



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

EZEQUIEL DE SOUZA BATISTA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
REALIZADO NA EMPRESA MOTOELÉTRICA VENDAS E
SERVIÇOS LTDA - ME**

Campina Grande, Paraíba
Dezembro de 2016

EZEQUIEL DE SOUZA BATISTA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
REALIZADO NA EMPRESA MOTOELÉTRICA VENDAS E
SERVIÇOS LTDA - ME

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Máquinas Elétricas

Orientador:

Professor Roberto Silva de Siqueira, M. Sc.

Campina Grande
2016

EZEQUIEL DE SOUZA BATISTA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
REALIZADO NA EMPRESA MOTOELÉTRICA VENDAS E
SERVIÇOS LTDA - ME**

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Máquinas Elétricas

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Roberto Silva de Siqueira, M. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais: Vital Batista
Januário e Maria Nazaré de Souza Batista

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado tudo o que preciso, por estar sempre presente em minha vida, por todas as pessoas (anjos) que colocou em meu caminho.

Agradeço imensamente aos meus pais, Vital Batista Januário e Maria Nazaré de Souza Batista por sempre acreditarem em meus sonhos e projetos, por sempre me motivarem e por todos os ensinamentos de vida e por me ensinar todos os dias a persistir e acreditar.

Agradeço as minhas irmãs, Katia, Gessica e Eleonore, por todo apoio, atenção e carinho.

Agradeço a minha namorada Géssica Virginio, pelos conselhos, pelo amor e carinho dedicado, por sempre me escutar e me ajudar quando preciso. Obrigado meu amor vencemos juntos mais uma etapa.

Agradeço a todos que me ajudaram na minha formação, não só acadêmica como também, profissional e pessoal.

Agradeço aos meu queridos amigos e irmãos (os manés): Bianca Cartaxo, Elton Brasil, Snadgyell Dahasley, Mariana Alencar, Mikhail Antonovitch, Nelson Carlos e Leonardo Freire. Por todos os momentos que vivemos juntos, alegrias, raivas e tristezas, tenho muito orgulho de vocês, vai da certo.

Agradecimentos em especial ao meu grande amigo e professor engenheiro eletricitista Sr. José Neves, por toda ajuda, paciência, conselhos, por sempre ter acreditado e não ter medido esforços para ajudar-me, por ser um exemplo de profissional e uma pessoa extraordinária.

Agradeço ao Sr. João Manuel de Farias, dono da empresa Motoelétrica, pela oportunidade de estágio, mesmo em tempos difíceis, pela confiança depositada e por todo o apoio fornecido.

Agradeço a todos os funcionários da empresa Motoelétrica pelo acolhimento e ensinamentos, fundamentais na minha formação pessoal e profissional. Agradeço em especial: ao amigo Sr. João pela paciência em compartilhar seu conhecimento elétrico prático e teórico e por me ensinar a prática da manutenção elétrica de motores e geradores; ao amigo Sr. José por me ensinar a prática da manutenção mecânica dos motores e geradores e por responder a todas as minhas perguntas; ao Técnico Alberto por todo conhecimento compartilhado.

Agradecimentos ao professor M.Sc. Roberto Siqueira, que além de ser um grandíssimo professor, uma pessoa excepcional e ter um excelente senso de humor e paciência, me auxiliou na execução deste trabalho.

Por fim, agradeço a Adail e Tchaikovsky que sempre com alegria e bom humor, estiveram sempre à disposição para ajudar, aconselhar e esclarecer sobre os mais diversos assuntos.

*“Deus concede o seu dom, mas o
homem só o recebe quando se
esforça para conquistá-lo”
(Gênesis-14)*

RESUMO

O presente trabalho consiste no relatório de estágio do estudante de engenharia elétrica Ezequiel de Souza Batista, na empresa Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME, Assistência Técnica da WEG. Este foi realizado após o cumprimento das atividades propostas, que tiveram como objetivo o entendimento sobre o uso, manuseio e funcionamento dos mais diversos tipos de motores elétricos, assim como os ensaios elétricos de acordo com os guias fornecidos pela WEG e as normas da ABNT relacionadas, a fim de atestar suas características elétricas para um pleno funcionamento. Além das normas e das instruções contidas nos guias de instruções fornecidos pela WEG, foram utilizadas técnicas de identificação visual para inspeção de falhas elétricas e mecânicas em motores e geradores elétricos, estas técnicas foram aperfeiçoadas com ajuda de catálogos fornecidos pelos fabricantes e a partir da experiência adquirida pelos profissionais nos serviços prestados.

Palavras-chave: Motores elétricos, geradores elétricos, identificação visual de falhas elétricas em motores e geradores, ensaios elétricos.

ABSTRACT

This work consists of the stage electrical engineering student Ezequiel de Souza Batista report, the company Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME, Technical Assistance of WEG. This was done after completion of the proposed activities, which were aimed at the understanding of the use, handling and operation of various types of electric motors, and electrical tests in accordance with the guidelines provided by WEG and ABNT related, in order to certify their electrical characteristics to a fully functioning. In addition to the standards and the instructions contained in the guides instructions provided by WEG, visual identification techniques for inspection of electrical and mechanical failures in electric motors and generators were used, these techniques have been perfected with catalogs assistance provided by manufacturers and from experience acquired by professionals in the services provided.

Keywords: Electric motors, electric generators, visual identification of electrical faults in engines and generators, electrical tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Empresa Motoelétrica	18
Figura 2: Interior empresa Motoelétrica	18
Figura 3: Evolução do motor elétrico. Relação Peso x Potência (motor trifásico de 4kW e 2 pólos)	19
Figura 4: Diagrama de motores elétricos mais utilizados	20
Figura 5: Constituição do motor de indução trifásico.....	21
Figura 6: Estator	23
Figura 7: Estator com isolamento de fundo de ranhura	23
Figura 8: Rotor gaiola de esquilo	24
Figura 9: Rotor bobinado.....	24
Figura 10: Fios circulares esmaltados	26
Figura 11: Fio WEG geração 2.....	27
Figura 12: Fio WEG geração 3.....	27
Figura 13: Filmes e laminados isolantes.....	28
Figura 14: Bobinas de filmes e laminados isolantes.....	28
Figura 15: Isolamentos da ranhura do estator. a) Isolamento entre a bobina e a ranhura.	29
Figura 16: Isolamento entre fases.....	29
Figura 17: Motor com ventilador no eixo.....	31
Figura 18: Imagem termográfica do sistema de ventilação	31
Figura 19: Queda de temperatura no estator.....	32
Figura 20: Aspecto interno e externo dos termorresistores	34
Figura 21: Aspecto externo dos Termistores	35
Figura 22: Aspecto interno e externo do termostato.....	35
Figura 23: Termostato sendo instalado na cabeça da bobina.....	36
Figura 24: Resistência de aquecimento	36
Figura 25: Talha e Ponte rolante.....	39
Figura 26: Placa de identificação para as carcaças 63 e 132	40
Figura 27: Placa de identificação para as carcaças 160 a 355	40
Figura 28: Megôhmetro - Modelo Mi5500e.....	42
Figura 29: Ligação elétrica para o ensaio de resistência de isolamento	43
Figura 30: Variação típica da resistência de isolamento com o tempo, para enrolamento classe B	45
Figura 31: Mudança da resistência de isolamento para 1 min e 10 min durante o processo de secagem de um enrolamento classe b - temperatura inicial do enrolamento 25°C e temperatura final do enrolamento 75°C	45
Figura 32: Microohmímetro (ponte Kelvin).....	48
Figura 33: Painéis de Testes de Acionamentos	49
Figura 34: Diagrama elétrico do ensaio de rotor falhado	50
Figura 35: Montagem de ensaio de rotor falhado	51
Figura 36: Diagrama elétrico para o ensaio com o motor desmontado	52
Figura 37: Diagrama elétrico para o ensaio de Loop-Test.....	53
Figura 38: Cálculo do número de espiras	54
Figura 39: Calculo da bitola do fio.....	54
Figura 40: Montagem do solenóide da carcaça do motor	55
Figura 41: Hi-pot 5kVA - 100mA	55
Figura 42: Ligação elétrica para o teste.....	56
Figura 43: Montagem do ensaio	56
Figura 44: Teste em estator utilizando <i>Surge-Test</i>	58
Figura 45: Forma de onda padrão.....	58
Figura 46: a) Curto parcial entre fases. b) Curto total entre fases	59
Figura 47: a) Ligação invertida da bobina. b) Curto entre bobinas mesma fase.....	59
Figura 48: a) Ligação incorreta da bobina. b) Ligação da bobina aberta.....	59
Figura 49: a) Curto parcial para massa. b) Curto total para massa	59
Figura 50: Curto entre Espiras.....	59
Figura 51: Curto total para a massa	60
Figura 52: Estator com curto-circuito da bobina para massa.....	60
Figura 53: a) Curto de espiras. b) Bobina curto-circuitada.....	61
Figura 54: Curto entre Fases.....	61
Figura 55: Curto na Conexão	62

Figura 56: a) Curto na Saída da Ranhura. b) Curto no Interior da Ranhura	62
Figura 57: Pico de tensão	63
Figura 58: Desbalanceamento de Tensão	63
Figura 59: Rotor travado	64
Figura 60: Sobreaquecimento	64
Figura 61: a) Falta de fase ligação Estrela. b) Falta de fase ligação Triângulo	65
Figura 62: Motor TOSHIBA - Modelo 449TDZ.....	65
Figura 63: Dados de placa motor TOSHIBA	66
Figura 64: Estator do motor TOSHIBA	67
Figura 65: Detalhe do estator com falha por pico de tensão.....	67
Figura 66: Rotor e tampa dianteira	68
Figura 67: a) Rolamento traseiro. b) Rolamento dianteiro	68
Figura 68: Assentamento dos rolamentos.....	69
Figura 69: Tampa de alojamento dos rolamentos.....	69
Figura 70: Rebobinamento do motor.....	70
Figura 71: Divisão no interior do estator para melhorar o sistema de arrefecimento	71
Figura 72: Filme isolante classe H	71
Figura 73: Sensores térmicos Pt-100 instalados	72
Figura 74: Resistências de aquecimento instaladas nas cabeças das bobinas.....	72
Figura 75: Aplicação de Verniz isolante	73
Figura 76: Processo de Cura do verniz na estufa.....	73
Figura 77: Teste de resistência de isolamento e resistência ôhmica, utilizando o Surge Test	74
Figura 78: Aplicação de resina isolante.....	74
Figura 79: Inspeção elétrica e mecânica antes do processo de montagem	75
Figura 80: Montagem do conjunto rotor e estator	75
Figura 81: a) Ensaios elétricos. b) Surge-Test.....	75
Figura 82: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 2 e 5.....	76
Figura 83: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 1 e 4.....	76
Figura 84: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 3 e 6.....	77
Figura 85: Comparativo entre as três fases (1-4; 2-5; 3-6)	77
Figura 86: Partida utilizando Soft-Start.....	78
Figura 87: Medição da frequência nominal	78
Figura 88: a) Medição de corrente fase 1. b) Medição de corrente fase 2. c) Medição de corrente fase 3	79
Figura 89: a) Sensor do Medidor de vibração. B) Medidor de vibração	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Normas de materiais e sistemas isolantes	25
Tabela 2: Classes térmicas.....	25
Tabela 3: Corrente de alimentação x Fator de serviço.....	33
Tabela 4: Relação da potência das resistências com o tamanho da carcaça	37
Tabela 5: Tensão do motor x Tensão aplicada no ensaio	43
Tabela 6: Valores limites de resistência de isolamento recomendados pela WEG.....	44
Tabela 7: Tensão para ensaio com Hi-pot	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C.	Corrente Alternada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AWG	American Wire Gauge
CV	Cavalo Vapor
D.C.	Corrente Contínua
RPM	Rotação por minuto

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	viii
Abstract	ix
Lista de Ilustrações.....	x
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xiii
Sumário	xiv
1. Introdução.....	16
1.1 Motivações do Estágio.....	16
1.2 Objetivos do Estágio.....	17
1.3 Empresa Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME.....	17
1.4 Estrutura do trabalho	18
2. Embasamento teórico	19
2.1 Motores elétricos	19
2.1.1 Evolução dos motores elétricos	19
2.1.2 Tipos de motores elétricos mais utilizados	20
2.1.3 Motor de Indução Trifásico	21
2.2 Materiais e Sistemas de isolamento	24
2.2.1 Materiais isolantes e classes térmicas.....	25
2.2.2 Sistemas de Isolação.....	26
2.2.3 Sistemas de arrefecimento	30
2.2.4 Proteção Térmica de Motores Elétricos.....	33
2.2.5 Resistência de aquecimento	36
2.3 Normas Relacionadas e Procedimentos da WEG	37
2.3.1 Norma: NBR 5383-1 (FEV-2002) Máquinas elétricas girantes.....	37
2.3.2 Norma: NBR 7094 (FEV-2003) Máquinas Elétricas Girantes -Motores de Indução - Especificação	38
2.3.3 Procedimentos da WEG.....	38
3. Descrição das Atividades	39
3.1 Interpretação das Placas de Identificação	39
3.2 Acompanhamento dos Ensaios Elétricos	41
3.2.1 Ensaio de medição da resistência de isolamento	42
3.2.2 Ensaio de Medição do Índice de Polarização	44
3.2.3 Medição da resistência ôhmica dos enrolamentos	47
3.2.4 Ensaio de Teste da Corrente em Vazio	48
3.2.5 Ensaio de Teste de Rotor Falhado	50
3.2.6 Ensaio <i>Loop-Test</i>	52
3.2.7 Ensaio de tensão aplicada ou Hi-pot.....	55
3.2.8 Teste de Surto Elétrico (<i>Surge-Test</i>).....	57
3.3 Identificação visual de falhas em motores elétricos	60

3.4	Acompanhamento do Serviço de Bobinagem do Motor Toshiba Modelo 449TDZ	65
3.4.1	Entrada do Serviço.....	66
3.4.2	Inspeção de Falhas.....	67
3.4.3	Rebobinamento e instalação de resistências de aquecimento	70
3.4.4	Aplicação do Verniz e o Processo de Impregnação	72
3.4.5	Montagem e Testes Finais	74
4	Conclusão	80
	Bibliografia.....	81

1. INTRODUÇÃO

O estágio supervisionado cujas atividades são descritas neste relatório, teve duração de 270 horas e foi realizado na Empresa Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME, Assistência Técnica da WEG, durante o período de 21 de setembro de 2016 até 02 de novembro de 2016, sob a supervisão do engenheiro eletricista José Neves Cruz.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento das exigências da disciplina integrante da grade curricular, Estágio Curricular, do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Essa disciplina é indispensável para a formação profissional, já que consolida os conhecimentos adquiridos durante o curso além de ser obrigatória para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

1.1 MOTIVAÇÕES DO ESTÁGIO

As principais motivações para o estágio na empresa Motoelétrica são:

- A consolidação de parte do conhecimento teórico adquirido principalmente nas disciplinas de Conversão Eletromecânica e Máquinas Elétricas;
- O conhecimento das principais falhas elétricas e mecânicas em motores elétricos mais recorrentes nos ambientes industriais;
- A compreensão das técnicas de identificação de falhas a partir de métodos de inspeção visual e a partir de aferições realizadas com instrumentos de medição específicos;
- Acompanhamento do processo de manutenção e bobinagem em motores de indução;
- Interpretação das características físicas das partes que constituem a maioria dos motores e geradores elétricos;
- Interpretação dos dados de placas dos motores e dos tipos de ligações elétricas possíveis de acordo com estes dados.

1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O estágio teve como objetivos: a inserção do aluno nas práticas de manutenção e bobinagem de motores e geradores elétricos, apresentar as técnicas de identificação de falhas elétricas e mecânicas em motores elétricos utilizando inspeção visual, auditiva e instrumentos de medição, a compreensão do processo de bobinagem com suas partes constituintes, a aplicação de ensaios elétricos de acordo com os padrões da WEG e as normas da ABNT em motores elétricos de baixa e média tensão.

1.3 EMPRESA MOTOELÉTRICA VENDAS E SERVIÇOS LTDA - ME

A Motoelétrica é uma empresa do nordeste do país, voltada para a prestação de serviços de manutenção em motores elétricos AC e DC, bombas hidráulicas, transformadores, geradores, máquinas de solda e centrífugas de açúcar.

Referência de qualidade, a empresa foi credenciada pela WEG MOTORES como assistência técnica 5 estrelas, foi uma das pioneiras a receber tão importante credencial, motivada principalmente pela excelente qualidade profissional de seus técnicos, especializados em recuperação de equipamentos elétricos com a garantia de qualidade comprovada por seus clientes desde 1986.

