

SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS



**PRODUTO 8
MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS EMPREENDEDORES**

**TOMO II
GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS**

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 de Iraí, Paraná.
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 aos empreendedores de barragens por ela regulados, considerando as suas atribuições definidas na Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

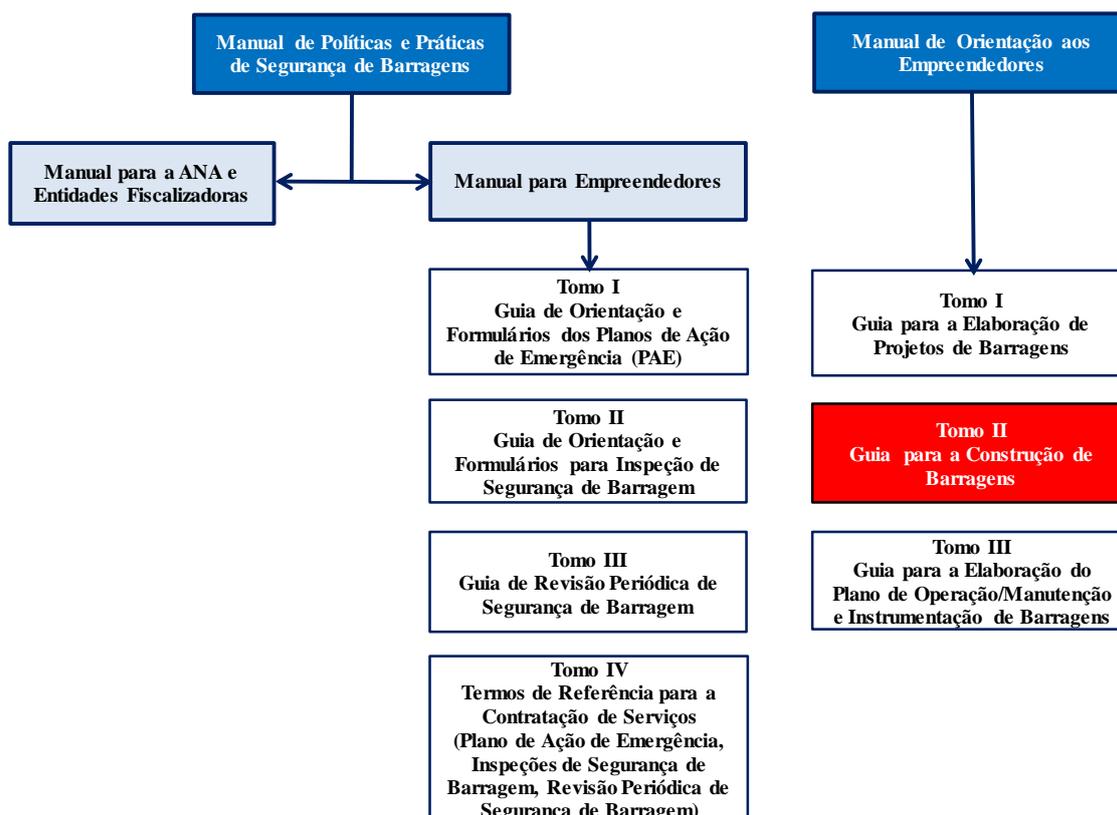
Os manuais elaborados foram os seguintes: Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens e Manual de Orientação aos Empreendedores.

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 dos Manuais 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, Lúcia Almeida, José Oliveira Pedro, António Pereira da Silva, António Alves, José Rocha Afonso 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 dos consultores José Hernandez e Orlando Vignoli Filho.

Gostaríamos de agradecer também aos nossos colegas do Banco Mundial, Carolina Abreu dos Santos, Carla Zardo e Vinícius Cruvinel, cujo apoio nos ajudaram a finalizar a edição e divulgação do documento.

MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS EMPREENDEDORES / OPERADORES

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 Orientação aos Empreendedores** pretende-se estabelecer orientações gerais quanto às metodologias e procedimentos a adotar pelos empreendedores, visando assegurar adequadas condições de segurança para as barragens de que 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.

Os procedimentos, os estudos e as 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 três Guias constituintes dos seguintes Tomos:

- **Tomo I - Guia 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.
- **Tomo II - Guia 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.
- **Tomo III - Guia 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.

Observa-se que o Tomo destacado acima 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.

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

MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS EMPREENDEDORES

TOMO II

GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

Novembro de 2014

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

**MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS EMPREENDEDORES
TOMO II
GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS**

SUMÁRIO

ESCLARECIMENTOS AO LEITOR	1
1 DISPOSIÇÕES GERAIS	3
1.1 Âmbito e objetivos	3
1.2 Painel de especialista	3
1.3 Normas técnicas	3
1.4 Organização e controle das atividades de construção	4
1.4.1 Aspectos gerais	4
1.4.2 Estrutura organizacional do empreendedor	5
2 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO COMUNS A TODOS OS TIPOS DE BARRAGENS	7
2.1 Plano de construção	9
2.2 Materiais	9
2.3 Locação da obra	9
2.4 Quantitativos	10
2.5 Canteiro	10
2.5.1 Acessos e comunicações	10
2.5.2 Organização do canteiro	10
2.5.3 Instalações elétricas do canteiro	11
2.6 Jazidas e pedreiras	11
2.6.1 Jazidas de solos ou de aluviões	12
2.6.2 Pedreiras	13
2.7 Desvio do rio	13
2.8 Depósitos provisórios (bota-espera) e definitivos (bota-fora)	18
2.9 Escavações	18
2.9.1 Aspectos gerais	18
2.9.2 Escavações a céu aberto	19
2.9.3 Escavações subterrâneas	22
2.9.4 Mapeamento geológico e classificação geotécnica do maciço rochoso	23
2.10 Desmatamento do reservatório	24
2.11 Equipamentos	24

2.12	Instalações elétricas definitivas	25
3	BARRAGENS DE ATERRO (TERRA E ENROCAMENTO)	27
3.1	Materiais para aterro	27
3.2	Filtros, drenos e transições	27
3.3	Aterros experimentais	28
3.4	Proteção dos taludes	29
3.5	Elemento de vedação do aterro nas barragens de enrocamento com face de concreto	30
3.6	Materiais diversos	33
3.7	Fundações e seu tratamento	33
3.7.1	Preparação da superfície de fundação	34
3.7.2	Consolidação, impermeabilização e drenagem	35
3.7.3	Controle do tratamento da fundação	36
3.8	Construção dos aterros	37
3.9	Controle da construção	40
3.10	Problemas mais frequentes em decorrência de falha na construção	44
4	BARRAGENS DE CONCRETO	45
4.1	Materiais	45
4.1.1	Agregados e granulometrias	45
4.1.2	Cimentos, pozolanas e cinzas volantes	45
4.1.3	Água	46
4.1.4	Aditivos	46
4.1.5	Aços	46
4.2	Barragens de concreto convencional	46
4.2.1	Composição dos concretos	46
4.2.2	Fabricação do concreto	47
4.2.3	Transporte, lançamento e compactação do concreto	48
4.2.4	Superfícies de fundação e juntas de concretagem	49
4.2.5	Fôrmas	49
4.2.6	Juntas de contração e injeções	50
4.2.7	Cura do concreto e desfôrma	50
4.2.8	Colocação do concreto em tempo de chuva ou de frio	51
4.2.9	Dissipação do calor de hidratação e refrigeração dos componentes do concreto	51
4.2.10	Plano de concretagem	51
4.3	Barragens de concreto compactado a rolo (CCR)	52
4.3.1	Composição dos concretos	52
4.3.2	Bloco experimental	53
4.3.3	Estocagem e transporte dos agregados	54
4.3.4	Fabricação do concreto	54
4.3.5	Transporte, colocação e compactação do concreto	54
4.3.6	Controle de qualidade do concreto em obra	55
4.3.7	Superfície da fundação e juntas de concretagem	57
4.3.8	Concretagem em condições desfavoráveis,	57
4.3.9	Fôrmas	58
4.3.10	Juntas de contração e seu tratamento	58
4.3.11	Galerias e órgãos anexos	58
4.3.12	Plano de concretagem	58
4.4	Fundações e seu tratamento	59
4.4.1	Consolidação, impermeabilização e drenagem	59

