

# Manual do Empreendedor sobre **Segurança de Barragens**

Diretrizes para  
a Elaboração do  
Plano de Operação,  
Manutenção e  
Instrumentação de  
Barragens

Volume **VII**



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



# Manual do Empreendedor sobre **Segurança de Barragens**

Diretrizes para  
a Elaboração do  
Plano de Operação,  
Manutenção e  
Instrumentação de  
Barragens

Volume **VII**

**República Federativa do Brasil**

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente da República no Exercício do Cargo de Presidente da República

**Ministério do Meio Ambiente**

José Sarney Filho

Ministro

**Agência Nacional de Águas****Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu Guillo (Diretor-Presidente)

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

**Secretaria-Geral (SGE)**

Mayui Vieira Guimarães Scafura

**Procuradoria-Federal (PF/ANA)**

Emiliano Ribeiro de Souza

**Corregedoria (COR)**

Elmar Luis Kichel

**Auditoria Interna (AUD)**

Edmar da Costa Barros

**Chefia de Gabinete (GAB)**

Horácio da Silva Figueiredo Júnior

**Gerência Geral de Articulação e Comunicação (GGAC)**

Antônio Félix Domingues

**Gerência Geral de Estratégia (GGES)**

Bruno Pagnoccheschi

**Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)**

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

**Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica Nacional (SGH)**

Valdemar Santos Guimarães

**Superintendência de Tecnologia da Informação (STI)**

Sérgio Augusto Barbosa

**Superintendência de Apoio ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SAS)**

Humberto Cardoso Gonçalves

**Superintendência de Implementação de Programas e Projetos (SIP)**

Ricardo Medeiros de Andrade

**Superintendência de Regulação (SRE)**

Rodrigo Flecha Ferreira Alves

**Superintendência de Operações e Eventos Críticos (SOE)**

Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho

**Superintendência de Fiscalização (SFI)**

Flavia Gomes de Barros

**Superintendência de Administração, Finanças e Gestão de Pessoas (SAF)**

Luís André Muniz

**Agência Nacional de Águas**  
**Ministério do Meio Ambiente**

# **Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens**

**Manual do Empreendedor sobre  
Segurança de Barragens  
Volume VII**

**Superintendência de Regulação (SRE)**

**Brasília – DF  
ANA  
2016**

**© 2016, Agência Nacional de Águas (ANA).**

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.  
CEP 70610-200, Brasília, DF  
PABX: (61) 2109 5400 / (61) 2109-5252  
www.ana.gov.br

**Comitê de Editoração**

João Gilberto Lotufo Conejo  
Diretor

Reginaldo Pereira Miguel  
Representante da Procuradoria Federal

Sergio Rodrigues Ayrimoraes Soares  
Ricardo Medeiros de Andrade  
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho  
Superintendentes

Mayui Vieira Guimarães Scafura  
Secretária Executiva

**Supervisão editorial**

Ligia Maria Nascimento de Araújo –  
Coordenadora  
Carlos Motta Nunes

**Elaboração**

Ricardo Oliveira – COBA, S.A  
Lúcia Almeida – COBA, S.A  
José Oliveira Pedro – COBA, S.A  
Antônio Pereira da Silva – COBA, S.A  
Antônio Alves – COBA, S.A  
José Rocha Afonso – COBA, S.A  
Flávio Miguez – COBA, S.A  
Maria Teresa Viseu – LNEC, Portugal

**Foto de capa:**

UHE Barra Grande / Anita Garibaldi (SC) e  
Pinhal da Serra (RS)  
Crédito: Baesa / Banco de Imagens da ANA

**Revisão dos originais**

Alexandre Anderãos  
André César Moura Onzi  
André Torres Petry  
Fernanda Laus de Aquino  
Helber Nazareno de Lima Viana  
Josimar Alves de Oliveira  
Marcus Vinícius Araújo Mello de Oliveira  
Nádia Eleutério Vilela Menegaz  
Sérgio Ricardo Toledo Salgado  
Erwin De Nys – Banco Mundial  
Paula Freitas – Banco Mundial  
Maria Inês Muanis Persechini – Banco  
Mundial  
José Hernandez – Banco Mundial  
Orlando Vignoli Filho – Banco Mundial  
Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB  
— auxílio na análise das contribuições da  
Audiência Pública

**Todos os direitos reservados.**

**É permitida a reprodução de dados e  
informações contidos nesta publicação,  
desde que citada a fonte.**

**Catálogo na fonte: CEDOC / BIBLIOTECA**

A265d	Agência Nacional do Aguas (Brasil). Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens -- Brasília: ANA, 2016.  135 p. il. – (Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, 7) ISBN 978-85-8210-043-1 ISBN 978-85-8210-036-3 (Coleção)  1. Recursos Hídricos – Gestão 2. Barragem – Segurança. I. Título.  CDU 627.82
-------	--



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Colocação do sistema de drenagem na fundação de um vertedouro.	23
Figura 2.	Barragem de terra em processo de piping através do aterro.	34
Figura 3.	Desagregação de blocos de basalto no rip-rap de uma barragem de terra no Brasil.	34
Figura 4.	Ruptura característica de um rip-rap. (Fonte: ICOLD, 1993)	35
Figura 5.	Colmatção das camadas de areia, pedrisco e brita na zona de oscilação do NA (seta) junto ao dreno de pé de uma barragem de terra pela ação de ferro-bactérias.	37
Figura 6.	Surgência a jusante da Barragem de Água Vermelha, SP/MG, devido a uma camada de brecha basáltica muito permeável na fundação, logo após o enchimento do reservatório, em 1978.	38
Figura 7.	Surgências de água no talude de jusante e reabilitação (fotos inferiores) com maciço estabilizador do pé de jusante e tapete drenante sobre esporões afastados 10 m uns dos outros na Barragem de Jaburu I, CE.	38
Figura 8.	Ocorrência de <i>piping</i> a montante a) e a jusante b) de uma galeria de desvio em barragem de terra.	39
Figura 9.	Geometria do vale desfavorável (muito encaixado) para uma barragem de aterro, potencializando a ocorrência de efeito de arco.	40
Figura 10.	Fissuras longitudinais na crista de uma barragem de terra no Brasil, instrumentada com pares de pinos.	41
Figura 11.	Fissuras longitudinais na crista da barragem de terra no rio Paranapanema, causada pelos recalques da camada de solo coluvionar poroso na fundação.	41
Figura 12.	Deformação excessiva na crista da barragem indiciando deslizamento do talude.	42
Figura 13.	Deslizamentos no talude de montante.	42
Figura 14.	Deslizamentos do talude de jusante e reparação de emergência com sacos de areia.	43
Figura 15.	Afundamento (Sinkhole) na crista da barragem de Bennett, Canadá.	43
Figura 16.	Afundamento devido a erosão interna, observado no aterro durante os trabalhos de reabilitação da barragem do Gove, Angola.	44
Figura 17.	Talude de montante, com região superior sem proteção, e <i>rip-rap</i> mal colocado e deslocado, Jaburu I, CE.	44
Figura 18.	Água acumulada no pavimento, resultante de drenagem deficiente.	45
Figura 19.	Saída da água obstruída, necessitando manutenção.	45
Figura 20.	Ação de manutenção com corte de vegetação.	45
Figura 21.	Talude de jusante da barragem com deslizamentos superficiais.	46
Figura 22.	Formigueiros no talude de jusante.	46
Figura 23.	Erosão provocada pela água da chuva, correndo em caminhos abertos por pessoas e animais.	46
Figura 24.	Gado circulando e pastando na região da ombreira.	46
Figura 25.	Ação de manutenção com reposição de cobertura vegetal.	47
Figura 26.	Talude de jusante revestido com cascalho (Barragem de Aracoiaba, CE).	47
Figura 27.	Dreno parcialmente obstruído por crosta de carbonato.	48
Figura 28.	Dreno de uma barragem em CCR parcialmente obstruído pela deposição de carbonato de cálcio.	48
Figura 29.	Roçamento da comporta com o pilar do vertedouro da barragem de concreto de pedra, BA afetada por RAA.	50

Figura 30.	Infiltração com carbonatação através de uma junta entre camadas de concretagem no paramento de jusante de uma barragem gravidade-aliviada.	51
Figura 31.	Fissura subvertical de origem térmica ( $e = 2,0 \text{ mm}$ ), no paramento de jusante de uma barragem tipo gravidade.	52
Figura 32.	Fissura vertical de origem térmica observada ao final do período construtivo em contraforte da barragem de Itaipu, provocada por uma queda de temperatura de $17^\circ \text{ C}$ .	52
Figura 33.	Fissura tipo “mapa” provocadas pela RAA- Reatividade Álcali-Agregado na parede interna de uma eclusa, no Brasil.	54
Figura 34.	Exsudação de gel álcali-sílica na parede de drenagem de uma barragem afetada pela RAA.	54
Figura 35.	Ruptura do concreto por altas tensões de compressão, na crista do vertedouro da barragem de Mactaquac, no Canadá, afetada pela RAA.	55
Figura 36.	Fissuração numa barragem afetada por um processo expansivo do concreto da barragem do Alto Ceira, Portugal.	55
Figura 37.	Erosão do talude do canal extravasor da descarga de fundo/tomada de água na barragem de Aracoiaba, CE.	58
Figura 38.	Erosão por cavitação a jusante dos blocos de dissipação no vertedouro da barragem de Porto Colômbia SP/MG.	58
Figura 39.	Erosão por cavitação junto aos blocos defletores na calha do vertedouro de Ilha Solteira, SP/MS.	59
Figura 40.	Erosão por abrasão, pela ação de blocos de rocha, no vertedouro da barragem de Marimbondo, SP/MG.	59
Figura 41.	Queda de blocos de rocha do talude lateral sobre a calha do vertedouro da barragem de Jaguari da SABESP, SP.	61
Figura 42.	Tratamento de juntas da soleira tipo Creager, Jaburu I, CE.	62
Figura 43.	Estratégias de manutenção.	64
Figura 44.	Ruptura do talude lateral do canal de ligação entre reservatórios do Jacaré e Jaguari SP, da SABESP.	72
Figura 45.	Acumulação de vegetação sobrenadante no reservatório, junto ao talude de montante da barragem.	73
Figura 46.	Vertedouro em poço, em funcionamento.	73
Figura 47.	Vegetação a ser arrastada para o interior do poço do vertedouro.	73
Figura 48.	Retirada de material flutuante do reservatório.	74
Figura 49.	Barreiras flutuantes.	74
Figura 50.	Assoreamento do reservatório de uma PCH no Estado de Minas Gerais.	75
Figura 51.	Réguas limnimétricas.	81
Figura 52.	Escala limnimétrica no muro do vertedouro.	81
Figura 53.	Marco topográfico para monitorização de deslocamentos verticais e horizontais.	83
Figura 54.	Marco topográfico com peça destinada ao encaixe de bastão (menor precisão que a utilização de miras de alta precisão estacionadas nos tacos de nivelamento).	84
Figura 55.	Marco de referência com teodolito.	84
Figura 56.	Instalação de uma placa de um medidor de recalques.	85
Figura 57.	Sonda inclinométrica.	85
Figura 58.	Esquema de instalação de um piezômetro na fundação.	86
Figura 59.	Medição do nível piezométrico.	86
Figura 60.	Esquema de funcionamento do piezômetro pneumático do tipo fechado.	87
Figura 61.	Esquema de funcionamento de um transdutor de corda vibrante.	88
Figura 62.	Medidor de vazão.	89



Figura 63. Pêndulos diretos e invertidos.	90
Figura 64. Esquema de roseta de 30° para a instalação de extensômetros de hastes na fundação, em substituição ao pêndulo invertido.	91
Figura 65. Detalhe do medidor triortogonal instalado na parede da galeria de drenagem de uma barragem de concreto.	91
Figura 66. Medidor de vazões com recolha automática.	92
Figura 67. Tampa de uma bateria de placas de recalques.	98
Figura 68. Piezômetro protegido com maciço de concreto e tampa metálica.	99
Figura 69. Terminal de dreno de fundação em “T” para facilitar as operações periódicas de limpeza.	101
Figura 70. Atividades de controle de segurança.	103

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Plano de Segurança da Barragem (Lei nº 12.334/2010).	18
Quadro 2. Plano de Operação.	21
Quadro 3. Órgãos extravasores e de operação.	22
Quadro 4. Tabela das Curvas de descarga para barragem dotada de soleira livre e duas comportas segmento para NA El. 150,00 m (lâmina vertente 2,0 m).	26
Quadro 5. Manutenção das estruturas e dos equipamentos.	31
Quadro 6. Manutenção de barragens de aterro.	33
Quadro 7. Classificação das fissuras em barragens de aterro.	40
Quadro 8. Manutenção das barragens de concreto.	49
Quadro 9. Classificação das fissuras em barragens de concreto.	53
Quadro 10. Manutenção dos órgãos extravasores.	57
Quadro 11. Manual O&M de cada equipamento.	65
Quadro 12. Principais equipamentos.	67
Quadro 13. Manutenção das comportas.	69
Quadro 14. Manutenção do reservatório.	72
Quadro 15. Plano de Monitoramento e Instrumentação.	77
Quadro 16. Barragens de aterro. Grandezas a monitorar.	78
Quadro 17. Barragens de concreto. Grandezas a monitorar.	79
Quadro 18. Instrumentos mais comuns.	82
Quadro 19. Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de terra e enrocamento.	94
Quadro 20. Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de concreto.	95
Quadro 21. Manutenção dos instrumentos.	96

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
BEFC	Barragem de Enrocamento com Face de Concreto
CAT	Certidão de Acervo Técnico
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras
EPRI	Electric Power Research Institute
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GPS	Global Positioning System
ICOLD	International Commission on Large Dams
PAE	Plano de Ação de Emergência
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
RAA	Reação Álcali-Agregado
UTM	Universal Transversa de Mercator



# SUMÁRIO

<b>MANUAL DO EMPREENDEDOR SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS</b>	<b>13</b>
<b>ESCLARECIMENTOS AO LEITOR</b>	<b>15</b>
<b>1 DISPOSIÇÕES GERAIS</b>	<b>17</b>
1.1 ÂMBITO E OBJETIVOS	17
1.2 CONTROLE DE SEGURANÇA NA FASE DE OPERAÇÃO	17
1.3 PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM	18
1.4 RESPONSABILIDADES DO EMPREENDEDOR	19
<b>2 PLANO DE OPERAÇÃO</b>	<b>20</b>
2.1 ÓRGÃOS EXTRAVASORES E DE OPERAÇÃO	20
2.1.1 Disposições gerais	20
2.1.2 Vertedouro de superfície	23
2.1.3 Descarregador de fundo (descarga de fundo)	23
2.1.4 Tomadas de água	24
2.2 REGRAS OPERACIONAIS DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES	24
2.2.1 Disposições gerais	24
2.2.2 Equipamentos de emergência	26
2.2.3 Procedimentos para a operação normal e em regime de cheia	27
2.2.4 Procedimentos para operação de emergência	27
2.3 REGRA OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO	28
2.3.1 Disposições Gerais	28
2.3.2 Controle da salinização	28
2.3.3 Controle da eutrofização	29
2.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO PÚBLICA	29
<b>3 MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS E DOS EQUIPAMENTOS</b>	<b>30</b>
3.1 ASPECTOS GERAIS	30
3.2 MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS DE ATERRO	32
3.2.1 Principais anomalias	32
3.2.2 Erosão / desagregação de blocos de rocha do rip-rap	34
3.2.3 Surgências devido à percolação	36
3.2.4 Erosão interna devido a galeria de fundo	39
3.2.5 Fissuras	40
3.2.6 Instabilidade dos taludes dos paramentos	42
3.2.7 Depressões e afundamentos	43
3.2.8 Algumas ações de manutenção corrente	44
3.3 MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS DE CONCRETO	48
3.3.1 Principais anomalias	48
3.3.2 Movimentos diferenciais entre blocos	50
3.3.3 Surgências	50
3.3.4 Fissuras	51
3.3.5 Deterioração devido a expansões associadas a reações químicas – Reatividade álcali-agregado (RAA)	53
3.3.6 Algumas ações de manutenção corrente	56
3.4 MANUTENÇÃO DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES	56
3.4.1 Principais anomalias hidráulico-operacionais	56

3.4.2 Obstrução do leito a jusante	60
3.4.3 Erosão do leito a jusante	60
3.4.4 Algumas ações de manutenção corrente	61
3.5 MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	62
3.5.1 Estratégias de manutenção	62
3.5.2 Plano de manutenção – Manuais O&M	64
3.5.3 Equipamento hidromecânico e eletromecânico	65
3.5.4 Ensaio do equipamento	71
3.6 MANUTENÇÃO DO RESERVATÓRIO	71
3.6.1 Principais anomalias	71
3.6.2 Estabilidade das margens do reservatório	72
3.6.3 Controle dos materiais flutuantes	73
3.6.4 Sedimentação e assoreamento	74
3.6.5 Controle da salinização e da eutrofização	75
3.6.6 Área do entorno das instalações e acessos	75
<b>4 MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO</b>	<b>76</b>
4.1 ASPECTOS GERAIS	76
4.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO	78
4.2.1 Grandezas a monitorar	78
4.2.2 Instrumentos de medição comuns às diferentes barragens	81
4.2.3 Instrumentos mais comuns em barragens de aterro	83
4.2.4 Instrumentos mais comuns em barragens de concreto	89
4.3 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO	93
4.3.1 Leitura, processamento e registro dos dados	93
4.3.2 Frequência de leitura dos instrumentos	93
4.4 MANUTENÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO	95
4.4.1 Barragens de aterro	98
4.4.2 Barragens de concreto	99
<b>5 CONTROLE DE SEGURANÇA DE BARRAGENS</b>	<b>102</b>
5.1 ASPECTOS GERAIS	102
5.2 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM	104
5.3 DESCOMISSIONAMENTO (DESATIVAÇÃO) DE BARRAGENS	104
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO A – MODELO DO PLANO DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO</b>	<b>107</b>



# MANUAL DO EMPREENDEDOR SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS

## INTRODUÇÃO GERAL

As barragens, compreendendo o barramento, as estruturas associadas e o reservatório, são obras necessárias para uma adequada gestão dos recursos hídricos e contenção de rejeitos de mineração ou de resíduos industriais. Sua construção e operação podem, no entanto, envolver danos potenciais para as populações e os bens materiais e ambientais existentes no entorno.

A segurança de barragens é um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, como as autoridades legais e os empreendedores, bem como os agentes que lhes dão apoio técnico nas atividades, relativas à concepção, ao projeto, à construção, ao comissionamento, à operação e, por fim, ao descomissionamento (desativação), as quais devem ser proporcionais ao tipo, dimensão e risco envolvido.

Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula, mas devem, apesar disso, ser complementadas com medidas de defesa civil para minorar as consequências de uma possível ocorrência de acidente, especialmente em casos em que se associam danos potenciais mais altos.

As condições de segurança das barragens devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e deterioração das estruturas ou de outros fatores, como o aumento da ocupação nos vales a jusante.

A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, conhecida como Lei de Segurança de Barragens, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), considerando os

aspectos referidos, além de outros, e definiu atribuições e formas de controle necessárias para assegurar as condições de segurança das barragens.

A Lei de Segurança de Barragens atribui aos empreendedores e aos responsáveis técnicos por eles escolhidos a responsabilidade por desenvolver e implementar o Plano de Segurança da Barragem (PSB), de acordo com metodologias e procedimentos adequados para garantir as condições de segurança necessárias. No Brasil, os empreendedores são de diversas naturezas: públicos (federais, estaduais ou municipais) e privados, sendo sua capacidade técnica e financeira também muito diferenciadas.

No presente **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**, pretende-se estabelecer orientações gerais quanto às metodologias e procedimentos a ser adotados pelos empreendedores, visando a assegurar adequadas condições de segurança para as barragens pelas quais são responsáveis, ao longo das diversas fases da vida das obras, designadamente, as fases de planejamento e projeto, de construção e primeiro enchimento, de operação e de descomissionamento (desativação).

O manual aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos. Para o caso dos empreendimentos que têm uso preponderante de geração hidrelétrica, devem ser observadas as recomendações da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), constantes de seus normativos e manuais.

Os procedimentos, estudos e medidas com vista à obtenção ou concessão de licenças ambientais, necessárias para a implantação dos empreendimentos, não são considerados no presente manual, bem como os procedimentos para a gerência das obras ou das empreitadas que regem a construção.

O presente manual compreende oito guias, constituintes dos seguintes volumes:

- 

**Volume I** – Instruções para Apresentação do Plano de Segurança da Barragem, no qual se apresenta um modelo padrão e respectivas instruções para elaboração do Plano de Segurança da Barragem.
- 

**Volume II** – Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem, no qual se estabelecem procedimentos, conteúdo e nível de detalhamento e análise dos produtos finais das inspeções de segurança.
- 

**Volume III** – Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragens, no qual se estabelecem orientações para a realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem.
- 

**Volume IV** – Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência (PAEs), no qual se apresentam o conteúdo e organização de um PAE.
- 

**Volume V** – Diretrizes para a Elaboração de Projetos de Barragens, no qual se estabelecem procedimentos gerais que devem ser contemplados nos projetos, do ponto de vista da segurança.
- 

**Volume VI** – Diretrizes para a Construção de Barragens, no qual se estabelecem procedimentos gerais que devem ser respeitados, de forma a garantir a segurança das obras durante e após a construção.
- 

**Volume VII** – Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens, no qual se estabelecem procedimentos gerais para a elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação, que devem orientar a execução dessas atividades, de modo a assegurar um adequado aproveitamento das estruturas construídas, respeitando as necessárias condições de segurança.
- 

**Volume VIII** – Guia Prático de Pequenas Barragens, no qual se descrevem procedimentos práticos de operação, manutenção, inspeção e emergência para pequenas barragens de terra.

Observa-se que o volume destacado se refere ao assunto desenvolvido no presente documento.

Os guias devem ser entendidos como documentos evolutivos, devendo ser revisados, complementados, adaptados ou pormenorizados, de acordo com a experiência adquirida com sua aplicação, bem como com a evolução da tecnologia disponível e a legislação vigente.

# ESCLARECIMENTOS AO LEITOR

## O que são as Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens?

As presentes diretrizes são um documento que pretende auxiliar a realização das atividades de operação, manutenção, monitoramento e instrumentação, com vista a assegurar as condições de segurança e operacionalidade das barragens ao longo da sua vida útil e mesmo após o seu descomissionamento (desativação).

Ressalta-se que estas diretrizes não têm a pretensão de substituir outros manuais e normas existentes de operação, manutenção e instrumentação, mas sim de incorporar o aspecto “segurança” durante o funcionamento da obra. Espera-se que, com essas diretrizes, os usuários tenham uma referência para que os seus projetos reflitam empreendimentos o mais seguro possíveis, de acordo com a técnica e conhecimento existentes.

## A quem interessa?

Interessa aos Empreendedores e aos responsáveis e técnicos, por eles contratados para a elaboração do Plano de Segurança da Barragem, que compõem as Equipes de Segurança da Barragem e, genericamente, a todas as entidades diretamente ligadas ao tema de Segurança de Barragens.

## Quais os conteúdos destas Diretrizes?

Estas diretrizes apresentam os conteúdos do Plano de Operação, da Manutenção das Estruturas e dos Equipamentos e do Plano de Monitoramento e Instrumentação de Segurança, elementos a serem integrados ao Plano de Segurança da Barragem.

Apresentam-se instruções para a apresentação e desenvolvimento de informações que devem constar no Plano de Segurança da Barragem. São também dadas indicações gerais sobre as Inspeções de Segurança, a Revisão Periódica de Segurança e o Plano de Ação de Emergência, remetendo para os respectivos Guias, constituintes do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens.

## Como estão estruturadas estas Diretrizes?

As diretrizes estão divididas em seis capítulos:

Capítulo 1 – “Disposições Gerais”, no qual, após a definição do âmbito e objetivos das Diretrizes, se fazem algumas considerações sobre o controle de segurança na fase de operação.

Capítulo 2 – “Plano de Operação”, no qual, após algumas considerações gerais sobre a operacionalidade dos órgãos extravasores e de operação, se dão indicações sobre os aspectos mais relevantes a incluir no Plano de Operação, nomeadamente, a Regra Operacional do Reservatório e as Regras Operacionais dos Órgãos Extravasores.

Capítulo 3 – “Manutenção das Estruturas e Equipamentos”, no qual, tendo em vista o estabelecimento dos Planos de Manutenção das estruturas e equipamentos, se apresentam os aspectos mais relevantes a atender na manutenção das barragens de aterro, das barragens de concreto, dos órgãos extravasores e respectivos equipamentos, e do reservatório.

Capítulo 4 – “Plano de Monitoramento e Instrumentação”, no qual se dão indicações sobre o conteúdo do Plano de Monitoramento e Instrumentação, nomeadamente, na definição do sistema de monitoramento, sua

utilização (leitura, processamento e registro dos dados, frequência de leitura dos instrumentos) e na manutenção dos instrumentos de monitoramento.

Capítulo 5 – “Controle de Segurança de Barragens”, no qual se apresentam, de forma integrada, as atividades necessárias ao controle de segurança que, além das tratadas nos capítulos anteriores (operação, manutenção, monitoramento e instrumentação), envolvem a realização de inspeções de segurança e de

revisões periódicas de segurança, tendo em vista a análise, interpretação e avaliação do comportamento da barragem. Em seguida, fazem-se referências ao conteúdo do Plano de Segurança da Barragem, bem como à estrutura organizacional que o empreendedor deve implementar para atender à Lei nº 12.334/2010, Conclui-se com as ações a desenvolver quando a barragem é descomissionada ou desativada.

Ao final, o Anexo A apresenta um modelo de Plano de Operação e Manutenção.

# 1 DISPOSIÇÕES GERAIS

## 1.1 ÂMBITO E OBJETIVOS

Sendo uma barragem: “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”, uma adequada utilização da barragem visando a atingir os objetivos que levaram à sua construção requer o uso de regras apropriadas de operação ao longo da vida da obra.

Essas regras devem considerar as disposições estabelecidas no projeto relativas ao barramento e às estruturas associadas, em especial aos órgãos extravasores e de operação e ao reservatório, bem como à manutenção das estruturas e dos equipamentos hidro e eletromecânicos, visando a assegurar as condições de segurança e operacionalidade dessas estruturas e equipamentos durante a operação da barragem.

Nas presentes Diretrizes estabelecem-se os procedimentos gerais com vista a apoiar o empreendedor na execução das atividades de operação, manutenção, monitoramento e instrumentação, de modo a garantir um adequado aproveitamento das estruturas construídas, mantendo as condições de segurança e operacionalidade ao longo da sua vida útil. O controle de segurança das obras pode ser necessário mesmo após o seu descomissionamento (desativação).

## 1.2 CONTROLE DE SEGURANÇA NA FASE DE OPERAÇÃO

O empreendedor deve assegurar que as atividades de operação, manutenção, monitoramento, instrumentação e inspeção sejam realizadas de acordo com os normativos existentes e as boas práticas vigentes, de modo a garantir as condições de funcionalidade e segurança do empreendimento.

Com o objetivo de auxiliar o empreendedor na gestão da segurança da barragem, a Lei nº 12.334/2010 definiu, como um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens, o Plano de Segurança da Barragem.

O Plano de Segurança da Barragem deverá conter, além das informações gerais e dados técnicos, a documentação de operação, manutenção, monitoramento, instrumentação e inspeção, devendo ser implementado, seguido e atualizado a intervalos regulares. O plano deve conter informações suficientes e adequadas para permitir operar a barragem e mantê-la em condições seguras, bem como monitorar o seu desempenho, de modo a detectar sinais antecipados de qualquer anomalia.

A informação acumulada sobre o comportamento da barragem deve ser utilizada com vista a melhorar o seu controle de segurança, bem como estimar de forma mais fundamentada o comportamento da barragem em face de eventos extremos.

### 1.3 PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

De acordo com a Lei nº 12.334/2010, o Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as informações indicadas no Quadro 1.

**Quadro 1. Plano de Segurança da Barragem (Lei nº 12.334/2010).**

1. Identificação do empreendedor.
2. Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação da Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem.
3. Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem.
4. Guia de Inspeções e outros Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem.
5. Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem.
6. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem.
7. Relatórios das Inspeções de Segurança.
8. Revisões Periódicas de Segurança.
9. Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido.



As exigências indicadas nas inspeções de segurança, regulares e especiais, bem como nas revisões periódicas de segurança, devem ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança.

A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança devem ser estabelecidos pela entidade fiscalizadora. No caso das barragens fiscalizadas pela ANA, o Plano de Segurança da Barragem deve ser elaborado de acordo com o estipulado na Resolução ANA n.º 91/2012, na qual se estabelecem-se os princípios acima.

Os itens 1 a 6 do Quadro 1 (com exceção do guia de inspeções do item 4) são tratadas nas presentes diretrizes, enquanto que os itens 7, 8 e 9 são apenas citados onde necessário, pois são objeto de outros documentos que deverão ser consultados, especificamente:

- Para Inspeções de segurança (itens 4 e 7 do Quadro 1): Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens;
- Para Revisões Periódicas de Segurança (item 8 do Quadro 1): Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragens;
- Para Plano de Ação de Emergência (PAE): Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência (PAE).

## 1.4 RESPONSABILIDADES DO EMPREENDEDOR

Durante a fase de operação, o empreendedor de uma barragem de usos múltiplos que se enquadre na Lei nº 12.334/2010 deve:

- a) Manter atualizado o Plano de Segurança da Barragem, observando as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança.
- b) Informar a entidade fiscalizadora de qualquer alteração da qual possa resultar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança.
- c) Manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem.
- d) Permitir o acesso irrestrito da entidade fiscalizadora e, no caso em que se aplica, dos órgãos integrantes do Sistema de Defesa Civil (SINDEC) ao local da barragem e à sua documentação de segurança.
- e) Realizar as Inspeções de Segurança de Barragem Regulares e Especiais.
- f) Elaborar as Revisões Periódicas de Segurança.
- g) Elaborar e cumprir o Plano de Ação de Emergência (PAE) quando exigido.
- h) Cumprir as recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança.
- i) Manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pela entidade fiscalizadora.
- j) Manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pela entidade fiscalizadora.

Para reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos, a informação a que se refere a alínea b) deve também ser dada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

## 2 PLANO DE OPERAÇÃO

O Plano de Operação da barragem estabelece os procedimentos a adotar na operação do reservatório, em especial na operação dos órgãos extravasores ou de descarga, de modo a garantir as condições de segurança das estruturas.

No Plano de Operação serão incluídos os necessários dados de base, bem como a descrição dos processos de funcionamento dos órgãos extravasores e de operação, de modo a permitir operar a barragem de maneira satisfatória, mantê-la em condições seguras e monitorar seu desempenho de modo a poder detectar eventuais anomalias em tempo útil.

O Plano de Operação deve incluir instruções, formulários e cronogramas para execução dos procedimentos detalhados.

Deve ser mantido um Registro de Operação, contendo, entre outros elementos:

- Dados de níveis no reservatório e fluxos afluentes e efluentes, bem como manobras dos órgãos extravasores;
- Ocorrências significativas do ponto de vista da operação dos órgãos extravasores; e
- Relatórios de operação, incluindo, principalmente, a análise dos aspectos referidos nos itens anteriores.

O Quadro 2 apresenta um sumário do conteúdo de um plano de operação. Esses tópicos serão detalhados ao longo do texto.

No Anexo A apresenta-se um modelo de Plano de Operação, Manutenção e Monitoramento e Instrumentação, com indicações gerais sobre o conteúdo do Plano de Operação que terá de ser concretizado para cada caso em particular.

### 2.1 ÓRGÃOS EXTRAVASORES E DE OPERAÇÃO

#### 2.1.1 Disposições gerais

A segurança de uma barragem depende, em larga medida, da operacionalidade dos respectivos órgãos extravasores, em especial dos vertedouros.

Os órgãos extravasores devem ser capazes de permitir a passagem da Cheia Afluyente de Projeto (CAP), considerando-se o efeito do amortecimento de cheias, sem que o nível do reservatório ultrapasse a borda livre.

A capacidade de descarga do vertedouro e de outros dispositivos de descarga deve estar devidamente avaliada no projeto, com o estabelecimento de curvas-chave (ou curvas de descarga), que deverão ser aferidas com base nas condições existentes e com a operação das estruturas componentes.

No caso de empreendimentos com casa de força, a usina deve ser considerada como fora de operação durante a passagem da CAP.

## Quadro 2. Plano de Operação.

<b>1. Características do empreendimento:</b>
Descrição muito sucinta do aproveitamento, com identificação do rio e sua localização precisa.
Área das bacias hidrográficas, a montante e a jusante do barramento.
Nomeação e descrição dos órgãos extravasores (vertedouro de superfície e descarregador de fundo) e de operação (tomadas de água e respectivos circuitos hidráulicos), suas fontes de energia para manobra, e vazões máximas que podem descarregar.
Usos principal e secundários do aproveitamento (irrigação, abastecimento público, produção de energia hidrelétrica, defesa contra cheia, etc.).
Vazão mínima remanescente.
<b>2. Regras Operacionais dos Órgãos Extravasores:</b>
Procedimentos para operação normal.
Procedimentos para operação em regime de cheia.
Procedimentos para operação de emergência.
<b>3. Regra Operacional do Reservatório:</b>
Regime de operação do aproveitamento (manual e/ou automático, local e/ou à distância).
Principais características de operação (cotas, capacidade do reservatório, áreas da superfície inundada e das bacias hidrográficas, extensões do curso do rio e vazões).
Curvas de remanso a montante para uma determinada vazão efluente.
Procedimentos específicos para renovação da água no caso de problemas de salinização ou eutrofização.
<b>4. Registro de Operação:</b>
Dados de níveis no reservatório e fluxos afluentes e efluentes, bem como manobras dos órgãos extravasores.
Ocorrências significativas do ponto de vista da operação dos órgãos extravasores.
Relatórios de operação incluindo, nomeadamente, a análise dos aspectos referidos nos itens anteriores.
Outros registros pertinentes.