Além dos serviços de manutenção e bobinagem de motores e geradores elétricos, a Motoelétrica, Figura 1 e Figura 2, realiza ensaios elétricos e mecânicos em motores e geradores de acordo com os padrões WEG e segundo as Normas da ABNT relacionadas, garantindo assim um padrão de qualidade elevado.

Os serviços de rebobinamento oferecidos pela empresa são:

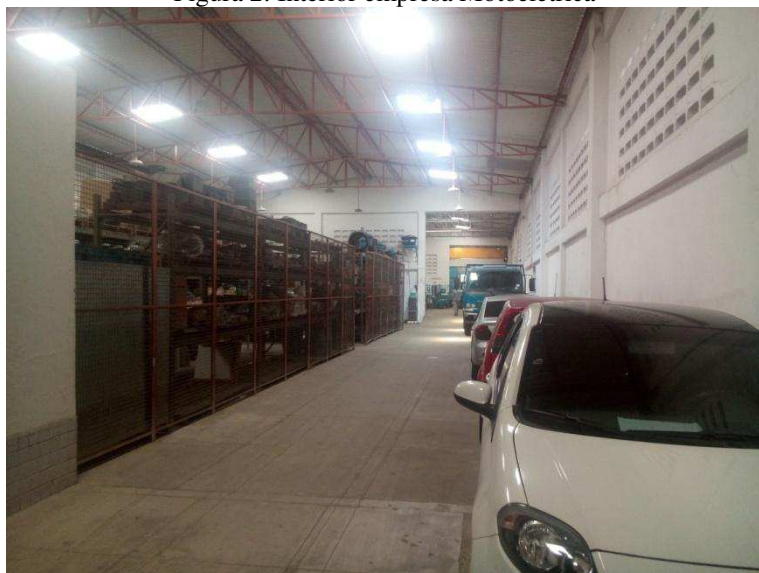
- Rebobinamento de motores AC/DC de baixa, média e alta tensão;
- Rebobinamento de transformadores de distribuição;
- Rebobinamento de geradores;
- Rebobinamento de máquinas de solda;
- Centrífugas de açúcar.

Figura 1: Empresa Motoelétrica



Fonte: [4]

Figura 2: Interior empresa Motoelétrica



Fonte: [4]

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1, faz-se a apresentação do local onde foi realizado o estágio e os objetivos contemplados pelo mesmo.

No Capítulo 2 é feito uma revisão bibliográfica com os principais assuntos que serviram de base para o desenvolvimento das atividades.

No Capítulo 3 é feito uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas no estágio.

Por fim é feita uma conclusão, com uma breve análise do que foi apresentado nos capítulos anteriores.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Nesta seção é apresentada a fundamentação teórica, apresentando os principais assuntos que serviram de guia e de conhecimento, indispensáveis para a realização do estágio.

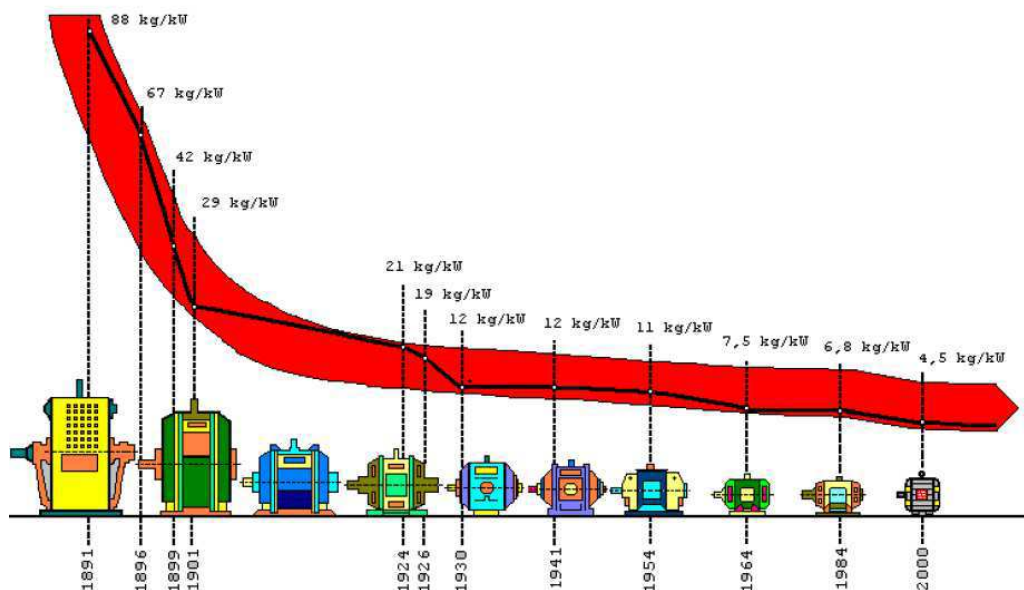
2.1 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos desempenham um papel de fundamental importância no progresso da sociedade, eles são o coração das máquinas modernas e estão presentes em praticamente todas as instalações indústrias, comerciais e residenciais.

2.1.1 EVOLUÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS

O desenvolvimento dos condutores esmaltados, dos papéis ou filmes isolantes sintéticos, das chapas magnéticas, das ligas de alumínio e dos materiais plásticos, contribuíram notoriamente para a redução da relação Peso x Potência dos motores elétricos, Figura 3.[1]

Figura 3: Evolução do motor elétrico. Relação Peso x Potência (motor trifásico de 4kW e 2 pólos)



Fonte:[1]

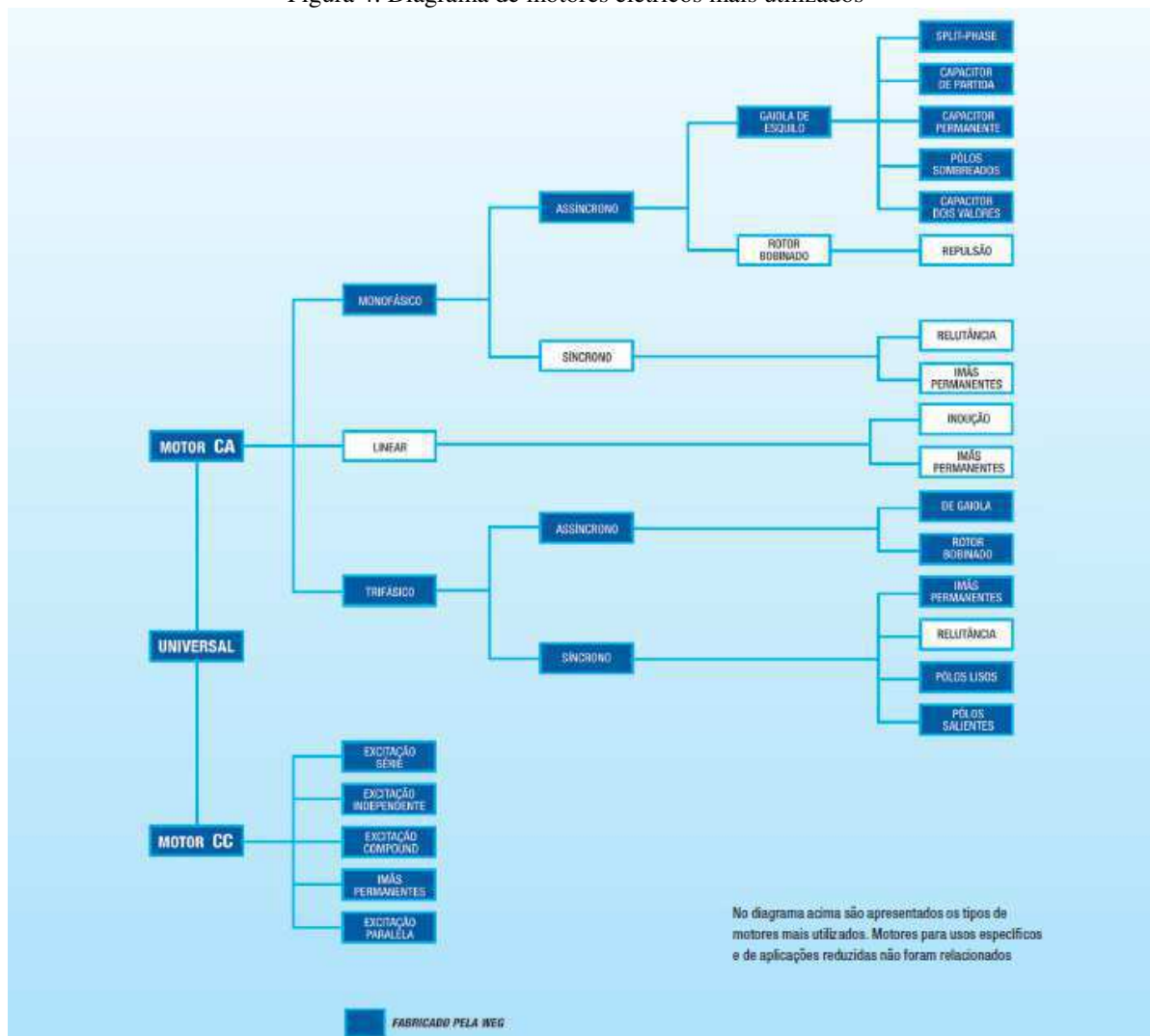
Observando-se o peso de um motor de mesma potência no decorrer do tempo, pode-se verificar que o motor atual tem apenas 8% do peso do seu antecessor em 1891.

Confrontando-se os dados de catálogos de diferentes fabricantes, em diferentes épocas, pode-se constatar que houve uma redução do peso e, conseqüentemente, redução do tamanho construtivo do motor (para uma mesma potência) de aproximadamente 20% a cada década, excetuando as duas últimas, nas quais a redução foi menos acentuada. Esta evolução tecnológica é caracterizada principalmente, pelo desenvolvimento de novos materiais isolantes, os quais suportam temperaturas mais elevadas.[1]

2.1.2 TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS MAIS UTILIZADOS

Atualmente existe uma grande variedade de motores elétricos, Figura 4.

Figura 4: Diagrama de motores elétricos mais utilizados



No diagrama acima são apresentados os tipos de motores mais utilizados. Motores para usos específicos e de aplicações reduzidas não foram relacionados

FABRICADO PELA WEG

Fonte: [2]

O processo de especificação de um motor elétrico corresponde à escolha de um motor industrialmente disponível que possa atender a pelo menos três requisitos do consumidor:

- Característica da rede de alimentação: (tipo, tensão, frequência, simetria, equilíbrio, etc.);
- Característica do ambiente: (altitude, temperatura, agressividade, etc.);
- Característica da carga acionada: (potência, rotação, esforços mecânicos, configuração física, conjugados requeridos, etc.).

2.1.3 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

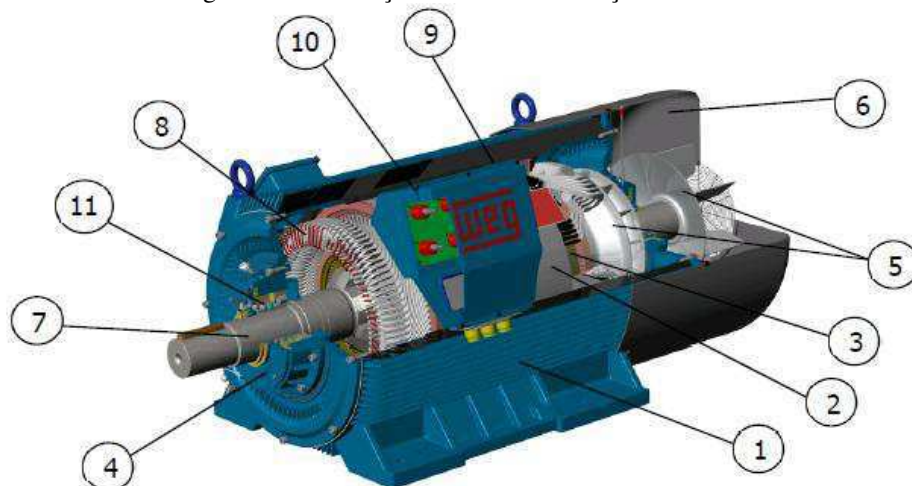
O motor de indução trifásico é a máquina de corrente alternada mais utilizada nos sistemas de acionamentos eletromecânicos, dentre suas vantagens pode-se citar:

- Limpeza e simplicidade de comando;
- Construção simples e custo reduzido;
- Grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos.

O motor de indução trifásico opera normalmente com uma velocidade constante, devido a sua simplicidade e robustez é um motor muito utilizado, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas. A vantagem do motor de indução com rotor de gaiola de esquilo em comparação ao rotor bobinado é que este resulta numa construção de induzido mais rápida, mais prática e mais barata, não exigindo coletor, reduzindo, portanto, a quantidade de componentes no motor.

O motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, Figura 5.

Figura 5: Constituição do motor de indução trifásico



Fonte: [2]

Estator:

- Carcaça (1): é a estrutura suporte do conjunto de construção em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas;
- Núcleo de chapas (2): chapas de aço magnético (geralmente em aço-silício), tratadas termicamente e com a superfície isolada para reduzir ao mínimo as perdas no ferro;
- Enrolamento trifásico (8): três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

Rotor:

- Eixo (7): em aço, transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor, é tratado termicamente para evitar problemas com empenamento e fadiga;
- Núcleo de chapas (3): possuem as mesmas características das chapas do estator;
- Gaiola ou enrolamento do rotor (12): é composto de barras e anéis de curto-circuito no motor tipo gaiola e de bobinas em motor tipo anéis.

Outras Partes:

- Tampa do mancal (4);
- Ventilador interno e externo (5);
- Tampa defletora ou proteção do ventilador (6);
- Caixa de ligação de força (9);
- Placa de bornes com isolador e pino de ligação (10);
- Rolamento (11).

O Estator é constituído por um empacotamento de chapas de ferro magnético silicioso, e Figura 7, com baixa densidade de perdas magnéticas que forma o circuito magnético estatórico. As chapas possuem uma forma de coroa circular ranhurada na periferia interior e são revestidas de um verniz isolante. As ranhuras são semifechadas, e destinam-se a conter os condutores do circuito elétrico estatórico. Entre o conjunto de chapas magnéticas podem existir canais de ventilação, que servem para a passagem do ar de refrigeração.

Figura 6: Estator



Fonte: [4]

Figura 7: Estator com isolamento de fundo de ranhura



Fonte: [4]

O rotor também é construído com o mesmo tipo de chapa magnética utilizada no núcleo estatórico. As chapas magnéticas têm a forma de coroas circulares que possuem ranhuras perto da periferia exterior. O número de ranhuras rotóricas está ligada ao número de ranhuras estatóricas para se evitar o aparecimento de ruído no funcionamento do motor.

O rotor pode ser do tipo "gaiola de esquilo", ou pode ser bobinado, Figura 9, o rotor em gaiola de esquilo é constituído por uma gaiola de alumínio, dopado de uma pequena percentagem de impurezas, trata-se de um circuito elétrico polifásico em curto-circuito permanente, constituído com um material com uma resistividade muito menor do que o material ferromagnético em que está envolvido. Quando o circuito rotórico é em cobre, as barras de cobre são colocadas manualmente nas ranhuras e os anéis de topo são ligados às barras por soldadura a alta frequência, as barras são travadas nas ranhuras para evitar vibrações durante o funcionamento do motor de indução trifásico.

Figura 8: Rotor gaiola de esquilo



Fonte: [4]

Figura 9: Rotor bobinado



Fonte: [4]

2.2 MATERIAIS E SISTEMAS DE ISOLAÇÃO

Sendo o motor de indução, uma máquina robusta e de construção simples, a sua vida útil depende quase exclusivamente da vida útil da isolação do enrolamento. Esta é afetada por muitos fatores, como umidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros. Dentre todos os fatores, o mais importante é, sem dúvida, a temperatura suportada pelos materiais isolantes empregados.

Um aumento de 8 a 10 graus acima do limite da classe térmica da temperatura da isolação, pode reduzir a vida útil do enrolamento pela metade. Para um maior tempo de vida do motor elétrico recomenda-se a utilização de sensores térmicos para a proteção do enrolamento. A experiência mostra que a isolação tem uma duração praticamente ilimitada, se a sua temperatura for mantida abaixo do limite de sua classe térmica. A vida útil de isolação refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, até que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

2.2.1 MATERIAIS ISOLANTES E CLASSES TÉRMICAS

Apesar da principal função do material isolante ser de impedir o fluxo de corrente de um condutor para a terra ou para um potencial mais baixo, ele serve também para dar suporte mecânico, proteger o condutor da degradação provocada pelo meio ambiente e transferir calor para o ambiente externo. Gases, líquidos e sólidos são usados para isolar equipamentos elétricos, conforme as necessidades do sistema. Como a temperatura em produtos eletromecânicos é frequentemente o fator predominante para o envelhecimento do material isolante e do sistema de isolamento, certas classificações térmicas básicas são úteis e reconhecidas mundialmente.