4.4.2	Controle dos trabalhos de consolidação e impermeabilização	59
4.5	Problemas mais frequentes em decorrência de falha na construção	60
5	CONTROLE DE SEGURANÇA DURANTE A CONSTRUÇÃO	61
5.1	Monitoramento e instrumentação	61
5.1.1	Adaptação do Plano de Monitoramento e Instrumentação	61
5.1.2	Instalação dos instrumentos de monitoramento	61
5.1.3	Leitura, processamento e arquivamento de dados e resultados	62
5.2	Inspeções de segurança	63
5.3	Análise e interpretação dos resultados	64
5.4	Plano de Segurança da Barragem	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Principais atividades de construção.	8
Figura 2.	Desvio do rio da Barragem de Foz do Areia, PR.	16
Figura 3.	Desvio do rio da Barragem de Salto Osório, PR (1ª fase de ensecamento).	17
Figura 4.	Escavação a céu aberto da saída do segundo circuito hidráulico de Cambambe, Angola.	19
Figura 5.	Escavação com proteção em rede metálica.	21
Figura 6.	Remoção de blocos soltos.	21
Figura 7.	Projeção de concreto.	21
Figura 8.	Aplicação de chumbadores após concretagem.	21
Figura 9.	Viga de ancoragem ativa.	21
Figura 10.	Escavações subterrâneas. Túnel.	22
Figura 11.	Escavações subterrâneas. Poço.	22
Figura 12.	Escavações subterrâneas. Remoção de blocos soltos.	23
Figura 13.	Proteção do talude de montante em enrocamento.	29
Figura 14.	Proteção do talude de jusante em cobertura vegetal.	30
Figura 15.	Proteção do talude de jusante em cascalho.	30
Figura 16.	Tipos de plintos.	32
Figura 17.	Construção de uma barragem de enrocamento com face em concreto e plinto de fundação.	33
Figura 18.	Aterro homogêneo. Operações de escarificação e de compactação.	39
Figura 19.	Aterro zonado. Operações de espalhamento e de compactação.	39
Figura 20.	Irrigação do aterro de enrocamento.	40
Figura 21.	Determinação do peso específico do solo com frasco de areia.	41
Figura 22.	Ensaio de densidade “ <i>in situ</i> ” de material de transição.	41
Figura 23.	Ensaio de densidade <i>in situ</i> de enrocamento.	41
Figura 24.	Ensaio granulométrico <i>in situ</i> de enrocamento.	42
Figura 25.	Barragem de concreto convencional (Barragem de Ribeiradio, Portugal).	47
Figura 26.	Esquema de uma central de fabricação de concreto.	48
Figura 27.	Barragem de concreto compactado a rolo (CCR). Barragem do Mamoeiro, CE.	52
Figura 28.	Barragem de concreto compactado a rolo (CCR) (Barragem de Pedrógão, Portugal).	53
Figura 29.	Colocação de CCR.	54
Figura 30.	Aspectos da construção de blocos em CCR.	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Plano de construção.	7
Quadro 2. Atividades de construção.	7
Quadro 3. Controle de qualidade dos tratamentos da fundação de barragens de aterro.	37
Quadro 4. Controle tecnológico de aterros.	43
Quadro 5. Ensaio correntes de caracterização dos materiais constituintes do concreto ^(*) .	56
Quadro 6. Ensaio correntes de controle na produção de concretos.	57
Quadro 7. Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de terra e enrocamento.	63
Quadro 8. Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de concreto.	63

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	– Associação Brasileira de Cimento Portland
ABGE	– Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABMS	– Associação Brasileira de Mecânica dos Solos
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	– Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ACI	– American Concrete Institute
AFNOR	– Association Française de Normalisation
AISC	– American Institute of Steel Construction
ANA	– Agência Nacional de Águas
ANSI	– American National Standard Institute
ART	– Anotação de Responsabilidade Técnica
ASCE	– American Society of Civil Engineers
ASSHTO	– American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	– American Society for Testing Materials
AWS	– American Welding Society
AWWA	– American Water Works Association
BS	– British Standards
CBDB	– Comitê Brasileiro de Barragens
CCR	– Concreto compactado a rolo
CDWR	– California Department of Water Resources
CEB	– Comité Eurointernational du Béton
CONFEA	– Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	– Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRSI	– Concrete Reinforcing Steel Institute
DIN	– Deutsche Industrie Normen
EDIA	– Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A.
EIA	– Estudo de Impacto Ambiental
IBRACON	– Instituto Brasileiro de Concreto
ICOLD	– International Committees on Large Dams
IPT	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISRM	– International Society for Rock Mechanics
LNEC	– Laboratório Nacional de Engenharia Civil
SHF	– Société Hydraulique Française
USACE	– United States Army Corps of Engineers
USBR	– United States Bureau of Reclamation
USFS	– United States Federal Specifications

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

TOMO II

GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

ESCLARECIMENTOS AO LEITOR

O que é o Guia para a construção de barragens?

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, que deve incluir todos os dados referentes ao empreendimento, inclusive, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem.

O presente Guia é um documento que pretende auxiliar na construção das barragens, uma vez que a qualidade da obra tem uma influência marcante no comportamento futuro da barragem, do ponto de vista da segurança.

A quem interessa?

Interessa aos Empreendedores / Operadores, às empreiteiras responsáveis pela execução das obras, assim como aos projetistas responsáveis pela elaboração dos projetos e aos responsáveis pela elaboração do Plano de Segurança da Barragem.

Quais os conteúdos deste guia?

Os conteúdos deste guia compreendem as atividades de construção de barragens, visando às condições de segurança das estruturas construídas.

Como está estruturado este guia?

O Guia está dividido nos cinco seguintes capítulos:

Capítulo 1 – “Disposições Gerais”, no qual, após a definição do âmbito e objetivos do Guia, se apresentam algumas considerações sobre a organização e controle das atividades de construção, incluindo a estrutura organizacional do empreendedor e suas obrigações, visando ao controle de segurança.

Capítulo 2 – “Desenvolvimento das Atividades de Construção”, no qual se apresentam os principais aspectos a considerar no desenvolvimento das atividades de construção, desde o conteúdo do Plano de Trabalho da empreitada, à qualidade dos materiais de construção, cuidados na implantação das obras, nos acessos e comunicações, no canteiro, na exploração de jazidas de materiais e pedreiras, nas obras relativas ao desvio do rio, assim como, nas escavações, na desarborização e desmatamento do reservatório e, finalmente, na definição e instalação dos equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos, bem como, as instalações elétricas do canteiro.

Capítulo 3 – “Barragens de Aterro (Terra e Enrocamento)”, no qual se apresentam os principais aspectos a serem considerados na qualidade, exploração e colocação dos materiais para aterro, filtros, transições, proteção dos taludes e elementos de vedação, na execução dos tratamentos da fundação das estruturas de aterro e de concreto, assim como no controle de qualidade da construção.

Capítulo 4 – “Barragens de Concreto”, no qual se apresentam os principais aspectos a serem considerados na qualidade, exploração, armazenagem e colocação dos materiais de construção, na execução de barragens de concreto de qualquer tipo, seja convencional, seja de concreto compactado a rolo (CCR), na execução dos tratamentos da fundação das estruturas, bem como no controle de qualidade de construção.

Capítulo 5 – “Controle de Segurança Durante a Construção”, no qual se dão indicações sobre o conteúdo do plano de monitoramento e instrumentação, o qual deve ser implementado durante a construção, compreendendo a instalação da instrumentação, leitura e processamentos dos dados, frequência das leituras da instrumentação, adaptação às condições reais, arquivo dos registros, inspeções de segurança e análise e interpretação dos resultados.

Referências

As disposições do presente Guia para a Construção de Barragens, com as necessárias adaptações e atualizações, apoiam-se nas *Normas de Construção de Barragens*, publicadas como anexo da Portaria nº246/98, dos Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, da Economia, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, Lisboa, Portugal, 21 de abril de 1998. Esse documento está em fase final de atualização.

Algumas contribuições para a elaboração do presente guia foram, também, obtidas no manual *Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas*, publicado pela ELETROBRAS com o apoio do Comité Brasileiro de Barragens, em outubro de 2003, e nas normas espanholas, que fazem parte do *Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*, de março de 1996, atualizado pelo Real Decreto 9/2008 de 11 de janeiro. Essas normas estão em fase final de atualização.

1 DISPOSIÇÕES GERAIS

1.1 Âmbito e objetivos

No presente Guia estabelecem-se os procedimentos gerais, que devem orientar o empreendedor na execução das atividades de construção, de modo a garantir as condições de segurança das barragens. As atividades de construção visam à execução dos trabalhos projetados, de acordo com normas de qualidade e como forma de garantir as condições de segurança e bom desempenho das obras. Consideram-se, não só as atividades de construção de novas obras, mas também, as atividades de reforço, reabilitação ou desativação de obras existentes.

As disposições deste Guia destinam-se às barragens que se enquadram na Lei nº12. 334, de 20 de setembro de 2010, e cujo reservatório tem por fim a acumulação de água para quaisquer usos.

No caso de barragens de pequeno porte e de menor complexidade, o presente Guia deve ser utilizado com as devidas adaptações e simplificações.

1.2 Painel de especialista

É prática corrente no Brasil e em muitos outros países que a construção de uma grande barragem, em todas as suas fases, inclusive na conclusão da obra, seja acompanhada por um painel de especialistas, contratado pelo empreendedor, visando assegurar a adoção de critérios atualizados, melhor prática disponível e a adequação do projeto às condições locais.

1.3 Normas técnicas

As normas e padrões a serem utilizados na elaboração do projeto e execução das obras devem ser as últimas edições das Normas e Regulamentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Casos específicos e/ou omissos serão supridos pelas normas, regulamentos e padrões técnicos das organizações a seguir listadas:

- American Association of State Highway and Transportation Officials – ASSHTO
- American Concrete Institute – ACI
- American Institute of Steel Construction - AISC
- American National Standard Institute ANSI
- American Society for Testing Materials - ASTM;
- American Society of Civil Engineers - ASCE
- American Water Works Association - AWWA;
- American Welding Society - AWS;
- Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP;
- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE;
- Associação Brasileira de Mecânica dos Solos - ABMS;
- Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH;
- Association Française de Normalisation - AFNOR;
- British Standards - BS;

- California Department of Water Resources - CDWR;
- Comitê Brasileiro de Barragens - CBDB;
- Comité Eurointernational du Béton - CEB;
- Concrete Reinforcing Steel Institute - CRSI;
- Deutsche Industrie Normen - DIN;
- Instituto Brasileiro de Concreto - IBRACON;
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT;
- International Committion on Large Dams - ICOLD;
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC;
- Société Hydraulique Française - SHF;
- United States Army Corps of Engineers - USACE;
- United States Bureau of Reclamation - USBR;
- United States Federal Specifications – USFS
- World Bank – Operation Manual - OP.4.37 – Safety of Dams

1.4 Organização e controle das atividades de construção

1.4.1 Aspectos gerais

O empreendedor, responsável pela construção da barragem, deve contratar para essa atividade uma empreiteira legalmente qualificada e deve atribuir a assistência técnica e a supervisão a corpos técnicos responsáveis. Considera-se boa prática que a entidade responsável pela elaboração do projeto acompanhe a execução da obra.