Com grande implicação no bom funcionamento em fase de operação, os órgãos extravasores devem ser concebidos e construídos para possuírem:

- Resistência adequada à erosão e à cavitação e que a altura dos muros laterais é adequada para a passagem segura da CAP;
- Adequada capacidade de dissipação de energia, a fim de prevenir solapamentos e/ou erosões que poderiam pôr em risco o vertedouro ou a barragem, durante a CAP;
- Capacidade para suportar a passagem de entulho flutuante durante a CAP, ou provisão de uma barreira efetiva contra entulhos, projetada para carregamentos por CAP;

- Segurança adequada quanto a deslizamentos de terra, entulhos acumulados no canal de aproximação, rampas e canais de saída, que poderiam restringir sua capacidade de descarga.

No caso de barragens com órgãos extravasores controlados por comportas, devem ser adotadas as seguintes disposições:

- Confiabilidade nos mecanismos de abertura das comportas para eventos hidrológicos adversos como a CAP, incluindo fornecimento de energia e comunicações;
- Existência de processo alternativo para abertura das comportas;

- Acesso assegurado sob quaisquer condições adversas, para o caso das comportas serem operadas no local.

A operação periódica, por intermédio de ensaios adequados da funcionalidade das comportas, é um aspecto muito importante do ponto de vista da segurança. Aspectos da realização desses ensaios são referidos no item 3.5 relativo à manutenção das estruturas e dos equipamentos.

Tal como para os órgãos extravasores, na fase de operação da barragem é necessário analisar

o funcionamento hidráulico da(s) tomada(s) de água e respectivo(s) circuito(s) hidráulico(s), com o objetivo de detectar eventuais anomalias de funcionamento. Essas anomalias podem decorrer da concepção das estruturas ou de deteriorações que ocorram ao longo do período de operação.

O Quadro 3 apresenta o resumo dos aspectos mais relevantes dos órgãos extravasores e de operação que influenciam a segurança e a operacionalidade da barragem, bem como as medidas de proteção pública que devem ser tomadas.

**Quadro 3.** Órgãos extravasores e de operação.

1. Aspectos do dimensionamento de vertedouro que mais influenciam a segurança:	
Resistências adequadas à erosão e à cavitação, bem como altura dos muros laterais que permitam a passagem segura da CAP;	
Adequada dissipação de energia, a fim de prevenir solapamentos e/ou erosões que poderiam pôr em risco o vertedouro ou a barragem, durante a CAP;	
Capacidade para suportar a passagem de entulho flutuante durante a CAP, ou provisão de uma barreira efetiva contra entulhos, projetada para carregamentos por CAP;	
Segurança adequada quanto a deslizamentos de terra, entulhos acumulados no canal de aproximação, rampas e canais de saída, que poderiam restringir sua capacidade de descarga.	
Quando controlados por comportas:	
Confiabilidade nos mecanismos de abertura das comportas para eventos hidrológicos adversos como a CAP, incluindo fornecimento de energia e comunicações;	
Existência de processo alternativo para abertura das comportas;	
Acesso assegurado sob quaisquer condições adversas para o caso das comportas serem operadas no local.	
2. Aspectos mais relevantes que influenciam a operacionalidade:	
Vertedouro de superfície:	
Sistemas de drenagem das estruturas;	
Obstrução do leito a jusante;	
Erosão do leito a jusante.	
Descarregador de fundo:	
Sistemas de drenagem da câmara de válvulas;	
Operação periódica.	
Tomadas de água:	
Operação periódica.	
3. Medidas de proteção pública:	
Delimitação e sinalização das áreas de influência dos órgãos extravasores e de operação, às atividades de pesca, banhos ou outras atividades;	
Instalação de dispositivos que impeçam o acesso de pessoas alheias ao serviço, por razões de operação, segurança pessoal ou precaução contra atos de vandalismo.	

## 2.1.2 Vertedouro de superfície

### Sistemas de drenagem das estruturas

No caso de vertedouros total ou parcialmente independentes da barragem, onde se localizam estruturas de concreto (soleiras, canais, etc.), devem existir sistemas de drenagem (**Figura 1**), com o objetivo de aliviar as subpressões, cujo bom funcionamento é muito importante para assegurar a estabilidade das estruturas. Assim, durante a fase de operação, deve-se dar particular atenção à funcionalidade destes sistemas, controlando-se sua desobstrução, bem como as vazões efluentes dos vários drenos.



**Figura 1.** Colocação do sistema de drenagem na fundação de um vertedouro.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Sendo possível o funcionamento dos drenos por gravidade, evitam-se equipamentos de bombeamento que, além de implicarem um acréscimo de manutenção, representam também uma possibilidade adicional de avarias.

### 2.1.3 Descarregador de fundo (descarga de fundo)

Os descarregadores de fundo (ou descargas de fundo) e, em especial, as de maior dimensão, integram frequentemente câmaras de válvulas subterrâneas, para manobra local e para conservação das comportas. Essas câmaras situam-se, necessariamente, a cotas próximas

do eixo do conduto de descarga e, portanto, sujeitas a elevadas pressões exteriores, pelo que são suscetíveis de sofrer infiltrações cuja eliminação obriga a instalação de um sistema de bombeamento. Esse sistema deve também bombear água proveniente de fugas dos equipamentos.

Os sistemas de bombeamento são constituídos por uma ou mais eletrobombas, em geral, instaladas num poço inserido no pavimento e comandadas por meio de boias ou de outros equipamentos de detecção de níveis instalados nesse poço.

A operacionalidade do sistema (eletrobombas e equipamentos de detecção de nível) é condição necessária para assegurar o acesso à câmara de manobra, pelo que se deve verificar o seu funcionamento periodicamente.

O descarregador de fundo permite o rebaixamento do reservatório, bem como a descarga de sedimentos acumulados, em particular na área mais próxima da barragem. A operacionalidade do descarregador de fundo leva a que se devam tomar precauções, nomeadamente, em relação ao respectivo equipamento hidromecânico.

Para assegurar a sua operacionalidade, deve colocar-se periodicamente em funcionamento o descarregador de fundo. Este aspecto pode tornar-se muito importante quando exista especial preocupação relativamente ao assoreamento a montante. Nestes casos, o descarregador de fundo deve ser frequentemente aberto, de modo a eliminar os sedimentos finos depositados na área mais próxima da extremidade de montante e evitar a sua progressiva consolidação, o que poderá com o tempo dificultar ou mesmo impossibilitar o normal funcionamento deste órgão.

Outro aspecto que pode aconselhar a abertura periódica do descarregador de fundo é a necessidade de promover a renovação da água da área inferior do reservatório, de modo a melhorar a sua qualidade.



## 2.1.4 Tomadas de água

Muitas barragens construídas no Brasil dispõem de tomadas de água munidas de uma grelha a montante e comporta a jusante e, deste modo, o conduto está sempre em carga.

Embora para as tomadas de água os problemas de acumulação de sedimentos não sejam em geral tão importantes como os referidos para as descargas de fundo, a operação, manutenção e limpeza periódica dos equipamentos é condição importante para garantir a segurança operacional desses órgãos.

## 2.2 REGRAS OPERACIONAIS DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES

### 2.2.1 Disposições gerais

As regras operacionais dos órgãos extravasores devem permitir controlar o funcionamento desses órgãos, de modo a assegurar que, sem pôr em risco às populações a jusante:

- O nível da máxima cheia (ou nível máximo maximorum) no reservatório não seja ultrapassado, no caso de ocorrência da cheia de projeto (CAP);
- No caso de órgãos extravasores com várias comportas, obter uma graduação e distribuição das aberturas, visando uma repartição da vazão pelas diversas comportas tão regular quanto possível, a fim de se atingir uma maior eficiência da bacia de dissipação e limitar a erosão do leito do rio;
- Os possíveis efeitos erosivos nas margens e a agitação provocada na área de restituição sejam mínimos;
- O lançamento da vazão remanescente mínima seja assegurado.

A relação e tipo de órgãos extravasores, respectiva localização exata, capacidade máxima de vazão, características técnicas principais e descrição detalhada, tempos de manobra, locais de onde podem ser manobrados e a

respectiva forma de comando (local ou à distância, manualmente ou de forma automática em função do nível/volume armazenado, etc.), bem como as fontes principais de energia para manobra e respectivas alimentações principais e auxiliares, são aspectos importantes a considerar.

A operação dos órgãos extravasores (vertedouros e demais dispositivos de descarga) deve ser integrada no Plano de Operação, e com os procedimentos definidos no Plano de Ação de Emergência, quando aplicável.

Para a situação de cheia devem ser explicitados os valores das vazões a lançar para jusante, em função do nível do reservatório.

Na definição das regras operacionais dos órgãos extravasores, em situações normais ou quando da ocorrência de eventos adversos, deve-se considerar:

- A situação da barragem, isolada ou integrada numa cascata;
- O tipo de operação, automática e/ou remota e/ou com intervenção humana, local ou à distância;
- Os manuais com as instruções e os procedimentos a adotar em situações de avaria dos equipamentos, nomeadamente, no caso de operação automática;
- As fontes de energia utilizáveis, principal e auxiliar;
- Os critérios utilizados na passagem do regime normal ao regime de cheia e os meios humanos disponíveis para a operação e vigilância do empreendimento;
- A sequência de manobras a respeitar na operação das comportas, explicitando os objetivos a atingir e os critérios utilizados, nomeadamente, no controle de cheias;
- Os modelos de previsão de cheias utilizados;
- Os sistemas de comunicação disponíveis para a transmissão de dados e de instruções aos operadores locais, no caso de o comando estar centralizado.



A verificação periódica dos equipamentos dos órgãos extravasores e respectivos sistemas de comando, bem como o indispensável treinamento dos técnicos, são aspectos importantes.

Um aspecto particular a considerar será a definição de regras restritivas na operação das comportas para os casos em que se verifique a necessidade de controlar os materiais flutuantes no reservatório ou a acumulação excessiva de sedimentos.

Sempre que a operação dos órgãos extravasores origine um acréscimo significativo de descargas a jusante, devem ser adotados procedimentos de alerta às populações.

As regras para operação em condições de cheia são em regra baseadas na cota do reservatório, na taxa de elevação desta cota, na precipitação pluviométrica, na estação do ano e na previsão do tempo. Tais regras devem estar documentadas no plano de operação.

Nos locais em que houver a entrada de quantidades substanciais de sedimentos no reservatório, as regras de operação de cheias devem levar em consideração a correspondente redução do volume útil.

Sempre que tal seja exequível e sem comprometer a segurança da obra, as regras de operação dos órgãos extravasores durante uma cheia devem contemplar os aspectos seguintes:

- Otimização simultânea do armazenamento do reservatório e do amortecimento da cheia;
- Redução das vazões descarregadas;
- Manutenção de alturas de água e de velocidade de escoamento compatíveis com eventuais condicionamentos a jusante;
- Proteção de áreas a montante contra inundações provocadas pelo remanso;
- Estabilidade das margens;
- Coordenação das descargas com outras barragens e com vazões afluentes de jusante.

A operação dos órgãos extravasores deve ser assistida, sempre que possível, por sistemas confiáveis de previsão de cheias, desde que completamente testados e validados.

Os acessos, as comunicações, o fornecimento de energia e a iluminação das instalações devem estar assegurados sob qualquer condição para o caso das comportas do vertedouro serem operadas no local.

Na sequência de manobras (abertura e fechamento), quer para o comando manual quer para o comando automático, deve ser claramente explicitado, nomeadamente, o primeiro órgão a abrir e os valores de abertura mínima e máxima, a identificação dos órgãos seguintes a manobrar e os respectivos escalões máximos de abertura/fechamento. As regras de passagem para a manobra do órgão seguinte devem ser bem definidas, assim como as regras para se operar o fecho de todos os órgãos de descarga. É aconselhável constarem também as regras a observar e a sequência de manobras no caso de se registrar alguma inconformidade como, por exemplo, o eventual encravamento de um órgão. É recomendável que as manobras sejam assistidas, seja com observação *in loco*, seja remotamente por câmeras.

A operação dos órgãos extravasores deve ser realizada por pessoal devidamente habilitado e treinado.

Para mais fácil interpretação do operador, e sempre que aplicável, é recomendável que conste das regras de operação uma tabela, do tipo da apresentada no Quadro 4, com a sequência de manobras para os casos de vazões afluentes crescentes ou decrescentes, em que, em função do valor do nível de controle do reservatório, se indicam quais os órgãos a manobrar e o respectivo escalão de abertura.

Deverão também constar as curvas-chave de cada órgão extravasor e as respectivas tabelas de vazão efluente, bem como a curva de vazão a jusante da barragem.

**Quadro 4.** Tabela das Curvas de descarga para barragem dotada de soleira livre e duas comportas segmento para NA El. 150,00 m (lâmina vertente 2,0 m).

Situação de Operação	Abertura Parcial (m)		Q total (m³/s)			
	Comporta 1	Comporta 2	Comporta 1	Comporta 2	Soleira	Total
1	0,10	0,00	13	0	954	967
2	0,20	0,00	27	0	954	981
3	0,30	0,00	40	0	954	994
4	0,40	0,00	54	0	954	1008
5	0,50	0,00	68	0	954	1022
6	0,50	0,10	68	13	954	1035
7	0,50	0,20	68	27	954	1049
8	0,50	0,30	68	40	954	1062
9	0,50	0,40	68	54	954	1076
10	0,50	0,50	68	68	954	1090
11	0,50	1,00	68	139	954	1161
12	1,00	1,00	139	139	954	1232
13	1,00	1,50	139	212	954	1305
14	1,50	1,50	212	212	954	1378

## 2.2.2 Equipamentos de emergência

No caso de barragens com comportas ou a que se associem riscos ou danos potenciais altos<sup>1</sup>, deve estar sempre disponível um equipamento de fornecimento de energia de emergência.

A disponibilidade do equipamento, a velocidade de resposta, o tamanho do reservatório e a expectativa da sua taxa de elevação do nível d'água devem ser tidos em consideração. O equipamento de emergência, que tipicamente

consiste em unidades geradoras a combustível, deve operar automaticamente durante interrupções de energia e ser capaz de prover uma capacidade contínua de operação até a restauração da principal fonte de energia.

Nos locais em que não for possível dispor de fonte de energia emergencial, equipamentos de corrente contínua, bancos de baterias e equipamentos auxiliares devem ser fornecidos para se permitir a operação da instrumentação e dos controles por um período mínimo de oito horas (MI, 2002).

<sup>1</sup> Dano potencial associado: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

### 2.2.3 Procedimentos para a operação normal e em regime de cheia

Instruções concisas de operação, tanto para os procedimentos de operação normal quanto para as situações de cheia, devem estar disponíveis para operadores qualificados das barragens.

Em condições normais de operação, devem ser informados, nomeadamente (MI, 2002):

- Afluências e descargas;
- Níveis normais;
- Volumes de acumulação;
- Curvas de descarga do vertedouro e de jusante;
- Parâmetros de operação do vertedouro;
- Fornecimento de energia;
- Restrições ambientais.

Deve ser instalado equipamento adequado para medição dessas grandezas, nomeadamente:

- Níveis de água a montante;
- Níveis de água a jusante, quando se justifique;
- Posição de abertura das comportas dos vertedouros.

O nível de instrumentação de controle deve ser determinado pela avaliação de requisitos específicos do local.

A taxa de subida do nível da água deve ser usada para se iniciar os procedimentos de alerta.

É recomendável que a informação relativa à posição das comportas e aos níveis da água monitorados, local ou remotamente, seja

registrada automaticamente e integrada no sistema de previsão e prevenção de cheias.

Durante a estação de cheias, as comportas e outros equipamentos necessários para o descarregamento de vazões até a CAP devem ser mantidos em condições operacionais.

O reservatório deve ser operado de modo que a CAP possa ser seguramente controlada. O seu rebaixamento, bem como quaisquer outras operações de controle do reservatório, devem ser documentadas, bem como qualquer restrição com relação à operação de comportas.

Deve estar disponível uma descrição de todas as partes da barragem que afetem os requisitos acima e, inclusive, os manuais de operação dos respectivos fabricantes.

### 2.2.4 Procedimentos para operação de emergência

As condições de emergência devem ser identificadas e listadas, juntamente com as restrições de operação recomendadas nessas condições. As instruções devem especificar a capacidade de vazão das estruturas e o correspondente nível d'água, listar as áreas de risco a jusante e as vazões pelas quais elas serão afetadas (MI, 2002).

Para qualquer rebaixamento de emergência do reservatório, devem ser estabelecidos procedimentos para o controle da descarga. Estes procedimentos devem ser simples e resumidos, tais como quaisquer instruções especiais para a operação do vertedouro. Devem ainda incluir limitações no enchimento ou no rebaixamento do reservatório e implicações quanto ao aumento do fluxo a jusante, bem como uma lista de áreas de bancos do rio propensas à erosão e taludes do reservatório que deverão ser monitorados. Os procedimentos de operação durante uma situação de emergência devem

seguir o preconizado no Plano de Ação de Emergência (PAE), nos casos aplicáveis.

Devem ser estabelecidos procedimentos de operação para o rebaixamento rápido do reservatório na eventualidade de um dano à barragem, incluindo as precauções necessárias quanto à velocidade de rebaixamento (que depende da capacidade de descarga existente), de modo a evitar eventuais danos às estruturas, particularmente no caso de barragens de terra ou terra-enrocamento.

No caso de ocorrência de eventos adversos podem adotar-se medidas operativas, tais como o rebaixamento controlado do nível de água no reservatório, ou medidas corretivas, nomeadamente, pequenas reparações com vista ao controle de anomalias. Na sequência destes eventos devem ser realizadas inspeções de segurança especiais.

## 2.3 REGRA OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO

### 2.3.1 Disposições Gerais

As regras de operação do reservatório incluem os procedimentos a adotar na operação, tanto em condições normais como adversas ou extraordinárias, de modo a satisfazer as exigências de comportamento e a manter as necessárias condições de segurança da barragem.

As regras de operação do reservatório devem ser adequadas à sua dimensão e conter, pelo menos:

- Descrição muito sucinta do aproveitamento, com identificação do rio e sua localização precisa;
- Área das bacias hidrográficas, a montante e a jusante do barramento;

- Nomeação e descrição dos órgãos extravasores (vertedouro de superfície e descarregador de fundo) e de operação (tomadas de água e respectivos circuitos hidráulicos), suas fontes de energia para manobra, e vazões máximas que podem descarregar;
- Usos principal e secundários do aproveitamento (irrigação, abastecimento público, produção de energia hidrelétrica, defesa contra cheia, etc.);
- Vazão mínima remanescente;
- Regime de operação do aproveitamento (manual e/ou automático, local e/ou à distância);
- Principais características de operação (cotas, capacidade do reservatório, áreas da superfície inundada e das bacias hidrográficas, extensões do curso do rio, e vazões);
- As curvas de remanso a montante para uma determinada vazão efluente.

As regras de operação devem ser modificadas de acordo com a experiência obtida no decurso da operação, bem como no caso de mudanças substanciais dos pressupostos que presidiram à sua elaboração.

No caso de barragens localizadas nas regiões de clima semiárido, a regra operacional do reservatório deve atender aos problemas relacionados com a salinização e eutrofização, tal como especificado no Manual de Especificações Ambientais para Projeto e Construção de Barragens e Operação de Reservatórios, elaborado no âmbito do PROÁGUA semiárido (MI, 2002).

### 2.3.2 Controle da salinização

Caso o monitoramento da qualidade da água indique a presença de algas e sais, devem ser estabelecidas, dentre outras providências, regras operacionais que permitam a renovação

da água visando à proteção das estruturas associadas à barragem.

O volume do reservatório deve ser suficientemente pequeno em relação às afluições de saís para que essas medidas possam ser implementadas com sucesso. Por outro lado, dependendo da qualidade requerida/desejada e dos riscos de não se conseguir repor totalmente o volume descarregado, devem ser definidas formas de operação da válvula dispersora: ou deixá-la aberta totalmente apenas quando houver vertimento ou baixar o nível do reservatório sempre que houver previsão de afluição em volumes suficientes.

A definição destas regras de operação deve ser discutida em conjunto com os comitês de usuários do reservatório. Medidas de controle do uso do solo também devem ser desencadeadas, caso o risco de salinização seja identificado.

### 2.3.3 Controle da eutrofização

As principais ações de controle da eutrofização podem classificar-se nas cinco linhas seguintes (MI, 2002):

- Monitoramento da qualidade das águas e adoção de regras operacionais que permitam o controle das infestações de plantas aquáticas e/ou moluscos aquáticos;
- Programa de manutenção e controle da faixa de proteção do reservatório, o qual deve se preocupar especificamente com o uso do solo nas suas margens;
- Ações referentes ao uso e ocupação do solo na bacia de drenagem, incluindo: levantamento sanitário da bacia; mapeamento dos tipos de solo da bacia que permita

identificar a existência de solos com aptidão para a agropecuária;

- Análise das informações levantadas quanto ao seu potencial de degradação das águas do reservatório por poluição ou eutrofização; definição do conjunto de ações necessárias para garantir que as alterações na água do reservatório sejam mínimas em função dos usos previstos; e gestão junto aos órgãos competentes e sociedade civil para tomada de decisões e encaminhamento de soluções;
- Limitação do nível de retenção da água no reservatório.

Para o controle da eutrofização, deve-se também implementar, durante a execução da barragem, um plano de desmatamento e limpeza da área de inundação.

## 2.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO PÚBLICA

O empreendedor deve delimitar e sinalizar as áreas que possam ser influenciadas pelo funcionamento das tomadas de água, dos vertedouros e das restituições de casas de força e órgãos extravasores, nas quais não devem ser permitidas atividades, tais como pesca, banhos ou outras, além das relativas à operação do aproveitamento.

Além disso, devem ser instalados dispositivos que impeçam o acesso de pessoas alheias ao serviço em todas as áreas da barragem da área de entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos em que se considere aconselhável, seja por razões de operação, de segurança pessoal ou de precaução contra atos de vandalismo. Referem-se, nomeadamente, os órgãos extravasores, as casas de força, a subestação, as eclusas de peixes ou de navegação, e os respectivos locais de manobra.

## 3 MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS E DOS EQUIPAMENTOS

### 3.1 ASPECTOS GERAIS

A manutenção das estruturas e dos equipamentos, incluindo respectivas regras, procedimentos, registros e responsabilidades, tem por objetivo assegurar que a barragem, suas estruturas associadas e equipamentos sejam mantidos em condições totalmente operacionais e seguras. Para esse efeito, devem ser organizados planos de manutenção, procurando-se, nomeadamente, minimizar eventuais condicionamentos à operação.

Os equipamentos devem ser inspecionados e verificados a intervalos regulares, devendo ser adotado um tipo de manutenção adequado à sua quantidade e complexidade, bem como à sua importância nos procedimentos de operação e na funcionalidade e segurança da obra. A manutenção dos equipamentos pode ser do tipo preventivo, englobando as vistorias e operações de rotina, ou em intervenções após diagnóstico, do tipo melhorativo ou do tipo corretivo, na sequência de anomalias.

Os Planos de Manutenção incluem, entre outros elementos:

- Procedimentos e requisitos de manutenção das diversas estruturas, incluindo a barragem, órgãos extravasores e de operação, casa de força e outras estruturas, inclusive em madeira e condutos;
- Procedimentos de manutenção dos equipamentos, incluindo a respectiva instrumentação;
- Regras de manutenção das estruturas e dos equipamentos.

Os Registros de Manutenção das estruturas e dos equipamentos incluem:

- Relatórios das ações de manutenção das estruturas;
- Relatórios sucintos das modificações efetuadas no âmbito de ações de manutenção;
- Relatórios de comportamento dos equipamentos, incluindo relato de avarias;
- Relatórios de alterações e modernização de equipamentos.
- Registros dos testes de equipamentos.

No Quadro 5 resume-se o conteúdo dos Planos e Registros de Manutenção das estruturas e equipamentos.

No Anexo A apresenta-se um modelo de Plano de Operação, Manutenção, e Monitoramento e Instrumentação com indicações gerais sobre o conteúdo do Plano de Manutenção, que terá de ser concretizado para cada caso em particular.

Todos os manuais de manutenção relevantes, fornecidos por fabricantes e projetistas, devem estar disponíveis.

A instrumentação necessária para monitorar o comportamento da barragem, casa de força, e outras estruturas, com vista a controlar suas condições de segurança e funcionalidade, bem como os equipamentos de aquisição, processamento e transmissão de dados, devem igualmente ser mantidos em boas condições de funcionamento.



**Quadro 5.** Manutenção das estruturas e dos equipamentos.

1. Planos de manutenção:
Procedimentos e requisitos de manutenção da barragem, órgãos extravasores e de operação, casa de força e outras estruturas e condutos.
Procedimentos de manutenção dos equipamentos, incluindo a respectiva instrumentação.
Regras de manutenção das estruturas e dos equipamentos.
2. Registros de Manutenção:
Relatórios das ações de manutenção das estruturas.
Relatórios sucintos das modificações efetuadas no âmbito de ações de manutenção.
Relatórios de comportamento dos equipamentos, incluindo relato de avarias.
Relatórios de alterações e modernização de equipamentos.
Registros dos testes de equipamentos.

A manutenção das estruturas deve ser realizada com caráter preventivo ou quando se verifique a existência de sinais ou sintomas de deterioração, nomeadamente, a partir das inspeções de segurança regulares e especiais, ou em consequência da revisão periódica de segurança da barragem. Podem considerar-se dois tipos de manutenção das estruturas: a manutenção corrente e a revisão ou reparação.

A manutenção corrente é o conjunto de ações desenvolvidas periodicamente, com vista a manter as estruturas nas necessárias condições de funcionalidade e segurança, e engloba, essencialmente, as medidas preventivas de rotina.

As intervenções de revisão ou reparação, envolvendo significativos meios humanos e materiais, podem ser necessárias na sequência de anomalias importantes, com eventuais condicionamentos à operação do aproveitamento. As principais anomalias nas barragens, de maior ou menor gravidade, estão bem identificadas há anos, nomeadamente, nos trabalhos da Comissão Internacional das Grandes Barragens (ICOLD 1974/81, 1984, 1994). Esse tema é também tratado no *Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem*.

O planejamento das ações referidas e eventuais estudos de apoio devem basear-se na análise das causas prováveis das deficiências surgidas e ter em consideração o tipo de estrutura e os condicionantes da intervenção a efetuar.

Os trabalhos de revisão ou reparação, visando eliminar, na medida do possível, as causas das anomalias ou, pelo menos, controlar o seu desenvolvimento, devem ser definidos em projeto, incluindo a descrição e justificativa técnica da solução adotada. Após a conclusão destes trabalhos, deve ser elaborado um relatório de síntese a integrar no Plano de Segurança da Barragem.

## 3.2 MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS DE ATERRO

### 3.2.1 Principais anomalias

Entre as anomalias que mais frequentemente se verificam, quer na fundação quer no corpo das barragens de aterro, que poderão exigir trabalhos de reparação (ICOLD, 1994), podem referir-se

- a) Erosão interna ou superficial, originando surgências, galgamentos, etc.;
- b) Perda de resistência dos solos e das rochas, com o desenvolvimento de fissuras;
- c) Instabilidade dos taludes dos paramentos;
- d) Deformação excessiva produzindo depressões, nomeadamente, recalques e afundamentos;
- e) A falta de manutenção corrente pode igualmente originar anomalias, nomeadamente:

- Deficiências nas proteções dos taludes de montante e de jusante;
- Erosões devido à ação da água da chuva;
- Crescimento excessivo da vegetação;
- Buracos abertos por animais.

De salientar que muitas das anomalias verificadas nas barragens de aterro e sua fundação são consequências de fenômenos de erosão interna, que são uma das causas principais de incidentes e rupturas, em especial, nas barragens mais antigas (ICOLD, 2013).

De acordo com o Plano de Ação de Emergência, uma intervenção de emergência poderá ser necessária, em situações tais como:

- o aterro está prestes a ser galgado ou está galgando;
- o aterro está prestes a abrir uma brecha por erosão progressiva, por ruptura do talude, ou por outras circunstâncias;
- o aterro mostra sinais de “*piping*” evidenciados por águas de infiltração cada vez mais turvas ou outros sintomas;
- o aterro apresenta evidências de percolação excessiva, aparecendo água, ou o aterro está cada vez mais saturado, a água começa a sair cada vez em maior quantidade no talude de jusante;
- o vertedouro está bloqueado, existem restrições ao escoamento, ou está inoperante.

No Quadro 6 resumem-se as ações de manutenção mais frequentes em barragens de aterro.

**Quadro 6.** Manutenção de barragens de aterro.

1. Principais anomalias:
Surgências devido à percolação.
Fissuras.
Instabilidade dos taludes dos paramentos.
Depressões (recalques e afundamentos).
Deficiências nas proteções dos taludes de montante e de jusante.
Erosões devido à ação da água da chuva.
Crescimento excessivo da vegetação.
Buracos abertos por animais.
2. Ações de manutenção corrente:
Talude de montante (rip-rap):
Arranque ou remoção de vegetação.
Recargas e regularização de material de proteção.
Substituição de material degradado.
Crista da barragem:
Reparação do pavimento.
Reparação do sistema de drenagem.
Corte de vegetação.
Talude de jusante e área adjacente:
Corte de vegetação excessiva.
Reposição de vegetação (regiões áridas) ou de outro material.
Reparação do sistema de drenagem.
Colmatação de tocas e túneis de animais.
Vedação à passagem ou pastagem de animais.
Reparação dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da barragem.

A **Figura 2** ilustra um processo de “piping” através do aterro de uma barragem de terra.

Nos itens seguintes referem-se alguns aspectos das anomalias mais frequentes em barragens de aterro.

### 3.2.2 Erosão / desagregação de blocos de rocha do rip-rap

Por rip-rap entende-se o enrocamento de proteção do talude de montante, o qual pode apresentar dois problemas mais frequentes, erosão ou deslocamento de blocos pela ação de ondas, ou a desagregação de blocos de rocha, conforme mostrado na **Figura 3**.



**Figura 2.** Barragem de terra em processo de piping através do aterro.  
Fonte: ASDSO, Nov/2008 / Banco de Imagens ANA

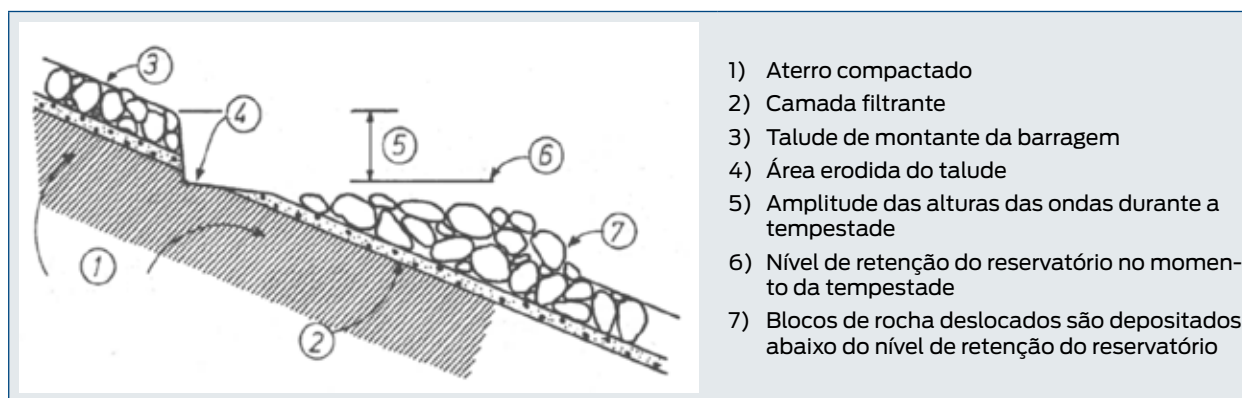


**Figura 3.** Desagregação de blocos de basalto no rip-rap de uma barragem de terra no Brasil.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

A ação continuada das ondas, provocadas pela ação do vento sobre o espelho de água, vai provocar a deformação do paramento de montante da barragem e a degradação do seu material de proteção, em regra constituído por enrocamento (rip-rap).

Quando uma onda atinge o talude, a água sobe no interior do rip-rap e da camada de filtro (que deverá existir) e depois, no período de acalmia seguinte, cai desordenadamente devido ao

peso. Esta ação pode causar danos na camada de rip-rap: por um lado, se os materiais da camada de filtro forem demasiado finos, podem ser arrastados, até provocar o deslocamento dos blocos e deixar o aterro exposto à erosão; por outro lado, se o peso médio dos blocos de enrocamento não for suficiente para resistir às forças hidrodinâmicas das ondas, os blocos podem ser deslocados ou arrastados sobre a camada de filtro (**Figura 4**).



**Figura 4.** Ruptura característica de um rip-rap. (Fonte: ICOLD, 1993)

A ruptura das camadas de enrocamento por ação das ondas ocorre principalmente nos aterros em que se verificam as situações seguintes:

- Segregação de blocos pequenos, subdimensionados, durante a colocação na camada de rip-rap, provocando vazios na camada devido à lavagem desses materiais;
- Segregação de blocos grandes, sobredimensionados, formando vazios na camada e permitindo que os materiais subjacentes, da camada de assentamento, sejam arrastados através do enrocamento;
- Extensão insuficiente do enrocamento na parte inferior do talude. Esta área do rip-rap é particularmente vulnerável durante o primeiro enchimento do reservatório, pois o nível pode permanecer próximo da sua extremidade inferior tempo suficiente para arrastar a camada;

- Dimensionamento inadequado das ondas de projeto e subestimativa da força de ataque destas ondas;
- Má qualidade dos blocos rochosos que se desagregam devido à exposição prolongada às condições atmosféricas, às ondas e à ocorrência de vegetação (a alterabilidade dos materiais do enrocamento deve, portanto, ser devidamente avaliada).

A remoção da proteção do talude e do material subjacente pode levar a que o material do aterro se deposite numa área inferior do talude, dando origem à formação de uma área relativamente plana (designada por praia), limitada a montante por declive íngreme ou por uma escarpa. A progressão dessa erosão pode levar à instabilização do talude e, eventualmente, ao galgamento do aterro.



### 3.2.3 Surgências devido à percolação

Todos os aterros e suas fundações ficam sujeitos às ações da água de percolação proveniente do reservatório. A percolação da água no aterro, fundações e ombreiras deve ser controlada para evitar o risco de fenômenos de erosão interna (*piping*). O arrastamento das partículas de solo do interior do aterro ou da fundação tende a propagar-se para montante a partir do ponto de saída das águas até atingir o talude ou superfície de fundação a montante.

