

$K_{t\ 40ºC}$ é o fator de correção da resistência de isolamento na temperatura t a 40ºC.

O fator de correção é obtido através do gráfico do Gráfico 4, quando o motor não dispõe da sua própria curva de variação da resistência de isolamento em função da temperatura.

Gráfico 4 - Coeficiente de correção da resistência de isolamento por temperatura.



Fonte: FLUKE.

A medição da resistência de isolamento deve ser realizada com uma tensão de ensaio suportável a fim de não deteriorar ou danificar a isolação, portanto, os valores da tensão de ensaio seguem conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Valores da tensão de ensaio para medição da resistência de isolamento.

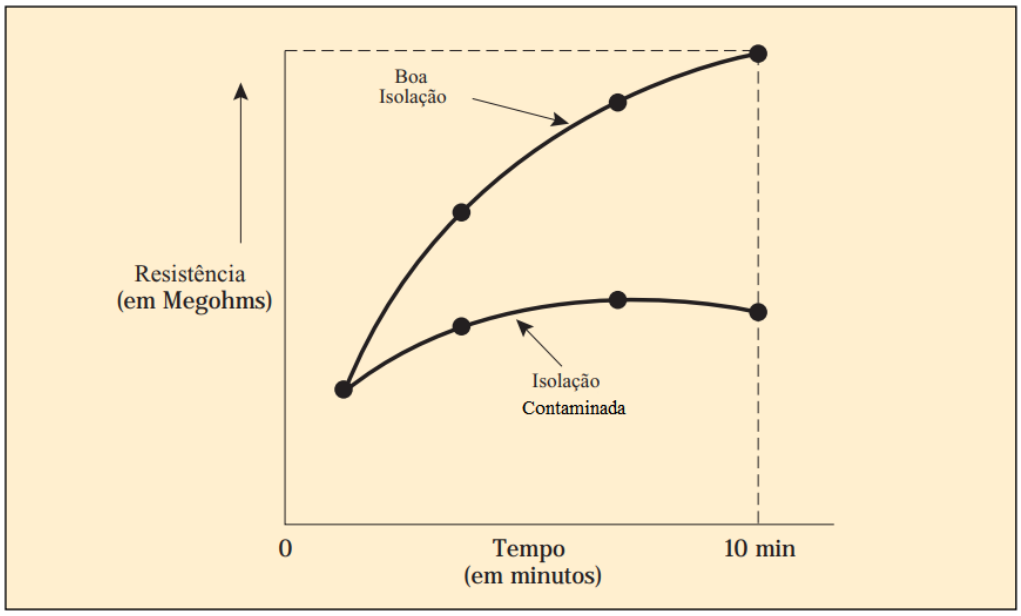
Tensão nominal do motor (V)	Tensão contínua para realização do ensaio (V)
> 1000	500
1000 – 2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
>12000	5000-10000

Fonte: ABNT NBR 17094-3: 2018, adaptado.

A resistência de isolamento aumenta com a duração de aplicação da tensão contínua de ensaio, portanto, as leituras são realizadas por um período de 1 minuto e, se as instalações permitirem, por 10 minutos, a fim de calcular o índice de polarização.

O índice de polarização (IP) é a razão entre o valor de resistência de isolamento para 10 minutos e o valor da resistência para 1 minuto. O índice de polarização é um indicativo da inclinação da curva característica e pode ser útil na avaliação do enrolamento para a secagem, conforme ilustra o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Variação da resistência de isolamento no tempo.



Fonte: FLUKE, adaptado.

A resistência de isolamento para 1 minuto é útil para monitorar o estado da isolação por meio de comparação com dados anteriores. Quando não existe um histórico, os valores mínimos recomendados pela ABNT NBR 17094-3: 2018 são os da Tabela 2 seguinte.

Tabela 2 - Valores mínimos para resistência de isolamento.

Resistência de isolamento corrigida para 40º mínima recomendada (MΩ)	Tipo de enrolamento
Rm=kV+1	Motores bobinados até 1970, bobinas de campo e outras não descritas a seguir
Rm=100	Enrolamento de armadura em motores c. c. e enrolamentos c.a. fabricados após 1970 (bobina pré-formada)
Rm=5	Enrolamentos randômicos e bobinas pré-formadas com tensão inferior a 1 kV

Fonte: ABNT NBR 17094-3: 2018, adaptado.

O mesmo é praticado para o índice de polarização, ou seja, quando não existe um histórico de acompanhamento da isolação, são usados os seguintes valores mínimos.

- Para classe A: 1,5;
- Para classes B, F e H: 2,0;

Motores com potência menor ou igual a 10 MW são considerados em estado adequado de operação se a resistência de isolamento a 40ºC ou o índice de polarização tenham o valor mínimo recomendado. Motores com potência acima de 10MW devem ter tanto o valor de resistência de isolamento a 40ºC quanto o índice de polarização acima dos valores recomendados. Para um valor de medição de resistência de isolamento maior que 5000 MΩ, não é necessário calcular o índice de polarização.

5.2 Medição da Resistência Ôhmica

A medição da resistência ôhmica é feita entre todos os terminais acessíveis do motor e, em geral, utiliza um ohmímetro de precisão com sensibilidade para indicar variações centesimais na temperatura ambiente. Após o ensaio os valores são corrigidos para a temperatura de referência, normalmente 25ºC, e comparados com ensaios anteriores. Em caso

de discordâncias maiores que 2% deve ser pesquisada a existência de anormalidade, como: espiras em curto-circuito, número incorreto de espiras, dimensões incorretas dos condutores, conexões e contatos em más condições. Neste sentido, é importante que haja o histórico das medidas efetuadas.

Na prática de uma oficina de manutenção é feito uma comparação dos valores medidos entre as fases do motor, visto que o objetivo é de encontrar falhas no enrolamento e não o de realizar acompanhamento do estado da isolação. O ensaio é realizado nos motores com ligação em estrela e delta, medindo-se a relação entre as três fases (RxS, RxT e SxT) e comparando o maior valor medido com o menor valor medido na forma de diferença máxima percentual, conforme Equação (5).

$$Dif_{máx}(\%) = \frac{R_{maior} - R_{menor}}{R_{maior}} \times 100 \tag{5}$$

Se $Dif_{máx}$ for maior que 2%, o motor é analisado visualmente e avaliado quanto a espiras em curto-circuito, número incorreto de espiras, dimensão incorreta dos condutores e contatos em más condições.

6 INDÚSTRIA 4.0

6.1 Evolução da indústria

A primeira etapa da Revolução Industrial aconteceu entre 1760 e 1840 na Inglaterra. Nessa época os métodos artesanais foram progressivamente substituídos por máquinas que passaram a utilizar como combustível o vapor e a força hidráulica. A manutenção era essencialmente corretiva uma vez que a produtividade era prioritária e que os equipamentos eram simples e sobredimensionados (BORLIDO, 2017).

A partir da segunda metade do século XIX e até o fim da Segunda Guerra Mundial (1945), houve uma série de evoluções dentro da indústria química, elétrica, de petróleo e de aço (COELHO, 2016). Nesse período ocorreu a introdução de navios de aço com motores movidos a vapor, revolucionando o transporte de mercadorias. Surgiram também as primeiras linhas de produção permitindo a produção em massa de bens de consumo com baixos custos. No período de pós-guerra houve uma mudança significativa na manutenção, pois a escassez de recursos levou a um aumento de produtividade fazendo necessário um bom funcionamento das máquinas. Contemporânea aos primeiros computadores a válvula, que utilizavam a linguagem de programação *assembly*, é na Segunda Revolução Industrial que surgem os primeiros registros de manutenção em computadores, agendamento e controle de manutenção. Segundo Borlido (2017), nesta era nasce a manutenção preventiva.

Iniciando na década de 50 e com extrema rapidez, a eletrônica e as tecnologias de informação começaram a revolucionar novamente a indústria surgindo a chamada Terceira Revolução Industrial. Com necessidade de redução de tempo, pessoal e improdutividade, nasce o termo de manutenção preditiva (BORLIDO, 2017).

6.2 Toyotismo

Criado no Japão após a Segunda Guerra Mundial, o Toyotismo espalhou-se a partir da década de 1950 com objetivo de aperfeiçoar o modelo de Ford a partir dos seus dois princípios mais importantes: a eliminação de desperdícios e a fabricação com qualidade.

Nas fábricas, a eliminação de desperdícios tinha como objetivo reduzir ao mínimo as atividades que não agregavam valor ao produto e o princípio da fabricação com qualidade visava uma produção com zero defeitos. Ambos envolvem um terceiro princípio fundamental para o funcionamento do modelo que é o envolvimento dos colaboradores.

Além dos princípios, o modelo Toyota possui dois pilares fundamentais que são os conceitos de *Just in Time* e da automação do processo industrial. O primeiro consiste em um processo de fluxo contínuo, onde as partes necessárias à montagem alcançam a linha de produção no momento exato em que são requisitados e somente na quantidade necessária. Já o segundo consiste na utilização do trabalhador na operação das máquinas a fim de desenvolver funções inteligentes nos equipamentos reduzindo os defeitos de produção.

Outras duas filosofias foram introduzidas no Sistema Toyota de Produção com a finalidade de combater os desperdícios de maneira contínua e reduzir os níveis de estoque, foram estas *Kaizen* e *Kanban* respectivamente.

