

SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS



PRODUTO 7
MANUAL DE POLÍTICAS E PRÁTICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

MANUAL PARA EMPREENDEDORES
TOMO III
GUIA DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

RELATÓRIO FINAL
CONTRATO Nº 051 ANA/2012

Brasília - DF
Novembro 2014



COBA, S.A.
COBA, LTDA.



**LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL**

© Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial

SCN - Qd. 2, Lt. A, Ed. Corporate Financial Center, 7 andar
Brasília, DF - CEP: 70.712-900
Brasil
Tel: (55 61) 3329 1000
Fax: (55 61) 3329 1010
informacao@worldbank.org

The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC 20433 USA
tel: (202) 473-1000
Internet: www.worldbank.org
Email: feedback@worldbank.org

Este relatório é um produto da equipe do Grupo Banco Mundial. As constatações, interpretações e conclusões expressas neste artigo não refletem necessariamente as opiniões dos Diretores Executivos do Banco Mundial nem tampouco dos governos que o representam.

O Banco Mundial não garante a exatidão dos dados incluídos neste trabalho. As fronteiras, cores, denominações e outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não indicam qualquer juízo por parte do Banco Mundial a respeito da situação legal de qualquer território ou o endosso ou aceitação de tais fronteiras.

Conforme o Contrato nº 051 ANA/2012, os direitos de propriedade intelectual da ANA em quaisquer relatórios, estudos, análises ou outros documentos pré-existentes usados pelo BANCO em conexão com os Serviços de Assessoria devem permanecer com a ANA. Os direitos de propriedade intelectual em materiais novos preparados pelo BANCO em conexão com os Serviços de Assessoria devem pertencer a cada uma das partes, desde que, no entanto, ambas as partes tenham o direito universal, não exclusivo, perpétuo e livre de direitos autorais para usar, copiar, exibir, distribuir, publicar e criar trabalhos derivados do todo ou parte desses materiais e incorporar tais informações em suas respectivas pesquisas, documentos, publicações, web sites, e outras mídias sem o consentimento da outra parte, sujeito, porém, as limitações à divulgação de informações confidenciais e quaisquer direitos de terceiros.

Fica expressamente acordado que o uso pelo banco dos direitos de propriedade intelectual referidos no parágrafo anterior, dentro do território brasileiro, precisará de prévia autorização da ANA.

Foto da Capa: Barragem Jaburu I. Ceará.
Autor: COBA S.A..

APRESENTAÇÃO

No âmbito do contrato entre o Banco Mundial e a Agência Nacional de Águas (ANA), foram elaborados pelo Consórcio COBA S.A./COBA Ltda., com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Agrupamento COBA/LNEC), manuais para auxiliar a ANA, como entidade reguladora e fiscalizadora de segurança de barragens, e os empreendedores de barragens por ela reguladas, considerando as suas atribuições definidas na Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

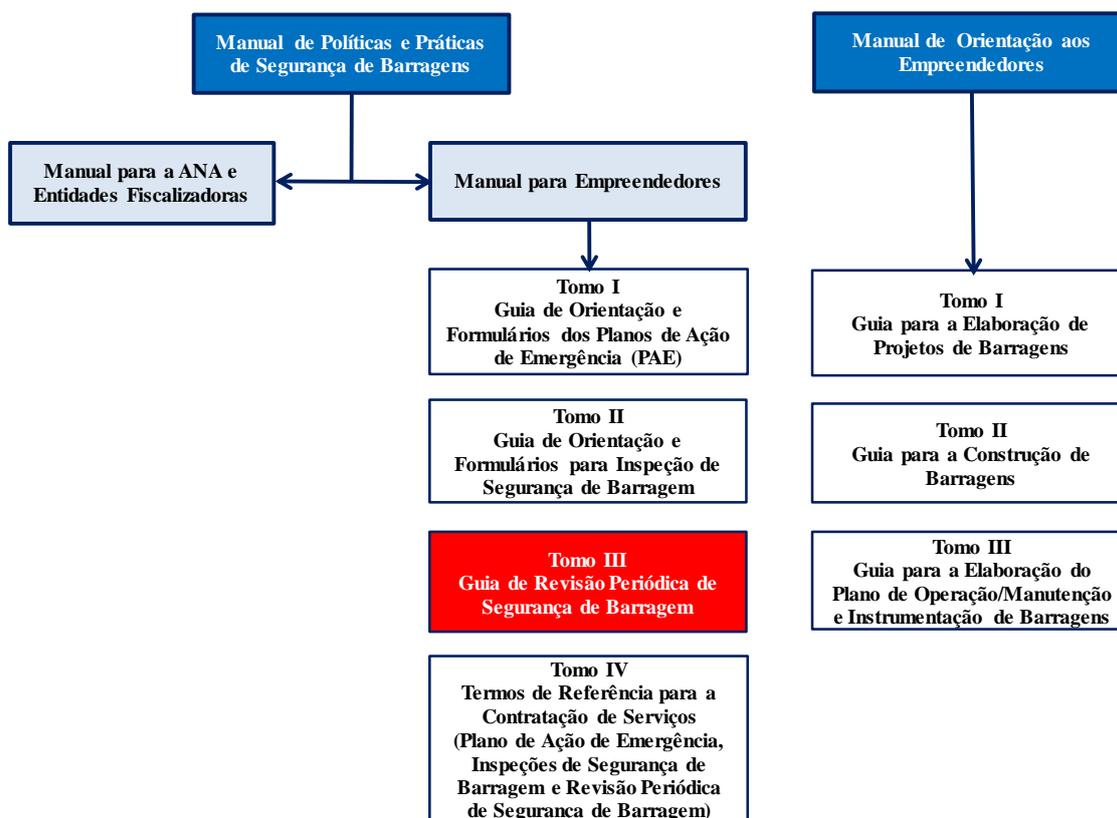
Os manuais elaborados foram os seguintes: Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens e Manual de Orientação aos Empreendedores.

O **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens** é constituído por duas partes distintas:

- O **Manual para a ANA e Entidades Fiscalizadoras** dá uma contribuição para a atividade de segurança de barragens da ANA, na sua função reguladora e fiscalizadora de segurança de barragens, com atribuições definidas na Lei nº 12.334/2010, podendo interessar também a outras entidades fiscalizadoras. Inclui especialmente descrição da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), de sua implementação, e das atuações das entidades fiscalizadoras em matéria de regulação e de fiscalização, incluindo recomendações para melhoria contínua dos processos relativos à segurança de barragens.
- O **Manual para Empreendedores** pretende orientar os empreendedores no desenvolvimento das atividades especificamente estipuladas na Lei nº 12.334/2010, relativas ao Plano de Segurança de Barragens, abrangendo a realização de Inspeções de Segurança, a realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e a elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido. Está dividido em quatro Tomos, referentes aos Planos de Ação de Emergência (Tomo I), às Inspeções de Segurança (Tomo II), à Revisão Periódica de Segurança de Barragens (Tomo III), cada um deles constituindo um guia e, finalmente, o Tomo IV onde se apresentam Termos de Referência destinados a auxiliar o empreendedor na contratação de serviços (PAE, Inspeções de Segurança e Revisão Periódica de Segurança).

O **Manual de Orientação aos Empreendedores** estabelece orientações aos empreendedores, visando a assegurar adequadas práticas para suas barragens, ao longo das diversas fases da sua vida, designadamente, as fases de planeamento e projeto, de construção e primeiro enchimento, de operação e de descomissionamento (desativação). Está dividido em três Tomos, cada um deles constituindo um guia, referentes à elaboração do projeto de barragens (Tomo I), à construção (Tomo II) e à operação /manutenção e instrumentação de barragens (Tomo III). Este último orienta o empreendedor a elaborar os manuais de procedimentos, planos de inspeções de segurança, de manutenções e de monitoramento, e relatórios de segurança da barragem; e a estabelecer e registrar a regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e todos os demais registros que são parte do Plano de Segurança da Barragem, conforme a Lei nº 12.334/2010.

No fluxograma seguinte ilustram-se as componentes dos referidos manuais e guias. Em vermelho destaca-se o documento objeto deste relatório.



A elaboração desses Manuais e Guias contou com a participação e conhecimento de profissionais da Agência Nacional de Águas (ANA), sob a coordenação da Superintendência de Regulação (SRE) e participação das Superintendências de Fiscalização (SFI) e de Gestão da Informação (SGI). Como gerentes do contrato atuaram Lígia Maria Nascimento de Araujo, Carlos Motta Nunes e Alexandre Anderaós, todos da Gerência de Regulação de Serviços Públicos e Segurança de Barragens (GESER), vinculada à SRE.

Este relatório foi produzido pela equipe do Agrupamento COBA/LNEC: Ricardo Oliveira, Pedro Seco e Pinto, Lúcia Almeida, Luís Gusmão, António Pereira da Sila, António Alves e Flávio Miguez (COBA, S.A.). O trabalho foi desenvolvido sob a direção de Erwin De Nys (Especialista Sênior em Recursos Hídricos), Paula Freitas (Especialista em Recursos Hídricos) e Maria Inês Muanis Persechini (Especialista em Recursos Hídricos) e contou com os aconselhamentos do consultor Gilberto Valente Canali.

MANUAL DE POLÍTICAS E PRÁTICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

MANUAL PARA EMPREENDEDORES

INTRODUÇÃO GERAL

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

A segurança de barragens é um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, tais 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, 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 onde se associam danos potenciais mais altos.

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

A Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, conhecida por 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 de desenvolver e implementar o Plano de Segurança da Barragem, 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 a sua capacidade técnica e financeira, também, muito diferenciada.

No presente **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens** pretende-se estabelecer orientações gerais que auxiliem o empreendedor na elaboração de Planos de Ação de Emergência (quando exigido), na realização das Inspeções de Segurança e na elaboração das Revisões Periódicas de Segurança que, de acordo com a Lei 12.334/2010, deverão constar do Plano de Segurança da Barragem.

O presente Manual para o Empreendedor compreende três Guias e quatro modelos de Termos de Referência constituindo os seguintes Tomos:

- **Tomo I - Guia de Orientação e Formulários para Elaboração de Planos de Ação de Emergência**, no qual se apresenta o conteúdo e organização tipo de um Plano de Ação de Emergência (PAE)
- **Tomo 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.
- **Tomo III - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**, no qual se estabelecem procedimentos gerais que devem orientar as revisões do Plano de Segurança da Barragem, com o objetivo de verificar o estado de sua segurança.
- **Tomo IV - Termos de Referência para a Contratação de Serviços (Plano de Ação de Emergência, Inspeções de Segurança de Barragem e Revisão Periódica de Segurança de Barragem)**, onde se apresentam Termos de Referência destinados a auxiliar o empreendedor na contratação desses serviços.

