

# Sumário



<i>Apresentação</i> . . . . .	001
-------------------------------	-----

## **CAPÍTULO I**

<i>Definições Iniciais e Conceitos Básicos</i> . . . . .	1
1.1 CONCEITOS INICIAIS. . . . .	1
1.2 TIPOS DE ALIMENTAÇÃO . . . . .	4
1.3 TIPOS DE SAÍDAS. . . . .	6
1.3.1 Em Corrente Contínua. . . . .	7
1.3.2 Em Corrente Alternada . . . . .	12
1.3.3 Saídas Analógicas . . . . .	15
1.4 GRAUS DE PROTEÇÃO . . . . .	17
1.5 EXERCÍCIOS PROPOSTOS. . . . .	18

## **CAPÍTULO 2**

<i>Sensores de Proximidade</i> . . . . .	19
2.1 CONCEITOS INICIAIS. . . . .	19
2.2 SENSORES INDUTIVOS . . . . .	20
2.2.1 Fator de Redução. . . . .	23
2.2.2 Características Especiais . . . . .	24
2.2.3 Aplicações de Sensores Indutivos. . . . .	28
2.3 SENSORES CAPACITIVOS . . . . .	33
2.3.1 Aplicações de Sensores Capacitivos . . . . .	36
2.4 SENSORES FOTOELÉTRICOS . . . . .	37

2.4.1	Construção dos Sensores Fotoelétricos . . . . .	38
2.4.2	Fotoelétricos em Barreira . . . . .	40
2.4.3	Fotoelétrico Difuso . . . . .	42
2.4.4	Fotoelétrico Difuso com Supressão de Fundo . . . . .	43
2.4.5	Fotoelétrico Retrorreflexivo . . . . .	44
2.4.6	Fotoelétrico Retrorreflexivo Polarizado . . . . .	45
2.5	FIBRAS ÓPTICAS . . . . .	47
2.6	SENSORES DE CONTRASTE E COR . . . . .	48
2.7	SENSORES FOTOELÉTRICOS PARA MEDIÇÃO . . . . .	50
2.7.1	Sensores Fotoelétricos para Medição de Distância . . . . .	50
2.7.2	Sensores Fotoelétricos para Medição de Diâmetro ou Transparência . . . . .	51
2.8	SENSORES FOTOELÉTRICOS PARA SEGURANÇA HUMANA . . . . .	52
2.8.1	Barreiras Fotoelétricas . . . . .	52
2.8.2	Sensores Fotoelétricos de Área . . . . .	54
2.8.3	Outros Modelos para Segurança . . . . .	54
2.9	SENSORES MAGNÉTICOS . . . . .	55
2.9.1	Sensores Magnéticos por Efeito Hall . . . . .	56
2.9.2	Sensor Magnético por <i>Reed-Switch</i> . . . . .	57
2.10	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	58

### **CAPÍTULO 3**

Sensores de Temperatura . . . . .	59	
3.1	INTRODUÇÃO . . . . .	59
3.2	TERMOPAR . . . . .	59
3.2.1	Compensação da Temperatura Ambiente . . . . .	63
3.2.2	Cabos de Extensão e Compensação . . . . .	64
3.2.3	Cuidados na Instalação . . . . .	65
3.2.4	Conexão em Série e em Paralela . . . . .	65
3.3	TERMORRESISTÊNCIA . . . . .	66
3.3.1	Cuidados na Instalação . . . . .	68
3.4	TERMISTORES . . . . .	68
3.5	SENSORES INTEGRADOS . . . . .	69
3.6	SENSORES SEM CONTATO . . . . .	70
3.6.1	Princípio de Funcionamento . . . . .	70
3.6.2	Componentes Principais . . . . .	70

3.6.3	Tipos de Sensores de Temperatura sem Contato . . . .	71
3.6.4	Vantagens dos Sensores sem Contato . . . . .	71
3.6.5	Aplicações na Indústria . . . . .	71
3.6.6	Especificações e Limitações . . . . .	72
3.7	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	72

## **CAPÍTULO 4**

Sensores de Deslocamento e Posição . . . . .	73	
4.1	COMENTÁRIOS INICIAIS . . . . .	73
4.2	ENCODER INCREMENTAL . . . . .	74
4.2.1	Resolução . . . . .	75
4.3	ENCODER MULTIVOLTAS . . . . .	77
4.4	ENCODER ABSOLUTO . . . . .	77
4.5	APLICAÇÕES PARA ENCODER . . . . .	81
4.6	CURIOSIDADE . . . . .	82
4.7	RESOLVER . . . . .	83
4.8	TRANSFORMADORES DIFERENCIAIS DE DESLOCAMENTO LINEAR (LVDT) . . . . .	84
4.9	RÉGUAS POTENCIOMÉTRICAS . . . . .	84
4.10	RÉGUAS ÓPTICAS . . . . .	85
4.11	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	86

