

SUMÁRIO

Prefácio	V
Simbologia	VII
Capítulo 1	
Energia Hidráulica	1
1.1 Modelagem	3
1.2 Sistema Equivalente Hidromecânico	4
1.2.1 Hipóteses – Energias	4
1.2.2 Potências Bruta e Disponível	5
1.2.3 Energia Perdida no Sistema de Admissão	5
1.2.4 Potências e Rendimentos	6
1.3 Energia Hidráulica de um Rio	8
1.3.1 Potência e Energia Teórica Média	8
1.3.2 Potência e Energia Teórica Média de Aproveitamento em Cascata	9
1.3.3 Aplicação	11
1.4 Exercícios	12
1.5 Referências	14
Capítulo 2	
Implantação de Centrais Hidrelétricas	15
2.1 Sinopse	17
2.2 Classificação das Centrais Hidrelétricas	21
2.3 Benefícios e Vantagens das PCH	22
2.4 Geração Hidrelétrica	23
2.5 Etapas de Estudo e Projetos para Implantação de CH Segundo a Eletrobras. . . .	24
2.6 Interligação dos Estudos e Projeto	26
2.7 Estudos Gerais	27
2.7.1 Topográfica	27
2.7.2 Hidrológicos	29

2.7.3	Geológicos e Geotécnicos	37
2.7.4	Ecológicos e Socioeconômicos	37
2.7.5	Mercado	38
2.8	Projeto – Especificações	39
2.8.1	Tipos de Arranjos	39
2.8.2	Centrais Hidrelétricas de Baixa Queda	44
2.8.3	Centrais Hidrelétricas Maré Motriz	49
2.8.4	Obras Civas	51
2.8.5	Equipamentos Mecânicos e Hidromecânicos	52
2.8.6	Equipamentos Elétricos	53
2.9	Análise Econômico-Financeira	53
2.10	Fluxogramas para Implantação	54
2.11	Procedimento Geral para Elaboração do Projeto Básico de PCH	58
2.11.1	Requisitos Gerais	58
2.11.2	Memorial Descritivo	58
2.11.3	Desenhos	62
2.12	Exercícios	63
2.13	Referências	64

Capítulo 3

Estudo Hidrenergético	67	
3.1	Reservatórios	69
3.2	Hidrologia Aplicada à Geração	73
3.2.1	Introdução	73
3.2.2	Levantamento e Disponibilidade de Dados	73
3.2.2.1	Postos fluviométricos	73
3.2.2.2	Apresentação dos dados	75
3.2.2.3	Complementação de séries	78
3.2.3	Transposição de Vazões	79
3.2.4	Caracterização Estatística das Vazões	81
3.2.4.1	Fluviograma	82
3.2.4.2	Curva de duração de vazões	82
3.2.4.3	Períodos crítico, crítico de ciclo completo, seco e úmido	85
3.2.4.4	Diagrama de <i>Rippl</i>	86
3.2.5	Regularização de Vazões	91
3.2.5.1	Método geral	91
3.2.5.2	Método especial	98
3.2.6	Vazões Extremas	100
3.3	Níveis – Quedas	104
3.3.1	Considerações	104
3.3.2	Nível Máximo Normal	105
3.3.3	Deplecionamento do Reservatório	109
3.3.4	Nível da Água Normal de Montante	109
3.3.5	Níveis da Água de Jusante	110
3.3.6	Quedas	110

3.3.7	Algoritmo	111
3.3.8	Aplicação	111
3.4	Vazão de Projeto – Potências	111
3.4.1	Campo de Funcionamento	111
3.4.2	Benefícios – Energias	114
3.4.3	Custos	116
3.4.4	Critérios de Motorização	117
3.4.4.1	Critério da vazão firme.	117
3.4.4.2	Critério do fator de capacidade – metodologia simplificada	118
3.4.4.3	Análise de critérios para determinação do f_{cp} em estudos de inventário	118
3.4.4.4	Critério da maximização do benefício líquido.	122
3.4.4.5	Critério da média-variância	124
3.4.5	Estudos Complementares para a Motorização	129
3.4.5.1	Efeito da regularização diária.	129
3.4.5.2	Técnicas de simulação	130
3.4.6	Potências	133
3.5	Guia Prático para Avaliação Expedida de Potencial Hidráulico	134
3.5.1	Objetivos – Conteúdo	134
3.5.2	Base Teórica	135
3.5.3	Algoritmo	137
3.5.3.1	Dados de entrada	137
3.5.3.2	Roteiro e decisões.	139
3.5.3.3	Saída.	140
3.5.4	Aplicação do Algoritmo	140
3.5.4.1	Dados de entrada	140
3.5.4.2	Cálculos e decisões.	140
3.5.5	Comentários – Recomendações	142
3.6	Exercícios.	142
3.7	Referências.	145