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

**SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE
BARRAGENS PARA A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)**

MANUAL DE POLÍTICAS E PRÁTICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

MANUAL PARA EMPREENDEDORES

TOMO III

GUIA DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

Novembro de 2014

**SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS
PARA A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**

MANUAL DE POLÍTICAS E PRÁTICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

MANUAL PARA EMPREENDEDORES

TOMO III

GUIA DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

SUMÁRIO

ESCLARECIMENTOS AO LEITOR	1
1 INTRODUÇÃO	3
2 COLETA DE DOCUMENTAÇÃO DA BARRAGEM E DE DADOS BÁSICOS	5
3 INSPEÇÃO DETALHADA	7
4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS	9
5 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS E SISMOLÓGICOS	13
6 ESTUDOS DO COMPORTAMENTO DA FUNDAÇÃO E DO RESERVATÓRIO	17
7 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS E DE OPERAÇÃO	19
7.1 Vertedouro	19
7.2 Descarregador de fundo	20
7.3 Propriedades dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle	20
7.4 Condições e tratamentos de fundação	21
8 APECTOS ESPECÍFICOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE BARRAGENS DE TERRA E DE ENROCAMENTO	23
8.1 Propriedades dos materiais do aterro, sua colocação em obra e ensaios de controle	23
8.2 Condições e tratamentos de fundação	23
8.3 Análises adicionais de verificação do projeto	24
9 ASPECTOS ESPECÍFICOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE BARRAGENS DE CONCRETO	27
9.1 Propriedades dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle	27
9.2 Condições e tratamentos de fundação	27

9.3 Análises adicionais de verificação do projeto	28
10 REVISÃO DOS PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA BARRAGEM	31
11 REVISÃO DOS PROCEDIMENTOS, EQUIPAMENTOS E REGISTROS DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO	33
12 REAVALIAÇÃO DA CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO	35
13 DOCUMENTOS RESULTANTES DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM	37
14 EQUIPE	39
15 PERIODICIDADE	41
16 DATAS LIMITE	43
17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de Hidrogramas de cheias afluentes a um local de barragem, para vários períodos de recorrência.	10
Figura 2. Exemplo de um Hidrograma de vazões afluente e efluente de uma barragem (T=1000 anos).	10
Figura 3. Seção geológica do maciço de fundação da barragem em CCR de Ribeiradio, Portugal.	13
Figura 4. Zoneamento geotécnico e tratamento da fundação da barragem de Ribeiradio (Portugal).	14
Figura 5. Mapa de risco sísmico na América do Sul. Aceleração máxima na rocha com a probabilidade de 90% de não ser excedido, para um período de 50 anos.	15
Figura 6. Distribuição dos módulos de deformabilidade da fundação da barragem de Cambambe (Angola).	17
Figura 7. Barragem de Gargar (Argélia).	20
Figura 8. Barragem do Funcho (Portugal). Tratamento de fundação.	28
Figura 9. Barragem de Iraí, Paraná.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.	11
Quadro 2. Estudos hidrológicos a desenvolver em função do porte da barragem.	11
Quadro 3. Critérios Mínimos Usuais para Sismos de Projeto.	16
Quadro 4. Estudos geológicos e geotécnicos e sismológicos a desenvolver em função do porte da barragem.	16
Quadro 5. Estudos do comportamento da fundação e do reservatório a desenvolver em função do porte da barragem.	18
Quadro 6. Avaliação dos elementos disponíveis relativos às estruturas extravasoras e de operação a desenvolver em função do porte da barragem.	22
Quadro 7. Avaliação de aspectos específicos de barragens de terra e de enrocamento a desenvolver em função do porte da barragem.	25
Quadro 8. Avaliação de aspectos específicos de barragens de concreto a desenvolver em função do porte da barragem.	30
Quadro 9. Revisão dos procedimentos de operação e manutenção a desenvolver em função do porte da barragem.	31
Quadro 10. Dimensionamento da equipe técnica em função do porte e do tipo da barragem.	39

SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas

CAP - Cheia afluyente de projeto

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CMP – Cheia máxima de projeto

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONFEA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

FEMA - Federal Emergency Management Agency

GSHAP - Global Seismic Hazard Assessment Program.

ICOLD - International Commission on Large Dams

MI – Ministério da Integração Nacional

PAE - Plano de Ação de Emergência

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens

PSB – Plano de Segurança da Barragem

SMP - Sismo máximo de projeto

SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS PARA A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

TOMO III

GUIA DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

ESCLARECIMENTOS AO LEITOR

O que é uma Revisão Periódica de Segurança de Barragem?

De acordo com o art. 10 da Lei nº 12.334 de 20 de Setembro de 2010 “Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem”.

Portanto, a revisão periódica é um amplo procedimento de segurança de barragem exigido pela Lei que deve ter uma periodicidade e conteúdo estabelecidos pelas entidades fiscalizadoras. A revisão periódica é parte integrante do Plano de Segurança da Barragem.

Para que Serve?

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem serve para verificar o estado geral da barragem e recomendar medidas necessárias para assegurar condições adequadas de operação e segurança da barragem e seus demais componentes associados.

A quem se destina?

Destina-se a empreendedores públicos e privados, a quem compete a realização da revisão periódica de segurança de suas barragens com uma periodicidade em função da categoria de risco e do dano potencial.

O que é o Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem?

Este Guia é um documento destinado a orientar os empreendedores de barragens na realização de Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Qual o conteúdo do Guia?

O presente Guia contém orientações para os empreendedores conduzirem a Revisão Periódica de Segurança de Barragem em fases importantes da sua vida e elaborarem o respectivo relatório.

O Guia aborda a atualização dos estudos hidrológicos, geológicos e geotécnicos, sísmológicos, os estudos de comportamento estrutural, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto das barragens de terra e de enrocamento, barragens de concreto e estruturas auxiliares. A revisão periódica inclui relatório conclusivo sobre o estado geral da

barragem e de suas condições de segurança, bem como recomendações para atualização dos critérios de projeto adotados e a correção de eventuais anomalias encontradas.

Porte da barragem:

As atividades a serem desenvolvidas na Revisão Periódica são função do porte da barragem. Esse conhecimento é importante e necessário para a definição das atividades que compõem a revisão periódica bem como para o dimensionamento da equipe técnica.

Para tanto, este Guia utiliza o Fator X proposto pelas Normas Francesas e pelo Boletim da ICOLD nº 157:

$$X = H^2\sqrt{V}$$

em que H é a altura da barragem em metros e V a capacidade do reservatório em hm³, de acordo com o quadro seguinte.

Porte da barragem em função do Fator X.

Porte da barragem	Fator X
Pequeno	$X < 400$
Médio	$400 < X < 1000$
Grande	$X > 1000$

1 INTRODUÇÃO

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem tem o objetivo de verificar o estado geral da barragem considerando o estado atual da arte. Assim, aborda-se neste Guia a atualização dos estudos hidrológicos e analisam-se os estudos geológicos e geotécnicos, os estudos sismológicos e os estudos de comportamento estrutural.

O conteúdo mínimo, o nível de detalhamento, e a equipe técnica da Revisão Periódica de Segurança da Barragem referidos neste Guia estão definidos em diversos documentos e normas, designadamente na Resolução nº 91 de 02 de Abril de 2012 da ANA. Neste Guia foram ainda consideradas as recomendações sobre a Revisão Periódica de Segurança dispostas nas Normas Espanholas (Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, 1996) que estão em fase de revisão e serão brevemente publicadas, nas Normas Francesas (Ministère de Ècologie, 2007) nas normas do USACE (2011), no Manual do MI (2002) e no Manual do SEED (1980).

O Guia inicia-se referindo à coleta de informações da barragem e de dados básicos e à inspeção detalhada de campo, seguindo-se um conjunto de aspetos gerais, comuns a todos os tipos de barragens e órgãos auxiliares, com destaque para considerações de natureza hidrológica, geológica, geotécnica e sismológica, bem como abordagem do comportamento das fundações da barragem e do reservatório e da avaliação das estruturas extravasoras e de operação.

Em seguida, aborda aspectos específicos referentes à Revisão Periódica de Barragens de Terra e de Enrocamento e de Barragens de Concreto.

Em relação a cada uma dessas estruturas figura um roteiro com as principais atividades a desenvolver, considerando que existem elementos de projeto (memória, especificações, desenhos do projeto e como construído) e outra documentação relativa ao projeto e construção das obras.

Além disso, ao final de cada capítulo, onde cabíveis, são estabelecidas as avaliações que devem ser realizadas em função do porte das barragens, de forma a não onerar os empreendedores em atividades desnecessárias para suas barragens.

O Guia aborda ainda aspetos referentes à revisão de procedimentos de operação e manutenção da barragem e de instrumentação e monitoramento.

Após essa descrição, aborda-se a questão da Reavaliação da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, nos termos da Resolução nº 143 do CNRH, de 2012, fazem-se recomendações sobre o Relatório Final e seu conteúdo, sobre a composição da Equipe responsável pela Revisão, sobre a periodicidade da Revisão Periódica e sobre os prazos para a realização das revisões em função do número de barragens do empreendedor.

Ocorrem situações de barragens de qualquer tipo em que não é possível dispor do respectivo projeto, ou de elementos de projeto e de outras informações relevantes para a barragem. Nesses casos, a Revisão Periódica de Segurança de Barragem será baseada essencialmente em estudos a realizar de natureza geológica, geotécnica, sismológica e hidrológica, e na inspeção de segurança detalhada. Com base nos resultados desses estudos, será elaborado um relatório

onde se realizará o dimensionamento hidráulico dos órgãos extravasores existentes e se farão recomendações para estudos adicionais e eventuais melhorias.

Nas situações em que se dispõe do projeto da barragem e demais elementos (construção, operação, manutenção e do monitoramento), a Revisão Periódica contemplará, como anteriormente referido, a análise dessas informações, a eventual atualização dos estudos, a inspeção detalhada e recomendações para melhorias, se forem consideradas necessárias.

Quando se tratar de Revisões Periódicas de Segurança, na sequência de outras anteriormente realizadas, as atividades a executar poderão ser simplificadas, em especial se já abordadas em relatórios dessas anteriores revisões, como seja a análise do projeto da barragem.

Em complemento a este Guia foram elaborados termos de referência para a contratação de serviços técnicos referentes à revisão periódica de segurança de barragem, com o objetivo de orientar o empreendedor na contratação desses serviços.

2 COLETA DE DOCUMENTAÇÃO DA BARRAGEM E DE DADOS BÁSICOS

Como primeiro procedimento em uma Revisão Periódica de Segurança de Barragem, o empreendedor deve colocar à disposição da equipe de técnicos que realizará a revisão a documentação disponível referente ao projeto, à construção e à operação/manutenção da barragem

Lista de documentos a serem disponibilizados pelo empreendedor, caso existam:

- Projeto Executivo da Barragem e/ou “*as built*”.
- Documentação relativa à barragem, em particular, plano de monitoramento e instrumentação e registros da instrumentação e relatórios de inspeção de segurança;
- Relatórios de Revisão Periódica de Segurança de Barragem, anteriormente elaborados;
- Planos de operação e de manutenção da barragem;
- Descrição de intervenções de reabilitação anteriormente realizadas;
- Plano de Ação Emergencial (PAE).

Várias das análises realizadas no âmbito da Revisão Periódica, tais como estudos hidrológicos, geológicos, geotécnicos e sismológicos, fazem uso de dados e informações fornecidas por instituições públicas ou privadas. Como referência para consulta, apresenta-se a seguir as instituições que disponibilizam essas informações em âmbito nacional:

- **Dados hidrológicos:** Agência Nacional de Águas – ANA (www.ana.gov.br);
- **Dados meteorológicos:** Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE (<http://www.cptec.inpe.br/>);
- **Dados geológicos:** Serviço Geológico do Brasil (<http://www.cprm.gov.br/home/>);
- **Dados geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos:** Serviço Geológico do Brasil. (<http://www.cprm.gov.br/home/>);
- **Dados de mineração:** Departamento Nacional de Produção Mineral (<http://www.dnpm.gov.br/>);
- **Dados sismológicos:** Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo (<http://www.moho.iag.usp.br/portal/>); Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (<http://www.obsis.unb.br/>).

Instituições de atuação regional podem e devem também ser consultadas, mas devido à grande diversidade e abrangência não são apresentadas neste guia.

3 INSPEÇÃO DETALHADA

Após a análise da documentação existente, deve ser feita uma inspeção de segurança detalhada, abrangendo a barragem e seus órgãos extravasores e de operação, o reservatório e área a jusante.

