

Lista de Símbolos e de Abreviaturas	XXV
1. Introdução aos Processos de Ligação	1
2. A Soldadura	2
3. Classificação dos Processos de Soldadura	3
4. Nomenclatura usada na soldadura	6
5. Preparação de Juntas Soldadas	13
5.1. Execução dos chanfros	13
5.2. Limpeza	15
6. Simbologia de Soldadura	16
6.1. Simbologia segundo a norma ISO 2553	16
6.2. Simbologia segundo a norma AWS a2.4	22
7. Soldadura por Arco Elétrico	26
7.1. Física do Arco Elétrico	26
7.2. Fatores externos que afetam a qualidade do arco	33
7.3. Particulares de cada processo relativamente ao arco	34
7.4. Máquinas para Soldadura por Arco	34
7.4.1. Conceção das fontes de alimentação para soldadura	34
7.4.2. Principais parâmetros que caracterizam as fontes de alimentação	41
7.4.3. Curvas características	43
7.4.4. Seleção da fonte de energia elétrica a utilizar	46
7.4.5. Cuidados a ter com as fontes de alimentação	47
8. Processos de Soldadura por Arco Elétrico	47
8.1. Soldadura com Eléctrodo Revestido	47
8.1.1. Características do processo	48
8.1.2. Os eléctrodos revestidos	48
8.1.3. Funções do revestimento do eléctrodo	49
8.1.3.1. Funções elétricas	50
8.1.3.2. Funções metalúrgicas	51
8.1.3.3. Funções físicas e mecânicas	51
8.1.3.4. Funções operatórias	51
8.1.3.5. Tipos de revestimento de eléctrodos	52
8.1.3.5.1. Eléctrodos com revestimento rutílico	52
8.1.3.5.2. Eléctrodos com revestimento celulósico	52
8.1.3.5.3. Eléctrodos com revestimento básico	53
8.1.3.5.4. Eléctrodos de alto rendimento	53
8.1.3.6. Codificação AWS dos eléctrodos	54
8.1.3.7. Cuidados a observar na utilização dos eléctrodos	56
8.1.3.8. Equipamentos e acessórios necessários à soldadura com eléctrodo revestido	56
8.1.3.9. Parâmetros de soldadura	57
8.1.3.9.1. Tipo do eléctrodo	57

8.1.3.9.2. Diâmetro do eletrodo	58
8.1.3.9.3. Tipo e intensidade da corrente elétrica	58
8.1.3.9.4. Comprimento do arco	61
8.1.3.9.5. Velocidade de soldadura	62
8.1.3.9.6. Manipulação e orientação do eletrodo	62
8.1.4. O fenômeno de Sopro Magnético	63
8.1.5. Breves considerações sobre a técnica operatória	65
8.1.5.1. Escorvamento, manutenção e fecho do arco	65
8.1.5.2. Pingagem	65
8.1.5.3. Dificuldades sentidas na soldadura por arco elétrico com eletrodo revestido	66
8.1.5.4. Aplicações	66
8.2. Soldadura Semiautomática (MIG-MAG)	67
8.2.1. Princípios do processo	67
8.2.2. Equipamento característico e operação no processo MIG-MAG	68
8.2.3. Gases e misturas gasosas de proteção na soldadura pelo processo MIG-MAG	74
8.2.3.1. Gases inertes para MIG	75
8.2.3.2. Gases reativos para MAG	75
8.2.3.3. Misturas gasosas	76
8.2.4. Modos de transferência do metal de adição no processo MIG-MAG	80
8.2.4.1. Transferência tipo curto-circuito	81
8.2.4.2. Transferência tipo globular	83
8.2.4.3. Transferência <i>Spray</i>	84
8.2.4.4. Modo tipo Pulsado	84
8.2.5. Parâmetros do processo	87
8.2.5.1. Intensidade de corrente	88
8.2.5.2. Tensão e comprimento do arco	88
8.2.5.3. Velocidade de soldadura	90
8.2.5.4. Extensão livre do eletrodo	90