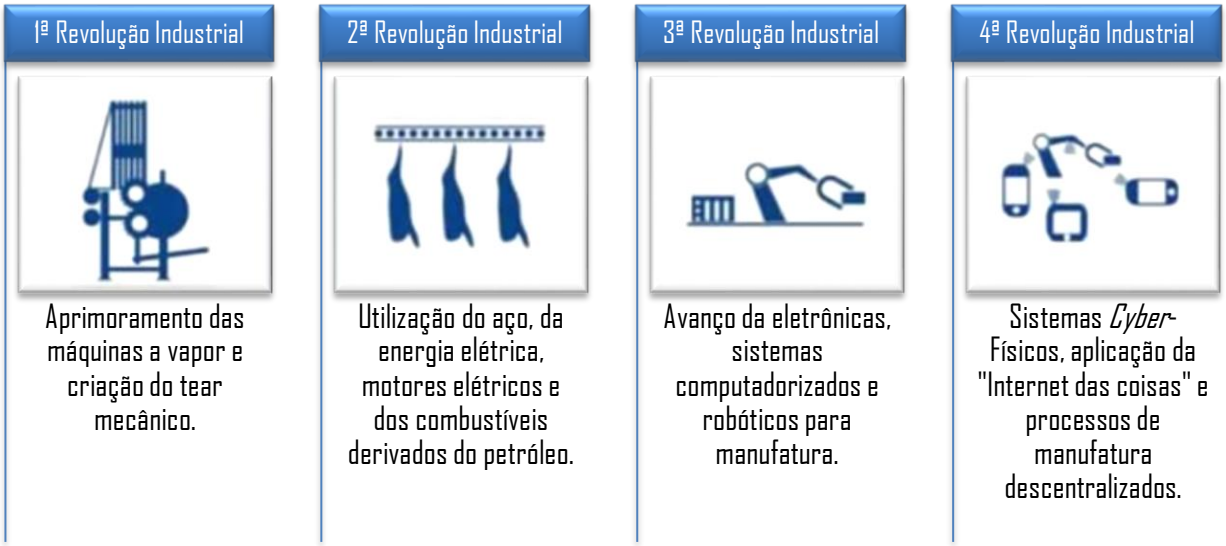
A eliminação de desperdícios é um fundamento que constitui a produção enxuta, também conhecida como *lean production*, ou metodologia seis sigma. A produção enxuta sustenta-se na capacidade da empresa em deixar de utilizar sua produção máxima e produzir de acordo com a demanda do mercado. A produção é feita através de lotes racionalizados, evitando grandes estoques e consequentes desperdícios no processo, caracterizando também uma ideia de produção flexível.

Com a fabricação em pequenos lotes, que eram produzidos de acordo com as encomendas feitas pelos clientes, fez-se necessário um sistema que possuía a capacidade de ser modificado de acordo com a necessidade do momento. Tamanha flexibilidade fez com que os operários fossem treinados a fim de fazer as alterações sem necessidade de um especialista. Esse modelo é considerado um substituto do modelo fordista, que apresentava uma linha de produção rígida e que não atendia mais os requisitos da indústria moderna. (BASTOS, 2013).

6.3 Quarta Revolução Industrial

O termo indústria 4.0 surgiu na Alemanha em meados de 2011, oriundo de um projeto governamental que tinha como objetivo afirmar que o uso de tecnologias nas indústrias poderia ser parte de mais uma revolução industrial. A partir da integração das tecnologias que já existem e uma centralização do processo de produção, pode-se alcançar um sistema de produção inteligente. Segundo ICHI et al. (2018), as indústrias estão caminhando em direção à Quarta Revolução Industrial. Um resumo das quatro revoluções industriais está ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Resumo das três revoluções industriais seguidas da quarta, ou indústria 4.0.



FONTE: SILVEIRA, 2016, adaptado.

Aos poucos as empresas têm investido em novas tecnologias de forma a acompanhar todo esse crescimento. Máquinas, robôs inteligentes, sensores, rastreabilidade e prototipagem 3D são exemplos de investimentos comuns nas empresas. O objetivo é melhorar a produtividade, aumentando a eficiência e eliminando erros e custos. Dessa forma as indústrias estão caminhando para um conceito de Fábrica Inteligente ou *Smart Factories*.

> A indústria 4.0 é um caminho sem volta que garante a competitividade para o futuro. A empresa que não aderir aos seus conceitos, não será capaz de ser competitiva futuramente. Esta tecnologia permitirá tomar decisões extremamente rápidas, assertivas, detectar problemas, evitar falhas e reduzir custos. (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2017, p.4)

As Fábricas Inteligentes possibilitarão uma produção customizada e produtos inovadores, onde os processos são integrados, as máquinas são interconectadas e trocam comandos entre si, os dados são armazenados na nuvem e o próprio processo identifica os defeitos e fazem correções autônomas.

6.4 Principais Conceitos da Indústria 4.0

Os principais conceitos tecnológicos da Indústria 4.0 segundo o *Boston Consulting Group* (2015) são a Internet das Coisas (*Internet of Things*), Sistemas *Cyber*-Físicos (*Cyber Physical Systems*), *Big Data*, Segurança de Dados (*Cybersecurity*), Realidade Aumentada, Robôs Autônomos, Simulação, Manufatura Aditiva, Nuvem (*Cloud Services*) e Integração Horizontal e Vertical de sistemas. Alguns desses conceitos serão apresentados a seguir.

A Internet das Coisas não é recente, mas com os avanços de *hardware* nos últimos anos, acabou se tornando relevante no ponto de vista prático. É por meio desse conceito que os equipamentos e objetos possuem conexão com a rede, permitindo o envio e recebimento de dados de forma independente e inteligente. Desta forma existe uma comunicação entre máquinas na fábrica, através da interligação de todas as etapas do processo de produção como sensores, atuadores, controladores, nuvem e sistemas *cyber*-físicos. A internet das coisas é o que permite o monitoramento, correção e adequação dos processos e atividades da fábrica, dessa forma, atingindo níveis de qualidade desejados pela empresa.

Os Sistemas *Cyber*-Físicos são equipamentos que possuem *software* embarcado com a capacidade de analisar informações, poder tomar decisões e agir de uma forma autônoma e em tempo real. São resultados da evolução dos computadores, sensores e tecnologia da informação que desenvolveram maior capacidade de processamento e preços mais acessíveis.

Segundo Coelho (2016), *Big Data* se refere a grande quantidade de dados que são armazenados a cada instante pelos sistemas ligados à rede (Internet das Coisas). Com tantos dados gerados continuamente se fazem necessárias ferramentas de análises para lhe dar significado.

> Dados são números, palavras ou outros sinais e representam factos discretos sobre uma realidade objetiva. Podem ser verificados e validados, contudo não tem qualquer significado se não forem interpretados e contextualizados, dando origem à informação. Por seu turno a informação tende a evoluir levando à criação de teorias e a prever o futuro, neste caso estamos perante conhecimento. (COELHO, 2016, p.23)

A indústria 4.0 traz esse grande conceito de utilização de todos os componentes de um sistema a fim de um único objetivo que é o de alcançar conhecimento. Dessa forma, o *Big Data* aperfeiçoará todo o processo de confecção dos produtos, de forma que, tomará decisões eficientes prezando economia dos recursos aliada a satisfação do cliente final.

6.5 A situação atual no Brasil

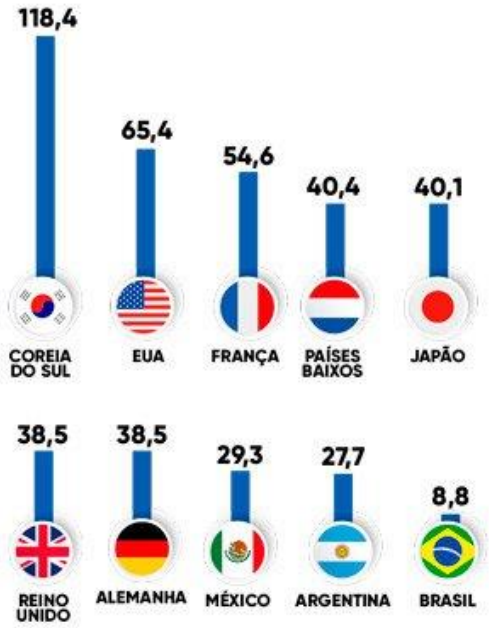
A implantação dos conceitos da Indústria 4.0 no Brasil ainda se encontra atrasada se comparada a países como Alemanha e Estados Unidos, principalmente nos quesitos tecnologia e incentivo com a participação do governo e da iniciativa privada. Porém a indústria nacional já iniciou os primeiros passos com a criação da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII) que surgiu inspirada na comunidade *Industrial Internet Consortium* (IIC) dos Estados Unidos. A ABII foi criada para acelerar o processo de integração, controle e conexão entre máquinas, sistemas, processos e pessoas através da coordenação de um ecossistema criador de iniciativas. Ela fomenta o debate entre setores privado, público e acadêmico, a colaboração e intercâmbio tecnológico e de negócios com associações, empresas e instituições internacionais e a realização de estudos e pesquisas, desenvolvimento de tecnologias e inovação.

No estado do Espírito Santo, o Bandes (Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo) e o Findes (Federação das Indústrias do Espírito Santo) organizaram um programa de fomento à Indústria 4.0 com o objetivo de disponibilizar créditos "destinados a investimentos em modernização, melhoria na produção e investimento em inovação por meio de tecnologias emergentes de TI e automação industrial" (BANDES). O programa pretende facilitar as empresas capixabas a se tornarem "fábricas inteligentes" financiando investimentos em diversas áreas relacionadas à automação industrial e *Big Data*.

Algumas empresas brasileiras já automatizaram seus processos, como é o caso da Ambev que, em 2015, adotou um sistema de automação para melhorar o controle do processo de resfriamento da cerveja e reduzir as variações de temperatura, evitando o desperdício de energia. Na Volkswagen Brasil, todos os projetos nascem a partir de um modelo digital (*Digital Twin*). Os produtos são simulados em ambiente 3D, o que acelera o processo, garante flexibilidade, otimiza o tempo de produção e ainda abre postos de trabalho altamente qualificados. A Volkswagen tem investido em *software*, *hardware* e treinamento para que os funcionários passem a lidar com essa nova realidade.

