

---

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>II</b>
<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>XI</b>
<b>2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>3 MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS.....</b>	<b>13</b>
3.1 Fontes de Alimentação.....	13
3.2 Proteção de Motores de Corrente Alternada.....	15
3.2.1 Proteção Contra Surtos de Tensão .....	15
3.2.2 Proteção Contra Sobrecargas.....	17
3.2.3 Proteção Contra Curtos-Circuitos .....	22
3.3 Proteção Contra Falta e Desequilíbrio de Fases .....	25
3.4 Interação Motor e Máquina Acionada .....	26
3.5 Inspeção de Motores Elétricos .....	29
3.5.1 Instalação do Motor Elétrico. ....	29
3.5.1.1 Aterramento.....	29
3.5.1.2 Dispositivos de Bloqueio e Calços.....	30
3.5.1.3 Medição da Resistência de Isolamento .....	30
3.5.1.4 Conexão de Força do Motor.....	31
3.5.1.5 Conexões dos Condutores dos Circuitos de Proteção e Controle.....	31
3.5.1.6 Fixação do Motor à Base.....	31
3.5.1.7 Proteções do Motor .....	31
3.5.2 Operação com o Motor Desacoplado .....	31
3.5.3 Acoplamento Motor – Máquina Acionada.....	33
3.5.4 Operação com o Motor Acoplado .....	34
3.5.4.1 Indicadores e Proteção de Vibração .....	35
3.5.4.2 Indicadores e Proteção Térmica dos Mancais.....	35
3.5.4.3 Indicadores e Proteção Térmica dos Enrolamentos .....	37
3.5.4.4 Dispositivos Auxiliares .....	37

---

---

3.5.5 Inspeção Sistemática .....	38
3.5.5.1 Sistema de Alimentação .....	38
3.5.5.2 Motor .....	38
3.6 Inspeção em Máquinas com Escovas de Carvão .....	38
3.6.1 Porta Escovas e Escovas.....	45
3.6.2 Comutadores e Anéis Coletores .....	51
3.6.3 Interpolos e Linha Neutra.....	53
3.7 Principais Causas de Falhas de Máquinas Rotativas DE Corrente Alternada ..	55
3.7.1 Introdução.....	55
3.7.2 Rolamentos (Mancais).....	56
3.7.3 Contaminação por Agentes Agressivos.....	56
3.7.4 Degradação Térmica.....	57
3.7.4.1 Falta de Fase (Operação em Duas Fases).....	58
3.7.4.2 Sobrecarga Mecânica .....	60
3.7.4.3 Rotor Travado .....	61
3.7.4.4 Temperatura Ambiente Acima de 40 °C.....	62
3.7.4.5 Partidas Sucessivas.....	62
3.7.4.6 Roçamento Rotor-Estator.....	63
3.7.4.7 Tensões Anormais.....	63
3.7.5 Abrasão Mecânica .....	64
<b>4 TRANSFORMADORES DE FORÇA.....</b>	<b>66</b>
4.1 Análise Físico-química do Óleo Isolante.....	67
4.2 Cromatografia dos Gases Dissolvidos no Óleo Isolante.....	72
4.3 Relação de Transformação.....	76
4.4 Fator de Potência do Isolamento.....	78
4.5 Resistência Ôhmica dos Enrolamentos.....	79
4.6 Acessórios Para Indicação e Proteção .....	80
4.6.1 Relé Buchholz (Trafoscópio) .....	80

---

---

4.6.1.1	Características Gerais .....	81
4.6.1.2	Teste de Funcionabilidade do Relé Buchholz.....	82
4.6.1.3	Teste de Inflamabilidade .....	83
4.6.1.4	Teste de Acetileno .....	83
4.6.1.5	Verificações na Operação do Relé Buchholz.....	83
4.6.2	Relé de Fluxo de Óleo e Gás .....	84
4.6.3	Relé de Pressão Súbita .....	84
4.6.3.1	Relé de Pressão de Gás .....	85
4.6.3.2	Relé de Pressão de Óleo .....	86
4.6.4	Dispositivo de Alívio de Pressão .....	87
4.6.4.1	Tubo com Diafragma .....	88
4.6.4.2	Tubo com Mola Espiral.....	88
4.6.4.3	Alavanca Articulada.....	89
4.6.5	Termômetros Tipo Mostrador .....	90
4.6.5.1	Termômetro para Líquido Isolante.....	90
4.6.5.2	Termômetro para Enrolamento (Imagem Térmica).....	91
4.7	Plano de Inspeção de Transformadores de Força .....	92
4.8	Coleta do Óleo para Análise .....	93
4.8.1	Coleta para Ensaio Físico-Químico.....	93
4.8.2	Coleta para Cromatografia de Gases Dissolvidos.....	94
<b>5</b>	<b>CABOS ISOLADOS.....</b>	<b>95</b>
5.1	Introdução .....	95
5.2	Tipos de Isolação de Cabos de Potência.....	96
5.3	O Fenômeno da Arborescência (TREEING).....	96
5.4	Temperatura .....	97
5.5	Descargas Parciais .....	97
5.6	Erros de Instalação.....	98
5.7	Erros na Especificação da Tensão de Isolamento do Cabo .....	98