8.2.5.5. Posição da tocha	91
8.2.5.6. Diâmetro do eletrodo	92
8.2.5.7. Gás de proteção	93
8.2.5.8. Polaridade	93
8.2.5.9. Resumo da influência dos parâmetros de soldadura	94
8.2.5.10. Codificação dos fios sólidos para a soldadura MIG-MAG	95
8.2.5.11. Aplicações	96
8.3. Soldadura com Fio Fluxado	98
8.3.1. Princípios do processo	99
8.3.2. Equipamento próprio do sistema de soldadura com fios fluxados	101
8.3.3. Parâmetros do processo	101
8.3.3.1. Intensidade de corrente na soldadura com fio fluxado	102
8.3.3.2. Diferença de potencial na soldadura com fio fluxado	103
8.3.3.3. Polaridade	103
8.3.3.4. Gás de proteção na soldadura com fio fluxado e atmosfera protetora adicional	103
8.3.3.4.1. Dióxido de Carbono (CO ₂)	104
8.3.3.4.2. Misturas Árgon/Dióxido de Carbono	104
8.3.4. Modos de transferência no processo de soldadura com fio fluxado	105
8.3.5. Os fios fluxados	106
8.3.5.1. Processo de fabrico do fio fluxado	106
8.3.5.2. Funções dos componentes dos fios consumíveis	107
8.3.5.3. Composição do fluxo	107

8.3.5.3.1. Fluxos rutilícos	107
8.3.5.3.2. Fluxos básicos	108
8.3.5.3.3. Arames tubulares autoprotégidos	110
8.3.5.3.4. Arames tubulares metálicos	110
8.3.5.3.5. Resumo das principais características dos arames tubulares	111
8.3.6. Classificação dos fios fluxados	111
8.3.7. Vantagens do uso de fios fluxados	112
8.3.8. Desvantagens do uso da soldadura com fios fluxados	112
8.3.9. Aplicações do processo de soldadura com fio fluxado	112
8.4. Soldadura TIG	113
8.4.1. Princípio do processo	113
8.4.2. Equipamento necessário à soldadura pelo processo TIG	115
8.4.3. Os elétrodo de Tungsténio	119
8.4.3.1. Elétrodo de Tungsténio puro	119
8.4.3.2. Elétrodo de Tungsténio com adições de Tório	119
8.4.3.3. Elétrodo de Tungsténio com adições de Cério	120
8.4.3.4. Elétrodo de Tungsténio com adições de Lantânio	120
8.4.3.5. Elétrodo de Tungsténio com adições de Zircónio	120
8.4.4. Material de adição no processo TIG	123
8.4.5. Gases de proteção no processo TIG	124
8.4.6. Parâmetros de soldadura	125
8.4.6.1. Tipo de corrente	126
8.4.6.1.1. Polaridade direta (Elétrodo ligado ao negativo)	126
8.4.6.1.2. Polaridade inversa (Elétrodo ligado ao positivo)	126
8.4.6.1.3. Corrente alternada	126
8.4.7. Tensão no arco	129
8.4.7.1. Tensão no arco	129
8.4.7.2. Velocidade de soldadura	129
8.4.7.3. Geometria da extremidade do elétrodo	129
8.4.7.4. Velocidade de alimentação do fio no TIG Mecanizado	130
8.4.8. Técnica operatória	130
8.4.9. Vantagens e limitações do processo	131
8.4.10. Soldadura TIG através do método <i>Keyhole</i>	131
8.4.11. Soldadura por pontos através do processo TIG	133
8.4.12. Aplicações do processo TIG	134
8.5. Soldadura por Plasma	136
8.5.1. Princípio do processo de soldadura por Plasma	136
8.5.2. Especificidades e parâmetros envolvidos no processo de soldadura por plasma	137
8.5.2.1. Escorvamento do arco na soldadura por plasma	137
8.5.2.2. Tipos de arco	138
8.5.2.3. Comprimento do arco	138