Os materiais e sistemas isolantes são classificados conforme a resistência à temperatura por longo período de tempo. As normas citadas a seguir, Tabela 1, referem-se à classificação de materiais e sistemas isolantes:

Tabela 1: Normas de materiais e sistemas isolantes

Materiais	Sistemas	Materiais e Sistemas
UL 746B	UL 1446	IEC 60085
IEC 60216	UL 1561 / 1562	
	IEC 60505	
	IEEE 117	

Fonte: [2]

As classes térmicas definidas para os materiais e sistemas isolantes são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Classes térmicas

Temperatura (°C)	Classes de temperatura	
	IEC 60085	UL 1446
90	Y (90 °C)	-
105	A (105 °C)	-
120	E (120 °C)	120 (E)
130	B (130 °C)	130 (B)
155	F (155 °C)	155 (F)
180	H (180 °C)	180 (H)
200	N (200 °C)	200 (N)
220	R (220 °C)	220 (R)
240	-	240 (S)
acima de 240°C	-	Acima de 240 (C)
250	250	

Fonte: [2]

O limite de temperatura para um sistema de isolamento não pode ser diretamente relacionado à capacidade térmica dos materiais individuais utilizados. Em um sistema, a performance térmica de um material pode ser melhorada através de características protetivas de certos materiais usados com esse material. Por exemplo, um material de classe 155°C pode ter o seu desempenho melhorado quando o conjunto é impregnado com o verniz de classe 180°C.

2.2.2 SISTEMAS DE ISOLAÇÃO

O fio circular esmaltado, Figura 10, é um dos componentes mais importantes do motor, pois a corrente elétrica que circula por ele, que cria o campo magnético necessário para o funcionamento do motor. Durante a fabricação, os fios são submetidos a esforços mecânicos de tração, flexão e abrasão. Em funcionamento, os efeitos térmicos e elétricos agem também sobre o material isolante do fio. Por essa razão, ele deve ter uma boa isolamento mecânica, térmica e elétrica.

Figura 10: Fios circulares esmaltados



Fonte:[4]

O cobre é o principal metal utilizado para a fabricação de fios por apresentar uma alta condutividade elétrica ($59,6 \times 10^6$ S/m), maleabilidade e resistência à corrosão. O cobre também pode ser soldado com facilidade por apresentar um ponto de fusão em torno de 1084°C. O alumínio no entanto tende a ser uma alternativa viável à substituição do cobre, por possuir um custo mais baixo. O processo de esmaltação consiste em aplicar uma película de isolante sobre o fio, conferindo ao condutor resistência elétrica, mecânica e química de acordo com os requisitos dos produtos. A aplicação do esmalte é feita em várias camadas através de feiras de esmaltação, sendo que a cada aplicação das diversas camadas de esmalte antecede um período de cura na estufa.

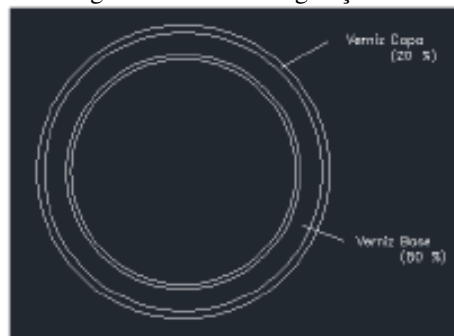
Para a esmaltação são utilizados dois tipos de verniz:

- Verniz Base: Responsável pela rigidez dielétrica (isolamento);
- Verniz Capa: Responsável pela resistência mecânica (proteção).

Numa primeira instância são aplicadas as camadas do verniz base, que podem variar entre 6 e 12 camadas dependendo do tipo de fio, em seguida são aplicadas as camadas de verniz capa, que podem variar entre 2 e 4 camadas.

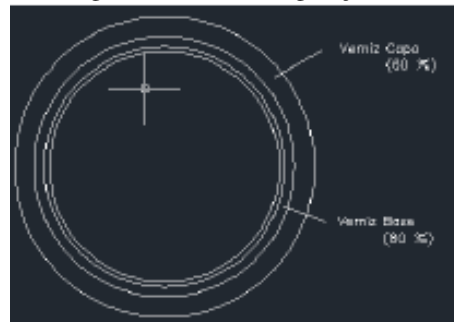
O fio de geração 2 da WEG, Figura 11, é constituído de 80% de verniz base e 20% de verniz capa, sendo utilizado em motores de linha normal. O fio de geração 3 da WEG Figura 12 é constituído de 40% de verniz base e 60% de verniz capa, sendo mais utilizado em motores acionados por inversor de frequência.

Figura 11: Fio WEG geração 2



Fonte: [5]

Figura 12: Fio WEG geração 3



Fonte: [5]

Os filmes e laminados isolantes, Figura 13, têm como função isolar térmica e eletricamente partes da bobina do motor. A classe térmica é informada na placa de identificação do motor. Bobinas de filmes e laminados isolantes, Figura 14.

Figura 13: Filmes e laminados isolantes



Fonte: [4]

Figura 14: Bobinas de filmes e laminados isolantes



Fonte: [4]

Os locais onde os filmes e laminados são utilizados são:

- Entre a bobina e a ranhura (filme de fundo de ranhura), Figura 15.a: para isolar o pacote de chapas de aço (terra) da bobina de fios esmaltados;
- Entre as fases, Figura 16: para isolar eletricamente a fase uma da outra;
- Fechamento da ranhura do estator, Figura 15.b: para isolar eletricamente a bobina localizada na parte superior da ranhura e para atuar mecanicamente de modo a manter os fios dentro da ranhura.

Figura 15: Isolamentos da ranhura do estator. a) Isolamento entre a bobina e a ranhura.
b) Isolamento de fechamento da ranhura



Fonte:[4]

Figura 16: Isolamento entre fases



Fonte:[4]

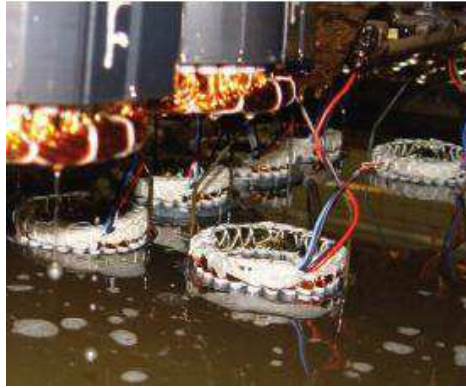
Os vernizes e resinas de impregnação têm como principais funções manter unidos entre si todos os fios esmaltados da bobina com todos os componentes do estator e o preenchimento dos espaços vazios dentro da ranhura. A união dos fios impede que os mesmos vibrem e atritem entre si.

A eliminação dos espaços vazios ajuda na dissipação térmica do calor gerado pelo condutor e especialmente em aplicações de motores alimentados por inversores de frequência, evita ou diminui a formação de descargas parciais (efeito corona) no interior do motor.

Os vernizes e resinas melhoram as características térmicas e elétricas dos materiais impregnados podendo atribuir aos mesmos uma classe térmica maior, quando comparados a esses mesmos materiais sem impregnação.

Os vernizes são aplicados pelo processo de imersão, Figura e posterior cura em estufa. Já as resinas (isentas de solventes) são aplicadas pelo processo de fluxo contínuo.

Figura 17: Impregnação por imersão



Fonte: [2]

Os cabos de ligação são construídos com materiais isolantes elastoméricos e de mesma classe térmica do motor. Esses materiais tem a função de isolar eletricamente o condutor do meio externo. Eles possuem alta resistência elétrica aliada à adequada flexibilidade para permitir o fácil manuseio durante o processo de fabricação, instalação e manutenção do motor.

Os tubos flexíveis têm a função de cobrir e isolar eletricamente as soldas das conexões entre os fios da bobina, os cabos de ligação e entre fios. Eles são flexíveis para permitir que se moldem aos pontos de solda e à amarração da cabeça da bobina.

Normalmente utiliza-se três tipos de tubos:

- Tubo de poliéster termoencolhível - Classe 130°C;
- Tubo com trama de poliéster com resina acrílica - Classe 155°C;
- Tubo com trama de fibra de vidro recoberto com borracha de silicone - Classe 180°C.

2.2.3 SISTEMAS DE ARREFECIMENTO

O calor gerado pelas perdas no interior de um motor fechado é dissipado para o ambiente através da superfície externa da carcaça. Em motores fechados essa dissipação é normalmente auxiliada pelo ventilador montado no próprio eixo do motor, Figura 17.

Figura 17: Motor com ventilador no eixo

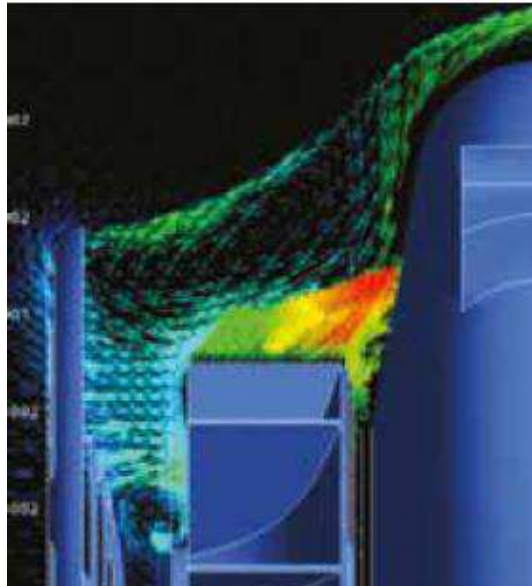


Fonte: [3]

Uma boa dissipação de calor depende dos seguintes fatores:

- Eficiência do sistema de ventilação, Figura 18;
- Área total de dissipação da carcaça;
- Diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente.

Figura 18: Imagem termográfica do sistema de ventilação



Fonte: [3]

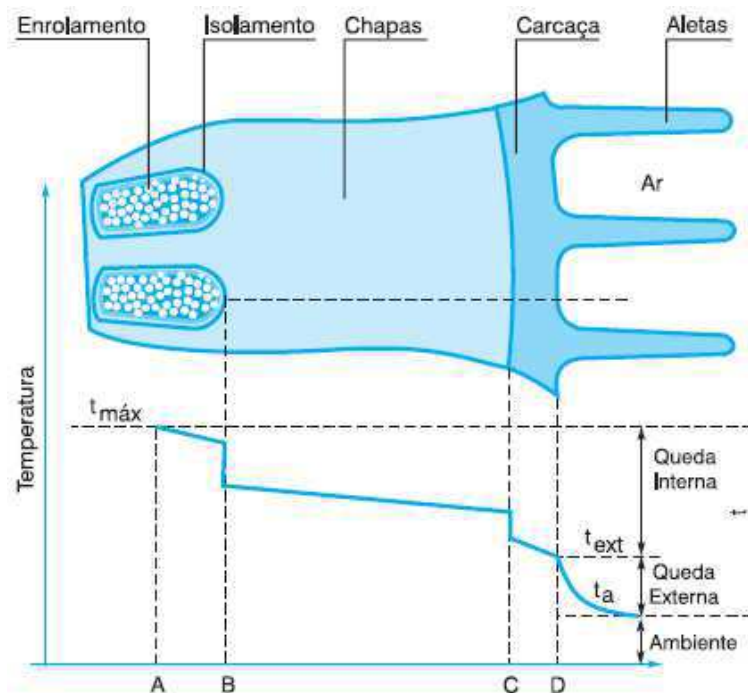
Um sistema de ventilação bem projetado, além de ter um ventilador eficiente, capaz de movimentar grande volume de ar, deve dirigir esse ar de modo a cobrir toda a superfície da carcaça, onde se dá a troca de calor. De nada adianta um grande volume de ar se ele se espalha sem retirar o calor do motor.

A área total de dissipação deve ser a maior possível. Entretanto, um motor com uma carcaça muito grande, para obter maior área, seria muito caro e pesado, além de ocupar muito espaço. Por isso, a área de dissipação disponível é limitada pela necessidade de fabricar

motores pequenos e leves. Isso é compensado em parte, aumentando-se a área disponível por meio de aletas de resfriamento, fundidas com a carcaça.

Um sistema de resfriamento eficiente é aquele que consegue dissipar a maior quantidade de calor disponível, através da menor área de dissipação. Para isso, é necessário que a queda interna de temperatura, mostrada na Figura 19, seja minimizada, isto quer dizer que deve haver uma boa transferência de calor do interior do motor até a superfície externa de temperatura.

Figura 19: Queda de temperatura no estator



Fonte: [3]

A queda interna de temperatura depende de diversos fatores como indicado na Figura 19 onde as temperaturas de certos pontos importantes do motor estão representadas e explicadas a seguir:

- A - Ponto mais quente do enrolamento, no interior da ranhura, onde é gerado o calor proveniente das perdas nos condutores;
- AB - Queda de temperatura na transferência de calor do ponto mais quente até os fios externos. Como o ar é um péssimo condutor de calor, é importante que não haja "vazios" no interior da ranhura, isto é, as bobinas devem ser compactas e a impregnação com verniz deve preencher o máximo possível os vazios;
- B - Queda através do isolamento da ranhura e no contato deste com os condutores de um lado, e com as chapas do núcleo, do outro. O emprego de

materiais modernos melhora a transmissão de calor através do isolante; a impregnação perfeita, melhora o contato do lado interno, eliminando espaços vazios; o bom alinhamento das chapas estampadas, melhora o contato do lado externo, eliminando camadas de ar que prejudicam a transferência de calor;

- BC - Queda de temperatura por transmissão através do material do núcleo;
- C - Queda no contato entre o núcleo e a carcaça. A condução de calor será tanto melhor quanto mais perfeito for o contato entre as partes, dependendo do bom alinhamento das chapas e precisão da usinagem da carcaça. Superfícies irregulares deixam espaços vazios entre elas, resultando mau contato e, portanto, má condução de calor;
- CD - Queda de temperatura por transmissão através da espessura da carcaça.

2.2.4 PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES ELÉTRICOS

Os motores utilizados em regime contínuo devem ser protegidos contra sobrecargas por um dispositivo integrante do motor, ou um dispositivo de proteção independente, geralmente com relé térmico com corrente nominal ou de ajuste, igual ou inferior ao valor obtido multiplicando-se a corrente nominal de alimentação (I_n) pelo fator de serviço (Fs), conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Corrente de alimentação x Fator de serviço

Fator de Serviço do Motor (FS)	Ajuste da Corrente do relé
1,0 até 1,15	$I_n \cdot FS$
$\geq 1,15$	$(I_n \cdot FS) - 5\%$

Fonte: [2]

A proteção térmica é efetuada por meio de termorresistências (resistência calibrada), termistores, termostatos ou protetores térmicos. Os tipos de sensores utilizados são determinados em função da classe da temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e da exigência do cliente. Alguns dos tipos mais comuns são:

Termorresistores (Pt-100): são sensores de temperatura com princípio de funcionamento baseado na propriedade que alguns materiais que variam a resistência elétrica com a variação de temperatura (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem resistência calibrada que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento

contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta.

Um mesmo sensor pode servir para alarme (operação acima da temperatura normal de trabalho) e desligamento (geralmente ajustada para a máxima temperatura da classe de isolamento). As resistências dos cabos, dos contatos, etc., podem interferir na medição assim, existem diferentes tipos de configurações que podem ser realizadas buscando minimizar esses efeitos:

- A configuração de dois fios normalmente é satisfatória em locais onde o comprimento do cabo do sensor ao instrumento não ultrapasse 3,0 m para bitola 20 AWG;
- Na configuração de três fios (mais utilizada pela indústria) haverá uma compensação da resistência elétrica pelo terceiro fio;
- Na configuração de quatro fios (montagem mais precisa), existem duas ligações para cada terminal do bulbo (dois cabos para a tensão e dois para a corrente), obtendo-se um balanceamento total de resistências (é utilizada nos casos onde grande precisão é necessária).

A desvantagem dos termorresistores, Figura 20, é que os elementos sensores e os circuitos de controle possuem um alto custo.

Figura 20: Aspecto interno e externo dos termorresistores



Fonte: [2]

Para o Pt-100, a temperatura pode ser obtida com a fórmula a seguir, ou através de tabelas fornecidas pelos fabricantes.

$$t^{\circ}C = \frac{r - 100}{0.385}$$

r - resistência medida em ohms

Termistores (PTC e NTC): são dispositivos feitos de materiais semicondutores, cuja resistência varia acentuadamente com a temperatura:

- PTC - coeficiente de temperatura positivo;
- NTC - coeficiente de temperatura negativo.

