

Sumário

1 Introdução	1
2 Princípios Básicos da Corrosão Eletroquímica.	5
2.1 POTENCIAIS ELETROQUÍMICOS	5
2.2 PILHAS DE CORROSÃO	17
2.3 MEIOS CORROSIVOS	24
2.4 REAÇÕES NO PROCESSO CORROSIVO – PRODUTOS DE CORROSÃO	25
2.5 POLARIZAÇÃO – PASSIVAÇÃO – VELOCIDADE DE CORROSÃO	28
2.5.1 Polarização	28
2.5.2 Passivação	31
2.5.3 Curvas de Polarização e Passivação.	33
2.5.4 Velocidade de Corrosão.	39
2.5.5 Influência de Outros Fatores na Velocidade de Corrosão	41
2.6 DIAGRAMAS DE POURBAIX	44
2.7 FORMAS E TAXAS DE CORROSÃO	49
2.8 RESUMO	52
2.9 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	53
3 Tipos de Corrosão Eletroquímica	55
3.1 CORROSÃO ASSOCIADA À FORMA DE DESGASTE	55
3.1.1 Corrosão Uniforme	55
3.1.2 Corrosão Localizada Alveolar e por Pites	56

3.2 CORROSÃO POR CONCENTRAÇÃO DIFERENCIAL	58
3.2.1 Corrosão por Concentração Iônica Diferencial	58
3.2.2 Corrosão por Aeração Diferencial	58
3.2.3 Corrosão em Frestas	58
3.2.4 Corrosão Filiforme	60
3.3 CORROSÃO GALVÂNICA	60
3.4 CORROSÃO SELETIVA	60
3.4.1 Corrosão Grafítica	61
3.4.2 Corrosão por Dezincificação	61
3.5 CORROSÃO ASSOCIADA AO ESCOAMENTO DE FLUIDOS	62
3.5.1 Corrosão–Erosão	62
3.5.2 Corrosão com Cavitação	62
3.5.3 Corrosão por Turbulência	63
3.6 CORROSÃO INTERGRANULAR	63
3.6.1 Corrosão Intergranular nos Aços Inoxidáveis	64
3.6.2 Corrosão Intergranular de Ligas de Alumínio	66
3.7 FISSURAÇÃO POR CORROSÃO	66
3.7.1 Corrosão sob Tensão	67
3.7.2 Fissuração Induzida pela Pressão de Hidrogênio	70
3.7.3 Fragilização por Metal Líquido	72
3.7.4 Corrosão–Fadiga	72
3.8 RESUMO	74
3.9 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	78
4 Corrosão Eletroquímica em Alguns Meios e Sob Certas	
Condições de Corrosividade	79
4.1 CORROSÃO ATMOSFÉRICA	79
4.2 CORROSÃO PELOS SOLOS	82
4.2.1 Fatores que Determinam a Corrosividade dos Solos	82
4.2.2 Avaliação da corrosividade	84
4.2.3 Classificação dos Solos quanto à Corrosividade	85
4.3 CORROSÃO PELA ÁGUA E VAPOR	86
4.3.1 Fatores que Determinam a Corrosividade das Águas	86
4.3.2 Classificação das Águas Quanto à Corrosividade	88
4.4 CORROSÃO POR BACTÉRIA OU BACTERIANA	88
4.5 CORROSÃO ELETROLÍTICA	89
4.6 CORROSÃO EM CONCRETO	90