---

---

5.8 Terminais e Emendas.....	99
5.9 Testes de Cabos Elétricos no Campo.....	99
5.10 Inspeção de Cabos Isolados .....	99
5.11 Ensaio de Tensão Elétrica (NBR 6881).....	99
5.12 Ensaio de Tensão Elétrica Alternativo.....	102
<b>6 CAPACITORES DE POTÊNCIA .....</b>	<b>104</b>
6.1 A inspeção de um capacitor .....	105
6.1.1 Limpeza .....	105
6.1.2 Oxidação da Carcaça e Estruturas de Suporte.....	105
6.1.3 Aterramento.....	105
6.1.4 Proteção Contra Curto-circuito .....	105
6.1.5 Deformação da Carcaça.....	105
6.1.6 Isolamento .....	105
6.1.7 Teste da Integridade do Módulo Capacitor .....	106
<b>7 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E</b>	
<b>ATERRAMENTO .....</b>	<b>107</b>
7.1 Inspeção do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) ..	107
7.1.1 Captores.....	107
7.1.2 Cabos de Descida .....	108
7.1.3 Eletrodutos de Proteção.....	109
7.1.4 Conexões Elétricas .....	109
<b>8 SISTEMAS DE ATERRAMENTO E MALHA DE TERRA .....</b>	<b>111</b>
8.1 Inspeção do Sistema de Aterramento.....	113
8.1.1 Estruturas Metálicas .....	113
8.1.2 Carcaça dos Equipamentos Elétricos .....	113
8.1.3 Cubículos e Painéis Elétricos .....	113
8.1.4 Transformadores e Geradores .....	113
8.1.5 Resistência e Reatância de Aterramento .....	114

---

---

8.1.6 Malha de Aterramento.....	114
<b>9 BATERIAS.....</b>	<b>116</b>
9.1 Inspeção de Bancos de Baterias e Carregador.....	118
9.1.1 Limpeza.....	118
9.1.2 Elementos.....	118
9.1.3 Conexões.....	119
9.1.4 Oxidação.....	119
9.1.5 Pintura.....	119
9.1.6 Nível do Eletrólito.....	119
9.1.7 Medição de Tensão.....	120
9.1.8 Densidade.....	120
9.1.9 Análise do Eletrólito.....	120
9.1.10 Descarga da Bateria.....	121
9.1.11 Painel do Carregador.....	121
9.1.12 Retificadores.....	122
9.1.13 Indicadores de Tensão e Corrente.....	123
<b>10 EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....</b>	<b>124</b>
10.1 Introdução.....	124
10.2 Tipos de Inspeção.....	124
10.3 Tipo de Proteção.....	125
10.4 Formulário de Inspeção.....	126
<b>11 REOSTATOS E RESISTORES.....</b>	<b>131</b>
11.1 Inspeção de Banco de Resistores Fixos.....	131
11.1.1 Inspeção Visual.....	131
11.1.2 Resistência de Isolamento.....	131
11.1.3 Alteração nas Característica de Aceleração do Motor.....	132
11.2 Inspeção de Reostatos Líquidos.....	132

---

---

11.2.1	Tanque .....	133
11.2.2	Eletrólito .....	133
11.2.3	Eletrodos .....	133
11.2.4	Alteração nas Características de Aceleração do Motor.....	133
11.2.5	Mecanismo de Curto-circuitamento e Levantamento das Escovas.....	133
11.2.6	Contator de Curto-circuito do Reostato .....	134
<b>12</b>	<b>GALERIAS, ROTAS DE CABOS, ELETRODUTOS E ACESSÓRIOS</b>	<b>135</b>
12.1	Inspeção em Galerias, Rotas de Cabos, Eletrodutos e Acessórios .....	135
12.1.1	Circuito de Iluminação .....	135
12.1.2	Sistema de Drenagem de Água .....	135
12.1.3	Limpeza da Galeria .....	135
12.1.4	Bandejamento e Cabos Elétricos.....	136
12.1.5	Eletrodutos.....	137
12.1.6	Proteção Passiva .....	137
<b>13</b>	<b>SISTEMA DE ALARME E INCÊNDIO .....</b>	<b>139</b>
13.1	Sensores .....	139
13.2	Painel Local.....	139
13.3	Painel Central.....	140
13.4	Teste Simulado de Incêndio.....	140
<b>14</b>	<b>SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS DE FORÇA .....</b>	<b>141</b>
14.1	Segurança e Meio Ambiente.....	141
14.2	A inspeção nos Circuitos de Iluminação.....	142
14.2.1	Painéis de Distribuição e Controle .....	142
14.2.2	Eletrodutos e Linhas Elétricas Inclusive Condutores.....	142
14.2.3	Luminárias e Acessórios .....	142
14.2.4	Torres de Iluminação – Escada de Acesso e Plataforma.....	143
14.3	Inspeção em Tomadas de Força.....	143
14.3.1	Painéis de Distribuição.....	144