Essa inspeção detalhada, a ser realizada por equipe de especialistas, tem como objetivo verificar se a operação do reservatório se faz em condições de segurança. A inspeção deve ser particularmente cuidadosa visando à identificação de eventuais anomalias que poderão interferir na segurança da barragem e proceder à leitura da instrumentação instalada, se for o caso.

A inspeção detalhada, integrando as suas diversas etapas, desde o seu planejamento, execução no campo e avaliação e apresentação dos resultados, poderá seguir os procedimentos constantes do *Guia de Orientação e Formulários para Inspeção de Segurança de Barragens* (*indicar link*).

No caso de não existir documentação técnica sobre a barragem, a inspeção detalhada revestir-se-á de importância essencial no julgamento da segurança de barragem. No decorrer da inspeção pode considerar-se conveniente a realização de trabalhos expeditos de campo tais como poços, trincheiras, trados manuais, leituras de escalas limnimétricas e de medidores de vazão.

Se a inspeção detalhada evidenciar anomalias aparentemente graves, designadamente fissuras, zonas de tensões elevadas, e deslizamentos, o Relatório Final deverá propor investigações e estudos específicos visando o esclarecimento da sua gravidade e a implementação de medidas para reforço da segurança da barragem, se for o caso.

4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os documentos do projeto e construção de uma barragem deverão conter, em princípio, os estudos hidrológicos e de simulação da operação do reservatório, que permitiram proceder ao dimensionamento hidráulico dos órgãos extravasores e de operação, assim como definir determinados parâmetros relativos ao dimensionamento da barragem.

Os estudos hidrológicos originais devem ser objeto de revisão, incorporando novos dados básicos obtidos no período compreendido entre o projeto da barragem e a revisão periódica de segurança, assim como as possíveis variações das características hidrológicas ao longo do tempo (alterações de usos de água a montante, alterações climáticas, entre outros).

Em tal revisão, devem ser obtidos e atualizados os seguintes dados básicos:

- a) Características fisiográficas, climáticas, de cobertura vegetal e de ocupação da bacia hidrográfica da barragem, se existirem alterações significativas desde a data de elaboração do estudo hidrológico anterior (desmatamento, urbanização, entre outros);
- b) Distribuição estatística da precipitação anual e das precipitações mensais na área da bacia hidrográfica da barragem, utilizando os registros disponíveis (na ausência de estudo hidrológico original e/ou anterior);
- c) Distribuição estatística das precipitações extremas sobre a área da bacia hidrográfica da barragem, com duração associada ao tempo de concentração (na ausência de estudo hidrológico original e/ou anterior);
- d) Deflúvios anuais e mensais afluentes à seção da barragem;
- e) Vazões máximas instantâneas ou, na falta desses dados, vazões médias diárias máximas anuais;
- f) Registros adicionais sobre vazões de cheia (informação histórica), incluindo marcas de cheia, testemunhos verbais e registros escritos;
- g) Registros das leituras de níveis de água no reservatório da barragem;
- h) Registros de vazões dos órgãos extravasores;
- i) Registros das vazões fornecidas para irrigação e para abastecimento de água;
- j) Atualização do inventário da ocupação do vale a jusante sujeito a inundação provocada pelo rompimento da barragem.

Se já existir o estudo da avaliação das áreas inundáveis e do tempo de propagação das cheias provocadas por um eventual rompimento, deve ser feita a atualização do estudo de inundação das cheias de projeto e de ruptura, sempre que se verificar alteração da ocupação do vale a jusante.

No caso de barragens com dano potencial associado alto, e/ou médio se a entidade fiscalizadora o determinar, os estudos de rompimento de barragem e o Plano de Ação de Emergência (PAE) devem ser revistos ou elaborados, incluindo a definição de sistemas de aviso e previsão de cheias (ver *Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência*, [introduzir link](#)).

A revisão dos estudos hidrológicos permitirá obter fundamentalmente os seguintes elementos:

- Hidrogramas das cheias naturais para vários períodos de recorrência (exemplo: Figura 1);
- Hidrograma da cheia natural e modificada (exemplo: Figura 2), para verificação da adequação dos órgãos extravasores existentes e/ou das suas regras de operação, considerando os tempos de recorrência mínimos recomendados no Quadro 1, de acordo com a informação atual sobre o tipo, altura e classificação da barragem;
- Atualização das regras de operação do reservatório.

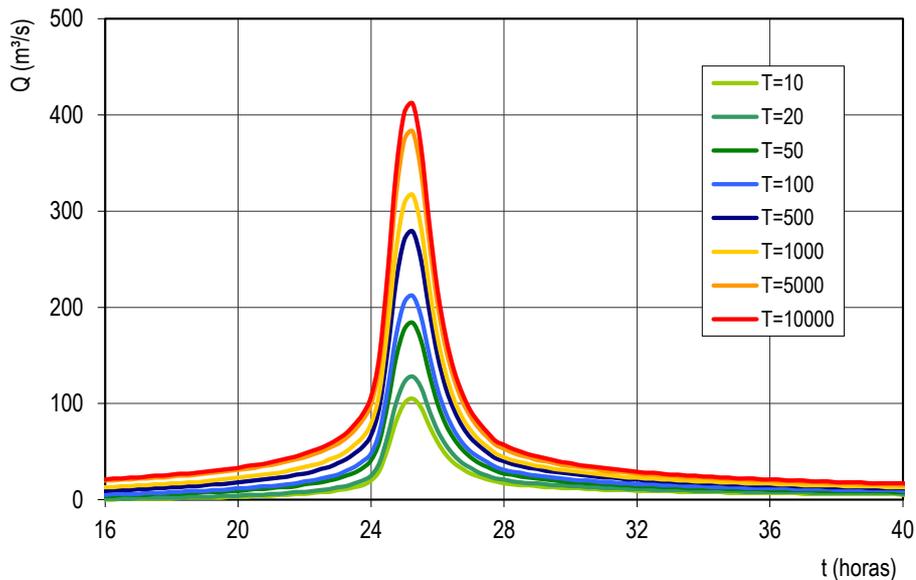


Figura 1. Exemplo de Hidrogramas de cheias afluentes a um local de barragem, para vários períodos de recorrência. (Fonte: COBA, S.A.)

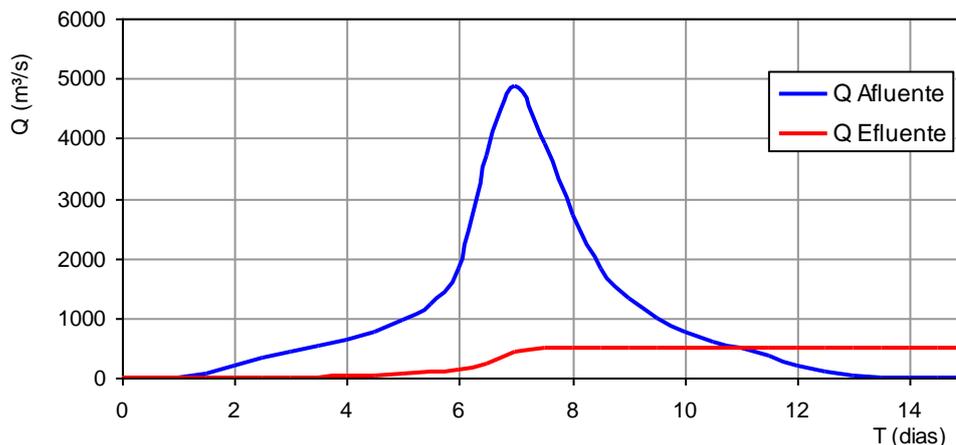


Figura 2. Exemplo de um Hidrograma de vazões afluente e efluente de uma barragem ($T=1000$ anos). (Fonte: COBA, S.A)

Quadro 1. Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.

Altura, h (m)		Dano potencial associado	
Aterro	Concreto	Alto a Médio	Baixo
≥ 60	$h \geq 100$	5 000 a CMP(*)	2 000
$15 \leq h < 60$	$60 \leq h < 100$	2 000	1 000
$h < 15$	$15 \leq h < 60$	1 000	500
-	$h < 15$	500	100

(*) CMP – cheia máxima provável

No caso da não existência de documentação anterior relativa a estudos hidrológicos, os mesmos deverão ser efetuados na íntegra, baseados nos dados básicos atuais, abrangendo todos os estudos e avaliações referidos anteriormente.

As conclusões dos estudos hidrológicos devem incluir recomendações de natureza hidráulica visando à adequação dos aspectos relevantes da barragem, tais como, capacidade de descarga do vertedouro, borda livre (diferença entre a cota da crista e o nível de máxima cheia), necessidade ou não do alteamento da barragem ou ampliação da capacidade do vertedouro e repercussões sobre as estruturas a jusante do vertedouro.

O Quadro 2 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver nos estudos hidrológicos.

Quadro 2. Estudos hidrológicos a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Obtenção e atualização de dados básicos	X	X	X
2. Obtenção e atualização dos seguintes elementos:			
a) Hidrogramas das cheias naturais para vários períodos de recorrência	X	X	X
b) Hidrograma das cheias naturais e modificadas para vários períodos de recorrência para verificação da adequação dos órgãos extravasores existentes e/ou das suas regras de operação	X	X	X
c) Atualização das regras de operação do reservatório	X ^(*)	X	X
3. Atualização do estudo de inundação das cheias de projeto e de ruptura	X ^(*)	X	X

P – pequeno
M – médio
G - grande

NA – Não aplicável
X^(*) – Estudos simplificados
X – Estudos detalhados

5 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS E SISMOLÓGICOS

Em relação aos estudos geológicos e geotécnicos realizados deve fazer-se uma avaliação de carácter geral sobre eventual evolução das condições geológicas que possa afetar, em especial, o maciço de fundação da barragem.

Os estudos geológicos devem:

- Revisar os mapas geológicos, desenhos, seções tipo, programa de investigações realizado, classificação dos testemunhos das sondagens, interpretações geológicas que incluem os locais da barragem, os órgãos auxiliares e o reservatório;
- Dar atenção particular aos aspectos que influenciam o projeto, designadamente as zonas de cisalhamento, falhas, diaclases, cavernas, deslizamentos e os materiais de construção (ICOLD; 2005).

Na Figura 3 apresenta-se a seção geológica do maciço de fundação da barragem em CCR de Ribeiradio (Portugal) evidenciando forte tectonismo em resultado de se tratar de um complexo de contato entre distintas formações geológicas.

