

Agradecimentos

Este livro resultou de umas folhas já antigas mas sistematicamente remodeladas da disciplina de Automação Industrial do 3.º ano da Licenciatura em Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico em Lisboa. Têm sofrido assim o contributo e as críticas de muitos colegas meus e alunos que com elas tiveram em contacto. Gostaria contudo de salientar a importância de contributos como os dos meus colegas Rui Loureiro, Carlos Cardeira, Mário Ramalho e Sérgio Fernandes e do Eng.º Leichsenring antigo colaborador da Infocontrol, no comentário e revisão de alguns capítulos. Finalmente, não posso esquecer os contributos que os alunos têm dado na concepção e resolução de problemas como os propostos no Capítulo 8. A todos os meus agradecimentos.

Relativamente à segunda edição do livro, revista e melhorada, agradeço a todos os que participaram na correcção das inevitáveis, mas aborrecidas, gralhas da 1.ª edição (é impossível referir nomes entre alunos e colegas) e aos que comigo colaboraram a pôr de pé o Laboratório Remoto, um, sem dúvida, valioso contributo para um efectivo controlo da aprendizagem pretendida, em particular ao Rui Martins, Flávio Barroso e Artur Granja e, em geral, aos alunos do Ramo de Automação e Robótica da Licenciatura em Engenharia Mecânica. Finalmente, aos meus colegas José Sá da Costa e João Sousa pelos seus contributos na elaboração do Capítulo 10.

Relativamente à terceira edição do livro queria sobretudo agradecer ao Sr. Orlando Henriques da empresa Hidromac, representante da empresa Bosch Rexroth, pelo seu apoio na obtenção de muita da informação relevante incluída.

À empresa Infocontrol, em particular ao Eng.º José Antunes, pela sua colaboração ao nível de disponibilização de informação e equipamento e ao suporte desta mesma obra, o meu muito obrigado.

J.R. Caldas Pinto

Janeiro de 2010

ÍNDICE

PARTE I TECNOLOGIAS DA AUTOMAÇÃO.....	1
1. INTRODUÇÃO	3
1.1 Objectivos da Automação.....	3
1.2 Tipos de Automação.....	5
1.2.1 Introdução	5
1.2.2 Automação Fixa.....	6
1.2.3 Automação Programável.....	6
1.2.4 Automação Flexível.....	6
1.3 Níveis de Automação.....	7
1.4 Sistemas Automáticos	8
1.4.1 Estrutura dos Sistemas Automáticos.....	8
1.4.2 Tecnologias dos Automatismos	9
1.4.3 Domínios de Emprego das Várias Tecnologias	10
1.5 Elementos da Automação Industrial	12
1.5.1 Introdução	12
1.5.2 Elementos de Transporte e Manipulação	12
1.5.3 Elementos de manipulação	12
1.5.4 Elementos de Processamento: Máquinas de Comando Numérico	18
1.5.5 Armazéns Automáticos.....	18
1.5.6 Elementos de Controlo: Computadores e Autómatos Programáveis	19
1.6 Resumo do Capítulo.....	19
1.7 Referências.....	20
2. ELEMENTOS LÓGICOS	21
2.1 Introdução	21

2.1.1 Nomenclatura.....	23
2.2 Unidades de Manipulação e Sensores.....	23
2.2.1 Interação Homem-Máquina	23
2.2.2 Sensores	24
2.3 Relés	28
2.4 Portas Lógicas	29
2.4.1 Funções Lógicas Elementares.....	29
2.4.2 Realização.....	30
2.5 Biestáveis.....	30
2.6 Contadores e Temporizadores	31
2.7 Encoders	32
2.8 Computadores e Autômatos Programáveis	32
2.9 Resumo do Capítulo	33
2.10 Referências.....	33
3. SISTEMAS PNEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS.....	35
3.1 Introdução	35
3.2 Componentes Principais em Pneumática.....	38
3.2.1 Introdução	38
3.2.2 Produção de ar comprimido. Compressores. Reservatórios.....	40
3.2.3 Actuadores	43
3.2.4 Válvulas	51
3.2.5 Circuitos Pneumáticos Típicos	58
3.2.6 Problemas de Pneumática Típicos	59
3.3 Componentes Principais em Hidráulica.....	61
3.3.1 Introdução	61
3.3.2 Unidade de potência Hidráulica.....	61
3.3.3 Cilindros Hidráulicos	69
3.3.4 Motor Oscilante	70
3.3.5 Acumuladores	71
3.3.6 Válvulas Direccionais	71
3.3.7 Válvulas de pressão	72
3.3.8 Válvulas Fluxométricas	74
3.3.9 Válvulas de Retenção.....	75
3.3.10 Válvulas Proporcionais	76