O termistor "PTC" apresenta aumento da resistência com o aumento da temperatura e alguns são caracterizados por esta subida ser abrupta, o que os torna úteis em dispositivos de proteção de sobreaquecimento. O termistor "NTC" apresenta redução da resistência com o aumento da temperatura.

Os termistores, Figura 21, tem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e têm uma resposta mais rápida em relação aos outros detectores, embora não permitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor. Os termistores com seus respectivos circuitos eletrônicos de controle oferecem proteção completa contra sobreaquecimento produzido por falta de fase, sobrecarga, sub ou sobretensões e operações frequentes de reversão ou liga-desliga. Possuem baixo custo, quando comparado ao do tipo Pt-100, porém necessitam de relé para comando da atuação do alarme ou operação.

Figura 21: Aspecto externo dos Termistores

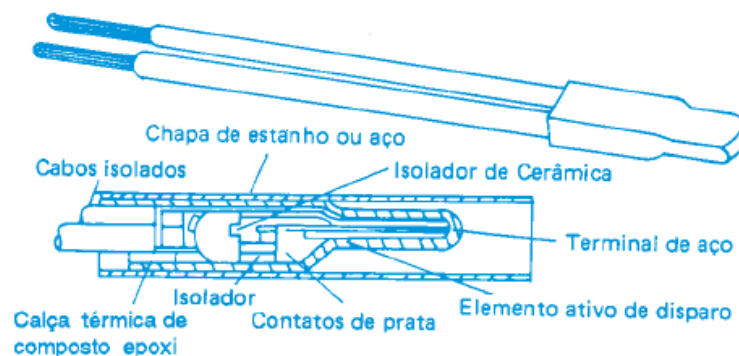


Fonte: [2]

Protetores Térmicos Bimetálicos - Termostatos: são sensores térmicos do tipo bimetálico com contatos de prata normalmente fechados, que se abrem ao atingir determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetálico baixar, este volta a sua forma, original instantaneamente, permitindo o fechamento dos contatos novamente.

Em motores elétricos, os termostatos, Figura 22, são instalados nas cabeça de bobinas de fases diferentes, como mostra a Figura 23 e ligados em série com a bobina do contator onde, dependendo do grau de segurança e da especificação do cliente, podem ser utilizados três termostatos (um por fase) ou seis termostatos (grupos de dois por fase).

Figura 22: Aspecto interno e externo do termostato



Fonte: [2]

Figura 23: Termostato sendo instalado na cabeça da bobina



Fonte: [2]

Os termostatos também são utilizados em aplicações especiais de motores monofásicos, nestas aplicações, o termostato pode ser ligado em série com a alimentação do motor, desde que a corrente do motor não ultrapasse a máxima corrente admissível do termostato.

2.2.5 RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO

A utilização de resistências de aquecimento, Figura 24, é recomendada em duas situações:

- Motores instalados em ambientes com umidade relativa do ar de até 95%, nos quais o motor poderá ficar desligado por períodos superiores a 24 horas;
- Motores instalados em ambientes com umidade relativa do ar superior a 95%, independente do regime de funcionamento. Ressaltamos que nessa situação também se aplica nas partes internas do motor uma pintura epóxi conhecida como pintura tropicalizada.

Figura 24: Resistência de aquecimento



Fonte: [4]

A tensão de alimentação das resistências de aquecimento deverá ser especificada pelo cliente, que pode ser fornecida para as tensões de 110-127V, 220-240V, 380-480V para todos os tamanhos de carcaça e ainda 110-127/220-240V (dupla tensão) para as carcaças 112M até 355A/B. A potência e quantidade de resistências de aquecimento dependem do tamanho do motor e deverão estar em acordo com a Tabela 4:

Tabela 4: Relação da potência das resistências com o tamanho da carcaça

Carcaça	Quantidade	Potência (W)
63 a 80	1	7,5
90 a 100	1	11
112	2	11
132 a 160	2	15
180 a 200	2	19
225 a 250	2	28
280 a 315	2	70
355	2	87

Fonte: [3]

2.3 NORMAS RELACIONADAS E PROCEDIMENTOS DA WEG

2.3.1 NORMA: NBR 5383-1 (FEV-2002) MÁQUINAS ELÉTRICAS GIRANTES

Esta norma prescreve os ensaios aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução trifásicos e verificação de sua conformidade com a NBR 7094.

Ensaio adicionais não prescritos nesta Norma podem ser realizados mediante acordo entre as partes para atender a necessidades específicas de aplicação ou pesquisa. Esta norma não se aplica a motores de indução para veículos de tração.

Para este estágio essa norma foi bastante útil para assegurar os métodos e procedimentos dos ensaios em motores elétricos recomendados pela WEG, também foi útil para assegurar os ensaios elétricos realizados na empresa para motores de outros fabricantes que não sejam WEG.

Os ensaios elétricos de acordo com esta norma utilizados no estágio foram:

- **Medição da resistência de isolamento (411-53-48):** Ensaio realizado para medir a resistência de isolamento, sob condições específicas; Ensaio de medição da resistência de isolamento (seção 6.3.4); Ensaio de medição do índice de polarização (seção 6.3.5);

- **Medição da resistência do enrolamento (411-53-37):** Ensaio realizado para medir a resistência de um enrolamento utilizando corrente contínua; Ensaio de medição da resistência ôhmica dos enrolamentos (seção 7);
- **Ensaio dielétrico (411-53-49):** Ensaio realizado mediante a aplicação de uma tensão elevada a uma isolação para verificar se a sua rigidez dielétrica é adequada; Ensaio de tensão aplicada (seção 17.3);
- **Ensaio em vazio (411-53-21):** Ensaio no qual o motor de indução funciona sem fornecer potência mecânica útil na sua ponta de eixo; Ensaio de teste da corrente em vazio (seção 14);
- **Medição da tensão rotórica** (Somente para motores de indução com rotor bobinado): Medição das tensões entre todos os terminais do rotor com o rotor bloqueado e seu enrolamento em circuito aberto, aplicando-se ao estator tensão nominal;

Os ensaios devem ser realizados em motores em perfeito estado de conservação, com todas as tampas montadas como para funcionamento normal. Todos os dispositivos para ajuste automático de tensão que não constituem parte integrante do motor devem ser postos fora de operação, salvo acordo diferente.

2.3.2 NORMA: NBR 7094 (FEV-2003) MÁQUINAS ELÉTRICAS GIRANTES -MOTORES DE INDUÇÃO - ESPECIFICAÇÃO

Esta norma fixa os requisitos básicos a serem atendidos pelos motores de indução e foi utilizada durante o estágio para compreender as especificações dos motores, condições de funcionamento no local de instalação, regimes e características nominais, características de partida e elevação de temperaturas.

2.3.3 PROCEDIMENTOS DA WEG

Alguns ensaios elétricos realizados na empresa e descritos neste relatório estão alinhados com as normas e procedimentos internos da WEG, os ensaios em questão são:

- Ensaio *Loop-Test*;
- Ensaio de teste de rotor falhado;
- Ensaio de surto elétrico (Surge-Test).

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Nesta seção é apresentada uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas durante o período de estágio.

3.1 INTERPRETAÇÃO DAS PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO

A primeira atividade desenvolvida foi a identificação dos dados de Placa dos motores, a importância da correta identificação destes dados está diretamente relacionada ao serviço de manutenção que é prestado pela empresa. Os dados de placa auxiliam inclusive para assegurar o transporte dos motores nos setores da empresa, informando no caso de motores WEG a massa do motor e o modelo da carcaça.

Por exemplo, para o transporte dos motores, a empresa conta com uma talha e ponte rolante, Figura 25, com capacidade de 10 Toneladas, este equipamento possibilita uma maior mobilidade e segurança para os serviços manutenção.

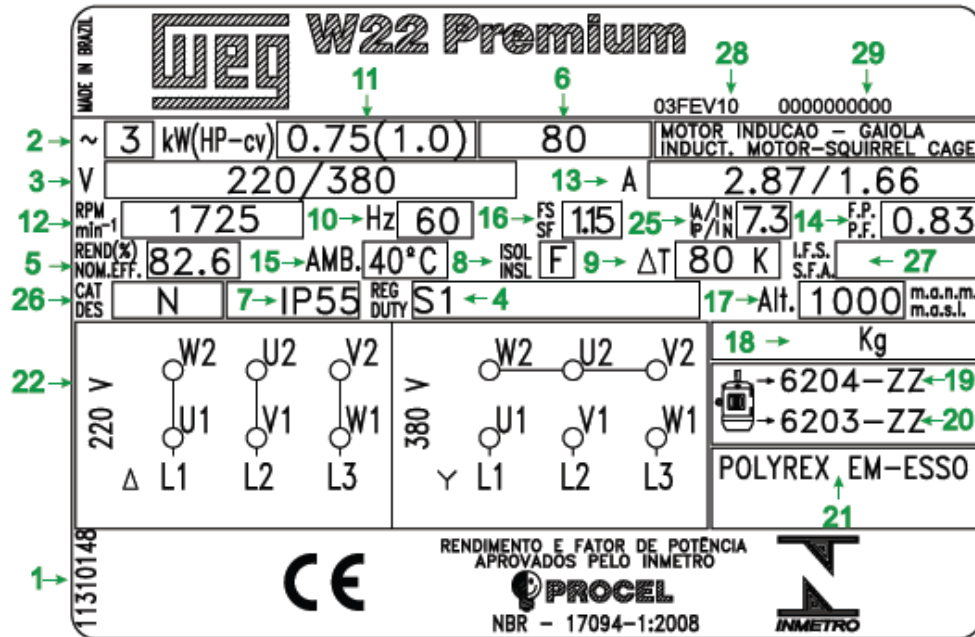
Figura 25: Talha e Ponte rolante



Fonte: [4]

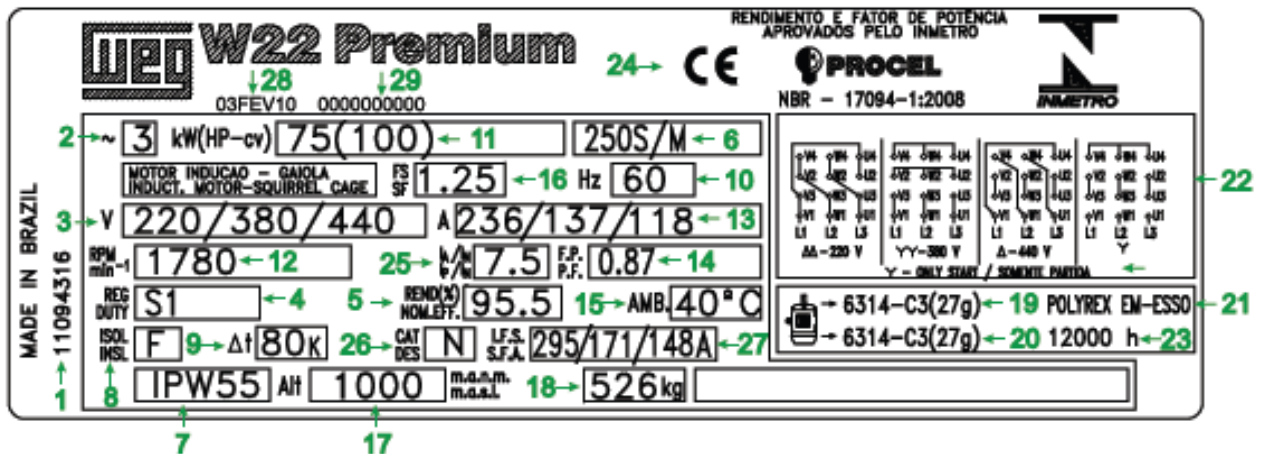
A placa de identificação contém as informações que descrevem as características construtivas e o desempenho dos motores. Como exemplo vamos utilizar a Placa de identificação do motor W22 Premium, Figura 26 e Figura 27.

Figura 26: Placa de identificação para as carcaças 63 e 132



Fonte: [3]

Figura 27: Placa de identificação para as carcaças 160 a 355



Fonte: [3]

1. Código do motor
2. Número de fases
3. Tensão de nominal de operação
4. Regime de serviço
5. Rendimento
6. Modelo da carcaça
7. Grau de proteção
8. Classe de isolamento

9. Temperatura da classe de isolamento
10. Frequência
11. Potência
12. Rotação nominal por minuto
13. Corrente nominal de operação
14. Fator de potência
15. Temperatura ambiente
16. Fator de serviço
17. Altitude
18. Massa
19. Especificação do rolamento dianteiro e quantidade de graxa
20. Especificação do rolamento traseiro e quantidade graxa
21. Tipo de graxa utilizada nos rolamentos
22. Esquema de ligação
23. Tempo de relubrificação do motor (em horas)
24. Certificações
25. Relação da corrente de partida/corrente nominal
26. Categoria de conjugado
27. Corrente no fator de serviço
28. Data de fabricação
29. Número de série

Como pode-se observar os dados da Placa de identificação fornecem informações suficientes para a instalação e manutenção correta dos motores, com suas características elétricas e mecânicas, assim como informações sobre o período de lubrificação dos rolamentos para alguns motores.

3.2 ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS ELÉTRICOS

A segunda atividade realizada e com maior frequência foi o acompanhamento dos ensaios elétricos, realizados no recebimento e na entrega dos motores e geradores elétricos, no recebimento, os ensaios são realizados com o objetivo de identificar as possíveis falhas

elétricas, já na entrega esses ensaios são realizados para assegurar as características de desempenho do motor.

Os procedimentos para os ensaios estão de acordo com os indicados pela WEG que também estão de acordo com as normas anteriormente citadas.

3.2.1 ENSAIO DE MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Resistência de isolamento é o termo geralmente utilizado para definir o quociente da tensão contínua aplicada pela corrente em função do tempo medido a partir da aplicação da tensão, assim será encontrada referência à resistência de isolamento para 1 min ou 10 min.[5]

Quando se mede o isolamento de um motor, está-se a medir a resistência de isolamento dos materiais isolantes aplicados no processo de fabricação do motor. A medição da resistência elétrica de motores exige equipamentos com elevada precisão na faixa de 0,001 ohm (Ω), o equipamento utilizado para esta medição é o megôhmetro, Figura 28.

Figura 28: Megôhmetro - Modelo Mi5500e



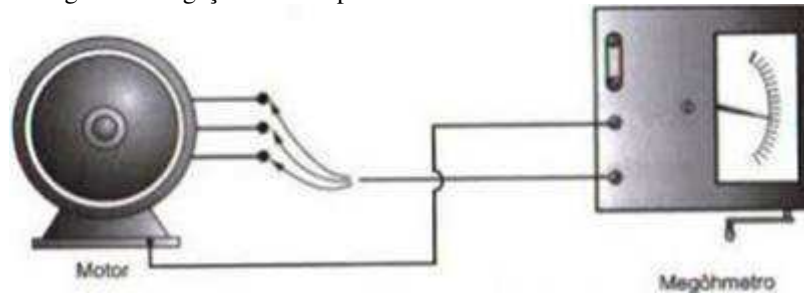
Fonte: [4]

O objetivo deste ensaio é identificar se o motor está em estado adequado para ser submetido a ensaios dielétricos para ser colocado em funcionamento ou para fins de manutenção.

Procedimentos para o ensaio:

1. Junta-se todos os terminais do motor e os conecta ao terminal positivo do megôhmetro, terminal negativo é conectado a carcaça do motor, Figura 29.

Figura 29: Ligação elétrica para o ensaio de resistência de isolamento



Fonte: [7]

2. Seleciona-se o valor de tensão DC no megôhmetro que será utilizado no ensaio proporcional ao valor da tensão nominal do motor.
3. A Tabela 5 apresenta a relação da tensão nominal do motor com a tensão DC aplicada no ensaio.

Tabela 5: Tensão do motor x Tensão aplicada no ensaio

Tensão nominal do Motor (V)	Tensão DC aplicada no Ensaio (V)
até 575	500 à 1000
575 à 2400	1000 à 2500
2400 à 6900	2500 à 5000

Fonte: [4]

4. Aplica-se a tensão de ensaio durante 1 min e mede-se a resistência de isolamento. O ensaio pode ser realizado também em cada fase separado das demais, conforme a norma NBR 5383-1:2002, seção 6.8.
5. O valor da resistência medida deve ser comparado ao valor mínimo recomendado para enrolamentos de motores de indução de acordo com a seguinte equação:

$$R_m = kV + 1$$

Onde:

- R_m : corresponde a resistência mínima recomendada, em Megaohm ($M\Omega$), com a temperatura do enrolamento do motor a 40°C ;
- kV : corresponde a tensão nominal do motor;
- 1: constante da fórmula.

