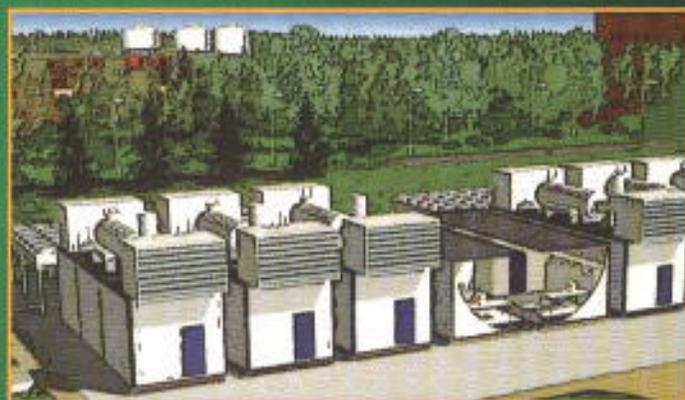


JOÃO MAMEDE FILHO



# INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

Sétima Edição

**LTC**

# INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

7.ª EDIÇÃO

**JOÃO MAMEDE FILHO**

Engenheiro eletricista

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1988-1990)

Ex-Diretor de Operação da Companhia Energética do Ceará — Coelce (1991-1994)

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1995-1998)

Ex-Presidente do Comitê Coordenador de Operações do Norte-Nordeste — CCON

Ex-Presidente da Nordeste Energia S.A. — Nergisa (1999-2000)

Atual Presidente da CPE — Consultoria e Projetos Elétricos

Professor de Eletrotécnica Industrial da Universidade de Fortaleza — Unifor (desde 1979)

**LTC**  
EDITORA

# PREFÁCIO À 7.<sup>a</sup> EDIÇÃO

---

Foi publicada em 2003 a nova versão da NBR 14039 – Instalações Elétricas de Média Tensão e no ano seguinte foi também publicada a nova versão NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – duas normas que não podem faltar na mesa de trabalho dos projetistas de instalações elétricas industriais.

Para manter o leitor informado quanto à atualização dos principais documentos normativos, principalmente aqueles que dizem respeito a instalações elétricas industriais, é nosso dever atualizar os capítulos correlacionados, sempre com o objetivo de manter os profissionais de projetos elétricos atualizados com as novas práticas que são estabelecidas nas normas mencionadas.

A evolução do mercado de energia elétrica, principalmente após o racionamento de energia no ano de 2001, nos incentivou a agregar a esta edição um novo capítulo, intitulado Usinas de Geração Industrial. Em decorrência dos desastrosos resultados econômicos do racionamento, os gerentes industriais entenderam que a instalação de unidades de geração em suas instalações fabris lhes permitiria maior segurança quanto a uma futura escassez de oferta de energia que pudesse afetar a sua produção, além da possibilidade de operarem nos horários de pico de carga, reduzindo seus custos operacionais.

Com as tarifas de energia elétrica cada vez mais onerosas para o fluxo de caixa do setor produtivo, as indústrias recorreram à implementação de ações de eficiência energética em suas instalações, incentivadas pelo PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o que nos motivou a inserir nesta edição um capítulo intitulado Eficiência Energética, direcionado ao setor industrial.

Devido à competitividade nos diversos segmentos do setor industrial, parte expressiva dos assuntos abordados, e relevantes economicamente, foi estudada considerando a viabilidade econômica de implementação desses projetos. Essa é uma forma eficaz de fornecer subsídios aos gerentes e acionistas na tomada de decisão quanto aos investimentos que seriam feitos na execução de determinados projetos em suas instalações industriais.

Além das inserções do material técnico e econômico anteriormente mencionado, em praticamente todos os capítulos foram feitas complementações dos assuntos abordados, ou simplesmente alterações de texto.

Para permitir uma melhor definição do conteúdo dos desenhos resultantes do Projeto Elétrico desenvolvido no Apêndice – Exemplo de Aplicação, o livro será acompanhado de um folheto contendo nove plantas com dimensões de 400 mm × 275 mm, as quais julgamos fundamentais para a compreensão dos resultados práticos obtidos no decorrer dos cálculos elétricos.

Repetindo o que já mencionamos na edição anterior, o tempo dedicado à inserção de novos assuntos e às alterações necessárias à manutenção da qualidade técnica que se deseja preservar em cada edição deste livro é resultado do incentivo recebido dos estudantes de engenharia elétrica e dos profissionais da área, além das exigências resultantes da evolução do mercado de energia elétrica no Brasil. Acreditamos estar assim contribuindo com a formação da nossa juventude estudantil e passando informações úteis àqueles que já estão no mercado de trabalho, disponibilizando para a sociedade toda a sua capacidade técnica e habilidades profissionais adquiridas ao longo do tempo.