Entretanto, há muito a ser feito ainda no Brasil. Pesquisas da Confederação Nacional da Indústria (CNI) mostram que a produtividade do trabalho na indústria cresceu 8,8% no país entre 2000 e 2016, conforme mostrado na Figura 25, ficando muito abaixo do México e Argentina que são países em desenvolvimento.

Figura 25 - Taxa de crescimento da produtividade do trabalho na indústria 2000-2016.



Fonte: CNI (2017)

A recessão econômica e crise política no Brasil impactou sobre a competitividade e fez o país recuar muito em relação aos demais países em desenvolvimento.

> Há evidências de que o país não avançou no ritmo que deveria, mas, apesar desse ambiente, o país é um lugar de oportunidades. O mercado brasileiro é um dos mais promissores do mundo e desperta interesse de investidores. CNI (2018)

São grandes os desafios para o Brasil no caminho de se alcançar uma indústria inovadora, mundialmente competitiva e sustentável. Para que essas oportunidades se concretizem, deve haver a participação conjunta de instituições, empresas, universidade e governo.

Após a contextualização do conceito de Indústria 4.0, o Capítulo 7 vai apresentar uma ferramenta de banco de dados para oficinas elétricas de manutenção que propõe a unificação do processo de manutenção nas indústrias, por meio do compartilhamento de informações, e automatização das decisões de manutenção com base no diagnóstico dado ao equipamento.

7 FERRAMENTA PROPOSTA

Quando um motor elétrico passa pela oficina de manutenção, seja para uma manutenção corretiva ou manutenção preventiva, ele é inspecionado e testado, a fim de gerar um diagnóstico de manutenção e histórico de acompanhamento das manutenções que ele já tenha sofrido. Em uma indústria de grande porte, que tenha grande fluxo de manutenções, é de suma importância que esses dados sejam armazenados para estudos posteriores. Portanto, fica evidente a necessidade de utilização de uma estrutura de banco de dados no monitoramento de manutenções anteriores para consultas de, por exemplo, componentes que apresentam falhas constantes. Dessa forma, podem ser realizados estudos de aperfeiçoamento nos processos de fabricação, transporte e armazenamento desses produtos junto aos fornecedores. Além disso, uma ferramenta que aproveite esse banco de dados para automatização da tomada de decisão, atualmente dada por um técnico, estaria contribuindo para unificação do processo, evitando falhas e desvios na manutenção como um todo.

Todas essas funcionalidades fazem parte do que foi chamado no capítulo anterior de *Big Data*, ou seja, todos os dados de manutenção em um sistema único, onde todos envolvidos podem ter acesso e colaborarem em busca da causa raiz de uma falha, de maneira a reduzir desperdício com constantes manutenções, tornando o processo mais produtivo e competitivo.

7.1 Microsoft Office Access

O Sistema Microsoft Office Access é um programa da Microsoft Corporation e faz parte do pacote Microsoft Office Professional, juntamente com o Excel, Word, Power Point e outros. O sistema permite o desenvolvimento rápido de aplicações que requerem banco de dados e interface com os usuários. A versão mais recente é o Access 2016 que tem a extensão de arquivo .accdb e pode ser compartilhado com outros computadores por meio de mensagens de e-mail, intranet ou internet.

O programa permite a criação de tabelas que são uma espécie de planilha, onde os dados são armazenados em linhas e colunas, conforme Figura 26 a seguir. A edição de dados existentes no banco de dados é livre, porém protegida por meio do uso de interfaces que utilizam formatos de entrada de dados. Essa interface é criada por meio dos formulários, conforme Figura 27, que contém botões de comando e diversos controles que podem executar tarefas, inclusive de inserir, modificar e excluir dados no banco de dados.

Figura 26 - Tabela de banco de dados do Access.

Motores_Inducao_Trifasicos

Nome	Ordem	Codigo	Fabricante	Tipo_de_Carcaca	Potencia	Tensao	Corrente	Velocidade
MOTOROLO	900001111111	MRG-1111	WEG	180 L	18500	440	9	1170
MOTORBOMBA	900002222222	MRG-2222	ERCOLE MARELLI	180 S	600	3300	90	200
BRITADOR DE CARVÃO	900003333333	MRG-3333	SEW	300 M/L	12000	380	70	800
MOTOROLO	900004444444	MRG-4444	WEG	180 L	18000	440	9	1170
*	90000 0				0	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Figura 27 - Formulário do Access.

Teste Inicial - Motores de Indução Trifásicos RG

DADOS DOS MOTORES

Descrição		Potência (W)	0,0
Ordem de Serviço	90000 0	Velocidade (rpm)	0
Código		Frequência (Hz)	0
Fabricante		Ano	0
Carcaça		Classe de Isolamento	
Tensão (V)	0	Fator de Potência (%)	0,0
Corrente (A)	0,0	Rendimento (%)	0,0

CHECK LIST

Placa de Identificação	Aprovado	Cabos de Alimentação	Aprovado
Carcaca	Aprovado	Olhal	Aprovado

Fonte: Próprio autor.

Os botões de comando, da Figura 27, e outros controles que exercem alguma tarefa em um determinado programa, obedecem aos códigos de dois elementos do Access: as macros e os módulos. As macros são um tipo de linguagem de programação simplificada e contém ações que executam diversos tipos de tarefas, as quais podem ser associadas a um botão em um formulário, de maneira que seja executada sempre que algum usuário clicar no botão. Os módulos são páginas de código onde são feitas as declarações, instruções e procedimentos dos programas em linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*). Eles podem ser de classe, onde são associados a formulários ou relatórios, ou padrão, quando não estão associados a qualquer outro objeto.

Além disso, existem as consultas e os relatórios que são objetos usados para análise dos dados, pois permitem filtros e resumo desses dados, transformando-os em informação.

Todos esses elementos, de manipulação fácil e rápida, contribuem para que o Access, assim como o Excel, seja um sistema muito usado nas indústrias nas realizações de tarefas que, geralmente, complementam um sistema principal, o qual exige um pouco mais de conhecimento na área de tecnologia da informação.

Pelos motivos apresentados e pela acessibilidade de aquisição do pacote Microsoft Office, o Access foi escolhido para programação da ferramenta de monitoramento e diagnóstico de falhas para motores de indução trifásicos de rotor gaiola, não impedindo que a mesma lógica de programação seja replicada em outros sistemas de características semelhantes. A seguir serão discutidas todas as tomadas de decisão da ferramenta, baseadas na norma ABNT NBR 17094-3:2018 e soluções praticadas nas oficinas elétricas de manutenção.

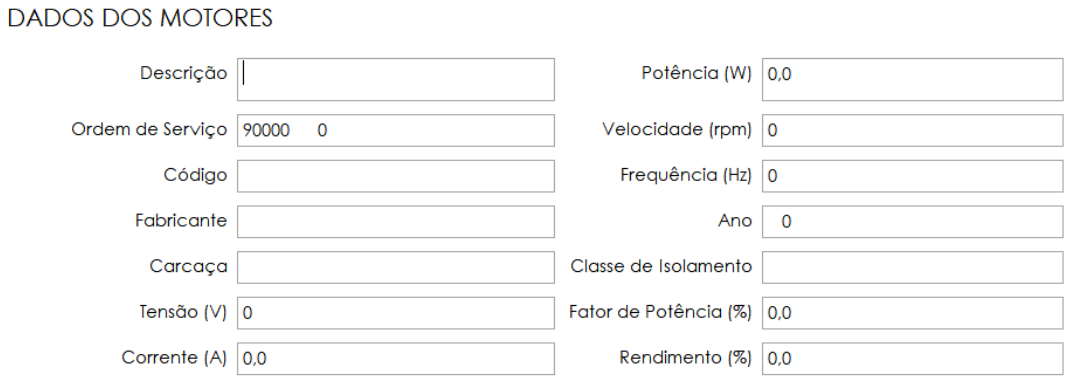
7.2 Diagnóstico de falhas

Os limites dos ensaios, dados pela norma, e as anormalidades, coletadas do responsável pelo motor e inspecionadas no teste inicial, fundamentam o diagnóstico do motor a ser manutenido. Após o diagnóstico, que contém toda constatação das falhas e irregularidades, um técnico descreve todas as recomendações de manutenção necessárias para a recuperação desse motor e realiza todos os cálculos de gastos com a manutenção, a fim de analisar economicamente a possibilidade de descarte desse motor e aquisição de um novo.

Se constatada a viabilidade de manutenção, o motor será direcionado a uma manutenção mais eficiente possível, visando assertividade em cada passo e satisfação do cliente final, eliminando retrabalhos posteriores e prolongando a utilização desse motor de forma econômica e dentro das normas de segurança.

Ao chegar na oficina de manutenção elétrica, todas as informações do motor são coletadas por meio da placa de identificação localizada no motor e inseridas no formulário, conforme Figura 28. Então o motor é testado e desmontado para fins de inspeção visual das peças que o constituem, já apresentadas no Capítulo 2.

Figura 28 - Parte do formulário para os dados dos motores.

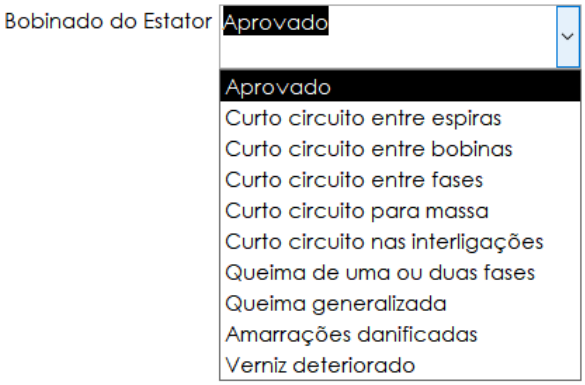


Fonte: Próprio autor.