A construção deve ser executada, em conformidade com o projeto e as especificações técnicas de construção, fazendo uso dos materiais e métodos construtivos previstos nesses documentos, de acordo com um programa de trabalho, previamente estabelecido.

O programa de trabalho deve permitir clarear as interfaces e os aspectos críticos de atividades fundamentais, assegurar a compatibilidade das frentes de trabalho e explicitar os períodos de execução mais condicionantes, salvaguardando a segurança e a qualidade dos trabalhos. Os trabalhos necessários à concretização do Plano de Monitoramento e Instrumentação devem, também, ser considerados, de modo a permitir a sua execução coordenada com os trabalhos restantes.

O empreendedor deve assegurar que a construção seja acompanhada das necessárias atividades de controle tecnológico e de segurança, bem como, procurar minimizar os impactos ambientais, devendo o cronograma de trabalho, quando necessário, contemplar todas as atividades, meios e procedimentos, visando:

- a) À mobilização de meios técnicos e de equipamentos inerentes à execução de ensaios de controle de qualidade dos materiais de construção, colocados em obra, ao controle do tratamento da fundação e à realização dos ensaios de recepção dos equipamentos hidro e eletromecânicos;
- b) À aquisição, estocagem, realização de ensaios, instalação e operação da instrumentação, de acordo com o Plano de Monitoramento e Instrumentação, em condições adequadas de acessibilidade e operacionalidade, bem como, de acordo com uma adequada coleta, tratamento, transmissão e registro da informação, dispondo-se para tal dos meios humanos e técnicos necessários;

- c) A uma boa prestação e colaboração da empreiteira nas atividades referidas, bem como em eventuais alterações, face às reais condições encontradas na obra, em especial, no tratamento da fundação e no seu controle de qualidade e na instalação, operação e manutenção da instrumentação de auscultação, devendo a empreiteira responsabilizar-se pelos atrasos, avarias e outros prejuízos que lhe forem imputáveis.

Todos os meios, procedimentos e atividades envolvidos no controle da segurança devem ser objeto de um rigoroso acompanhamento e validação pela supervisão da obra.

As informações e alterações significativas do projeto, que se revelarem necessárias durante a construção, bem como todas as ocorrências com interesse, do ponto de vista da segurança, devem ser registradas de um modo organizado e incorporadas no Plano de Segurança da Barragem.

No final da construção, o empreendedor deve constituir o Projeto Final Como Construído que, como referido no *Guia para Elaboração de Projeto de Barragens*, incluirá:

- a) Todos os elementos da obra, tal como foi executada, incluindo os cálculos justificativos;
- b) Representação dos aspectos geológicos e geotécnicos da fundação da barragem e de eventuais obras subterrâneas, assim como dos resultados relativos ao seu tratamento;
- c) Fotografias representativas das escavações para as fundações e do seu tratamento e dos demais aspectos da construção;
- d) Os resultados dos ensaios de materiais utilizados (concreto, solos, enrocamentos, maciço rochoso e outros materiais) e outros estudos laboratoriais efetuados e respectivos relatórios;
- e) Os planejamentos de trabalhos;
- f) O plano de monitoramento e de instrumentação atualizado;
- g) Os registros das leituras da instrumentação e das inspeções realizadas durante a construção.

1.4.2 Estrutura organizacional do empreendedor

O empreendedor deve nomear um responsável técnico pela elaboração do Plano de Segurança da Barragem, que deve ter registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA, com atribuições profissionais para projeto ou construção ou operação ou manutenção de barragens, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia e Agronomia – CONFEA.

A supervisão da construção, de responsabilidade do empreendedor, deve dispor de um corpo técnico constituído, visando à execução da obra, em conformidade com o projeto e as especificações técnicas, e considerando a importância, complexidade e especificidade da obra. As principais atribuições desse corpo técnico, responsável pela supervisão, são:

- a) Acompanhar a construção, para que seja garantida a qualidade e segurança da obra;
- b) Assegurar a coordenação dos trabalhos de construção, em conformidade com o estabelecido no projeto e nas especificações técnicas, considerando as adaptações resultantes das reais condições encontradas na obra e as condicionantes inerentes ao Plano de Monitoramento e Instrumentação;

- c) Suspender qualquer trabalho que esteja sendo executado, sem observância das prescrições do projeto e das especificações técnicas.

A supervisão deve, também, poder averiguar, se a empreiteira tem capacidade para viabilizar as alterações que venha a propor ao cronograma da obra.

Os serviços de supervisão da construção podem ser contratados pelo empreendedor a uma empresa especializada.

O empreendedor deve, também, constituir uma equipe responsável pelas ações de controle de segurança estrutural da barragem, adequada à dimensão da obra, composta por profissionais do próprio empreendedor ou contratada, especificamente para esse fim.

O controle de segurança estrutural durante a construção tem como principais objetivos garantir a segurança das estruturas e dos equipamentos, por intermédio de inspeções, bem como desenvolver, adaptar e implementar o Plano de Monitoramento e Instrumentação estabelecido no projeto. O desenvolvimento e adaptação desse Plano é, em geral, necessário, não só para considerar as reais condições encontradas na obra, mas também para incluir:

- a) As especificações, relativas à instrumentação e acessórios utilizados para determinação das grandezas a observar, bem como, todos os restantes elementos necessários à colocação da instrumentação e sua utilização;
- b) As especificações, relativas à coleta e ao processamento da informação;
- c) Os procedimentos e o esquema de comunicação a serem utilizados, no caso de eventos adversos, quer sejam eventos extremos, quer acidentes ou incidentes.

O empreendedor deve, ainda, promover a constituição de uma equipe de segurança, com vistas a acompanhar, coordenar e dinamizar as ações necessárias para evitar a ocorrência ou, pelo menos, minimizar o número e gravidade de eventuais acidentes, decorrentes da realização das atividades de construção, assim como o controle das condições de higiene do canteiro e de saúde do pessoal.

2 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO COMUNS A TODOS OS TIPOS DE BARRAGENS

A construção da barragem envolve, como referido, a realização de um conjunto de trabalhos, de acordo com o cronograma previamente estabelecido, utilizando os materiais e métodos construtivos previstos no projeto e em conformidade com as especificações técnicas da construção.

No Quadro 1 indicam-se os documentos que integram o plano de construção e no Quadro 2 resumem-se as principais atividades de construção a desenvolver, cuja sequência em termos gerais se apresenta no fluxograma da Figura 1. Nos subitens seguintes, apresentam-se algumas considerações gerais relativas ao desenvolvimento dessas atividades.

Quadro 1. Plano de construção.

Projeto Executivo
Especificações Técnicas
Quantitativos
Plano de Trabalho (cronograma de trabalho)
Tempo previsto para cada atividade com data de início e de conclusão
Sequência de todas as atividades relevantes e interdependências das diferentes tarefas
Datas-chave

Quadro 2. Atividades de construção.

Materiais
Locação da obra
Canteiro
Acessos e comunicações
Instalações elétricas do canteiro
Jazidas e pedreiras
Jazidas de solos ou de aluviões
Pedreiras
Desvio do rio
Tuneis ou canais
Recintos ensecados sucessivamente
Escavações
A céu aberto
Subterrâneas
Desarborização e desmatamento na área do reservatório
Equipamentos hidromecânicos e eletromecânico e respectivas instalações de comando e controle
Instalações elétricas definitivas