8.5.2.4. Tipo de corrente e polaridade utilizadas no processo plasma	138
8.5.2.5. Regulações usuais de parâmetros	140
8.5.3. Equipamento	141
8.5.3.1. Fonte de alimentação	142
8.5.3.2. Tochas	142
8.5.4. Modo de operação	144
8.5.4.1. Técnica <i>Keyhole</i>	144
8.5.5. Elétrodo para a soldadura por plasma	147
8.5.6. Vantagens do processo de soldadura por plasma	147

8.5.7. Aplicações da soldadura por plasma	148
8.6. Soldadura por Arco Submerso	148
8.6.1. Princípio do processo de soldadura por arco submerso	149
8.6.2. Equipamento necessário ao processo	152
8.6.3. Parâmetros do processo	153
8.6.3.1. Intensidade da corrente de soldadura	153
8.6.3.2. Tensão de soldadura	155
8.6.3.3. Velocidade de soldadura	156
8.6.3.4. Diâmetro do eletrodo	156
8.6.3.5. Extremidade livre do eletrodo	156
8.6.3.6. Polaridade do eletrodo	157
8.6.4. Tipo e quantidade de fluxo de granulado	157
8.6.5. Posição da tocha	159
8.6.6. Vantagens e limitações do processo de soldadura por arco submerso	160
8.6.7. Aplicações	160
9. Outros processos de soldadura	161
9.1. Soldadura por Resistência	161
9.1.1. Princípio do processo	162
9.1.2. Técnica operatória	164
9.1.3. Equipamento necessário à soldadura por resistência	169
9.1.4. Parâmetros de soldadura	171
9.1.4.1. Resistência elétrica	171
9.1.4.2. Intensidade de corrente que atravessa a junta	171
9.1.4.3. Tempo de soldadura	172
9.1.4.4. Força de aperto dos eletrodos	172
9.1.4.5. Material, forma e estado dos eletrodos	172
9.1.4.6. Estado superficial das peças a soldar	173
9.1.4.7. Algumas indicações práticas sobre a regulação de parâmetros	173
9.1.4.8. Composição química dos materiais a soldar	175
9.1.5. Soldabilidade de diferentes materiais pelo processo de soldadura por resistência	176
9.1.6. Juntas especiais na soldadura por resistência	176
9.1.7. Estudo da qualidade das soldaduras efetuadas por resistência	177
9.1.8. Problemas resultantes do processo de soldadura por resistência	178
9.1.9. Testes efetuados a juntas soldadas por resistência/pontos	178
9.1.10. Aplicações	179
9.2. Soldadura por Fricção	181
9.2.1. Princípio do processo de soldadura por fricção convencional	181
9.2.1.1. Parâmetros envolvidos na soldadura por fricção	184
9.2.1.1.1. Velocidade de rotação	184
9.2.1.1.2. Pressão	184
9.2.1.1.3. Tempo de aquecimento	185
9.2.1.2. Vantagens e desvantagens deste processo	185
9.2.1.3. Equipamentos para a soldadura por fricção	186
9.2.1.4. Aplicações da soldadura por fricção	187
9.2.2. Princípio do processo de soldadura por fricção linear (<i>Friction Stir Welding</i>)	189
9.2.2.1. Ferramentas necessárias ao processo	189
9.2.2.2. Vantagens e desvantagens do processo	191
9.3. Soldadura por Explosão	192
9.3.1. Princípio do processo de soldadura por explosão	192

9.3.2. Parâmetros relacionados com a soldadura por explosão	194
9.3.3. Vantagens e limitações da soldadura por explosão	195
9.3.4. Aplicações da soldadura por explosão	195
9.4. Soldadura por Laser	196
9.4.1. Princípio de geração do feixe laser	196
9.4.2. Tipos de laser usados em soldadura	198