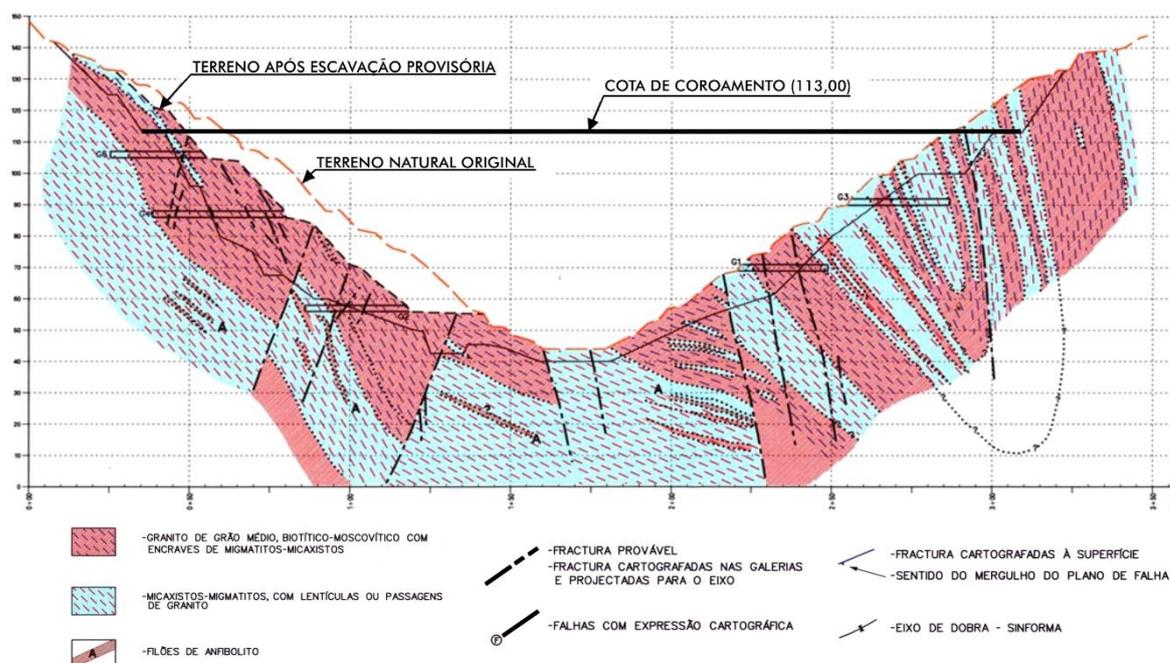


Figura 3. Seção geológica do maciço de fundação da barragem em CCR de Ribeiradio, Portugal. (Fonte: COBA, S.A.)

Os estudos geotécnicos devem:

- Revisar os ensaios de laboratório e de campo executados no maciço de fundação e os relativos aos materiais de construção;
- Revisar os registos dos níveis de água, antes e depois do enchimento do reservatório;
- Revisar os relatórios geotécnicos desde os preliminares até aos relatórios da construção;

- d) Correlacionar a atitude das descontinuidades com a estabilidade dos taludes, estabilidade da fundação e cargas na barragem e reservatório;
- e) Analisar a compatibilidade da caracterização geotécnica definida no projeto com a situação encontrada durante a construção da barragem.

Na Figura 4 apresenta-se o zoneamento geotécnico do maciço de fundação da barragem de concreto de Ribeiradio (Portugal), onde se identificou a superfície de fundação e os limites a atingir com os tratamentos de consolidação e de impermeabilização, em função dos parâmetros geotécnicos definidos nos estudos.

Em conclusão, os estudos geológicos e geotécnicos devem possibilitar a avaliação do maciço de fundação e dos materiais de construção e recomendar investigações complementares, se necessárias.

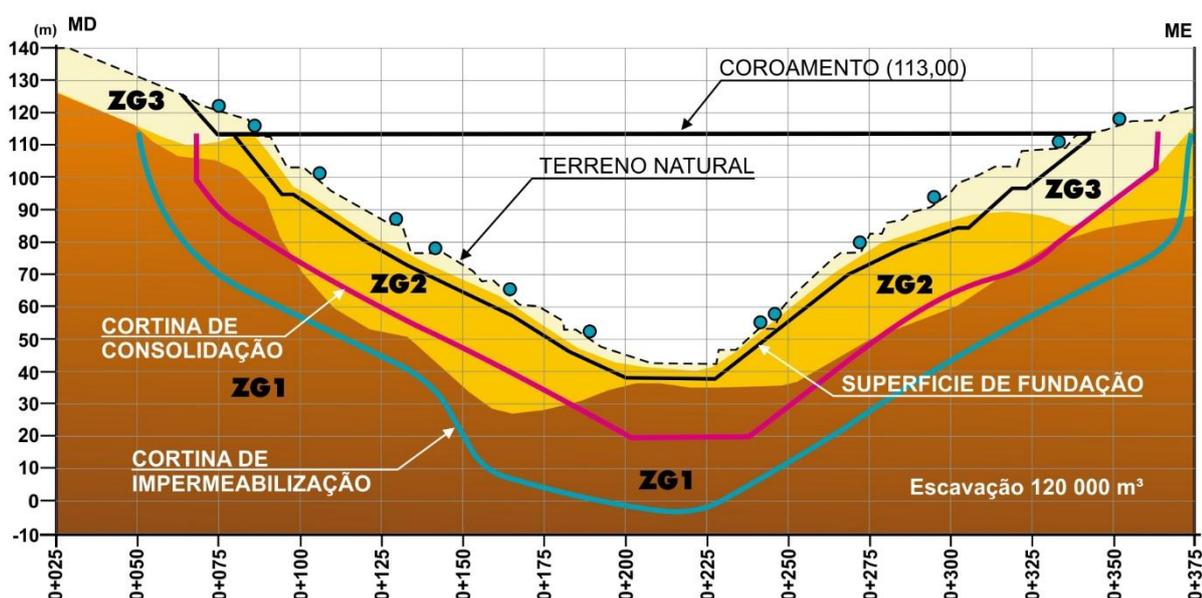


Figura 4. Zoneamento geotécnico e tratamento da fundação da barragem de Ribeiradio (Portugal). (Fonte: COBA, S.A.)

Quanto aos estudos sismológicos, sendo o Brasil um país em geral de baixa sismicidade (magnitudes inferiores a 4.5), a maior parte dos projetos das barragens destinadas preferencialmente ao abastecimento de água e irrigação não contemplam quaisquer estudos sismológicos.

Caso existam estudos sismológicos, os mesmos devem ser atualizados com base na informação disponível em centros especializados, (como por exemplo, o Observatório Sismológico da UnB, em Brasília, e o Centro de Sismologia da USP em São Paulo) procurando abranger o local da obra, a região (algumas dezenas de quilômetros em torno do local) e a província tectônica (algumas centenas de quilômetros em torno do local) e devem conter a história sísmica, designadamente a relação dos sismos registrados com indicação de datas, profundidade dos focos, epicentros, magnitudes, sismogramas e durações.

A Figura 5 evidencia as zonas onde há possibilidade de ocorrência de terremotos na América do Sul. No extremo leste e, sobretudo no extremo oeste do Brasil, as possibilidades aumentam devido à proximidade da zona de adução e subdução da placa americana (Teixeira, 2008).

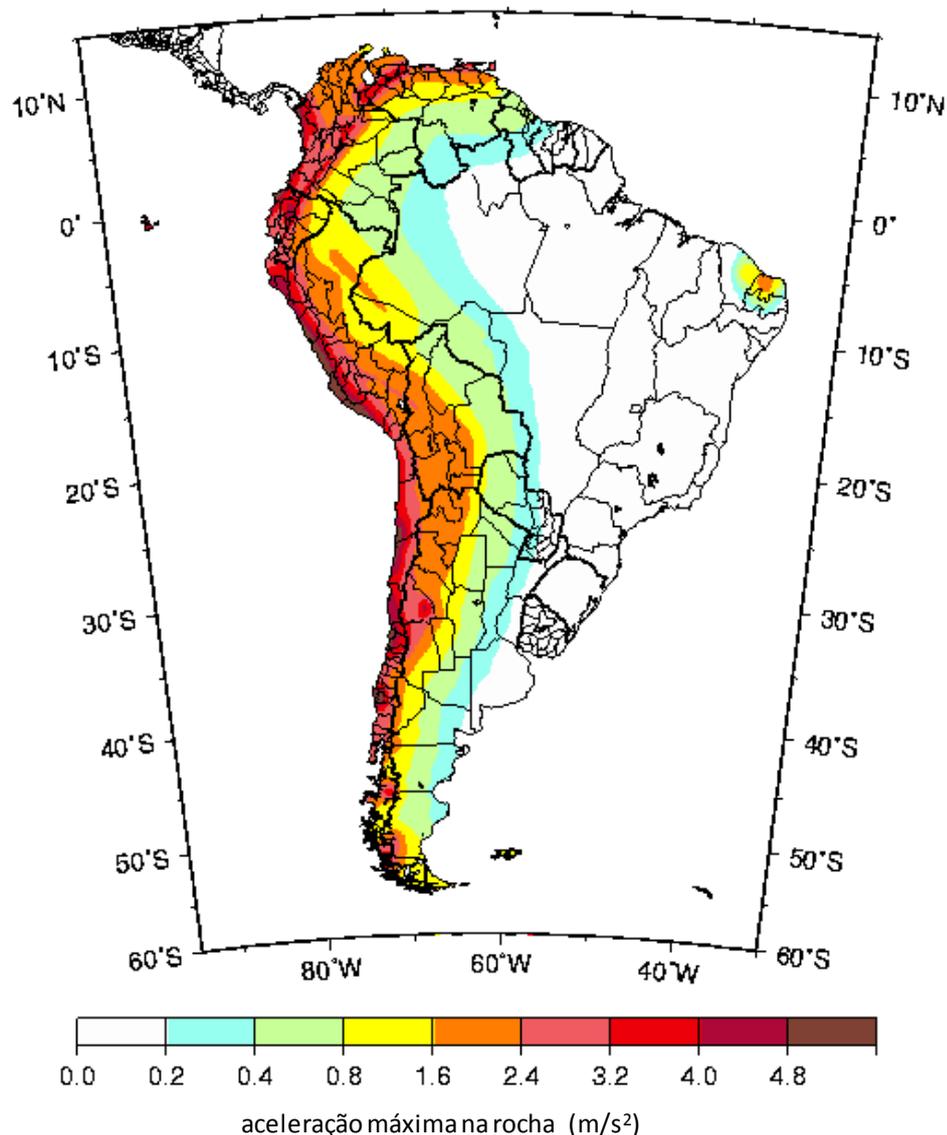


Figura 5. Mapa de risco sísmico na América do Sul. Aceleração máxima na rocha com a probabilidade de 90% de não ser excedido, para um período de 50 anos. (Fonte: GSHAP)

Os estudos sismológicos devem conduzir à definição das ações sísmicas, em particular da intensidade, forma e duração das vibrações sísmicas no local da obra, havendo a considerar (ICOLD; 1989) o sismo máximo de projeto (SMP), que corresponde ao sismo credível do qual podem resultar as consequências mais graves para a barragem, e que deve ser estimado por via determinística; se, porém, for estimado por via probabilística, deve ser considerado o período de retorno mínimo indicado no Quadro 3, avaliado em função da classe de risco sísmico da barragem atribuída em função das consequências de ruptura da barragem.

Quadro 3. Critérios Mínimos Usuais para Sismos de Projeto. (Fonte: MI, 2002)

Dano potencial associado	Sismo máximo de projeto (SMP)	
	Avaliação determinística	Avaliação probabilística (tempo de recorrência mínimo, anos)
Alto	SMC (*)	1/10.000
Médio	De 50% a 100% do SMC(*)	1/1.000 a 1/10.000
Baixo		1/100 a 1/1.000

(*) SMC – Sismo Máximo Credível

Em conclusão, em face da fraca sismicidade do Brasil, os estudos sismológicos devem ser simplificados e apenas executados no caso de barragens de médio e grande porte.

O Quadro 4 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver nos estudos geológicos e geotécnicos, e sismológicos.