A inspeção constitui-se de um *check list* com todas as possíveis irregularidades (por exemplo corrosão, trinca, falta de algum componente, curto circuito e etc.), conforme descrito na Tabela 3 do APÊNDICE A. Todos os componentes do *check list* têm uma variável própria no programa e para cada opção de irregularidade, existe uma recomendação de manutenção associada.

A Figura 29 ilustra, como exemplo, uma caixa de listagem com todas as opções para a análise do bobinado do estator, e a Figura 30 mostra o formulário usado para realizar o *check list* com todas as variáveis analisadas no programa.

Figura 29 - Caixa de listagem para a variável bobinado do estator.



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 – Parte do formulário para o *check list* de inspeção.

Placa de Identificação	Aprovado	Cabos de Alimentação	Aprovado
Carcaca	Aprovado	Olhal	Aprovado
Tampa Defletora	Aprovado	Chaveta LA	Aprovado
Tampa LA	Aprovado	Chaveta LOA	Aprovado
Tampa LOA	Aprovado	Ventilador	Aprovado
Base	Aprovado	Retentor LA	Aprovado
Tampa da Caixa de Ligação	Aprovado	Retentor LOA	Aprovado
Caixa de Ligação	Aprovado	Labirinto Externo LA	Aprovado
Eixo LA	Aprovado	Labirinto Externo LOA	Aprovado
Eixo LOA	Aprovado	Labirinto Interno LA	Aprovado
Acoplamento LA	Aprovado	Labirinto Interno LOA	Aprovado
Acoplamento LOA	Aprovado	Rolamento LA	Aprovado
Parafusos	Aprovado	Rolamento LOA	Aprovado
Porcas	Aprovado	Bobinado do Estator	Aprovado
Arruelas	Aprovado	Gaiola	Aprovado
Pintura	Aprovado	Resistor de Aquecimento	Aprovado
Contaminação Externa	Aprovado	Contaminação Interna	Aprovado

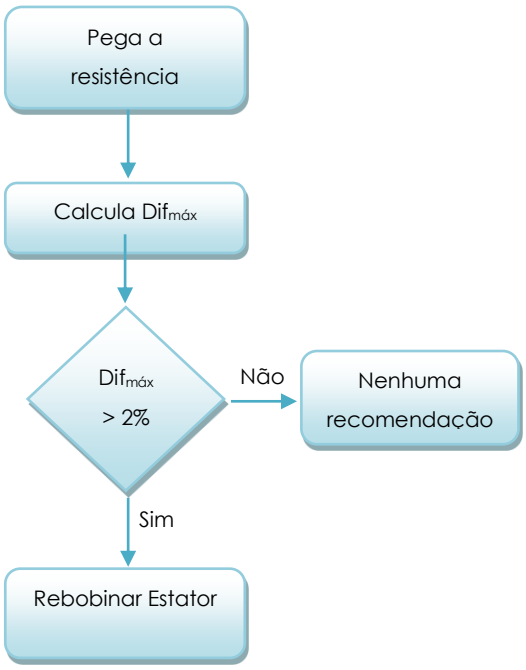
Fonte: Próprio autor.

Todas as variáveis, que podem ser associadas a uma falha ou irregularidade por seleção do usuário, são inseridas no banco de dados por meio do botão salvar e chamadas no módulo pelo código em VBA (APÊNDICE B) que avalia e concatena as recomendações Tabela 3 em uma variável chamada “recomenda”.

Os testes de resistência ôhmica e resistência de isolamento também fazem parte do diagnóstico de manutenção dos motores e, no sistema, são funções chamadas depois da verificação de partes mecânicas, falhas no rotor e no bobinado do estator.

A função que avalia o teste de resistência ôhmica, ilustrada na Figura 31, só é chamada se não houver curto circuito nas interligações do bobinado do estator e se os cabos de alimentação não foram reprovados no *check list*, pois essas podem ser a causa do desvio no valor de resistência ôhmica. Caso contrário, a função que avalia a resistência ôhmica será chamada e se houver desvio no valor, será recomendado o rebobinamento do estator, pois existe a possibilidade de espiras em curto circuito ou problemas na fabricação das bobinas.

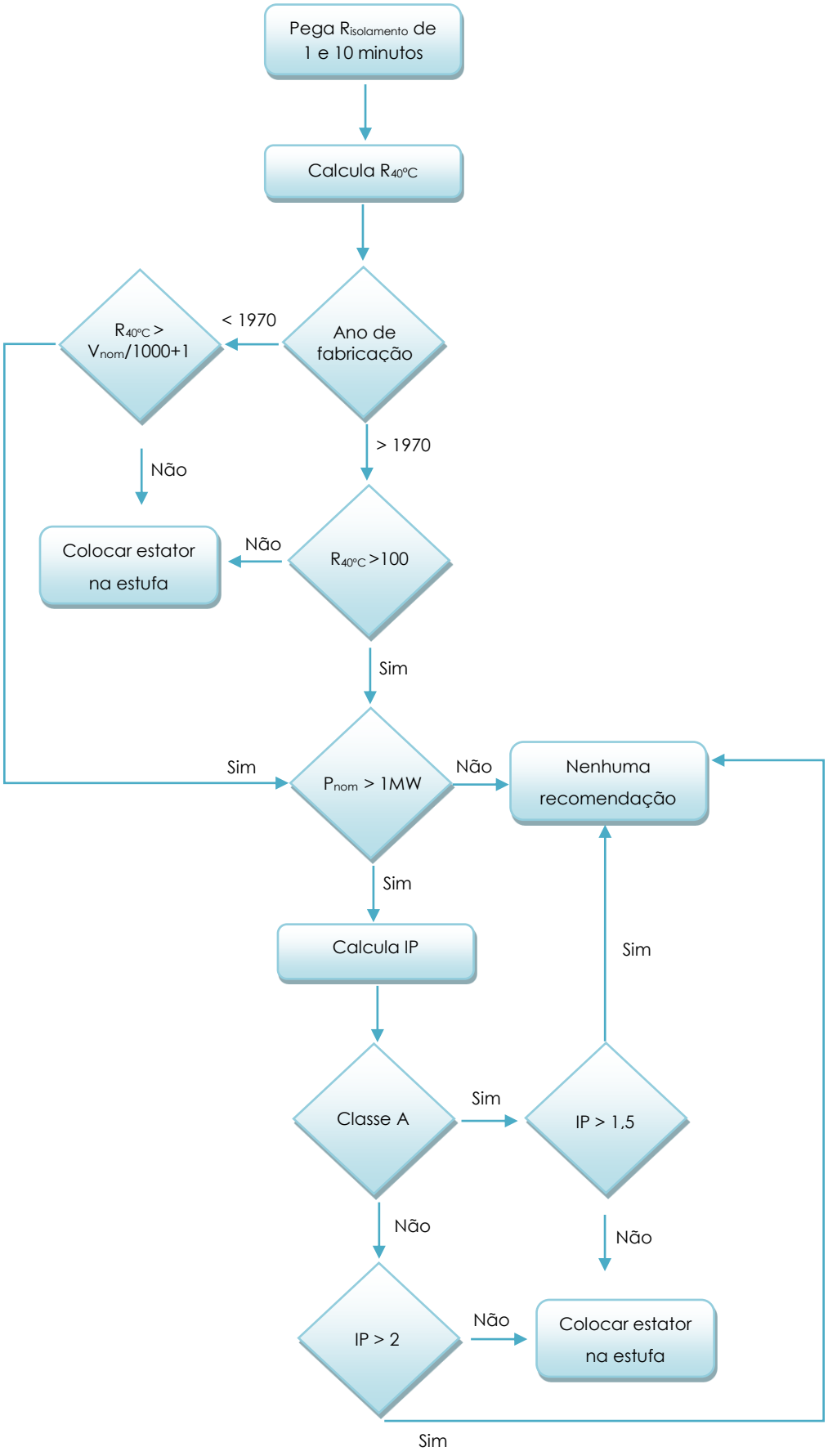
Figura 31 - Fluxograma da função que avalia a resistência ôhmica.



Fonte: Próprio autor

Antes de chamar a função que analisa a resistência de isolamento e calcular os parâmetros R_{40^oC} e IP, o programa verifica o campo "bobinado do estator" do *check list* e, se as opções de curto circuito ou queima das bobinas (Figura 29) foram selecionadas, é recomendado o rebobinamento do estator. No caso de contaminação interna, é orientado a limpeza do estator, conforme o nível de sujeira. Na exceção dessas condições, é chamada a função que calcula os parâmetros da resistência de isolamento e orientado a secagem do estator na estufa, conforme fluxograma da Figura 32.

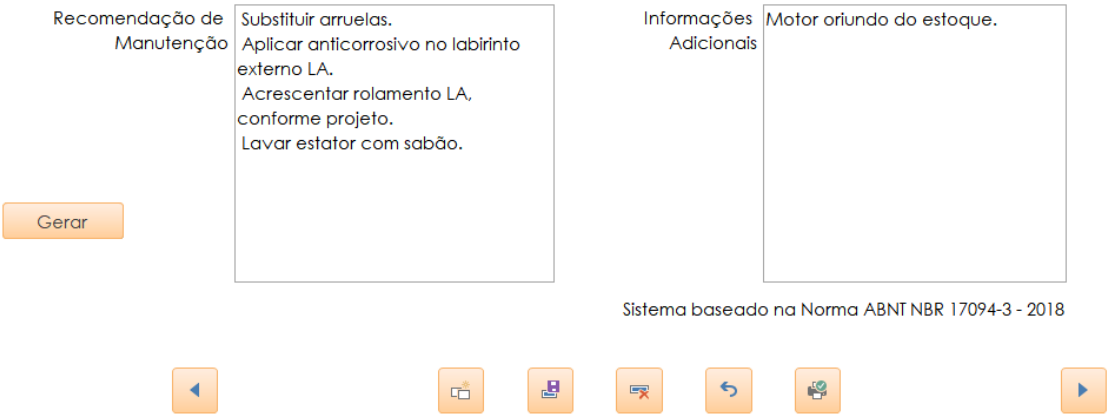
Figura 32 - Fluxograma da função que avalia a resistência isolamento.