Quando a água de percolação surge de um modo descontrolado na área inferior do talude de jusante da barragem, ao fenômeno de erosão interna adiciona-se normalmente um aumento excessivo da poropressão no corpo da barragem ou na fundação, acompanhado pela perda de resistência dos materiais do aterro, associada à respectiva saturação. Esses fenômenos podem conduzir a barragem à ruptura.

A vedação da água da barragem e sua fundação, como se sabe, pode ser assegurada por todo o aterro (barragem homogênea) ou por um órgão de vedação (núcleo de solo argiloso compactado, face de concreto armado ou de concreto asfáltico) por trincheiras de vedação na fundação, diafragmas, tapetes vedantes, injeções de caldas em maciços rochosos, etc. A barragem deve ser dotada de filtros e drenos.

A ocorrência de fissuras no núcleo ou nas cortinas vedantes na fundação, ou a existência de camadas de grande permeabilidade sob outras menos permeáveis, ou maciço rochoso insuficientemente impermeabilizado, são situações que propiciam fluxos concentrados, que devem ser devidamente controlados pelos filtros e drenos. Nestes casos, sendo possível que se instalem pressões elevadas suscetíveis de instabilizarem as camadas superiores, devem executar-se poços de alívio ou filtros invertidos, na área imediatamente a jusante da barragem. Esses órgãos poderão ser previstos no projeto

ou decorrerem da observação do comportamento da barragem durante a operação com as inspeções ou leituras da instrumentação (piezômetros na fundação e a jusante do pé da barragem).

O atravessamento do aterro da barragem por condutos (de descarga de fundo ou de tomada de água) pode dificultar a compactação dos materiais do aterro na sua envolvente, o que poderá dar origem a percursos de mais fácil percolação que o desejável. Essa situação deve ser adequadamente analisada no projeto, prevendo-se, por exemplo, o envolvimento do trecho do conduto, a montante ou na região do núcleo de materiais mais plásticos compactados com teores de unidade acima do ótimo, e a jusante do núcleo, com utilização de filtro e dreno, o que permitirá conduzir em segurança os fluxos que eventualmente se concentrem na região envolvente do conduto. É também importante realizar na fase de construção, sempre que tal seja viável, ensaios de carga, para detectar eventuais perdas de pressão devido a fugas, em especial, pelas juntas.

Em condutos ou, em especial, em galerias sem pressão interior, poderá verificar-se a situação inversa, ou seja, a entrada da água de percolação do aterro e o arraste do respectivo material, através de fissuras para o interior da estrutura.

Tratando-se de uma das principais causas de ruptura de barragens, a prevenção de problemas devido à percolação é um aspecto fundamental no monitoramento e inspeção da barragem.

Entre os problemas mais comuns destaca-se a colmatção dos drenos, dos tapetes drenantes ou de tubos drenantes de jusante. Nas inspeções deve observar-se não só a vazão, mas também a limpidez ou turvação da água, a qual assinala o transporte de partículas sólidas. Por outro lado, grandes variações da vazão, relativamente a situações análogas anteriores, podem indicar problemas na drenagem (**Figura 5**).



**Figura 5.** Colmatção das camadas de areia, pedrisco e brita na zona de oscilação do NA (seta) junto ao dreno de pé de uma barragem de terra pela ação de ferro-bactérias.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

O aparecimento, no paramento de jusante ou na área imediatamente a jusante, de regiões saturadas, de surgências de água, com ou sem pressão, ou de variações na vegetação que necessita de muita água, pode indiciar a existência de percolação não controlada pelo sistema de filtros e drenos (**Figura 6** e **Figura 7**).

A origem de depósitos nas valetas e nas cauleiras deve ser analisada, pois pode indiciar o transporte pela água do material do aterro ou da fundação para o exterior da barragem, o que é uma situação grave, mas pode apenas resultar da deposição de sedimentos produzidos pela erosão superficial devido à chuva. Nestes casos deve-se procurar estabelecer correlações com os fluxos de percolação e os níveis do reservatório ou com a precipitação e, quando viável, recorrer ao uso de traçadores.

A erosão interna regressiva (*piping*) é, por vezes, acompanhada da deposição de solos

finos, em forma de cone, no ponto de saída da água. Nesses casos, especialmente se for considerado que está em risco a segurança da barragem, deve-se tomar medidas imediatas, tais como (INAG, 2001):

- A construção, com sacos de areia, de um dique em redor do ponto de saída, para aumentar a altura da água acima do cone e, deste modo, diminuir o gradiente hidráulico ao longo do caminho de percolação, e reduzir o potencial de erosão interna;
- A colocação, sobre a região de saída, de um filtro de areia, eventualmente carregado com outro material, de forma a evitar a saída de mais material carregado, o que pode originar obstrução regressiva que diminua a velocidade de percolação e o fluxo.





**Figura 6.** Surgência a jusante da Barragem de Água Vermelha, SP/MG, devido a uma camada de brecha basáltica muito permeável na fundação, logo após o enchimento do reservatório, em 1978.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 7.** Surgências de água no talude de jusante e reabilitação (fotos inferiores) com maciço estabilizador do pé de jusante e tapete drenante sobre esporões afastados 10 m uns dos outros na Barragem de Jaburu I, CE.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



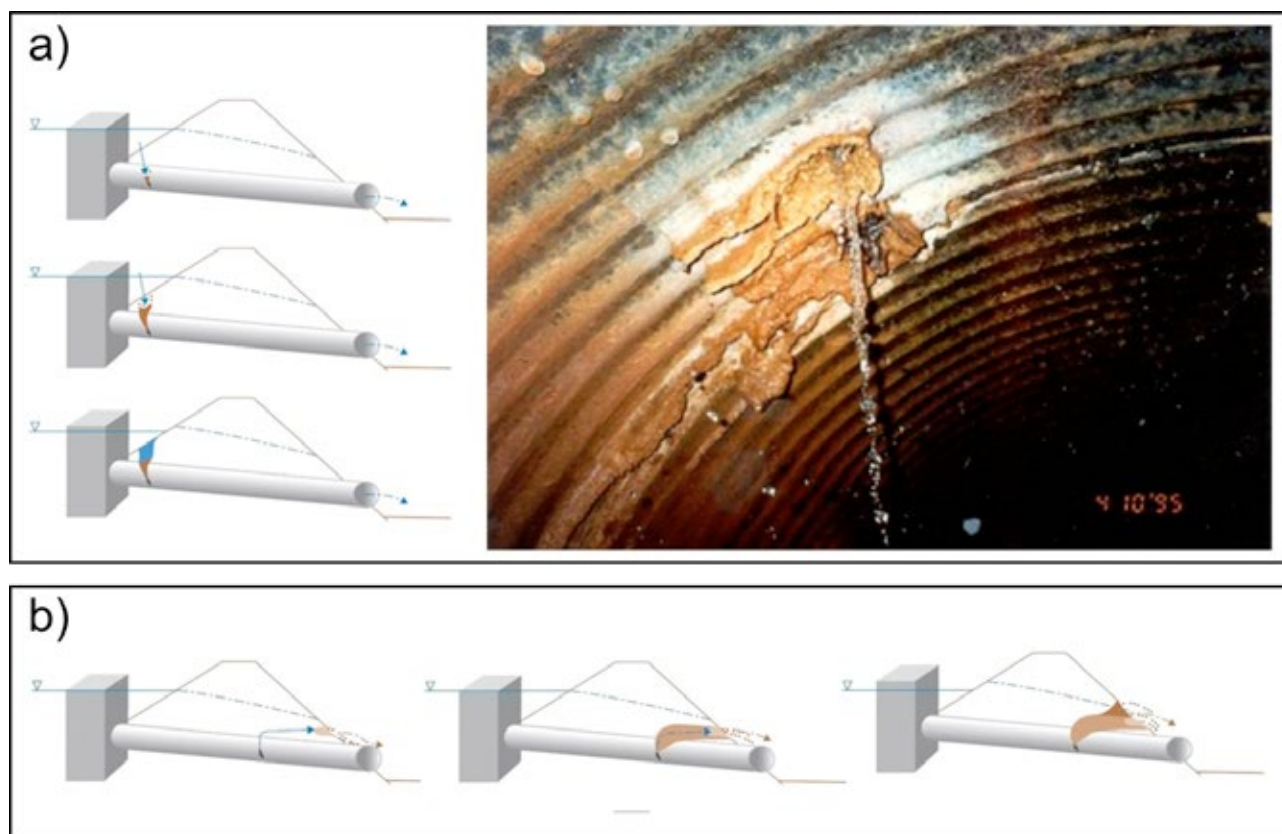
É ainda de referir que, no caso de fundações rochosas com vazios ou cavidades não devidamente tratados, a circulação da água pode arrastar material do aterro para o interior daqueles vazios ou cavidades, podendo este efeito ser apenas observado quando está já em risco a estabilidade do aterro.

Uma vez detectada a causa das anomalias associadas a problemas de percolação excessiva

ou descontrolada, será normalmente necessário um projeto de reparação.

### 3.2.4 Erosão interna devido a galeria de fundo

Quando da existência de galerias de fundo, sejam elas galerias de desvio ou galerias permanentes conectadas à tomada de água, podem ocorrer problemas associados à ocorrência de infiltrações nas juntas (**Figura 8**).



**Figura 8.** Ocorrência de *piping* a montante a) e a jusante b) de uma galeria de desvio em barragem de terra.  
Fonte: ASDSO, McCook, 2004

### 3.2.5 Fissuras

Fissuras nos aterros podem resultar de diferentes causas e apresentar diferentes aspectos, sendo comum considerar três tipos: fissuras de retração por secagem, fissuras transversais e fissuras longitudinais (INAG, 2001).

Em termos de dimensão as fissuras podem ser classificadas de acordo com o indicado no Quadro 7:

**Quadro 7.** Classificação das fissuras em barragens de aterro.

Dimensão	Abertura (mm)	Designação
pequena	$0,2 < e \leq 1$	pequena
média	$1 < e \leq 5$	significativa (trinca)
grande	$e > 5$	pronunciada (rachadura)

As fissuras devido a ressecamento resultam da retração de solos argilosos plásticos. Aparecem, com uma configuração aleatória e alveolada, na crista da barragem e no paramento de montante, em áreas áridas e quentes, quando o reservatório permanece vazio por um longo período.

Se não forem muito profundas, estas fissuras não afetam em regra a segurança da barragem, mas podem contribuir para o aparecimento de ravinamentos e, devido à infiltração da água da chuva e à perda de resistência dos materiais do aterro, podem originar zonas de instabilidade. No entanto, se forem profundas (podem atingir até

8,0 m de profundidade) podem se posicionar abaixo do nível do reservatório, com graves consequências para a estabilidade da barragem.

A inspeção da profundidade das fissuras por ressecamento deve ser feita colocando-se em seu interior uma calda com água e cal bem espessa, antes da escavação para reparação. Só assim consegue-se determinar a exata profundidade das fissuras, pois do contrário a escavação tenderá a fechar a fissura em sua base, impossibilitando a determinação de sua real profundidade.

As fissuras que ocorrem nos taludes de montante podem ser evitadas com revestimento de enrocamento e material de transição granular que evite a exposição direta do aterro da barragem às ações atmosféricas.

As fissuras transversais aparecem geralmente na crista da barragem, junto às ombreiras. Em vales largos, de seção trapezoidal, essas fissuras são principalmente verticais, em resultado da maior deformação nas seções de maior altura (particularmente quando a fundação é bastante deformável), do que nas ombreiras (se muito íngremes e rochosas). Em vales apertados, o efeito de arco pode ocasionar que a deformação da parte superior da barragem não acompanhe a parte inferior, originando fissuras sub-horizontais. Essas fissuras são especialmente perigosas quando atingem o núcleo a cotas inferiores ao nível da água no reservatório, pois podem originar um caminho de percolação concentrada através do núcleo e um eventual cenário de erosão interna (**Figura 9**).



**Figura 9.** Geometria do vale desfavorável (muito encaixado) para uma barragem de aterro, potencializando a ocorrência de efeito de arco.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

As fissuras longitudinais podem estar associadas a:

- Recalques diferenciais entre regiões adjacentes de aterro com diferentes compressibilidades, tais como solo compactado e enrocamentos, drenos verticais/inclinados e transições grosseiras, ou solos e/ou enrocamentos adjacentes);
- Trações devido a recalques excessivos e a deformações laterais do aterro;
- Escarpas devido a instabilidade de taludes.

As fissuras longitudinais, permitindo a infiltração da água no aterro e a consequente redução da sua resistência, podem contribuir para um cenário de deslizamento do talude.

A observação e classificação do nível de perigo de qualquer tipo de fissuras detectadas na barragem, nomeadamente, durante as inspeções de segurança, são muito importantes, devendo ser avaliadas a sua profundidade, largura e abertura e controlada a sua evolução. O diagnóstico das causas que conduziram à formação das fissuras é igualmente do maior interesse (**Figura 10** e **Figura 11**).

No caso das fissuras se desenvolverem até cotas inferiores ao nível da água no reservatório, o nível deve ser rebaixado para cotas seguras e realizados trabalhos de reparação da barragem. Esses trabalhos envolvem, em regra, a realização de um projeto de reparação.



**Figura 10.** Fissuras longitudinais na crista de uma barragem de terra no Brasil, instrumentada com pares de pinos.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 11.** Fissuras longitudinais na crista da barragem de terra no rio Paranapanema, causada pelos recalques da camada de solo coluvionar poroso na fundação.

Fonte: SBB Engenharia



### 3.2.6 Instabilidade dos taludes dos paramentos

A instabilidade de taludes está normalmente associada a deslizamentos, superficiais ou profundos, a deslocamentos e a fissuras (INAG, 2001).

Os deslizamentos superficiais do talude de montante, por vezes resultantes de um declive demasiado íngreme para um rebaixamento rápido do reservatório, embora não representando uma ameaça imediata à integridade da barragem, podem, no entanto, provocar a obstrução da entrada do descarregador de fundo ou das tomadas de água.

No talude de jusante os deslizamentos superficiais podem indicar uma perda de resistência por saturação do material do aterro, quer devido à escorrência superficial da água da chuva, ou à percolação através do aterro, no caso de comportamento deficiente dos filtros, drenos e transições.

Os deslizamentos devem ser observados durante as inspeções, e sua eventual evolução deve ser controlada. Devem também ser procuradas fissuras em regiões adjacentes ao deslizamento e indícios de percolação.

A correção dos deslizamentos superficiais pode ser feita com medidas de manutenção corrente, envolvendo a remoção do material deslizado com recarga de material granular, no talude de montante, e de terra vegetal e plantação de espécies vegetais autóctones, bem como com recarga de material granular no talude de jusante.

Os deslizamentos profundos constituem um nível de perigo muito grave para a segurança da barragem. São geralmente caracterizados pela formação de escarpas, de áreas protuberantes junto do pé do talude e de fissuras em forma de arco. A detecção de um deslizamento profundo deve originar imediatamente o rebaixamento do nível da água no reservatório, bem como o seu estudo, incluindo trabalhos de investigação geotécnica que fundamentem o projeto de reabilitação.



**Figura 12.** Deformação excessiva na crista da barragem indicando deslizamento do talude.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 13.** Deslizamentos no talude de montante.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 14.** Deslizamentos do talude de jusante e reparação de emergência com sacos de areia.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

### 3.2.7 Depressões e afundamentos

As depressões, circunscritas ou dispersas na superfície da barragem, podem resultar de várias causas, nomeadamente, de recalques do aterro ou da fundação que, se forem muito superiores aos previstos no projeto, podem ter como consequência reduções muito grandes da borda livre com a possibilidade de ocorrência de galgamento em período de cheia.

Os afundamentos na crista ou taludes podem ser devidos à ocorrência de erosão interna. A base dos afundamentos localizados deve ser sondada, para se confirmar a presença de vazios ou de circulação de água. Tratando-se de uma anomalia que pode ser muito grave, uma vez detectada, deve investigar-se imediatamente a causa da sua formação, de modo a avaliar adequadamente o seu nível de perigo para a segurança da barragem (**Figura 15** e **Figura 16**).



**Figura 15.** Afundamento (Sinkhole) na crista da barragem de Bennett, Canadá.  
Water Power & Dam Construction, Fev 1997 / Banco de Imagens ANA





**Figura 16.** Afundamento devido a erosão interna, observado no aterro durante os trabalhos de reabilitação da barragem do Gove, Angola.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

### 3.2.8 Algumas ações de manutenção corrente

Indicam-se em seguida algumas ações de manutenção corrente nas barragens de aterro.

#### Talude de montante – rip-rap

A anomalia associada à deterioração dos blocos de rocha de proteção do talude de montante da barragem foi referida no item 3.2.2.

A camada de enrocamento do aterro deve ser reparada logo que seja detectada a anomalia (**Figura 17**). Para esse efeito, o nível do reservatório deve ser baixado, e construída uma pequena berma na base da nova camada de proteção, para ajudar a manter a camada no local, cuja dimensão depende da espessura da camada de proteção. A camada de enrocamento deve se estender no mínimo três metros abaixo do nível mínimo de operação e dois a quatro metros acima do nível de retenção normal.



**Figura 17.** Talude de montante, com região superior sem proteção, e *rip-rap* mal colocado e deslocado, Jaburu I, CE.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Na inspeção dos taludes de montante, deve dar-se especial atenção à existência de indícios de efeitos das ondas, de formação de escarpas ou de degradação ou fragmentação do material de enrocamento, que tornem necessárias adequadas ações de manutenção ou reparação. Essas ações poderão envolver o arranque ou remoção de vegetação, recargas de material ou mesmo substituição do material degradado ou de dimensão inadequada.

### Crista da barragem

Ações de manutenção da crista da barragem são necessárias quando apresenta sinais de deterioração, tais como a existência de sulcos de rodados ou de trilhos provocados pela passagem de animais, para evitar a infiltração de água da chuva nesses sulcos.

Também o sistema de drenagem da crista, quando existente, deve ser objeto de ações de manutenção, dado que o seu não funcionamento irá contribuir para a degradação da proteção da crista, com a consequente infiltração da água da chuva (**Figura 18** e **Figura 19**).



**Figura 18.** Água acumulada no pavimento, resultante de drenagem deficiente.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 19.** Saída da água obstruída, necessitando manutenção.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

### Talude de jusante e área adjacente

A grande maioria das barragens de terra tem o talude de jusante protegido com vegetação. Este revestimento, que se estende também à área adjacente, ao pé da barragem, deve ter ações de manutenção sistemáticas (**Figura 20** à **Figura 25**).

A passagem ou pastagem de animais deve ser evitada, dado que podem contribuir para a criação de sulcos e ravinamentos (**Figura 23** e **Figura 24**).



**Figura 20.** Ação de manutenção com corte de vegetação.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



O corte sistemático da vegetação deve ser realizado, dado que a vegetação excessiva não permite a inspeção do talude, ou mesmo impede o acesso e fornece um habitat para os animais que perfuram o aterro. Devem ainda ser removidos arbustos e árvores com raízes profundas, dado que as raízes, propiciando caminhos de infiltração, podem produzir erosão interna, podendo ser uma ameaça para a integridade do aterro. O derrube, extração ou secagem do sistema de raízes das árvores pode provocar erosão interna, pelo que o processo da sua remoção pode exigir a consulta de especialistas. Recomenda-se proceder ao seu corte

antes de atingirem tamanhos significativos. As regiões do talude e do seu pé, bem como a área envolvente dos locais em que se procedeu ao corte de vegetação de grande porte, sem remoção de raízes, devem ser cuidadosamente inspecionadas com vista à detecção de sinais de percolação.

Formigueiros, tocas e túneis produzidos por animais podem ser perigosos, devido ao enfraquecimento do aterro e, principalmente, à facilidade de infiltração da água da chuva, propiciando eventuais fenômenos de erosão interna (Figura 22).



**Figura 21.** Talude de jusante da barragem com deslizamentos superficiais.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 22.** Formigueiros no talude de jusante.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 23.** Erosão provocada pela água da chuva, correndo em caminhos abertos por pessoas e animais.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 24.** Gado circulando e pastando na região da ombreira.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 25.** Ação de manutenção com reposição de cobertura vegetal.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Em regiões áridas, onde a vegetação seca e desaparece, poderão formar-se sulcos ou ravinamentos por erosão superficial, devido à ação da chuva não dispondo de uma adequada drenagem. Essas áreas poderão ser protegidas por uma nova vegetação com espécies adequadas, de acordo com projeto desenvolvido por especialistas.

Outro tipo de proteção do talude de jusante, sobretudo em regiões áridas, é a proteção com material granular, em geral, com enrocamento. Neste caso é importante que os blocos de

rocha estejam adequadamente dimensionados, tendo em atenção o tipo de material do aterro e da camada ou camadas de transição, de modo a não haver arraste desses materiais, por erosão, devido à ação da chuva. Outra condição fundamental é a existência de um sistema de drenagem superficial, na crista da barragem e nas bermas, que permita a recolha das águas pluviais, de modo a evitar que estas circulem pelos taludes. Esse material granular pode resultar da exploração de cascalhos de terraços (**Figura 26**).



**Figura 26.** Talude de jusante revestido com cascalho (Barragem de Aracoiaba, CE).  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

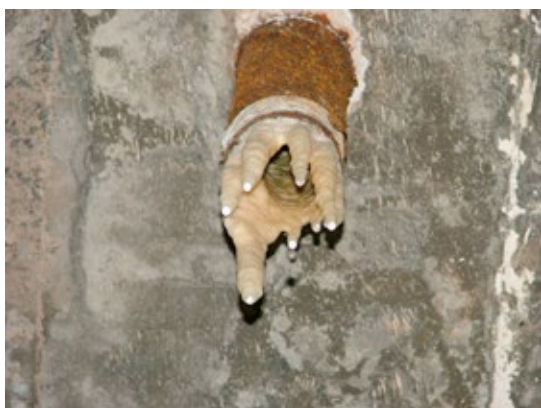
A principal ação de manutenção corrente consiste na manutenção do sistema de drenagem superficial da crista e das bermas. Essa ação contribui de forma significativa para evitar grandes e dispendiosas reparações.

### 3.3 MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS DE CONCRETO

#### 3.3.1 Principais anomalias

As principais anomalias que têm sido observadas nas barragens de concreto podem ser classificadas da seguinte forma (ICOLD, 1994):

- As que afetam as fundações destas obras, relacionadas, nomeadamente: 1) com a falta de resistência às ações permanentes e repetidas; 2) com a degradação das cortinas de impermeabilização e dos sistemas de drenagem (**Figura 27** e Figura 28); e 3) com fenômenos de erosão e de dissolução, em especial dos materiais de enchimento das superfícies de menor resistência dos maciços rochosos;
- As que afetam o corpo das barragens, relacionadas, nomeadamente: 1) com a falta de resistência às ações permanentes e repetidas e, para obras situadas em regiões de clima frio ou a grande altitude, as ações do gelo e degelo; 2) com a degradação do concreto devido a reações químicas entre os seus componentes que originam expansões diferenciais (reações com sulfatos e álcali-agregados) ou entre os componentes do concreto e elementos do meio ambiente (águas puras e agressivas); 3) com comportamentos anômalos de fluência ou relaxação;
- As que afetam outros elementos estruturais, nomeadamente: 1) as juntas de concretagem e de contração e mesmo juntas especiais (juntas perimetrais, entre o pulvino ou o plinto e o corpo das barragens, etc.); e 2) degradação dos pontos de vista de impermeabilização e resistência, dos elementos de proteção do paramento de montante, em especial em barragens antigas.



**Figura 27.** Dreno parcialmente obstruído por crosta de carbonato.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 28.** Dreno de uma barragem em CCR parcialmente obstruído pela deposição de carbonato de cálcio.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



Estas anomalias podem ser detectadas através dos sistemas de monitoramento instalados nas barragens e suas fundações, e manifestam-se também, em muitos casos, pelo desenvolvimento de importantes deformações permanentes, movimentos diferenciais entre blocos, fissuras e grandes passagens de água. A observação visual destes indícios de anomalias é do maior interesse, pois contribui para a sua detecção na fase inicial do processo de desenvolvimento, permitindo tomar medidas adequadas com vista ao seu estudo

e controle por intermédio de medidas de manutenção corrente, bem como a programação, em tempo, de uma eventual grande revisão ou reparação.

No Quadro 8 resumem-se as ações de manutenção mais frequentes em barragens de concreto.

Nos itens seguintes referem-se alguns aspectos destas observações visuais e correspondentes medidas de manutenção corrente.

**Quadro 8.** Manutenção das barragens de concreto.

1. Principais anomalias:
Movimentos diferenciais entre blocos.
Surgências.
Fissuras.
2. Ações de manutenção corrente:
Tratamentos pontuais do concreto (fissuras, delaminação, ou corrosão).
Tratamento pontual das fundações (furos para tratamentos de injeção ou para drenagem).
Substituição de elementos danificados (canaletas de drenagem da crista da barragem, parapeitos, poços, etc.).
Eliminação de vegetação na crista da barragem ou no paramento de jusante.
Desmatamento das ombreiras e do pé de jusante.
Reparação dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da barragem.

### 3.3.2 Movimentos diferenciais entre blocos

As deformações permanentes das barragens de concreto manifestam-se em geral por movimentos nas juntas. Esses movimentos, controlados nas barragens de grande porte por instrumentação adequada, podem por vezes ser observados em áreas acessíveis da crista, dos paramentos e das galerias. A detecção desses movimentos é particularmente importante na vizinhança de equipamentos hidromecânicos, como as comportas, cujo funcionamento pode ser posto em causa.

O controle do funcionamento das comportas requer especial cuidado no caso de barragens afetadas por reações álcali-agregado (RAA), dado que as expansões que se desenvolvem no concreto podem afetar o funcionamento destes equipamentos (Figura 29).

A evolução destes movimentos diferenciais entre blocos pode ser controlada por intermédio de testemunhos colocados nas juntas.

### 3.3.3 Surgências

Em algumas barragens são instalados dispositivos de drenagem que permitem conduzir a água infiltrada no corpo das obras para galerias ou para áreas a jusante, limitando assim a instalação de subpressões. No entanto, podem por vezes ocorrer percolações não controladas através do corpo da barragem. Estas passagens de água nas estruturas de concreto ocorrem em regra através de juntas deficientemente tratadas, tais como as juntas de contração, de concretagem ou de contato entre materiais diferentes (nomeadamente entre o concreto e o maciço de fundação ou entre o concreto e maciços de aterro) ou ainda através de áreas de concreto deficientemente vibrado. A manutenção corrente das estruturas de concreto deve, portanto, incluir a limpeza periódica de drenos ou sistemas de drenagem (**Figura 30**).



**Figura 29.** Roçamento da comporta com o pilar do vertedouro da barragem de concreto de pedra, BA afetada por RAA.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 30.** Infiltração com carbonatação através de uma junta entre camadas de concretagem no paramento de jusante de uma barragem gravidade-aliviada.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

As infiltrações a que correspondam fluxos e velocidades elevados devem ser tratadas, dado que contribuem para a deterioração do concreto, por lavagem dos materiais mais finos, e potenciam o desenvolvimento de reações químicas que estão na origem de diversas anomalias. A forma mais eficaz de tratar estas infiltrações consiste na procura e selagem da sua entrada. Se através das inspeções de segurança se concluir pela necessidade de uma reparação deste tipo, poderá haver necessidade de esvaziar o reservatório. O tratamento mais frequente é a injeção dessas juntas com calda de produtos impermeabilizantes.

Nas fundações das barragens de concreto são em regra realizados tratamentos com vista à sua consolidação, impermeabilização e drenagem. Os dispositivos de impermeabilização e drenagem permitem o controle da percolação através da fundação e a redução das subpressões nas estruturas. A coleta das águas de percolação do sistema de drenagem e a análise do seu volume e características constitui um aspecto importante do controle de segurança das obras. Em alguns casos,

pode ser necessário recorrer à utilização de traçadores, para averiguar a proveniência da água recolhida nos drenos, ou a análises químicas, quer da água quer dos materiais por ela carreados. É assim fundamental fazer a manutenção corrente do sistema de drenagem e recolha das águas percoladas, desobstruindo drenos ou caleiras entupidos.

Os programas de manutenção das barragens de concreto devem incluir a limpeza regular de drenos, bem como a manutenção dos sistemas impermeabilizantes e dos equipamentos de bombeamento.

### 3.3.4 Fissuras

Nas barragens de concreto observam-se frequentemente fissuras de diversos tipos. As variações diárias da temperatura, envolvendo apenas uma área superficial das estruturas e não impondo uma alteração significativa dos deslocamentos destas, originam em regra uma fissuração superficial que não é relevante para as condições de segurança das estruturas. Podem igualmente desenvolver-se fissuras

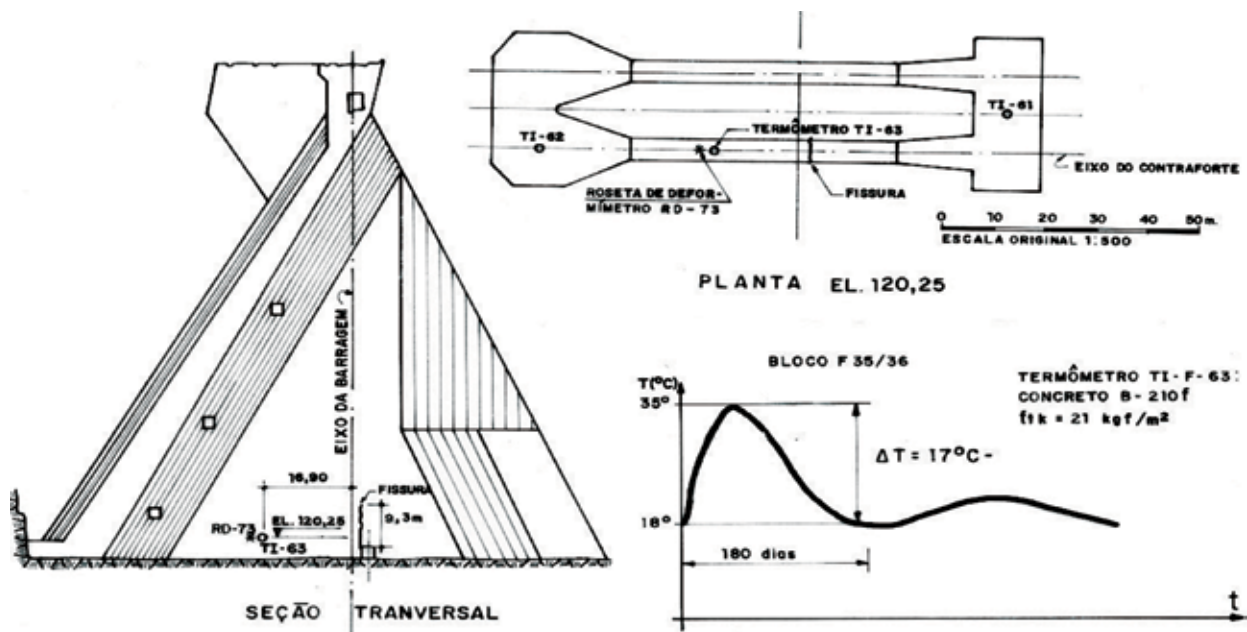
em áreas localizadas devido a pequenas singularidades nessas áreas, que não afetam as condições de segurança das barragens (**Figura 31** e **Figura 32**).

No entanto, podem também desenvolver-se fissuras nas barragens de concreto associadas a deficiências do projeto, ou de construção, ou mesmo do envelhecimento das estruturas

que, em regra, afetam essencialmente as condições de funcionamento (nomeadamente, o funcionamento de comportas e outros equipamentos), dão origem ao aparecimento de surgências e, ao longo do tempo, podem afetar as condições de segurança das barragens. Assim, é importante identificar estas fissuras e controlar o seu desenvolvimento.



**Figura 31.** Fissura subvertical de origem térmica ( $e = 2,0$  mm), no paramento de jusante de uma barragem tipo gravidade.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 32.** Fissura vertical de origem térmica observada ao final do período construtivo em contraforte da barragem de Itaipu, provocada por uma queda de temperatura de  $17^{\circ}\text{C}$ .  
(Fonte: SBB Engenharia)



As fissuras que se desenvolvem nas barragens de concreto podem ser classificadas de acordo com a respectiva abertura nos quatro tipos indicados no Quadro 9.

**Quadro 9.** Classificação das fissuras em barragens de concreto.

Tipo	Abertura (mm)	Designação	Tratamento recomendado
I	$e \leq 0,2$	Fissura capilar	Nenhum
II	$0,2 < e \leq 1,0$	Fissura pequena	Nenhum
III	$1,0 < e \leq 5,0$	Fissura significativa (trinca)	Injeção epóxi se houver implicação estrutural (*)
IV	$e > 5,00$	Fissura pronunciada (rachadura)	Injeção epóxi se houver implicação estrutural (*)

(\*) A injeção poderá ser com calda de cimento, se envolver fissuras na base de vigas.

O tratamento recomendado para cada um destes tipos de fissura é igualmente indicado no Quadro 9.

### 3.3.5 Deterioração devido a expansões associadas a reações químicas – Reatividade álcali-agregado (RAA)

Os processos expansivos associados a algumas reações químicas, entre os elementos que constituem o concreto, originam deformações e fissuras no concreto que podem afetar as condições de funcionalidade e mesmo de segurança das estruturas. Estes processos são em geral agravados com a presença da água que, por sua vez, é facilitada pela abertura das fissuras. Nesses casos torna-se necessária uma avaliação por especialistas e o recurso a inspeções e ensaios.

Em particular, nas últimas décadas, têm sido constatados vários casos de barragens de concreto afetadas pela reatividade álcali-agregado

(RAA), decorrente da reação entre os álcalis do cimento com os minerais reativos presentes em algumas rochas utilizadas como agregado. Passa-se a observar uma lenta expansão do concreto ao longo do tempo, causando uma fissuração tipo mapa (**Figura 33**), assim como pode-se observar em alguns locais das galerias de drenagem a exsudação do gel produzido pela reação, conforme mostrado na **Figura 34**.

A expansão do concreto entre ombreiras em rocha pode provocar altas compressões no concreto, no sentido longitudinal da barragem, podendo levar à ruptura do concreto por altas tensões de compressão (**Figura 35**). As expansões originam importantes deslocamentos permanentes de subida da crista das barragens e, no caso de barragens em arco, também deslocamentos permanentes dos arcos para montante, tal como observado na barragem representada na **Figura 36** (PEDRO, 2001).