Quadro 4. Estudos geológicos e geotécnicos e sismológicos a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Estudos geológicos			
a) Revisar os mapas geológicos, desenhos, seções tipo, programa de investigações realizado, classificação dos testemunhos das sondagens, interpretações geológicas que incluem os locais da barragem, os órgãos auxiliares e o reservatório	X ^(*)	X	X
b) Dar atenção particular aos aspectos que influenciam o projeto, designadamente as zonas de cisalhamento, falhas, diaclases, cavernas, deslizamentos e os materiais de construção	NA	X ^(*)	X
2. Estudos geotécnicos			
d) Revisar os ensaios de laboratório e de campo executados no maciço de fundação e os relativos aos materiais de construção	X ^(*)	X	X
e) Revisar os registros dos níveis de água, antes e depois do enchimento do reservatório	X ^(*)	X	X
f) Revisar os relatórios geotécnicos desde os preliminares até aos relatórios da construção	NA	X	X
g) Correlacionar a atitude das discontinuidades com a estabilidade dos taludes, estabilidade da fundação e cargas na barragem e reservatório	NA	X ^(*)	X
h) Analisar a compatibilidade da caracterização geotécnica definida no projeto com a situação encontrada durante a construção da barragem	NA	X ^(*)	X
3. Estudos sismológicos	NA	X ^(*)	X

P – pequeno

M – médio

G – grande

NA – Não aplicável

X^(*) – Estudos simplificados

X – Estudos detalhados

6 ESTUDOS DO COMPORTAMENTO DA FUNDAÇÃO E DO RESERVATÓRIO

O comportamento das fundações das barragens é determinante na sua segurança. Na fase de projeto, com base nos estudos geológicos e geotécnicos, são feitas recomendações de caráter geral para a definição da superfície de contato (interface) da barragem com o maciço de fundação e para os trabalhos de tratamento desses terrenos sempre que for necessário melhorar as suas condições de deformabilidade, resistência e permeabilidade (Figura 6). Em consequência devem ser seguidos os seguintes procedimentos.

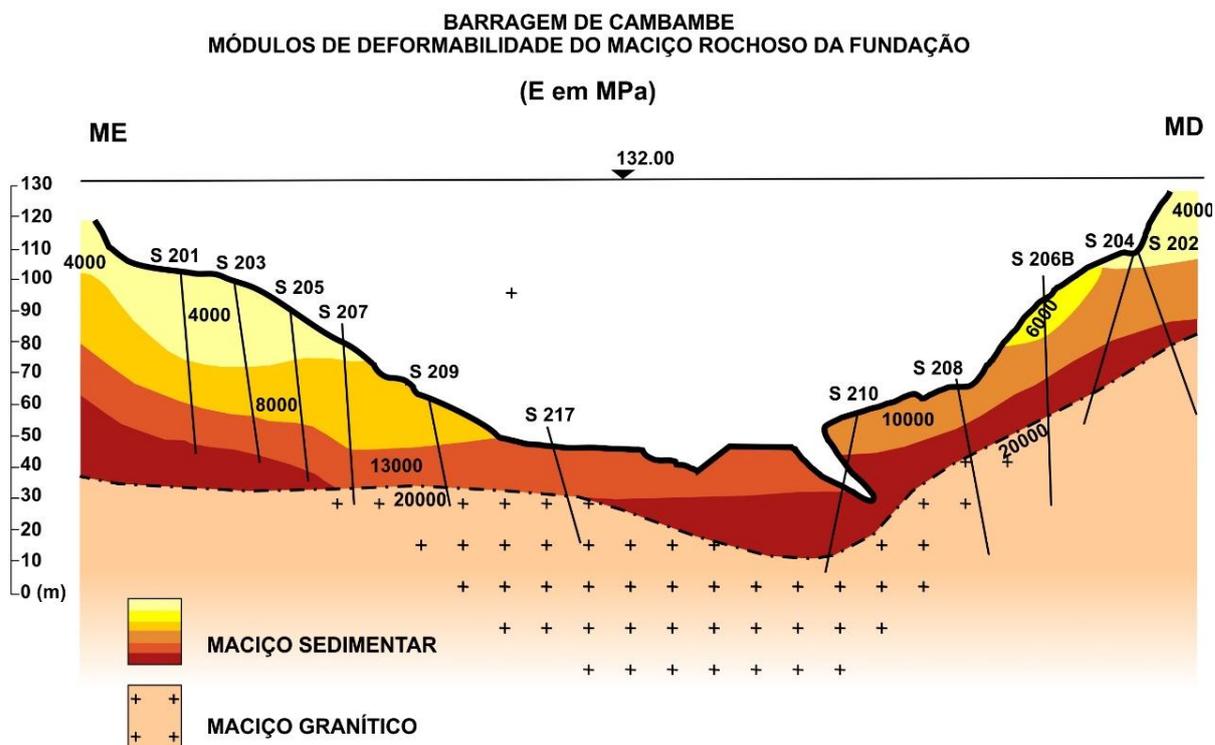


Figura 6. Distribuição dos módulos de deformabilidade da fundação da barragem de Cambambe (Angola). (Fonte: COBA, S.A.)

O tratamento do maciço de fundação da barragem efetuado durante a construção deve ser analisado, procurando verificar a eficiência das cortinas de impermeabilização, dos sistemas de consolidação e de drenagem e das injeções de ligação, através de:

- a) Avaliação da ocorrência de erosão interna devida à percolação da água pelo maciço de fundação;
- b) Análise das vazões de percolação;
- c) Análise de subpressões em barragens de concreto;
- d) Análise da estabilidade da fundação.

No caso de se concluir pela necessidade de proceder ao reforço do tratamento da fundação, devem ser previstas as correspondentes intervenções, tais como, injeções de consolidação e de impermeabilização e drenos adicionais, visando a melhoria da deformabilidade e resistência dos terrenos de fundação, bem como à redução de percolação e de subpressões excessivas.

A avaliação da estabilidade da fundação, com base na informação disponível, poderá mostrar ainda a necessidade de outras medidas suplementares tais como, aplicação de barras de ancoragem ou tirantes.

Estudos do comportamento do reservatório devem:

- a) Abranger a área do reservatório, com especial atenção às formações mais permeáveis, solúveis ou erodíveis, o que permitirá fazer a previsão das vazões perdidas por infiltração, inclusive para vales colaterais, e propor medidas para evitar ou diminuir perdas de água;
- b) Analisar a estabilidade do reservatório com base nos estudos referidos no item anterior, adotando-se medidas para assegurar por meio de drenagem, ancoragens, tirantes e desmonte de blocos ou de zonas instáveis.

As conclusões dos estudos devem incluir recomendações no sentido de assegurar as adequadas condições mecânicas e hidráulicas da fundação da barragem e do reservatório.

O Quadro 5 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver nos estudos do comportamento da fundação e do reservatório.

Quadro 5. Estudos do comportamento da fundação e do reservatório a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Estudo do comportamento da fundação			
a) Avaliação da ocorrência da erosão interna devida à percolação da água pelo maciço de fundação	X ^(*)	X	X
b) Análise das vazões de percolação	NA	X ^(*)	X
c) Análise de subpressões em barragens de concreto	NA	X ^(*)	X
d) Análise da estabilidade da fundação	NA	X ^(*)	X
2. Estudo do comportamento do reservatório			
a) Abranger a área do reservatório, com especial atenção às formações mais permeáveis, solúveis ou erodíveis, o que permitirá fazer a previsão das vazões perdidas por infiltração, inclusive para vales colaterais, e propor medidas para evitar ou diminuir perdas de água	NA	X ^(*)	X
b) Analisar a estabilidade do reservatório com base nos estudos referidos no item anterior, adotando-se medidas para assegurar por meio de drenagem, ancoragens, tirantes e desmonte de blocos ou de zonas instáveis	NA	X ^(*)	X

P – pequeno NA – Não aplicável
M – médio X^(*) – Estudos simplificados
G – grande X – Estudos detalhados

7 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS E DE OPERAÇÃO

Apresenta-se a seguir um roteiro para a revisão periódica de segurança de estruturas extravasoras da barragem (vertedouro e descarga de fundo), com a descrição das características gerais, das propriedades dos materiais, condições de fundação e análises de verificação do projeto.

Para analisar a segurança dessas estruturas extravasoras deve-se comparar a situação original com o que resultaria da aplicação de dados básicos e critérios atualizados de dimensionamento hidráulico e estrutural; com base nessa comparação deve-se então concluir pela eventual necessidade de medidas corretivas.

7.1 Vertedouro

Devem assim ser efetuadas as seguintes análises baseadas na informação existente nos documentos de projeto:

- a) Características hidráulicas - Verificação da capacidade do vertedouro para escoar, por si só, as cheias do projeto, sem pôr em perigo a barragem. Se o vertedouro tiver comportas, analisar os dispositivos redundantes para atuarem no caso de falha de um dos meios de içamento das comportas. Análise dos procedimentos para manter a entrada do vertedouro sem obstruções;
- b) Análise dos fatores relevantes para a segurança da barragem:
 - 1) Dados geológicos e geotécnicos em relação à fundação do vertedouro;
 - 2) Critérios de dimensionamento hidráulico e estrutural em relação ao estado de arte atual. A avaliação deve incluir a revisão da combinação das cargas que vão atuar nas componentes do vertedouro, tais como:
 - Empuxos do terreno;
 - Cargas hidrostáticas;
 - Subpressões;
 - Forças dinâmicas de água;
 - Ações sísmicas, se for o caso;
 - 3) Critérios de dimensionamento dos dispositivos de drenagem;
 - 4) Critérios de dimensionamento das bacias de dissipação de energia para as descargas vertidas.

Na Figura 7 apresenta-se uma foto da barragem de Gargar ilustrando escavação de 90 m de altura para instalação do vertedouro em maciço calcário.

O maciço calcário é cárstico, com estrutura sub-horizontal, tendo a rocha elevada resistência o que permitiu excelentes condições de fundação e forte inclinação do talude de escavação sem recurso a contenções, tirantes ou outro tipo de tratamento de consolidação.

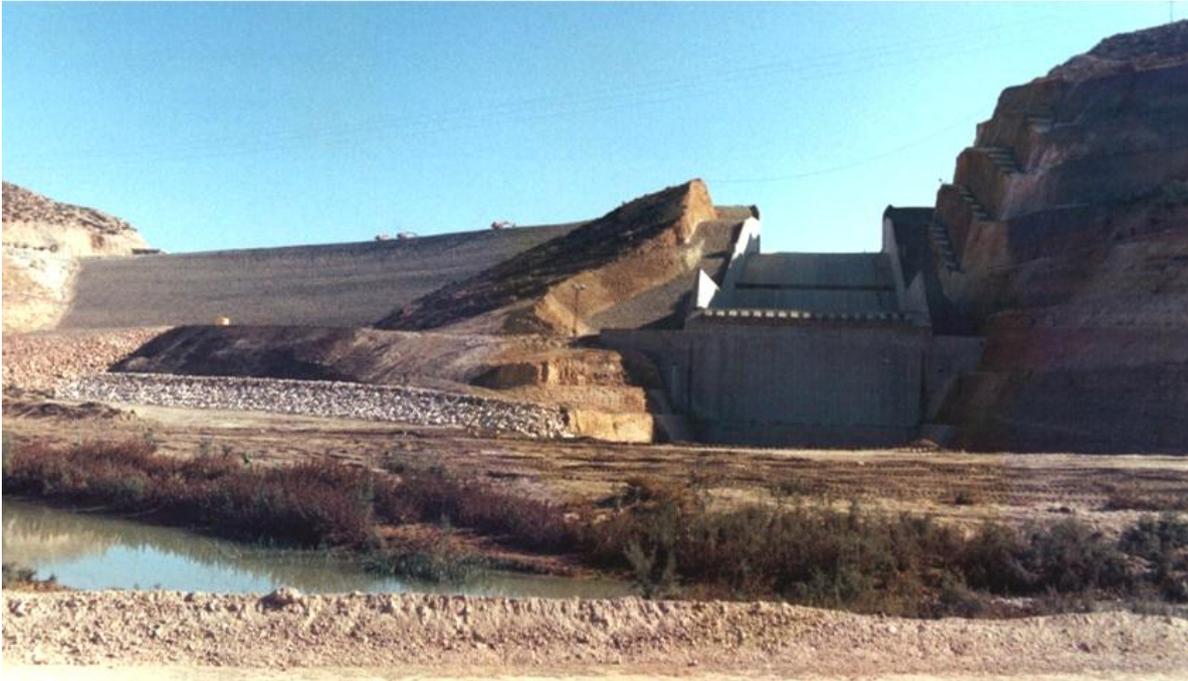


Figura 7. Barragem de Gargar (Argélia). (Fonte: COBA, S.A.)

