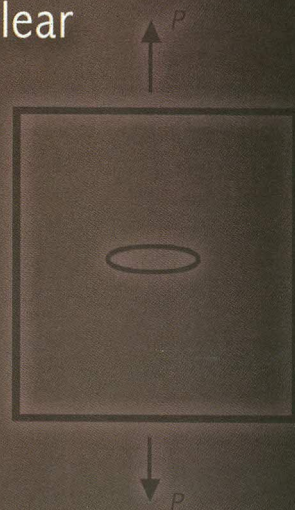


Coleção Eletrobras Eletronuclear



# Mecânica da Fratura na Indústria Nuclear

José Eduardo Maneschy  
Carlos Alexandre de J. Miranda



Eletrobras  
Eletronuclear

Rio de Janeiro

2014

# Mecânica da Fratura na Indústria Nuclear

José Eduardo Maneschy  
Carlos Alexandre de J. Miranda



Eletrobras  
Eletronuclear

# ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	i
<b>PREFÁCIO</b> .....	iii
<b>SÍMBOLOS</b> .....	xiii
<b>ABREVIATURAS</b> .....	xxi
<b>1 - ORIGEM, OBJETIVO E HISTÓRICO</b> .....	03
1.1 Introdução .....	03
1.2 Histórico .....	09
1.3 Considerações adicionais .....	15
REFERÊNCIAS .....	21
<b>2 - FALHAS POR FRATURA NA INDÚSTRIA</b> .....	23
2.1 Introdução .....	23
2.2 Falhas na indústria em geral .....	24
2.3 Falhas na indústria nuclear .....	32
2.4 Conceitos de vida segura, falha segura e tolerância ao dano .....	39
REFERÊNCIAS .....	42
<b>3 - MECÂNICA DA FRATURA LINEAR-ELÁSTICA</b> .....	45
3.1 Introdução .....	45
3.2 Teoria de Griffith .....	46
3.3 Taxa de energia liberada .....	48
3.4 Tensões na ponta da trinca e fator de intensidade de tensões .....	50
3.5 Fator crítico de intensidade de tensões .....	53
3.6 Correlação entre $G$ e $K$ .....	55
3.7 Plasticidade na ponta da trinca .....	57
3.8 Fatores de intensidade de tensões .....	59
3.9 Fator de intensidade de tensões do código ASME	
Seções III e XI .....	65
REFERÊNCIAS .....	68

<b>4 - RESISTÊNCIA À FRATURA DOS MATERIAIS .....</b>	<b>73</b>
4.1 Introdução.....	73
4.2 Teste para obter a tenacidade do material, $K_{Ic}$ .....	74
4.3 Curva energia versus temperatura .....	78
4.4 Curva mestra ( <i>master curve</i> ).....	83
4.5 Determinação alternativa de $K_{Ic}$ .....	86
4.5.1 Correlação $K_{Ic}$ e $CVN$ .....	86
4.5.2 Teste em amostra real ( <i>punch test</i> ) .....	87
4.6 Particularidades na Área Nuclear.....	88
4.6.1 Procedimento do código ASME Seções III e XI.....	88
4.6.2 Programa de <i>surveillance</i> .....	94
4.6.3 Proteção contra a falha frágil do vaso do reator.....	95
REFERÊNCIAS.....	99
<b>5 - MECANISMOS DE INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE TRINCAS .....</b>	<b>103</b>
5.1 Introdução .....	103
5.2 Fadiga.....	104
5.2.1 Mecanismo de iniciação e propagação de trinca por fadiga.....	107
5.2.2 Fadiga na indústria nuclear.....	111
5.3 Corrosão sob tensão.....	112
5.3.1 Mecanismo de iniciação e propagação de trinca por corrosão sob tensão .....	115
5.3.2 Corrosão sob tensão na indústria nuclear.....	117
REFERÊNCIAS.....	118
<b>6 - PROPAGAÇÃO DE TRINCAS.....</b>	<b>119</b>
6.1 Introdução .....	119
6.2 Procedimentos de fadiga.....	120
6.2.1 Lei de Paris .....	120
6.2.2 Limitações da lei de Paris e formulações alternativas .....	124