Exemplo, determinar a resistência mínima recomendada para um motor com tensão nominal de 440V:

$$R_m = 0.44kV + 1$$

$$R_m = 1,44M\Omega$$

A resistência mínima recomendada para este motor é de 1,44MΩ.

Observação: A WEG adota os valores descritos na Tabela 6 como valores limites de resistência de isolamento.

Tabela 6: Valores limites de resistência de isolamento recomendados pela WEG

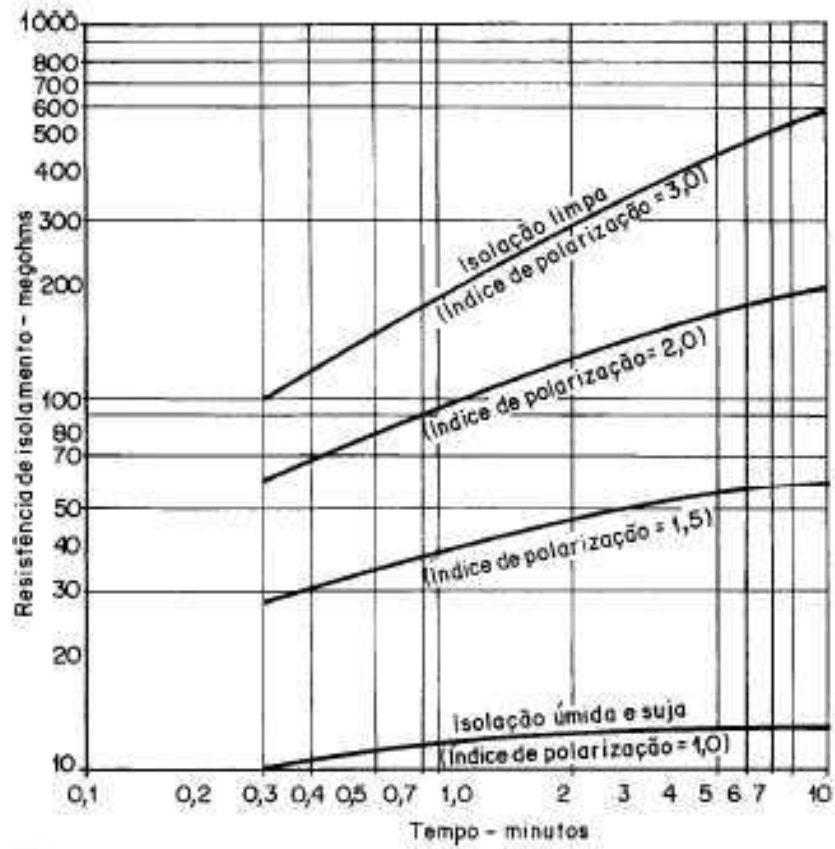
Valor Limite (MΩ)		Avaliação do Isolamento
	2	Perigoso
2	50	Frustr
50	100	Insatisfatório
100	500	Bom *
500	1000	Muito Bom
Acima de 1000		Excelente

Fonte: [4]

3.2.2 ENSAIO DE MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO

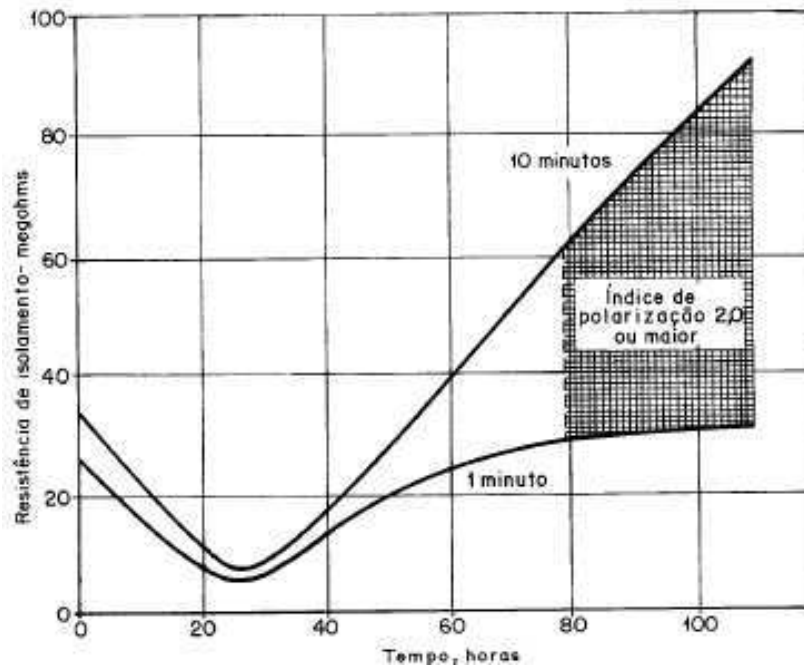
O índice de polarização é a razão entre o valor da resistência de isolamento para 10 min e o valor da resistência para 1 min. Esse índice é indicativo da inclinação da curva característica Figura 30 e Figura 31. O índice de polarização pode ser útil na avaliação do enrolamento para a secagem e para os ensaios dielétricos. O modo de realizar esse ensaio é semelhante ao ensaio de medição da resistência de isolamento, sendo realizado a leitura da resistência no megôhmetro com 1 e 10 min.

Figura 30: Variação típica da resistência de isolamento com o tempo, para enrolamento classe B



Fonte: [5]

Figura 31: Mudança da resistência de isolamento para 1 min e 10 min durante o processo de secagem de um enrolamento classe b - temperatura inicial do enrolamento 25°C e temperatura final do enrolamento 75°C



Fonte: [5]

A mudança na resistência de isolamento com a duração da aplicação da tensão de ensaio pode ser útil na interpretação da limpeza e secagem de um enrolamento. As medições da resistência de isolamento podem ser afetadas pelos seguintes fatores:

- Estado da superfície: materiais estranhos, tal como pó de carvão depositado na superfície de isolamento, podem reduzir a resistência de isolamento, se a resistência de isolamento for reduzida devido à contaminação ou à umidade excessiva, ela pode geralmente retornar ao seu valor adequado através de limpeza e secagem para remover a umidade;
- Umidade: independentemente da limpeza da superfície do enrolamento, se a temperatura do enrolamento estiver no ponto de orvalho do ar ambiente ou abaixo, uma película úmida se formará na superfície da isolação, que pode reduzir a resistência de isolamento. A umidade absorvida terá um grande efeito sobre a resistência de isolamento. Motores fora de serviço podem ser aquecidos para manter a temperatura do enrolamento acima do ponto de orvalho;
- Temperatura: a resistência de isolamento da maioria dos materiais varia inversamente com a temperatura. O efeito da temperatura sobre o índice de polarização é geralmente pequeno se a temperatura do motor não mudar apreciavelmente entre as leituras de 1 min e 10 min;
- Magnitude da tensão contínua de ensaio: a medição da resistência de isolamento constitui um ensaio de tensão suportável e deve ficar restrita a um valor apropriado da tensão nominal do enrolamento e à condição básica da isolação. Se a tensão de ensaio for demasiadamente elevada, ela pode deteriorar ou danificar a isolação. Se a resistência de isolamento diminuir significativamente com um aumento na tensão aplicada, isto pode ser uma indicação de imperfeições ou rachaduras na isolação agravadas pela presença de sujeira ou umidade, ou pode ser devido somente aos defeitos de sujeira e umidade, ou pode resultar de outro fenômeno de deterioração;
- Duração da aplicação da tensão contínua de ensaio: a resistência de isolamento medida de um enrolamento seco em bom estado pode continuar aumentando durante horas com a mesma tensão de ensaio continuamente aplicada; entretanto um valor praticamente constante é alcançado em 10 min a 15 min. Se o enrolamento estiver úmido ou sujo, este valor é geralmente alcançado em 1 min ou 2 min após a tensão de ensaio ser aplicada;

- Carga residual no enrolamento: as medições da resistência de isolamento estarão erradas se existirem cargas residuais na isolação. Por isso, antes de medir a resistência de isolamento ou o índice de polarização, os enrolamentos devem ser completamente descarregados para a carcaça da máquina aterrada. Se existir qualquer dúvida quanto a suficiência da descarga, a corrente de descarga deve ser medida. Após a aplicação de uma tensão contínua elevada, o aterramento de enrolamentos é importante para a segurança, bem como a precisão de ensaios subsequentes. O tempo de aterramento deve ser no mínimo quatro vezes o tempo de carga.

3.2.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS

A obtenção dos valores da resistência ôhmica dos enrolamentos depende de como estão ligados os enrolamentos:

- Se todos os terminais dos enrolamentos forem acessíveis a medição é realizada entre esses terminais;
- Se os terminais não forem acessíveis, a medição é realizada entre dois a dois terminais sucessivamente, utilizando a resistência equivalente, dependente da ligação dos enrolamentos.

Os resultados das medições efetuadas devem ser comparados com os resultados obtidos em ensaios anteriores (do fabricante se possível), tendo-se o cuidado de utilizar as correções de temperatura ambiente a uma mesma base normalmente para 25°C. Em caso de discordância maiores que 2% deve ser pesquisada a existência de anormalidade, tais como: espiras em curto-circuito, número incorreto de espiras, dimensões incorretas dos condutores, conexões e contato em más condições.

Para este ensaio utilizou-se o microohmímetro (ponte Kelvin), Figura 32, faz-se a leitura individual de cada conjunto de bobinas (fases), conforme descrito na norma NBR 5383-1:2002 e conforme instruções do manual de manutenção WEG (Arquivo Técnico 2-045).

Figura 32: Microohmímetro (ponte Kelvin)



Fonte: [4]

O desequilíbrio de resistência (DR) não deve ser superior a $\pm 3\%$, de acordo com a seguinte equação:

$$DR = \frac{Re\ sistência - maior}{Re\ sistência - menor} - 1(100) \leq 3\%$$

Exemplo:

- Fase 1: 0,125 Ω
- Fase 2: 0,130 Ω
- Fase 3: 0,120 Ω

$$DR = \frac{0,130}{0,120} - 1(\times 100) \leq 3\%$$

$$DR = (1,0833 - 1)(\times 100) = 8,33\%$$

Neste exemplo o desequilíbrio de resistência (DR) possui um valor maior que o limite estabelecido, isso pode significar que o motor está com problemas de bobinagem.

Observação: A medição da resistência deve ser realizada para motores que estão em manutenção antes do processo de impregnação.

3.2.4 ENSAIO DE TESTE DA CORRENTE EM VAZIO

Este ensaio tem como finalidade medir a corrente a vazio e avaliar com a de projeto e identificar possível desequilíbrio entre fases superior ao admissível. Para realizar o ensaio foi utilizado um painel de testes, Figura 33, ou fonte de alimentação juntamente com um alicate amperímetro.

Figura 33: Painéis de Testes de Acionamentos



Fonte: [4]

Para realizar este ensaio é seguido os seguintes passos:

- Liga-se o motor em vazio, alimentado com a tensão e frequência nominais;
- Para motores trifásicos efetua-se a medição da corrente nas três fases (I_R , I_S , I_T) e anota-se seus valores para calcular o valor médio e o desequilíbrio das fases, para o cálculo da corrente média (I_m) utiliza-se a seguinte equação:

$$I_m = \left(\frac{I_R + I_S + I_T}{3} \right)$$

- Em seguida calcula-se o desvio das correntes das fases em relação a média, com mostrado a seguir:

$$Dif1 = I_m - I_R$$

$$Dif2 = I_m - I_S$$

$$Dif3 = I_m - I_T$$

- Identifica-se o maior desvio de corrente de fase calculado no passo anterior, desprezando-se os sinais negativos e calcula-se o percentual de desequilíbrio, de acordo com a seguinte equação:

$$DI = \frac{MaiorDif}{I_m}$$

Para motores de IV, VI e VIII pólos, o valor de DI não deve exceder o limite de 10% ($DI \leq 10\%$). Para motores de II pólos, o desequilíbrio deve ser inferior a 20% ($DI \leq 20\%$).

O desequilíbrio de corrente pode ocorrer em função do desbalanceamento da rede de alimentação ou da bobinagem incorreta do motor.

Observação: Para corrente com o motor em carga, o valor máximo de desequilíbrio recomendado é de 5% independente da polaridade.

3.2.5 ENSAIO DE TESTE DE ROTOR FALHADO

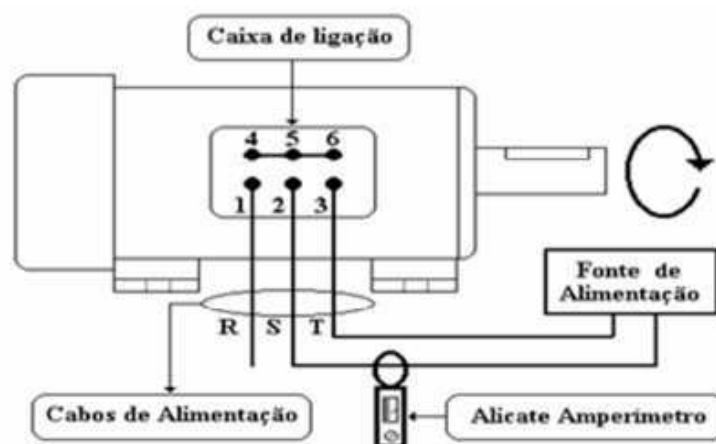
Em um motor de indução com rotor de gaiola, barras interrompidas perturbam o fluxo magnético fazendo flutuar a frequência do rotor e conseqüentemente a rotação e a corrente do motor.

A finalidade deste teste é avaliar o rotor de forma a identificar possíveis falhas nas barras do rotor de um motor. A seguir será descrito os procedimentos de avaliação pelo método de indução eletromagnética com o motor montado e desmontado.

Ensaio com o motor montado: para este ensaio utilizou-se um VARIAC (fonte de tensão AC variável) e um amperímetro analógico. Os procedimentos para o ensaio em um motor trifásico são os seguintes:

- Conecta-se a fonte de alimentação somente em duas fases do motor, com frequência nominal e tensão reduzida (máxima de 50% da tensão nominal);
- Conforme ilustrado na Figura 34 e na montagem na Figura 35, coloca-se em uma das fases um amperímetro analógico;

Figura 34: Diagrama elétrico do ensaio de rotor falhado



Fonte: [4]

Figura 35: Montagem de ensaio de rotor falhado



Fonte: [4]

- Em seguida deve-se alimentar o motor e girar lentamente o eixo com a mão. Caso o motor ofereça resistência em determinadas posições, deve-se girá-lo com velocidade maior;
- Observa-se o ponteiro do amperímetro durante o giro do eixo, pois se o ponteiro oscilar demasiadamente, o rotor muito provavelmente estará falhado.

Atenção: Durante o teste, a fase que ficar desconectada da fonte de alimentação apresentará uma tensão induzida em seu terminal. Por isso o terminal deverá ficar bem isolado para evitar acidentes.

Para um motor monofásico o teste é similar, com a única diferença que a fonte de alimentação deve ser conectada aos cabos da bobina principal. A bobina auxiliar deve ficar desconectada. Se os cabos da bobina auxiliar não forem acessíveis, deve-se desconectar um dos terminais do capacitor.

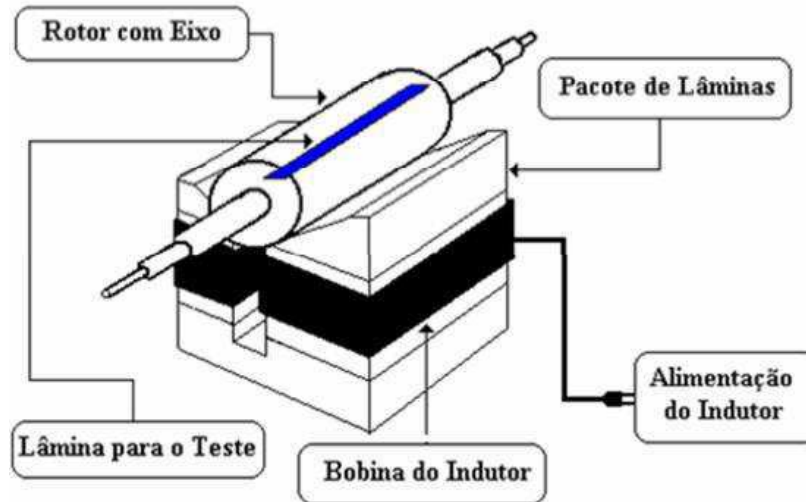
Atenção: Durante o teste, a bobina auxiliar apresentará uma tensão induzida em seus terminais. Por isso os terminais da bobina auxiliar deverão ficar bem isolados para evitar acidentes.