Temos o dever de levar nossos profundos agradecimentos aos fabricantes de materiais elétricos citados ao longo do texto, pela inclusão de tabelas e gráficos de sua propriedade, dando

## PREFÁCIO À 7.ª EDIÇÃO

um conteúdo prático aos exemplos de aplicação normalmente apresentados logo depois de abordado um assunto específico. Sem essa contribuição a obra seria incompleta e perderia aquilo que melhor procuramos preservar ao longo de todas as edições, que é associar a teoria à prática.

João Mamede Filho

---

# SUMÁRIO

---

## 1 ELEMENTOS DE PROJETO 1

- 1.1 Introdução 1
- 1.2 Normas Recomendadas 2
- 1.3 Dados para Elaboração do Projeto 2
- 1.4 Concepção do Projeto 3
- 1.5 Meio Ambiente 10
- 1.6 Graus de Proteção 12
- 1.7 Proteção contra Riscos de Incêndio e Explosão 12
- 1.8 Formulação de um Projeto Elétrico 13
- 1.9 Roteiro para Elaboração de um Projeto Elétrico Industrial 36
- 1.10 Simbologia 39

## 2 ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL 40

- 2.1 Introdução 40
- 2.2 Conceitos Básicos 40
- 2.3 Lâmpadas Elétricas 44
- 2.4 Dispositivos de Controle 50
- 2.5 Luminárias 57
- 2.6 Iluminação de Interiores 62
- 2.7 Iluminação de Exteriores 87
- 2.8 Iluminação de Emergência 92

## 3 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS 95

- 3.1 Introdução 95
- 3.2 Fios e Cabos Condutores 95
- 3.3 Sistemas de Distribuição 96
- 3.4 Critérios Básicos para a Divisão de Circuitos 106
- 3.5 Circuitos de Baixa Tensão 107
- 3.6 Condutores de Média Tensão 138
- 3.7 Barramentos 145
- 3.8 Dimensionamentos de Condutos 155

## 4 FATOR DE POTÊNCIA 176

- 4.1 Introdução 176
- 4.2 Fator de Potência 176
- 4.3 Características Gerais dos Capacitores 185
- 4.4 Características Construtivas dos Capacitores 188
- 4.5 Características Elétricas dos Capacitores 192
- 4.6 Aplicações dos Capacitores-Derivação 193
- 4.7 Correção do Fator de Potência 212
- 4.8 Ligação dos Capacitores em Bancos 226

- 5 CURTO-CIRCUITO NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS 228**
  - 5.1 Introdução 228
  - 5.2 Análise das Correntes de Curto-Circuito 228
  - 5.3 Sistema de Base e Valores por Unidade 235
  - 5.4 Tipos de Curto-Circuito 238
  - 5.5 Determinação das Correntes de Curto-Circuito 240
  - 5.6 Contribuição dos Motores de Indução nas Correntes de Falta 255
  - 5.7 Aplicação das Correntes de Curto-Circuito 258
  
- 6 MOTORES ELÉTRICOS 264**
  - 6.1 Introdução 264
  - 6.2 Características Gerais dos Motores Elétricos 264
  - 6.3 Motores Assíncronos Trifásicos com Rotor em Gaiola 271
  - 6.4 Motofreio Trifásico 294
  - 6.5 Motores de Alto Rendimento 297
  
- 7 PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO 298**
  - 7.1 Introdução 298
  - 7.2 Inércia das Massas 299
  - 7.3 Conjugado 301
  - 7.4 Tempo de Aceleração de um Motor 307
  - 7.5 Tempo de Rotor Bloqueado 315
  - 7.6 Sistema de Partida de Motores 315
  - 7.7 Queda de Tensão na Partida dos Motores Elétricos de Indução 326
  - 7.8 Contribuição da Carga na Queda de Tensão Durante a Partida de Motores de Indução 340
  - 7.9 Escolha da Tensão Nominal de Motores de Potência Elevada 342
  - 7.10 Sobretensões de Manobra 343
  - 7.11 Controle de Velocidade de Motores de Indução 343
  
- 8 FORNOS ELÉTRICOS 354**
  - 8.1 Introdução 354
  - 8.2 Fornos a Resistência 354
  - 8.3 Fornos de Indução 359
  - 8.4 Fornos a Arco 361
  
- 9 MATERIAIS ELÉTRICOS 392**
  - 9.1 Introdução 392
  - 9.2 Elementos Necessários para Especificar 392
  - 9.3 Materiais e Equipamentos 392
  
- 10 PROTEÇÃO E COORDENAÇÃO 459**
  - 10.1 Introdução 459
  - 10.2 Proteção dos Sistemas de Baixa Tensão 459
  - 10.3 Proteção de Sistemas Primários 511
  