6.2.3	Taxas de propagação de trincas do código ASME para a área nuclear.....	126
6.3	Procedimentos de corrosão sob tensão.....	129
6.3.1	Correlações para as taxas de propagação de trincas.....	129
6.3.2	Taxas de propagação de trincas por corrosão sob tensão na área nuclear.....	131
6.4	Determinação da vida útil do componente.....	134
6.4.1	Propagação de trincas.....	134
6.4.2	Tamanho final do defeito.....	135
6.5	Controle de fratura na área nuclear.....	137
	REFERÊNCIAS.....	145
<b>7</b>	<b>- MECÂNICA DA FRATURA ELASTO-PLÁSTICA</b> .....	<b>149</b>
7.1	Introdução.....	149
7.2	Conceito da integral- $J$ .....	150
7.3	Cálculo da integral- $J$ .....	152
7.4	Avaliação de estruturas trincadas (Método $J/T$ ).....	154
7.5	Determinação experimental da integral- $J$ (Curva $J-R$ ou curva $J-\Delta a$ ).....	156
7.6	Propagação de trincas e integral- $J$ .....	159
	REFERÊNCIAS.....	162
<b>8</b>	<b>- PROJETO DE COMPONENTES PARA EVITAR A FALHA FRÁGIL</b> .....	<b>167</b>
8.1	Descrição do problema.....	167
8.2	Metodologia do ASME Seção III Apêndice G.....	169
8.3	Exemplo.....	173
8.4	Considerações adicionais.....	177
8.5	Conclusões.....	180
	REFERÊNCIAS.....	182
<b>9</b>	<b>- INTEGRIDADE DO VASO DE PRESSÃO DO REATOR</b> .....	<b>183</b>

9.1	Descrição do problema .....	183
9.2	Metodologia para a determinação das curvas P/T.....	185
9.3	Procedimento para a obtenção de <i>ART</i> .....	188
9.4	Exemplo.....	190
9.4	Considerações adicionais.....	195
9.5	Conclusões .....	201
	REFERÊNCIAS.....	202
<b>10</b>	<b>- CORROSÃO SOB TENSÃO EM DISCO DE TURBINA.....</b>	<b>205</b>
10.1	Descrição do problema.....	205
10.2	Inspeção em serviço.....	207
10.3	Análise da trinca .....	209
10.4	Exemplo .....	212
10.5	Considerações adicionais .....	214
10.6	Conclusões.....	216
	REFERÊNCIAS.....	217
<b>11</b>	<b>- FADIGA NO VASO DE PRESSÃO DO REATOR .....</b>	<b>219</b>
11.1	Descrição do problema .....	219
11.2	Metodologia do ASME Seção XI Apêndice A (1992).....	221
11.3	Tamanhos de trincas admissíveis.....	222
11.4	Outras leis de crescimento de trinca .....	223
11.5	Exemplo.....	225
11.6	Considerações adicionais .....	231
11.7	Conclusões .....	233
	REFERÊNCIAS.....	234
<b>12</b>	<b>- TRINCAS NAS PENETRAÇÕES DA TAMPA DO</b>	
	<b>VASO DO REATOR.....</b>	<b>235</b>
12.1	Descrição do problema .....	235
12.2	Metodologia do ASME Seção XI Apêndice O (2010).....	238
12.3	Exemplo .....	240
12.4	Considerações adicionais .....	245

12.5 Conclusões .....	248
REFERÊNCIAS .....	249
<b>13 - CONCEITO DO LBB EM TUBULAÇÕES .....</b>	<b>251</b>
13.1 Descrição do problema .....	251
13.2 Passo a passo para a aplicação do LBB .....	253
13.3 Análise da estabilidade da trinca .....	255
13.4 Propriedades dos materiais .....	257
13.5 Análise do vazamento .....	260
13.6 Exemplo .....	262
13.7 Considerações adicionais .....	267
13.8 Conclusões .....	270
REFERÊNCIAS .....	272
<b>14 - INTEGRIDADE DOS TUBOS DO GERADOR DE VAPOR .....</b>	<b>275</b>
14.1 Descrição do problema .....	275
14.2 Inspeção, tamponamento e reparo dos tubos .....	278
14.3 Análise de integridade dos tubos .....	282
14.4 Integridade estrutural .....	284
14.5 Exemplo .....	288
14.5.1 Avaliação da condição como encontrado (análise CM) .....	289
14.5.2 Avaliação operacional (análise OA) .....	294
14.6 Considerações adicionais .....	295
14.7 Conclusões .....	299
REFERÊNCIAS .....	301
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>303</b>