Fonte: Próprio autor

No final do programa, a variável “recomenda”, que possui todas as recomendações concatenadas, é inserida no campo “Recomendação de Manutenção” da Figura 33 e, se necessário, o técnico responsável pelo teste inicial pode complementar o relatório com algum comentário adicional para avaliação do motor no campo “Informações Adicionais”. Após todos esses passos, o relatório pode ser encaminhado ao executante para realização da manutenção recomendada para aquele equipamento.

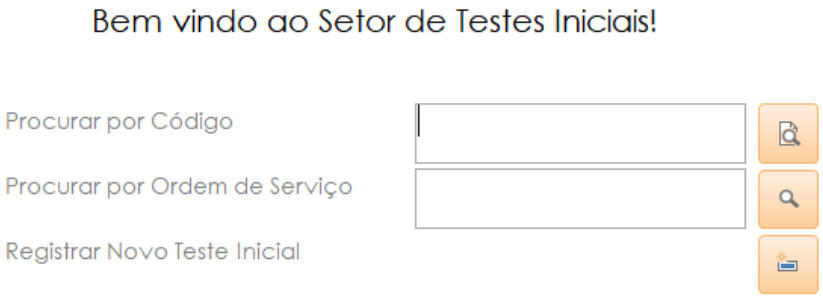
Figura 33 - Exemplo de recomendação de manutenção e campo para informações adicionais.



Fonte: Próprio autor.

Todos os relatórios podem ser consultados por meio do código daquele equipamento ou do número da ordem de serviço da manutenção no formulário de entrada do sistema, ilustrado na Figura 34.

Figura 34 - Formulário de entrada do sistema.



Fonte: Próprio autor.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A substituição dos relatórios manuais, praticados atualmente nas oficinas de manutenção, por sistemas computadorizados pode proporcionar ganhos incalculáveis ao processo. Além da facilidade na leitura e entendimento do relatório, as recomendações podem ser padronizadas, evitando erros ou exageros. No ponto de vista da oficina, o histórico de manutenção vai facilitar no levantamento de dados para estudos de viabilidade de aquisição de recursos, como por exemplo compra de equipamentos, ferramentas e insumos utilizados nos processos de manutenção.

De forma geral, a análise dos dados e o acompanhamento da tendência dos testes realizados podem ajudar na previsão de falhas e tempo de vida útil do equipamento. Ou seja, a análise dos parâmetros relacionados às manutenções corretivas, preventivas e preditivas será unificada, permitindo a troca de informações entre esses departamentos de forma a tornar a tomada de decisão mais eficiente possível e permitir uma avaliação mais aprofundada da causa raiz do problema.

De posse das informações dos motores e recomendações de manutenção, pode-se fazer um estudo de tempo de duração da manutenção sugerida e, conhecendo o custo de homem-hora, a ferramenta pode ser programada para o cálculo do orçamento da manutenção do equipamento. Nesse sentido, será possível avaliar a viabilidade de manutenção de forma automática quando comparado o orçamento de manutenção com o de aquisição de um componente novo.

Outra consideração a ser feita é que a ferramenta foi programada para os motores de indução trifásicos de rotor gaiola, porém a mesma metodologia pode ser estendida a todas as classes de motores (Figura 1), de forma a obter histórico das falhas dos componentes característicos desses motores e recomendar manutenções com base nas correspondentes normas e práticas adotadas nas oficinas de manutenção.

9 REFERÊNCIAS

ABII - Associação Brasileira de Internet Industrial. **Internet Industrial.** Disponível em: <https://www.abii.com.br/>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

ABNT NBR 17094-3:2018. **Máquinas elétricas girantes. Parte 3: Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.

ÁGUAS, André Gonçalves. **Otimização de um sistema online de detecção de falhas em motores de indução**. Faculdade de Ciência e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, setembro de 2013.

ALMEIDA, Júlio César de. **Mancais de deslizamento**. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM356/Prof_Jorge_Erthal/Aulas/10-Mancais%20de%20Deslizamento.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

ALMEIDA, Antonio Tadeu Lyrio de Almeida e GIACCHETTA, Leonardo Bolzan. **Avaliação de dielétricos a óleo e a seco através do fator de potência, tangente delta e descargas parciais – Medição e análise**. Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria, Itajubá, Minas Gerais, 2016.

ASSUNÇÃO, Frederico de Oliveira. **Técnicas de análise preditiva para falhas elétricas em motores de indução trifásicos**. Universidade Federal de Itajubá, março de 2006.

BANDES, Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo. **Programa Indústria 4.0.** Disponível em: < https://www.bandes.com.br/Site/Dinamico/Show/829/industria4>. Acesso em: 29 de novembro de 2018.

BASTOS, Marcelo**. Sistema Toyota de Produção**, Portal Administração, 2013. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2013/12/sistema-toyota-de-producao.html>. Acesso em: 15 de outubro de 2018.

BORBA, José Luiz**. Engenharia de Manutenção**. Curso Tópicos Especiais em Ferrovias I, agosto a setembro de 2018. 153 f. Notas de Aula.

BORLIDO, David José Araújo**. Indústria 4.0 - Aplicação a Sistema de Manutenção**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, julho de 2017.

BOSTON CONSULTING GROUP. ***Industry* 4.0: *The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries***. 2015. Disponível em: < https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>. Acesso em: 09 de outubro de 2018.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Traduzido por Anatólio Laschuk, 5ª ed., Porto Alegre, AMGH, 2013.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Mapa Estratégico 2018-2022.** Brasília, 2018.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, julho de 2016.

DIETER, George E. **Metalurgia Mecânica**. Tradução de Antonio Sergio de Sousa e Silva, Luiz Henrique de Almeida, Paulo Emílio Valadão de Miranda. 2ª ed. Editora Guanabara Dois AS.

FLUKE. **Teste de Resistência de Isolação**. Disponível em http://www.vortex.com.br/notas/resistencia_%20isolamento.pdf. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

ICHI, Felippe Shigueyuki, SIQUEIRA, Anna Cláudia, COSTA, Jéssica Sandy, MAGGIONI, Patrícia Kroetz. **Os desafios da Indústria 4.0 no Brasil: Um novo conceito de gestão no Mercado competitivo.** Ponta Grossa, Paraná, Brasil, Junho de 2018.

KAGERMANN H. ***Securing the future of German manufacturing industry: recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0*: *final report of the industrie 4.0 working group. Acatech***. Alemanha, 2013.

LINDH, T. ***On the condition monitoring of induction machines.*** *Lapperntanta University of Tecnology*, Lappeenranta, Suécia, 2003.

MPC Service. **Causas Típicas de Falhas em Enrolamentos de Estatores Trifásicos**. Disponível em: <www.mpcservice.com.br/paginas/artigo02.html>.

NORMA DIN 50320 dezembro 1979.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. ***IEEE: recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery***, New York, 2000.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **O que é Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Disponível em:< https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 15 de outubro de 2018.

VIEIRA, Luciano. **Motores Elétricos. Princípios e fundamentos.** Disponível em <https://docplayer.com.br/11436415-Motores-eletricos-principios-e-fundamentos.html>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.

WEG. **Motores: Aplicações Industriais**. Catálogo. Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil, 2013. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~mtaques/Comandos%20Industriais/CatalogosFabricantes/WEG/WEG-motores-aplicacoes-industriais-50009275-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em: 30 de novembro de 2018.

APÊNDICE A

Tabela 3 - *Check List* dos componentes de um motor de indução trifásico RG.

Componente	Variável	Opções	Recomendação
Acoplamento LA	Acoplamento_LA	Não Possui	Acrescentar acoplamento LA, conforme projeto
		Amassado	Substituir acoplamento LA
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Corroído	Aplicar anticorrosivo no acoplamento LA
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
		Quebrado	Soldar acoplamento LA
		Reprovado	Substituir
		Trincado	Soldar acoplamento LA
Acoplamento LOA	Acoplamento_LOA	Não Possui	Acrescentar acoplamento LOA, conforme projeto
		Amassado	Substituir acoplamento LOA
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Corroído	Aplicar anticorrosivo em acoplamento LOA
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
		Quebrado	Soldar acoplamento LOA
		Reprovado	Substituir acoplamento LOA
		Trincado	Soldar acoplamento LOA
Arruelas	Arruelas	Reprovado	Substituir arruelas
		Não Possui	Acrescentar arruelas, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Base	Base	Corroído	Aplicar anticorrosivo na base
		Quebrado	Soldar base
		Reprovado	Substituir carcaça
		Trincado	Soldar base
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Bobinado do Estator	Bobinado_do_Estator	Aprovado	Nenhuma recomendação
		Curto circuito entre bobinas	Rebobinar estator