9.4.2.1. Laser CO ₂	198
9.4.2.2. Laser Nd:YAG	198
9.4.2.3. Lasers de Fibra Ótica	199
9.4.3. Características do processo de soldadura laser	199
9.4.4. Parâmetros principais de operação na soldadura laser	200
9.4.5. Vantagens e limitações da soldadura laser	201
9.4.6. Aplicações	202
9.5. Soldadura por Feixe de Eletrões	204
9.5.1. Princípio do processo	204
9.5.2. Variantes do processo de soldadura por feixe de eletrões	206
9.5.3. Equipamento de soldadura por feixe de eletrões	207
9.5.4. Vantagens e limitações do processo de soldadura por feixe de eletrões	208
9.5.5. Áreas de aplicação da soldadura por feixe de eletrões	209
10. Soldadura tendo o gás como fonte de calor	211
10.1. Soldadura Oxiacetilénica	214
10.1.1. Princípio do processo de soldadura oxiacetilénica	215
10.1.2. O Acetileno e o Oxigénio	216
10.1.3. Equipamento necessário	217
10.1.4. Parâmetros associados ao processo de soldadura oxiacetilénica	218
10.1.5. Técnica operatória	218
10.1.6. Vantagens apresentadas pela soldadura oxiacetilénica	219
10.1.7. Aplicações	220
11. Brasagem	220
11.1. Princípio do processo	222
11.2. Formas de aquecimento	224
11.2.1. Ferro de soldar	224
11.2.2. Maçarico	225
11.2.3. Fornos	225
11.2.4. Indução/Alta-frequência	227
11.2.5. Feixe Laser	228
11.2.6. Resistência	228
11.3. Materiais de adição	228
11.3.1. Decapantes/Fluxos	229
11.4. Processo operatório	229
11.5. Soldobrasagem	230
11.6. Aplicações	231
12. Defeitos em Soldaduras	231
12.1. Breve resumo sobre as causas dos defeitos	232
12.2. Enquadramento normativo	233
12.3. Classificação principal dos defeitos	233
12.3.1. Defeitos geométricos	233

12.3.1.1. Distorção e encurvadura	233
12.3.1.2. Excesso de material	236
12.3.1.3. Sobreposição	238
12.3.1.4. Desalinhamento	238
12.3.1.5. Falta de preenchimento	240
12.3.1.6. Falta de penetração na raiz	241
12.3.1.7. Excesso de penetração na raiz	243
12.3.1.8. Convexidade excessiva	244
12.3.1.9. Concavidade excessiva	245
12.3.1.10. Cordão assimétrico	246
12.3.2. Defeitos intrínsecos	247
12.3.2.1. Salpicos/Projeções	247
12.3.2.2. Mordeduras e Bordos queimados	248
12.3.2.3. Inclusões de escória	250
12.3.2.4. Inclusões de Tungsténio	252
12.3.2.5. Porosidade	253
12.3.2.5.1. Ninhos de poros	255
12.3.2.5.2. Porosidade alinhada no centro do cordão	255
12.3.2.5.3. Porosidade uniformemente distribuída	256
12.3.2.6. Falta de fusão	257
12.3.2.7. Fissuração	258
12.3.2.7.1. Fissuração a quente	259
12.3.2.7.2. Fissuração a frio	260
13. Controlo de Defeitos em Soldadura	264
13.1. Controlo de juntas através de ensaios destrutivos	266
13.1.1. Análise metalográfica	266
13.1.2. Ensaios de Tração	266
13.1.3. Ensaios de Dureza	266
13.1.4. Ensaios de Impacto	267
13.1.5. Ensaios de Dobragem	267
13.1.6. Outros ensaios destrutivos	268
13.2. Controlo de juntas através de ensaios não destrutivos	268
13.2.1. Inspeção visual	269
13.2.2. Líquidos penetrantes	270
13.2.3. Magnetoscopia	272
13.2.4. Ultrassons	275
13.2.5. Raios-X	280
BIBLIOGRAFIA	285