7.2 Descarregador de fundo

Devem ser efetuadas avaliações dos seguintes itens baseadas na informação existente nos documentos de projeto:

- a) Características hidráulicas – Verificação da sua capacidade de escoamento, do funcionamento das comportas, existência de sistemas redundantes de operação e análise dos procedimentos para manter a entrada sem obstruções;
- b) Dados geológicos e geotécnicos;
- c) Critérios de dimensionamento hidráulico e estrutural em relação ao estado da arte atual;
- d) Dissipadores de energia das descargas vertidas;
- e) Critérios operacionais incluindo capacidade de vazão, apoiando o esvaziamento do reservatório, em situação de emergência;
- f) Sistemas de funcionamento dos equipamentos hidro e eletromecânicos.

7.3 Propriedades dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle

No caso do projeto conter informações sobre as propriedades dos materiais e sua colocação em obra, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Características físicas, químicas e mineralógicas dos agregados e sua origem;
- b) Tipo de cimento, teor em álcalis no cimento, aditivos, relação água/cimento, composição do concreto;
- c) Propriedades do aço;

- d) Método de colocação do concreto; resistência do concreto aos 7, 28 e 90 dias, dimensão dos corpos de prova cilíndricos, número de corpos de prova, coeficiente de variação;
- e) Módulo de elasticidade e tensão de ruptura do concreto;
- f) Tratamento das juntas de construção.

7.4 Condições e tratamentos de fundação

No caso de o projeto conter informações sobre as condições de fundação das estruturas extravasoras e de operação, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Investigação dos terrenos de fundação; localização de sondagens e de métodos geofísicos;
- b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações;
- c) Injeções: profundidade da cortina de injeções, caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade;
- d) Sistemas de drenagem e seu controle;
- e) Outros tratamentos da fundação.

O Quadro 6 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver na avaliação dos elementos disponíveis relativos às estruturas extravasores e de operação.

Quadro 6. Avaliação dos elementos disponíveis relativos às estruturas extravasoras e de operação a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Vertedouro			
a) Características hidráulicas	X ^(*)	X ^(*)	X
b) Análise dos fatores relevantes para a segurança da barragem	NA	X ^(*)	X
1) Dados geológicos e geotécnicos em relação à fundação do vertedouro	NA	X ^(*)	X
2) Critérios de dimensionamento hidráulicos e estruturais em relação ao estado de arte atual	NA	X ^(*)	X
3) Critérios de dimensionamento dos dispositivos de drenagem	NA	X ^(*)	
4) Critérios de dimensionamento das bacias de dissipação de energia para as descargas vertidas	NA	X ^(*)	
2. Descarregador de fundo			
a) Características hidráulicas	NA	X ^(*)	X
b) Dados geológicos e geotécnicos	X ^(*)	X ^(*)	X
c) Critérios de dimensionamento em relação ao estado da arte atual	NA	X ^(*)	X
d) Dissipadores de energia das descargas vertidas	NA	X ^(*)	X
e) Critérios operacionais incluindo capacidade de vazão, apoiando o esvaziamento do reservatório, em situação de emergência	NA	X ^(*)	X
f) Sistemas de funcionamento dos equipamentos hidro e eletromecânicos	NA	X ^(*)	X
3. Propriedade dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle			
a) Características físicas, químicas e mineralógicas dos agregados e sua origem	X ^(*)	X ^(*)	X
b) Tipo de cimento, teor em álcalis no cimento, aditivos, relação água/cimento, composição do concreto	NA	X ^(*)	X
c) Propriedades do aço	NA	X ^(*)	X
d) Método de colocação do concreto	NA	X ^(*)	X
e) Resistência do concreto aos 7, 28 e 90 dias, dimensão dos corpos de prova cilíndricos, número de corpos de prova, coeficiente de variação	X ^(*)	X	X
f) Módulo de elasticidade e tensão de ruptura do concreto	NA	X ^(*)	X
g) Tratamento das juntas de construção	NA	X ^(*)	X
4. Condições e tratamentos de fundação			
a) Investigação dos terrenos de fundação; localização de sondagens e de métodos geofísicos	NA	X ^(*)	X
b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações	NA	X ^(*)	X
c) Injeções: profundidade da cortina de injeções, caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade	NA	X ^(*)	X
d) Sistemas de drenagem e seu controle	NA	X ^(*)	X
e) Outros tratamentos da fundação	NA	X ^(*)	X

P – pequeno

M – médio

G – grande

NP – Não aplicável

X^(*) – Estudos simplificados

X – Estudos detalhados

8 APECTOS ESPECÍFICOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE BARRAGENS DE TERRA E DE ENROCAMENTO

Na introdução e em seções anteriores deste Guia foram já apresentadas considerações referentes a aspectos gerais, comuns, quer a qualquer tipo de barragem, quer às estruturas extravasoras e de operação.

Neste capítulo, completa-se a lista de atividades a executar numa Revisão Periódica de Barragens de Terra e de Enrocamento com aspetos específicos destas obras, designadamente referentes aos materiais de construção, às fundações e a questões de projeto analisadas à luz do estado atual da arte.

8.1 Propriedades dos materiais do aterro, sua colocação em obra e ensaios de controle

No caso de existirem informações sobre as propriedades dos materiais de construção da barragem e sua colocação em obra, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Classificação, análise granulométrica, limites de Atterberg dos solos;
- b) Ensaios Proctor e densidade relativa, teor em água;
- c) Análise granulométrica e de permeabilidade dos filtros e drenos;
- d) Ensaios de adensamento;
- e) Ensaios de durabilidade dos enrocamentos;
- f) Ensaios de resistência mecânica (estática e dinâmica);
- g) Compatibilidade dos ensaios de campo e de laboratório;
- h) Métodos e equipamentos de compactação e definição de espessuras de camada;
- i) Ensaios de controle de qualidade dos materiais do aterro; comparação com os valores de projeto;
- j) Aterros experimentais.

8.2 Condições e tratamentos de fundação

No caso de existirem informações sobre as condições de fundação da barragem, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Investigação dos terrenos de fundação e localização de sondagens e de métodos geofísicos;
- b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações;
- c) Sistemas de redução de fluxo através da fundação, tais como tapetes de impermeabilização, trincheiras vedantes (*cut-off*); Injeções: profundidade da cortina de injeção, caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade;
- d) Sistema de controle de drenagem e de percolação na fundação;
- e) Outros tratamentos da fundação, tais como utilização de concreto dental;
- f) Ligação do aterro às estruturas de concreto localizadas na fundação e às ombreiras.

8.3 Análises adicionais de verificação do projeto

Devem ainda ser efetuadas as seguintes avaliações das informações existentes nos documentos de projeto e à luz do estado atual da arte:

- a) Análise dos parâmetros do projeto;
- b) Tipos de ações consideradas no dimensionamento;
- c) Análise de estabilidade da barragem;
- d) Análise das deformações da fundação;
- e) Distribuição das poro-pressões no aterro;
- f) Análise do controle de percolação no aterro e na fundação;
- g) Análise de estabilidade das ombreiras;
- h) Intervenções corretivas, executadas durante a construção;
- i) Compatibilização dos aspectos construtivos com os métodos previstos no projeto;
- j) Comparação entre as tensões e deslocamentos calculados e os valores medidos, no caso de existir instrumentação apropriada;
- k) Situações de levantamento e fraturamento dos maciços provocadas pelas injeções.

O Quadro 7 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver na avaliação dos elementos disponíveis relativos aos aspectos específicos das barragens de terra e de enrocamento.

Quadro 7. Avaliação de aspectos específicos de barragens de terra e de enrocamento a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Propriedades dos materiais do aterro, sua colocação em obra e ensaios de controle			
a) Classificação, análise granulométrica, limites de Atterberg dos solos	X	X	X
b) Ensaios Proctor e densidade relativa, teor em água	X	X	X
c) Análise granulométrica e de permeabilidade dos filtros e drenos	NA	X ^(*)	X
d) Ensaios de adensamento	NA	X	X
e) Ensaios de durabilidade dos enrocamentos	NA	X ^(*)	X
f) Ensaios de resistência mecânica (estática e dinâmica)	NA	X ^(*)	X
g) Compatibilidade dos ensaios de campo e de laboratório	NA	X ^(*)	X
h) Métodos e equipamentos de compactação e definição de espessuras de camada	NA	X ^(*)	X
i) Ensaios de controle de qualidade dos materiais do aterro; comparação com os valores de projeto	NA	X ^(*)	X
j) Aterros experimentais	X	X	X
2. Condições e tratamentos de fundação			
a) Investigação dos terrenos de fundação e localização de sondagens e de métodos geofísicos;	NA	X ^(*)	X
b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações;	NA	X ^(*)	X
c) Sistemas de redução de fluxo através da fundação, tais como tapetes de impermeabilização, trincheiras vedantes (<i>cut-off</i>) e cortinas de impermeabilização	NA	X ^(*)	X
d) Injeções: profundidade da cortina de injeção, caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade	NA	X ^(*)	X
e) Sistema de controle de drenagem e de percolação na fundação	NA	X ^(*)	X
f) Outros tratamentos da fundação, tais como utilização de concreto dental	NA	X ^(*)	X
g) Ligação do aterro às estruturas de concreto localizadas na fundação e ombreiras	NA	X ^(*)	X
3. Análises adicionais de verificação do projeto			
a) Definição dos parâmetros do projeto	NA	X ^(*)	X
b) Tipos de ações consideradas no dimensionamento	X ^(*)	X ^(*)	X
c) Análise de estabilidade da barragem	X ^(*)	X ^(*)	X
d) Análise das deformações da fundação	NA	X ^(*)	X
e) Distribuição das poro-pressões no aterro	NA	X ^(*)	X
f) Análise do controle de percolação no aterro e na fundação	X ^(*)	X ^(*)	X
g) Análise de estabilidade das ombreiras	NA	X ^(*)	X
h) Intervenções corretivas, executadas durante a construção	X ^(*)	X ^(*)	X
i) Compatibilização dos aspectos construtivos com os métodos previstos no projeto	NA	X ^(*)	X
h) Comparação entre as tensões e deslocamentos calculados e os valores medidos, no caso de existir instrumentação apropriada	NA	X ^(*)	X
i) Situações de levantamento e fraturamento dos maciços provocadas pelas injeções	NA	X ^(*)	X

P – pequeno
M – médio
G - grande

NP – Não aplicável
X^(*) – Estudos simplificados
X – Estudos detalhados

9 ASPECTOS ESPECÍFICOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE BARRAGENS DE CONCRETO

Neste capítulo completa-se a lista de atividades, referidas nos capítulos anteriores, para a execução da Revisão Periódica de Barragens de Concreto, com aspetos específicos destas obras, designadamente os relativos aos materiais de construção, aos maciços de fundação e a questões de projeto analisadas à luz do estado atual da arte.