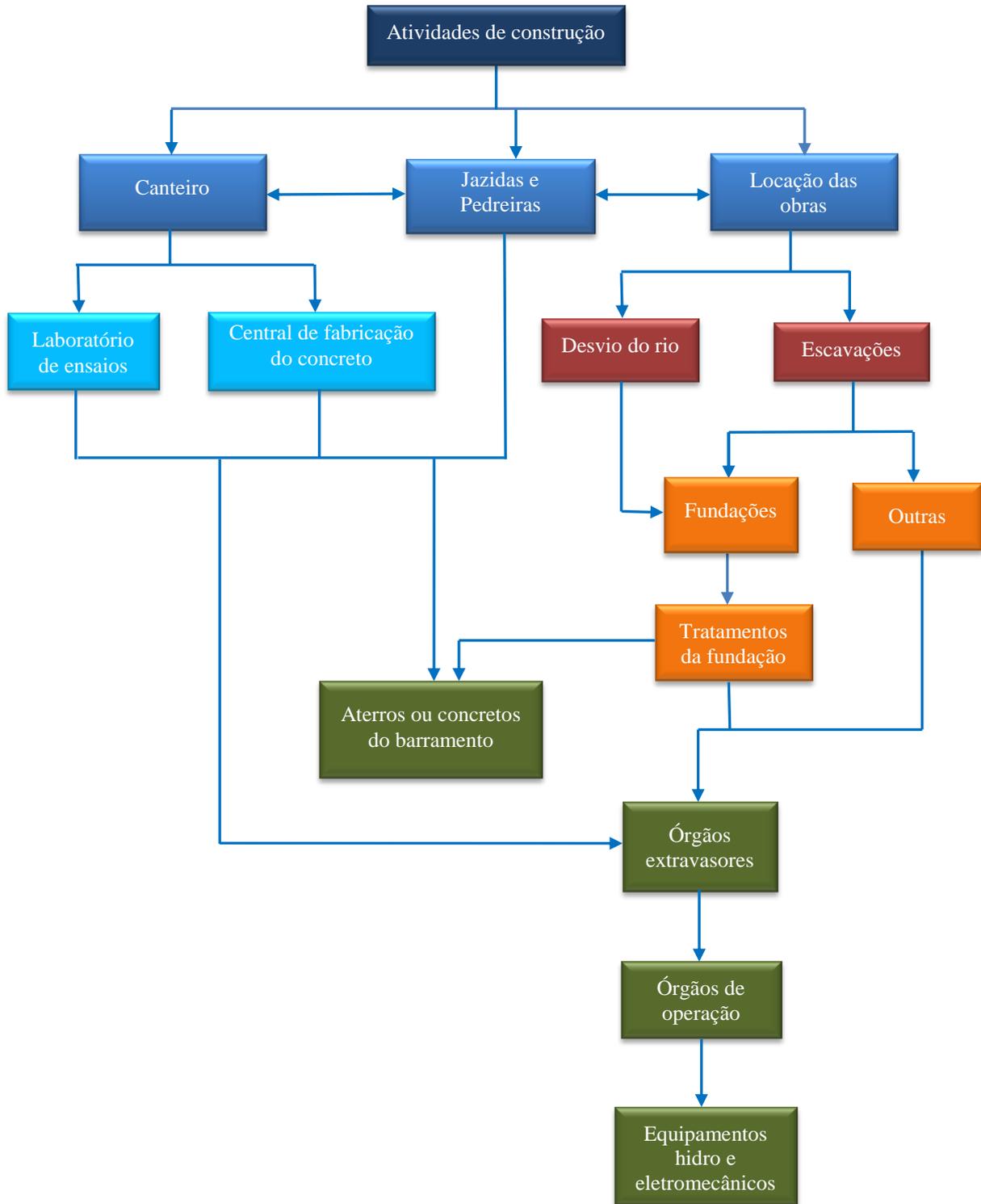


Figura 1. Principais atividades de construção.

2.1 Plano de construção

O plano de construção é constituído pelo projeto executivo, especificações técnicas, quantitativos e cronograma de trabalhos, que devem permitir assegurar a qualidade da construção.

O plano de trabalhos, visando assegurar a eficácia do cronograma, controle e coordenação executiva da obra, deve:

- a) Apresentar a sequência de todas as atividades relevantes a desenvolver, indicando o tempo previsto para cada uma delas, as datas para início e conclusão de cada atividade e as interdependências das diferentes tarefas;
- b) Atentar para as implicações, que as condições meteorológicas e hidrológicas podem ter nos prazos previstos para as atividades;
- c) Procurar que o desvio do rio seja realizado na estiagem, em especial, quando em canal, galeria ou túnel;
- d) Prever a instalação do canteiro, munido de laboratórios para recepção e controle tecnológico dos materiais, dos depósitos provisórios e definitivos (botas-foras) e de outras instalações necessárias às obras, bem como a execução e reposição de acessos;
- e) Permitir o controle de segurança da obra, sem prejuízo do ritmo de construção;
- f) Explicitar a sequência de construção das estruturas e do tratamento das respectivas fundações.

O plano de trabalho deve indicar datas-chave, correspondentes à realização de tarefas que condicionem e possam comprometer outras atividades, assim como deve considerar eventuais condicionantes, associadas a aspectos ambientais ou patrimoniais.

2.2 Materiais

Os materiais a serem utilizados na construção devem satisfazer as exigências do projeto e respeitar as propriedades, definidas nas especificações técnicas e normas técnicas aplicáveis, de acordo com os ensaios laboratoriais de caracterização. As origens dos materiais devem ser indicadas e as áreas de estocagem devem ser definidas, de forma adequada, atendendo, também, a aspectos ambientais.

O canteiro deve ser dotado de um laboratório adequado à importância do empreendimento, destinado aos ensaios correntes de caracterização de materiais previstos nas especificações técnicas. Os ensaios restantes devem ser efetuados por um laboratório oficial ou certificado, ou outro laboratório idóneo, proposto pela empreiteira e aceito pelo empreendedor.

2.3 Locação da obra

A locação da obra deve partir do sistema de apoio cartográfico, definido no projeto, e estabelecer os apoios complementares necessários à boa execução da obra, devendo as respectivas coordenadas e cotas serem comunicadas à supervisão da obra.

A empreiteira deve informar à supervisão o início de cada trabalho, com suficiente antecedência, bem como de qualquer discrepância ou desvio, constatado em obra, relativo aos dados de base de implantação do projeto.

A empreiteira deve conservar os marcos e outros elementos de apoio à locação da obra e substituir os marcos que, por necessidade de trabalho, tiverem de ser suprimidos.

2.4 Quantitativos

Os critérios de medição e de pagamento dos serviços devem ser discriminados nas especificações técnicas e no contrato. A planilha de orçamento poderá, no entanto, mediante justificativa, ser ajustada, de acordo com as reais condições encontradas.

Para efeitos de medição, nenhum serviço pode ser iniciado sem que, previamente, tenham sido estabelecidas as seções definidoras do terreno ou a situação de partida.

A medição dos serviços efetivamente realizados e acabados será feita incluindo os materiais e/ou equipamentos utilizados, conforme projeto.

O pagamento será feito de acordo com as medições mensais e finais dos serviços efetivamente realizados e acabados, pelo preço unitário do contrato que é a compensação integral pelo fornecimento, carga, transporte, estocagem, perdas, lançamento, espalhamento e acerto, remoção de materiais inaceitáveis, equipamentos necessários aos serviços e tudo o mais que seja utilizado para a sua realização, conforme estabelecido nas especificações técnicas contratuais.

2.5 Canteiro

2.5.1 Acessos e comunicações

A instalação do canteiro e a execução da obra não devem prejudicar a circulação na rede viária existente.

As vias de circulação no canteiro e os acessos às frentes de trabalho, realizados pela empreiteira, deverão ser utilizáveis por todos os intervenientes na construção.

O empreendedor deve:

- a) Garantir que os acessos e vias de circulação sejam mantidos em bom estado de conservação e de limpeza;
- b) Construir vias de circulação próprias para acesso aos locais dos trabalhos;
- c) Assegurar o cumprimento da legislação relativa às obras e obstáculos ocasionais na via pública;
- d) Assegurar iluminação adequada nos acessos e vias de circulação;
- e) Dotar o canteiro de adequadas comunicações com o exterior.

2.5.2 Organização do canteiro

A localização do canteiro e a definição das áreas a serem ocupadas pelo empreendedor, empreiteiras e fornecedores devem atender à dimensão e complexidade da obra, assim como aos aspectos seguintes:

- a) Acessibilidade ao exterior;
- b) Acessibilidade às frentes de trabalho;

- c) Minimização do impacto provocado pela construção;
- d) Possibilidade de abastecimento de água potável e não potável e de energia elétrica.

Em particular, a localização dos paióis deve ser estudada, de forma a mitigar as consequências resultantes de eventuais acidentes, devendo o transporte e a estocagem dos explosivos serem efetuados de acordo com as normas de segurança oficiais.

As instalações destinadas à montagem e reparação de equipamentos, ao laboratório de obra, a escritórios e a postos de primeiros socorros e, ainda, a unidades de caráter social, especialmente dormitórios e habitações, devem ser adequadas às suas finalidades e obedecer às normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

O empreendedor deve assegurar que:

- a) Se estabeleça e se cumpra a regulamentação para funcionamento do canteiro;
- b) As instalações provisórias e as estruturas auxiliares sejam removidas ao final dos trabalhos;
- c) Antes da conclusão da obra seja feita a regularização dos taludes e plataformas, de modo a repor, tanto quanto possível, o aspecto natural dos locais afetados pela construção.

2.5.3 Instalações elétricas do canteiro

As instalações elétricas do canteiro, quer sejam de força motriz, iluminação, usos gerais ou telecomunicações, devem ser realizadas, em concordância com os respectivos projetos, normas e regulamentos específicos em vigor.

A realização e operação das instalações elétricas do canteiro devem ser asseguradas pela empreiteira, providenciando a permanência, no local, de técnico devidamente habilitado, de modo a garantir que as instalações se mantenham em adequadas condições de funcionamento. Essas instalações devem assegurar uma iluminação geral, com os níveis de iluminação recomendados por regulamentos específicos, bem como o adequado funcionamento dos equipamentos para que foram projetadas, garantindo a segurança e as boas condições de trabalho aos usuários.

O empreendedor deve promover a instalação de um sistema de telecomunicações eficaz, permitindo que os trabalhos decorram com eficiência e segurança e garantindo a possibilidade de difusão de alarme, em caso de emergência.

2.6 Jazidas e pedreiras

As jazidas para obtenção dos materiais a serem utilizados na construção da barragem devem, sempre que possível, estar localizadas no interior do reservatório, de modo a diminuir a sua distância às obras e a reduzir os impactos ambientais.

No início da construção, devem ser efetuados trabalhos de investigação geotécnica complementar, relativamente ao estudo realizado no projeto sobre as jazidas de solos, filtros, drenos ou transições, bem como de potenciais pedreiras, destinadas ao fornecimento e utilização de agregados para a fabricação de concretos, argamassas e enrocamentos.

