

INTRODUÇÃO vii

1 DETERMINAÇÃO DE CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 1

CLÁUDIA BRANDÃO • RUI RODRIGUES

1.1 Enquadramento	3
1.2 Conceitos de base associados à estimação de caudais de cheia	4
1.3 caracterização das precipitações intensas	5
1.3.1 Curvas IDF	5
1.3.2 Distribuição temporal das precipitações intensas	5
1.4 Tempo de concentração. Expressões de cálculo	7
1.5 Métodos empírico-cinemáticos para cálculo de caudais de ponta de cheia	9
1.6 Análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais	16
1.7 Procedimento expedito para determinação de caudais de ponta de cheia	18
1.7.1 Metodologia	18
1.7.1.1 Bacias hidrográficas selecionadas	18
1.7.1.2 Caracterização das bacias hidrográficas	20
1.7.1.3 Precipitações intensas consideradas	22
1.7.1.4 Análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais	23
1.7.1.5 Caudais de ponta de cheia nas bacias consideradas	23
1.7.2 Procedimentos expeditos	25
1.8 Caso de estudo	27
Bibliografia	30
Anexo 1.1 — Curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Parâmetros	33
Anexo 1.2 — Hidrograma unitário adimensional do SCS modificado	36
Anexo 1.3 — Método do SCS. Número de escoamento, N	37
Anexo 1.4 — Método racional. Coeficiente de escoamento C , para os períodos de retorno de 25, 100, 500 e 1000 anos	38
Anexo 1.5 — Método de Temez. Parâmetro P_0 (mm)	42

2 ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO DE BARRAGENS 47

ANTÓNIO PINHEIRO

2.1 Introdução	49
2.2 Descarregador de cheias	50
2.2.1 Introdução	50
2.2.2 Estruturas de controlo do escoamento	51
2.2.2.1 Considerações prévias	51
2.2.2.2 Soleira do tipo WES	51
2.2.2.3 Soleira em leque	54
2.2.2.4 Soleira em labirinto	58
2.2.2.5 Amortecimento de cheias na albufeira e sua relação com a geometria do descarregador	60
2.2.3 Canais	63
2.2.3.1 Canais de betão com perfil longitudinal convencional	63
2.2.3.2 Canais não revestidos com perfil longitudinal convencional ou em degraus	67
2.3 Obras de dissipação de energia	70
2.3.1 Considerações prévias	70
2.3.2 Bacias de dissipação por ressalto	70
2.3.2.1 Aspectos gerais	70
2.3.2.2 Dimensionamento hidráulico	71
2.3.2.3 Bacias de dissipação propostas pelo Bureau of Reclamation (BUREC)	75
2.3.3 Trampolins	77
2.3.3.1 Considerações prévias	77
2.3.3.2 Fossas de erosão	78
2.3.4 Bacias de dissipação por impacto	79
2.4 Descargas de fundo	82
2.4.1 Introdução	82

2.4.2	Tipos	83
2.4.2.1	Considerações prévias	83
2.4.2.2	Cota, localização e equipamento de controlo da descarga de fundo	84
2.4.2.3	Tempo de esvaziamento da albufeira	85
2.4.3	Dimensionamento hidráulico	86
2.4.3.1	Velocidade através das grelhas	86
2.4.3.2	Espaçamento e constituição das barras	86
2.4.3.3	Perda de carga	86
2.5	Tomadas de água	87
2.5.1	Introdução	87
2.5.2	Submersão mínima	88
2.5.3	Sedimentação das albufeiras	88
2.5.4	Tomadas de água para caudal ecológico	90
2.5.4.1	Considerações prévias	90
2.5.4.2	Dispositivos para libertação do caudal ecológico	90
2.6	Equipamentos hidromecânicos	91
2.6.1	Comportas planas de corredeira	91
2.6.1.1	Válvulas de cunha	92
2.6.2	Válvulas cónicas (Howell-Bunger)	93
	Bibliografia	95