- 11 SISTEMAS DE ATERRAMENTO 540**
  - 11.1 Introdução 540
  - 11.2 Proteção contra Contatos Indiretos 540
  - 11.3 Aterramento dos Equipamentos 542
  - 11.4 Elementos de uma Malha de Terra 543
  - 11.5 Resistividade do Solo 546
  - 11.6 Cálculo da Malha de Terra 553

- 11.7 Cálculo de um Sistema de Aterramento com Eletrodos Verticais 570
- 11.8 Medição da Resistência de Terra de um Sistema de Aterramento 574
- 11.9 Medidor de Resistividade do Solo 576

## 12 PROJETO DE SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR 577

- 12.1 Introdução 577
- 12.2 Partes Componentes de uma Subestação de Consumidor 578
- 12.3 Tipos de Subestação 580
- 12.4 Dimensionamento Físico das Subestações 590
- 12.5 Paralelismo de Transformadores 600
- 12.6 Estação de Geração para Emergência 603
- 12.7 Ligações à Terra 603

## 13 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS 605

- 13.1 Introdução 605
- 13.2 Considerações sobre a Origem dos Raios 605
- 13.3 Orientações para Proteção do Indivíduo 607
- 13.4 Classificação das Estruturas Quanto ao Nível de Proteção 608
- 13.5 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas – SPDA 608
- 13.6 Método de Avaliação e Seleção do Nível de Proteção 616
- 13.7 Métodos de Proteção contra Descargas Atmosféricas 620

## 14 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL 633

- 14.1 Introdução 633
- 14.2 Definições 634
- 14.3 Unidade de Aquisição de Dados (UAD) 636
- 14.4 Interface com o Processo 643
- 14.5 Programas e Protocolos 648
- 14.6 Automação de Subestações de Potência 651
- 14.7 Automação de Processos Industriais 663
- 14.8 Automação de Gerenciamento de Energia 666

## 15 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 670

- 15.1 Introdução 670
- 15.2 Cálculo Econômico 671
- 15.3 Ações de Eficiência Energética 672

## 16 USINAS DE GERAÇÃO INDUSTRIAL 717

- 16.1 Introdução 717
- 16.2 Características das Usinas de Geração 718
- 16.3 Dimensionamento de Usinas Termelétricas 730
- 16.4 Geração Distribuída 763
- 16.5 Sistema de Co-Geração 778
- 16.6 Proteção de Usinas Termelétricas 786
- 16.7 Emissão de Poluentes 788
- 16.8 Emissão de Ruídos 792

## APÊNDICE EXEMPLO DE APLICAÇÃO 793

- 1 Divisão da Carga em Blocos 794
- 2 Localização dos Quadros de Distribuição 794
- 3 Localização do Quadro de Distribuição Geral 794
- 4 Localização da Subestação 794
- 5 Definição do Sistema de Distribuição 794

- 6 Determinação da Demanda Prevista 794
  - 6.1 Cálculo da Iluminação 794
  - 6.2 Cálculo da Demanda Prevista 804
- 7 Determinação da Potência da Subestação 809
- 8 Fator de Potência 809
  - 8.1 Cálculo do Fator de Potência Previsto 809
  - 8.2 Cálculo da Correção do Fator de Potência 810
  - 8.3 Potência Nominal do Banco de Capacitores 810
- 9 Determinação da Seção dos Condutores e Eletrodutos 810
  - 9.1 Circuitos Terminais de Iluminação e Tomadas 810
  - 9.2 Circuitos Terminais dos Motores 814
  - 9.3 Circuitos de Distribuição dos CCMs e QDLs 821
  - 9.4 Circuito de Alimentação do QGF 829
- 10 Determinação da Impedância dos Circuitos 830
  - 10.1 Sistema de Alimentação da Instalação Industrial 830
  - 10.2 Transformador de Força 830
  - 10.3 Circuitos TR1-QGF ou TR2-QGF 831
  - 10.4 Impedância Paralela dos Dois Transformadores e Seus Respetivos Circuitos 831
  - 10.5 Barramentos do QGF 832
  - 10.6 Impedância Acumulada até os Terminais de Saída do QGF 833
  - 10.7 QGF-QDL1 833
  - 10.8 QGF-QDL2 834
  - 10.9 QGF-QDL3 836
  - 10.10 QGF-QDL4 837
  - 10.11 QGF-QDL5 838
  - 10.12 QGF-QDL6 839
  - 10.13 QGF-CCM1 840
  - 10.14 QGF-CCM2 841
  - 10.15 QGF-CCM3 842

Bibliografia 907

Índice 909

Folheto (acompanha o livro)