Os trabalhos de investigação geotécnica são necessários para avaliar o potencial qualitativo e quantitativo de cada jazida ou pedreira, seja das indicadas no projeto, seja de outras identificadas a posteriori.

2.6.1 Jazidas de solos ou de aluviões

As jazidas de solos para aterros ou de aluviões para transições ou filtros devem ser previamente submetidas a uma limpeza superficial, sendo retirada a camada de cobertura vegetal, bem como as raízes de plantas que possam existir. Os materiais provenientes dessa limpeza, impróprios para a execução de aterros, serão levados a bota-fora ou bota-espera ou também utilizados para recompor a camada de solo removida, não podendo misturar-se com os materiais a serem utilizados na construção da barragem.

Deve ser estudado o melhor plano de utilização dos materiais, que indique claramente a progressão das escavações, de modo a permitir a fácil e segura movimentação dos equipamentos e a drenagem superficial permanente de toda a área da jazida.

Deverá ser considerada a distância entre as jazidas e o pé do aterro da barragem, de acordo com a dimensão da barragem, suficiente para não tornar muito permeável o terreno imediatamente a montante da estrutura.

A metodologia e o equipamento a ser utilizado na extração dos materiais da jazida, assim como, o programa de investigações geotécnicas, devem ser programados pela empreiteira.

O rendimento dos processos utilizados deve ser aferido, de forma a satisfazer os ritmos de lançamento, decorrentes do cumprimento do cronograma da obra. Os materiais devem ser mantidos ao abrigo de eventuais inundações, atentando-se para a localização das jazidas, relativamente às obras de desvio e os níveis do rio, assim como, ao abrigo de outras eventuais dificuldades, provocadas por condições meteorológicas adversas.

Cada material, definido no projeto para ser aplicado nos aterros, deve ter uma área específica para seu processamento (homogeneização e umidificação) e armazenamento temporário, antes do transporte para o aterro.

Os materiais só devem ser transportados para os aterros, depois de verificados os resultados dos ensaios de controle tecnológico. Esses resultados devem ser confrontados com parâmetros de referência, tanto constantes das especificações técnicas (limites granulométricos), como resultados de ensaios laboratoriais, a serem realizados camada por camada (para determinação do afastamento do teor de umidade entre o ótimo e o verificado na área de preparação do material).

Devem ser providenciadas as medidas e mobilizados os equipamentos, necessários e convenientes, para correção dos teores de umidade e processamento de materiais de granulometrias compatíveis com os limites granulométricos prescritos para cada tipo de material de aterro. Os aspectos, relativos ao controle de teores de umidade, deverão ser devidamente ponderados e avaliados pela empreiteira, de modo a cumprir o cronograma de trabalhos previsto, não devendo ser autorizadas correções globais de teor de umidade sobre os aterros.

No final da exploração, as jazidas, localizadas fora da área do reservatório, devem ser deixadas com rampas permanentemente estáveis e com drenagem e tratamento superficial adequado para proteção contra a erosão.

2.6.2 Pedreiras

As pedreiras devem ser exploradas, de acordo com um plano definido pela empreiteira, atendendo às necessidades da obra e respeitando as prescrições dos estudos de impacto ambiental.

Num maciço rochoso a ser explorado como pedreira, todas as zonas superficiais constituídas por terra ou rocha decompostas devem ser rejeitadas. Os trabalhos de extração e remoção daqueles materiais e a abertura de frentes deverão preceder à exploração normal, com suficiente avanço e far-se-ão de modo a evitar misturas do material aplicável com os materiais a rejeitar.

Os blocos de pedra alterada deverão, logo na pedreira, ser separados dos restantes e conduzidos a depósitos convenientemente localizados.

No caso de extração de enrocamentos para aterro, devem ser previstos desmontes experimentais sobre uma primeira zona, representativa das condições médias do afloramento rochoso a ser explorado, os quais deverão ser conjugados com a construção de aterros experimentais.

Como a granulometria do material é fator preponderante nas características dos enrocamentos, é importante definir o plano de desmonte utilizado na pedreira. Durante a fase de arranque, deve ser previsto um período experimental, visando definir o plano de fogo mais adequado. É igualmente importante definir as condições de processamento do material desmontado, objetivando a separação dos diferentes tipos de enrocamentos.

Após exploração das pedreiras, localizadas fora da área do reservatório, independentemente de outras medidas que sejam previstas no estudo de impacto ambiental, devem ser adotadas as seguintes medidas:

- Armazenar o solo de cobertura vegetal removido no início para posterior utilização na reconstrução da área;
- Adotar medidas de exploração que previnam eventuais deslizamentos de taludes;
- Recuperar os terrenos, de acordo com um plano de recuperação.

2.7 Desvio do rio

O desvio do rio do seu curso natural tem por objetivo possibilitar a realização da obra em condições de segurança, devendo a solução, a ser adotada, levar em consideração os aspectos seguintes:

- a) A área e o regime hidrológico da bacia hidrográfica;
- b) As condições morfológicas e geológicas do local;
- c) O tipo de barragem a construir;
- d) As consequências de eventual ruptura de qualquer parte da obra.

Nos casos em que o desvio do rio implique na necessidade de túneis ou canais, deve ser respeitada a seguinte sequência de operações:

- a) Construção das ensecadeiras de proteção das bocas de entrada e de saída dos órgãos de desvio e abertura destes;
- b) Construção da estrutura da boca de entrada e demolição das ensecadeiras referidas na alínea anterior;
- c) Construção de uma pré-ensecadeira a montante do local da barragem e, em seguida, da ensecadeira de jusante;
- d) Esgotamento da água contida no local dos trabalhos;
- e) Construção da ensecadeira de montante;
- f) Construção da barragem e dos órgãos extravasores e de operação.

Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de desvio do rio por intermédio da escavação de túneis.

Nos casos em que a solução adotada para o desvio do rio for constituída por recintos ensecados construídos sucessivamente, deve ser respeitada a seguinte sequência de operações:

- a) Criação de uma zona ensecada, junto a uma das margens, durante a primeira estiagem, eventualmente complementada com a abertura de um canal lateral;
- b) Esgotamento da água contida na área ensecada, seguido da construção dos elementos de obra situados no seu interior, providos de órgãos de descarga, tais como orifícios, descargas de fundo, blocos rebaixados ou descarregadores definitivos;
- c) Demolição da ensecadeira e criação de uma zona ensecada contígua à primeira;
- d) Repetição sucessiva das operações referidas nas duas últimas alíneas até o fechamento completo do rio;
- e) Obturação dos orifícios deixados no corpo da barragem.

Na Figura 3 apresenta-se um exemplo de desvio do rio por recintos ensecados (1ª fase do ensecamento, durante a qual foi construída parte da barragem, o vertedouro e respectivo canal de fuga, com o rio no seu leito original).

Nos casos em que o desvio do rio não assegura a passagem da totalidade das vazões de cheia, devem ser consideradas as seguintes medidas:

- a) Adotar ensecadeiras galgáveis de fácil construção e demolição;
- b) Definir as elevações de crista das ensecadeiras, tendo em atenção à elevação da boca de entrada dos órgãos de desvio, as vazões máximas a desviar e os níveis naturais do rio;
- c) Prever, em barragens de concreto, orifícios (adufas), eventualmente em concordância com as futuras descargas de fundo, e deixar blocos rebaixados para descarregar as vazões mais elevadas;
- d) Adotar, em barragens de enrocamento, disposições que defendam o paramento de jusante de erosão ou de qualquer instabilidade resultante de galgamento, devido a cheias excepcionais durante a construção;
- e) Dotar o canteiro com equipamento de bombeamento, com capacidade para proceder rapidamente ao esgotamento da água resultante de uma inundação da zona ensecada.

As obras de desvio do rio são de importância vital para a segurança e qualidade técnica final das estruturas a construir. Elas envolvem, em geral, a construção de estruturas que podem ser

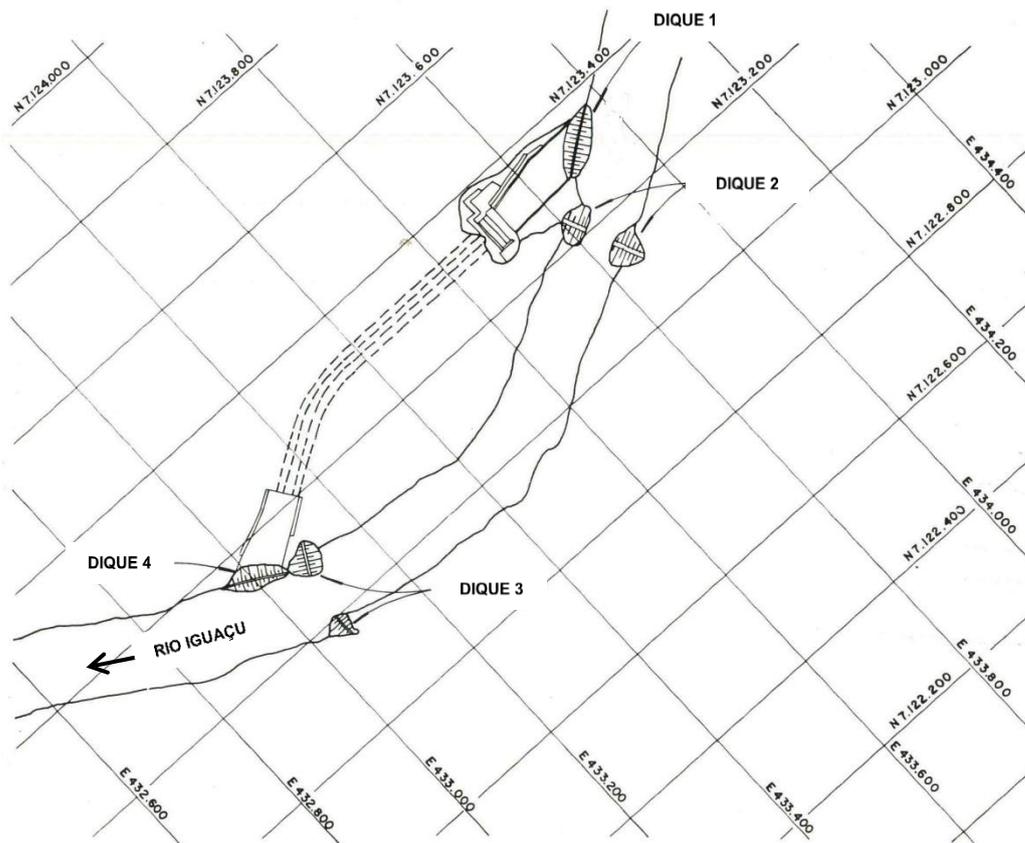
complexas e que em muitos casos exigem intervenções rápidas de campo. A ruptura de uma ensecadeira pode implicar, além de perdas materiais e atrasos na construção, danos elevados a jusante, ambientais e humanos.