**Figura 33.** Fissura tipo “mapa” provocadas pela RAA- Reatividade Álcali-Agregado na parede interna de uma eclusa, no Brasil.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 34.** Exsudação de gel álcali-sílica na parede de drenagem de uma barragem afetada pela RAA.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 35.** Ruptura do concreto por altas tensões de compressão, na crista do vertedouro da barragem de Mactaquac, no Canadá, afetada pela RAA.  
 Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 36.** Fissuração numa barragem afetada por um processo expansivo do concreto da barragem do Alto Ceira, Portugal.  
 Fonte: PEDRO, 2001 / Banco de Imagens ANA



### 3.3.6 Algumas ações de manutenção corrente

Na sequência das inspeções ou por intermédio dos resultados da instrumentação instalada na barragem, a realização de ações de manutenção corrente pode ser necessária, com vista a controlar o envelhecimento das obras e a necessidade de recorrer a grandes reparações. Como exemplos, podem referir-se:

- Tratamentos pontuais do concreto, tais como fissuras, delaminação, ou corrosão;
- Tratamento pontual das fundações para reduzir fluxos elevados ou instalação de furos de drenagem adicionais, para reduzir as subpressões;
- Pequenas reparações com substituição de elementos danificados, nomeadamente, nos sistemas de drenagem das águas das chuvas na crista da barragem em caixas, poços, parapeitos, etc.;
- Eliminação da vegetação (musgos, líquens ou outras espécies vegetais) na crista da barragem ou no paramento de jusante, o que pode indicar a existência de água a contribuir para a degradação do concreto ou das juntas.

O desmatamento das ombreiras e do pé de jusante das barragens é uma ação importante porque facilita a observação de anomalias, nomeadamente, de fissuras e surgências, assim como a manutenção dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da barragem.

## 3.4 MANUTENÇÃO DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES

### 3.4.1 Principais anomalias hidráulico-operacionais

As estruturas de concreto dos órgãos extravasores, além da deterioração específica das obras de concreto, referida no item anterior, estão sujeitas a anomalias associadas ao comportamento hidráulico-operacional, que podem pôr em risco a funcionalidade e segurança das obras.

Estas anomalias de comportamento hidráulico-operacional, relacionadas com escoamentos da água de alta velocidade e turbulência, podem afetar a estrutura e o equipamento hidromecânico, assim como as áreas da vizinhança das estruturas.

As anomalias mais frequentes verificam-se:

- Na estrutura de entrada de vertedouros, motivadas pelo acréscimo de velocidade do escoamento, podendo diminuir a vazão, instabilizar taludes ou muros-guia e ser fonte de fenômenos abrasivos, pelo arrastamento de materiais para o interior da estrutura;
- Nas áreas adjacentes aos muros laterais ou taludes dos vertedouros, devido ao galgamento destes muros causado, nomeadamente, pela ondulação que se gera em regime rápido quando há divergência ou convergência das fronteiras laterais do escoamento e pelo alteamento da superfície livre motivado pela emulsão com o ar;
- Na área de restituição de vertedouros e de descarregadores de fundo, motivadas por energia residual do ressalto hidráulico, impacto de jatos, correntes de retorno, ondulação, projeções de água de bacias de dissipação (“splash”) e “spray” proveniente de jatos (**Figura 37**).

No Quadro 10 resumem-se os principais tipos de manutenção dos órgãos extravasores.

**Quadro 10.** Manutenção dos órgãos extravasores.

1. Principais anomalias hidráulico-operacionais:
Nos terrenos adjacentes:
Erosão na estrutura de entrada de vertedouros, e instabilização de taludes ou muros, arrastamento de materiais para o interior da estrutura extravasora.
Erosão nas zonas adjacentes aos muros laterais dos vertedouros com arraste de materiais.
Erosões na área de restituição de vertedouros.
Nas estruturas de concreto:
Erosões ou deteriorações do concreto.
Danificação das blindagens.
Levantamento da fundação das lajes nas bacias de dissipação.
2. Ações de manutenção corrente:
Limpeza das estruturas dos vertedouros, retirando os materiais arrastados pelo escoamento ou caídos das margens adjacentes.
Recolocação dos enrocamentos deslocados ou reforço do enrocamento existente na proteção de taludes, como seja a área lateral dos canais do vertedouro.
Limpeza da vegetação e tratamento das juntas, para evitar infiltrações, nomeadamente, nas bacias de dissipação.
Tratamento das áreas pontuais do concreto, com sinais de deterioração ou cavidades.
Tratamento de fissuras em tubos de arejamento de comportas para evitar infiltrações.
Manutenção da drenagem superficial adjacente aos muros laterais do canal do vertedouro.



**Figura 37.** Erosão do talude do canal extravasor da descarga de fundo/tomada de água na barragem de Aracoiaba, CE.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

As erosões no concreto das estruturas dos órgãos extravasores, podendo também danificar os equipamentos, estão em regra associadas a fenômenos de cavitação, abrasão, ressalto hidráulico no interior de galerias, deficiências de arejamento, ou pressões dinâmicas em bacias de dissipação.

A erosão por cavitação pressupõe o desenvolvimento de elevadas velocidades da água,

assim como um tempo mínimo de ocorrência do fenômeno, pelo que é pouco provável a sua ocorrência em estruturas associadas a pequenos desníveis ou nas estruturas que funcionem esporadicamente e por curtos períodos; pode, no entanto, verificar-se em soleiras submetidas a cargas altas, associada a irregularidades nos canais dos vertedouros, nos blocos de bacias de dissipação e em trampolins (**Figura 38** e **Figura 39**).



**Figura 38.** Erosão por cavitação a jusante dos blocos de dissipação no vertedouro da barragem de Porto Colômbia SP/MG.

Fonte: CBDB / Banco de Imagens ANA



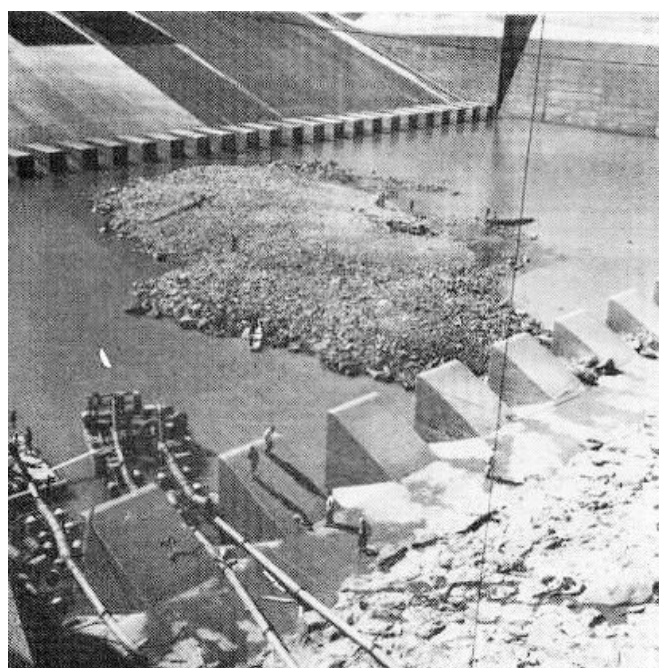


**Figura 39.** Erosão por cavitação junto aos blocos defletores na calha do vertedouro de Ilha Solteira, SP/MS.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

A erosão por abrasão com materiais provenientes do reservatório ou das ombreiras adjacentes ao canal do vertedouro ou à bacia de

dissipação pode erodir o concreto e danificar as blindagens (**Figura 40**).



**Figura 40.** Erosão por abrasão, pela ação de blocos de rocha, no vertedouro da barragem de Marimbondo, SP/MG.

Fonte: CBDB – XV SNGB, 1983 / Banco de Imagens ANA



A ocorrência de ressalto hidráulico no interior de galerias pode originar esforços anômalos, nomeadamente, por ação das massas de ar que podem ficar aprisionadas. A ocorrência destes ressaltos pode resultar de deficiente dimensionamento hidráulico, ou pela subida não prevista dos níveis da água a jusante (resultante, por exemplo, da obstrução dos canais de restituição por vegetação ou por blocos provenientes das margens).

As deficiências de arejamento (associadas, nomeadamente, a lâminas descarregadas com desenvolvimento apreciável, a vertedouros em tulipa, a galerias e comportas ou válvulas) podem provocar fenômenos de cavitação, vibrações, bem como a diminuição da capacidade de vazão em virtude de afogamento.

As flutuações de pressão nas bacias de dissipação, associadas ao ressalto hidráulico, podem propagar-se, através das juntas, para a fundação das lajes e provocar o levantamento destas.

Deve ainda referir-se que o funcionamento dos equipamentos hidromecânicos pode originar importantes vibrações ou vórtices. As vibrações em comportas ou mesmo em elementos esbeltos de concreto, motivadas, nomeadamente, por deficiências de arejamento, podem originar deterioração. Os vórtices afetam a funcionalidade e podem potenciar fenômenos de cavitação ou abrasão.

### 3.4.2 Obstrução do leito a jusante

Em algumas barragens, o funcionamento dos vertedouros com vazões significativas é muito pouco frequente. Tal fato pode levar a que se desenvolva vegetação, de porte apreciável e em quantidade significativa, no leito a jusante da estrutura de dissipação de energia. Essa vegetação provoca a elevação do nível de água a jusante da obra de dissipação de energia.

A existência de vegetação pode ser grave para as condições de funcionamento nos casos de bacias de dissipação de energia por ressalto e, muito particularmente, de conchas de rolo (*roller bucket*). No primeiro caso, a elevação significativa do nível a jusante implicará que

o ressalto hidráulico ocorra parcialmente no canal a montante, o que poderá provocar danos nas lajes da soleira devido às ações hidrodinâmicas decorrentes do escoamento macroturbulento do ressalto hidráulico. No segundo caso, a elevação do nível da água poderá provocar uma sobre-escavação no leito imediatamente a jusante da concha e a consequente deposição do material escavado a jusante (ação do rolo de fundo), o que contribuirá ainda para o aumento dos níveis de água.

No caso de vertedouros em trampolim, a subida dos níveis a jusante por obstrução do leito não acarreta, em regra, prejuízo para o bom funcionamento do vertedouro, pelo fato da saída do trampolim se encontrar significativamente acima do nível de jusante correspondente à vazão de projeto. Tal subida poderá, no entanto, afetar o funcionamento de outros órgãos extravasores, nomeadamente, do descarregador de fundo (descarga de fundo).

### 3.4.3 Erosão do leito a jusante

A erosão do leito a jusante do vertedouro, eventualmente resultante do seu próprio funcionamento, pode apresentar os seguintes problemas (INAG, 2001):

- Instabilização de estruturas adjacentes;
- Abaixamento dos níveis de água a jusante, no caso de não ocorrer a formação de barra a jusante da área de escavação.

A erosão do leito pode ocorrer imediatamente a jusante do vertedouro ou em áreas mais afastadas, quando na jusante do vertedouro exista um alargamento do leito que permita a formação de correntes de recirculação. As erosões provocadas por estas correntes podem também constituir um importante fator de instabilidade de estruturas mais afastadas do vertedouro.

Outro aspecto a salientar prende-se ao fato das erosões a jusante dos vertedouros serem por vezes difíceis de observar, devido aos níveis freáticos serem frequentemente elevados

acima das soleiras das bacias de dissipação, mesmo em épocas de estiagem. Nestes casos, tal observação pode requerer meios de bombeamento vultuosos, por vezes difíceis de mobilizar, ou recurso a equipes de mergulho para observação subaquática.

#### 3.4.4 Algumas ações de manutenção corrente

Algumas ações de manutenção corrente contribuem de forma significativa para minorar os efeitos das anomalias associadas ao funcionamento dos órgãos extravasores, nomeadamente:

- Limpeza das estruturas dos vertedouros, retirando os materiais arrastados pelo

escoamento ou caídos das margens adjacentes (**Figura 41**);

- Recolocação dos enrocamentos deslocados ou reforço do enrocamento existente na proteção de taludes, como seja a área lateral dos canais do vertedouro;
- Limpeza da vegetação e tratamento das juntas, para evitar infiltrações, nomeadamente, nas bacias de dissipação (**Figura 42**);
- Tratamento das áreas pontuais do concreto, com sinais de deterioração ou cavidades;
- Tratamento de fissuras em tubos de arejamento de comportas para evitar infiltrações;
- Manutenção da drenagem superficial adjacente aos muros laterais do canal do vertedouro, nos casos em que exista.



**Figura 41.** Queda de blocos de rocha do talude lateral sobre a calha do vertedouro da barragem de Jaguari da SABESP, SP.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 42.** Tratamento de juntas da soleira tipo Creager, Jaburu I, CE.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

A área de restituição de vertedouros e de descarregadores de fundo deve manter-se, tanto quanto possível, limpa de vegetação, de modo a não prejudicar o livre curso do escoamento.

### 3.5 MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

#### 3.5.1 Estratégias de manutenção

A manutenção do equipamento hidromecânico destina-se a garantir as suas condições de operacionalidade e segurança. Esta garantia é essencial para a segurança da barragem, nomeadamente, no que respeita ao equipamento dos seus órgãos de segurança, como é o caso dos vertedouros.

Assim, a escolha da estratégia de manutenção do equipamento a utilizar deve considerar a sua quantidade e complexidade e, principalmente, a sua importância na operação e na segurança da barragem. Para facilitar a escolha da estratégia de manutenção que melhor permita cumprir os objetivos acima referidos, apresenta-se em seguida uma breve explicação das diferentes abordagens existentes, nomeadamente, dos tipos de manutenção corretiva, preventiva, preditiva e melhorativa ou engenharia de manutenção.

- Manutenção corretiva

A manutenção corretiva surge quando o equipamento falha ou quando o seu funcionamento

desce abaixo de uma condição aceitável de operacionalidade, tendo de ser reparado para que recupere as condições iniciais. Essa manutenção pode ser de dois tipos:

- Não planejada (ou de emergência) – quando a correção da falha é feita imediatamente após a sua ocorrência, por não se dispor de tempo para preparar uma adequada correção do equipamento, que pode apresentar danos graves; a esse tipo de manutenção estão associados custos elevados e risco de inoperacionalidade prolongada dos equipamentos;
- Planejada – quando a falha não implica a inoperacionalidade total do equipamento, podendo ser corrigida por decisão gerencial, após a elaboração de um planeamento de intervenção ou pela decisão de operar até a quebra; a eficácia deste tipo de manutenção é função da qualidade da informação obtida no acompanhamento do equipamento.

A manutenção não planejada, como se referiu, pode implicar custos elevados e pode conduzir a tempos elevados de inoperacionalidade dos equipamentos, nomeadamente, devido a atrasos na aquisição de peças necessárias à reparação.

Dado que a inoperacionalidade dos equipamentos pode pôr em risco a segurança da barragem, as ocorrências de manutenção corretiva



que impliquem inoperacionalidade dos órgãos de segurança da barragem devem ser evitadas, agindo antes da ocorrência da avaria, por intermédio de uma estratégia proativa, com uma manutenção preventiva.

- Manutenção preventiva

A manutenção preventiva abrange toda a ação de inspeção regular, com o objetivo de identificar possíveis falhas, bem como todas as operações de manutenção de rotina, visando a não ocorrência de emergências e, assim, garantindo que não haja interrupções inesperadas da operacionalidade do equipamento. Essa manutenção visa, portanto, reduzir/eliminar as falhas e/ou avarias, obedecendo a um planejamento de intervenções periódicas, tanto mais eficaz quanto menores forem os períodos de intervenção.

No entanto, a tendência para reduzir os períodos das intervenções pode conduzir a uma eventual troca desnecessária de peças ou à reparação de equipamentos que não estejam avariados. Contudo, apesar dos seus custos, a manutenção preventiva evita a ocorrência de reparações de emergência com os equipamentos, as quais comportam custos habitualmente superiores. Note-se, porém, que devido à evolução técnica dos equipamentos e dos meios de análise, os custos da manutenção preventiva podem ser otimizados, devendo evoluir-se progressivamente para uma estratégia de manutenção preditiva.

- Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é um processo de manutenção de equipamento baseado na detecção por intermédio do monitoramento de parâmetros adequados, à condição dos equipamentos que podem assim ser utilizados até que sejam atingidos determinados limites de deterioração. Essa manutenção, auxiliada no diagnóstico dos problemas, contribui para evitar avarias inesperadas. O diagnóstico deve ser apoiado em meios tecnológicos adequados, nomeadamente, análise de vibrações, termografia e espectrometria.

O custo da manutenção preditiva é otimizado pelo fato de a troca de componentes ser

apenas realizada no momento mais adequado, antes que a avaria ocorra, mas sem que a substituição seja extemporânea, como poderia acontecer na manutenção preventiva. Na realidade, na manutenção preventiva os trabalhos de substituição de componentes são efetuados em intervalos de tempo pré-determinados, enquanto que na manutenção preditiva, o que se pré-determina são as condições de desgaste do equipamento. Assim, neste tipo de manutenção os equipamentos podem ser usados por quase toda a sua vida útil, sem que se verifique alguma avaria grave inesperada e sem pôr em causa a operação do empreendimento.

No que respeita ao planeamento das inspeções ao equipamento, a manutenção preditiva mantém as mesmas exigências de calendarização rigorosa da manutenção preventiva, sendo que quando da aproximação de um componente ao final de sua vida útil, as inspeções terão de ser mais frequentes.

- Manutenção melhorativa ou engenharia de manutenção

A manutenção melhorativa, também designada por engenharia de manutenção, consiste no aperfeiçoamento, contínuo e metódico, do funcionamento dos equipamentos, com o objetivo de otimizar a sua qualidade de serviço.

A manutenção melhorativa deve ser adotada como complemento da preditiva sempre que a importância dos equipamentos, aspectos de segurança e a evolução tecnológica o recomendem. Exemplo deste tipo de manutenção é a substituição de um equipamento por outro diferente, mas que cumpra o mesmo objetivo, caso o equipamento existente seja alvo frequente de manutenção e/ou falhas.

A modernização do equipamento, no âmbito das ações de manutenção, deve ter em consideração aspectos técnicos e económicos, bem como a evolução tecnológica e o comportamento do equipamento.

Na **Figura 43** ilustram-se os tipos de manutenção.

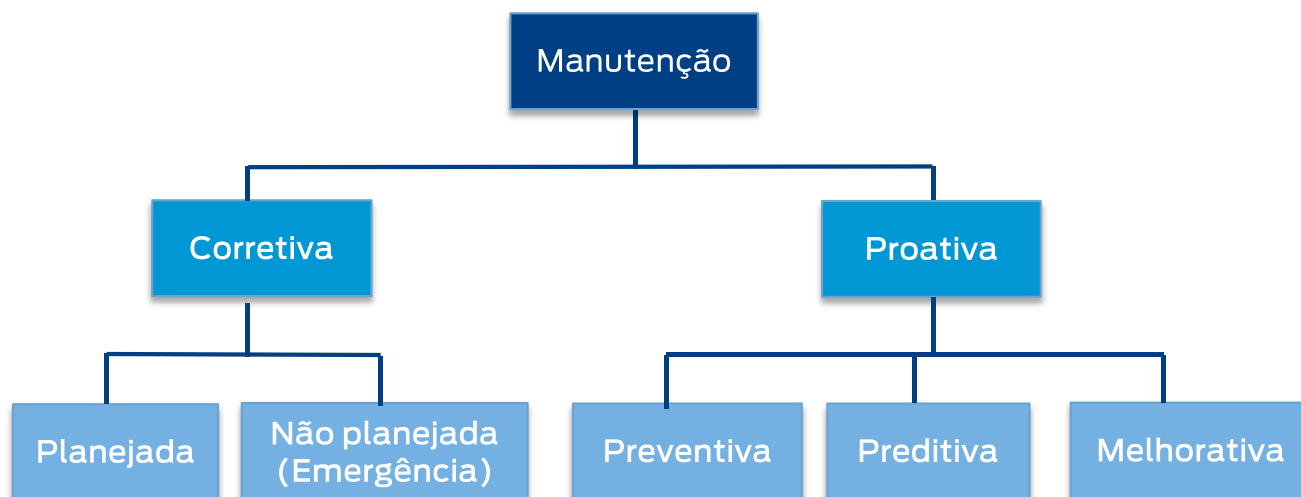


Figura 43. Estratégias de manutenção.

### 3.5.2 Plano de manutenção – Manuais O&M

O Manual de Operação e Manutenção (Manual O&M) de cada equipamento/instalação que compõe a barragem é um dos aspectos importantes do seu plano de manutenção. Estes Manuais O&M, da autoria do fornecedor do equipamento, devem respeitar as normas e regulamentos específicos, nacionais e internacionais. Estes manuais devem também incluir disposições relativas à segurança no trabalho, proteção da saúde e do meio ambiente, bem como o manuseamento de materiais perigosos e disponibilização/uso de equipamento pessoal de proteção.

O Manual O&M deve ainda ser completado com disposições relativas à organização do trabalho, aos procedimentos a seguir, ao pessoal operador do equipamento, e à obrigatoriedade de supervisão e comunicação de ocorrências.

O Manual O&M deve estar sempre acessível no local de utilização do equipamento/instalação, e deve ser atualizado sempre que se verificarem alterações/substituição de equipamentos ou seus componentes.

Cada Manual O&M contém informação importante sobre o equipamento em causa, tal como a sua utilização correta, segura e adequada. O cumprimento dessas instruções permite evitar situações comuns de perigo, minimizar custos de reparação, assim como otimizar a disponibilidade e a durabilidade da instalação.

No entanto, o Manual O&M não dispensa os conhecimentos técnicos, a formação e o treinamento do pessoal operador, pois pode não conter todas as medidas de precaução, os procedimentos de segurança e as instruções para o funcionamento da barragem.

No Quadro 11 sintetiza-se o conteúdo do Manual O&M de cada equipamento.



**Quadro 11.** Manual O&M de cada equipamento.

Autoria:
Fornecedor do equipamento.
A quem se destina:
Operadores do equipamento.
Equipe de manutenção, inspeção e reparação.
Onde deve estar:
No local de utilização.
Devem incluir:
Disposições sobre:
Segurança no trabalho, disponibilização/uso de equipamento pessoal de proteção.
Proteção da saúde e do meio ambiente.
Manuseamento de materiais perigosos.
Organização das equipes de trabalho.
Instruções de utilização.
Procedimento de comunicação de ocorrências.
Atualizado:
Quando houver alterações/substituição de equipamentos ou componentes.

O Manual O&M está direcionado para o operador e para o pessoal que intervém no funcionamento e na reparação do mesmo (manutenção, inspeção e reparação). Assim, deve ser estudado atentamente pelo pessoal que irá operar o equipamento/instalação, nomeadamente, pelo pessoal que utiliza o equipamento/instalação apenas pontualmente, antes de iniciar os trabalhos de manutenção ou reparação.

### 3.5.3 Equipamento hidromecânico e eletromecânico

O equipamento hidromecânico de uma barragem abrange um amplo conjunto de órgãos e componentes distintos, havendo, por isso, uma grande diversidade de trabalhos de manutenção. De acordo com a sua função e segundo o seu tipo, enumeram-se seguidamente os equipamentos que podem existir nas barragens.

De acordo com a sua função, referem-se:

- Comportas: 1) de serviço, para regulação permanente de vazões ou níveis de água, designadamente, comportas do vertedouro, do descarregador de fundo (descarga de fundo) ou meio fundo, das eclusas e comportas automáticas de controle de enchentes; 2) de emergência, para utilização esporádica na interrupção do fluxo d'água, designadamente, comportas de tomada de água e comportas instaladas a montante de condutos forçados ou de descargas de fundo; 3) comportas de manutenção, para utilização esporádica, de modo a permitir a manutenção de outros equipamentos;
- Condutos: 1) forçados, de tomada d'água; 2) de descarga de fundo (ou meio fundo); 3) outros condutos;
- Válvulas, veios de elevação e outros.

Segundo o seu tipo referem-se:

- Comportas de vagão, de segmento e de setor; comportas ensecadeira e outras (ver norma NBR-7259/2001 – Comportas Hidráulicas – Terminologia para classificação detalhada);
- Grades: fixas e móveis;
- Condutos, válvulas, meios de elevação e outros.

No que respeita às comportas, órgãos principais dos equipamentos hidromecânicos, referem-se ainda os seus diferentes componentes, nomeadamente:

- Tabuleiro, elemento móvel que serve de anteparo à passagem da água, o qual é constituído por: estrutura metálica, responsável pelo anteparo da água; vedações,

responsáveis pela estanqueidade; elementos de apoio dos tabuleiros nas peças fixas (rodas, roletes, cutelos, etc.) responsáveis pela transmissão dos esforços às peças fixas; e elementos de guiamento dos tabuleiros nas ranhuras (sapatas, rodas, guias, molas, etc.), responsáveis por manter os tabuleiros guiados durante os movimentos de abertura, fecho e extração;

- Peças fixas, componentes embutidos no concreto, responsáveis pelo alojamento dos tabuleiros, apoio das vedações, guiamento dos tabuleiros, e pela redistribuição para o concreto das cargas atuantes sobre a comporta;
- Mecanismo de manobra, componente responsável pela abertura, fecho e extração das comportas, que pode ser de diferentes tipos, dependendo, entre outros fatores, da função da comporta. Referem-se, como principais tipos: 1) atuador óleo-hidráulico, composto por servomotor, posto de manobra e quadro elétrico de comando; 2) diferencial elétrico, por corrente ou cabo de aço; e 3) grupos moto-redutores.

O plano de manutenção deve abordar todos os componentes elétricos do equipamento hidromecânico, especificando as particularidades, que podem ser distintas, de cada um deles. Assim, a título exemplificativo, enquanto a manutenção das peças fixas de uma ensecadeira pode ter uma frequência de 15 a 20 anos, o circuito hidráulico de atuação de uma comporta de serviço do vertedouro deve ter inspeções mensais e intervenções de manutenção semestrais. Estes períodos devem ser devidamente especificados no Manual O&M de cada equipamento.

No Quadro 12 listam-se os tipos de equipamentos mais frequentes das barragens.

**Quadro 12.** Principais equipamentos.

1. De acordo com a função:
<b>COMPORTAS:</b>
• DE SERVIÇO:
• Do vertedouro.
• Da descarga de fundo.
• Das eclusas.
• Automáticas de controle de cheias.
• DE EMERGÊNCIA:
• De tomada de água.
• Instaladas a montante de condutos forçados ou de descargas de fundo.
• DE MANUTENÇÃO:
• Ensecadeira.
<b>CONDUTOS:</b>
• Forçados.
• De descarga de fundo.
• Outros
<b>VÁLVULAS, VEIOS E OUTROS.</b>
2. Segundo o seu tipo:
<b>COMPORTAS DE VAGÃO, DE SEGMENTO E DE SETOR, COMPORTAS ENSECADEIRA, E OUTRAS.</b>
<b>GRADES FIXAS E MÓVEIS.</b>
<b>CONDUTOS, VÁLVULAS, MEIOS DE ELEVAÇÃO, E OUTROS.</b>

## Ações de manutenção das comportas

Os procedimentos a seguir na manutenção de cada equipamento são os indicados nos respectivos manuais O&M, como indicado no item anterior. No entanto, dada a importância das comportas para a segurança das obras, apresentam-se em seguida alguns aspectos específicos das ações de manutenção deste equipamento.

- Comportas de manutenção

As comportas de manutenção, habitualmente do tipo comporta ensecadeira, destinam-se ao apoio a trabalhos de manutenção de equipamentos que se encontrem a jusante destas, permitindo a ensecagem desses órgãos. Assim, as ensecadeiras não constituem equipamento de serviço, mas dado que podem ser necessárias para uma intervenção de urgência numa comporta de serviço, devem ter uma manutenção sistemática que garanta a sua permanente disponibilidade.

A manutenção das ensecadeiras deve incidir essencialmente no tratamento anticorrosivo do tabuleiro, na substituição periódica das estanqueidades e na lubrificação dos órgãos de manobra e de guiamento, quando existam. Para manutenção das peças fixas das ensecadeiras, uma vez que não existe outro equipamento que permita a sua ensecagem, esta deve ser assegurada pelo rebaixamento do nível do reservatório. Nos casos em que não é possível o acesso a essas peças fixas, o seu projeto e construção devem assegurar uma adequada resistência das mesmas ao longo de toda a vida útil da barragem, sem necessidade de manutenção.

- Comportas de serviço ou de emergência

Para intervir em comportas de serviço ou de emergência é necessário colocar este equipamento fora de serviço, devendo, portanto, ser garantida a ensecagem do local, e assegurado que esse equipamento não será necessário durante o período da intervenção. Por exemplo, no caso de um vertedouro de superfície, a ensecagem deve ser assegurada por utilização de ensecadeira, caso exista, ou por abaixamento da cota do reservatório. Deve igualmente ser assegurado que a utilização do vertedouro não vai ser necessária durante o período que durar a intervenção. Essa garantia pode ser dada por rebaixamento do nível do reservatório, garantindo capacidade de encaixe caso exista uma vazão afluente considerável, ou pelo planeamento da intervenção em um período do ano em que seja previsível a ocorrência de vazões afluentes que possam ser descarregados por outros órgãos.

Como já referido, no caso de existirem equipamentos que não possam ser ensecados, o projeto e construção dos mesmos devem assegurar uma adequada resistência ao longo de toda a vida útil da barragem, sem necessidade de manutenção.

No caso da ensecagem ser garantida por comportas ensecadeiras, estas serão manobradas, principalmente, com auxílio de balancim (ou viga pescadora), suspenso em um pórtico rolante, ou por diferencial elétrico em monocarril, ou por grua móvel. As ensecadeiras são manobradas em condição de igual pressão a montante e a jusante, pelo que sua colocação deve ser efetuada na ausência de fluxo, e sua retirada com cotas de nível a montante e jusante iguais.

No Quadro 13 sintetizam-se as ações de manutenção mais frequentes das comportas.

**Quadro 13.** Manutenção das comportas.

1. Comportas de manutenção (comportas ensecadeira):
• Tratamento anticorrosivo do tabuleiro.
• Substituição periódica das estanqueidades.
• Lubrificação dos órgãos de manobra e de guiamento.
2. Comportas de serviço ou de emergência:
• Tabuleiros, Peças fixas, Acionamento:
Manutenções preventivas ou preditivas devidamente planejadas: inspeção periódica, tratamentos anticorrosivos, substituição das estanqueidades, peças, óleos e filtros, etc.
Manutenção corretiva: tratamentos de consolidação do concreto para fixação e isolamento de peças fixas.
• Comando, medição, sinalização e proteção:
Manutenções preventivas ou preditivas devidamente planejadas.
Manutenções corretivas dos relés, interruptores de fim de curso e restante equipamento elétrico.
• Grupos geradores de emergência:
Manutenções preditivas devidamente planejadas do equipamento mecânico e elétrico.

As comportas de serviço são compostas habitualmente por mais componentes que as de manutenção, exigindo uma maior diversidade de intervenções, tal como se passa a expor:

- **Tabuleiros** - A manutenção dos tabuleiros caracteriza-se habitualmente pela inspeção periódica à proteção anticorrosiva, recuperando-a quando necessário, por substituição periódica de vedações e peças de auto-lubrificação, como patins de deslizamento e eixos de rodas ou moentes. Caso a proteção anticorrosiva não tenha sido garantida ao longo da vida do tabuleiro, pode existir corrosão da estrutura que conduza à necessidade de serem efetuados enchimentos por soldadura.

Dependendo do tipo de comporta, as inspeções aos tabuleiros poderão não exigir a ensecagem do local, visto os mesmos poderem ser

manobrados para um local que se encontre a seco. Nesse caso, estas inspeções poderão ser efetuadas com frequência, sem que isso constitua um custo elevado.

- **Peças fixas** - As intervenções de manutenção das peças fixas das comportas exigem habitualmente ser efetuadas com a ensecada.

Dependendo do material em que as peças fixas tenham sido fabricadas, assim as inspeções e respectivas ações de manutenção terão de ser mais ou menos frequentes. Caso estas peças sejam de aço inoxidável, as intervenções serão mais espaçadas e, caso se verifique o seu desgaste, a sua recuperação é efetuada habitualmente por enchimentos por soldadura. No caso das peças fixas serem em aço carbono, para além das ações anteriores, terão de ser efetuadas ações mais frequentes de inspeção e



reposição da proteção anticorrosiva. Para este tipo de peças fixas, uma estratégia habitual de manutenção melhorativa, caso se verifiquem resultados pouco satisfatórios com pinturas anticorrosivas, é a placagem em aço inoxidável.

A ligação entre o concreto e as peças fixas é outro ponto que deve ser alvo de inspeção, visto uma eventual falta de ligação induzir o aparecimento de fugas devido à perda de vedação. Caso seja verificada a separação das peças metálicas ao concreto, será necessário proceder-se ao tratamento de consolidação do concreto para fixação e isolamento das peças metálicas. Estas operações podem constituir uma intervenção corretiva difícil, envolvendo várias especialidades, com equipamento e tecnologias de intervenção avançadas.

Outro ponto a considerar na manutenção das comportas é a análise à água do reservatório. Na realidade, a manutenção das comportas está em grande parte associada à manutenção das partes metálicas dos tabuleiros e das peças fixas, devido à agressividade da água, nomeadamente, ao seu índice de condutividade e à concentração de minerais presentes.

- Acionamento – o acionamento das comportas é um aspecto importante do funcionamento dos vertedouros, sendo normalmente assegurado por guinchos de correntes ou por servomotores hidráulicos. Para este equipamento devem estar planeadas manutenções preventivas sistemáticas muito frequentes, dada a sua importância.

O acionamento por guincho de correntes é o sistema que mais ações de manutenção habitualmente exige, sobretudo porque as próprias correntes, que são construídas de aço carbono, tendem a perder muito rapidamente a película protetora anticorrosiva, o que encurta os intervalos entre intervenções. A perda de proteção anticorrosiva das correntes está muitas vezes associada à qualidade do lubrificante comum que é utilizado, devendo, portanto, equacionar-se a hipótese de utilização de lubrificantes específicos, de alto rendimento e com reduzido

impacto ambiental. Uma outra solução consiste numa intervenção melhorativa de substituição de correntes em aço carbono por correntes em aço inoxidável, com chumaceiras de polímero autolubrificante. Esta solução tem custos elevados, mas permite eliminar os problemas de lubrificação e de proteção anticorrosiva das correntes.