9.1 Propriedades dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle

No caso de existirem informações sobre as propriedades dos materiais de construção da barragem e sua colocação em obra, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Características físicas, químicas e mineralógicas dos agregados e sua origem;
- b) Tipo de cimento, teor em álcalis no cimento, aditivos, relação água/cimento, composição do concreto;
- c) Método de colocação do concreto;
- d) Resistência e durabilidade do concreto aos 7, 28 e 90 dias, dimensão dos corpos de prova cilíndricos, número de corpos de prova, coeficiente de variação;
- e) Módulo de elasticidade e tensão de ruptura do concreto;
- f) Tratamento das juntas de construção;
- g) Métodos de refrigeração do concreto.

9.2 Condições e tratamentos de fundação

No caso existirem informações sobre as condições de fundação da barragem, devem ser analisados os elementos disponíveis, tais como:

- a) Investigação do terreno de fundação, localização de sondagens e de métodos geofísicos;
- b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações;
- c) Injeções de caldas de cimento: profundidade da cortina de injeções, composição de caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade;
- d) Ligação do concreto à fundação e às ombreiras;
- e) Metodologia de preenchimento das juntas, falhas e outras singularidades geológicas;
- f) Sistema de controle de drenagem e de percolação no maciço rochoso de fundação;
- g) Outros tratamentos da fundação, tais como tratamento dental e concreto de regularização.

Na Figura 7 apresenta-se um exemplo da definição do tratamento de fundação de uma barragem de concreto, consistindo de injeções de consolidação e de impermeabilização e de uma cortina de furos de drenagem.

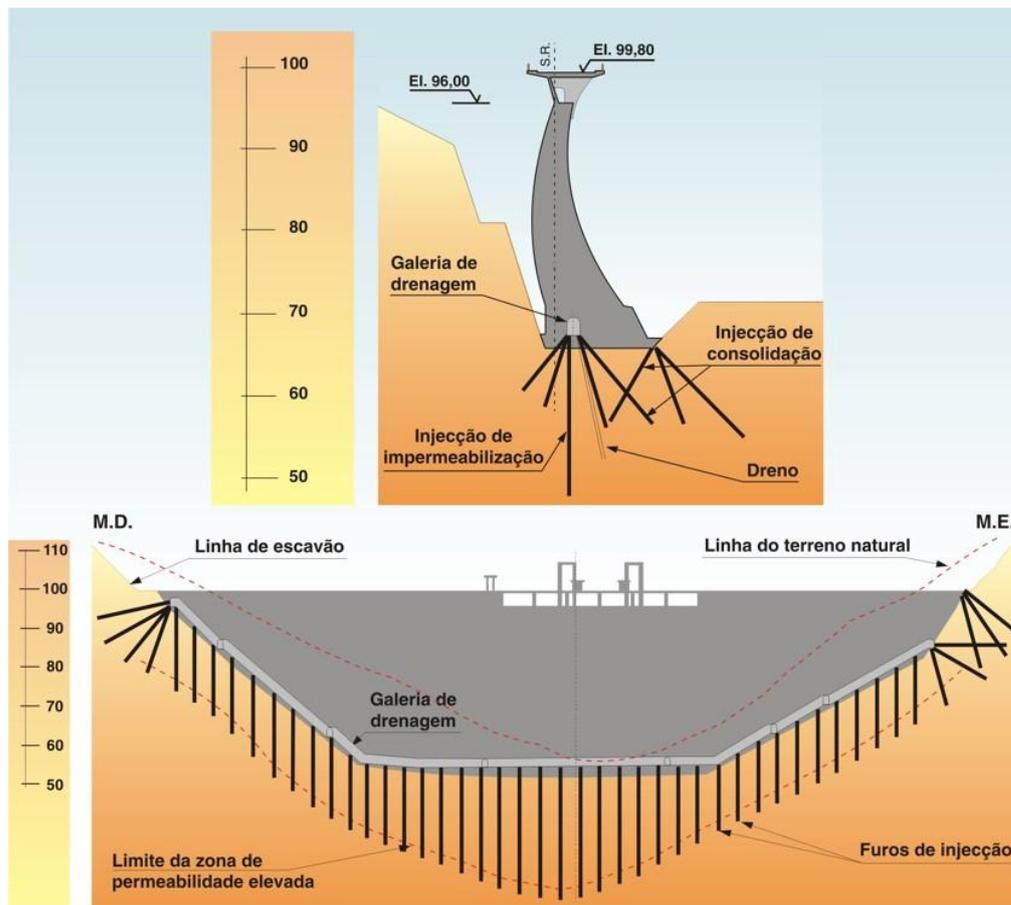


Figura 8. Barragem do Funcho (Portugal). Tratamento de fundação.
(Fonte: COBA, S.A.)

9.3 Análises adicionais de verificação do projeto

Devem ainda ser efetuadas as seguintes avaliações baseadas na informação existente nos documentos de projeto e à luz do estado atual da arte:

- a) Análise dos parâmetros do projeto;
- b) Tipos de ações consideradas no dimensionamento;
- c) Análise de estabilidade da barragem;
- d) Análise das deformações da fundação;
- e) Variações de temperatura do concreto;
- f) Análise do controle de percolação e da distribuição das subpressões na fundação;
- g) Análise de estabilidade das ombreiras;
- h) Intervenções corretivas, executadas durante a construção;
- i) Compatibilização dos aspectos construtivos com os métodos previstos no projeto;
- j) Comparação entre tensões e deslocamentos calculados e valores medidos, no caso de existir instrumentação apropriada;
- k) Cisalhamento nas juntas de contração.

O Quadro 8 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X , as atividades a desenvolver na avaliação dos elementos disponíveis relativos aos aspectos específicos das barragens de concreto.

Quadro 8. Avaliação de aspectos específicos de barragens de concreto a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
1. Propriedades dos materiais de construção, sua colocação em obra e ensaios de controle			
a) Características físicas, químicas e mineralógicas dos agregados e sua origem	X ^(*)	X	X
b) Tipo de cimento, teor em álcalis no cimento, aditivos, relação água/cimento, composição do concreto	X ^(*)	X ^(*)	X
c) Método de colocação do concreto	NA	X ^(*)	X
d) Resistência e durabilidade do concreto aos 7, 28 e 90 dias, dimensão dos corpos de prova cilíndricos, número de corpos de prova, coeficiente de variação	X ^(*)	X ^(*)	X
e) Módulo de elasticidade e tensão de ruptura do concreto	NA	X ^(*)	X
f) Tratamento das juntas de construção	X ^(*)	X ^(*)	X
g) Métodos de refrigeração do concreto	NA	X ^(*)	X
2. Condições e tratamentos de fundação		X ^(*)	
a) Investigação do terreno de fundação, localização de sondagens e de métodos geofísicos	NA	X ^(*)	X
b) Caracterização da resistência mecânica e deformabilidade das fundações	NA	X ^(*)	X
c) Injeções de caldas de cimento: profundidade da cortina de injeções, composição de caldas, aditivos, pressões de injeção e controle de qualidade	NA	X ^(*)	X
d) Ligação do concreto à fundação e às ombreiras	NA	X ^(*)	X
e) Metodologia de preenchimento das juntas, falhas e outras singularidades geológicas	NA	X ^(*)	X
f) Sistema de controle de drenagem e de percolação no maciço rochoso de fundação	X ^(*)	X ^(*)	X
g) Outros tratamentos da fundação, tais como tratamento dental e concreto de regularização	NA	X ^(*)	X
3. Análises adicionais de verificação do projeto			
a) Análise dos parâmetros do projeto	NA	X ^(*)	X
b) Tipos de ações consideradas no dimensionamento	NA	X ^(*)	X
c) Análise de estabilidade da barragem	X ^(*)	X ^(*)	X
d) Análise das deformações da fundação	NA	X ^(*)	X
e) Variações de temperatura do concreto	NA	X ^(*)	X
f) Análise do controle de percolação e da distribuição das subpressões na fundação	NA	X ^(*)	X
g) Análise de estabilidade das ombreiras	NA	X ^(*)	X
h) Intervenções corretivas, executadas durante a construção	X ^(*)	X ^(*)	X
i) Compatibilização dos aspectos construtivos com os métodos previstos no projeto	NA	X ^(*)	X
j) Comparação entre tensões e deslocamentos calculados e valores medidos, no caso de existir instrumentação apropriada	NA	X ^(*)	X
k) Cisalhamento nas juntas de contração	NA	X ^(*)	X

P – pequeno
M- médio
Grande
NP – Não aplicável
X^(*) – Estudos simplificados
X – Estudos detalhados

10 REVISÃO DOS PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA BARRAGEM

Deve ser realizada uma avaliação dos seguintes itens baseada na informação dos documentos de projeto, da inspeção detalhada, nos documentos elaborados durante a construção e na experiência de operação ao longo da vida da obra:

- a) Plano e registros de operação;
- b) Área do reservatório e potencial ocorrência de deslizamentos e de assoreamento;
- c) Critérios de primeiro enchimento e procedimentos de operação associados;
- d) Barragens existentes a montante e a jusante;
- e) Plano e registros de manutenção das estruturas e dos equipamentos eletro e hidromecânicos;
- f) Análise da frequência dos testes dos equipamentos
- g) Análise de eventuais intervenções de reparação da estrutura da barragem;
- h) Planejamento de manutenção da barragem e dos órgãos extravasores;
- i) Sistemas de comunicação e sistemas de alarme.

Essa avaliação dos itens acima referidos deve ser feita à luz do estado atual da arte e deve permitir fazer recomendações de eventuais correções e melhorias com vista à segurança da barragem, bem como de otimização de procedimentos relativos à sua operação.

O Quadro 9 apresenta para as barragens de pequeno, médio e grande porte, definidas em função do fator X, as atividades a desenvolver na avaliação dos elementos disponíveis relativos aos procedimentos de operação e manutenção.

Quadro 9. Revisão dos procedimentos de operação e manutenção a desenvolver em função do porte da barragem.

Atividade	Porte da barragem		
	P	M	G
a) Plano e registros de operação	X ^(*)	X ^(*)	X
b) Área do reservatório e potencial ocorrência de deslizamentos e de assoreamento	NA	X ^(*)	X
c) Critérios de primeiro enchimento e procedimentos de operação associados	NA	X ^(*)	X
d) Barragens existentes a montante e a jusante	NA	X ^(*)	X
e) Plano e registros de manutenção das estruturas e dos equipamentos eletro e hidromecânicos	X ^(*)	X ^(*)	X
f) Análise da frequência dos testes do equipamento	X ^(*)	X ^(*)	X
g) Análise de eventuais intervenções de reparação da estrutura da barragem	X ^(*)	X ^(*)	X
h) Planejamento de manutenção da barragem e dos órgãos extravasores	NA	X ^(*)	X
i) Sistemas de comunicação e sistemas de alarme	NA	X ^(*)	X

P – pequeno
M – médio
G – grande
NP – Não aplicável
X^(*) – Estudos simplificados
X – Estudos detalhados

11 REVISÃO DOS PROCEDIMENTOS, EQUIPAMENTOS E REGISTROS DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO

Nas barragens onde existem instalados equipamentos e instrumentos de medição, deve ser realizada uma avaliação dos seguintes itens baseada na informação existente nos documentos de projeto, nos documentos elaborados durante a construção e nos relatórios de inspeções de segurança:

- Plano de monitoramento e instrumentação;
- Análise do estado de conservação da instrumentação da barragem e da fundação;
- Análise dos registros dos instrumentos e sua interpretação.

Essa avaliação deverá permitir fazer um juízo sobre a qualidade do Plano de Monitoramento, sobre o tipo de instrumentos colocados na barragem e, se for o caso, propor alterações a esse plano e substituição de alguns instrumentos, à luz do estado atual da arte. Um aspecto importante que deverá estar contemplado no Plano refere-se à frequência das leituras dos vários instrumentos e equipamentos, à exigência de rigor nessas operações por parte dos técnicos responsáveis pela segurança da barragem, que para tal deverão ser capacitados e ainda à realização de operações de manutenção desses instrumentos.