Como se trata de obras provisórias são projetadas para vazões no rio com tempos de recorrência limitados (20, 50 anos no máximo), devendo, em cada caso concreto, ser cuidadosamente ponderado o risco da ocorrência de uma cheia superior à considerada para essa fase.

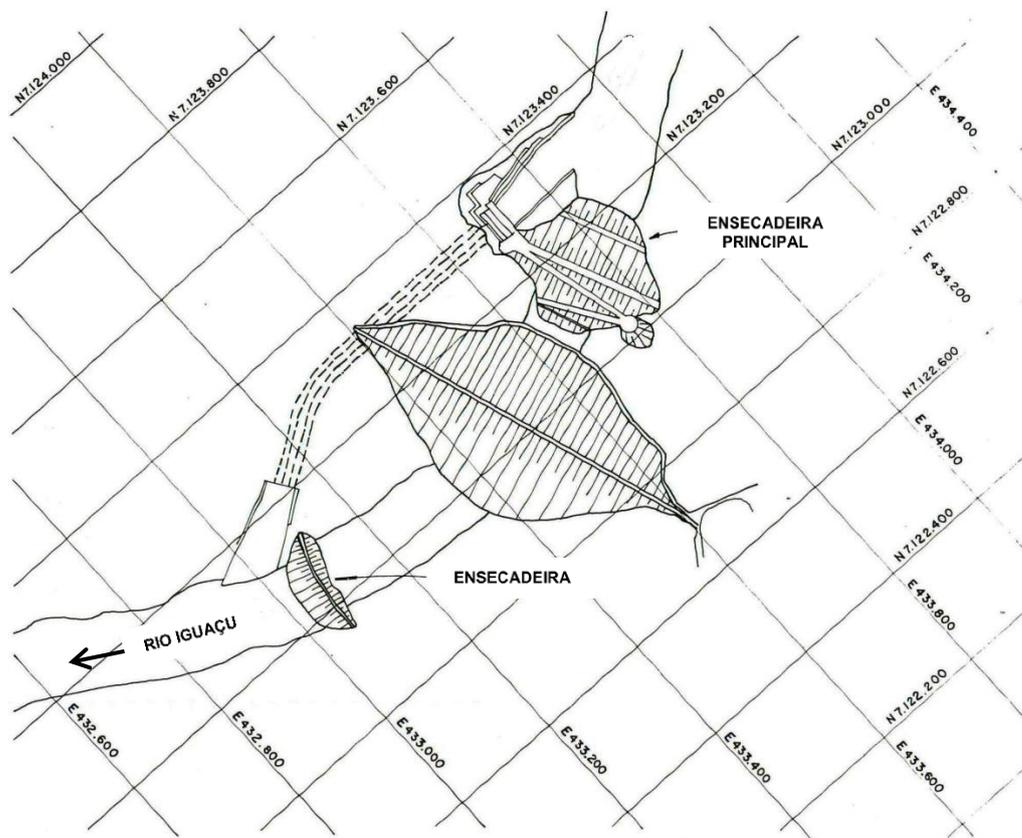
Muitos dos acidentes que ocorrem, durante o desvio do rio, devem-se a rupturas das ensecadeiras construídas sobre fundações instáveis (por exemplo, bolsões ou camadas de areia ou argila compressíveis no leito do rio que não são removidos) ou com materiais ou técnicas de construção inadequados.

Muitas vezes isso acontece pelo fato de as ensecadeiras serem construídas no início das obras, quando as operações de construção dos aterros ou dos concretos ainda não estão em ritmo normal.

Se a construção das ensecadeiras não for bem planejada poderão consumir-se os melhores materiais na sua construção, e daí podendo resultar que esses materiais possam fazer falta para a construção da barragem.



1ª e 2ª fase – escavação de túneis e construção parcial dos Diques 2 e 3



3ª fase – ensecadeira e construção do primeiro estágio da barragem principal

Figura 2. Desvio do rio da Barragem de Foz do Areia, PR. (Fonte: CBDB, 1983)

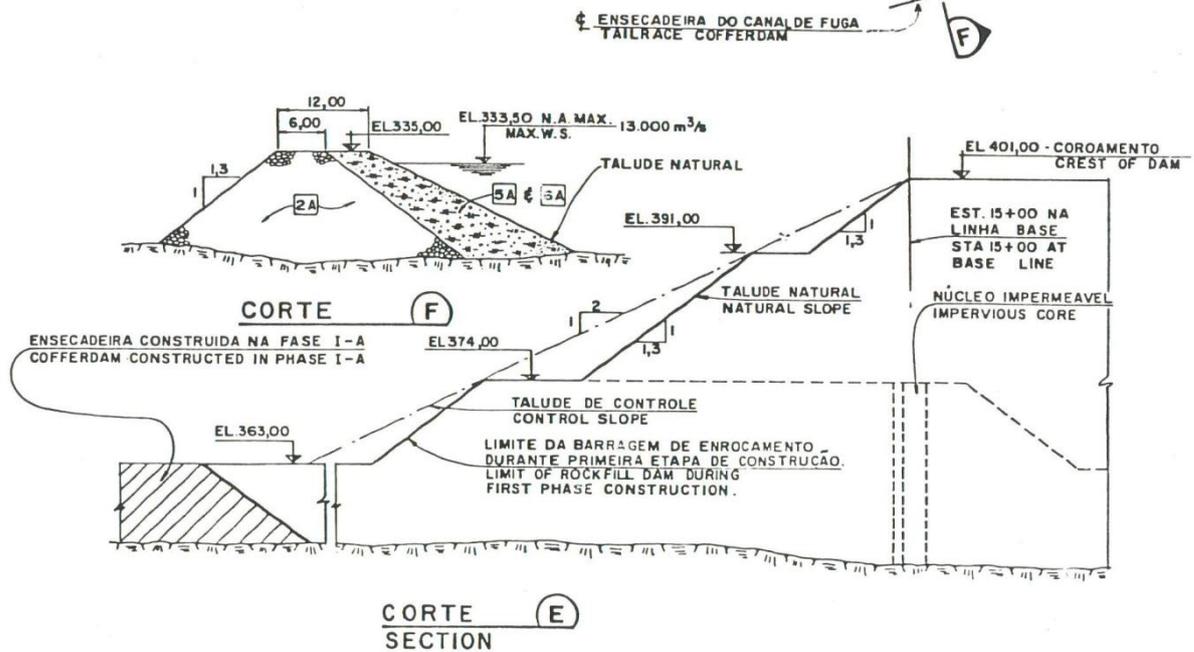
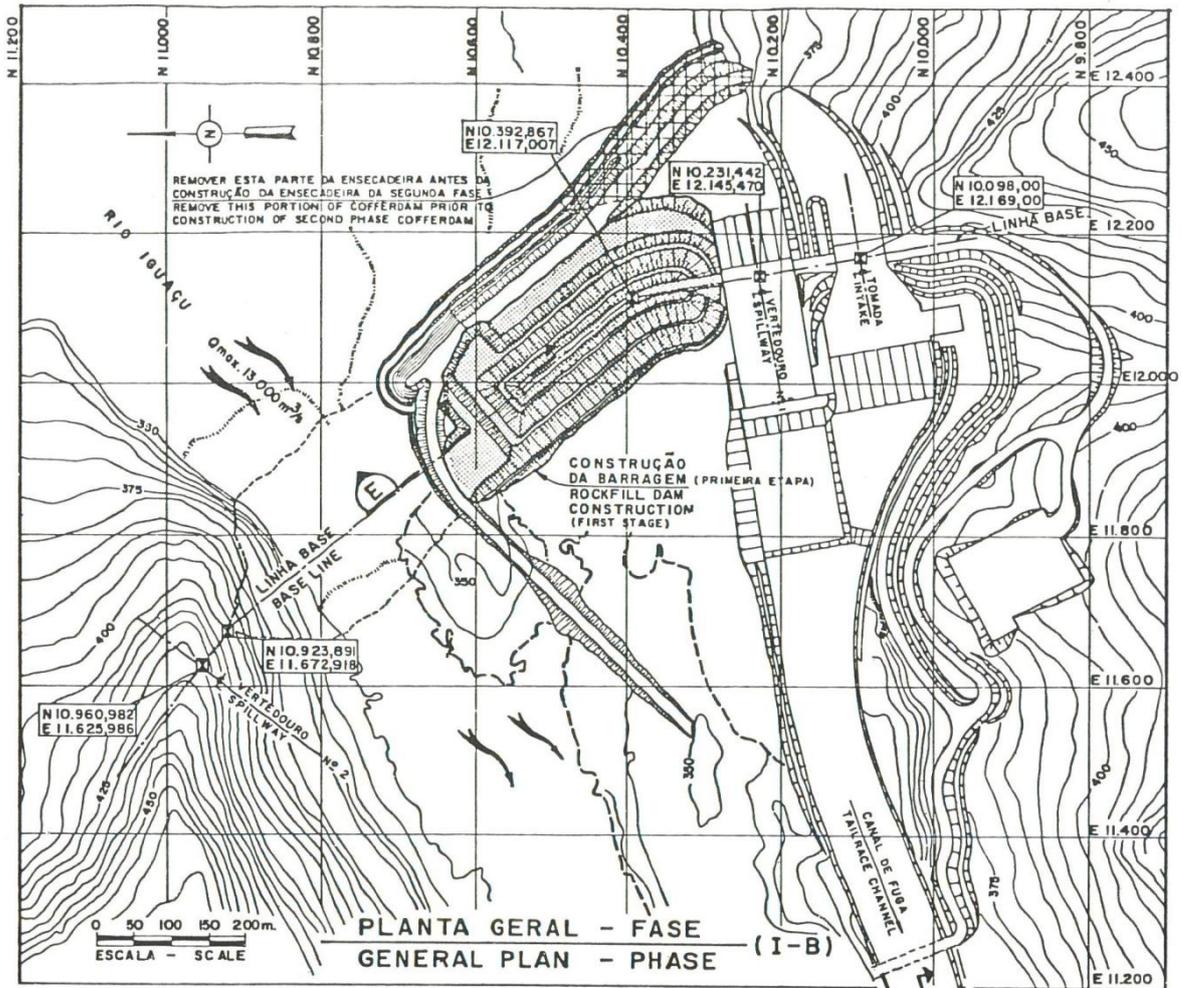