4.7 CORROSÃO POR COMPOSTO DE ENXOFRE	91
4.7.1 Corrosão por Condensado Ácido	91
4.7.2 Corrosão por Compostos de Enxofre em Unidades de Processo	92
4.8 RESUMO	92
4.9 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	95
5 Princípios Básicos da Corrosão Química.	97
5.1 CARACTERÍSTICA DA DIFUSÃO NO ESTADO SÓLIDO	97
5.2 VELOCIDADE DE CRESCIMENTO DAS PELÍCULAS	98
5.3 CARACTERÍSTICAS DAS PELÍCULAS PROTETORAS	100
5.4 MEIOS CORROSIVOS	102
5.5 CASOS ESPECIAIS DE CORROSÃO EM ALTAS TEMPERATURAS	103
5.5.1 Corrosão Catastrófica	103
5.5.2 Corrosão por Metais Líquidos	103
5.5.3 Carbonetação e Descarbonetação	104
5.6 RESUMO	104
5.7 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	104
6 Técnicas de Ampliação da Resistência à Corrosão ou de Proteção Anticorrosiva	105
6.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E DA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA	105
6.1.1 Princípios Básicos de Controle da Corrosão Eletroquímica	106
6.1.2 Princípios Básicos de Controle da Corrosão em Altas Temperaturas	106
6.2 RESISTÊNCIA À CORROSÃO ELETROQUÍMICA	107
6.2.1 Resistência Própria do Material à Corrosão	107
6.2.2 Métodos que Ampliam a Resistência à Corrosão	107
6.2.2.1 Revestimentos	107
6.2.2.2 Inibidores de Corrosão	108
6.2.2.3 Técnicas de Modificações do Meio Corrosivo	108
6.2.2.4 Proteção Catódica e Anódica	108
6.2.2.5 Controle de Corrosão na Fase de Projeto	110
6.3 RESISTÊNCIA À CORROSÃO QUÍMICA OU OXIDAÇÃO A ALTAS TEMPERATURAS	110
6.3.1 Metais e Ligas Metálicas – Influência de Elementos de Liga	111
6.3.2 Emprego de Revestimentos Refratários e Isolantes	112
6.4 RESUMO DA AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO	113

6.5 PRINCIPAIS MEIOS DE PROTEÇÃO ASSOCIADOS AOS	
PROCESSOS CORROSIVOS	114
6.5.1 Proteção à Corrosão Uniforme	115
6.5.2 Proteção Contra a Corrosão Alveolar e por Pites	115
6.5.3 Proteção Contra a Corrosão por Concentração Diferencial.	115
6.5.4 Proteção Contra a Corrosão Galvânica.	116
6.5.5 Proteção Contra a Corrosão Seletiva	116
6.5.6 Proteção Contra a Corrosão Associada ao Escoamento de Fluidos.	117
6.5.7 Proteção Contra a Corrosão Intergranular	118
6.5.8 Proteção Contra a Fissuração por Corrosão	119
6.5.9 Proteção Contra a Corrosão Atmosférica	121
6.5.10 Proteção Contra a Corrosão pelos Solos.	121
6.5.11 Proteção Contra a Corrosão pela Água.	121
6.5.12 Proteção Contra a Corrosão por Bactérias ou Bacteriana.	122
6.5.13 Proteção Contra a Corrosão Eletrolítica	122
6.5.14 Proteção Contra a Corrosão em Concretos	123
6.5.15 Proteção Contra a Corrosão por Compostos de Enxofre.	123
6.5.16 Proteção à Corrosão Química ou Oxidação em Altas	
Temperaturas	124
6.5.17 Quadro Resumo	124
6.6 RESUMO	131
6.7 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	131
7 Resistência à Corrosão de Alguns Materiais Metálicos . 133	
7.1 RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE ALGUNS MATERIAIS	
FERROSOS	133
7.2 MATERIAIS NÃO-FERROSOS	136
7.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS	138
7.4 RESUMO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE MATERIAIS	139
7.5 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	141
8 Ampliação da Resistência à Corrosão pelo	
Controle da Corrosividade do Meio 143	
8.1 CONTROLE DE CORROSÃO POR INIBIDORES	143
8.2 CONTROLE DE CORROSÃO POR MODIFICAÇÃO DO MEIO.	146
8.2.1 Desaeração	146
8.2.2 Controle de pH.	147
8.2.3 Controle de Temperatura e Velocidade	147
8.2.4 Controle de Umidade Relativa	147