		Curto Circuito entre espiras	Rebobinar estator
		Curto Circuito entre fases	Rebobinar estator
		Curto Circuito nas interligações	Refazer interligações das bobinas
		Curto Circuito para massa	Rebobinar estator
		Queima de uma ou duas fases	Rebobinar estator
		Queima generalizada	Rebobinar estator
		Amarrações danificadas	Refazer amarrações das bobinas
		Verniz deteriorado	Envernizar estator
Cabos de Alimentação	Cabos_de_Alimentacao	Aprovado	Nenhuma recomendação
		Reprovado	Substituir cabos de alimentação.
		Sem Identificação	Identificar
Caixa de Ligação	Caixa_de_Ligacao	Corroído	Aplicar anticorrosivo na caixa de ligação
		Quebrado	Soldar caixa de ligação
		Reprovado	Substituir caixa de ligação
		Trincado	Soldar caixa de ligação
		Não Possui	Acrescentar caixa de ligação, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Carcaça	Carcaca	Corroído	Aplicar anticorrosivo na carcaça
		Quebrado	Soldar carcaça
		Reprovado	Substituir carcaça
		Trincado	Soldar carcaça
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Chaveta LA	Chaveta_LA	Reprovado	Substituir chaveta LA
		Não Possui	Acrescentar chaveta LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação

Chaveta LOA	Chaveta_LOA	Reprovado	Substituir chaveta LOA
		Não Possui	Acrescentar chaveta LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Contaminação Externa	Contaminacao_Externa	Alto Nível	Lavar parte externa com sabão e secar na estufa
		Baixo Nível	Limpar parte externa com soprador de ar
		Médio Nível	Lavar parte externa com água e secar na estufa
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Contaminação Interna	Contaminacao_Interna	Alto Nível	Lavar estator com sabão e secar na estufa
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Baixo Nível	Limpar estator com soprador de ar
		Médio Nível	Lavar estator com água e secar na estufa
Eixo LA	Eixo_LA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no eixo LA
		Desgastado	Reparar eixo LA desgastado
		Empenado	Reparar eixo LA empenado
		Quebrado	Soldar eixo LA
		Reprovado	Substituir eixo
		Superfície irregular	Reparar superfície irregular do eixo LA
		Trincado	Soldar eixo LA
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não aplicável	Nenhuma recomendação
Eixo LOA	Eixo_LOA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no eixo LOA
		Desgastado	Reparar eixo LOA desgastado
		Empenado	Reparar eixo LOA empenado
		Quebrado	Soldar eixo LOA
		Reprovado	Substituir eixo
		Superfície irregular	Reparar superfície irregular do eixo LOA
		Trincado	Soldar eixo LOA
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não aplicável	Nenhuma recomendação

Labirinto Externo LA	Labirinto_Externo_LA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no labirinto externo LA
		Reprovado	Substituir labirinto externo LA
		Quebrado	Soldar labirinto externo LA
		Trincado	Soldar labirinto externo LA
		Não Possui	Acrescentar labirinto externo LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Labirinto Externo LOA	Labirinto_Externo_LOA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no labirinto externo LOA
		Reprovado	Substituir labirinto externo LOA
		Quebrado	Soldar labirinto externo LOA
		Trincado	Soldar labirinto externo LOA
		Não Possui	Acrescentar labirinto externo LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Labirinto Interno LA	Labirinto_Interno_LA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no labirinto interno LA
		Reprovado	Substituir labirinto interno LA
		Quebrado	Soldar labirinto interno LA
		Trincado	Soldar labirinto interno LA
		Não Possui	Acrescentar labirinto interno LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Labirinto Interno LOA	Labirinto_Interno_LOA	Corroído	Aplicar anticorrosivo no labirinto interno LOA
		Reprovado	Substituir labirinto interno LOA
		Quebrado	Soldar labirinto interno LOA
		Trincado	Soldar labirinto interno LOA
		Não Possui	Acrescentar labirinto interno LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Olhal	Olhal	Reprovado	Substituir olhal
		Não Possui	Acrescentar olhal, conforme projeto

		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Parafusos	Parafusos	Reprovado	Substituir parafusos
		Não Possui	Acrescentar parafusos, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Pintura	Pintura	Reprovado	Pintar motor
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Placa de Identificação	Placa_de_Identificacao	Identificação inadequada	Substituir placa de identificação
		Ilegível	Limpar placa de identificação
		Não Possui	Fabricar placa de identificação
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Porcas	Porcas	Reprovado	Substituir porcas
		Não Possui	Acrescentar porcas, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
Resistor de Aquecimento	Resistor_de_Aquecimento	Reprovado	Substituir resistor de aquecimento
		Não Possui	Acrescentar resistor de aquecimento, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Retentor LA	Retentor_LA	Reprovado	Substituir retentor LA
		Ressecado	Substituir retentor LA
		Quebrado	Substituir retentor LA
		Não Possui	Acrescentar retentor LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Retentor LOA	Retentor_LOA	Reprovado	Substituir retentor LOA
		Ressecado	Substituir retentor LOA
		Quebrado	Substituir retentor LOA
		Não Possui	Acrescentar retentor LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Rolamento LA	Rolamento_LA	Desgastado	Substituir rolamento LA
		Contaminado	Substituir rolamento LA
		Reprovado	Substituir rolamento LA

		Quebrado	Substituir rolamento LA
		Trincado	Substituir rolamento LA
		Corroído	Substituir rolamento LA
		Não Possui	Acrescentar rolamento LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não aplicável	Nenhuma recomendação
Rolamento LOA	Rolamento_LOA	Desgastado	Substituir rolamento LOA
		Contaminado	Substituir rolamento LOA
		Reprovado	Substituir rolamento LOA
		Quebrado	Substituir rolamento LOA
		Trincado	Substituir rolamento LOA
		Corroído	Substituir rolamento LOA
		Não Possui	Acrescentar rolamento LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não aplicável	Nenhuma recomendação
Rotor Gaiola	Gaiola	Anel curto circuito Trincado	Soldar anel de curto circuito do rotor
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Barras quebradas	Soldar barras quebradas do rotor
		Reprovado	Substituir rotor
Tampa da Caixa de Ligação	Tampa_da_Caixa_de_Ligacao	Corroído	Aplicar anticorrosivo na tampa da caixa de ligação
		Reprovado	Substituir tampa da caixa de ligação
		Quebrado	Soldar tampa da caixa de ligação
		Trincado	Soldar tampa da caixa de ligação
		Não Possui	Acrescentar tampa da caixa de ligação, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Tampa defletora	Tampa_Defletora	Amassado	Reparar tampa defletora amassada
		Corroído	Aplicar anticorrosivo na tampa defletora
		Reprovado	Substituir tampa defletora
		Quebrado	Soldar tampa defletora
		Trincado	Soldar tampa defletora
		Não Possui	Acrescentar tampa defletora,

			conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Tampa LA	Tampa_LA	Corroído	Aplicar anticorrosivo na tampa LA
		Reprovado	Substituir tampa LA
		Quebrado	Soldar tampa LA
		Trincado	Soldar tampa LA
		Não Possui	Acrescentar tampa LA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Tampa LOA	Tampa_LOA	Corroído	Aplicar anticorrosivo na tampa LOA
		Reprovado	Substituir tampa LOA
		Quebrado	Soldar tampa LOA
		Trincado	Soldar tampa LOA
		Não Possui	Acrescentar tampa LOA, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação
Ventilador	Ventilador	Trincado	Substituir ventilador
		Quebrado	Substituir ventilador
		Reprovado	Substituir ventilador
		Não Possui	Acrescentar ventilador, conforme projeto
		Aprovado	Nenhuma recomendação
		Não Aplicável	Nenhuma recomendação

Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE B

```
Option Compare Database
Private Sub btn_atualizarman_Click()
    Dim recomenda As String
    Dim Acoplamento_LA As String
    Dim Acoplamento_LOA As String
    Dim Arruelas As String
    Dim Base As String
    Dim Bobinado_do_Estator As String
    Dim Cabos_de_Alimentacao As String
    Dim Caixa_de_Ligacao As String
    Dim Carcaca As String
    Dim Chaveta_LA As String
    Dim Chaveta_LOA As String
    Dim Contaminacao_Externa As String
    Dim Contaminacao_Interna As String
    Dim Eixo_LA As String
    Dim Eixo_LOA As String
    Dim Gaiola As String
    Dim Labirinto_Externo_LA As String
    Dim Labirinto_Externo_LOA As String
    Dim Labirinto_Interno_LA As String
    Dim Labirinto_Interno_LOA As String
    Dim Olhal As String
    Dim Parafusos As String
    Dim Pintura As String
    Dim Placa_de_Identificacao As String
    Dim Porcas As String
    Dim Resistor_de_Aquecimento As String
    Dim Retentor_LA As String
    Dim Retentor_LOA As String
    Dim Rolamento_LA As String
    Dim Rolamento_LOA As String
    Dim Tampa_da_Caixa_de_Ligacao As String
    Dim Tampa_Defletora As String
    Dim Tampa_LA As String
    Dim Tampa_LOA As String
    Dim um_minuto As Integer
    Dim Ventilador As String

    Acoplamento_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Acoplamento_LA
    Acoplamento_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Acoplamento_LOA
    Arruelas = Forms![motores_inducao_trifasicos].Arruelas
    Base = Forms![motores_inducao_trifasicos].Base
    Bobinado_do_Estator = Forms![motores_inducao_trifasicos].Bobinado_do_Estator
    Cabos_de_Alimentacao = Forms![motores_inducao_trifasicos].Cabos_de_Alimentacao
    Caixa_de_Ligacao = Forms![motores_inducao_trifasicos].Caixa_de_Ligacao
```

```
    Carcaca = Forms![motores_inducao_trifasicos].Carcaca
    Chaveta_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Chaveta_LA
    Chaveta_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Chaveta_LOA
    Contaminacao_Externa = Forms![motores_inducao_trifasicos].Contaminacao_Externa
    Contaminacao_Interna = Forms![motores_inducao_trifasicos].Contaminacao_Interna
    Eixo_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Eixo_LA
    Eixo_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Eixo_LOA
    Gaiola = Forms![motores_inducao_trifasicos].Gaiola
    Labirinto_Externo_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Labirinto_Externo_LA
    Labirinto_Externo_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Labirinto_Externo_LOA
    Labirinto_Interno_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Labirinto_Interno_LA
    Labirinto_Interno_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Labirinto_Interno_LOA
    Olhal = Forms![motores_inducao_trifasicos].Olhal
    Parafusos = Forms![motores_inducao_trifasicos].Parafusos
    Pintura = Forms![motores_inducao_trifasicos].Pintura
    Placa_de_Identificacao = Forms![motores_inducao_trifasicos].Placa_de_Identificacao
    Porcas = Forms![motores_inducao_trifasicos].Porcas
    Resistor_de_Aquecimento =
Forms![motores_inducao_trifasicos].Resistor_de_Aquecimento
    Retentor_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Retentor_LA
    Retentor_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Retentor_LOA
    Rolamento_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Rolamento_LA
    Rolamento_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Rolamento_LOA
    Tampa_da_Caixa_de_Ligacao =
Forms![motores_inducao_trifasicos].Tampa_da_Caixa_de_Ligacao
    Tampa_Defletora = Forms![motores_inducao_trifasicos].Tampa_Defletora
    Tampa_LA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Tampa_LA
    Tampa_LOA = Forms![motores_inducao_trifasicos].Tampa_LOA
    um_minuto = Forms![motores_inducao_trifasicos].um_minuto
    Ventilador = Forms![motores_inducao_trifasicos].Ventilador


'PARTES MECÂNICAS
'Acoplamento LA
    If (Acoplamento_LA = "Amassado") Or (Acoplamento_LA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir acoplamento LA." & vbCrLf
    ElseIf (Acoplamento_LA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no acoplamento LA." & vbCrLf
    ElseIf (Acoplamento_LA = "Trincado") Or (Acoplamento_LA = "Quebrado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar acoplamento LA." & vbCrLf
    ElseIf (Acoplamento_LA = "Não possui") Then
        recomenda = recomenda & " Acrescentar acoplamento LA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Acoplamento LOA
    If (Acoplamento_LOA = "Amassado") Or (Acoplamento_LOA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir acoplamento LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Acoplamento_LOA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no acoplamento LOA." & vbCrLf
```

```
    ElseIf (Acoplamento_LOA = "Trincado") Or (Acoplamento_LOA = "Quebrado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar acoplamento LOA." & vbCrLf
        ElseIf (Acoplamento_LA = "Não possui") Then
        recomenda = recomenda & " Acrescentar acoplamento LOA, conforme projeto." &
vbCrLf
    End If
'Arruelas
    If (Arruelas = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir arruelas." & vbCrLf
    ElseIf (Arruelas = "Não possui") Then
        recomenda = recomenda & " Acrescentar arruelas, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Base
    If (Base = "Quebrado") Or (Base = "Trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar base." & vbCrLf
    ElseIf (Base = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na base." & vbCrLf
    ElseIf (Base = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir carcaça." & vbCrLf
    End If
'Caixa de Ligação
    If (Caixa_de_Ligacao = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na caixa de ligação." & vbCrLf
    ElseIf (Caixa_de_Ligacao = "Quebrado") Or (Caixa_de_Ligacao = "Trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar caixa de ligação." & vbCrLf
    ElseIf (Caixa_de_Ligacao = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir caixa de ligação." & vbCrLf
    ElseIf (Caixa_de_Ligacao = "Não possui") Then
        recomenda = recomenda & " Acrescentar caixa de ligação, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Carcaça
    If (Carcaca = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na carcaça." & vbCrLf
    ElseIf (Carcaca = "Quebrado") Or (Carcaca = "Trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar carcaça." & vbCrLf
    ElseIf (Carcaca = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir carcaça." & vbCrLf
    End If
'Chaveta LA
    If (Chaveta_LA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir chaveta LA." & vbCrLf
    ElseIf (Chaveta_LA = "Não possui") Then
        recomenda = recomenda & " Acrescentar chaveta LA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Chaveta LOA
    If (Chaveta_LOA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir chaveta LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Chaveta_LOA = "Não possui") Then
```

```
        recomenda = recomenda & " Acrescentar chaveta LOA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Contaminação externa
    If (Contaminacao_Externa = "Baixo nível") Then
        recomenda = recomenda & " Limpar parte externa com soprador de ar." & vbCrLf
    ElseIf (Contaminacao_Externa = "Médio nível") Then
            recomenda = recomenda & " Lavar parte externa com água e secar na estufa." &
vbCrLf
    ElseIf (Contaminacao_Externa = "Alto nível") Then
            recomenda = recomenda & " Lavar parte externa com sabão e secar na estufa." &
vbCrLf
    End If
'Eixo LA
    If (Eixo_LA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no eixo LA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LA = "Quebrado") Or (Eixo_LA = "Trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar eixo LA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LA = "Desgastado") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar eixo LA desgastado." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LA = "Empenado") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar eixo LA empenado." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LA = "Superfície irregular") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar superfície irregular do eixo LA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir eixo." & vbCrLf
    End If
'Eixo LOA
    If (Eixo_LOA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no eixo LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LOA = "Quebrado") Or (Eixo_LOA = "Trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar eixo LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LOA = "Desgastado") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar eixo LOA desgastado." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LOA = "Empenado") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar eixo LOA empenado." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LOA = "Superfície irregular") Then
        recomenda = recomenda & " Reparar superfície irregular do eixo LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Eixo_LOA = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir eixo." & vbCrLf
    End If
'Labirinto externo LA
    If (Labirinto_Externo_LA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no labirinto externo LA." & vbCrLf
    ElseIf (Labirinto_Externo_LA = "Reprovado") Then
            recomenda = recomenda & " Substituir labirinto externo LA." & vbCrLf
    ElseIf (Labirinto_Externo_LA = "Quebrado") Or (Labirinto_Externo_LA = "Trincado")
Then
            recomenda = recomenda & " Soldar labirinto externo LA." & vbCrLf
```

```
   ElseIf (Labirinto_Externo_LA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar labirinto externo LA, conforme projeto." &
vbCrLf
   End If
'Labirinto externo LOA
   If (Labirinto_Externo_LOA = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no labirinto externo LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Externo_LOA = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir labirinto externo LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Externo_LOA = "Quebrado") Or (Labirinto_Externo_LOA = "Trincado")
Then
         recomenda = recomenda & " Soldar labirinto externo LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Externo_LOA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar labirinto externo LOA, conforme projeto."
& vbCrLf
   End If
'Labirinto interno LA
   If (Labirinto_Interno_LA = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no labirinto interno LA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LA = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir labirinto interno LA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LA = "Quebrado") Or (Labirinto_Interno_LA = "Trincado")
Then
         recomenda = recomenda & " Soldar labirinto interno LA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar labirinto interno LA, conforme projeto." &
vbCrLf
   End If
'Labirinto interno LOA
   If (Labirinto_Interno_LOA = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo no labirinto interno LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LOA = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir labirinto interno LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LOA = "Quebrado") Or (Labirinto_Interno_LOA = "Trincado")
Then
         recomenda = recomenda & " Soldar labirinto interno LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Labirinto_Interno_LOA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar labirinto interno LOA, conforme projeto." &
vbCrLf
   End If
'Olhal
   If (Olhal = "Reprovado") Then
      recomenda = recomenda & " Substituir olhal." & vbCrLf
   ElseIf (Olhal = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar olhal, conforme projeto." & vbCrLf
   End If
'Parafusos
   If (Parafusos = "Reprovado") Then
```

```
        recomenda = recomenda & " Substituir parafusos." & vbCrLf