3 ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS 97

AN TÓN IO GOME S COE LHO • F I L I P E T E L M O J E R E M I A S
L A U R A C A L D E I R A

3.1	Introdução	99
3.2	Contexto geológico	99
3.2.1	Sítios em formações graníticas	102
3.2.2	Sítios em formações gabrodioríticas	103
3.2.3	Sítios em formações xistentas	103
3.2.4	Sítios em formações calcárias	104
3.2.5	Sítios em formações complexas de camadas múltiplas	104
3.2.6	Sítios em formações arenosas profundas	104
3.3	Sismicidade e ações sísmicas	105
3.4	Condução do estudo geológico e geotécnico	108
3.4.1	Pesquisa e análise da informação existente	108
3.4.2	Reconhecimento geológico	109
3.4.3	Trabalhos de prospeção	110
3.4.3.1	Sondagens com trado	111

4 AS PEQUENAS BARRAGENS DE ATERRO 119

L A U R A C A L D E I R A

4.1	Tipos de barragens de aterro	121
4.2	Critérios de projeto	131
4.3	Proteção dos paramentos	132
4.4	Fundações	134
4.5	Albufeira	135
4.6	Estudos geotécnicos fundamentais	135
4.7	Materiais de construção	136
	Referências bibliográficas	137

Capítulo 4

Capítulo 5

5 ASPETOS GERAIS RELATIVOS AO ESTUDO DA PERCOLAÇÃO 139

L A U R A C A L D E I R A

5.1	Introdução	141
-----	------------	-----

5.2 Condutividade hidráulica	142
5.3 Fluxos bidimensionais	144
5.4 Forças de percolação	149
5.5 Influência das forças de percolação na estabilidade global das barragens de aterro	151
5.6 Influência das forças de percolação na estabilidade hidráulica dos aterros e fundações de barragens	152
5.7 Controlo da percolação para redução de caudais	153
5.8 Controlo da percolação por drenagem	157
5.9 Estimativa do caudal percolado	163
Referências bibliográficas	166

6 DIMENSIONAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS DE ATERRO 167

EMANUELMAR ANHA DAS NEVES • LAURACALDEIRA

MARIADA GRAÇA LOPES

6.1 Introdução	169
6.2 Perfis-tipo a considerar em pequenas barragens de aterro	169
6.3 Largura do coroamento e folga	172
6.3.1 Largura do coroamento	172
6.3.2 Folga	173
6.4 Dimensionamento dos taludes da barragem	175
6.4.1 Quantificação das forças estabilizadoras e desestabilizadoras de um talude	176
6.4.1.1 Bloco rígido deslizante sobre um plano inclinado	176
6.4.1.2 Forças estabilizadoras e desestabilizadoras instaladas nos taludes da barragem	178
6.4.2 A segurança dos taludes das barragens de aterro relativamente a estados limite últimos de deslizamento	184
6.4.2.1 Situações de projeto	185
6.4.2.2 Valores característicos das ações e das propriedades físicas e mecânicas dos materiais	185
6.4.2.3 A segurança e os coeficientes parciais. Obtenção dos valores de cálculo das ações e das propriedades mecânicas dos materiais	187
6.4.2.4 Verificação de um estado limite último de deslizamento	187
6.4.3 Alguns aspetos a ter em consideração na verificação da segurança relativa a deslizamentos envolvendo os taludes das pequenas barragens de aterro	188
6.4.4 Valor característico do parâmetro de resistência dos materiais que constituem o corpo da barragem	188
6.4.5 Inclinações dos paramentos de barragens com perfis-tipo semelhantes aos propostos	191
6.4.5.1 Perfil-tipo PT1	191
6.4.5.2 Perfil-tipo PT2	194
6.4.5.3 Perfil-tipo PT3	196
6.4.6 Funcionalidade	198
6.4.7 Prescrições para as inclinações dos taludes de acordo com os perfis-tipo	198
6.5 Dimensionamento de filtros e drenos	198
6.5.1 Função dos filtros e dos drenos	200
6.5.2 Dimensionamento dos órgãos de filtração e de drenagem	202
6.5.2.1 Trabalhos experimentais laboratoriais com vista ao estabelecimento de critérios de dimensionamento	203
6.5.2.2 Critérios de dimensionamento	205
6.5.3 Requisitos adicionais	208
6.5.3.1 Segregação	208
6.5.3.2 Degradação ou fratura das partículas	209
6.5.3.3 A coesão efetiva e os filtros	209
6.5.3.4 Estabilidade interna	210