Capítulo 4

Obras Civas – Equipamentos Hidromecânicos	147	
4.1	Barragens.	149
4.1.1	Conceitos – Tipos	149
4.1.2	Condições de Carregamento	153
4.1.3	Estabilidade	155
4.1.4	Cálculo e Projeto.	156
4.1.4.1	Considerações	156
4.1.4.2	Hipóteses	158
4.1.4.3	Exemplo do cálculo de estabilidade de barragem de concreto.	158
4.1.4.4	Algoritmo	162
4.1.4.5	Aplicação	165
4.2	Extravasor (Vertedouro ou Vertedor)	165
4.3	Tomada da Água	166
4.4	Comportas	169
4.4.1	Conceito – Classificação – Tipos	169
4.4.2	Escolha do Tipo	183

4.4.3	Cargas	185
4.4.4	Base Teórica das Cargas Hidrostáticas	187
4.4.5	Tipos de Carregamento	189
4.4.6	Tensões Admissíveis	189
4.4.7	Vazão Através da Comporta	190
4.4.8	Conteúdo da Memória de Cálculo	190
4.4.9	Aplicação	191
4.4.9.1	Elementos fornecidos e fixados	192
4.4.9.2	Tensão na chapa do paramento	192
4.4.9.3	Cálculo das vigas horizontais	193
4.5	Grade de Tomada da Água.	196
4.5.1	Características	196
4.5.2	Cargas	197
4.5.3	Tipos de Carregamento	199
4.5.4	Tensões Admissíveis	199
4.5.5	Espaçamento entre Barras Verticais	199
4.5.6	Vibrações	200
4.5.7	Perda de Carga.	200
4.5.8	Custo	200
4.5.9	Aplicação	200
4.5.9.1	Elementos fornecidos e fixados	201
4.5.9.2	Cálculo estrutural das barras verticais	201
4.5.9.3	Cálculo estrutural das barras horizontais	202
4.5.9.4	Análise de vibração	203
4.6	Válvulas	205
4.6.1	Conceito – Tipos – Nomenclatura	205
4.6.2	Cargas – Dimensionamento	210
4.6.3	Cargas Hidrostáticas	211
4.6.4	Carga do Peso da Válvula	211
4.6.5	Carga de Aperto	211
4.6.6	Carga do Contrapeso	212
4.6.7	Resumo das Cargas para Estudos Preliminares	213
4.6.8	Tensões Recomendadas	213
4.6.9	Vazão	214
4.7	Desvio do Rio.	215
4.7.1	Considerações	215
4.7.2	Altura de Ensecadeira	215
4.7.2.1	Método de recorrência.	215
4.7.2.2	Método expedito	218
4.7.2.3	Algoritmo	218
4.7.2.4	Aplicação	219
4.7.3	Outros Componentes	220
4.8	Exercícios	220
4.9	Referências.	222

Capítulo 5

Sistema de Baixa Pressão	225
5.1 Operação de CH.	227
5.1.1 Regime Transitório	227
5.1.2 Golpe de Ariete.	229
5.1.3 Tempo Hidráulico do Conduto	231
5.1.4 Comprimento Máximo do Conduto Forçado	232
5.2 Canais	234
5.2.1 Conceitos	234
5.2.2 Energia Cinética	235
5.2.3 Velocidades	237
5.2.4 Equação Geral dos Canais	238
5.2.5 Canais para CH.	239
5.2.6 Algoritmo	241
5.2.7 Aplicação	241
5.3 Desarenador.	242
5.3.1 Características – Equacionamento	242
5.3.2 Algoritmo	243
5.3.3 Aplicação	244
5.4 Câmara de Carga	245
5.4.1 Conceitos – Objetivos.	245
5.4.2 Partida Brusca	246
5.4.3 Parada Brusca	247
5.4.4 Algoritmo	248
5.4.5 Aplicação	249
5.4.6 Comentários.	249
5.5 Conduto de Baixa Pressão.	249
5.6 Túnel Forçado de Seção Circular	250
5.7 Chaminé de Equilíbrio.	252
5.7.1 Critérios – Dimensões.	252
5.7.2 Variações do Nível – Período de Oscilação	253
5.7.3 Algoritmo	253
5.7.4 Aplicação	255
5.8 Exercícios.	255
5.9 Referências.	256