As unidades de acionamento hidráulico requerem muito menor ação de manutenção, requerendo apenas intervenções preditivas e sendo reduzida a probabilidade de intervenções corretivas, não planeadas. A utilização de servomotores hidráulicos em substituição dos guinchos traz uma confiabilidade acrescida ao equipamento e facilidade de manutenção.

Os guinchos, o dispositivo de frenagem e o veio de sincronização mecânica devem ser alvo de permanente vigilância, e a maioria das intervenções deve ser preditiva. As intervenções corretivas devem existir apenas para resolver fugas de lubrificantes em caixas reductoras, para substituir rolamentos na cadeia mecânica ou para afinação de freios.

No caso de sistemas de acionamento hidráulico, deve ser considerada a inspeção periódica a todo o circuito para a detecção de fugas e a substituição periódica de óleo e respectivos filtros.

- Comando, medição, sinalização e proteção – o comando, medição, sinalização e proteção são outro aspecto importante do funcionamento dos vertedouros com comportas. Para este equipamento, deve haver planeamento de manutenções preventivas sistemáticas, dada a sua importância. Nessas intervenções, as proteções elétricas são também frequentemente ensaiadas.

Dada a natureza do equipamento, pode haver necessidade de proceder à manutenção corretiva ao nível dos relés, interruptores de fim de curso e restante equipamento elétrico, normalmente consistindo em deficiências de sinalização e falhas de tensão.

- Grupos geradores de emergência – os grupos geradores de emergência destinam-se a funcionar como alimentação do aproveitamento, no caso de interrupção do fornecimento através da fonte principal. Normalmente são constituídos por motor diesel e gerador, sistema de arranque e quadro de comando.

No motor devem planejar-se manutenções preditivas, devendo prever-se ao fim de cada quinze a vinte anos a desmontagem do motor para revisão geral, mas apenas após se analisar se existem indícios que a justifiquem.

Todos os restantes componentes devem ser sujeitos a manutenções preditivas sistemáticas devidamente planeadas.

### 3.5.4 Ensaio do equipamento

Todos os equipamentos e instalações operacionais sujeitos a vazões devem ser inspecionados e testados, para assegurar seu funcionamento, durante a ocorrência de cheias.

O equipamento de controle de vazão da tomada d'água deve ser submetido a um ensaio de variação de pressão, por exemplo, anualmente, antes da estação de cheias.

Para as comportas e válvulas dos órgãos extravasores e de operação, devem ser estabelecidos procedimentos de ensaios periódicos, visando assegurar o seu funcionamento nas condições de serviço mais desfavoráveis (com exceção das válvulas do tipo borboleta). Para tal deverão ser executados ensaios a plena carga, executando um ciclo de manobra completo, com uma frequência mínima anual.

Caso a periodicidade anual dos ensaios em carga não seja aconselhável, por motivos econômicos, ambientais ou outros, este período poderá ser dilatado, e os ensaios em carga substituídos por ensaios em águas equilibradas (das comportas e válvulas de emergência / manutenção) ou a seco (para as comportas e válvulas de serviço).

A frequência dos ensaios em carga não deverá exceder um período de cinco anos.

Os ensaios referidos deverão ser executados com o equipamento alimentado pelas fontes de energia normais e de recurso. Deve ter-se em consideração que alguns equipamentos requerem ações de manutenção muito frequentes, nomeadamente, os motores diesel para acionamento das comportas em situação de emergência, que devem ser testados mensalmente.

Todos os procedimentos de ensaio do equipamento devem ser especificados no Plano de Segurança, bem como o cronograma dos ensaios a realizar. As instruções e procedimentos devem incluir descrições dos ensaios operacionais e de integridade a todos os componentes eletromecânicos do equipamento de controle de vazão, para assegurar a sua total operacionalidade.

Todos os registros dos ensaios de equipamento realizados deverão constar do Plano de Segurança da Barragem.

## 3.6 MANUTENÇÃO DO RESERVATÓRIO

### 3.6.1 Principais anomalias

Para os reservatórios os principais cenários de deterioração estão associados a problemas geológicos e geotécnicos e a problemas hidráulicos, nomeadamente:

- A estabilidade dos taludes, a sedimentação e assoreamento, a queda de grandes massas de rochas, a sismicidade induzida e, em alguns casos, a permeabilidade;
- O assoreamento e a qualidade da água, designadamente, associada a problemas de eutrofização e de salinização.

No Quadro 14 sintetizam-se as ações de manutenção mais frequentes do reservatório.

#### Quadro 14. Manutenção do reservatório.

1. Principais anomalias:
Instabilidade dos taludes, quedas de grandes massas de rochas das margens.
Perda excessiva de água do reservatório.
Assoreamento e má qualidade da água.
2. Ações de manutenção corrente:
Controle do assoreamento junto às entradas dos órgãos de operação (abertura regular das comportas).
Controle de materiais flutuantes, em especial junto às entradas dos órgãos extravasores e de operação.
Medidas de controle do uso do solo nos casos de risco de salinização.
Revegetação ou corte de vegetação excessiva no entorno do reservatório.

### 3.6.2 Estabilidade das margens do reservatório

Os taludes em volta das margens do reservatório não podem ameaçar a segurança da barragem (MI, 2002) (**Figura 44**).



**Figura 44.** Ruptura do talude lateral do canal de ligação entre reservatórios do Jacareí e Jaguari SP, da SABESP.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



As margens do reservatório devem ser investigadas para determinar se a ruptura dos taludes pode constituir ameaça para a segurança da barragem para vidas ou propriedades ao longo das margens do reservatório, ou a jusante da barragem. As consequências de qualquer tipo de ameaça devem igualmente ser avaliadas. Ações corretivas, que assegurem um nível adequado de segurança, devem ser implementadas de forma proporcional às consequências da ruptura do talude.

Qualquer barreira natural deve ser investigada, do mesmo modo que a barragem, caso sua ruptura possa ameaçar a operação do

reservatório e pôr em risco vidas humanas e/ou propriedades.

A margem do reservatório deve ser investigada para determinar se existe alguma barreira natural, tal como células topográficas estreitas, que podem romper e ameaçar a operação do reservatório.

### 3.6.3 Controle dos materiais flutuantes

Nos locais onde houver quantidade significativa de materiais flutuantes, tais como vegetação ou entulhos, devem ser estabelecidos procedimentos relativos ao controle e remoção desses materiais (**Figura 45 a Figura 48**).



**Figura 45.** Acumulação de vegetação sobrenadante no reservatório, junto ao talude de montante da barragem.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 46.** Vertedouro em poço, em funcionamento.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 47.** Vegetação a ser arrastada para o interior do poço do vertedouro.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA





**Figura 48.** Retirada de material flutuante do reservatório.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA



**Figura 49.** Barreiras flutuantes.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

As entradas dos órgãos extravasores podem ser protegidas com barreiras flutuantes de retenção de detritos, árvores e outros materiais (**Figura 49**).

### 3.6.4 Sedimentação e assoreamento

A ocorrência de assoreamento próximo à barragem e suas instalações de descarga não pode ser permitida, pois pode afetar adversamente o controle e a descarga de cheias, a operação ou um esvaziamento de emergência, ou a estabilidade da barragem (MI, 2002).

Meios adequados deverão ser estabelecidos para prevenir a excessiva sedimentação do reservatório devido a incêndios florestais ou mudanças na utilização das terras de montante, bem como rupturas dos taludes do reservatório ou padrões de erosão. As ações de transporte de sólidos pela água do rio devem ser investigadas, assim como as fontes potenciais de sedimentos dentro da área de drenagem a montante do reservatório (**Figura 50**).



**Figura 50.** Assoreamento do reservatório de uma PCH no Estado de Minas Gerais.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

Nos locais em que houver a entrada de quantidades substanciais de sedimentos no reservatório, as regras de operação de cheias devem levar em consideração a correspondente redução do volume útil.

As comportas e saídas das descargas de fundo devem ser projetadas, e sua operação programada, de modo a minimizar a deposição de sedimentos e o arraste de fundo próximo à tomada d'água.

Medidas corretivas podem ser necessárias devido à abrasão no concreto e nas armaduras onde houver a passagem de sedimentos erosivos, pelas descargas, em grandes concentrações.

### 3.6.5 Controle da salinização e da eutrofização

O controle da salinização do reservatório, que interessa essencialmente às barragens localizadas nas regiões de clima semiárido, bem como o controle da eutrofização do reservatório, são indicados no Manual de Especificações Ambientais para Projeto e Construção de Barragens e Operação de Reservatórios, elaborado no âmbito do PROÁGUA- Semiárido (MI, 2002).

As principais ações de controle da salinização são indicadas no item 2.3.3.

### 3.6.6 Área do entorno das instalações e acessos

Os projetos de barramentos preveem faixas de proteção de 100 metros em redor do reservatório, considerando o nível máximo maximorum previsto. A manutenção desta faixa de proteção exige do empreendedor e da entidade ambiental estadual (MI, 2002):

- Ações preventivas de delimitação da faixa (incluindo cercamento), revegetação das áreas degradadas, educação ambiental, participação comunitária, etc.;
- Fiscalização permanente e rigorosa, inclusive com técnicas modernas de sensoriamento remoto;
- Ações corretivas de invasores.

As vias de acesso à barragem e às estruturas anexas devem ser mantidas em condições que permitam o acesso de pessoal, veículos e equipamentos de manutenção em qualquer situação.

## 4 MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO

### 4.1 ASPECTOS GERAIS

O monitoramento de barragens inclui a instrumentação do corpo da barragem e das estruturas extravasoras, bem como das respectivas fundações, de modo a permitir a medição de um conjunto de grandezas criteriosamente selecionado que, em conjunto com as inspeções de segurança, permita controlar as condições de segurança dessas estruturas, durante a construção da obra e o primeiro enchimento do reservatório, assim como, posteriormente, durante a operação e nas revisões periódicas da segurança da barragem.

O Plano de Monitoramento e Instrumentação deve incluir:

- Definição das grandezas a monitorar, objetivando o controle da segurança e do desempenho das estruturas;
- Especificação dos instrumentos a instalar e cuidados a tomar na instalação, bem como dos equipamentos de leitura e de transmissão de dados;
- Frequência das leituras e metodologias de processamento dos dados;
- Manutenção dos instrumentos.

O Plano de Monitoramento e Instrumentação deve ser elaborado na fase de projeto e adaptado nas fases posteriores, de modo a incorporar as alterações que forem necessárias.

A localização exata e os detalhes de instalação dos instrumentos devem ser fornecidos e complementados com desenhos de plantas, vistas e seções transversais. Devem também ser indicadas, para cada um dos instrumentos, a respectiva leitura inicial, valores de referência para futuras medições, dados e requisitos para calibração, faixas normais de operação e níveis de alarme, valores para os quais uma revisão detalhada das leituras é necessária.

As atividades de monitoramento são complementadas pelas inspeções de segurança, nomeadamente, com vista à detecção de deterioração, comportamentos anômalos ou sintomas de envelhecimento das estruturas, além da detecção de anomalias na própria instrumentação instalada na barragem.

No Quadro 15 sintetiza-se o conteúdo do Plano de Monitoramento e Instrumentação.

No Anexo A são dadas algumas indicações gerais sobre o conteúdo do Plano de Monitoramento e Instrumentação.

**Quadro 15.** Plano de Monitoramento e Instrumentação.

Elaborado:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Na fase de projeto (sucessivamente pormenorizado desde o Estudo de Viabilidade até o Projeto Executivo).</li> </ul>
Atualizado:
<ul style="list-style-type: none"> <li>No final da construção – Projeto como Construído.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>No final do primeiro enchimento do reservatório.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nas revisões periódicas de segurança.</li> </ul>
Conteúdo mínimo:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandezas a monitorar.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumentos a instalar.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Desenhos de planta, vistas e seções transversais, com localização exata de cada instrumento, detalhes de instalação.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Especificações dos instrumentos: <ul style="list-style-type: none"> <li>Especificações técnicas dos instrumentos a instalar, equipamentos de leitura e de transmissão de dados.</li> <li>Cuidados a tomar na instalação.</li> <li>Dados e requisitos para calibração.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Leituras e processamento dos dados: <ul style="list-style-type: none"> <li>Metodologia de leitura, processamento e registro dos dados.</li> <li>Registro da leitura inicial de cada instrumento.</li> <li>Frequência de leitura dos instrumentos.</li> <li>Valores de referência para futuras medições.</li> <li>Faixas normais de operação e níveis de alarme.</li> <li>Valores para os quais uma revisão detalhada das leituras é necessária.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção dos instrumentos.</li> </ul>



## 4.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

### 4.2.1 Grandezas a monitorar

Os sistemas de monitoramento a instalar nas barragens, incluindo as grandezas que permitem controlar o seu comportamento, devem ser proporcionados à dimensão das estruturas e ao dano potencial envolvido. As grandezas a observar dependem de vários fatores, nomeadamente, do tipo e características das estruturas, condicionantes geológico-geotécnicos, e etapas construtivas no caso de barragens de grande porte. De um modo geral, essas grandezas podem ser classificadas do seguinte modo:

- As que representam as propriedades das estruturas, nomeadamente, a deformabilidade, a resistência, as características hidráulicas e térmicas;
- As associadas às ações, nomeadamente, as precipitações, vazões, níveis da água e temperaturas;
- As correspondentes aos efeitos das ações, nomeadamente, as forças, pressões e tensões, os deslocamentos, deformações e movimentos de juntas;

- As associadas às consequências dos efeitos das ações, podendo originar alterações significativas das propriedades estruturais, nomeadamente, as fissuras, deslizamentos, depressões, levantamentos e rotações.

As variações de níveis d'água, a montante e a jusante das estruturas, bem como as precipitações e variações da temperatura ambiente na área do empreendimento, são grandezas muito importantes para a operação dos reservatórios e para a análise do comportamento das estruturas.

As grandezas a monitorar são muito dependentes do tipo de estrutura. Assim, por exemplo, nas barragens de aterro há em regra interesse na observação de depressões e afundamentos, assim como das poropressões no interior do aterro, enquanto que nas barragens de concreto, há em geral interesse na observação no comportamento térmico do concreto, nos deslocamentos globais das estruturas e nos deslocamentos diferenciais entre as juntas que separam os blocos.

As principais grandezas associadas aos efeitos e consequências, cujo monitoramento é recomendado para o controle de segurança das barragens, são indicadas no Quadro 16 para as barragens de aterro e, no Quadro 17, para as barragens de concreto (ELETROBRAS, 2003).

**Quadro 16.** Barragens de aterro. Grandezas a monitorar.

Grandeza	Tipo de Estrutura			
	Terra / Enrocamento	Enrocamento com face de concreto	Terra	Terra com galeria de desvio
Pressões neutras no aterro (poropressões)	X	X	X	X
Recalques do aterro	X	X	X	X
Deslocamentos superficiais (plani-altimétricos)	X	X	X	X
Subpressões na fundação	X		X	X
Vazões de percolação	X	X	X	X

Grandeza	Tipo de Estrutura			
	Terra / Enrocamento	Enrocamento com face de concreto	Terra	Terra com galeria de desvio
Materiais sólidos carregados pelas águas de percolação	X	X	X	X
Pressões totais e poropressões nas interfaces	X	-	X	X
Deslocamentos diferenciais da junta perimetral	-	X	-	-
Deslocamentos entre lajes na região das ombreiras	-	X	-	-
Tensões internas no concreto	-	X(*)	-	-
Deflexão da laje de montante	-	X	-	-
Tensões na interface solo-concreto da galeria	-	-	-	X
Recalques ao longo da galeria	-	-	-	X

(\*) Barragem de altura superior a 100 m

**Quadro 17.** Barragens de concreto. Grandezas a monitorar.

Grandeza	Tipo de Estrutura			
	Gravidade maciça	Gravidade aliviada ou contrafortes	Arco	CCR
Vazões de infiltração	X	X	X	X
Subpressões na fundação	X	X	X	X
Recalques na fundação	X	X	X	X
Tensões	-	X(*)	X	
Comportamento térmico do concreto	X	X	X	X
Deslocamentos horizontais e verticais da crista	X	X	X	X
Deslocamentos diferenciais entre blocos	X	X	X	X
Deslocamentos diferenciais entre monolitos	-	X	-	-
Abertura de juntas entre blocos	-	X	X	-
Pressão intersticial entre camadas de concretagem	-	-	-	X

(\*) Barragens de altura superior a 70 m.

As grandezas, cuja medição é recomendada para qualquer tipo de barragem, são:

- Os níveis da água no reservatório, a montante e a jusante;
- As temperaturas do ar e da água do reservatório;
- As precipitações.

Em empreendimentos situados em regiões de grande sismicidade, pode ainda ter interesse a medição de velocidades e/ou acelerações, quer nas barragens quer nas fundações.

Entre as grandezas a monitorar nas barragens de aterro e de concreto indicadas no Quadro 16 e no Quadro 17, as mais comuns em cada um dos tipos de estrutura são:

### Nas barragens de aterro

- Deslocamentos superficiais, por métodos geodésicos;
- Recalques, na barragem e na fundação, por intermédio de medidores e placas;
- Deslocamentos da barragem e na fundação, por intermédio de inclinômetros;
- Pressões da água, na barragem e fundação, por intermédio de piezômetros de tubo aberto ou hidráulicos com ponteira, piezômetros pneumáticos e células piezométricas (piezômetros elétricos);
- Tensões totais, na barragem, por intermédio de células de pressão total;
- Medidores de vazão na fundação.

### Nas barragens de concreto

- Deslocamentos do paramento de jusante e em galerias, por métodos geodésicos;
- Deslocamentos da barragem e fundação por pêndulos, diretos e invertidos, no caso de

existirem poços de prospecção/drenagem na fundação; ou deslocamentos na fundação por roseta de extensômetros de hastes a 30°, um vertical e outros dois inclinados de 30°, (com profundidade mínima de 20 m ou metade da altura (H) de barragens com  $H > 40\text{m}$ );

- Movimentos diferenciais de juntas, por meio de medidores de junta;
- Tensões e deformações no concreto, por meio de deformímetros e tensômetros;
- Temperaturas no corpo da barragem, por meio de termômetros;
- Pressões da água na fundação, por meio de piezômetros;
- Vazões na barragem e fundação, por meio de medidores de vazão.

O controle das vazões de infiltração nas barragens e suas fundações é muito importante para o controle do comportamento dessas estruturas, tal como os deslocamentos, absolutos e relativos. Nas barragens de concreto com altura superior a 30 m recomenda-se a medição dos deslocamentos em relação à fundação, por intermédio de pêndulos diretos; e, no caso de barragens com problemas especiais de fundação (maciços rochosos muito fraturados, falhas na fundação com espessas caixas ou “juntas-falhas” sub-horizontais), recomenda-se a medição dos deslocamentos da fundação por intermédio de rosetas de “extensômetros de haste”, como acima indicado.

#### 4.2.2 Instrumentos de medição comuns às diferentes barragens

- Medição dos níveis da água

A medição periódica dos níveis d'água no reservatório é efetuada, em regra, por leitura direta em réguas limnimétricas (**Figuras 51 e 52**) colocadas em determinados pontos,

nomeadamente, no paramento de montante da barragem ou em outras estruturas de concreto (torres de tomada de água, pilares de passarelas entre a barragem e outros órgãos extravasores ou de operação). Pela importância desse dado na operação do reservatório, as réguas devem ser sistematicamente aferidas por controle topográfico.



**Figura 51.** Réguas limnimétricas.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 52.** Escala limnimétrica no muro do vertedouro.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Em barragens de grande porte (altura superior a 60 m), ou quando tal se justifique, o registro dos níveis deve ser efetuado de forma contínua, por intermédio de limnígrafos.

- Medição das temperaturas do ar e da água do reservatório

A medição das temperaturas do ar é efetuada por termômetros de máxima e mínima, instalados em locais protegidos da ação direta dos raios solares e representativos das condições ambientais do local da barragem.

Existem presentemente estações meteorológicas que permitem a recolha, o arquivo e mesmo a transmissão automática (por

exemplo, via sinal de rádio) de diversos dados meteorológicos.

No Quadro 18 são listados os equipamentos mais comuns em barragens de aterro e de concreto.

- Medição da precipitação

A medição da quantidade de precipitação é efetuada em udómetros ou udógrafos instalados em locais tanto quanto possível representativos das condições ambientais do aproveitamento.

As estações meteorológicas acima referidas também permitem medir a quantidade de precipitação.



### Quadro 18. Instrumentos mais comuns.

Em todos os tipos de barragem:
Réguas limnimétricas.
Limnígrafos.
Estações Meteorológicas.
Em barragens de aterro:
Marcos topográficos.
Marcos de referência.
Placas de recalque.
Inclinômetros.
Piezômetros.
Piezômetros de tubo aberto ou hidráulicos (com ponteira porosa).
Piezômetros pneumáticos.
Piezômetros elétricos.
Células de pressão total no aterro.
Medidores de vazão.
Em barragens de concreto:
Marcas nos paramentos de jusante da barragem ou estruturas extravasoras.
Marcos de referência.
Pêndulos diretos e invertidos.
Extensômetros de fundação.
Medidores de junta (medição de movimentos relativos em juntas ou fissuras).
Extensômetros.
Piezômetros hidráulicos.
Medidores de vazão.

### 4.2.3 Instrumentos mais comuns em barragens de aterro

- Medição de deslocamentos por métodos de geodesia de posição

As medições de recalques por nivelamento geométrico, de deslocamentos transversais por alinhamentos, ou de recalques e deslocamentos horizontais por triangulação, são geralmente efetuadas em marcos instalados em maciços de concreto adequadamente solidarizados ao aterro da barragem (**Figuras 53 e 54**). É importante fazer maciços de dimensão que garantam adequada ligação ao aterro, e evitar colocar marcos em passeios ou guardas que podem não representar os deslocamentos do aterro.

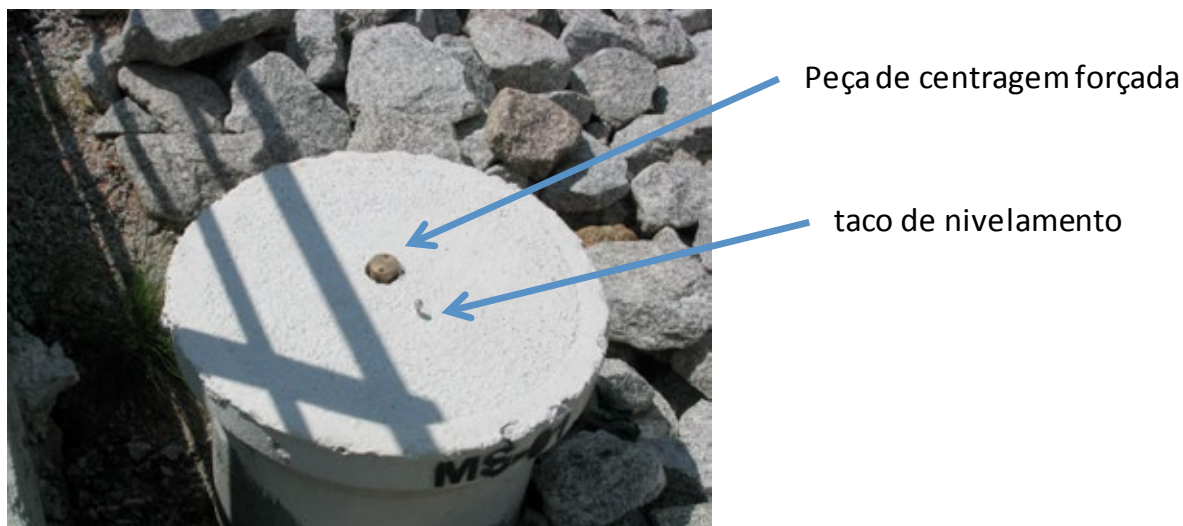
Devem ser evitados marcos constituídos por varões de aço da construção, facilmente sujeitos, quer a desvios da sua posição inicial, quer a deteriorações causadas pelos agentes atmosféricos.

Por outro lado, os marcos colocados em posições tais que se possam considerar como fixos

(marcos de referência), são instalados em pilares devidamente solidarizados ao maciço de fundação, fora da influência da barragem (**Figura 55**).

Os recalques (deslocamentos verticais) são medidos por nivelamento de precisão em pontos em regra localizados ao longo da crista da barragem e, eventualmente, ao longo das bermas. Normalmente executa-se um maciço de concreto ciclópico de 0,50m x 0,50m x 0,50m, onde é colocado um taco de nivelamento em aço inoxidável ou latão, instalados em caixa de proteção. Esse taco serve para estacionar a mira de alta precisão.

Os marcos topográficos para monitorização simultânea de deslocamentos verticais e horizontais são geralmente constituídos por peças de centragem forçada para refletores. Estas peças serão chumbadas no topo de manilhas, rigidamente solidarizadas a maciços cúbicos de concreto e preenchimento com concreto de boa qualidade.



**Figura 53.** Marco topográfico para monitorização de deslocamentos verticais e horizontais.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA



**Figura 54.** Marco topográfico com peça destinada ao encaixe de bastão (menor precisão que a utilização de miras de alta precisão estacionadas nos tacos de nivelamento).

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Os marcos de referência ou pilares geodésicos são utilizadas para determinar os deslocamentos dos tacos de nivelamento e dos marcos topográficos. Devem ser localizados fora da área de influência da barragem em pontos de boa visibilidade entre si e os pontos-alvo,

devidamente fundados em terreno de boas características geotécnicas.

Os marcos de referência são materializados por peças de centragem forçada para refletores chumbados no topo de pilares fundados num bloco de concreto.



**Figura 55.** Marco de referência com teodolito.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

- Placas de recalque

As placas para medição de recalques, localizadas a cotas pré-definidas no interior dos aterros, são de tipo magnético, constituídos por placas com ímã. A sua colocação é feita no decorrer da construção dos aterros, sendo a primeira placa colocada sobre o terreno de fundação.

As placas de recalque, quadradas ou circulares, com um orifício central dotado de um anel de ímã permanente, em geral são de alumínio (**Figura 56**).



**Figura 56.** Instalação de uma placa de um medidor de recalques.

Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

As placas, introduzidas num tubo-guia, dentro do qual se desloca o pio magnético para leitura das cotas das placas ao longo do tempo, vão sendo colocadas às cotas pré-definidas sobre a superfície do aterro, quando atingirem essas mesmas cotas.

A interpretação das leituras permite calcular o recalque entre placas e o recalque vertical total.

- Inclinômetros

Os inclinômetros permitem medir deslocamentos no interior de barragens de aterros ou em maciços de fundação e são essencialmente constituídos por:

- Um tubo metálico ou de plástico, instalado em posições subverticais, sub-horizontais ou inclinadas (por exemplo, sob a face em concreto no paramento de montante da barragem), dotado de dois pares de ranhuras dispostas em posições diametrais, cada par definindo uma direção normal.

- Um sensor que transmite sinais elétricos para a caixa de leitura, através de um cabo de ligação, os quais são correlacionados com a inclinação do sensor relativamente à vertical (**Figura 57**).



**Figura 57.** Sonda inclinométrica.

Os tubos podem ser instalados durante a construção (como no caso dos tubos colocados sob a face de montante), com a vantagem de possibilitarem a medição de deslocamentos durante essa fase. No entanto, se a colocação dos tubos originar perturbação das atividades de construção, essa colocação pode ser feita posteriormente, em furos de sondagem.

- Piezômetros

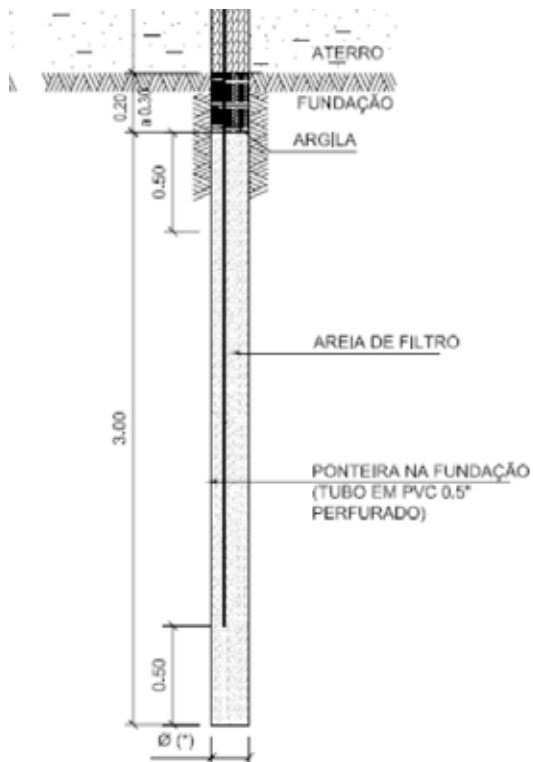
Os piezômetros permitem a medição das pressões da água no interior do corpo da barragem ou na fundação e podem ser de diversos tipos, como seguidamente indicado.



### **Piezômetros de tubo aberto ou hidráulicos (com ponteira porosa)**

Os piezômetros de tubo aberto (também designados de Casagrande) são constituídos por um tubo metálico ou de plástico em cuja extremidade inferior se situa uma câmara de tomada de pressão, materializada por uma placa ou ponteira porosa, ou por orifícios ou rasgos executados nas paredes do tubo (crepinada).

Nesses piezômetros, os níveis piezométricos podem ser medidos em tubos (instalados durante ou após a construção), em furos de sondagem atravessando os aterros e a fundação. Os piezômetros hidráulicos devem considerar as características das fundações, nomeadamente, a orientação das descontinuidades e a permeabilidade. (**Figura 58**)



**Ponteiras porosas e pio**

**Figura 58.** Esquema de instalação de um piezômetro na fundação.  
Fonte: COBA, S.A.



**Figura 59.** Medição do nível piezométrico.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

A água penetra na área da câmara e sobe no tubo até que a altura da água iguale a pressão da água instalada no meio envolvente da câmara. A adequada confiabilidade das medições exige, entre outras disposições construtivas, o isolamento da área envolvente do tubo acima da câmara de tomada de pressão.

A medição do nível da água é efetuada mediante uma sonda elétrica (pio) ligada a um cabo e, no exterior, a um voltímetro (**Figura 59**).

Quando os terminais do cabo entram em contato com a água, fecha-se o circuito, o que é detectado no voltímetro.

É possível instalar vários piezômetros, em regra até três, num mesmo furo de sondagem.

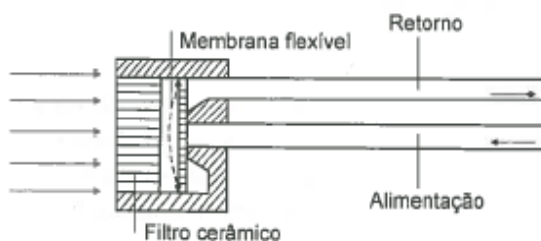
### ***Piezômetros pneumáticos***

Os piezômetros pneumáticos são de resposta bastante rápida, provocam pouca interferência com a obra e têm flexibilidade na cota de instalação, dado não necessitarem de acesso

na vertical, como os piezômetros hidráulicos. Podem ser instalados em furos de sondagem, ou em caixas abertas no aterro, sendo os tubos pneumáticos conduzidos a uma unidade ou centro de terminais de leitura.

Nos piezômetros pneumáticos normalmente fechados (**Figura 60**), a pressão é lida por injeção de um gás no circuito que provoca o seu restabelecimento, por deformação do diafragma que o mantinha fechado, quando a pressão do gás excede ligeiramente a pressão.

Nos piezômetros pneumáticos normalmente abertos, a leitura da pressão é feita mediante a injeção de um gás no circuito que provoca a sua interrupção quando a pressão do gás atinge um determinado valor (por meio de uma esfera colocada no interior do piezômetro, cuja posição é definida pelo deslocamento do diafragma), que é igual à pressão da água.



### **Piezômetro pneumático com equipamento de leitura (SisGeo)**

**Figura 60.** Esquema de funcionamento do piezômetro pneumático do tipo fechado.  
Fonte: SILVEIRA, 2006

## Piezômetros elétricos

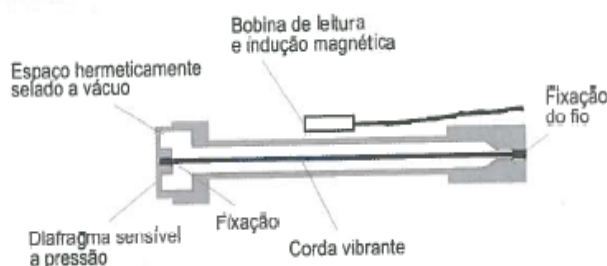
Os piezômetros elétricos, com um tempo de resposta muito rápido, possibilitam o acompanhamento imediato da evolução das pressões da água instaladas nos aterros.

Nestes piezômetros a pressão da água atua sobre um diafragma, cujos deslocamentos

modificam a tensão de uma corda vibrante, com repercussões na sua frequência própria de vibração. As leituras destes dispositivos são obtidas através de uma caixa de recepção que determina a frequência da corda da célula quando esta é excitada por um impulso (**Figura 61**).



**Piezômetro de corda vibrante**



**Figura 61.** Esquema de funcionamento de um transdutor de corda vibrante.

(Fonte: SILVEIRA, 2006).

Um transmissor de impulsos (na caixa de recepção) emite um sinal elétrico excitando a célula instalada. A sua corda vibrante entra em movimento com uma frequência própria que é função da pressão da água no diafragma. A vibração da corda é comparada com a da corda padrão da caixa de leituras, determinando-se a pressão na célula (condições de uníssono, isto é, de igualdade de frequências).

- Células de pressão total no aterro

As células de pressão total de uso mais corrente são as células elétricas de corda vibrante e as células hidráulicas.

Nas células hidráulicas (por exemplo, do tipo Gloetzi), de geometria retangular, a leitura é análoga à leitura dos piezômetros pneumáticos normalmente fechados por intermédio de um óleo, em vez de gás.

Nas células elétricas, a pressão no solo atua sobre um diafragma, modificando a frequência própria de vibração de uma corda. Através de calibração adequada, as frequências de vibração são convertidas em valores de tensão.

Salienta-se que as células de pressão total devem ser sempre instaladas junto com células piezométricas, seja na interface solo-concreto, seja no interior do aterro, de modo a permitir estimar a tensão efetiva no local.

- Medidores de vazão

A medição das vazões que atravessam o corpo da barragem e sua fundação, de grande importância para avaliar o comportamento da estrutura é, em geral, efetuada a jusante dos maciços drenantes das barragens e em zonas onde se verificaram surgências durante a construção.