---

---

14.3.2	Tomadas .....	144
<b>15</b>	<b>FREIOS ELETRO-HIDRÁULICOS .....</b>	<b>145</b>
<b>16</b>	<b>FREIOS ELETROMAGNÉTICOS.....</b>	<b>146</b>
<b>17</b>	<b>DETECTORES DE METAL E SEPARADORES MAGNÉTICOS.....</b>	<b>147</b>
17.1	Técnicas de Inspeção .....	147
<b>18</b>	<b>DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E COMANDO DE CAMPO .....</b>	<b>148</b>
<b>19</b>	<b>INVERSORES DE FREQUÊNCIA .....</b>	<b>149</b>
19.1	Princípio Operacional .....	149
19.2	Potência do Inversor e do Motor Acionado .....	152
19.3	Reatância de Rede.....	154
19.4	Reatância de Carga .....	154
19.5	Instalação Elétrica .....	155
19.6	Grau de Proteção e Ventilação.....	155
19.7	Interferência Eletromagnética.....	155
19.8	Inspeção .....	156
19.8.1	Roteiro Para Inspeção.....	157
<b>20</b>	<b>DISJUNTORES .....</b>	<b>158</b>
20.1	Geral.....	158
20.2	Inspeção de Disjuntores .....	159
20.3	Principais Causas de Falhas .....	159
<b>21</b>	<b>CONTADORES .....</b>	<b>163</b>
<b>22</b>	<b>CHAVES SECCIONADORAS DE MÉDIA TENSÃO .....</b>	<b>165</b>
<b>23</b>	<b>CUBÍCULOS E PAINÉIS ELÉTRICOS.....</b>	<b>166</b>
23.1	Arco voltaico.....	170
23.2	Inspeção Detalhada .....	172
<b>24</b>	<b>AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ELÉTRICO UTILIZANDO TENSÕES DE CORRENTE CONTÍNUA.....</b>	<b>174</b>
24.1	Introdução .....	174

---

---

24.2 Isolamento Elétrico .....	174
24.3 Aplicando Tensão Contínua no Isolamento .....	175
24.3.1 Corrente de Carga Capacitiva .....	175
24.3.2 Corrente de Absorção Dielétrica .....	175
24.3.3 Corrente de Condução (Corrente de Fuga) .....	176
24.4 Fatores que Afetam a Resistência de Isolamento .....	176
24.4.1 Efeito das Condições da Superfície .....	176
24.4.2 Efeito da Umidade .....	176
24.4.3 Efeito da Temperatura .....	176
24.4.4 Efeito do Valor do Potencial de Teste .....	177
24.4.5 Efeito da Duração do Teste .....	178
24.4.6 Efeito da Carga Residual .....	178
24.5 Tensão Nominal e Máxima Tensão de Teste .....	178
24.6 Testes de Avaliação do Isolamento .....	179
24.6.1 Resistência de Isolamento a 1 Minuto .....	180
24.6.2 Método Resistência - Tempo. Índice de Polarização (IP) .....	180
24.6.3 Teste de Multitensão .....	182
24.6.4 Teste com Tensões Acima do Valor Nominal do Equipamento .....	183
24.7 Práticas Básicas para Operação do Megôhmetro .....	186
24.7.1 Calibração .....	186
24.7.2 Indicação do Zero .....	186
24.7.3 Indicação de Final de Escala .....	187
24.7.4 Terminais do Instrumento .....	187
24.7.5 Pontas de Prova .....	187
24.8 Práticas para Teste de Isolamento com Tensão de Corrente Contínua .....	187
24.9 Testes de Isolamento em Máquinas Elétricas Rotativas .....	189
24.9.1 Geral .....	189
24.9.2 Posições de Ligações para Teste .....	189

---



---

24.9.2.1 Estator e Rotor CA com Três Cabos de Saída .....	189
24.9.2.2 Estator de Motor de CA com Seis ou Mais Terminais. ....	190
24.9.2.3 Máquinas de Corrente Contínua.....	194
24.9.2.4 Geradores de Corrente Alternada.....	196
24.9.3 Avaliação dos Valores Medidos.....	197
24.10 Testes de Resistência de Isolamento em Transformadores .....	197
24.10.1 Geral .....	197
24.10.2 Posições de Teste – Transformadores de 2 Enrolamentos .....	198
24.10.3 Avaliação dos Valores Medidos.....	201
24.11 Teste de Resistência de Isolamento em Cabos Elétricos .....	203
24.11.1 Geral .....	203
24.11.2 Posição de Teste .....	203
24.11.2.1 Cabo Unipolar com Blindagem Metálica.....	203
24.11.2.2 Cabo Multipolar com Blindagem Metálica Envolvendo Cada Condutor.....	204
24.11.2.3 Cabo Multipolar sem Blindagem. ....	204
24.11.2.4 Cabo Unipolar (de um Circuito Tripolar) sem Blindagem ..	205
24.11.3 Avaliação dos Valores Medidos.....	205
24.12 Testes de Resistência de Isolamento em Disjuntores e Contatores .....	208
24.12.1 Geral .....	208
24.12.2 Posições de Teste.....	208
24.12.3 Avaliação dos Resultados dos Testes.....	210
<b>25 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>211</b>

---