Capítulo 6

Sistema de Alta Pressão	259
6.1 Conduto Forçado	261
6.1.1 Tipos e Limitações	261
6.1.2 Diâmetro	261
6.1.3 Algoritmo	263
6.1.3.1 Comentários	263
6.1.3.2 Entrada de dados	264
6.1.3.3 Calcular.	264
6.1.3.4 Saída.	265
6.1.4 Aplicação	266

6.2	Blocos de Apoio (Selas) e de Ancoragem	266
6.2.1	Esquemas, Convenções e Distâncias	266
6.2.1.1	Esquemas e convenções	266
6.2.1.2	Distância entre selas de concreto	267
6.2.1.3	Distância entre blocos	267
6.2.2	Blocos de Apoio (Selas)	268
6.2.2.1	Características	268
6.2.2.2	Forças	269
6.2.2.3	Estabilidade	272
6.2.2.4	Algoritmo	272
6.2.2.5	Aplicação	274
6.2.3	Blocos de Ancoragem	274
6.2.3.1	Características	274
6.2.3.2	Forças	278
6.2.3.3	Estabilidade	286
6.2.3.4	Algoritmo	288
6.2.3.5	Aplicação	292
6.3	Vibrações em Conduitos Forçados	292
6.3.1	Origem das Vibrações	292
6.3.2	Modos de Vibração	293
6.3.3	Formulário	293
6.3.4	Algoritmo	294
6.3.4.1	Dados de entrada	294
6.3.4.2	Roteiro	295
6.3.4.3	Saída	295
6.3.5	Aplicação	296
6.3.5.1	Considerações	296
6.3.5.2	Dados de entrada	296
6.3.5.3	Roteiro – Cálculos	296
6.3.5.4	Saída	297
6.3.5.5	Comentários	298
6.4	Otimização de Conduitos Forçados	299
6.5	Exercícios	300
6.6	Referências	300

Capítulo 7

Grupos Geradores	303	
7.1	Tipos – Componentes	305
7.2	Turbinas Hidráulicas – TH	307
7.2.1	Classificação – Tipos	307
7.2.2	Turbinas Hidráulicas de Ação	308
7.2.3	Turbinas Hidráulicas com Rotor Francis	312
7.2.4	Turbinas Hidráulicas com Rotor Axial	315
7.2.5	Turbinas Hidráulicas Tubulares	319
7.2.5.1	Conceito – tipos	319
7.2.5.2	Grupo gerador S	320

7.2.5.3	Grupo gerador bulbo	322
7.2.5.4	Grupo gerador poço	326
7.2.5.5	Grupo gerador straflo	327
7.2.6	Turbinas Hidráulicas Cinéticas	329
7.2.7	Equação Fundamental	332
7.2.8	Rotação Específica	334
7.2.9	Campo Operacional	336
7.2.10	Altura de Sucção	338
7.2.11	Rotação de Disparo	340
7.2.12	Número de Pás de <i>THA</i>	341
7.2.13	Dimensões de Montagem	343
7.2.13.1	Dimensão característica	343
7.2.13.2	Espiral de seção transversal circular	344
7.2.13.3	Espiral de seção transversal trapezoidal	345
7.2.13.4	Tubo de sucção	348
7.2.13.5	Grupo tubular	348
7.2.13.6	Volante	351
7.2.14	Escolha do Tipo de <i>TH</i>	352
7.2.14.1	Roteiro	352
7.2.14.2	Aplicação	354
7.3	Número de Grupos Geradores	354
7.3.1	Critérios e Limitações	354
7.3.2	Determinação Preliminar	355
7.3.3	Algoritmo para Número de <i>GG</i> , <i>TH</i> com Caixa Espiral	357
7.3.3.1	Considerações e limitações	357
7.3.3.2	Algoritmo	357
7.3.3.3	Aplicação	362
7.3.4	Algoritmo para Número de Grupos Bulbos	364
7.3.4.1	Considerações e limitações	364
7.3.4.2	Algoritmo	365
7.3.4.3	Aplicação	367
7.4	Geradores Elétricos – GE	368
7.4.1	Classificação – Tipos	368
7.4.1.1	Características gerais	368
7.4.1.2	Análise dimensional	369
7.4.2	Especificação Mínima	370
7.4.2.1	Potência nominal	370
7.4.2.2	Tensão nominal	371
7.4.2.3	Fator de potência nominal	372
7.4.2.4	Reatância de eixo direto	373
7.4.2.5	Rotação nominal	373
7.4.2.6	Características físicas	374
7.4.3	Arranjos de Montagens	376
7.4.4	Graus de Proteção	380
7.4.5	Circuitos de Refrigeração	381
7.4.6	Sistemas de Excitação	383