Ensaio com o motor desmontado: para este ensaio utiliza-se um indutor conhecido como "tatu", o teste é realizado com o motor desmontado, e pode ser aplicado tanto ao rotor de motor trifásico quanto ao de rotor monofásico.

Os procedimentos para a realização deste ensaio são os seguintes:

- Coloca-se o "tatu" em contato com o rotor, conforme ilustrado na Figura 36, quando o tatu é energizado, induz a circulação de corrente nas barras do rotor, principalmente naquelas que estão sob ele;

Figura 36: Diagrama elétrico para o ensaio com o motor desmontado



Fonte: [4]

- A verificação do rotor falhado é feita testando-se cada barra com uma lâmina de serra ou limalha de ferro. O teste consiste em segurar a lâmina sobre a barra ou espalhar a limalha de ferro sobre o rotor. Em uma condição normal, a lâmina de serra vibra, ou se for realizado com limalha, se formarão linhas na mesma direção das barras do rotor. Caso a lâmina de serra não vibre, ou a limalha não se "alinhe", muito provavelmente a barra estará interrompida, pois nesta situação não haveria circulação de corrente na barra.

3.2.6 ENSAIO *LOOP-TEST*

O objetivo deste ensaio é avaliar o núcleo magnético do estator antes de rebobinar o motor para verificar a existência de pontos quentes no núcleo de chapas.

Caso o isolamento elétrico existente entre as lâminas do estator esteja danificado em algum ponto, ocorrerá um aumento muito grande das correntes parasitas naquele ponto, provocando um superaquecimento. Ou seja, aparecerá um ponto quente no núcleo das chapas. Se um motor que apresenta ponto quente for rebobinado, quando estiver operando com carga irá apresentar aquecimento anormal de carcaça, podendo sobre aquecer também os rolamentos.

O *loop-test* deve ser feito sempre que um motor queimado apresentar características de possível danificação do isolamento entre lâminas do estator. Como exemplos pode-se citar:

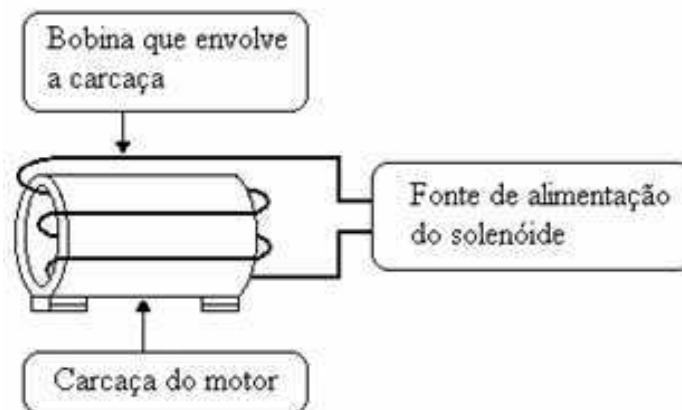
- Curto-circuito dentro da ranhura ou na saída da ranhura, provocado por falha do material isolante;
- Curto-circuito dentro da ranhura, provocado pelo arraste do rotor;
- Marcas de arraste do rotor no estator, mesmo que o arraste não tenha provocado curto-circuito dentro da ranhura;
- Sobrecarga violenta, provocando carbonização do material isolante.

Os equipamentos necessários para realização do Loop-Test são:

- Fonte de alimentação;
- Medidor de temperatura;
- Cabo elétrico.

O *loop-test* consiste em se criar um campo magnético no núcleo de chapas, mediante a aplicação de tensão em um solenóide conforme visto na Figura 37.

Figura 37: Diagrama elétrico para o ensaio de Loop-Test



Fonte: [4]

Para o cálculo do número de espiras e da bitola do fio para a montagem do solenóide, deve-se observar as Figura 38 e Figura 39, e aplicar as seguintes equações:

$$Z = 375.000 * \frac{U}{f * (De - D1) * L} \text{ (Espiras)}$$

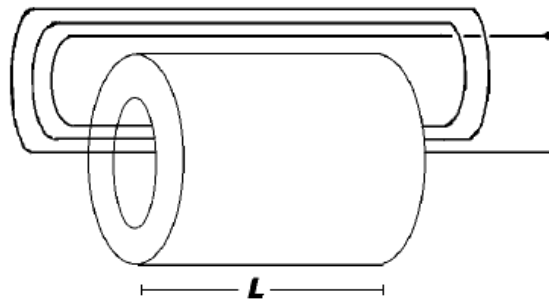
$$D1 = Di + 2hn1 \text{ (mm)}$$

$$S = 37.500 * \frac{U * (De + D1)}{f * Z^2 * L * (De - D1)} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Onde:

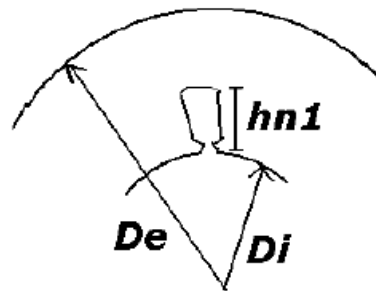
- U = tensão (V) a ser aplicada no solenóide;
- f = frequência (Hz) da tensão U ;
- De = diâmetro externo do estator (mm);
- $hn1$ = altura da ranhura (mm);
- L = comprimento do pacote de chapas (mm);
- Z = número de espiras necessárias para o solenóide;
- Di = diâmetro interno do estator (mm);
- S = seção do condutor a ser utilizado no solenóide.

Figura 38: Cálculo do número de espiras



Fonte: [4]

Figura 39: Cálculo da bitola do fio



Fonte: [4]

Para realização do ensaio o motor deve ter seu bobinado retirado e o estator limpo, somente este é envolto o cabo no motor conforme a Figura 40. Após calculado e montado o solenóide, aplica-se a tensão U em seus terminais, conforme diagrama elétrico apresentado na Figura 37, e verifica-se a temperatura em diversos pontos do núcleo durante aproximadamente trinta minutos. Caso algum ponto do núcleo venha a aquecer pelo menos 10°C acima da temperatura dos outros pontos, deverá ser considerado como um ponto quente. Nesse caso, o núcleo magnético deverá ser condenado e substituído.

Figura 40: Montagem do solenóide da carcaça do motor



Fonte: [4]

3.2.7 ENSAIO DE TENSÃO APLICADA OU HI-POT

Este ensaio tem como finalidade avaliar e identificar possíveis falhas de isolamento no motor através da fuga de corrente para a massa, o equipamento utilizado para este ensaio é o Hi-pot 5kVA - 100mA, Figura 41.

Figura 41: Hi-pot 5kVA - 100mA



Fonte: [4]

A tensão de ensaio especificada na Tabela 7 deve ser aplicada entre os enrolamentos submetidos a ensaio e a carcaça do motor aterrada, como mostra a Figura 42 e Figura 43, outras partes ou enrolamentos não submetidos a ensaio também devem ser aterrados.

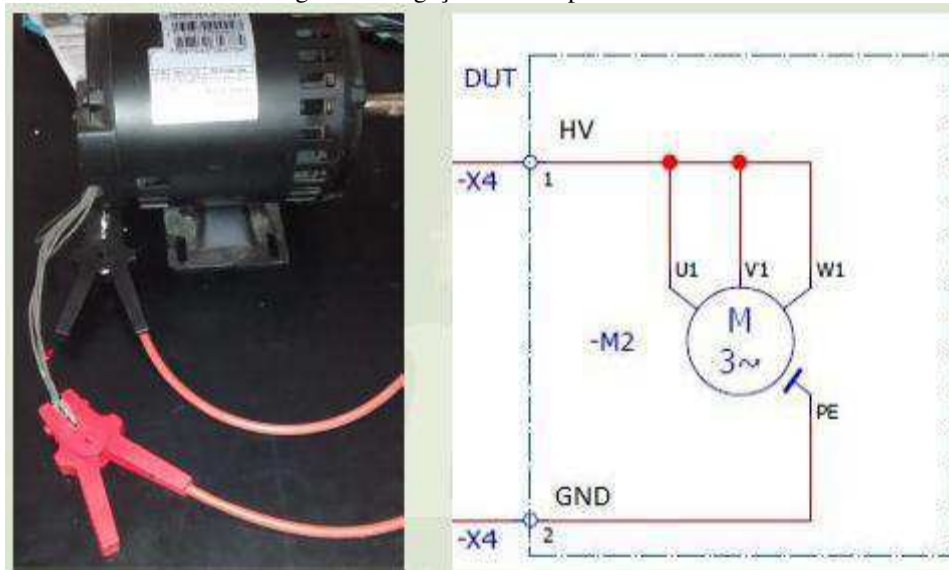
Acessórios como pára-raios contra surtos etc., que são ligados aos terminais do motor, devem ser desconectados durante o ensaio.

Tabela 7: Tensão para ensaio com Hi-pot

Características do motor	Tensão de ensaio (valor eficaz)
Potencia nominal inferior a 1 kW (1,4 cv) e de tensão nominal inferior a 100 V	500 V + 2 vezes a tensão nominal
Potencia nominal inferior a 1.000 kW (1.400 cv)	1.000 V + 2 vezes a tensão nominal, com no mínimo de 1.500 V

Fonte: [4]

Figura 42: Ligação elétrica para o teste



Fonte: [4]

Figura 43: Montagem do ensaio



Fonte: [4]

Procedimentos recomendados para realização do ensaio:

- Junta-se todos os terminais do motor;

- Conecta-se um terminal do equipamento aos cabos do motor e outro a carcaça, Figura 42;
- Aplica-se a tensão calculada conforme apresentado na Tabela 7;
- O ensaio deve ser iniciado com uma tensão inferior à metade da tensão plena de ensaio, em seguida essa tensão deve ser aumentada até a tensão de ensaio, a tensão plena de ensaio deve então ser mantida durante 1 min, ao final de 1 min, a tensão deve ser reduzida para um valor em torno de 1/4 do valor pleno em um tempo não superior a 15 segundos, sendo então desligada a fonte.

No caso de ensaios de rotina para motores fabricados em série, com tensão de ensaio de até 2500 V, pode ter o ensaio de 1 min substituído pelo ensaio de aproximadamente 1 segundo, neste caso aplica-se 120% da tensão de ensaio mostrado na Tabela 7.

Motores rebobinados por completo devem ser ensaiados com tensão plena de ensaio conforme Tabela 7 e motores revisados ou que já passaram por teste de tensão aplicada recomenda-se utilizar uma tensão igual a 80% da tensão recomendada pela mesma tabela.

O critério de aceitação para o ensaio é o não rompimento do material isolante durante o teste. É esperado o aparecimento de corrente de fuga em "mA" sem o rompimento do material isolante, no entanto esta corrente não é utilizada como critério de aceitação.

3.2.8 TESTE DE SURTO ELÉTRICO (*SURGE-TEST*)

Um breve surto de tensão é aplicado na bobina durante o teste que cria um gradiente de tensão ao longo de todo o comprimento do fio. Este gradiente produz um estresse momentaneamente entre as espiras. A bobina responderá, através de um discriminador de sinal. O teste de Surto Elétrico pode detectar diversos tipos de defeitos tais como: curto entre espiras, curto entre bobinas, curto entre fases, ligações invertidas, conexões abertas e número de espiras erradas.

O *Surge-Test*, Figura 44, é um equipamento que realiza testes elétrico em motores elétricos, transformadores, contadores, indutores e qualquer tipo de bobina. Utilizando um capacitor, ele realiza a descarga de alta tensão sobre as bobinas do motor ou estator em teste.

Figura 44: Teste em estator utilizando *Surge-Test*



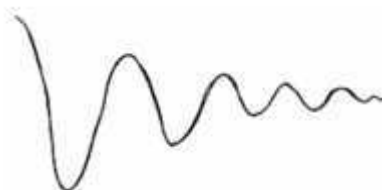
Fonte: [4]

Procedimentos para o ensaio:

- Conectar os cabos de teste do equipamento nas espiras, bobinas ou fase do motor (conforme o que se deseja avaliar - verificar manual do equipamento).
- Aplicar a tensão de surto conforme indicado a seguir:
 1. Motores de alta tensão (acima de 1000 volts/fase): aplicar 2 x tensão nominal + 1000 volts.
 2. Motores de baixa tensão (abaixo de 1000 volts/fase): aplicar no mínimo 1500 volts e no máximo o valor do item anterior.
- Ajustar a visualização da curva obtida;
- Comparar a curva obtida com as curvas características dos defeitos e a curva padrão.

O critério de aceitação para o ensaio é através do método comparativo. Um bobinado sem problema apresentará uma onda amortecida de todas as fases de forma que visualmente se enxerga uma onda resultante com a Figura 45.

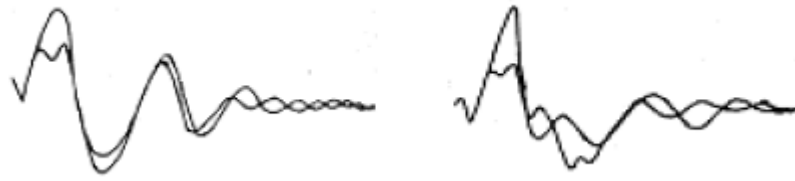
Figura 45: Forma de onda padrão



Fonte: [4]

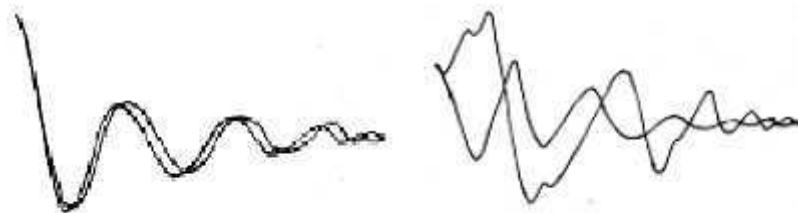
Outras formas de onda são apresentadas da Figura 46 a Figura 50 para estatores com problemas.

Figura 46: a) Curto parcial entre fases. b) Curto total entre fases



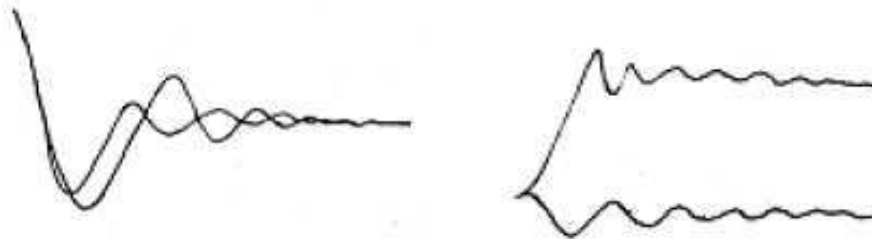
Fonte: [4]

Figura 47: a) Ligação invertida da bobina. b) Curto entre bobinas mesma fase



Fonte: [4]

Figura 48: a) Ligação incorreta da bobina. b) Ligação da bobina aberta



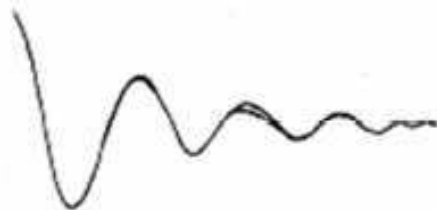
Fonte: [4]

Figura 49: a) Curto parcial para massa. b) Curto total para massa



Fonte: [4]

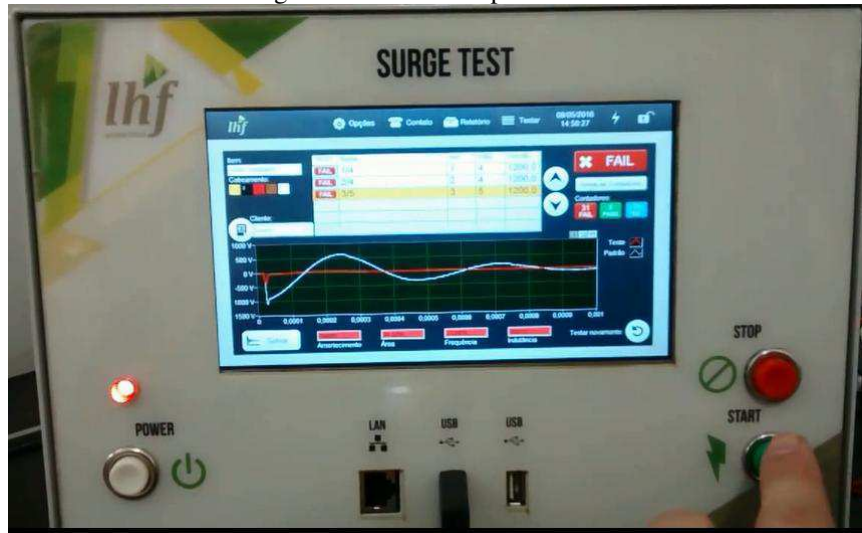
Figura 50: Curto entre Espiras



Fonte:[4]

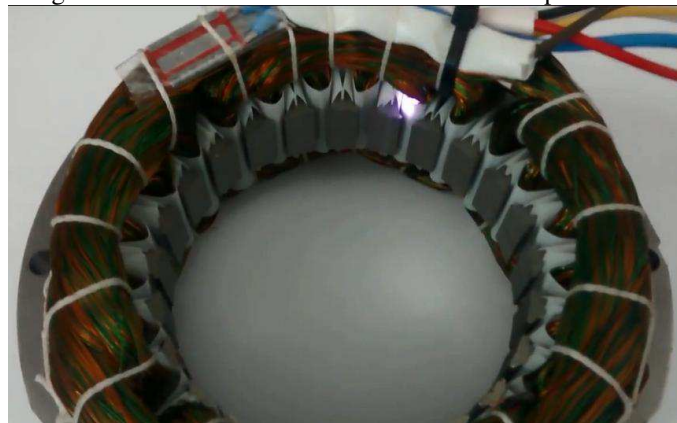
Nas Figura 51 e na Figura 52 a seguir, tem-se um exemplo do resultado de falha no bobinado, identificado com o Surge Test.