A Figura 9 ilustra a instrumentação colocada no núcleo e na fundação da barragem de Iraí, no Paraná, em duas seções importantes para a definição do comportamento da obra.

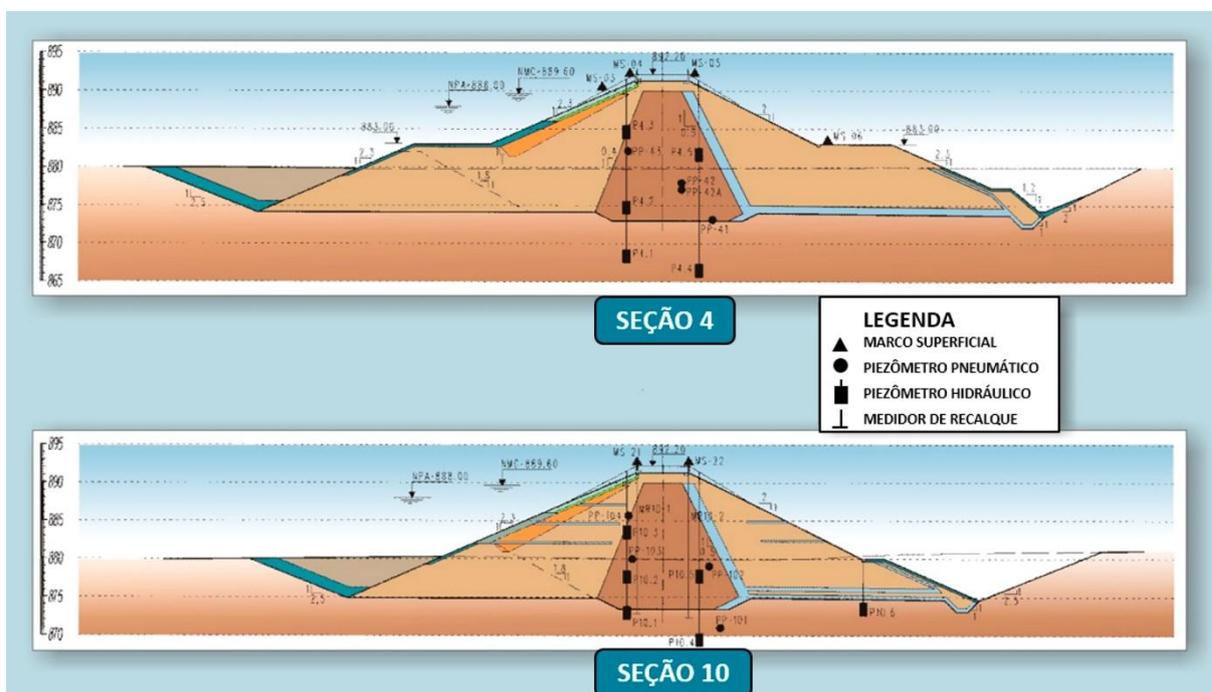


Figura 9. Barragem de Iraí, Paraná. (Fonte: COBA, S.A.)

12 REAVALIAÇÃO DA CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

A Resolução nº 143 do CNRH, de 10 de Julho de 2012 estabelece os critérios gerais de classificação das barragens por categoria de risco e dano potencial associado, com base no art. 7º da Lei nº 12.334.

Para a categoria de risco os seguintes parâmetros devem ser reavaliados: a) características técnicas da barragem, b) do estado de conservação da barragem e, c) Plano de Segurança da Barragem

Esses parâmetros podem ser assim detalhados e devem contemplar:

- a) características técnicas da barragem: altura da barragem, comprimento do coroamento da barragem, tipo da barragem quanto ao material de construção, tipo de fundação da barragem, idade da barragem e tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro);
- b) estado de conservação da barragem: confiabilidade das estruturas extravasoras, confiabilidade das estruturas de adução e eclusa, percolação, deformações e recalques, deterioração dos taludes e;
- c) Plano de Segurança da Barragem: existência de documentação de projeto da barragem, estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem, procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento, regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Para o Dano Potencial Associado devem ser reavaliadas as condições de jusante voltadas para perdas de vidas humanas, impactos econômicos e ambientais.

O art. 3º da Resolução nº 143 do CNRH refere que “O empreendedor poderá solicitar revisão da classificação efetuada pelo respectivo órgão fiscalizador, devendo, para tanto, apresentar estudo que comprove essa necessidade”.

Resulta assim que na sequência de uma revisão periódica de segurança poderá justificar-se uma nova classificação para a barragem quanto à categoria de risco e dano potencial associado, considerando-se o Relatório Final da Revisão Periódica, abrangendo essa reclassificação, como o estudo que a Resolução do CNRH exige para o efeito.

13 DOCUMENTOS RESULTANTES DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

Concluída a Revisão Periódica de Segurança será elaborado o Relatório Final do estudo e o correspondente Resumo Executivo. No caso de barragens sob jurisdição da ANA, o conteúdo será o abaixo indicado, baseado no que figura na Resolução da ANA nº 91/2012. No que se refere a outras entidades fiscalizadoras, o conteúdo poderá ter alguma diferenciação, se essas entidades tiverem os seus próprios modelos de relatório.

O Relatório Final deverá abordar as análises indicadas ao longo deste Guia e deve incluir, no mínimo, os seguintes aspectos técnicos:

- a) Resultado da inspeção detalhada e adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas;
- b) Reavaliação do projeto existente, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da revisão;
- c) Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de descarga existentes;
- d) Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento;
- e) Reavaliação do Plano de Ação de Emergência-PAE, quando for o caso;
- f) Revisão dos relatórios das anteriores revisões periódicas de segurança de barragem, quando for o caso;
- g) Considerações sobre eventual reavaliação da categoria de risco e dano potencial associado;
- h) Conclusões sobre a segurança da barragem;
- i) Recomendações de melhorias a implementar para reforço da segurança da barragem
- j) Estimativa preliminar (ordem de grandeza) dos custos e prazos para implementação das recomendações.

O Resumo Executivo deverá incluir informação simplificada referente aos seguintes aspectos:

- a) Identificação da barragem e de seu empreendedor;
- b) Identificação do Responsável Técnico pela Revisão Periódica;
- c) Período de realização do trabalho;
- d) Listagem dos estudos realizados;
- e) Conclusões;
- f) Recomendações sobre as melhorias a implementar e sobre o respectivo plano de ação.

14 EQUIPE

A revisão periódica de segurança da barragem deve ser conduzida por equipe multidisciplinar, com competência nas diversas áreas que envolvem a segurança da barragem, designadamente hidrologia, hidráulica, geologia, geotecnia, estruturas, tecnologia de concreto, etc.

As boas práticas recomendam que a equipe seja externa ao empreendedor e contratada para este fim.

O termo de referência para a contratação desses serviços (Tomo IV, Anexo IV deste Manual) sugere a composição das equipes adequadas para essas atividades considerando os profissionais que integram a equipe chave, a equipe complementar e a equipe de apoio, bem como os prazos estimados para barragens de aterro e de concreto, de pequeno, médio e grande porte.

O responsável técnico pela Revisão Periódica de Segurança da Barragem deverá ter registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA, com atribuições profissionais para o projeto ou construção ou operação ou manutenção de barragens, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, CONFEA.

Cabe a cada entidade fiscalizadora definir a equipe e sua qualificação para realização da Revisão Periódica de Segurança.

No Quadro 10 apresenta-se o dimensionamento da equipe técnica sugerido em função do porte e do tipo de barragem.

Quadro 10. Dimensionamento da equipe técnica em função do porte e do tipo da barragem.

Porte da barragem	Fator $X=H^2\sqrt{V}$	Barragens de terra e de enrocamento	Barragens de concreto
Pequeno	$X < 400$	Engº. Geotécnico, Engº Hidráulico, Topógrafo, Inspetor de campo	Engº. Estrutural, Engº Hidráulico, Topógrafo, Inspetor de campo
Médio	$400 < X < 1000$	Engº. Geotécnico, Engº Hidráulico, Geólogo de Engenharia, Engº. Mecânico, Topógrafo, Inspetor de campo	Engº. Estrutural, Engº Hidráulico, Geólogo de Engenharia, Engº Mecânico, Topógrafo, Inspetor de campo
Grande	$X > 1000$	Devem integrar os profissionais definidos na Equipe Chave, Equipe Complementar e Equipe de Apoio	

15 PERIODICIDADE

A periodicidade mínima da Revisão Periódica de Segurança é definida pela entidade fiscalizadora. A título de exemplo apresenta-se a Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado estabelecida pela ANA na sua Resolução nº 91, de 02 de Abril de 2012.

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	C	E

Igualmente, a título de exemplo, se apresenta no quadro seguinte a periodicidade recomendada na mesma Resolução de ANA para as classes de A a E:

CLASSE	PERIODICIDADE
A	a cada 5 (cinco) anos
B	a cada 5 (cinco) anos
C	a cada 7 (sete) anos
D	a cada 10 (dez) anos
E	a cada 10 (dez) anos

16 DATAS LIMITE

As datas limite de realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem são definidas pela entidade fiscalizadora. A título de exemplo apresenta-se o estabelecido pela ANA na sua Resolução nº 91, de 02 de Abril de 2012 para a elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (contados a partir de 20 de setembro de 2012), em função do número de barragens de um mesmo empreendedor.

Nº de Barragens por empreendedor	Prazos	
	Intermediários	Limite
1 barragem	-	1 ano
2 barragens	-	2 anos
3 a 5 barragens	3 barragens em até 2 anos	5 anos
6 a 10	4 barragens em até 3 anos	7 anos
11 a 20	6 barragens em até 3 anos	10 anos
Mais de 20	7 barragens em até 4 anos	12 anos

17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Resolução nº 91, de 2 de Abril 2012**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2012.

GSHAP. **Global Seismic Hazard Assessment Program**.

(<http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/>)

ICOLD. **Dam Foundations: Geologic Considerations. Investigation Methods. Treatment. Monitoring**. Bulletin 129. Paris: International Commission on Large Dams, 2005.

ICOLD. **Selecting Seismic Parameters for Large Dams: Guidelines**. Bulletin 72. Paris: International Commission on Large Dams, 1989.

ICOLD. **Small Dams. Design, Surveillance and Rehabilitation: Lessons from Dam Incidents**. Bulletin 157 Paris: International Commission on Large Dams, 2010.

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

Ministère d'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durables. **Nouvelles Dispositions Législatives et Réglementaires Relatives à la Sécurité et à la Sûreté des Barrages Hydroélectriques Concédés**, 2007.

Ministerio de Obras Publicas, Transportes Y Medio Ambiente. **Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses**, 1996.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes Y Medio Ambiente. **Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses**, 1996.

OLIVEIRA, R., MORGADO, A., FERREIRA, M.P.. **Geological and Geotechnical Characterization and Design of Ribeiradio Dam Rock Mass Foundation - Roller Compacted Concrete (RCC) Solution**. Barcelona, Spain: XXII International Congress on Large Dams, ICOLD, 2006.

OLIVEIRA, R., PEREIRA, J.P., MIRANDA, M.P., CRUZ, L.B.. **Consolidation of the Foundation Rock Mass of Cambambe Dam (P.R. Angola): Q59. R.27**. Lausanne, Suisse: XV International Congress on Large Dams, ICOLD, 1985.

Swedish Guidelines for **Design Flood Determination for Dams**. New edition, 2007.

TEIXEIRA, WILSON [et. al] (org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.