Figura 3. Desvio do rio da Barragem de Salto Osório, PR (1ª fase de ensecamento).
(Fonte: CBDB, 1983)

2.8 Depósitos provisórios (bota-espera) e definitivos (bota-fora)

Na construção da barragem, dos órgãos extravasores e de operação, devem ser aproveitados, tanto quanto possível, os materiais resultantes das escavações.

Os locais para depósitos provisórios (bota-espera) e definitivos (bota-fora) devem ser escolhidos, de modo a que:

- a) Não prejudiquem o curso natural do rio;
- b) Não prejudiquem o funcionamento das tomadas de água, assim como dos vertedouros e outros órgãos de operação;
- c) Não agravem o efeito das cheias;
- d) Não originem instabilidade de taludes;
- e) Não dificultem as atividades de controle de segurança da obra;
- f) Minimizem os aspectos negativos do impacto ambiental e paisagístico.

Os locais para depósitos devem ser localizados, preferencialmente, no interior do reservatório, com exceção dos casos em que os produtos de escavação contenham vegetação ou materiais sujeitos à putrefacção, sendo que neste caso deverão ser colocados fora do reservatório.

2.9 Escavações

2.9.1 Aspectos gerais

As escavações devem ser executadas, de acordo com o projeto geotécnico e com as técnicas mais aconselháveis, atendendo à natureza do terreno e aos condicionamentos específicos de cada caso, segundo planos previamente aprovados pela supervisão da obra.

As escavações devem ser acompanhadas por técnicos qualificados, com formação geológica e geotécnica.

Os trabalhos de escavação devem ter um programa de acompanhamento executivo, ajustado à dimensão das escavações e envolvendo as seguintes ações:

- a) Levantamento geológico e geotécnico dos maciços escavados, indicando as principais feições, tais como, falhas, mergulhos, planos de estratificação, preenchimento das descontinuidades, ocorrência de heterogeneidade e surgências, e sua comparação com as previsões do projeto;
- b) Detecção e controle de problemas de estabilidade, decorrentes das escavações ou que as dificultem e estudo das medidas a serem tomadas para resolução desses problemas;
- c) Definição de sondagens e ensaios complementares, que se afigurem necessários, e interpretação dos resultados obtidos;
- d) Controle da evolução de surgências durante a construção;
- e) Elaboração de relatório, descrevendo os trabalhos efetuados e os aspectos importantes para a segurança da obra.

A empreiteira deve adotar medidas eficazes de proteção, no sentido de evitar eventuais efeitos nocivos sobre instalações e elementos de obra já executados ou em execução.

2.9.2 Escavações a céu aberto

De um modo geral, as cotas e os perfis de escavação, indicados no projeto geotécnico das escavações, servem de orientação geral para a execução da escavação a céu aberto e estão sujeitos às correções, que a supervisão julgar convenientes, em face das condições locais que vierem a ocorrer.

Em solos, as superfícies dos terrenos a escavar devem ser previamente sujeitas a desmatamento, destocamento e raspagem, sendo limpas de matações, detritos e vegetação lenhosa (arbustos e árvores, incluindo troncos e raízes). Deverá ser também removido o solo com elevado teor de matéria orgânica.

A Figura 4 ilustra uma grande escavação a céu aberto, em maciço rochoso.

Os maciços rochosos devem ser classificados, segundo os procedimentos usuais. Deve ser feita a previsão dos tipos de material, a serem escavados, e sua classificação, de acordo com a categoria de escavação, em especial, a avaliação dos volumes envolvidos e sua distribuição ao longo da escavação, complementado preferencialmente por seções e mapas que permitam uma visualização adequada para o planejamento executivo. Os materiais podem ser classificados em:

- Categoria 1 - Material comum, incluindo todos os materiais, que possam ser escavados, sem a necessidade do uso de bico de lâmina ou escarificador de trator pesado (tipo D8), e que não estejam saturados;
- Categoria 2 - Material escarificável, incluindo todos os materiais que exijam o uso sistemático de bico de lâmina e escarificador de trator pesado (D8) e eventual uso de fogacho;
- Categoria 3 - Rocha, incluindo os materiais que só podem ser escavados com detonação de explosivos;

Em maciços rochosos, a escavação não deve, numa primeira fase, atingir a superfície final. Para prevenir a meteorização e para assegurar superfícies regulares do maciço, deve ser feita a remoção final da rocha excedente por meios adequados, por fogo controlado, em data próxima da colocação de concretos ou aterros.

A escavação deve ser desenvolvida, de forma que seja sempre assegurado um perfeito escoamento superficial das águas. Se no decorrer das escavações, for encontrada água nascente ou de infiltração, a escavação deve ser mantida livre de água, por intermédio de bombeamento ou drenagem.

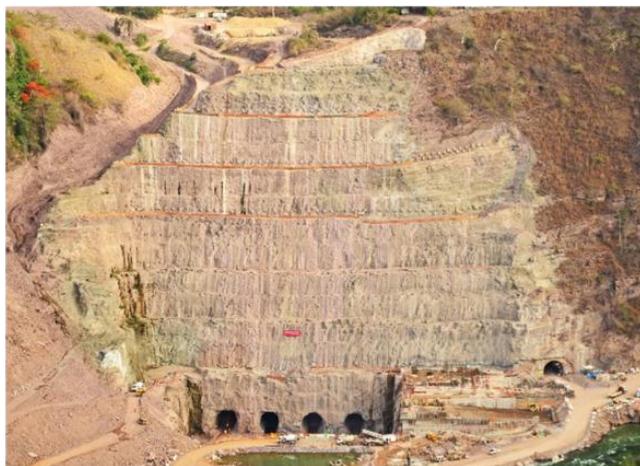


Figura 4. Escavação a céu aberto da saída do segundo circuito hidráulico de Cambambe, Angola. (Fonte: COBA, S.A.)

As escavações que precedem a execução de trabalhos de concretagem devem ser efetuadas em continuidade ou com uma defasagem mínima em relação à concretagem, a ser previamente aprovada pela supervisão.

O desmorte com recurso de explosivos, situação frequente em maciços rochosos, deve ser executado com base em procedimentos de segurança, sendo executadas todas as operações com explosivos, estritamente de acordo com a legislação vigente e com as recomendações dos fabricantes dos explosivos.

A execução de detonações próximas às estruturas existentes ou em construção pode exigir um projeto de escavação, que limite adequadamente as vibrações produzidas e/ou o lançamento de fragmentos, visando não provocar deteriorações nas estruturas existentes ou em construção (ESTEVES, 1993). As próprias superfícies escavadas e os tratamentos nelas executados precisam por vezes ser protegidos.

Medições das vibrações devem ser feitas, quando a fonte se encontra próximo da estrutura, numa distância inferior àquela de segurança, devendo a empreiteira fazer seu monitoramento e interpretação dos resultados, de modo a estabelecer a lei de propagação de vibrações para o maciço em questão.

A minimização de danos aos materiais remanescentes, quando necessária, exige um projeto de escavação específico, incluindo métodos de fogo controlado, entre outros, de contorno ou pré-fissuramento, e limitação das cargas adjacentes (*pre splitting; smooth blasting*).