O sistema mais utilizado para medição da vazão consiste na construção de caixas de concreto para onde são conduzidas as águas de percolação, dispondo de uma saída, na qual é medida a vazão. Para facilitar a leitura, essa saída é equipada com uma pequena comporta metálica ou de perspex, na qual é feita uma abertura em V (**Figura 62**).



**Figura 62.** Medidor de vazão.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

Para o cálculo da vazão é medida a diferença de altura entre o vértice do vertedor e a lâmina d'água, indicada por uma régua instalada a 1 metro a montante da placa delgada.

#### 4.2.4 Instrumentos mais comuns em barragens de concreto

- Medição de deslocamentos por métodos geodésicos

A medição dos deslocamentos no plano horizontal em barragens de concreto e suas fundações pode ser efetuada por medição dos ângulos e/ou distâncias entre pontos da estrutura, identificados por marcas nos paramentos de jusante das barragens (ou das estruturas extravasoras) e pontos da vizinhança fora da influência da estrutura, com deslocamentos nulos ou muito pequenos, materializados por marcos de referência instalados em pilares solidarizados ao maciço de fundação.

A medição dos deslocamentos verticais é em geral realizada por meio de nivelamentos, ao longo da crista da barragem ou de galerias, referenciados a pontos fixos da vizinhança da estrutura.

Em barragens de grande porte, com galerias, os deslocamentos horizontais são por vezes medidos por intermédio de poligonais definidas ao longo de galerias.

- Pêndulos diretos e invertidos

A medição de deslocamentos no plano horizontal pode também ser efetuada por intermédio de pêndulos diretos e invertidos (**Figura 63**).

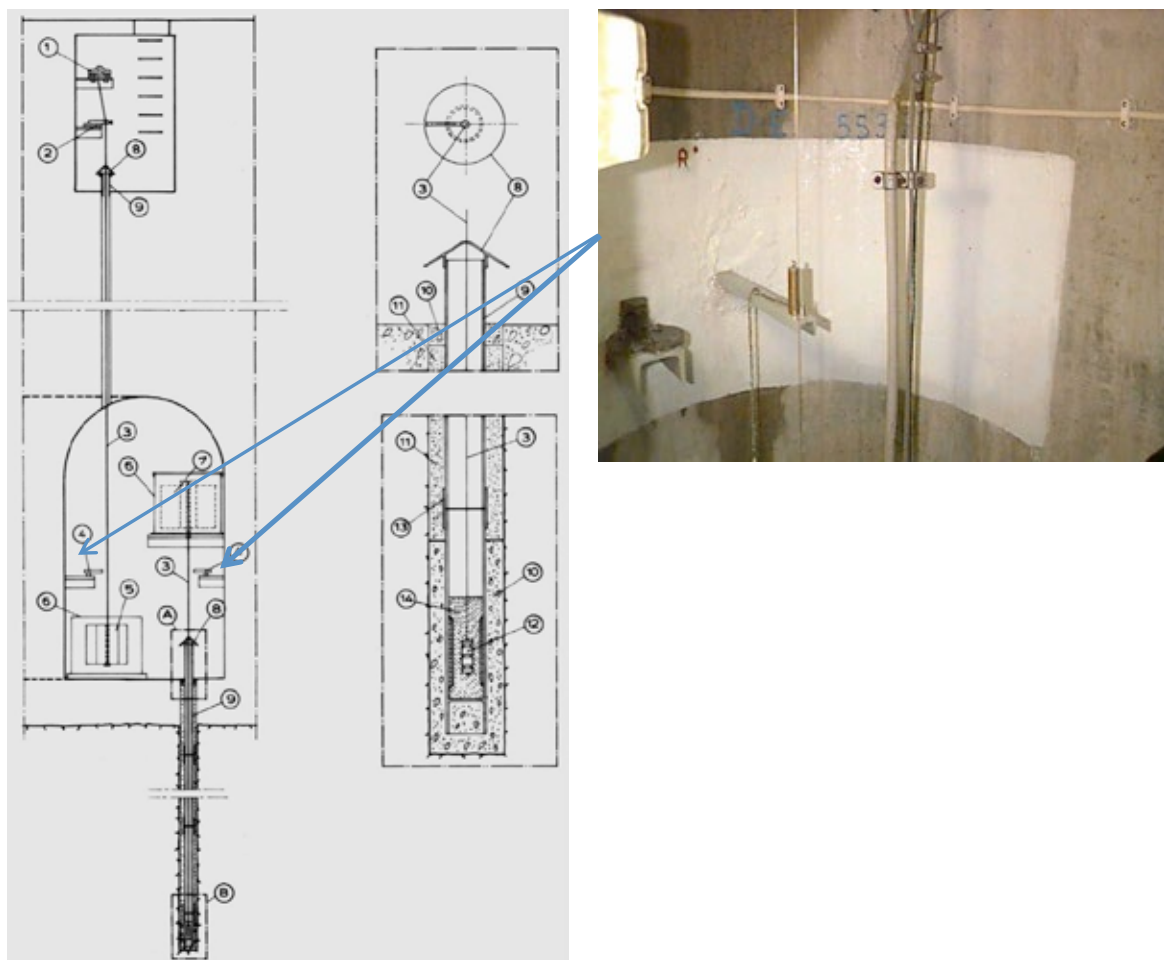
Os pêndulos diretos são constituídos por um fio de aço inoxidável de alta resistência, suspenso de um ponto da vizinhança da crista da barragem, cujos deslocamentos se pretendem medir. O fio mantém-se esticado pela ação de um peso na extremidade inferior.

Nos pêndulos invertidos a extremidade inferior é ancorada num ponto da fundação, em princípio, liberto do campo de tensões transmitidos pela barragem à fundação, a profundidade suficiente para que os seus deslocamentos possam ser considerados praticamente nulos, e a extremidade superior é fixada a um flutuador, colocado na vizinhança da barragem. A impulsão exercida no flutuador permite manter o fio esticado.

Os deslocamentos do fio dos pêndulos podem ser medidos a diversas cotas, por intermédio de coodínômetro óptico.

A colocação dos pêndulos no corpo da barragem faz-se através de furos com condições de verticalidade adequadas.





**Figura 63.** Pêndulos diretos e invertidos.

Fonte: INAG, 2001 e APA, 2013

#### • Extensômetros de fundação

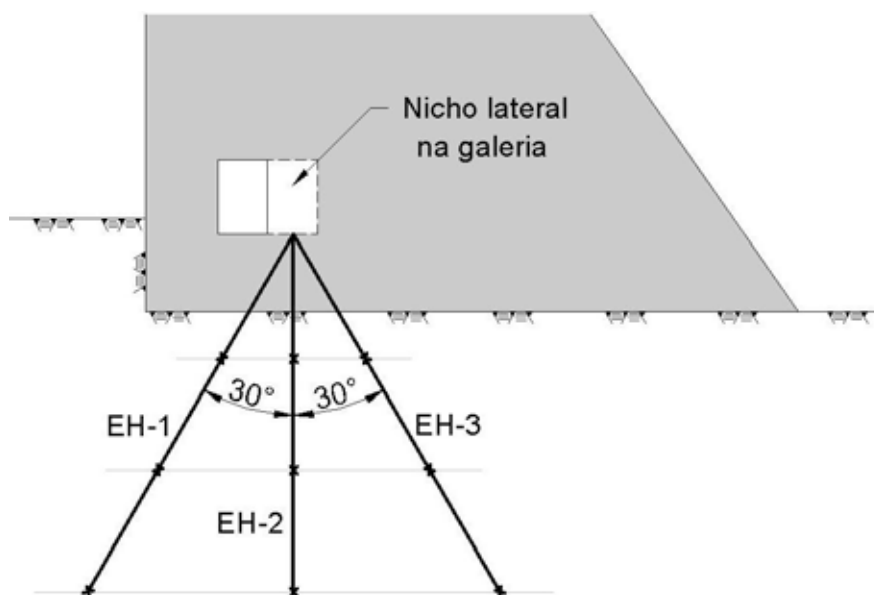
Os extensômetros de fundação são constituídos por hastes metálicas ou cabos em fibra de vidro, instalados em furos de sondagem na fundação e ancorados a uma determinada profundidade.

A medição da extensão da haste na sua extremidade superior, por intermédio de defletômetros de precisão, indica o deslocamento relativo segundo o eixo do furo, entre esta extremidade e as ancoragens na outra extremidade.

No mesmo furo podem ser colocados diversas hastes, ancoradas a diferentes profundidades. A ancoragem mais profunda deve ser colocada numa zona liberta do campo de tensões transmitido pela barragem à fundação, isto é,

com deslocamentos devido às forças transmitidas pela barragem com valores praticamente nulos.

Rosetas de três extensômetros de haste (um vertical e dois inclinados de  $30^\circ$  em relação à vertical (**Figura 64**), como referido no item 4.2.1, podem ser utilizados para medir os deslocamentos da fundação em relação ao ponto de ancoragem. Este dispositivo permite evitar a utilização, em regra, mais dispendiosa, de pêndulos invertidos. Em muitos aproveitamentos importantes, no entanto, considera-se certa redundância na medição de algumas grandezas, nomeadamente, os deslocamentos da barragem (geodesia de posição e pêndulos) e da fundação (pêndulos e extensômetros de fundação).



**Figura 64.** Esquema de roseta de 30° para a instalação de extensômetros de hastes na fundação, em substituição ao pêndulo invertido.  
Fonte: SBB Engenharia

- Medição de movimentos relativos em juntas ou fissuras

A medição dos movimentos relativos em juntas ou fissuras, nomeadamente, nas juntas de contração entre blocos, é feita por medidores triortogonais de junta (**Figura 65**). Estes instrumentos, colocados em locais facilmente acessíveis (crista, pisos, galerias, zonas acessíveis do paramento de jusante), permitem medir as três componentes do movimento relativo entre os bordos da junta.

No interior do concreto, os movimentos de abertura e fecho de juntas são monitorados por medidores de juntas, cuja leitura é feita por intermédio de um sinal elétrico, transmitido por cabo para a central de leitura.

Em obras antigas a medição dos movimentos relativos das juntas é feita por bases rigidamente ancoradas à estrutura, na vizinhança dos bordos da junta, por meio de craveiras, alongâmetros ou defletômetros.



**Figura 65.** Detalhe do medidor triortogonal instalado na parede da galeria de drenagem de uma barragem de concreto.  
Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

- Extensômetros e termômetros

Os extensômetros permitem avaliar a deformação segundo o seu eixo, em regra por intermédio de um sinal elétrico ou acústico. Quando colocados segundo rosetas adequadas, permitem avaliar a deformação de um elemento de superfície (roseta de 4 extensômetros) ou de volume (roseta de 9 extensômetros).

Tendo em vista avaliar a componente das deformações que resulta da variação do estado de tensão instalam-se, também, na vizinhança da roseta, extensômetros libertos do estado de tensão (extensômetros corretores). Esses extensômetros registram apenas as variações térmicas e autógenas do concreto que devem ser retiradas às deformações dos extensômetros da roseta. As variações autógenas do concreto, por outro lado, constituem um indicador importante de eventuais fenômenos conducentes a degradações do concreto, tais como as expansões devido a reações químicas entre os álcalis do cimento e os agregados (reações álcali-agregado).

A medição da temperatura no concreto é feita por termômetros de resistência e, em algumas estruturas, por pares termoeletrônicos. No entanto, os extensômetros, com base em sinais elétricos,

permitem também medir a temperatura do concreto no local onde estão instalados.

- Piezômetros hidráulicos

Nas barragens de concreto instalam-se em geral piezômetros na fundação a partir de galerias, para controle da subpressão. As pressões são medidas por intermédio de manômetros.

- Medidores de vazão

A vazão que atravessa a fundação das barragens de concreto e as respectivas subpressões são grandezas muito importantes para avaliação das condições de segurança destas estruturas. A água recolhida nos drenos e infiltrações é conduzida para caleiras das galerias, nas quais se colocam, em locais específicos, pequenos muros atravessados por tubos (bicas), que permitem medir a vazão. Esta medição é efetuada determinando o tempo de enchimento de um recipiente de volume conhecido.

A medição da vazão pode também ser efetuada à saída dos drenos, ou por determinação da altura da lâmina de água que passa por um vertedouro calibrado. Na medição de pequenas vazões, a utilização de medidores com recolha automática pode não ser adequada (**Figura 66**).



**Figura 66.** Medidor de vazões com recolha automática.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

## 4.3 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

### 4.3.1 Leitura, processamento e registro dos dados

As leituras dos instrumentos instalados na barragem devem ser feitas pela equipe de segurança da barragem. Essa equipe deve ter adequadas qualificações e estar devidamente treinada, dado que a qualidade dos dados obtidos através do sistema de monitoramento é condicionada pelo nível técnico e experiência dos técnicos que a integram.

É recomendável que as medições sejam sempre realizadas pelo mesmo técnico, o qual deve também observar visualmente as estruturas, informando imediatamente sempre que detecte alterações que possam, eventualmente, indicar comportamentos anômalos. É também recomendável que cada instrumento seja lido na mesma hora do dia. Para tal, nas barragens com um número considerável de instrumentos, estes devem ser divididos em grupos de observação em um mesmo dia e suas leituras programadas com sequência e itinerário fixo.

Os dados obtidos devem ser comparados com os anteriormente obtidos, em situações semelhantes, de modo a identificar se ocorreram alterações de comportamento ou simplesmente leituras incorretas. Uma adequada confirmação das leituras é indispensável nestes casos.

Os dados correspondentes às leituras dos vários instrumentos, após serem devidamente processados, permitem obter os resultados das leituras dos diferentes instrumentos, os quais são representadas em tabelas e gráficos, representando a variação das grandezas ao longo do tempo, em conjunto com as variações do nível da água no reservatório e, frequentemente, as variações da temperatura no local da barragem.

A interpretação dos resultados da monitorização deve ser feita logo após sua obtenção, pelo responsável técnico pela segurança da barragem, de acordo com critérios pré-estabelecidos e, seguidamente, reunidos num relatório de dados. Esse relatório deve ser emitido e

arquivado no Plano de Segurança da Barragem no período de tempo o mais curto possível.

No caso de se utilizarem sistemas de leitura automatizados, o controle destes sistemas deve ser realizado periodicamente pela equipe de segurança da barragem.

Todos os instrumentos e os procedimentos utilizados na monitorização da barragem devem ser avaliados periodicamente, nomeadamente, durante a inspeção de segurança realizada na Revisão Periódica de Segurança, por especialistas qualificados na área do projeto.

### 4.3.2 Frequência de leitura dos instrumentos

A frequência de leitura da instrumentação depende essencialmente das grandezas a monitorar e da sua importância para o controle dos cenários de deterioração específicos de cada barragem, ao longo das diferentes fases da vida da barragem, nomeadamente, durante a construção e o primeiro enchimento do reservatório e ao longo da operação.

No Quadro 19 e no Quadro 20 indicam-se as frequências mínimas recomendadas para leitura dos instrumentos utilizados na monitorização. Estas frequências foram estabelecidas para as diferentes fases da vida da barragem, respectivamente, para barragens de aterro (terra, enrocamento e enrocamento com face de concreto) e de concreto (gravidade, arco, contrafortes e arcos múltiplos) (CBDB, 1996; ELETROBRAS, 2003).

As frequências mínimas recomendadas para o período de primeiro enchimento do reservatório das barragens com altura inferior a 30 m têm em consideração que o enchimento dos respectivos reservatórios se processa, em regra, num período relativamente curto (no máximo, alguns meses). Pelo contrário, no caso de barragens de maior altura e grande volume de armazenamento, consideram-se em geral estágios de enchimento, a diversas cotas, em cada um dos quais deve ser interrompido o enchimento, efetuada a leitura dos instrumentos colocados na barragem e realizada uma inspeção de segurança especial.



O prosseguimento do enchimento após cada estágio deve ser ponderado.

Em casos especiais, quer de enchimentos muito rápidos, quer bastante lentos, as frequências das leituras recomendadas devem ser convenientemente ajustadas. Estas frequências devem também ser intensificadas ou ajustadas, em condições normais de operação, quando se verificarem:

- Condições geológicas ou geotécnicas fora do normal;
- Eventos adversos naturais, tais como sismos ou cheias superiores à cheia de projeto;
- Anomalias graves, cuja origem seja necessário apurar;

- Subidas ou rebaixamentos rápidos do nível do reservatório durante a operação, que poderão justificar a consideração de frequências de leituras semelhantes às do primeiro enchimento, nomeadamente, no caso das barragens de aterro.

As leituras devem ser imediatamente processadas, e os valores das diferentes grandezas, apresentados de forma simples e clara, nomeadamente, sob forma gráfica, como já referido. A interpretação dos resultados deve realizar-se imediatamente de acordo com critérios pré-estabelecidos. Essa interpretação poderá exigir o aumento da frequência das leituras e observações, para se acompanhar melhor a evolução do desempenho da estrutura.

**Quadro 19.** Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de terra e enrocamento.  
(Fonte: ELETROBRAS, 2003, Tabela 14.3)

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos superficiais (topografia)	mensal	semanal	mensal	Semestral (verão e inverno)
Deslocamentos internos (verticais e horizontais)	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Deformação	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Pressão total / efetiva	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Poropressão	semanal	2 semanais	semanal	quinzenal
Subpressão	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Nível d'água	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal

(\*) Estas frequências devem se estender por um ano geralmente. Leituras deverão ser intensificadas após sismo ou cheia excepcional.

Obs.: Durante o período de instalação são recomendadas leituras antes e durante as várias fases de instalação, para acompanhar o desempenho dos instrumentos e detectar eventuais problemas.

**Quadro 20.** Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de concreto.  
(Fonte: ELETROBRAS, 2003, Tabela 14.4)

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos “absolutos” (geodesia)	ao final da construção	mensal	trimestral	semestral
Deslocamentos relativos	2 semanais	3 semanais	semanal	quinzenal
Deslocamentos entre blocos/ monolitos	semanal	2 semanais	quinzenal	mensal
Deformação interna	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Tensão	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Pressão intersticial no concreto	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Subpressão	semanal	3 semanais	2 semanais	semanal a quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal
Temperatura do concreto	semanal	2 semanais	semanal	mensal

(\*) Estas frequências devem se estender por um ano geralmente.

Leituras deverão ser intensificadas após sismo ou cheia excepcional.

Obs.: Durante o período de instalação são recomendadas leituras antes e durante as várias fases de instalação, para acompanhar o desempenho dos instrumentos e detectar eventual problema. No caso de instrumentos embutidos no concreto, as frequências devem ser intensificadas logo após seu cobrimento.

#### 4.4 MANUTENÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO

A manutenção dos instrumentos que integram os sistemas de monitoramento instalados nas barragens é de grande importância para garantir a confiabilidade das leituras. Para assegurar o bom funcionamento dos instrumentos, a manutenção deve ser feita de forma sistemática pelos técnicos da equipe de segurança da

barragem, ou contratada exteriormente, no caso de trabalhos de especial especificidade ou complexidade.

Os procedimentos de manutenção dos instrumentos utilizados na monitorização do comportamento da barragem devem ser devidamente documentados e arquivados no registro de operação, bem como a reparação, substituição e instalação de novos instrumentos.

O Plano de Monitoramento e Instrumentação de barragens em operação deve ser revisto e atualizado. A substituição ou inclusão de instrumentos de monitorização na sequência destas revisões e atualizações deve ser realizada de forma criteriosa, nomeadamente, quando for necessário realizar furações ou outros trabalhos que possam eventualmente afetar a integridade das estruturas e suas fundações.

A manutenção deve ser mantida, independentemente da frequência das leituras e avaliada nas inspeções de segurança regulares e nas revisões periódicas de segurança.

As principais ações de manutenção para os equipamentos de monitorização das barragens de aterro e de concreto são indicadas no Quadro 21.

**Quadro 21.** Manutenção dos instrumentos.

1. Barragens de aterro:	
• MARCOS TOPOGRÁFICOS E DE REFERÊNCIA:	
• Pintura e identificação periódica.	
• Limpeza da vegetação em torno do equipamento.	
• Conservação dos acessos.	
• PLACAS DE RECALQUE E INCLINÔMETROS:	
• Verificação do estado de conservação das tampas após cada leitura.	
• Pintura e identificação periódica.	
• PIEZÔMETROS DE TUBO ABERTO:	
• Pintura e identificação periódica da cabeça exterior.	
• PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS E ELÉTRICOS, E CÉLULAS DE PRESSÃO TOTAL:	
• Ações de conservação das estruturas das centrais de leitura (drenagem, desumidificação, pinturas), e do acesso.	
• Verificação ou identificação dos cabos ou tubos.	
• MEDIDORES DE VAZÃO:	
• Limpeza de sedimentos e de vegetação.	
• Identificação e pintura.	
2. Barragens de concreto:	
• MARCOS TOPOGRÁFICOS:	
• Para os marcos de referência, ações de conservação idênticas às dos marcos das barragens de aterro.	

• PÊNDULOS DIRETOS E INVERTIDOS:
• Inspeção.
• Drenagem de águas de infiltração.
• Limpeza e proteção contra a ferrugem das peças fixas.
• Pinturas e substituição de peças metálicas danificadas.
• BASES DE ALONGÂMETRO:
• Renovação periódica da massa protetora da tampa do aparelho de leitura.
• Ações de conservação das tampas.
• INSTRUMENTOS ELÉTRICOS OU DE CORDA VIBRANTE EMBEBIDOS NO CONCRETO:
• Ações de conservação das centrais de leitura (drenagem, desumidificação, proteção).
• PIEZÔMETROS DE TUBO ABERTO COM MANÔMETROS:
• Ações de conservação das peças metálicas.
• Conservação da identificação de cada piezômetro.
• Calibração periódica dos manômetros.
• DRENOS:
• Limpeza (desobstrução) dos tubos de drenagem.
• Substituição de tubos antigos.
• Conservação da identificação de cada dreno.
• EXTENSÔMETROS
• Ações de conservação das peças de alumínio e tampas.
• Identificação das hastes.
• Calibração periódica dos relógios comparadores.
• MEDIDORES DE VAZÃO PARCIAIS:
• Ações de conservação idênticas às dos medidores de vazão das barragens de aterro.

Nos itens que se seguem referem-se, com um pouco mais detalhe, aspectos de algumas das principais ações de manutenção dos equipamentos de monitoramento, nas barragens de aterro e de concreto.

#### 4.4.1 Barragens de aterro

##### Marcos topográficos e de referência

Os marcos topográficos e de referência devem ser periodicamente pintados, de preferência com tinta branca resistente aos agentes atmosféricos e deve proceder-se à sua identificação com tinta indelével, repetindo a pintura e marcação sempre que necessário. As peças metálicas devem ser sujeitas a uma pintura anticorrosiva e devidamente protegidas, sempre que possível.

Em torno dos marcos deve limpar-se a vegetação que pode impedir a correta leitura. Os caminhos de acesso aos marcos de referência

devem ser mantidos em bom estado de manutenção.

##### Placas de recalque e inclinômetros

O exterior dos tubos é habitualmente envolvido por um pequeno maciço em concreto com uma tampa metálica. O fecho da tampa deve ser verificado após cada leitura. Todas as partes metálicas devem ser pintadas com pintura antiferrugem, repetindo-se a operação sempre que se verifique necessário.

A tampa constitui uma proteção essencial nesse tipo de instrumentos, dado que os tubos podem facilmente ficar inutilizados por introdução de corpos estranhos ou por pancadas que deformem a acessível, inviabilizando a descida do sensor.

Os maciços que envolvem a parte exterior dos tubos, quando existem, e as tampas, devem ser pintados e identificados da forma indicada para os marcos topográficos (**Figura 67**).



**Figura 67.** Tampa de uma bateria de placas de recalques.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA





**Figura 68.** Piezômetro protegido com maciço de concreto e tampa metálica.  
Fonte: COBA, S.A. / Banco de Imagens ANA

### **Piezômetros de tubo aberto**

Os tubos dos piezômetros abertos podem ficar obstruídos ou danificados pelo que, tal como para os tubos inclinométricos ou para as placas de recalque, a cabeça exterior deve ser protegida por um pequeno maciço em concreto com tampa metálica, pintado e identificado tal como referido para os marcos topográficos (**Figura 68**).

### **Piezômetros pneumáticos e elétricos, e células de pressão total**

Os piezômetros (pneumáticos ou elétricos) e as células de tensão total, instalados no interior do corpo dos aterros, são conectados com o exterior através de cabos ou tubos que são ligados a terminais instalados em centrais de leitura.

As operações de manutenção envolvem fundamentalmente a central de leituras, cuja estrutura deve ser conservada (drenagem, desumidificação, pinturas) e protegido o acesso ao seu interior de modo a evitar ações de vandalismo.

Os cabos ou tubos devem ser devidamente identificados para evitar erros.

### **Medidores de vazão**

Os medidores de vazão devem ser limpos de sedimentos e de vegetação acumulados na bacia de retenção, de modo a que o escoamento se processe sem interferências.

Os medidores devem ser identificados e pintados com tinta indelével e resistente à umidade.

## **4.4.2 Barragens de concreto**

### **Marcos topográficos**

Os marcos topográficos e de referência instalados em pilares devem ter manutenção idêntica à referida para os marcos das barragens de aterro, bem como para os acessos e para a vegetação.

Para as peças colocadas nos paramentos das barragens, normalmente em locais inacessíveis,

a sua adequada ligação ao concreto deve ser mantida.

### **Pêndulos diretos e invertidos**

As operações de manutenção e conservação dos pêndulos, incluindo os fios e respectivas bases de coordenômetro e suporte dos cones de referência, devem envolver:

- A verificação de que não há contato do fio e do peso numa das suas extremidades com as paredes do tubo ou furo;
- Captação e desvio de águas de infiltração que possam dificultar a realização das leituras e contribuir para a degradação das peças fixas (peças de suspensão do fio, suporte e bases de coordenômetro, suporte e cones de referência);
- Limpeza e proteção contra a ferrugem das peças fixas;
- Nos pêndulos invertidos, a verificação de que não há contato do flutuador com as paredes do recipiente, bem como de que não existem fugas do líquido contido no recipiente (a insuficiência de líquido pode originar o contato);
- Nos pêndulos invertidos o recipiente e o flutuador, quando metálicos, devem ser objeto de pintura protetora, a renovar periodicamente.

### **Medidores de movimentos de junta**

Os medidores triortogonais de junta, instalados em locais acessíveis, devem ser mantidos em adequada situação de limpeza, em especial quando da realização das medições. Os relógios comparadores devem ser calibrados periodicamente.

Para os medidores de movimentos de juntas colocados no interior do concreto, as operações

de manutenção são semelhantes às dos aparelhos elétricos.

Em estruturas antigas em que tenham sido utilizadas bases de alongâmetro para medição dos movimentos das juntas, as bases encastadas no concreto e as respectivas proteções devem ser adequadamente mantidas.

### **Instrumentos elétricos ou de corda vibrante embebidos no concreto**

Os aparelhos de resistência elétrica ou de corda vibrante, para medição de extensões, tensões ou temperaturas, instalados no interior do concreto, são conectados com o exterior através de cabos ligados a terminais instalados em centrais de leitura, em regra situadas no interior de galerias.

As operações de manutenção consistem essencialmente na drenagem e desumidificação, bem como na proteção dessas centrais.

### **Piezômetros de tubo aberto com manômetros**

Nos piezômetros de tubo aberto (casagrande) com manômetros, em regra instalados em galerias, deve evitar-se perdas de carga, nomeadamente, nas uniões.

Algumas peças metálicas, como os manômetros, as torneiras de purga e as placas com identificação do piezômetro, colocadas na sua vizinhança, devem ser mantidos em bom estado de conservação.

Os manômetros devem ser sujeitos à calibração periódica.

### **Drenos**

A limpeza dos tubos de drenagem que coletam a água de percolação deve ser realizada com jatos de água e ar sob pressão, a partir do fundo do dreno, utilizando mangueiras flexíveis.

Quando se constatar a existência de obstruções (devido a fragmentos de rocha, pedaços de madeira ou crostas de carbonato), deve ser realizada a desobstrução do dreno até à cota de projeto.

Para facilitar a verificação da profundidade dos drenos, assim como as operações periódicas de limpeza, recomenda-se a utilização de um terminal em T, como indicado na **Figura 69**.

A limpeza dos drenos deve ser realizada no final da construção e periodicamente, pelo menos de 10 em 10 anos.

#### **Medidores de vazão parciais (bicas)**

As ações de manutenção dos medidores de vazão no interior das galerias das barragens de concreto são idênticas às referidas para os medidores de vazão das barragens de aterro.



**Figura 69.** Terminal de dreno de fundação em “T” para facilitar as operações periódicas de limpeza.

Fonte: SBB Engenharia / Banco de Imagens ANA

# 5 CONTROLE DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

## 5.1 ASPECTOS GERAIS

O controle de segurança de barragens, feito com base no seu monitoramento e inspeção, incluindo aspectos estruturais, hidráulicos e operacionais e mesmo aspectos ambientais, visa detectar em tempo útil qualquer anomalia que possa comprometer o desempenho do empreendimento ou ameaçar a sua segurança e implementar as necessárias medidas corretivas.

A avaliação do comportamento da barragem é feita de uma forma rotineira com a realização das Inspeções de Segurança Regulares, em cujo relatório deverá constar o resultado da inspeção e a revisão dos registros de instrumentação disponíveis. Essas inspeções permitem detectar sinais ou evidências de deterioração, comportamentos anômalos ou sintomas de envelhecimento, bem como anomalias da instrumentação instalada e são dos tipos regular e especial (Ver Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem).

Em consequência da análise feita durante a inspeção de segurança regular, será indicada a necessidade de manutenção, pequenos reparos ou de inspeções especiais, caso sejam detectadas anomalias muito graves, recomendando os serviços necessários.

As Inspeções de Segurança Especiais são realizadas em consequência de eventos adversos ou alterações das condições a montante e a jusante da barragem, como por exemplo, o primeiro enchimento ou um rebaixamento rápido, ou a detecção de anomalias consideradas graves.

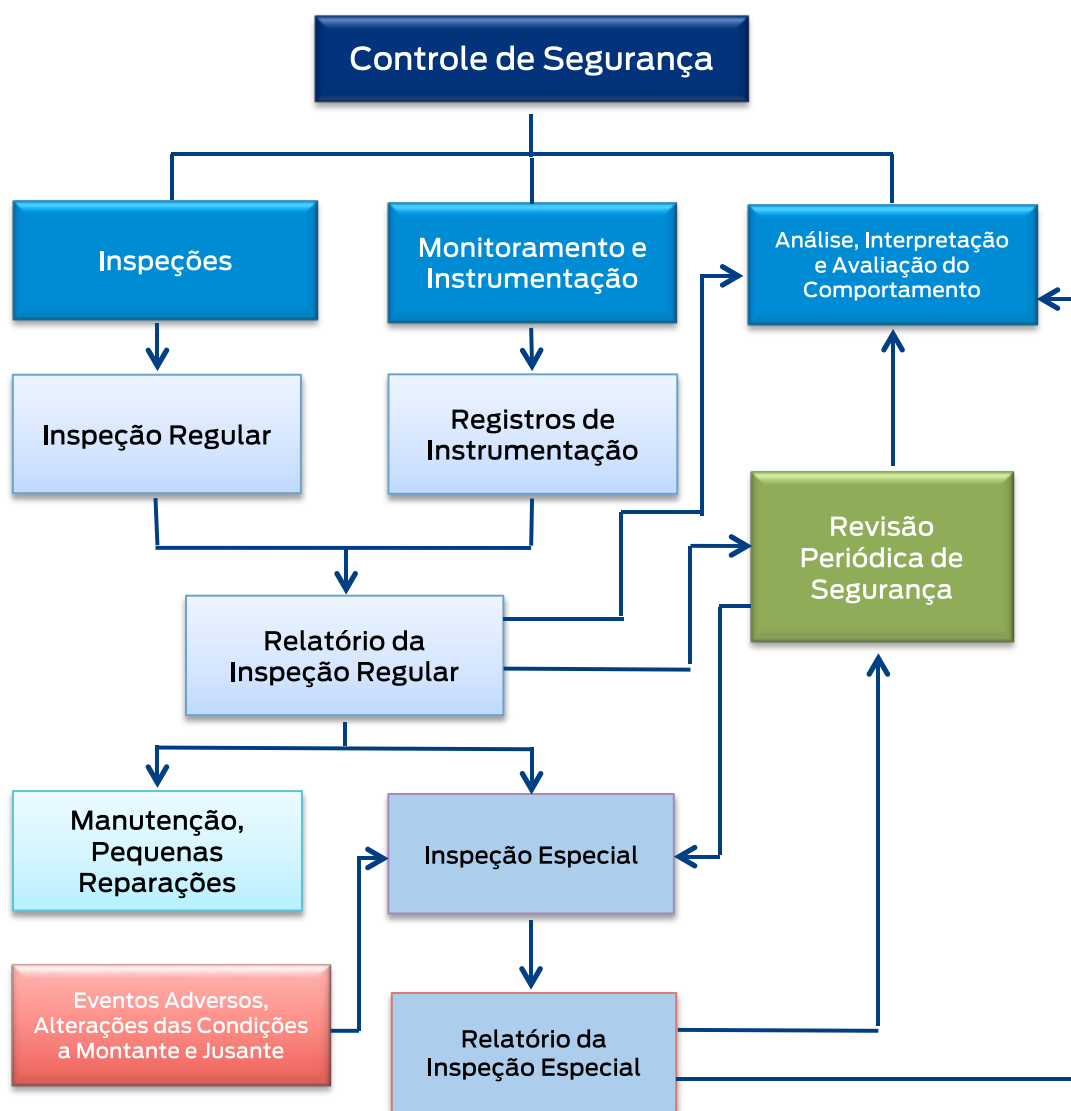
O empreendedor deve comunicar à entidade fiscalizadora e aos serviços de defesa civil eventos extremos (ocorrências excepcionais), nomeadamente, cheias e sismos, bem como circunstâncias anômalas de comportamento (tais como erosões provocadas por descargas), e tomar as medidas que se revelem necessárias. Nos casos de barragens que disponham de Plano de Emergência, este deve ser utilizado (para instruções, ver Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE).

O empreendedor deve também promover a elaboração dos eventuais projetos de reparação e proceder à sua implementação.