6.5.3.5 Capacidade de descarga dos sistemas de filtragem-drenagem	212
6.6 Dimensionamento do revestimento do paramento de montante	214
6.6.1 <i>Rip-rap</i>	214
6.6.2 Geotêxtil entre o aterro e o <i>rip-rap</i>	216
6.6.3 Verificação da estabilidade ao deslizamento do revestimento do paramento de montante	220
6.7 Dimensionamento prescritivo dos filtros e drenos críticos	223
6.7.1 Espessura do filtro inclinado	223
6.7.2 Granulometria do filtro inclinado que assegura a sua capacidade drenante	225
6.7.3 Granulometria do filtro inclinado para assegurar as funções de filtragem	226
6.7.4 Granulometria do tapete drenante para assegurar as funções de filtragem e drenagem	227
6.7.5 Granulometria do tapete drenante, de modo a assegurar as funções de filtragem das camadas de filtro subjacentes e sobrejacentes ...	229
6.7.6 Conclusões	230
6.8 Dimensionamento de sistemas de impermeabilização com geomembrana (SIGM) ...	230
6.8.1 Dimensionamento de um revestimento do paramento de montante de uma barragem de aterro com um perfil do tipo PT2	232
6.8.1.1 Requisitos do sistema de impermeabilização com geomembrana	233
6.8.1.2 Ações sobre o sistema de impermeabilização com geomembrana	233
6.8.2 Constituição do sistema de impermeabilização no paramento de montante para o perfil-tipo PT2	234
6.8.2.1 Zona de transição e suporte	236
6.8.2.2 Geomembrana	238
6.8.2.3 Outros geossintéticos componentes do SIGM	240
6.8.2.4 Materiais da zona de transição e suporte	240
6.8.2.5 <i>Rip-rap</i>	242
6.8.2.6 Exemplo de configurações de SIGM em pequenas barragens de enrocamento	242
6.8.3 Aspectos relevantes do dimensionamento do SIGM	243
6.8.3.1 Estabilidade ao deslizamento do <i>rip-rap</i> e do SIGM ...	243
6.8.3.2 Quantificação dos ângulos de atrito efetivo nas diferentes interfaces	246
Anexo I. Determinação das propriedades da geomembrana	247
Referências	249

7 CONSTRUÇÃO DE ATERROS E SUAS INTERFACES COM A FUNDAÇÃO E AS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS 255

EMANUEL MARANHADA SNEVES • LAURACALDEIRA
MARIADAGRACIA LOPE S

7.1 Introdução	257
7.2 Compactação mecânica	260
7.2.1 Compactação de solos argilosos	260
7.2.2 Compactação de solos granulares limpos	271
7.2.3 Compactação de enrocamentos	274
7.2.4 Compactação de misturas solo-enrocamento	276
7.3 Especificações construtivas dos materiais	277
7.4 Execução de aterros	280
7.4.1 Preparação do terreno	281
7.4.2 Execução de aterros experimentais	282
7.4.3 Extração, transporte, deposição e espalhamento	287
7.4.4 Compactação	289
7.4.5 Instalação do geotêxtil no talude de montante nos perfis-tipo PT1e PT3	290
7.4.6 Colocação das camadas de proteção dos perfis-tipo PT1 e PT3 ..	291
7.5 Controlo da compactação	292
7.5.1 Solos finos	292
7.5.2 Misturas de solo-enrocamento	298
7.5.3 Enrocamentos	299