Figura 51: Curto total para a massa



Fonte:[4]

Figura 52: Estator com curto-circuito da bobina para massa



Fonte: [4]

3.3 IDENTIFICAÇÃO VISUAL DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

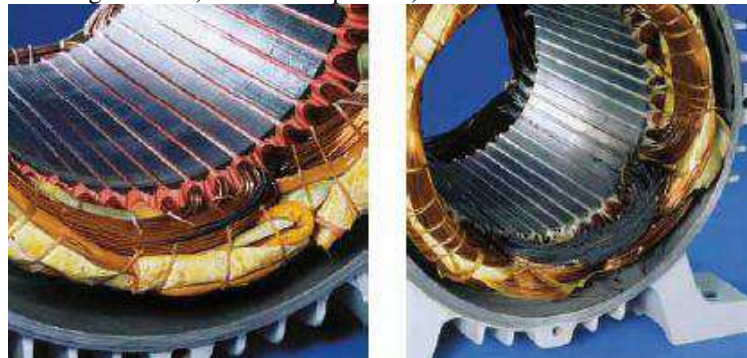
Um dos métodos para identificação de falhas em motores elétricos, corresponde a identificação visual dos bobinados assim como suas partes mecânicas, falhas mecânicas também podem ser identificadas através do som, dado que o profissional responsável conheça o som de conjunto mecânico de um motor elétrico em perfeito funcionamento para utilizá-lo como parâmetro comparativo, este tipo de identificação de falha é empregado ao motor montado, no caso do motor desmontado a inspeção visual assim como a medição dos desgastes e folgas no eixo do motor, nos rolamentos e nas tampas fornecem um parecer mais completo.

Caso ocorra a queima de um motor elétrico, a primeira providência a se tornar e identificar a causa (ou possíveis causas) da queima, mediante a análise do enrolamento danificado. Para auxiliar na análise será apresentado as características de alguns tipos de queimas de enrolamentos e suas possíveis causas.

Curto entre espiras, Figura 53.a, ou bobina curto-circuitada, Figura 53.b, possíveis causas:

- Contaminação interna do motor;
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
- Falha do verniz de impregnação;
- Rápidas oscilações na tensão de alimentação.

Figura 53: a) Curto de espiras. b) Bobina curto-circuitada



Fonte: [6]

Curto entre fases, Figura 54, possíveis causas:

- Contaminação interna do motor;
- Degradação do material isolante por ressecamento, ocasionada por excesso de temperatura;
- Falha do material isolante.

Figura 54: Curto entre Fases



Fonte: [6]

Curto na conexão, Figura 55, possíveis causas:

- Contaminação interna do motor;
- Falha do material isolante;
- Superaquecimento da conexão devido a mau contato.

Figura 55: Curto na Conexão

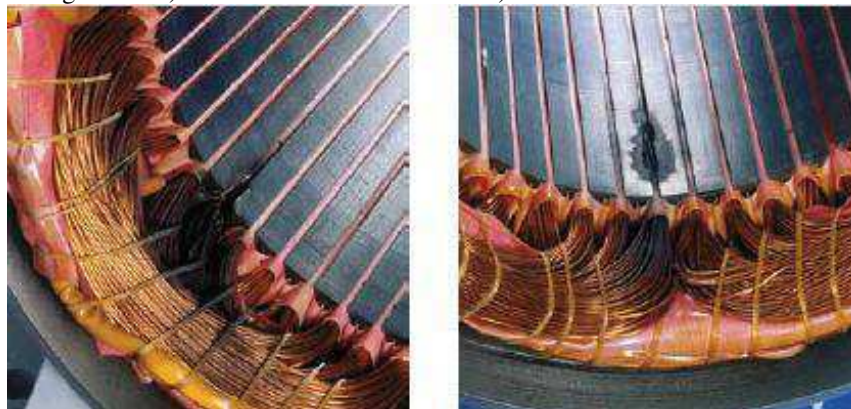


Fonte: [6]

Curto na saída da ranhura, Figura 56.a, ou Curto no interior da ranhura, Figura 56.b, possíveis causas:

- Contaminação interna do motor;
- Degradação do material isolante por ressecamento, ocasionada por excesso de temperatura;
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
- Falha do verniz de impregnação;
- Falha do material isolante;
- Rápidas oscilações na tensão de alimentação.

Figura 56: a) Curto na Saída da Ranhura. b) Curto no Interior da Ranhura



Fonte: [6]

Pico de Tensão, Figura 57, possíveis causas:

- Motor acionado por inversor de frequência com alguns parâmetros incorretos;
- Oscilação violenta na tensão de alimentação, por exemplo, descargas atmosféricas;
- Surtos de manobra de banco de capacitores.

Figura 57: Pico de tensão



Fonte: [6]

Desbalanceamento de tensão, Figura 58, possíveis causas:

- Desequilíbrio de tensão e/ou de correntes entre fases;
- Falha em banco de capacitores;
- Mais contatos em conexões, chaves, contadores, disjuntores, etc.;
- Oscilações de tensão nas três fases.

Figura 58: Desbalanceamento de Tensão



Fonte: [6]

Rotor travado, Figura 59, possíveis causas:

- Excessiva dificuldade na partida do motor, devido a elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados;
- Travamento do eixo da carga.

Figura 59: Rotor travado



Fonte: [6]

Sobreaquecimento, Figura 60, possíveis causas:

- Cabos de alimentação muito longos e/ou muito finos;
- Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor;
- Excessivo número de partidas em tempo curto;
- Excesso de carga na ponta do eixo;
- Sobretensão ou subtensão na rede de alimentação;
- Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira sobre a carcaça, temperatura ambiente elevada, etc.).

Figura 60: Sobreaquecimento



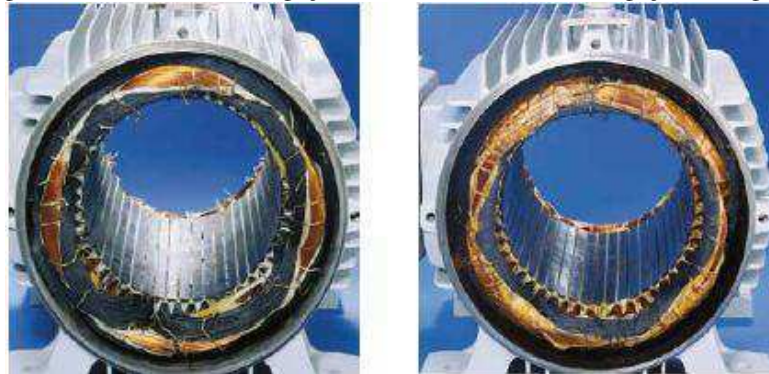
Fonte: [6]

Falta de fase Estrela (queima de duas fases), Figura 61.a ou Triângulo (queima de uma fase), Figura 61.b, possíveis causas:

- Mau contato em chave, contator ou disjuntor;
- Mau contato em conexões;
- Mau contato nos terminais de uma fase do transformador;
- Queima de uma fase do transformador de alimentação;
- Queima de um fusível;

- Rompimento de um cabo alimentador.

Figura 61: a) Falta de fase ligação Estrela. b) Falta de fase ligação Triângulo



Fonte: [6]

3.4 ACOMPANHAMENTO DO SERVIÇO DE BOBINAGEM DO MOTOR

TOSHIBA MODELO 449TDZ

O Motor Toshiba Modelo 449TDZ, Figura 62, foi escolhido como exemplo neste trabalho, para descrever o processo de manutenção em motores elétricos realizado pela empresa Motoelétrica, alguns dos motivos pela escolha deste motor foram as dificuldades técnicas deste para tal serviço e o tempo necessário para a realização do mesmo, possibilitando o acompanhamento mais detalhado de todo o processo.

Figura 62: Motor TOSHIBA - Modelo 449TDZ



Fonte: [4]

3.4.1 ENTRADA DO SERVIÇO

No recebimento do motor, foi realizada a identificação, o registro dos dados de placa e dos dados do cliente. Em seguida realizou-se uma inspeção geral que consiste em registrar o aspecto do motor no momento do recebimento, como por exemplo: danos à carcaça, eixo e ventilador.

Alguns fabricantes de motores, possuem um número menor de dados de placas, isso acontece mais frequentemente com os motores mais antigos. No caso deste motor ainda foi possível obter um número razoável de informações a partir dos dados de placa, Figura 63.

Figura 63: Dados de placa motor TOSHIBA



Fonte: [4]

Dados da Placa de Identificação:

- Fabricante: TOSHIBA;
- Modelo: 449TDZ;
- Número de série: 96Y01431;
- Potência em cv: 474 cv;
- Tensão nominal: 380V;
- Corrente nominal: 643 A;
- Frequência nominal: 60 Hz;
- Rotação nominal: 3600 rpm;
- Número de Pólos: 2.

A informação obtida pelo cliente foi que o motor parou de funcionar, o mesmo encontrava-se parado e quando foi ligado, apresentou esta falha elétrica. Mesmo sem abrir o motor é possível estimar possíveis causas da falha, como por exemplo o local onde o motor

está instalado possui uma umidade elevada e possivelmente devido ao seu regime de funcionamento não periódico, pode ter havido um acúmulo de umidade juntamente com as impurezas presentes no ar ocasionando um baixo valor de resistência de isolamento.

3.4.2 INSPEÇÃO DE FALHAS

Para um diagnóstico mais conclusivo sobre as falhas, o motor é aberto, separando as principais partes mecânicas, o estator, o rotor, as tampas (dianteira e traseira) e os rolamentos. A inspeção visual de falhas elétricas e mecânicas possibilita identificar com maior rapidez o conjunto de falhas envolvidas. Como a falha supostamente foi elétrica, observa-se primeiramente o estator, Figura 64.

Figura 64: Estator do motor TOSHIBA



Fonte: [4]

No caso deste estator a inspeção visual identificou como falha principal **pico de tensão**, melhor observado na Figura 65.

Figura 65: Detalhe do estator com falha por pico de tensão



Fonte: [4]

Em seguida é realizada uma inspeção visual no rotor e no eixo, Figura 66, procurando-se alguma anomalia ou sinal de desgaste mecânico como por exemplo, arraste do rotor sobre o estator.

Figura 66: Rotor e tampa dianteira



Fonte: [4]

Dando continuidade à inspeção mecânica, verifica-se:

- O estado dos rolamentos, Figura 67. Os rolamentos dianteiro e traseiro foram diagnosticados com excesso de folgas e com pista deterioradas, esta falha pode ter ocorrido por falta de lubrificação ou falta de substituição dos mesmos no tempo recomendado

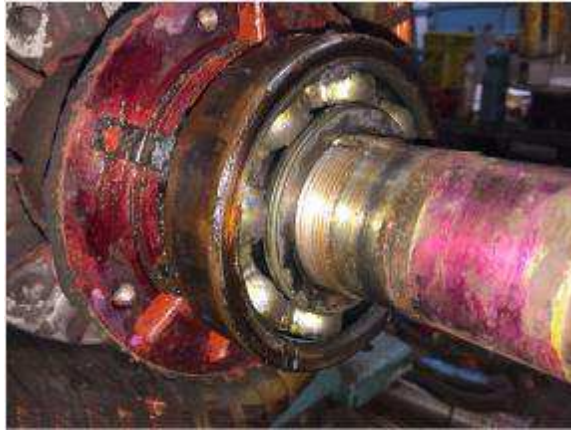
Figura 67: a) Rolamento traseiro. b) Rolamento dianteiro



Fonte: [4]

A medição dos assentamentos dos rolamentos, Figura 68. Após as medições dos assentamentos dos rolamentos, verificou-se que estas estavam dentro das tolerâncias permitidas, não sendo necessário nenhum serviço de reparo.

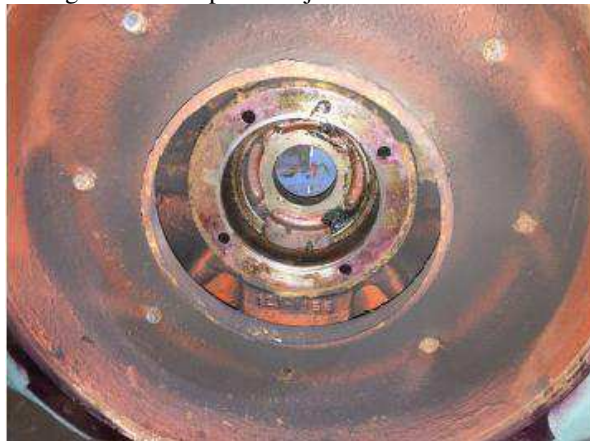
Figura 68: Assentamento dos rolamentos



Fonte: [4]

- A medição das tampas de alojamento dos rolamentos, Figura 69. Após a medição das tampas verificou-se que estas se encontravam dentro das tolerâncias permitidas, não sendo necessário nenhum serviço de reparo para as mesmas.

Figura 69: Tampa de alojamento dos rolamentos



Fonte: [4]

Após as inspeções de falhas elétricas e mecânicas, os serviços a serem realizados são:

- Rebobinamento;
- Instalação de resistências de aquecimento (ação preventiva acordada com o cliente);
- Substituição dos rolamentos;
- Testes e Pintura.

3.4.3 REBOBINAMENTO E INSTALAÇÃO DE RESISTÊNCIAS DE AQUECIMENTO

Confirmado o serviço de rebobinamento, deu-se início o processo de bobinagem do estator. Quando o motor a ser bobinado possui esquemas e diagramas elétricos das bobinas e dos tipos de ligação, no caso dos motores WEG, o processo é bem mais simples podendo já ser iniciado o processo de confecção das bobinas, no entanto quando não se possui esses documentos é necessário um trabalho de identificação dos esquemas e ligações originais do motor, a partir do bobinado que está queimado, algumas das informações que são obtidas são: número de grupos, número de fases, número de bobinas, passos das bobinas nas ranhuras do estator, se o preenchimento da ranhura é cheia ou meia, os tipos de ligação, tipos de isolantes etc.

Após esta etapa de identificação, é retirado completamente os fios esmaltados do estator, é realizada a limpeza do mesmo retirando o verniz antigo e os demais isolantes utilizados. Finalizada esta etapa é realizada a confecção das bobinas e iniciado o processo manual de acomodação das mesmas no interior das ranhuras já com seus filmes isolantes instalados, Figura 70.

Figura 70: Rebobinamento do motor



Fonte: [4]

O desafio técnico anteriormente citado pode ser entendido observando-se a Figura 70, o projeto deste motor constitui um verdadeiro desafio para o bobinador devido a grande quantidade de fios que precisam ser acomodados e a espessura do mesmo, ao comparar este

motor com outros de mesma carcaça percebe-se que este possui uma potência em cv muito superior aos demais, por isto o mesmo possui além de uma refrigeração forçada um divisão no interior do estator, Figura 71, para auxiliar o sistema de arrefecimento do bobinado.

Figura 71: Divisão no interior do estator para melhorar o sistema de arrefecimento



Fonte: [4]

Devido a construção e as características térmicas deste motor, os materiais isolantes utilizados devem ter uma classe térmica para suportar altas temperaturas. No caso deste motor foi utilizado filme isolante (fibra) classe H (180°C), Figura 72, e isoladores tubulares, espaguete, classe H, Flexsil.