Finalmente, deve fazer-se uma avaliação completa e sistemática quando das revisões periódicas de segurança. Nestas revisões, elaboradas com a periodicidade indicada pela entidade fiscalizadora, deve ser feita a revisão do projeto, uma inspeção especial, e a reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, instrumentação e monitoramento, permitindo, assim, uma avaliação do comportamento da barragem e estabelecimento de um eventual plano de ações e respectivo cronograma de implantação com vista à melhoria daqueles procedimentos.

A revisão periódica de segurança de barragens envolve a avaliação das condições de segurança da barragem e sua fundação, bem como das estruturas associadas, incluindo propostas de eventuais medidas corretivas (Ver Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem).





**Figura 70.** Atividades de controle de segurança.

Na **Figura 70** apresenta-se um organograma das atividades de controle de segurança.

Estas atividades devem ser apoiadas por modelos de comportamento devidamente calibrados, correlacionando as propriedades estruturais, as ações e seus respectivos efeitos estruturais e eventuais consequências, obtidos através do monitoramento e das inspeções.

Podem ser estabelecidos modelos estatísticos, quando se dispõe de um número elevado de resultados do monitoramento, modelos determinísticos, analisados de forma

direta (considerando os resultados do monitoramento das propriedades estruturais e das ações e determinando os respectivos efeitos e consequências), ou de forma inversa (considerando os resultados do monitoramento das ações e dos seus efeitos e estimando as propriedades estruturais).

Dispondo de um modelo da barragem devidamente calibrado para situações normais de operação, podem ser facilmente estabelecidas previsões do comportamento para estas situações e simular a excepcional ocorrência de cenários extremos adversos.



## 5.2 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

O Plano de Segurança da Barragem contém informações mínimas como identificação do empreendedor, dados técnicos do empreendimento, estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem.

Para informações mais detalhadas do conteúdo do Plano de Segurança de Barragem, deve ser consultado o Volume I - Instruções para apresentação do Plano de Segurança da Barragem, no qual se apresenta um modelo padrão e respectivas instruções para elaboração do Plano de Segurança da Barragem.

## 5.3 DESCOMISSIONAMENTO (DESATIVAÇÃO) DE BARRAGENS

Uma barragem é descomissionada (desativada) quando deixa de ser utilizada para os propósitos de capacitar a acumulação ou desvio de água (ou qualquer outra substância), ou quando for abandonada ou demolida.

O descomissionamento de uma barragem, com demolição parcial ou total das suas estruturas, deve ser comunicado à entidade fiscalizadora e implementado de modo a garantir as necessárias exigências de segurança.

O empreendedor deve promover a realização de um projeto de desativação, apoiado em estudos detalhados da retirada de serviço da barragem e incluindo as medidas necessárias para garantir as condições de segurança.

Os estudos de apoio do projeto de desativação devem considerar as disposições legais, bem como outros eventuais requisitos e interesses a atender, como sejam:

- As características das estruturas que permanecem e as consequências de eventuais demolições, de modo a não bloquear o escoamento e a permitir a descarga de cheias de forma segura;

- As condições de operação e a segurança das barragens e reservatórios a jusante;
- A estabilidade das estruturas que permanecem;
- A eventual formação de reservatório que possa representar ameaça para a saúde pública, assim como para o meio ambiente.

O Projeto de desativação da barragem deve incluir:

- A justificação das opções tomadas;
- A descrição do processo de retirada de serviço da barragem, do seu abandono e da eventual demolição das estruturas;
- A verificação da estabilidade das estruturas que permanecerão, tendo em consideração as novas condições de funcionamento;
- Estudos hidráulicos sobre as consequências de abandono e eventual demolição das estruturas, designadamente, sobre a formação do novo leito a montante e sobre o controle das cheias, o estudo dos sedimentos e a operação de barragens a jusante;
- Soluções propostas para eliminar ou mitigar as eventuais consequências negativas do abandono do aproveitamento;
- Eventual plano para o controle de segurança das estruturas que permanecem.

A entidade fiscalizadora pode exigir a execução de trabalhos (incluindo a demolição de estruturas) com vista a garantir condições de segurança.

No caso da barragem não ser totalmente removida, pode ser adequado prosseguir o controle de segurança das estruturas que permanecem. Nestes casos, o projeto de desativação deve incluir um plano para o controle de segurança das estruturas que permanecem, nomeadamente, por intermédio de inspeções de segurança, indicando o seu tipo, periodicidade e forma de apresentação dos relatórios. No caso de ficarem instalados nas estruturas que permanecem instrumentos em condições operacionais, a utilização desses instrumentos e a forma da sua utilização devem ser referidas no plano de controle de segurança dessas estruturas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Resolução nº 742, de 17 de outubro de 2011.** Brasília: Agência Nacional de Águas, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Resolução** nº 91, de 02 de abril de 2012. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2012.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (Portugal). **12º Curso de Exploração e Segurança de Barragens:** Slides de exposição das aulas. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente (antigo INAG), 2013.

ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS (Estados Unidos), **Boletim da U. S. Association of State Dam Safety Officials.** Nov/2008.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** Brasília: Departamento de Projetos e Obras Hídricas – DPOH, Proágua / Semi-Árido – UGPO, Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, Ministério da Integração Nacional, 2002.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil.** Belo Horizonte, MG: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, II Simpósio Sobre Instrumentação de Barragens, Vol. I, 1996.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **XV Seminário Nacional de Grandes Barragens (SNGB).** Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 1983.

ELETROBRAS (Brasil). **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas.** Rio de Janeiro: Centrais Elétricas S.A., 2003.

INSTITUTO DA ÁGUA (Portugal). **Curso de Exploração e Segurança de Barragens.** Lisboa: Instituto da Água, 2001.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Ageing of Dams and Appurtenant Works. Review and Recommendations:** Bulletin 93. Paris: International Commission on Large Dams, 1994.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Deterioration of Dams and Reservoirs.** Paris: Committee on Deterioration of Dams and Reservoirs, International Commission on Large Dams, 1984.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Monitoring of Dams and Their Foundations:** Bulletin 68. Paris: International Commission On Large Dams, 1989.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Improvement of Existing Dam Monitoring:** Bulletin 87. Paris: International Commission On Large Dams, 1992.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Embankment Dams Upstream Slope Protection:** Bulletin 91. Paris: International Commission on Large Dams, 1993.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and their Foundations Volume 1: Internal Erosion Processes and Engineering Assessment.** International Commission on Large Dams, 2013.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Lessons from Dam Incidents.** Paris: International Commission on Large Dams, 1974/81.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Risk Assessment in Dam Safety Management:** Bulletin 130. Paris: International Commission On Large Dams, 2005.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Small Dams. Design, Surveillance and Rehabilitation:Lessons from Dam Incidents.** Bulletin 157 Paris: International Commission on Large Dams, 2010.


PORTUGAL. Ministério da Agricultura; Ministério da Administração Interna; Ministério da Defesa Nacional; Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações; Ministério da Indústria e Energia. **Normas de Observação e Inspeção de Barragens,** Portaria nº 847/93 de 10 de Setembro. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, e do Ambiente e Recursos Naturais, 1993.

PEDRO, J. O.. **Segurança e Funcionalidade das Barragens:** Memória Nº 824. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, 2001.

SILVEIRA, J. F. A.. **Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto.** Rio de Janeiro: Editora Ofitexto, 2003.

SILVEIRA, J. F. A.. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento.** Rio de Janeiro: Editora Ofitexto, 2006.

# **ANEXO A – MODELO DO PLANO DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO**



Nome do Empreendedor e Logo do Empreendedor

**BARRAGEM** \_\_\_\_\_

## **PLANO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**



# SUMÁRIO

<b>PLANO DE OPERAÇÃO</b>	<b>111</b>
1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO	111
1.1 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS	111
1.1.1 Identificação e localização da barragem	111
1.1.2 Descrição geral da barragem	112
1.1.3 Reservatório	118
1.1.4 Órgãos extravasores	119
1.1.5 Órgãos de operação	119
2 REGRA OPERACIONAL DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES	120
2.1 VERTEDOURO	120
3 REGRA OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO	128
4 REGISTRO DE OPERAÇÃO	129
<b>PLANO DE MANUTENÇÃO</b>	<b>130</b>
1 MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS	130
2 MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	133
3 REGISTROS DE MANUTENÇÃO	134
<b>PLANO DE MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO</b>	<b>135</b>
1 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS	135
2 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	135
3 ATUALIZAÇÕES	135
4 GRANDEZAS A MONITORAR E INSTRUMENTOS	135
5 ESPECIFICAÇÕES DOS INSTRUMENTOS	135
6 LEITURAS E PROCESSAMENTO DOS DADOS	136
7 REGISTROS DE MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO	136

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 71 – Barragem _____.	Localização.	112
Figura 72 – Barragem _____.	Planta geral.	113
Figura 73 – Barragem _____.	Seções principais.	113
Figura 74 – Barragem _____.	Curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados do reservatório.	118
Figura 75 – Barragem _____.	Curvas de remanso.	119
Figura 76 – Barragem _____.	Curvas de vazão do vertedouro.	122
Figura 77 – Barragem _____.	Curvas de vazão a jusante do vertedouro	122
Figura 78 – Barragem _____.	Curvas de remanso ao longo do canal de descarga (Vazão= ...m <sup>3</sup> /s).	123
Figura 79 – Barragem _____.	Curvas de vazão do descarregador de fundo.	126

# LISTA DE QUADROS

Quadro 22 – Principais características da barragem de (denominação oficial)	114
---	-----

# PLANO DE OPERAÇÃO

## 1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO

Elaborar uma descrição muito sucinta do aproveitamento, com identificação do curso de água e sua localização precisa.

Indicar a área da bacia hidrográfica a montante do barramento, com a identificação dos tributários principais.

### 1.1 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS

#### 1.1.1 Identificação e localização da barragem

A barragem (denominação oficial), com o Empreendedor (\_\_\_\_\_), está localizada

(identificar o curso de água, a Unidade da Federação e o Município). As respectivas coordenadas são (Coordenadas: \_\_\_\_\_ Norte; \_\_\_\_\_ Leste).

A montante da barragem de (denominação oficial) existem as seguintes barragens: barragem de \_\_\_\_\_ (denominação oficial), situada (\_\_\_\_\_) km a montante:

A jusante da barragem de (denominação oficial) existem as seguintes barragens: barragem de (denominação oficial), situada (\_\_\_\_\_) km a montante.



**Figura 71** – Barragem \_\_\_\_\_. Localização.

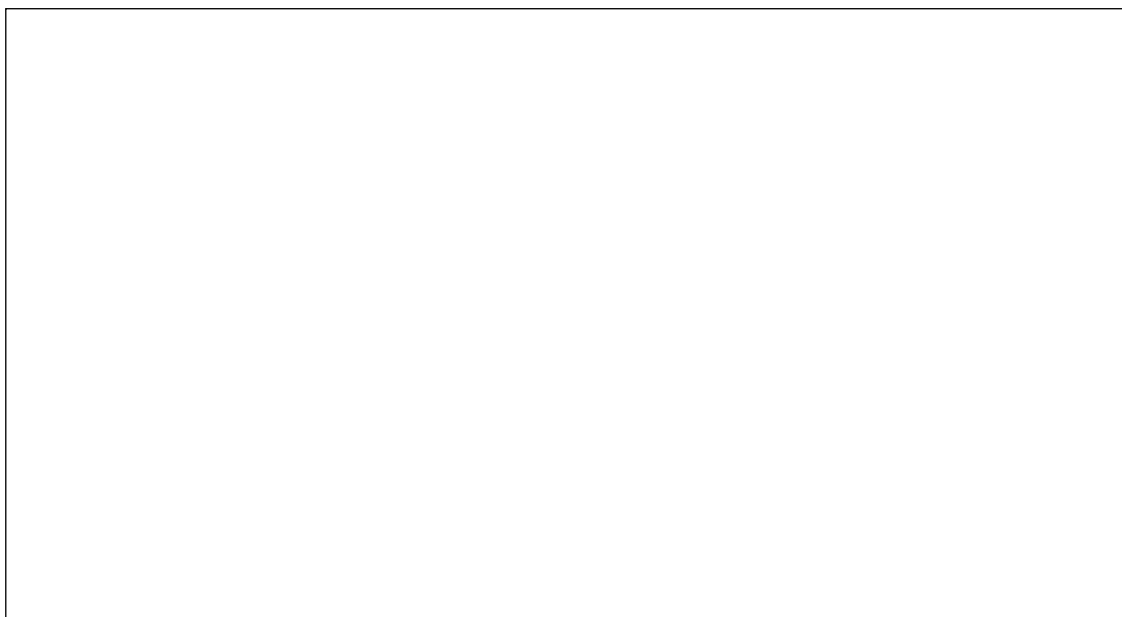
### 1.1.2 Descrição geral da barragem

Indicar: A Barragem \_\_\_\_\_ é uma estrutura (descrever o tipo), com altura máxima de \_\_\_\_\_ m e aproximadamente \_\_\_\_\_ m de extensão (pelo eixo), com crista na elevação \_\_\_\_\_.

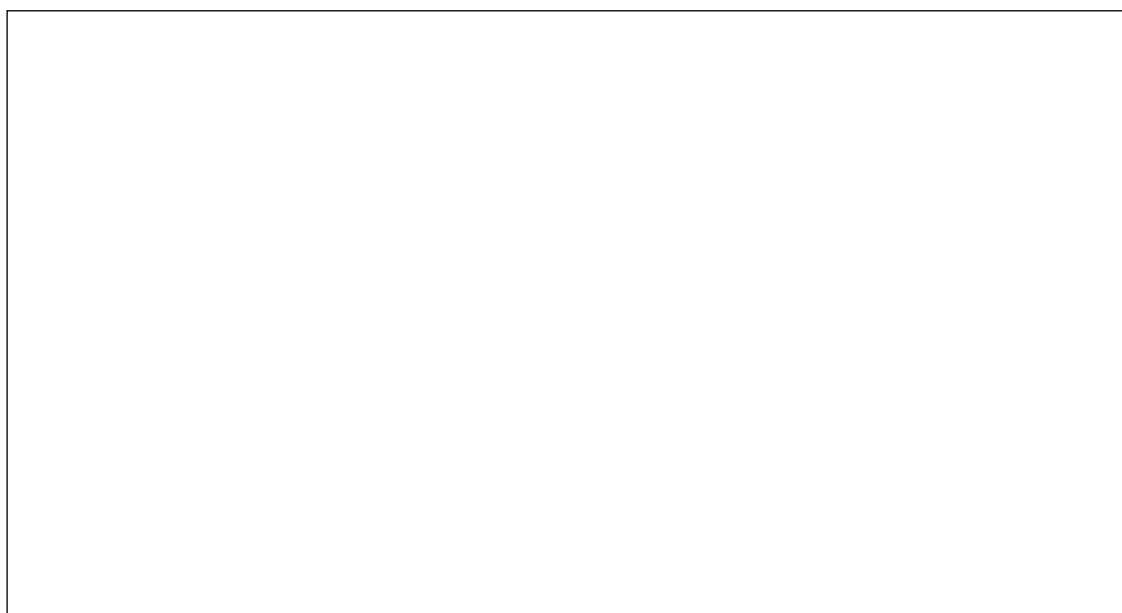
Indicar seguidamente as características principais (tipo de barragem, altura, capacidade de

armazenamento total e útil, desenvolvimento da crista, inclinação dos taludes, cotas características (crista, nível superior das comportas, fundação, galerias), volumes (de escavação, de aterro, de concreto), data de construção, utilizações a que se destina, etc. (Quadro 1).

A seguir devem apresentar-se figuras ilustrativas simplificadas (ou fotos).



**Figura 72** – Barragem \_\_\_\_\_. Planta geral.



**Figura 73** – Barragem \_\_\_\_\_. Seções principais.



**Quadro 22.** Principais características da barragem de **(denominação oficial)**

Principais características da barragem _____	
Denominação Oficial	
Empreendedor	
Entidade Fiscalizadora	
Localização	
Curso de água	
Município	
Unidade da Federação	
Coordenadas Norte e Leste	
Existência de barragens a montante e a jusante	
Barragem	
Tipo	
Altura máxima acima da fundação (m)	
Cota do coroamento	
Comprimento do coroamento (m)	
Largura do coroamento (m)	
Inclinação do paramento de montante (V:H)	
Inclinação do paramento de jusante (V:H)	
Bacia hidrográfica	
Área drenada (km <sup>2</sup> )	
Precipitação média na bacia (mm)	
Volume anual médio afluente (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
Vazões máximas (m <sup>3</sup> /s)	

Características geológicas regionais	
Fundação	
Suscetibilidade a escorregamento de taludes do reservatório	
Sismicidade potencial	
Reservatório	
Nível Mínimo Operacional (NmO)	
Nível Máximo Normal (NMN)	
Nível Máximo Maximorum (NMM)	
Nível de máxima cheia (T = 1000 anos)	
Reservatório	
Capacidade total do reservatório ( $10^6 \text{ m}^3$ )	
Capacidade útil do reservatório ( $10^6 \text{ m}^3$ )	
Área inundada ao NMN ( $\text{km}^2$ )	
Tempo de esvaziamento (h)	
Extravador de cheias	
Localização	
Tipo	
Vazão máxima sob o NMN ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	
Cota da soleira vertedoura	
Largura útil do extravador (m)	
Tipo de comportas (caso existam)	
Número de comportas e dimensões (H:V)	
Tipo de manobra	
Fonte alternativa de energia	

Comando à distância	
Largura do canal na seção constante (m)	
Comprimento do canal (m)	
Tipo de dissipador de energia	
Comprimento da bacia de dissipação (m)	
Largura da bacia de dissipação (m)	
<b>Descarregador de fundo (descarga de fundo)</b>	
Localização	
Tipo	
Vazão máxima sob o NMN (m³/s)	
Cota da soleira à entrada	
Cota da soleira à saída	
Comprimento do conduto/galeria (m)	
Tipo de comportas	
Número de comportas e dimensões (H:V)	
Tipo de manobra	
Fonte alternativa de energia	
Comando à distância	
Comprimento da bacia de dissipação (m)	
Largura da bacia de dissipação (m)	
<b>Tomada d'água</b>	
Localização	
Tipo	
Cotas das tomadas d'água à entrada	

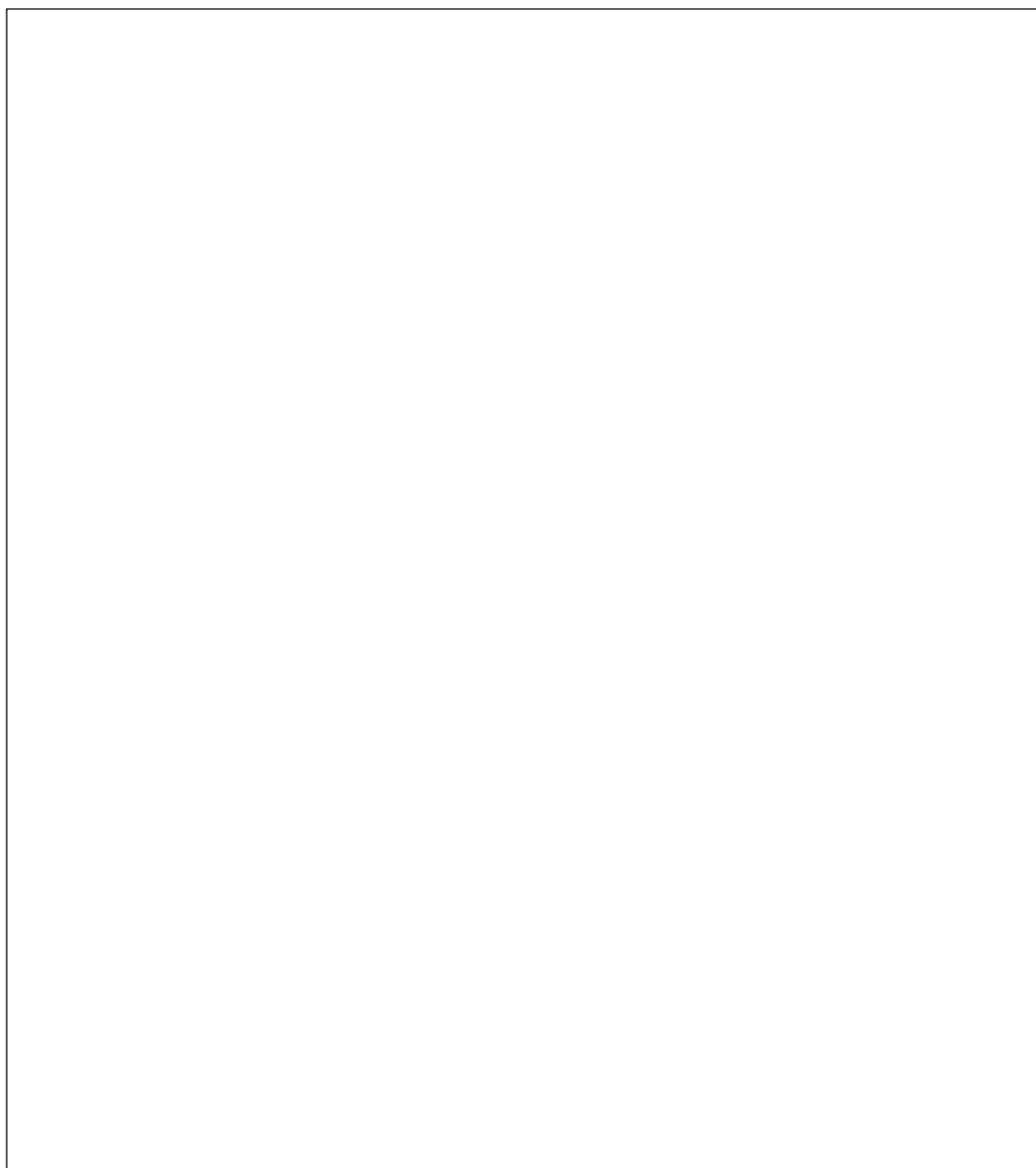
Vazão máxima (m³/s)	
Tipo de comportas	
Número de comportas e dimensões (H:V)	
Comprimento do conduto/galeria (m)	
Controle à entrada	
Número e dimensões das grades (H:V)	
Controle à saída	
Tipo de manobra	
Fonte alternativa de energia	
Comando à distância	

### 1.1.3 Reservatório

Neste capítulo deve ser feita uma descrição geral do reservatório e apresentadas as cotas características de exploração, tais como: nível

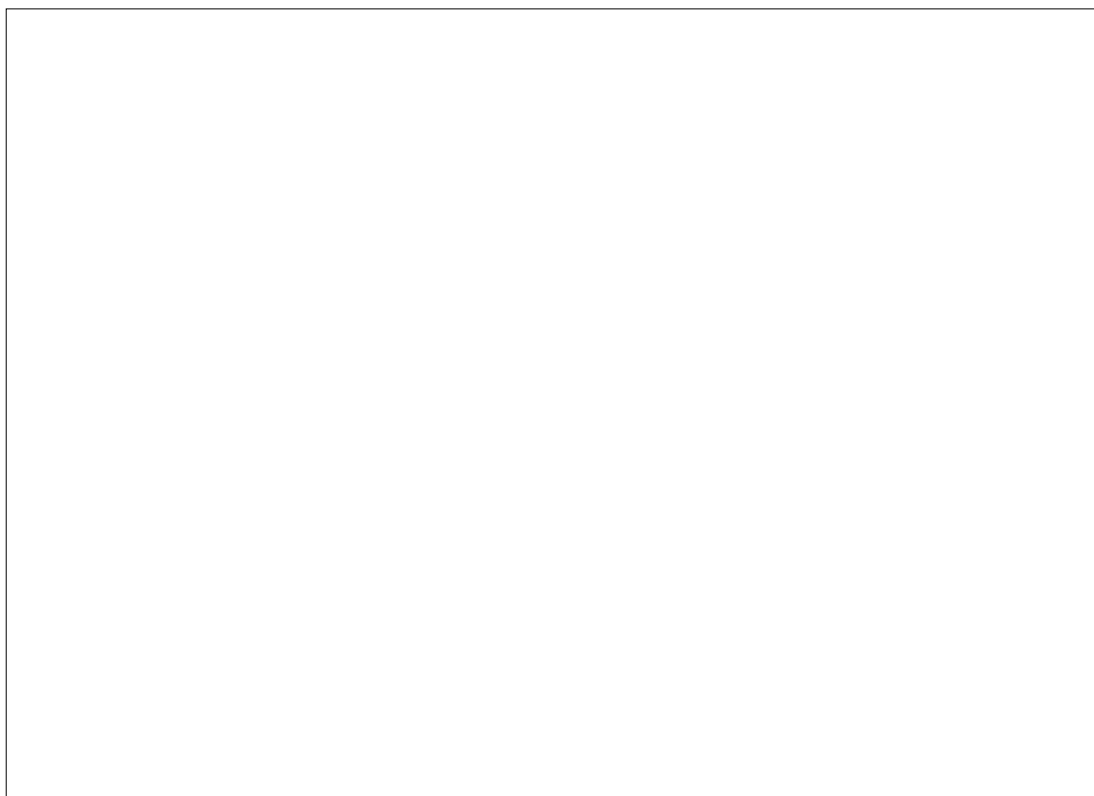
máximo normal, nível de máximo maximorum, nível mínimo de operação, etc.

Devem ser apresentadas as curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados do reservatório.



**Figura 74** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados do reservatório.





**Figura 75** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de remanso.

Quando se justificar, apresentar as curvas de remanso a montante para uma determinada vazão afluente.

#### 1.1.4 Órgãos extravasores

Indicar quais os órgãos extravasores disponíveis – **vertedouro, descarregador de fundo (descarga de fundo)**.

Descrever o vertedouro de superfície (ou o sangradouro), o descarregador de fundo (se existente), explicitando: a localização, o tipo de vertedouro, a modalidade de dissipação de energia, o número de vãos, as cotas (da soleira vertedoura, superior das comportas), a capacidade máxima de descarga (e o período de recorrência: bimilenar, decamilenar, PMF, etc.).

Caracterizar as comportas (tipo, altura, largura, raios, etc.) e identificar a localização do posto de manobra dos equipamentos.

#### 1.1.5 Órgãos de operação

Descrever as tomadas de água, explicitando: a localização, o tipo de tomadas (torre de tomada, conduto, o seu número e cota das respectivas soleiras, câmara de manobras de jusante, sistema de adução, circuito da vazão remanescente, etc.).

Descrever e caracterizar (por exemplo, tipo, número, largura e altura dos vãos, cotas das soleiras) os equipamentos hidromecânicos (comportas ensecadeiras e de segurança, grades, ponte rolante, conduto forçado, ...).

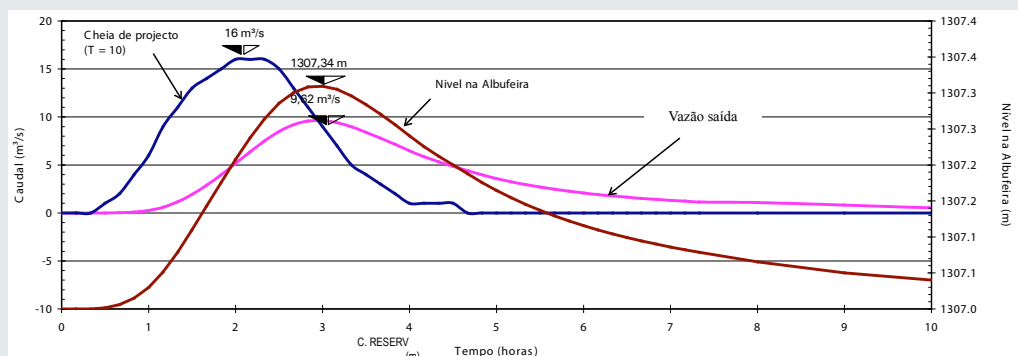
## 2 REGRA OPERACIONAL DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES

### 2.1 VERTEDOURO

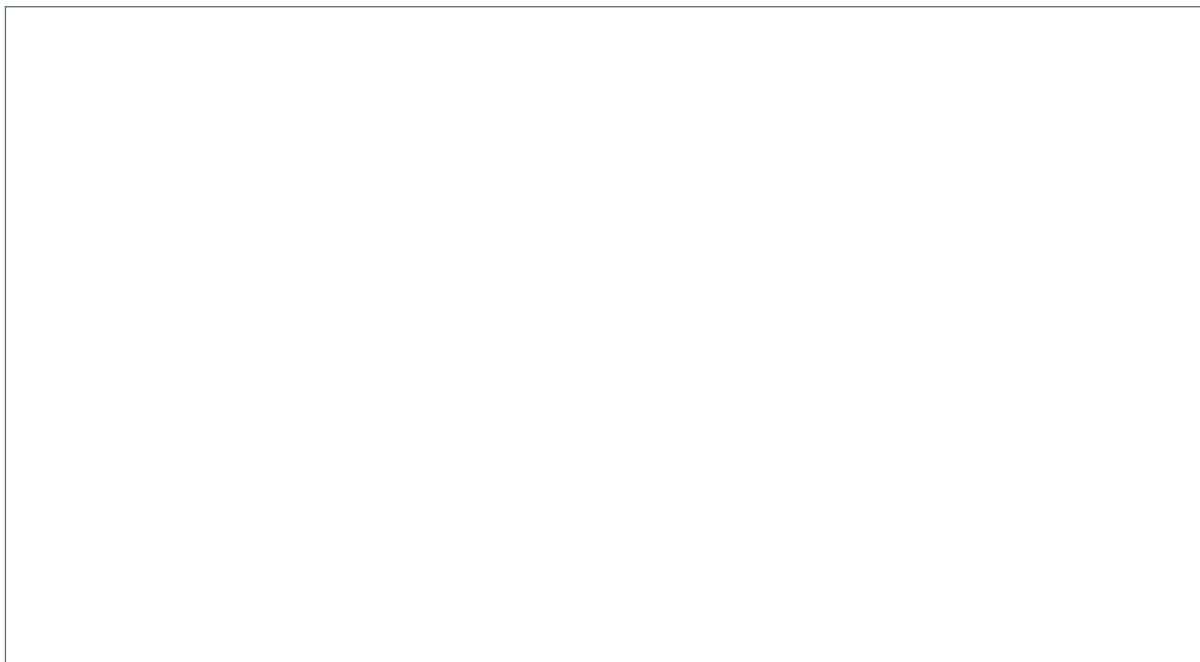
Apresentar o estudo do amortecimento das cheias no reservatório, com tabelas e figuras dos hidrogramas de cheias considerados.