8.3 RESUMO	147
8.4 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	149
9 Ampliação da Resistência à Corrosão com o Uso de Revestimentos Protetores	151
9.1 MECANISMOS DE PROTEÇÃO	152
9.2 REVESTIMENTOS METÁLICOS	153
9.2.1 Cladização	153
9.2.2 Deposição por Imersão a Quente	154
9.2.3 Metalização	154
9.2.4 Eletrodeposição	154
9.2.5 Deposição Química	155
9.3 REVESTIMENTOS NÃO-METÁLICOS INORGÂNICOS	156
9.3.1 Anodização	156
9.3.2 Cromatização	156
9.3.3 Fosfatização	156
9.3.4 Revestimento com Argamassa de Cimento	156
9.3.5 Revestimento com Vidro	157
9.3.6 Revestimento com Esmalte Vítreo	157
9.3.7 Revestimento com Material Cerâmico	157
9.4 REVESTIMENTOS ORGÂNICOS	159
9.4.1 Pintura Industrial	159
9.4.2 Revestimento com Borrachas	166
9.4.3 Revestimentos com Plásticos	167
9.4.4 Revestimentos com Plásticos Reforçados	167
9.4.5 Revestimentos para Tubulações Enterradas ou Submersas	167
9.5 REVESTIMENTOS PARA ESTRUTURAS EM CONTATO COM A ATMOSFERA	172
9.5.1 Para Atmosferas Altamente Agressivas	173
9.5.2 Para Atmosferas Medianamente Agressivas	175
9.5.3 Para Atmosferas Pouco Agressivas	176
9.5.4 Quadro Resumo e Quadro Comparativo entre os Revestimentos por Tintas e os Revestimentos por Galvanização	177
9.6 REVESTIMENTOS PARA ESTRUTURAS EM CONTATO COM A ÁGUA	180
9.6.1 Considerações Gerais	180
9.6.2. Tipos e Seleção de Revestimentos	180
9.6.3 Interface com a Proteção Catódica	189

9.7 REVESTIMENTOS PARA DUTOS ENTERRADOS	189
9.7.1. Considerações Gerais	189
9.7.2. Tipos de Revestimentos	190
9.7.3 Interface com a Proteção Catódica	197
9.7.4 Avaliação do Desempenho do Revestimento Após o Lançamento.	198
9.8 REVESTIMENTOS PARA ESTRUTURAS EM CONTATO COM FLUIDOS ALTAMENTE CORROSIVOS	198
9.9 RESUMO	199
9.10 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	199
10 Ampliação da Resistência à Corrosão com o Uso de Proteção Catódica e Proteção Anódica	201
10.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PROTEÇÃO CATÓDICA	202
10.2 MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CATÓDICA	204
10.2.1 Proteção Catódica com Anodos Galvânicos	205
10.2.2 Proteção Catódica por Corrente Impressa.	208
10.3 CORRENTE NECESSÁRIA PARA PROTEÇÃO CATÓDICA.	210
10.4 SELEÇÃO DO TIPO DE PROTEÇÃO CATÓDICA.	211
10.5 CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO CATÓDICA	211
10.6 MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA	213
10.7 USO DE PROTEÇÃO CATÓDICA E REVESTIMENTOS	214
10.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTEÇÃO ANÓDICA	215
10.8.1 Campo de Aplicação	216
10.8.2 Requisitos de Projeto	216
10.9 RESUMO	224
10.10 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	224
11 Ampliação da Resistência à Corrosão por Projeto Adequado	225
11.1 PRÁTICAS DE PROJETO	225
11.1.1 Práticas a Serem Evitadas	226
11.1.2 Práticas que Devem ser Previstas	227
11.2 MÉTODOS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA NA FASE DE PROJETO	229
11.2.1 Tanques Metálicos de Armazenamento.	230
11.2.2 Oleodutos, Gasodutos e Adutoras.	232
11.2.3 Navios, Embarcações e Plataformas Semi-submersíveis	232