3.3.11 Problemas de Hidráulica Típicos	76
3.4 Alternativa Eléctrica à pneumática e hidráulica	78
3.5 Resumo do Capítulo.....	80
Problemas	80
3.6 Referências.....	80
4. AUTÔMATOS PROGRAMÁVEIS: ARQUITECTURA INTERFACES E APLICAÇÕES	83
4.1 Introdução. Definições	83
4.1.1 Evolução Histórica.....	83
4.2 Classificação dos Autômatos Programáveis.....	85
4.3 Estrutura de um Autômato Programável	86
4.3.1 Unidade de Processamento Central (CPU)	87
4.4 Sistemas de Entradas/Saídas Industriais	90
4.4.1 Características Principais	90
4.4.2 Módulos de Entrada e Saída Lógicos.....	91
4.4.3 Outros Módulos	93
4.5 Ligação de Autômatos em Rede.....	99
4.5.1 Redes de Campo (<i>fieldbus</i>).....	100
4.5.2 ETHERNET TCP/IP.....	101
4.5.3 Comunicações em Rede Usando Autômatos SAIA	101
4.5.4 Integração dos Autômatos em Sistemas de Supervisão	105
4.6 Resumo do Capítulo	108
4.7 Referências.....	109

PARTE II MÉTODOS DA AUTOMAÇÃO..... 111

5. REPRESENTAÇÃO, SIMPLIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE FUNÇÕES LÓGICAS..... 113

5.1 Introdução	113
5.2 Álgebra de Boole	113
5.2.1 Álgebra Binária de Boole	115

5.3 Funções Booleanas e sua Representação. Definições.....	116
5.3.1 Definições.....	116
5.3.2 Representação Analítica. Formas Canônicas.....	117
5.3.3 Representação Numérica.....	121
5.3.4 Representação Geométrica.....	123
5.3.5 Representação Gráfica. Diagramas de Venn.....	124
5.3.6 Representação Tabular. Mapas de Karnaugh.....	125
5.4 Funções Incompletas.....	126
5.5 Simplificação de Funções Lógicas.....	127
5.5.1 Introdução.....	127
5.5.2 Método Analítico.....	127
5.5.3 Método Tabular de Karnaugh.....	128
5.6 Implementação de Funções Lógicas.....	136
5.6.1 Introdução.....	136
5.6.2 Representação Temporal de Sinais Lógicos. Diagrama Temporal.....	136
5.6.3 Circuitos de Contactos.....	138
5.6.4 Circuitos com Portas Lógicas.....	138
5.6.5 Utilização de Autômatos Programáveis.....	141
5.7 Resumo do Capítulo.....	145
5.8 Referências.....	146
5.9 Problemas.....	146
6. SÍNTESE CLÁSSICA DE SISTEMAS DE COMANDO LÓGICO.....	153
6.1 Introdução.....	153
6.1.1 Sistemas Combinatórios e Sequenciais.....	154
6.2 Biestáveis.....	155
6.2.1 Classificação dos Biestáveis.....	155
6.2.2 Tipos de Biestáveis.....	156
6.2.3 Modos de Autorização dos Biestáveis.....	158
6.3 Método de Huffman.....	161
6.3.1 Introdução.....	161
6.3.2 Tabela de Fases Primitiva.....	162
6.3.3 Tabela de Fases Completa.....	164
6.3.4 Equivalência e Pseudo-Equivalência entre Fases. Tabela de Fases.....	165
6.3.5 Tabela de Fases Condensada.....	167
6.3.6 Atribuição dos Estados de Memória. Matriz de Fases.....	169
6.3.7 Matriz de Excitação. Função de Excitação.....	173
6.3.8 Matriz de Saída. Função de Saída.....	174

