

# **BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO**

**2ª edição | revista e atualizada**

**PAULO T. CRUZ**

**BAYARDO MATERÓN**

**MANOEL FREITAS**

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL ÀS BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO (BEFCs) ...</b>	<b>21</b>
1.1	Um panorama geral sobre as BEFC no mundo .....	21
1.2	Importantes eventos relacionados a BEFCs .....	25
1.3	BEFCs em áreas sísmicas: um evento histórico .....	27
1.4	As barragens altas em um futuro próximo .....	29
1.5	Considerações sobre as BEFCs muito altas .....	29
<b>2</b>	<b>CRITÉRIOS DE PROJETO PARA AS BEFCs .....</b>	<b>31</b>
2.1	O maciço de enrocamento .....	32
2.2	Fluxo da água através do enrocamento e vazão.....	45
2.3	Estabilidade.....	45
2.4	O plinto ou a laje do pé .....	47
2.5	A face de concreto .....	51
2.6	Junta perimetral.....	54
2.7	Muro-parapeito e sobre-elevação .....	55
2.8	Alternativas de impermeabilização.....	55
2.9	Construção .....	56
2.10	Instrumentação.....	57
2.11	Conclusão.....	58
<b>3</b>	<b>SEÇÕES TÍPICAS DAS BARRAGENS .....</b>	<b>79</b>
3.1	Nomenclatura internacional.....	61
3.2	Evolução das barragens tipo BEFC compactadas.....	61
3.3	Casos históricos .....	61
	Cethana (Austrália, 1971) .....	61
	Alto Anchicayá (Colômbia, 1974) .....	63
	Foz do Areia (Brasil, 1980).....	65
	Aguamilpa (México, 1993).....	68
	Campos Novos (Brasil, 2006) .....	70
	Shuibuya (China, 2009).....	73
	Tianshengqiao 1 (China, 1999) .....	75
	Mohale (Lesoto, África, 2006).....	76
	Messochora (Grécia, 1996) .....	78
	El Cajón (México, 2007) .....	80
	Kárahnjúkar (Islândia, 2007).....	82

Bakún (Malásia, 2008) .....	83
Golillas (Colômbia, 1978).....	85
Segredo (Brasil, 1992) .....	87
Xingó (Brasil, 1994).....	89
Pichi Picún Leufú(Argentina, 1995) .....	92
Itá (Brasil, 1999) .....	93
Machadinho (Brasil, 2002) .....	97
Antamina (Peru, 2002) .....	99
Itapebi (Brasil, 2003).....	101
Quebra-Queixo .....	
(Brasil, 2003) .....	103
Barra Grande (Brasil, 2005).....	106
Hengshan (China, 1992) .....	108
Salvajina (Colômbia, 1983) .....	110
Puclaro (Chile, 2000).....	112
Santa Juana (Chile, 1995).....	114
Mazar (Equador, 2008) .....	115
Merowe (Sudão, 2008).....	117
Reventazón (Costa Rica) .....	119
Porce III (Colômbia, 2010).....	119
La Yesca (México, 2010) .....	121
3.4 Conclusões.....	123
<b>4 A MECÂNICA DOS ENROCAMENTOS .....</b>	<b>127</b>
4.1 A evolução dos maciços de enrocamento.....	129
4.2 Os enrocamentos compactados .....	133
4.3 Propriedades geomecânicas dos enrocamentos.....	136
4.4 Resistência ao cisalhamento .....	138
4.5 Compressibilidade.....	144
4.6 Colapso .....	149
4.7 Fluência.....	151
4.8 Enrocamentos como materiais de construção.....	153
Anexo 4.1 – Barragem de Machadinho .....	154
<b>5 ESTABILIDADE.....</b>	<b>159</b>
5.1 Estabilidade estática .....	159
5.2 Cálculos de FS para .....	162
5.3 Estabilidade em regiões sísmicas.....	164
5.4 Análises dinâmicas .....	168

5.5	Seleção de sismos para o projeto.....	169
5.6	Estabilidade dos taludes.....	169
5.7	Deformações permanentes.....	170
<b>6</b>	<b>PERCOLAÇÃO NOS ENROCAMENTOS.....</b>	<b>173</b>
6.1	Teorias sobre o fluxo em enrocamentos.....	174
6.2	Aspectos críticos para a estabilidade.....	180
6.3	Alguns precedentes históricos.....	190
6.4	Vazões medidas em BEFCs.....	192
6.5	O projeto de BEFCs para o controle do fluxo interno.....	200
6.6	O enrocamento armado.....	202
<b>7</b>	<b>TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES.....</b>	<b>207</b>
7.1	Fundação do plinto.....	207
7.2	Estabilidade do plinto.....	210
7.3	Fundação das transições.....	212
7.4	Fundação dos aterros.....	213
7.5	Injeções.....	214
<b>8</b>	<b>O PLINTO, A LAJE E AS JUNTAS.....</b>	<b>217</b>
8.1	Plinto.....	217
8.2	Laje.....	222
8.3	Projeto da armadura.....	237
8.4	Conceitos atuais de juntas.....	237
8.5	Muro-parapeito e sobre-elevação da crista.....	242
8.6	Fissuras, trincas e rupturas – Tratamentos.....	242
8.7	Drenagem junto ao plinto.....	246
<b>9</b>	<b>INSTRUMENTAÇÃO.....</b>	<b>247</b>
9.1	Grandezas a serem monitoradas.....	248
9.2	Monitoração e cuidados com a manutenção.....	257
9.3	Considerações finais.....	258
<b>10</b>	<b>DESEMPENHO DAS BEFCs.....</b>	<b>265</b>
10.1	Recalques.....	267
10.2	Correlações entre recalques, altura da barragem e forma do vale.....	270
10.3	Deslocamentos horizontais.....	272
10.4	Deslocamentos combinados.....	276
10.5	Deslocamento da laje.....	276

10.6	Módulo de deformabilidade vertical ( $E_V$ ) e transversal ( $E_T$ ) .....	281
10.7	Deslocamentos tridimensionais .....	282
10.8	Conclusões .....	282
<b>11</b>	<b>ANÁLISE NUMÉRICA E SUAS APLICAÇÕES .....</b>	<b>287</b>
11.1	Propriedades de engenharia do enrocamento .....	288
11.2	Modelos constitutivos dos enrocamentos.....	289
11.3	Métodos de análises numéricas em BEFCs .....	293
11.4	Aplicação de análises numéricas em BEFCs .....	295
11.5	Conclusões .....	309
11.6	Análises numéricas aplicadas a projetos brasileiros de BEFCs.....	310
<b>12</b>	<b>ASPECTOS CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>317</b>
12.1	Generalidades.....	317
12.2	Construção do plinto .....	318
12.3	Escavação.....	319
12.4	Execução do concreto.....	320
12.5	Desvio do rio .....	326
12.6	Construção dos aterros.....	332
12.7	Construção do aterro .....	335
12.8	Construção da laje.....	340
12.9	Produtividade.....	348
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	349