## **CAPÍTULO 5**

Sensores de Pressão . . . . .	87	
5.1	PRESSÃO: DEFINIÇÃO E UNIDADES . . . . .	87
5.2	SENSOR PIEZOELÉTRICO . . . . .	88
5.3	SENSOR PIEZORESISTIVO . . . . .	90
5.4	SENSOR DE PRESSÃO CAPACITIVO . . . . .	92
5.5	CUIDADOS NA INSTALAÇÃO . . . . .	92
5.6	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	93

## **CAPÍTULO 6**

Sensores de Nível . . . . .	95	
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS . . . . .	95
6.2	SENSOR FOTOELÉTRICO . . . . .	96
6.3	SENSOR DE NÍVEL COM HASTES CONDUTIVAS . . . . .	97
6.4	SENSOR DE NÍVEL POR PÁS ROTATIVAS . . . . .	99

6.5	SENSOR DE NÍVEL POR HASTES VIBRATÓRIAS . . . . .	100
6.6	SENSOR DE NÍVEL CAPACITIVO . . . . .	101
6.7	SENSOR DE NÍVEL ULTRASSÔNICO . . . . .	103
6.8	SENSOR DE NÍVEL POR PRESSÃO . . . . .	104
6.9	SENSOR DE NÍVEL POR EMPUXO . . . . .	105
6.10	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	107

## **CAPÍTULO 7**

Sensores de Vazão . . . . .	109
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS . . . . .	109
7.1.1 Perda de Carga . . . . .	110
7.1.2 Fluxo Laminar ou Turbulento . . . . .	110
7.2 SENSOR DO TIPO TUBO DE PITOT . . . . .	111
7.3 SENSOR DO TIPO TUBO DE VENTURI . . . . .	112
7.4 SENSOR POR DISPERSÃO TÉRMICA . . . . .	113
7.5 SENSOR POR EFEITO CORIOLIS . . . . .	114
7.6 SENSOR POR PLACA DE ORIFÍCIO . . . . .	115
7.7 SENSOR MAGNÉTICO DE VAZÃO . . . . .	116
7.8 SENSOR DE VAZÃO POR VÓRTICES . . . . .	117
7.9 CURIOSIDADES . . . . .	119
7.10 EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	119

## **CAPÍTULO 8**

Sensores para Medição de Gases . . . . .	121
8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS . . . . .	121
8.2 MEDIÇÃO DE OXIGÊNIO . . . . .	122
8.2.1 Sensores Paramagnéticos . . . . .	122
8.2.2 Sensores Eletroquímicos . . . . .	122
8.2.3 Sensores Ópticos . . . . .	123
8.3 MEDIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO . . . . .	124
8.3.1 Outras Técnicas de Medição de Gases . . . . .	125
8.4 MEDIÇÃO DE GASES TÓXICOS . . . . .	125
8.5 EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	126

## **CAPÍTULO 9**

Biossensores . . . . .	127
9.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS . . . . .	127

9.2	CONCEITO DE BIOSENSOR . . . . .	127
9.3	IMOBILIZAÇÃO DE MATERIAL BIOLÓGICO . . . . .	129
9.4	CLASSIFICAÇÃO . . . . .	129
9.4.1	De Acordo com o Componente Biológico . . . . .	130
9.4.2	De Acordo com o Transdutor . . . . .	130
9.5	BIOSENSORES FET . . . . .	131
9.6	BIOSENSORES REDOX . . . . .	132
9.7	BIOSENSORES FOTOELÉTRICOS . . . . .	133
9.8	BIOSENSORES NANOTECNOLÓGICOS . . . . .	134
9.9	APLICAÇÕES PARA BIOSSENSORES . . . . .	134
9.10	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	136
<b>CAPÍTULO 10</b>		
	<i>Redes de Comunicação Industrial para Sensores Industriais . . . . .</i>	137
10.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS . . . . .	137
10.2	IMPORTÂNCIA DA COMUNICAÇÃO PARA A INDÚSTRIA . . . . .	138
10.2.1	A Necessidade de Conectividade . . . . .	138
10.2.2	A Indústria 4.0 . . . . .	138
10.2.3	Agilidade e Resiliência . . . . .	139
10.2.4	Tomada de Decisão Baseada em Dados . . . . .	139
10.3	ARQUITETURA DE REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL . . . . .	139
10.3.1	Topologias Comuns . . . . .	139
10.3.2	Protocolos de Comunicação . . . . .	141
10.3.3	Outros Protocolos Relevantes . . . . .	142
10.4	DESAFIOS E SOLUÇÕES . . . . .	142
10.4.1	Latência e Determinismo . . . . .	142
10.5	TECNOLOGIAS EMERGENTES . . . . .	143
10.5.1	Comunicação sem Fio . . . . .	143
10.5.2	<i>Edge Computing</i> . . . . .	145
10.5.3	IIOT – Internet das Coisas Industrial . . . . .	145
10.6	EXERCÍCIOS PROPOSTOS . . . . .	147
<b>ANEXO</b>		
	<i>Respostas aos Exercícios Propostos . . . . .</i>	149
	<i>Referências . . . . .</i>	173