11.2.4 <i>Piers</i> – Cais – Plataformas	233
11.2.5 Sistemas de Água de Refrigeração	234
11.2.6 Geradores de Vapor	234
11.2.7 Unidades de Processo	235
11.2.8 Fornos	236
11.2.9 Permutadores de Calor	237
11.2.10 Tubulações Industriais	238
11.2.11 Estruturas Metálicas	239
11.2.12 Vasos e Esferas	240
11.2.13 Máquinas de Fluxo	240
11.2.14 Equipamento Elétrico e de Instrumentação	240
11.2.15 Proteção Durante o Armazenamento e Transporte	241
11.2.16 Sistemas de Geração e Transmissão de Energia	241
11.2.17 Sistemas de Ar-condicionado	241
11.2.18 Corrosão em Superfícies em Contato Permanente com Extrato do Lixo – Chorume	242
11.2.19 Sistemas de Transporte, Tratamento de Esgotos e Efluentes Industriais	242
11.2.20 Sistemas de Tratamento, Armazenamento e Distribuição de Água	243
11.3 RESUMO	243
11.4 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	251
12 Avaliação da Resistência à Corrosão Através da Monitoração	253
12.1 SISTEMAS DE MONITORAÇÃO EM TEMPO REAL OU DE CURTO INTERVALO DE TEMPO	254
12.1.1 Resistência de Polarização Linear	254
12.1.2 Impedância Eletroquímica	256
12.1.3 Ruído Eletroquímico	257
12.1.4 Correntes Galvânicas	258
12.2 SISTEMAS DE MONITORAÇÃO DE ACOMPANHAMENTO	259
12.2.1 Os Cupons de Perda de Massa	259
12.2.2 Resistência Elétrica	261
12.2.3 Permeação ou Provadores de Hidrogênio	263
12.3 SISTEMA DE MONITORAÇÃO DA CORROSÃO A POSTERIORI	265
12.3.1 Acompanhamento da Espessura	265
12.3.2 Ferramentas Instrumentadas	265

12.4 RESUMO	266
12.5 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	267
13 Análise da Resistência à Corrosão – Previsão de Falhas por Corrosão	269
13.1 ANÁLISE DE FALHAS	269
13.2 PREVISÃO DE FALHAS – DIAGNÓSTICO DE INTEGRIDADE	273
13.3 EXEMPLOS TÍPICOS.	273
13.3.1 Corrosão em Equipamento de Telefonia e Transmissão de Dados	273
13.3.2 Corrosão em Superfícies de Cobre de Equipamento de Ar-condicionado Central.	274
13.3.3 Corrosão em Superfícies em Contato Permanente com Extrato do Lixo – Chorume	275
13.3.4 Diagnóstico de Integridade de Tubulações de Água de Condensação e Água Gelada de um Sistema Central de Refrigeração	277
13.4 ENSAIOS DE CORROSÃO	279
13.4.1 Ensaio de Laboratório.	279
13.4.2 Ensaio em Instalações ou Equipamentos-piloto	281
13.4.3 Ensaio de Campo	281
13.4.4 Quadro Resumo dos Ensaio de Corrosão	282
13.5 RESUMO	284
13.6 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	284
14 Aspectos Econômicos da Resistência à Corrosão	285
I Exercícios e Problemas de Corrosão	289
1ª PARTE – EXERCÍCIOS POR CAPÍTULO.	289
2ª PARTE – EXERCÍCIOS E PROBLEMAS SOBRE CORROSÃO	301
II Revisão de Alguns Conceitos Básicos de Química	307
II.1 ELEMENTOS QUÍMICOS	307
II.2 SUBSTÂNCIAS	308
II.3 ÁCIDOS	308
II.4 BASES OU HIDRÓXIDOS – ALCALINIDADE	309
II.5 SAIS	309
II.6 ÓXIDOS.	310
II.7 CÁLCULO ESTEQUIOMÉTRICO.	311
II.8 EQUIVALENTE GRAMA E CONCENTRAÇÃO DE SOLUÇÕES	312
II.8.1 Equivalente Grama	312

II.8.2 Concentração de Soluções	312
II.9 ELETRÓLISE	312
II.10 EQUILÍBRIO QUÍMICO	314
II. 11 HIDRÓLISE DE SAIS	315
II.12 LEITURA ADICIONAL RECOMENDADA	315
REFERÊNCIAS	316
Livros	316
Artigos Técnicos	317
Relação de Tabelas	321
Índice Remissivo	325