7.6	Aspetos relativos à construção de filtros e drenos	300
7.6.1	Largura dos filtros e drenos	300
7.6.2	Compactação dos filtros e drenos	301
7.6.3	Segregação em filtros e drenos	301
7.6.4	Contaminação de filtros	302
7.6.5	Técnica construtiva do filtro crítico inclinado	302
7.7	Construção dos aterros nos contactos com a fundação e as estruturas hidráulicas	306
7.7.1	Construção do aterro sobre a fundação	306
7.7.1.1	Preparação do contacto	306
7.7.1.2	Tratamento de nascentes	307
7.7.2	Contacto na zona dos encontros	310
7.7.3	Construção do aterro nos contactos com estruturas hidráulicas . .	310
7.7.3.1	Condutas hidráulicas	311
7.7.3.2	Descarregadores de cheias	313
7.8	Pormenores do coroamento	317
7.8.1	Largura e pormenores do coroamento	317
7.8.2	Sobrelevação	318
7.9	Construção do aterro e da zona de transição e suporte do SIGM	319
7.10	Aspetos relevantes da instalação do SIGM	320
7.10.1	Ações prévias	320
7.10.2	Instalação do SIGM	321
7.10.3	Construção da camada de proteção	328
	Bibliografia	328

8 OBSERVAÇÃO 331

JOÃO PORTUGAL

8.1	Generalidades	333
8.2	A observação das pequenas barragens de aterro	334
8.3	Grandezas a medir	335
8.3.1	Generalidades	335
8.3.2	Medição da cota do NAA	335
8.3.3	Medição de caudais percolados	335
8.3.4	Medição de deslocamentos superficiais	337
8.3.5	Medição de deslocamentos internos	338
8.3.6	Medição de pressões na água intersticial	339
8.4	Inspeção visual de pequenas barragens de aterro	340
8.4.1	Periodicidade e registo de inspeções visuais	340
8.4.2	Deteriorações principais	342
8.4.2.1	Generalidades	342
8.4.2.2	Erosão externa	342
8.4.2.3	Erosão interna	344
8.4.2.4	Desestabilização de taludes, encontros e fundação	345
8.4.3	Aspetos a contemplar na inspeção visual	346
8.4.3.1	Albufeira	346
8.4.3.2	Coroamento	347
8.4.3.3	Paramento de montante	351
8.4.3.4	Paramento de jusante	353
8.4.3.5	Encontros	356
8.4.3.6	Pé de talude de jusante	357
8.4.3.7	Zonas de contacto de aterros com estruturas hidráulicas	358
8.4.3.8	Órgãos hidráulicos de exploração	359
8.4.3.9	Descarregadores de cheias	361
	Anexo — Modelo de Ficha de Inspeção Visual	363
	Anexo — Modelo de Ficha de Inspeção Visual	363
	Bibliografia	366

9 METODOLOGIAS SIMPLIFICADAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO A JUSANTE DE BARRAGENS 367

MARIA TERESA VISEU

9.1	Introdução	369
9.1.1	Considerações iniciais	369
9.1.2	Definição da classe da barragem	369
9.2	Caracterização da cheia induzida pela rotura da barragem	371
9.2.1	Introdução	371
9.2.2	Equações empíricas	372
9.2.2.1	Caudal de ponta na secção da barragem	372
9.2.2.2	Cálculo da propagação da cheia no vale a jusante	373
9.2.2.3	Cálculo das alturas de água e mapa de inundação	375
9.2.3	Modelo Hec-Ras	376
9.2.3.1	Considerações iniciais	376
9.2.3.2	Dados de entrada	377
9.2.3.3	Resultados	377
9.3	Caracterização do vale a jusante	378
9.3.1	Objetivos da caracterização	378
9.3.2	Informação de base	378
9.4	Abordagem simplificada para conhecimento da situação de ocupação	379
9.5	Caso de estudo	380
9.5.1	Considerações iniciais	380
9.5.2	Caracterização do vale a jusante	380
9.5.2.1	Topografia	380
9.5.2.2	Tipo de ocupação do solo	381
9.5.3	Caracterização da cheia induzida	381
	Referências bibliográficas	385