7.4.7	Dimensionamento das Fundações dos GE.	385
7.4.8	Especificações Adicionais.	387
7.4.8.1	Ensaio de rotina.	387
7.4.8.2	Ensaio de tipo	387
7.5	Reguladores de Velocidade – RV.	388
7.5.1	Conceitos – Tipos.	388
7.5.2	Características	390
7.6	Reguladores de Tensão – RT	393
7.7	Supervisão de CH.	393
7.8	Subestações.	397
7.9	Sistemas Auxiliares.	400
7.10	Exercícios.	401
7.11	Referências	402

Capítulo 8

Casa de Máquinas – Sistema de Descarga	405
8.1 Casa de Máquinas	407
8.1.1 Etapas – Fases	407
8.1.2 Projeto Básico.	408
8.1.2.1 Dados	408
8.1.2.2 Roteiro	408
8.2 Sistema de Descarga	413
8.2.1 Descarga das TH	413
8.2.2 Descarga de Extravasores, Válvulas e Comportas	414
8.3 Exercícios.	416
8.4 Referências.	416

Capítulo 9

Apêndice	419
9.1 Perdas de Energia	421
9.1.1 Energia Específica Perdida nos Trechos Retos dos Condutos	421
9.1.2 Energia Específica Perdida nas Singularidades	422
9.1.3 Coeficientes de Perda Específica de Energia nas Singularidades	422
9.1.3.1 Reservatório – conduto	422
9.1.3.2 Estreitamento e alargamento brusco	423
9.1.3.3 Estreitamento e alargamento gradual.	423
9.1.3.4 Curva circular com $\theta < 90^\circ$	424
9.1.3.5 Curva circular de 90°	424
9.1.3.6 Desvios.	425
9.1.3.7 Bifurcação com cantos vivos e arredondados – seções circulares	425
9.1.3.8 Bifurcação com redução e reduções simétricas – seções circulares.	427
9.1.3.9 Juntas de dilatação	428
9.1.3.10 Válvulas	428
9.1.3.11 Grades	430
9.2 Comissionamento de Centrais Hidrelétricas	432
9.2.1 Introdução	432

9.2.2	Modelo Geral de Plano para Ensaio de Recepção	432
9.2.3	Modelo de Plano para Ensaio de Recepção de TB	439
9.2.4	Determinação das Quedas Líquidas para TB	444
9.2.5	Determinação das Potências Hidráulicas para TB	446
9.2.6	Determinação dos Rendimentos no Eixo da TB	446
9.2.7	Determinação do Rendimento Ponderado da TB	446
9.2.8	Relatório dos Ensaios de Comissionamento de GB	446
9.3	Roteiros para Estudos de Implantação	447
9.3.1	Roteiro Geral Síntese	447
9.3.2	Roteiro para PCH	449
9.4	Diretrizes Gerais para Elaboração de Manuais de Operação e Manutenção de PCH.	454
9.4.1	Diagnóstico e Providências	454
9.4.2	Diretrizes e Recomendações para Manual de Operação	463
9.4.2.1	Definições	463
9.4.2.2	Necessidades	464
9.4.2.3	Operação da PCH depois de parada de todas suas unidades	464
9.4.2.4	Parada normal de uma unidade	467
9.4.2.5	Parada normal de todas as unidades	468
9.4.2.6	Parada de emergência de uma unidade	468
9.4.2.7	Parada de emergência de todas as unidades.	468
9.4.3	Diretrizes e Recomendações para Manual de Manutenção	468
9.4.3.1	Necessidades e Conteúdo.	468
9.4.3.2	Diretrizes.	469
9.4.3.3	Programação	473
9.5	Referências.	477
	Índice Alfabético	479