6.3.9 Comparação entre os Diversos Métodos.....	176
6.4 Exemplo de Aplicação.....	177
6.5 Métodos de implementação de sistemas clássicos de controlo sequencial.....	181
6.5.1 Circuitos em <i>Hardware</i>	181
6.5.2 Utilização de Autômatos Programáveis.....	181
6.6 Resumo do Capítulo.....	184
6.7 Referências.....	185
6.8 Problemas.....	185
7. O MOVIMENTO LINEAR CÍCLICO.....	189
7.1 Introdução.....	189
7.2 Agentes do Movimento. Simbologia.....	190
7.2.1 Agentes do Movimento.....	190
7.2.2 Simbologia.....	191
7.3 Ciclos Típicos e sua Representação.....	193
7.3.1 Representação Vectorial.....	193
7.3.2 Diagrama de Funcionamento.....	193
7.3.3 Dedução Empírica do Comando para um Ciclo Quadrado.....	195
7.4 Síntese de Sistemas de Comando: Métodos Clássicos.....	197
7.4.1 Método dos Diagramas de Funcionamento.....	198
7.4.2 Método de Huffman Simplificado.....	205
7.4.3 Síntese de Sistemas de Comando: Métodos Modernos.....	212
7.5 Exemplo Final de Aplicação.....	224
7.5.1 Método dos Diagramas de Funcionamento.....	225
7.5.2 Método de Huffman Simplificado.....	226
7.6 Resumo do Capítulo.....	230
7.7 Referências.....	232
7.8 Problemas.....	232
8. DIAGRAMA FUNCIONAL GRAFCET.....	237
8.1 Introdução.....	237

8.2 Tipos de GRAFCET.....	237
8.3 Elementos Base do GRAFCET	238
8.3.1 Etapas.....	240
8.3.2 Transições.....	241
8.3.3 Ligações Orientadas.....	242
8.3.4 Configurações Típicas de GRAFCET	242
8.4 Regras de Evolução.....	243
8.4.1 Iniciação.....	243
8.4.2 Regras de Evolução entre Situações	245
8.4.3 Paralelismo Interpretado	247
8.4.4 Transições Fonte.....	247
8.4.5 Transições Poço.....	248
8.5 Receptividade Associada às Transições.....	248
8.5.1 Simultaneidade de Acontecimentos no GRAFCET.....	249
8.5.2 Simultaneidade Tecnológica.....	250
8.6 Medida do Tempo no GRAFCET.....	250
8.7 Acções Associadas às Etapas	252
8.7.1 Tipos de Ordens.....	252
8.8 GRAFCET Mestre e GRAFCET Escravo (<i>Master /Slave</i>)	255
8.8.1 Interação entre Mestres e Escravos. Ordens de Forçagem	257
8.9 Utilização de Macros.....	261
8.10 Casos Estudados.....	263
8.11 Formas de Implementação a partir do GRAFCET.....	278
8.11.1 Implementação com Sequenciadores	278
8.11.2 Implementação através do uso de Autómatos Programáveis	278
8.11.3 Implementação através do uso de Microcomputadores	289
8.12 Resumo do Capítulo.....	289
8.13 Referências.....	290
8.14 Problemas	290
9. REDES DE PETRI	307
9.1 Introdução	307
9.2 Conceitos Básicos	308