**Exemplo:** Amortecimento da cheia com tempo de recorrência de 1 000 anos ( $Q_{\text{máximo afluyente}}=85 \text{ m}^3/\text{s}$ )

T (h)	QAFLUENTE (m³/s)	Volume AFLUENTE (m³)	Volume ACUMULADO (m³)	Cota ALBUFEIRA (m)	QSAÍDO (m³/s)	Volume SAÍDO (m³)	Volume FINAL (m³)	Cota FINAL (m)
0.00	0	0	2 400 000	1 307.00	0.00	0	2 400 000	1 307
0.17	0	0	2 400 000	1 307.00	0.00	0	2 400 000	1 307
0.33	0	0	2 400 000	1 307.00	0.00	0	2 400 000	1 307
0.50	1	300	2 400 300	1 307.00	0.00	2	2 400 298	1 307
0.67	2	900	2 401 198	1 307.01	0.02	14	2 401 184	1 307
0.83	4	1 800	2 402 984	1 307.02	0.09	56	2 402 928	1 307
1.00	6	3 000	2 405 928	1 307.03	0.26	157	2 405 771	1 307
1.17	9	4 500	2 410 271	1 307.05	0.60	358	2 409 913	1 307
1.33	11	6 000	2 415 913	1 307.08	1.15	690	2 415 223	1 307
1.50	13	7 200	2 422 423	1 307.12	1.92	1 154	2 421 269	1 307
1.67	14	8 100	2 429 369	1 307.15	2.88	1 730	2 427 639	1 307
1.83	15	8 700	2 436 339	1 307.19	3.97	2 381	2 433 958	1 307
2.00	16	9 300	2 443 258	1 307.22	5.15	3 093	2 440 165	1 307
2.17	16	9 600	2 449 765	1 307.26	6.36	3 816	2 445 949	1 307
2.33	16	9 600	2 455 549	1 307.29	7.50	4 500	2 451 049	1 307
2.50	15	9 300	2 460 349	1 307.31	8.49	5 096	2 455 253	1 307
2.67	13	8 400	2 463 653	1 307.33	9.20	5 520	2 458 133	1 307
2.83	11	7 200	2 465 333	1 307.34	9.57	5 740	2 459 593	1 307
3.00	9	6 000	2 465 593	1 307.34	9.62	5 774	2 459 819	1 307
3.17	7	4 800	2 464 619	1 307.33	9.41	5 646	2 458 972	1 307
3.33	5	3 600	2 462 572	1 307.32	8.97	5 380	2 457 192	1 307
3.50	4	2 700	2 459 892	1 307.31	8.40	5 038	2 454 854	1 307
3.67	3	2 100	2 456 954	1 307.29	7.79	4 672	2 452 282	1 307
3.83	2	1 500	2 453 782	1 307.28	7.15	4 287	2 449 495	1 307
4.00	1	900	2 450 395	1 307.26	6.48	3 889	2 446 506	1 307
4.17	1	600	2 447 106	1 307.24	5.86	3 514	2 443 592	1 307
4.33	1	600	2 444 192	1 307.23	5.32	3 193	2 440 999	1 307
4.50	1	600	2 441 599	1 307.22	4.86	2 916	2 438 682	1 307
4.67	0	300	2 438 982	1 307.20	4.41	2 646	2 436 337	1 307
4.83	0	0	2 436 337	1 307.19	3.97	2 381	2 433 956	1 307
5.00	0	0	2 433 956	1 307.18	3.58	2 151	2 431 805	1 307
5.17	0	0	2 431 805	1 307.16	3.25	1 950	2 429 855	1 307
5.33	0	0	2 429 855	1 307.15	2.96	1 773	2 428 082	1 307
5.50	0	0	2 428 082	1 307.15	2.70	1 618	2 426 465	1 307
5.67	0	0	2 426 465	1 307.14	2.47	1 480	2 424 985	1 307
5.83	0	0	2 424 985	1 307.13	2.26	1 357	2 423 627	1 307
6.00	0	0	2 423 627	1 307.12	2.08	1 248	2 422 379	1 307
6.17	0	0	2 422 379	1 307.12	1.92	1 151	2 421 228	1 307
6.33	0	0	2 421 228	1 307.11	1.77	1 063	2 420 165	1 307
6.50	0	0	2 420 165	1 307.10	1.64	984	2 419 181	1 307
6.67	0	0	2 419 181	1 307.10	1.52	913	2 418 268	1 307
6.83	0	0	2 418 268	1 307.09	1.41	849	2 417 419	1 307
7.00	0	0	2 417 419	1 307.09	1.32	790	2 416 629	1 307
7.17	0	0	2 416 629	1 307.09	1.23	737	2 415 892	1 307
7.33	0	0	2 415 892	1 307.08	1.15	689	2 415 203	1 307
8.00	0	0	2 415 203	1 307.08	1.07	2 577	2 412 626	1 307
9.00	0	0	2 412 626	1 307.07	0.81	2 926	2 409 700	1 307
10.00	0	0	2 409 700	1 307.05	0.55	1 970	2 407 730	1 307
11.00	0	0	2 407 730	1 307.04	0.39	1 402	2 406 328	1 307
12.00	0	0	2 406 328	1 307.03	0.29	1 038	2 405 290	1 307
13.00	0	0	2 405 290	1 307.03	0.22	793	2 404 496	1 307
14.00	0	0	2 404 496	1 307.02	0.17	622	2 403 875	1 307
15.00	0	0	2 403 875	1 307.02	0.14	497	2 403 377	1 307
16.00	0	0	2 403 377	1 307.02	0.11	405	2 402 972	1 307
17.00	0	0	2 402 972	1 307.02	0.09	334	2 402 638	1 307
18.00	0	0	2 402 638	1 307.01	0.08	279	2 402 359	1 307
19.00	0	0	2 402 359	1 307.01	0.07	236	2 402 122	1 307
20.00	0	0	2 402 122	1 307.01	0.06	202	2 401 921	1 307
21.00	0	0	2 401 921	1 307.01	0.05	174	2 401 747	1 307
22.00	0	0	2 401 747	1 307.01	0.04	151	2 401 597	1 307
23.00	0	0	2 401 597	1 307.01	0.04	132	2 401 465	1 307
24.00	0	0	2 401 465	1 307.01	0.03	116	2 401 349	1 307
25.00	0	0	2 401 349	1 307.01	0.03	102	2 401 247	1 307
26.00	0	0	2 401 247	1 307.01	0.03	91	2 401 156	1 307
27.00	0	0	2 401 156	1 307.01	0.02	81	2 401 075	1 307
28.00	0	0	2 401 075	1 307.01	0.02	73	2 401 002	1 307
29.00	0	0	2 401 002	1 307.01	0.02	65	2 400 937	1 307
30.00	0	0	2 400 937	1 307.00	0.02	59	2 400 878	1 307
31.00	0	0	2 400 878	1 307.00	0.01	54	2 400 824	1 307
32.00	0	0	2 400 824	1 307.00	0.01	49	2 400 775	1 307
33.00	0	0	2 400 775	1 307.00	0.01	45	2 400 731	1 307
34.00	0	0	2 400 731	1 307.00	0.01	41	2 400 690	1 307
35.00	0	0	2 400 690	1 307.00	0.01	37	2 400 653	1 307
36.00	0	0	2 400 653	1 307.00	0.01	34	2 400 618	1 307
37.00	0	0	2 400 618	1 307.00	0.01	32	2 400 587	1 307
Total								
Máximo	16.00	9 600.00	2 465 592.88	1 307.34	9.62	5 774.38	2 459 818.51	1 307.31

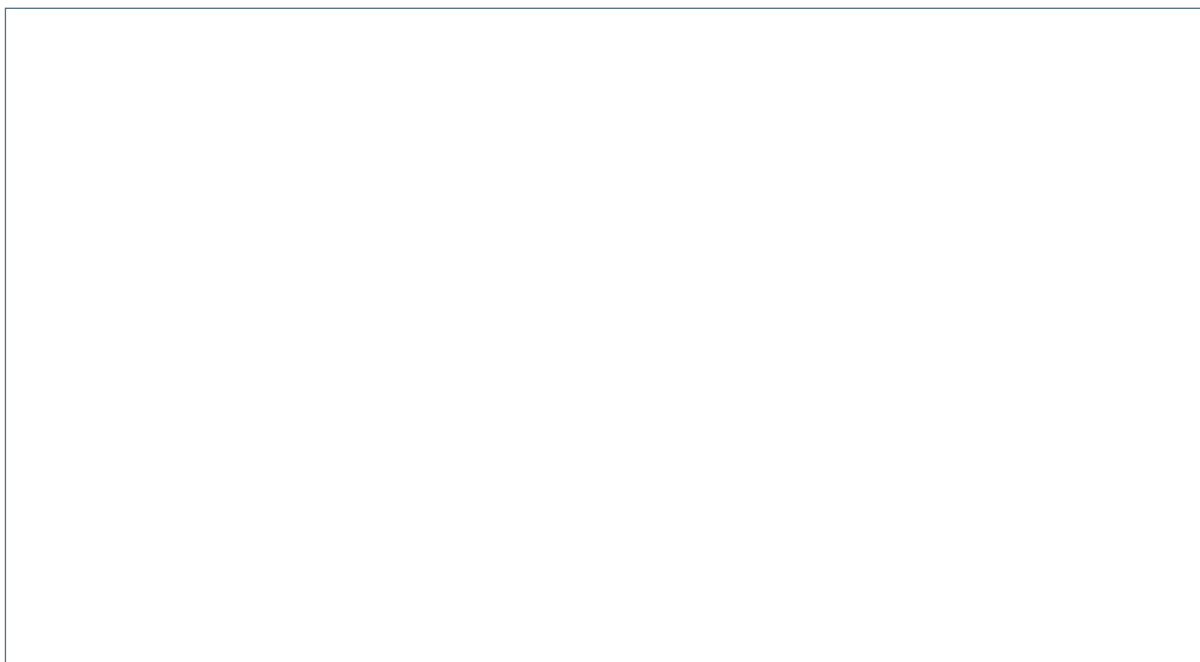


Apresentar as curvas de vazão – curvas-chave – do vertedouro.



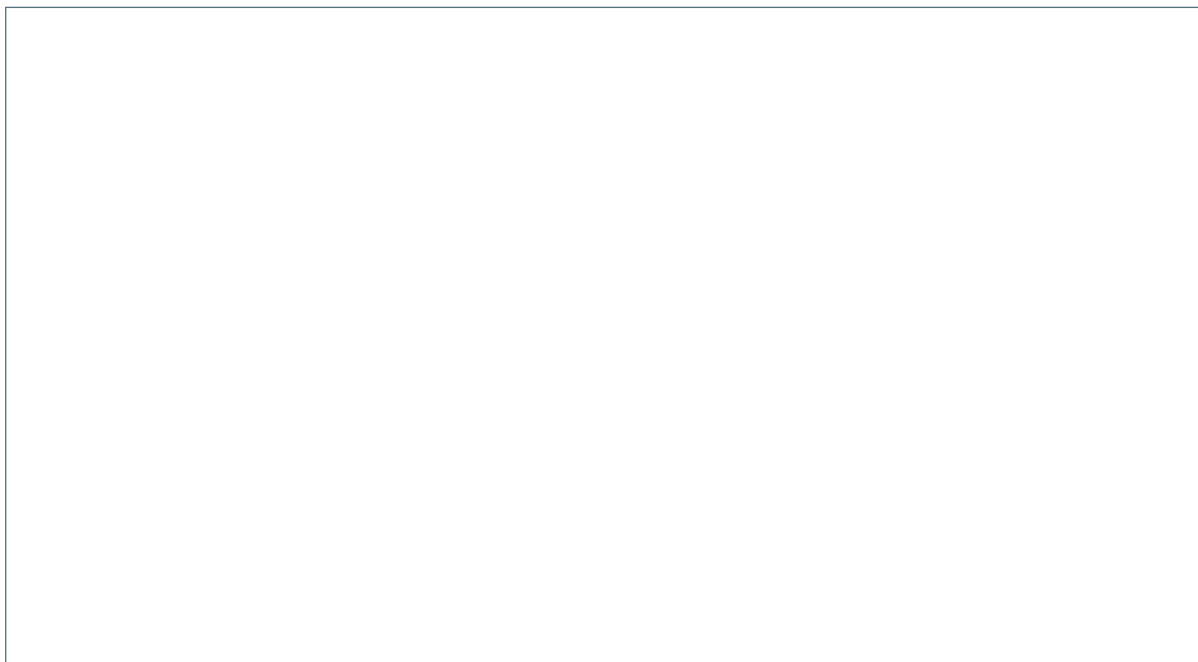
**Figura 76** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de vazão do vertedouro.

Apresentar tabelas de vazão efluente e curva de vazão a jusante do vertedouro.



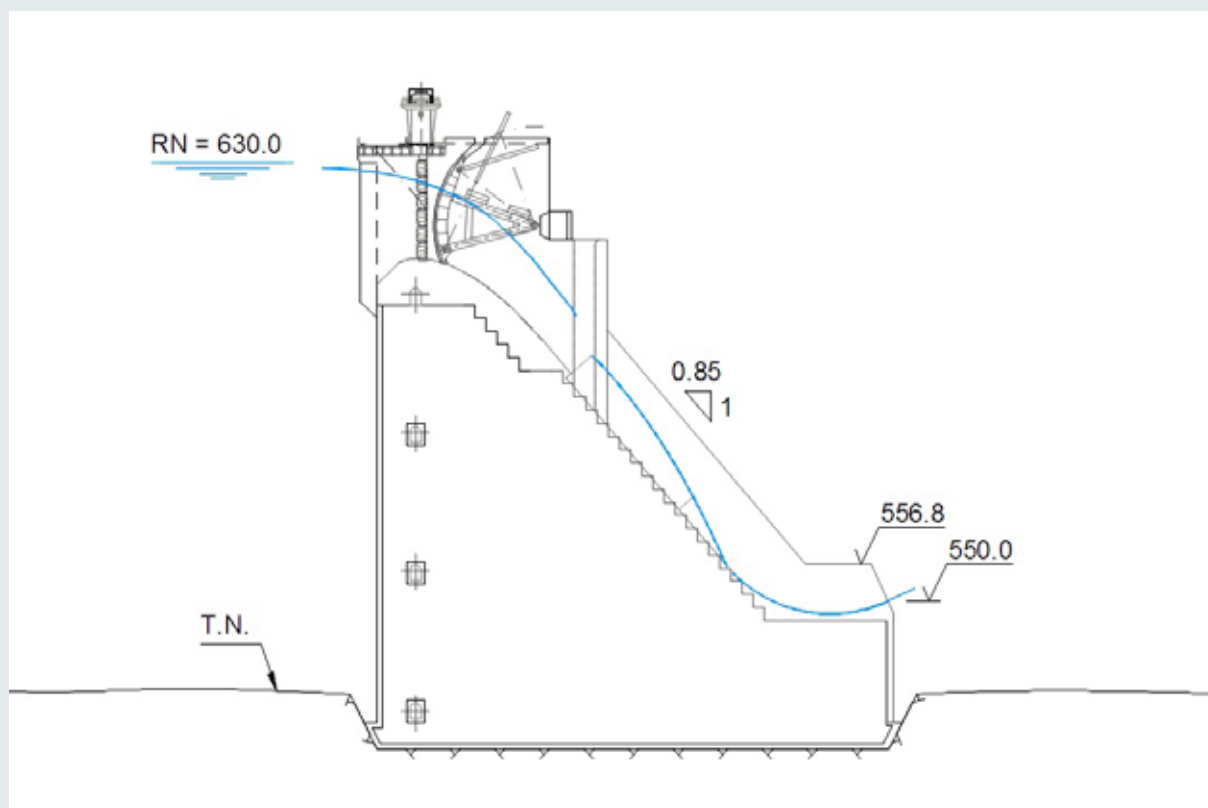
**Figura 77** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de vazão a jusante do vertedouro

No caso de vertedouros com canal de descarga, apresentar as curvas de remanso para as cheias de dimensionamento (apresentar o estudo em figuras e tabelas).



**Figura 78** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de remanso ao longo do canal de descarga  
(Vazão= ...m<sup>3</sup>/s).

**Exemplo:** Curva de remanso do vertedouro com saída em salto de ski.





No caso de vertedouro em que a descarga se faz livremente, sem controle por comportas, não se definem regras de operação desse órgão.

No caso de vertedouro com comportas, apresentar as regras operacionais em operação normal, em regime de cheias e situação de emergência.

Apresentar o estudo para a regra de operação das comportas do vertedouro, estabelecendo a sequência de abertura das comportas.

**Exemplo:** operação normal e em regime de cheias, sequência de manobras para os casos de vazões afluentes crescentes ou decrescentes em que, em função do valor do nível de controle do reservatório, se indicam quais os órgãos a manobrar e o respectivo escalão de abertura.

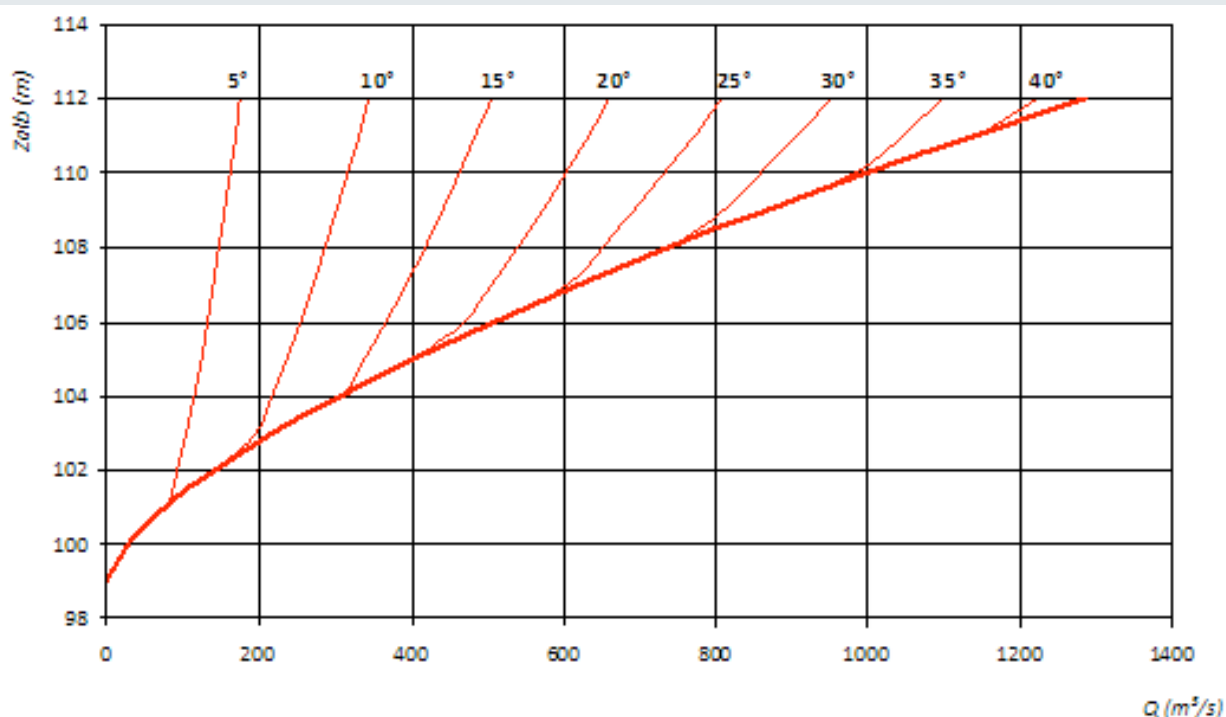
*Tabela das Curvas de descarga para barragem dotada de soleira livre e duas comportas segmento para NA El. 150,00 m (lâmina vertente 2,0 m).*

Situação de Operação	Abertura Parcial (m)		Q total (m³/s)			
	Comporta 1	Comporta 2	Comporta 1	Comporta 2	Soleira	Total
1	0,10	0,00	13	0	954	967
2	0,20	0,00	27	0	954	981
3	0,30	0,00	40	0	954	994
4	0,40	0,00	54	0	954	1008
5	0,50	0,00	68	0	954	1022
6	0,50	0,10	68	13	954	1035
7	0,50	0,20	68	27	954	1049
8	0,50	0,30	68	40	954	1062
9	0,50	0,40	68	54	954	1076
10	0,50	0,50	68	68	954	1090
11	0,50	1,00	68	139	954	1161
12	1,00	1,00	139	139	954	1232
13	1,00	1,50	139	212	954	1305
14	1,50	1,50	212	212	954	1378

Deverão ser estudadas as condições de descarga com uma ou mais comportas avariadas.

Apresentar a curva de vazão de cada uma das comportas para diferentes graus de abertura das mesmas.

**Exemplo:** curva de vazão de cada uma das comportas para diferentes graus de abertura das comportas



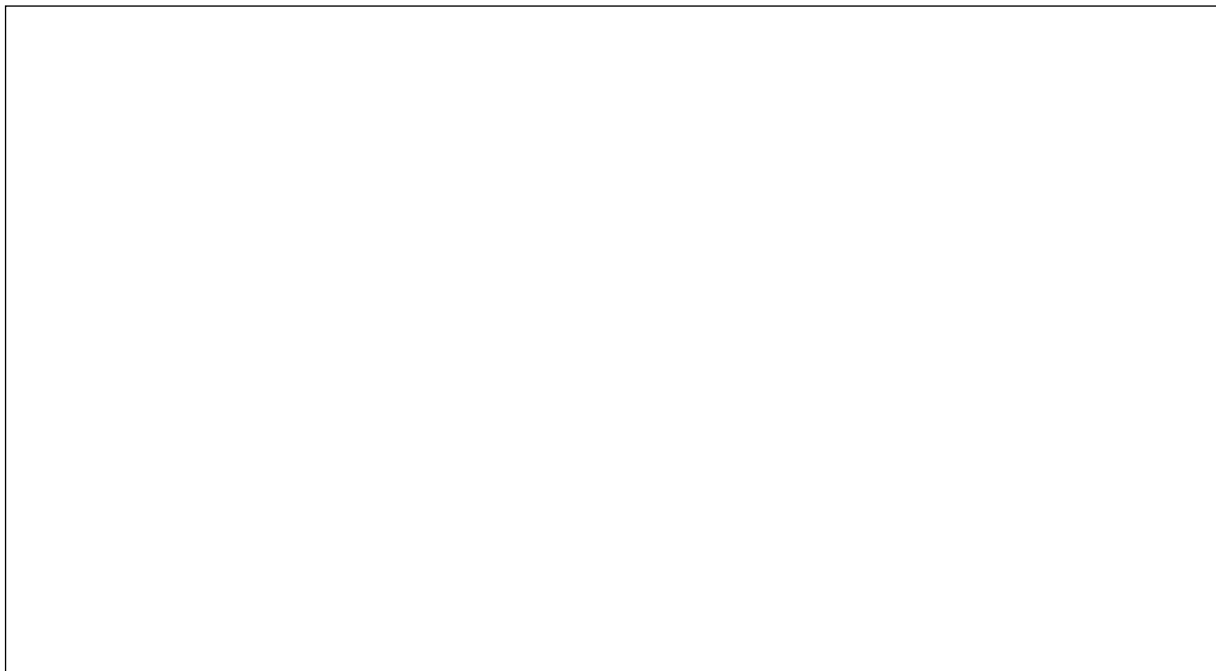
O modo de controle do sistema, em termos de equipamento, será definido pelo fabricante do mesmo.

Deverá ser montado um sistema de controle que receba informação quanto às vazões afluentes ao reservatório, mediante medição contínua de níveis de água no reservatório.

## 2.2 DESCARREGADOR DE FUNDO

No caso de a barragem dispor de descarregador de fundo (descarga de fundo) e, caso se justifique, deve-se apresentar o estudo para avaliação do tempo de esvaziamento do reservatório pelo descarregador de fundo.

Indicar se a operação é feita manualmente ou mecânica por comando à distância.

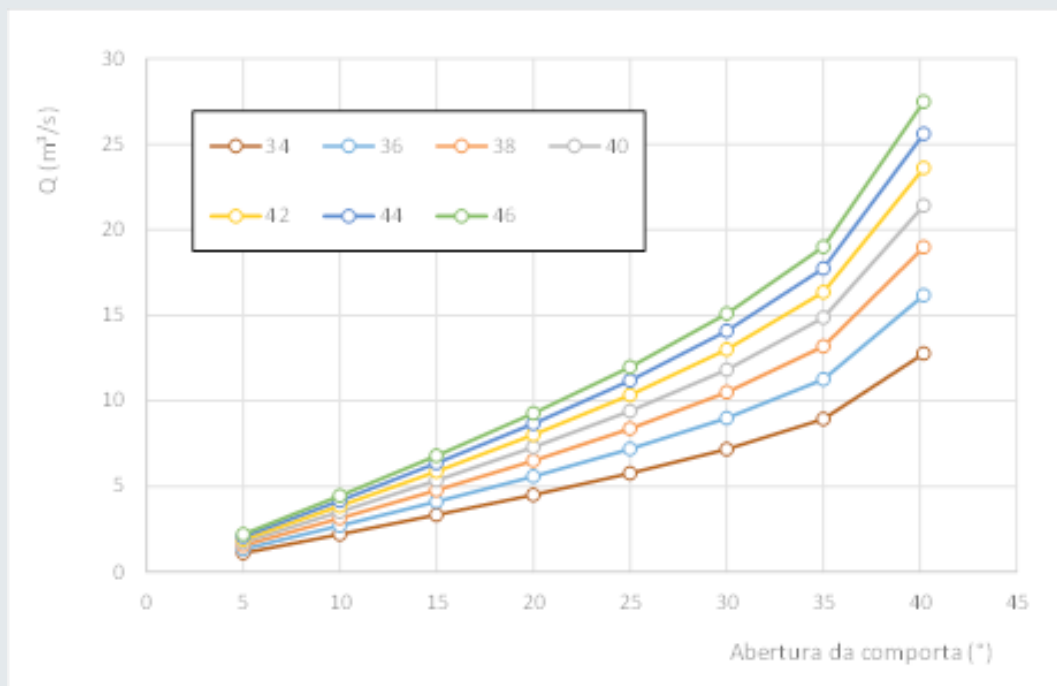


Apresentar a curva de vazão do descarregador de fundo (com a comporta ou válvula totalmente aberta, ou para aberturas parciais).

**Figura 79** – Barragem \_\_\_\_\_. Curvas de vazão do descarregador de fundo.

**Exemplo:** Capacidade de descarga do descarregador de fundo ( $m^3/s$ )

Ângulo de abertura da comporta °)	Nível de água no reservatório (m)							
	60	70	80	90	100	105	110	112
5	3,8	6,0	7,6	8,9	10,1	10,6	11,1	11,3
10	7,6	12,2	15,5	18,2	20,5	21,6	22,6	23,0
15	11,5	18,5	23,5	27,7	31,3	32,9	34,5	35,1
20	15,4	25,2	32,0	37,7	42,6	44,8	47,0	47,8
25	19,6	32,2	41,1	48,4	54,7	57,6	60,4	61,5
30	24,3	40,3	51,5	60,7	68,7	72,3	75,8	77,1
35	30,0	50,2	64,4	75,9	85,9	90,5	94,9	96,6
Toda aberta a $\geq 40,2^\circ$	39,0	65,9	84,6	99,9	113,2	119,2	125,0	127,3



*Curvas de vazão do descarregador de fundo para diversas aberturas da comporta*

Definir as regras de operação dos equipamentos hidromecânicos (comportas, válvulas, etc.).

No caso de a barragem dispor de um circuito independente para a vazão remanescente, deve ser apresentada a capacidade de descarga desse circuito.

### 3 REGRA OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO

Indicar o uso principal (irrigação, consumo humano, regularização de cheias, etc.) e secundário ou secundários (produção de energia hidrelétrica, redução das vazões máximas de cheia, usos turísticos e recreativos, etc.).

Indicar os órgãos de operação existentes e suas características: tomada de água, casa de força, etc.

Indicar a vazão mínima remanescente a jusante do aproveitamento, sejam liberações obrigatórias de água nos meses de estiagem ou nos meses de elevada pluviosidade e impactos dessas liberações na produtividade do aproveitamento.

Indicar como pode ser utilizada a capacidade de armazenamento do reservatório para regularizar as afluições – esvaziar o reservatório na época seca para ganhar capacidade de encaixe na época úmida – e consequências desse procedimento na produtividade do aproveitamento (por exemplo, na produção de energia).

Indicar o regime de operação do aproveitamento – manual e/ou automático, local e/ou à distância.

Fazer simulações do regime de operação, entre as vazões afluentes e os consumos em operação normal.

Apresentar as regras de operação do reservatório.

**Exemplo:** *no caso de uma tomada de água utilizada para a captação dos caudais para abastecimento de água e para turbinamento, em que foram consideradas tomadas diferentes a níveis diferentes, permitindo assim a captação de água a diferentes níveis em função da qualidade de água, de problemas de salinização, eutrofização, ou do nível do reservatório. Neste caso a regra de exploração poderá ser estabelecer por qual ou quais dos orifícios da tomada de água que deverão estar abertos ou fechados de acordo com os níveis no reservatório, apresentando-se um esquema de funcionamento das comportas de tomada, de descarga de fundo e da comporta de segurança. Deverão igualmente ser indicadas as regras para a troca de tomadas em operação, das operações de enchimento dos condutos, condições de funcionamento das comportas, etc*

Inserir a indicação de que as regras de operação devem ser revisadas e modificadas de acordo com a experiência obtida no decurso da operação (poderá ser durante a revisão periódica de segurança).



## 4 REGISTRO DE OPERAÇÃO

- 
- Dados de níveis no reservatório e fluxos afluentes e efluentes.
- 
- Manobras dos órgãos extravasores.
- 
- Ocorrências significativas do ponto de vista da segurança.
- 
- Ocorrências significativas da operação dos órgãos extravasores.
- 
- Relatórios de operação.
- 
- Outros registros.

# PLANO DE MANUTENÇÃO

## 1 MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS

Definir as regras de manutenção corrente das estruturas que devem ter preferencialmente caráter preventivo.

### Ações de manutenção corrente em barragens de aterro

Indicar o procedimento e a periodicidade das seguintes ações de manutenção corrente:

Talude de montante ( <i>rip-rap</i> )	Arranque ou remoção de vegetação
	Recargas e regularização de material de proteção
	Substituição de material degradado
Crista da barragem	Reparação do pavimento
	Reparação do sistema de drenagem
	Corte de vegetação
Talude de jusante e área adjacente	Corte de vegetação excessiva (por exemplo, antes de cada inspeção de segurança regular)
	Reposição de vegetação (regiões áridas) ou de outro material
	Reparação do sistema de drenagem
	Colmatação de tocas e túneis de animais
	Vedação à passagem ou pastagem de animais
	Reparação dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da barragem

## Ações de manutenção corrente em barragens de concreto

Tratamentos pontuais do concreto (fissuras, delaminação, ou corrosão).
Tratamento pontual das fundações (furos para tratamentos de injeção ou para drenagem).
Substituição de elementos danificados (canaletas de drenagem da crista da barragem, parapeitos, poços, etc.).
Desmatamento das ombreiras e do pé de jusante.
Reparação dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da barragem.

## Ações de manutenção corrente em órgãos extravazores

Limpeza das estruturas dos vertedouros, retirando os materiais arrastados pelo escoamento ou caídos das margens adjacentes (por exemplo, inspecionar a estrutura após cada episódio de descarga intensa e promover a limpeza de imediato)
Recolocação dos enrocamentos deslocados ou reforço do enrocamento existente na proteção de taludes, como seja, a área lateral dos canais do vertedouro.
Limpeza da vegetação e tratamento das juntas, para evitar infiltrações, nomeadamente, nas bacias de dissipação.
Tratamento das áreas pontuais do concreto, com sinais de deterioração ou cavidades.
Tratamento de fissuras em tubos de arejamento de comportas para evitar infiltrações.
Manutenção da drenagem superficial adjacente aos muros laterais do canal do vertedouro.

## Ações de manutenção dos instrumentos

BARRAGENS DE ATERRO	
Marcos topográficos e de referência	Pintura e identificação periódica
	Limpeza da vegetação em torno do equipamento
	Conservação dos acessos
Placas de recalque	Verificação do estado de conservação das tampas após cada leitura
	Pintura e identificação periódica
Piezômetros de tubo aberto	Pintura e identificação periódica da cabeça exterior
Piezômetros pneumáticos e elétricos, e células de pressão total.	Ações de conservação das estruturas das centrais de leitura (drenagem, desumidificação, pinturas), e do acesso.
	Verificação ou identificação dos cabos ou tubos

<b>Medidores de vazão</b>	Limpeza de sedimentos e de vegetação
	Identificação e pintura
<b>BARRAGENS DE CONCRETO</b>	
<b>Marcos topográficos</b>	Para os marcos de referência, ações de conservação idênticas às dos marcos das barragens de aterro
<b>Pêndulos diretos e invertidos</b>	Inspeção
	Drenagem de águas de infiltração
	Limpeza e proteção contra a ferrugem das peças fixas
	Pinturas e substituição de peças metálicas danificadas
<b>Bases de alongâmetro</b>	Renovação periódica da massa protetora da tampa do aparelho de leitura
	Ações de conservação das tampas
<b>Instrumentos elétricos ou de corda vibrante embebidos no concreto</b>	Ações de conservação das centrais de leitura (drenagem, desumidificação, proteção)
<b>Piezômetros de tubo aberto com manômetros</b>	Ações de conservação das peças metálicas
	Conservação da identificação de cada piezômetro
	Calibração periódica dos manômetros
<b>Drenos</b>	Limpeza (desobstrução) dos tubos de drenagem
	Substituição de tubos antigos
	Conservação da identificação de cada dreno
<b>Medidores de vazão parciais</b>	Ações de conservação idênticas às dos medidores de vazão das barragens de aterro
<b>Extensômetros</b>	Ações de conservação das peças de alumínio e tampas
	Identificação das hastes
	Calibração periódica dos relógios comparadores.

## 2 MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Definir o planejamento de ações sistemáticas de manutenção dos órgãos extravasores e de operação.

Os procedimentos e regras de manutenção de cada equipamento e sua periodicidade devem ser realizados de acordo com o disposto no respectivo Manual de Operação e Manutenção (Manual O&M), desenvolvido pelo fornecedor do equipamento.

Os Manuais O&M devem estar no local de utilização e incluir:

- 
- Disposições sobre
    - Segurança no trabalho, disponibilização/uso de equipamento pessoal de proteção
    - Proteção da saúde e do meio ambiente
    - Manuseamento de materiais perigosos
- 
- Organização das equipes de trabalho
    - Instruções de utilização
    - Procedimento de comunicação de ocorrências
- 
- Atualização, como seja, sempre que houver alterações ou substituição de equipamentos ou componentes)



## 3 REGISTROS DE MANUTENÇÃO

- Relatórios das ações de manutenção das estruturas
- Relatórios sucintos das modificações efetuadas no âmbito de ações de manutenção
- Relatórios de comportamento dos equipamentos, incluindo relato de avarias
- Relatórios de alterações e modernização de equipamentos
- Registros dos testes de equipamentos

# PLANO DE MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO

## 1 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS

O Plano de Monitoramento e Instrumentação deverá conter a descrição geral da barragem e estruturas associadas, que poderá ser idêntica à do Plano de Operação.

## 2 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

Introduzir a classificação da barragem por risco e dano potencial associado com as sucessivas atualizações

## 3 ATUALIZAÇÕES

Registrar as atualizações do Plano de Monitoramento e Instrumentação, pelo menos as seguintes:

- Projeto executivo;
- Projeto como construído (final da construção);
- No final do primeiro enchimento do reservatório

- Nas Revisões Periódicas de Segurança da Barragem

## 4 GRANDEZAS A MONITORAR E INSTRUMENTOS

Definir as grandezas a monitorar atendendo ao tipo e características das estruturas, condicionantes geológico-geotécnicos, etapas construtivas.

Definir os instrumentos a instalar ou indicar os instalados, com memória descritiva, desenhos de planta, vistas e seções transversais, com localização exata de cada instrumento e detalhes de instalação.

## 5 ESPECIFICAÇÕES DOS INSTRUMENTOS

Incluir as especificações técnicas dos instrumentos a instalar, ou instalados, equipamentos de leitura e de transmissão de dados.

Especificar os cuidados a tomar na instalação.

Especificar os dados e requisitos para calibração de cada instrumento.

## **6 LEITURAS E PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Para cada tipo de instrumento, especificar a metodologia de leitura, processamento e registro dos dados.

Destacar o registro da leitura inicial de cada instrumento.

Apresentar a frequência de leitura de cada instrumento.

Apresentar, sempre que possível, valores de referência para futuras medições, assim como faixas normais de operação e níveis de alarme.

Indicar, sempre que possível os valores para os quais uma revisão detalhada das leituras é necessária.

## **7 REGISTROS DE MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO**

Constituir um arquivo com o registro das leituras, devidamente validadas, de todos os instrumentos.





Ministério do  
Meio Ambiente



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-8210-043-1



9 788582 100431



## ERRATA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Diretrizes para a elaboração do plano de operação, manutenção e instrumentação de barragens.** Brasília: ANA, 2016. 136 p., il. (Manual do empreendedor sobre segurança de barragens, 7). ISBN: 9788582100431.

Folha	Onde se lê	Leia-se
4	<b>Elaboração</b> Ricardo Oliveira – COBA, S.A Lucia Almeida – COBA, S.A Jose Oliveira Pedro – COBA, S.A Antonio Pereira da Silva – COBA, S.A Antonio Alves – COBA, S.A Jose Rocha Afonso – COBA, S.A Flavio Miguez – COBA, S.A Maria Teresa Viseu – LNEC, Portugal	<b>Elaboração</b> Ricardo Oliveira – COBA, S.A Lucia Almeida – COBA, S.A Jose Oliveira Pedro – COBA, S.A António Pereira da Silva – COBA, S.A Pedro Grácio Santos – COBA, S.A Jorge Faria – COBA, S.A Flavio Miguez – COBA, S.A
4	<b>Revisão dos originais</b> [...] Orlando Vignoli Filho –Banco Mundial	<b>Revisão dos originais</b> [...] João Francisco Alves Silveira - Banco Mundial