Figura 72: Filme isolante classe H



Fonte: [4]

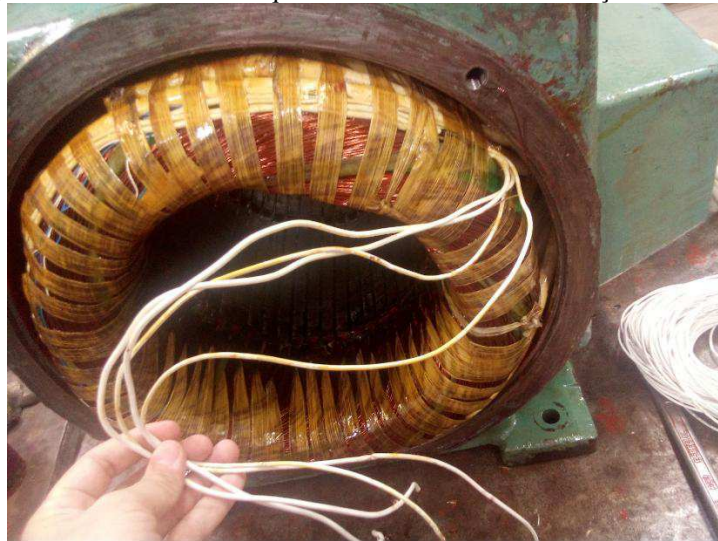
Antes de concluir a amarração das cabeças das bobinas foram instalados dois termorresistores Pt-100 nos dois lados das bobinas, Figura 73, e duas resistências de aquecimento de 87W/220V, Figura 74, como acordado com o cliente.

Figura 73: Sensores térmicos Pt-100 instalados



Fonte: [4]

Figura 74: Resistências de aquecimento instaladas nas cabeças das bobinas



Fonte: [4]

3.4.4 APLICAÇÃO DO VERNIZ E O PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO

Como descrito anteriormente a aplicação dos vernizes e resinas melhoram as características térmicas e elétricas dos materiais impregnados podendo atribuir aos mesmos uma classe térmica maior, quando comparados a esses mesmos materiais sem impregnação. O verniz isolante aplicado neste motor foi o Lackterm 1314, Figura 75.

Figura 75: Aplicação de Verniz isolante



Fonte: [4]

Aguarda-se o verniz aplicado escorrer e coloca-se o motor na estufa, Figura 76, para o processo de cura do verniz, esse processo auxilia na eliminação dos espaços vazios ajudando na dissipação térmica do calor gerado pelo condutor e diminuição da formação de descargas parciais no interior do motor.

Figura 76: Processo de Cura do verniz na estufa



Fonte: [4]

Ao fim do processo de cura, são realizados alguns testes elétricos para identificar possíveis falhas de resistência de isolamento, neste caso foram realizados testes com o Surge Test, Figura 77.

Figura 77: Teste de resistência de isolamento e resistência ôhmica, utilizando o Surge Test



Fonte: [4]

Caso o motor tenha sido aprovado nesta etapa é realizada em seguida a aplicação da resina na cabeça das bobinas, Figura 78, e em algum local que seja necessário uma melhora no sistema de isolamento.

Figura 78: Aplicação de resina isolante



Fonte: [4]

3.4.5 MONTAGEM E TESTES FINAIS

Concluído o processo de aplicação de verniz e resina, é realizado a inspeção antes do processo de montagem do motor a fim de verificar se todos os processos anteriores foram concluídos com êxito, Figura 79, com os rolamentos já instalados e os cabos de ligação etiquetados, é realizado o procedimento de montagem do conjunto rotor e estator, Figura 80.

Figura 79: Inspeção elétrica e mecânica antes do processo de montagem



Fonte: [4]

Figura 80: Montagem do conjunto rotor e estator



Fonte: [4]

Em seguida são realizados os ensaios elétricos, Figura 81 a) e b) e coletados seus resultados.

Figura 81: a) Ensaios elétricos. b) Surge-Test



Fonte: [4]

Os valores obtidos para o ensaio de resistência ôhmica foram:

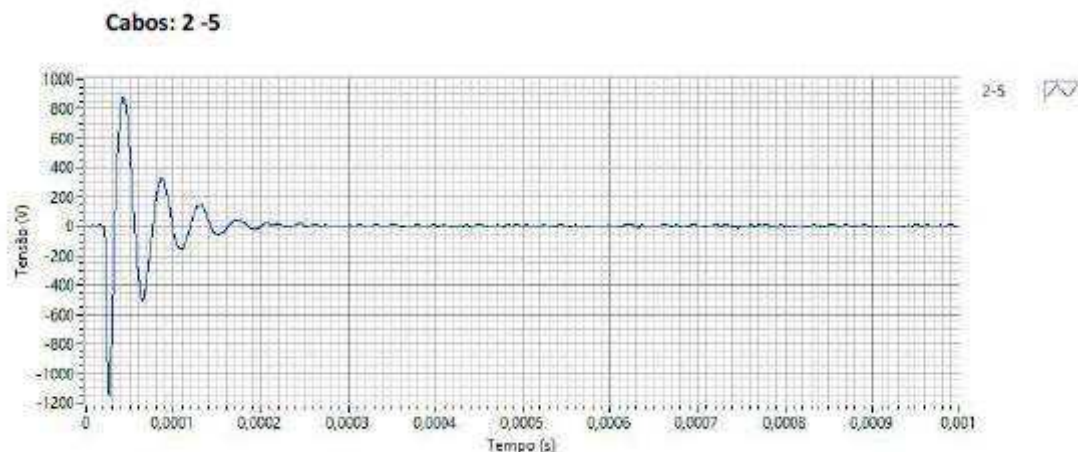
- Fase 1: 9,86 m Ω ;
- Fase 2: 9,85 m Ω ;
- Fase 2: 9,85 m Ω ;

Como os valores de resistência ôhmica medidos não apresentaram desequilíbrio superior a 3%, nenhuma anormalidade foi identificada, e o motor foi aprovado neste ensaio.

Para o ensaio de resistência de isolamento, foi medido um valor de 4000M Ω para uma tensão aplicada de 1kV, de acordo com a tabela normatiza, apresentada no capítulo referente aos ensaios elétricos, o valor do isolamento está classificado como "excelente".

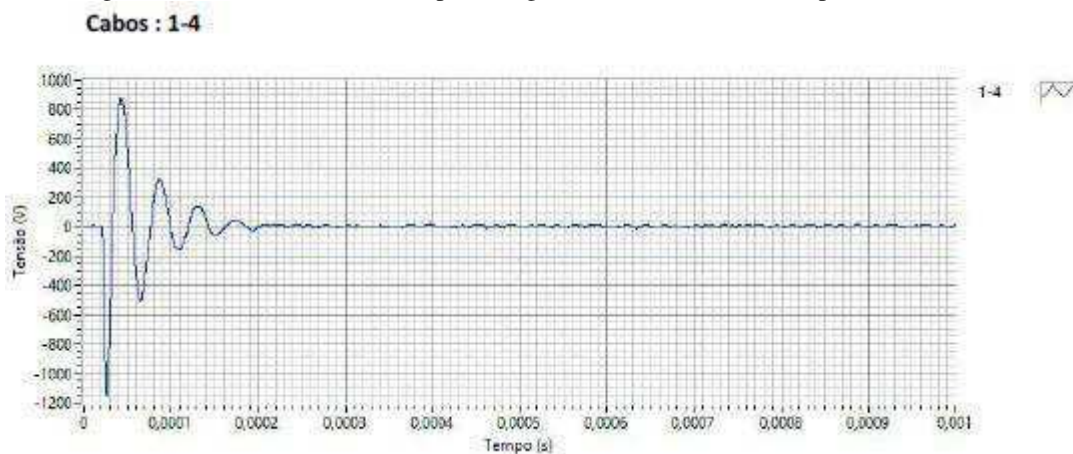
No ensaio realizado com o Surge-Test foram obtidos os gráficos referentes as Figura 82 a Figura 84, estes gráficos apresentam as formas de onda obtidas na aplicação do Surge-Test no bobinado do motor.

Figura 82: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 2 e 5.



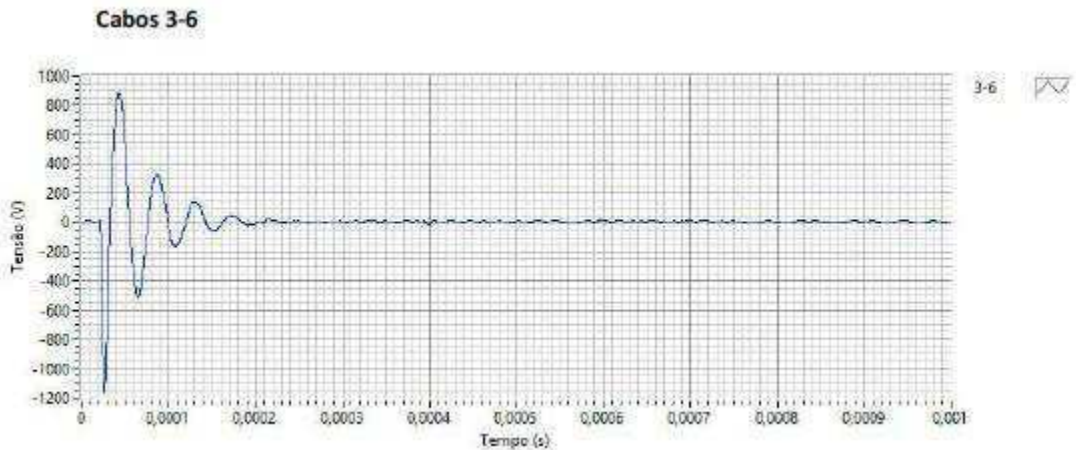
Fonte: [4]

Figura 83: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 1 e 4.



Fonte: [4]

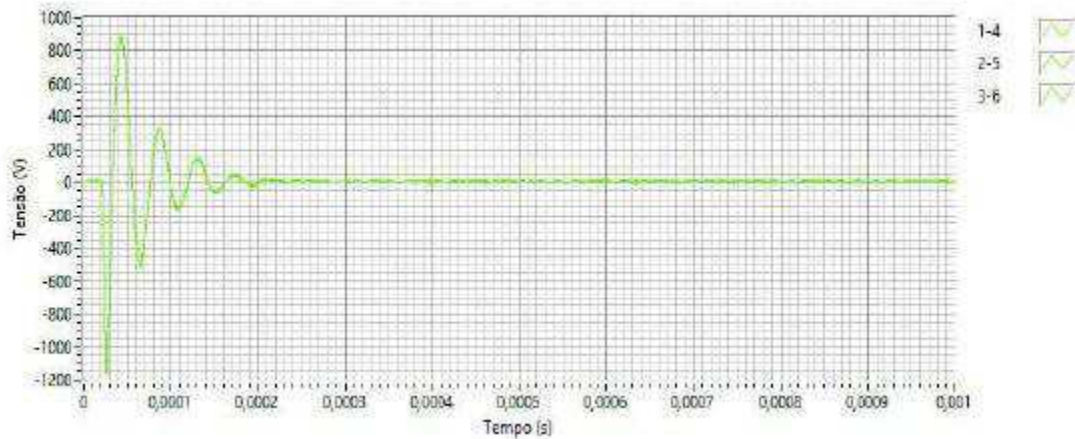
Figura 84: Forma de onda obtida pelo Surge-Test na bobina formada pelos cabos 3 e 6.



Fonte: [4]

O critério de aceitação para o ensaio é através do método comparativo. Um bobinado sem problema apresentará uma onda amortecida de todas as fases de forma que visualmente se enxergue uma única onda resultante conforme a Figura 85.

Figura 85: Comparativo entre as três fases (1-4; 2-5; 3-6)



Fonte: [4]

Concluídos estes ensaios são realizados ensaios com o motor em funcionamento. Para realizar o acionamento do motor foi utilizada uma Soft-Start para a partida, a preferência por este tipo de equipamento está relacionada a todas as proteções que este equipamento engloba assim como uma melhor inspeção auditiva para o acionamento do motor gradativamente, Figura 86.

Figura 86: Partida utilizando Soft-Start



Fonte: [4]

Com o motor em funcionamento foram realizados os seguintes ensaios:

- Medição da frequência nominal em rpm, Figura 87.

Figura 87: Medição da frequência nominal



Fonte: [4]

Nota: na medição com o tacômetro observou-se que a velocidade mecânica de rotação medida 3603 rpm, foi maior que a esperada que seria inferior à 3600 rpm, para um motor de 2 pólos com frequência nominal de 60 Hz, o motivo deste erro é que no momento da medição instrumento encontrava-se descalibrado.

- Medição da corrente elétrica nas três fases com o motor sem carga, Figura 88. Após as medições foi verificado que as fases estavam equilibradas, segundo o ensaio de teste das correntes em vazio;

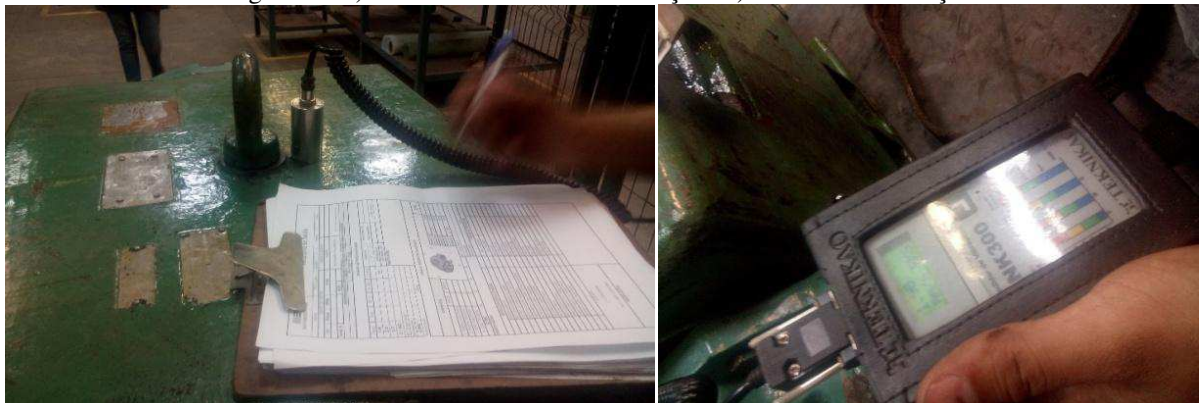
Figura 88: a) Medição de corrente fase 1. b) Medição de corrente fase 2. c) Medição de corrente fase 3



Fonte: [4]

- Medição da temperatura nos mancais. Os valores de temperaturas obtidos após o funcionamento de 20 min foram: 49,1°C para o mancal dianteiro e 48,7°C para o mancal traseiro;
- Ensaio de vibração, Figura 89. Os valores obtidos caracterizam como bom o resultado para o ensaio de vibração utilizando o medidor de vibração.

Figura 89: a) Sensor do Medidor de vibração. B) Medidor de vibração



Fonte: [4]

Após a conclusão destes ensaios o motor se encontra apto para o funcionamento pleno, com seus parâmetros de acordo com os informados nos dados originais da Placa de Identificação do motor.

4 CONCLUSÃO

Neste documento constam o conjunto de atividades desenvolvidas durante o período de estágio realizado na empresa Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME.

Diante de tudo que foi relatado até então fica comprovada a importância da formação do engenheiro eletricista e a obtenção dos conhecimentos das disciplinas da grade curricular, em destaque as disciplinas de Conversão Eletromecânica e Máquinas Elétricas, que se mostraram de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades do estágio.

Constatou-se a importância do estágio como primeiro contato com a vida profissional do futuro engenheiro, no qual foi possível ter contato com profissionais atuando na área e observando de perto todos os aspectos de sua atuação no desempenho de suas atividades.

Conclui-se que as atividades propostas previamente para o estágio foram executadas com êxito.

Em suma pode-se dizer que o estágio foi de grande relevância, tanto para o aluno na questão de conhecimento técnico e de atuação profissional, quanto para empresa Motoelétrica em relação as atividades desenvolvidas.

BIBLIOGRAFIA

[1] WEG. **Curso DT6: Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão**. Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.

[2] WEG. **Guia de especificação de motores elétricos**. Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.

[3] WEG. **W22 - Motor Elétrico Trifásio - Catálogo Técnico mercado Brasil**. Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.

[4] Motoelétrica Vendas e Serviços LTDA - ME. Disponível em: <http://www.motoeletrica.srv.br/servicos/>. Acesso em: Novembro de 2016.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5383-1. **Máquinas Elétricas Girantes Parte 1: Motores de Indução Trifásicos – Ensaio**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

[6] WEG. **Danos em Enrolamentos Motores Trifásicos - Guia de Instalação**. Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016

[7] **Manutenção Industrial - Aula 05 - Manutenção em Motores de Indução**. Disponível em: <http://manutencaodesistemasindustriais.blogspot.com.br/2016/02/antes-de-ser-desmontado-todo-motor-deve.html/>. Acesso em: Dezembro de 2016.