9.3 Marcação e Evolução das Redes de Petri.....	310
9.3.1 Regras de Evolução	310
9.4 Espaço de Estados de uma Rede de Petri. Alcançabilidade	312
9.4.1 Grafo da Alcançabilidade	313
9.4.2 Grafo de cobertura. Cobertura	314
9.4.3 Matriz de Incidência	315
9.5 Propriedades das Redes de Petri.....	317
9.5.1 Segurança.....	317
9.5.2 Redes Limitadas. Lugar k-Limitado	318
9.5.3 Conservação.....	318
9.5.4 Vida	318
9.5.5 Bloqueamento	321
9.5.6 Estado de Acolhimento	321
9.6 Modelação	322
9.7 GRAFCET e Redes de Petri.....	328
9.8 Resumo do Capítulo.....	332
9.9 Referências.....	333
9.10 Problemas	333
10. ACTUAIS E NOVAS TENDÊNCIAS DAS UNIDADES DE MANUFACTURA.....	337
10.1 Introdução	337
10.2 Evolução do Suporte da Manufatura: dos Recursos para o Conhecimento.....	339
10.2.1 Manufatura Adaptativa	339
10.2.2 Manufatura Digital.....	339
10.2.3 Manufatura Baseada em Redes	341
10.2.4 Manufatura Baseada em Conhecimento.....	342
10.3 Dos métodos de produção em série aos concorrentes.....	342
10.4 Dos métodos de competição individual para os de sistemas	343
10.5 Passagem da monodisciplinaridade para a pluridisciplinaridade	343
10.6 Novos materiais. Passagem da escala macro para a micro ou nano	343
10.7 Passagem de uma produção <i>top-down</i> para <i>bottom-up</i>	344

10.8 Áreas de investigação e desenvolvimento com Interesse para a Manufatura	345
10.8.1 Novos materiais, processos e produtos	345
10.8.2 Sistemas de Informação em manufatura	346
10.8.3 Modelação e simulação de produtos, processos e empresas	347
10.8.4 Equipamento e processos de manufatura	347
10.8.5 Integração de empresas	348
10.9 Resumo do Capítulo.....	348
10.10 Referências.....	348
ANEXOS.....	351
A. PROGRAMAÇÃO DO AUTÓMATO SAIA	353
A.1 Introdução.....	353
A.2 Estruturação da Programação	354
A.2.1 Introdução	354
A.2.2 Blocos de Programa (PB) e Blocos Funcionais (FB).....	354
A.2.3 Leitura e Envio de Sinais	355
A.3 Linguagens de Programação do SAIA	356
A.3.1 Introdução	356
A.3.2 Lógica de Contactos.....	357
A.3.3 Blocos Funcionais.....	358
A.3.4 Lista de Instruções	362
A.3.5 Organização dos Dados.....	362
A.3.6 Programação Baseada no GRAFCET. O GRAFTEC	375
A.4 Ambientes de Programação. Exemplos	377
A.4.1 Inicialização. Definição de um Projecto	377
A.4.2 <i>Debugger</i>	379
A.5 Exemplos	381
B. CIRCUITOS INTEGRADOS.....	385
B.1 Introdução.....	385
B.2 Base Digital Analógica	385
B.2.1 A Base At-700.....	385
B.2.2 Elementos Lógicos.....	386
B.2.3 Biestáveis e <i>Flip-Flops</i>	389
B.3 Referências	392

C. HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA.....	393
C.1 Simbologia.....	393
C.2 Formulário.....	396
C.2.1 Unidades mais utilizadas.....	396
C.2.2 Pneumática	396
C.2.3 Hidráulica.....	398
D. LABORATÓRIO REMOTO	401
D.1 Introdução.....	401
D.2 Instalação do software	402
D.3 Utilização do <i>Software</i>	402
D.3.1 Nota introdutória.....	402
D.3.2 Execução dos programas.....	403
D.4 Tabela de símbolos usados no Laboratório Remoto.....	410
D.5 Apoio à instalação de software necessário à ligação ao Laboratório Remoto.....	411
D.5.1 Criar uma ligação para uma VPN.	411
D.5.2 Configurar o programa IPView.....	415
D.5.3 <i>Path</i> das livrarias do SAIA	415
ÍNDICE REMISSIVO.....	417