    ElseIf (Parafusos = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar parafusos, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Pintura
    If (Pintura = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Pintar motor." & vbCrLf
    End If
'Placa de identificação
    If (Placa_de_Identificacao = "Identificação inadequada") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir placa de identificação." & vbCrLf
    ElseIf (Placa_de_Identificacao = "Ilegível") Then
            recomenda = recomenda & " Limpar placa de identificação." & vbCrLf
    ElseIf (Placa_de_Identificacao = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Fabricar placa de identificação." & vbCrLf
    End If
'Porcas
    If (Porcas = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir porcas." & vbCrLf
    ElseIf (Porcas = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar porcas, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Resistor de aquecimento
    If (Resistor_de_Aquecimento = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir resistor de aquecimento." & vbCrLf
    ElseIf (Resistor_de_Aquecimento = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar resistor de aquecimento, conforme projeto."
& vbCrLf
    End If
'Retentor LA
    If (Retentor_LA = "Reprovado") Or (Retentor_LA = "Ressecado") Or (Retentor_LA =
"Quebrado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir retentor LA." & vbCrLf
    ElseIf (Retentor_LA = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & "Acrescentar retentor LA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Retentor LOA
    If (Retentor_LOA = "Reprovado") Or (Retentor_LOA = "Ressecado") Or (Retentor_LOA
= "Quebrado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir retentor LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Retentor_LOA = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar retentor LOA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Rolamento LA
    If (Rolamento_LA = "Contaminado") Or (Rolamento_LA = "Reprovado") Or
(Rolamento_LA = "Desgastado") Or (Rolamento_LA = "Quebrado") Or (Rolamento_LA =
"Trincado") Or (Rolamento_LA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir rolamento LA." & vbCrLf
```

```
   ElseIf (Rolamento_LA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar rolamento LA, conforme projeto." & vbCrLf
   End If
'Rolamento LOA
   If (Rolamento_LOA = "Contaminado") Or (Rolamento_LOA = "Reprovado") Or
(Rolamento_LOA = "Desgastado") Or (Rolamento_LOA = "Quebrado") Or
(Rolamento_LOA = "Trincado") Or (Rolamento_LOA = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Substituir rolamento LOA." & vbCrLf
   ElseIf (Rolamento_LOA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar rolamento LOA, conforme projeto." &
vbCrLf
   End If
'Tampa da Caixa de Ligação
   If (Tampa_da_Caixa_de_Ligacao = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na tampa da caixa de ligação." &
vbCrLf
   ElseIf (Tampa_da_Caixa_de_Ligacao = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir tampa da caixa de ligação." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_da_Caixa_de_Ligacao = "Quebrado") Or (Tampa_da_Caixa_de_Ligacao =
"Trincado") Then
         recomenda = recomenda & " Soldar tampa da caixa de ligação." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_da_Caixa_de_Ligacao = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar tampa da caixa de ligação, conforme
projeto." & vbCrLf
   End If
'Tampa defletora
   If (Tampa_Defletora = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na tampa da caixa de ligação." &
vbCrLf
   ElseIf (Tampa_Defletora = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir tampa defletora." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_Defletora = "Amassado") Then
         recomenda = recomenda & " Reparar tampa defletora amassada." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_Defletora = "Quebrado") Or (Tampa_Defletora = "Trincado") Then
         recomenda = recomenda & " Soldar tampa defletora." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_Defletora = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar tampa defletora, conforme projeto." &
vbCrLf
   End If
'Tampa LA
   If (Tampa_LA = "Corroído") Then
      recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na tampa LA." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_LA = "Reprovado") Then
         recomenda = recomenda & " Substituir tampa LA." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_LA = "Quebrado") Or (Tampa_LA = "Trincado") Then
         recomenda = recomenda & " Soldar tampa LA." & vbCrLf
   ElseIf (Tampa_LA = "Não possui") Then
         recomenda = recomenda & " Acrescentar tampa LA, conforme projeto." & vbCrLf
```

```
    End If
'Tampa LOA
    If (Tampa_LOA = "Corroído") Then
        recomenda = recomenda & " Aplicar anticorrosivo na tampa LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Tampa_LOA = "Reprovado") Then
            recomenda = recomenda & " Substituir tampa LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Tampa_LOA = "Quebrado") Or (Tampa_LOA = "Trincado") Then
            recomenda = recomenda & " Soldar tampa LOA." & vbCrLf
    ElseIf (Tampa_LOA = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar tampa LOA, conforme projeto." & vbCrLf
    End If
'Ventilador
    If (Ventilador = "Reprovado") Or (Ventilador = "Quebrado") Or (Ventilador = "Trincado")
Then
        recomenda = recomenda & " Substituir ventilador." & vbCrLf
    ElseIf (Ventilador = "Não possui") Then
            recomenda = recomenda & " Acrescentar ventilador, conforme projeto." & vbCrLf
    End If

'ROTOR
    If (Gaiola = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir rotor." & vbCrLf
    ElseIf (Gaiola = "Barras quebradas") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar barras quebradas do rotor." & vbCrLf
    ElseIf (Gaiola = "Anel curto circuito trincado") Then
        recomenda = recomenda & " Soldar anel de curto circuito do rotor." & vbCrLf
    End If

'ESTATOR
    If (Bobinado_do_Estator = "Curto circuito entre espiras") Or (Bobinado_do_Estator =
"Curto circuito entre bobinas") Or (Bobinado_do_Estator = "Curto circuito entre fases") Or
(Bobinado_do_Estator = "Curto circuito para massa") Or (Bobinado_do_Estator = "Queima
de uma ou duas fases") Or (Bobinado_do_Estator = "Queima generalizada") Then
        recomenda = recomenda & " Rebobinar estator." & vbCrLf
        Forms![motores_inducao_trifasicos].Recomendacao = recomenda
        'se a recomendação é rebobinar, fim do programa
        Exit Sub
    ElseIf (Bobinado_do_Estator = "Curto circuito nas interligações") Then
            recomenda = recomenda & " Refazer interligações das bobinas." & vbCrLf
    ElseIf (Bobinado_do_Estator = "Amarrações danificadas") Then
            recomenda = recomenda & " Refazer amarrações das bobinas." & vbCrLf
    ElseIf (Bobinado_do_Estator = "Verniz deteriorado") Then
            recomenda = recomenda & " Envernizar estator." & vbCrLf
    End If

'Cabos de alimentação
    If (Cabos_de_Alimentacao = "Reprovado") Then
        recomenda = recomenda & " Substituir cabos de alimentação. " & vbCrLf
```

```
    ElseIf (Cabos_de_Alimentacao = "Sem identificação") Then
        recomenda = recomenda & " Identificar cabos de alimentação. " & vbCrLf
    End If

'Contaminação interna
    If (Contaminacao_Interna = "Baixo nível") Then
        recomenda = recomenda & " Limpar estator com soprador de ar." & vbCrLf
    ElseIf (Contaminacao_Interna = "Médio nível") Then
            recomenda = recomenda & " Lavar estator com água." & vbCrLf
    ElseIf (Contaminacao_Interna = "Alto nível") Then
            recomenda = recomenda & " Lavar estator com sabão." & vbCrLf
    End If

'Decisão para Resistência Ôhmica
    If (Bobinado_do_Estator <> "Curto circuito nas interligações") And
(Cabos_de_Alimentacao <> "Reprovado") Then
        Call ohmica
            If ohmica = False Then
                recomenda = recomenda & " Rebobinar estator." & vbCrLf
                Forms![motores_inducao_trifasicos].Recomendacao = recomenda
                'se a recomendação é rebobinar, fim do programa
                Exit Sub
            End If
    End If

'Decisão para Resistência de Isolamento
    If (um_minuto = 0) Then
        recomenda = recomenda & " Rebobinar estator. " & vbCrLf
    Else
        Call isolamento
            If isolamento = "ruim" Then
               recomenda = recomenda & " Colocar estator na estufa. " & vbCrLf
            End If
    End If

Forms![motores_inducao_trifasicos].Recomendacao = recomenda

End Sub

'Cálculos Resistência de Isolamento

Function isolamento() As String
    Dim um_minuto_corrigido As Integer
    Dim dez_minutos As Integer
    Dim Temperatura_Ambiente As String
    Dim Tensao As Integer
    Dim Classe_de_Isolamento As String
    Dim Potencia As Integer
```

```
    Dim Ano As Integer
    Dim IP As Double

    um_minuto = Forms![motores_inducao_trifasicos].um_minuto
    dez_minutos = Forms![motores_inducao_trifasicos].dez_minutos
    Temperatura_Ambiente = Forms![motores_inducao_trifasicos].Temperatura_Ambiente
    Tensao = Forms![motores_inducao_trifasicos].Tensao
    Classe_de_Isolamento = Forms![motores_inducao_trifasicos].Classe_de_Isolamento
    Potencia = Forms![motores_inducao_trifasicos].Potencia
    Ano = Forms![motores_inducao_trifasicos].Ano

'Cálcula resistência de isolamento de 1 minuto corrigida
    um_minuto_corrigido = (0.5 ^ (4 - (Temperatura_Ambiente / 10))) * um_minuto
'Verifica ano de fabricação
    If (Ano > 1970) Then
'Verifica resistência para ano > 1970
        If (um_minuto_corrigido > 100) Then
            isolamento = "verificar"
            'verificar potência
        Else
            isolamento = "ruim"
        'a resistência de isolamento está ruim
        End If
    Else
'Verifica resistência para ano < ou = 1970
        If (um_minuto_corrigido > ((Tensao / 1000) + 1)) Then
            isolamento = "verificar"
            'verificar potência
        Else
            isolamento = "ruim"
            ' a resistência de isolamento está ruim
        End If
    End If
'Verifica potência nominal
    If isolamento = "verificar" Then
        If Potencia > 1000 Then
'Calcula IP
            IP = dez_minutos / um_minuto
'Verifica classe de isolamento
            If Classe_de_Isolamento = "A" Then
                If IP > 1.5 Then
                    isolamento = "bom"
                    'a resistência de isolamento está boa
                Else
                    isolamento = "ruim"
                    ' a resistência de isolamento está ruim
                End If
            Else
```

```
            If IP > 2 Then
                isolamento = "bom"
                'a resistência de isolamento está boa
            Else
                isolamento = "ruim"
                'a resistência de isolamento está ruim
            End If
        End If
    Else
        isolamento = "bom"
        'a resistência de isolamento está boa
    End If
  End If
End Function

'Cálculos Resistência Ôhmica

Function ohmica() As Boolean
  Dim RXS As Integer
  Dim RXT As Integer
  Dim SXT As Integer
  Dim valor_minimo As Double
  Dim valor_maximo As Double
  Dim dif_max As Double

  RXS = Forms![motores_inducao_trifasicos].RXS
  RXT = Forms![motores_inducao_trifasicos].RXT
  SXT = Forms![motores_inducao_trifasicos].SXT

'Encontra o valor mínimo
  If (RXS < RXT) Or (RXS = RXT) Then
    valor_minimo = RXS
  Else
    valor_minimo = RXT
  End If
  If (SXT < valor_minimo) Then
    valor_minimo = SXT
  End If
'Encontra o valor máximo
  If (RXS > RXT) Or (RXS = RXT) Then
    valor_maximo = RXS
  Else
    valor_maximo = RXT
  End If
  If (SXT > valor_maximo) Then
    valor_maximo = SXT
  End If
'Calcula Difmáx
```

```
    dif_max = ((valor_maximo - valor_minimo) * 100) / valor_maximo

    If dif_max > 2 Then
        ohmica = False
    Else
        ohmica = True
    End If
End Function
```