O processo de dimensionamento e execução do plano de perfuração, plano de fogo, carregamento e ligação do desmorte devem garantir os limites de escavação definidos no projeto, a preservação do maciço rochoso remanescente e das estruturas de concreto e/ou terra e rocha, localizadas dentro dos limites de influência das detonações. Para isso, a empreiteira deve adequar as técnicas de desmorte em uso às condições do maciço rochoso, efetivamente encontradas durante as escavações, e atender à necessidade de controlar os níveis de vibração resultantes do desmorte rochoso.

A empreiteira deve, também, realizar ensaios de acabamento, com fogo controlado, através de desmortes experimentais, de modo a adequar o plano de perfuração e de desmorte. Os planos de perfuração e de desmorte devem ser ajustados, ainda, em função das variações geológicas existentes/observadas durante as escavações, sempre que necessário, através da realização de novos ensaios de acabamento, visando garantir os limites de rugosidade máxima aceitável definido para as paredes finais escavadas.

Imediatamente após a exposição das paredes finais escavadas em rocha, deve ser feita a remoção de todos os blocos soltos e a aplicação dos tratamentos necessários à estabilização das superfícies expostas, como é ilustrado nas figuras seguintes: na Figura 5 pode observar-se a aplicação de rede metálica na proteção contra queda de blocos; na Figura 6, o processo de remoção de blocos soltos; na Figura 7 a aplicação de concreto projetado, na Figura 8 a cravação de chumbadores; e na Figura 9 a construção de uma viga de ancoragem ativa, numa camada branda do maciço rochoso.

A aplicação desses tratamentos deve ser condição necessária para o prosseguimento das escavações para as bancadas inferiores.

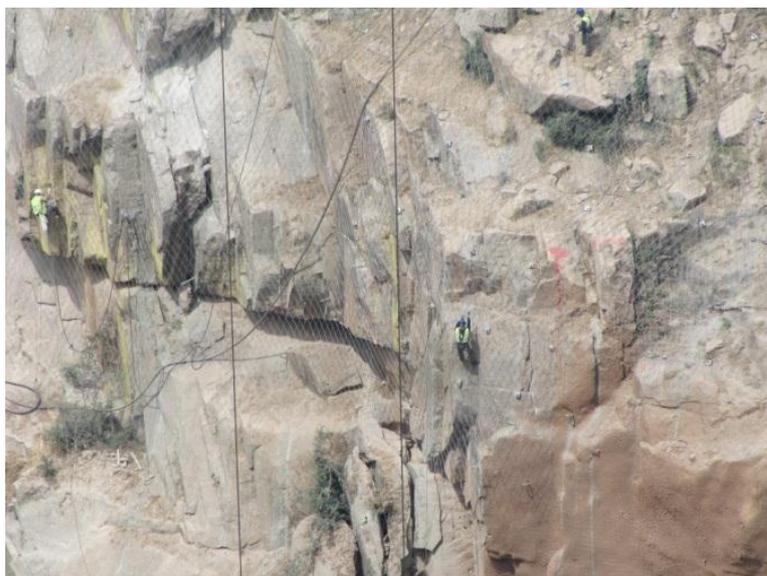


Figura 5. Escavação com proteção em rede metálica.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 6. Remoção de blocos soltos.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 7. Projeção de concreto.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 8. Aplicação de chumbadores após concretagem. (Fonte: COBA, S.A.)



Figura 9. Viga de ancoragem ativa.
(Fonte: COBA, S.A.)

2.9.3 Escavações subterrâneas

A seleção dos métodos de escavação, dos processos de execução e do grau de mecanização (incluindo o eventual recurso a TBM – Tunneling Boring Machine) deve ser feita, considerando as condições geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas dos maciços rochosos, a dimensão das seções, a extensão e outros condicionamentos da obra. Na Figura 10 apresenta-se um exemplo de escavação em túnel, no sentido horizontal, e na Figura 11 uma escavação de um poço, no sentido vertical.



Figura 10. Escavações subterrâneas. Túnel. Figura 11. Escavações subterrâneas. Poço.

(Fonte: COBA, S.A.)

(Fonte: COBA, S.A.)

Com base nos elementos de projeto, as superfícies escavadas devem apresentar-se estáveis e devem ser instalados os elementos de suporte quando necessário, de tal modo ou sequência que evitem a desintegração e a perda de estabilidade do maciço rochoso envolvente das seções escavadas. Na Figura 12 ilustra-se a remoção de blocos soltos numa escavação subterrânea, antes da aplicação de elementos de suporte.

Não deve ser permitida a interrupção temporária dos trabalhos em qualquer frente ou em toda a obra, sem que sejam instalados e assegurado o funcionamento de todos os dispositivos necessários à manutenção das condições de segurança de pessoas e bens, além de outros aspectos, tais como iluminação, bombeamento, etc.

Durante os trabalhos de escavação e, enquanto as soleiras dos túneis não forem concretadas, a empreiteira deve estabelecer caminhos e sinalização adequada em todas as frentes de trabalho para evacuação de feridos, em caso de acidentes, e de todo o pessoal da empreiteira, em caso de ocorrência de catástrofe.

Nos trabalhos subterrâneos, nas operações de extração de escombros, proveniente das frentes de obra, devem ser tomadas medidas específicas para eliminação da propagação/produção de poeiras. Nesse sentido é recomendável manter o material de bota-fora sempre umedecido, durante a sua extração.

Volumes de sobre-escavação podem ser originados: por trabalho de desmonte defeituoso ou por técnica inadequada (“sobre-escavação evitável”); e/ou por razões que não dependem do método de trabalho adotado (“sobre-escavação inevitável”), por exemplo, causada por condições geológicas particularmente desfavoráveis e imprevisíveis. Essa sobre-escavação só pode ser considerada “inevitável” com o acordo da supervisão da obra.



Figura 12. Escavações subterrâneas. Remoção de blocos soltos.
(Fonte: COBA, S.A.)

No caso de haver sobre-escavação que ponha em risco a estabilidade, devem ser tomadas medidas, em particular, instalando-se suportes, de forma a garantir a estabilidade do terreno.

2.9.4 Mapeamento geológico e classificação geotécnica do maciço rochoso

Simultaneamente com o avanço das escavações subterrâneas ou a céu aberto, deve ser feito o mapeamento geológico e a caracterização geotécnica de todas as superfícies escavadas, pelo que, e em função da dimensão da obra, técnicos qualificados e com experiência para o desenvolvimento desse trabalho devem estar presentes, permanentemente, durante as escavações.

As fichas de mapeamento geológico devem incluir as características litológicas do maciço escavado, a indicação do estado de alteração da rocha e do grau de fraturamento, a presença das falhas geológicas com indicação da sua atitude (direção, inclinação), da possança e natureza do seu preenchimento e, ainda, o traçado de diaclases extensas ou com importância para a estabilidade da escavação, devendo-se indicar a sua atitude e as características do seu eventual preenchimento, bem como a presença de água. Se aplicável, deverão ainda ser representados os contatos geológicos, as atitudes da estratificação e da xistosidade principal e outros elementos, considerados relevantes para a obra em questão.

As feições geológicas (falhas, mergulhos, diaclases relevantes, contatos geológicos), assim como as surgências e fluxos de água, que forem assinalados nas fichas de mapeamento geológico e nas cartas, devem ser objeto de levantamento topográfico pormenorizado.

Em especial, no caso das escavações subterrâneas, é de toda a conveniência que sejam feitas fichas de caracterização geotécnica das superfícies escavadas que devem ser apresentadas para cada avanço da escavação, sendo que nelas deve constar o índice e a classificação atribuída.

O levantamento sistemático e o registro das discontinuidades visíveis nas superfícies de escavação devem ser feitos, de acordo com os critérios propostos pela ISRM, assim como o tratamento estatístico da informação obtida (direção, inclinação, continuidade, espaçamento, rugosidade, abertura, preenchimento, terminação e circulação de água), apresentado por família de discontinuidades e por unidade litológica.

Em especial, no caso de escavações subterrâneas, deve ser elaborado um relatório referente aos resultados dos trabalhos da especialidade de geologia de engenharia, desenvolvidos para cada uma das frentes de obra, no qual serão incluídas as respectivas fichas de mapeamento geológico e de caracterização geotécnica, o registro fotográfico, os resultados dos ensaios realizados, os resultados do monitoramento das escavações (incluindo os resultados de todos os sistemas de monitoramento implementados), o levantamento e análise estatística das descontinuidades e as sustentações aplicadas, assim como outras informações caracterizadoras do histórico das escavações.

2.10 Desmatamento do reservatório

O desmatamento do reservatório consiste na retirada das árvores, arbustos, mato e folhagens dos terrenos do reservatório, que podem afetar a qualidade da água armazenada e a operação dos órgãos extravasores e de operação.

A desarborização e o desmatamento devem ser precedidos de um levantamento que identifique o tipo, densidade e distribuição da vegetação, a morfologia e cobertura dos solos e as condições de acesso aos vários locais.

A remoção dos produtos resultantes da desarborização e do desmatamento deve ser efetuada para locais protegidos das cheias e situados fora dos limites do reservatório, seguindo a legislação ambiental e não criando, contudo, problemas ambientais.

2.11 Equipamentos

No projeto executivo dos equipamentos hidromecânicos e respectivas instalações de comando e controle, elaborado de acordo com a legislação em vigor, devem estar devidamente justificadas as soluções adotadas e indicadas as características dos materiais a utilizar e os tratamentos previstos, bem como um plano de operação e manutenção dos equipamentos hidromecânicos e respectivas instalações de comando e controle, com indicação das ações a serem realizadas e a respectiva periodicidade.

Em geral, pode haver necessidade de proceder à adaptação das estruturas de concreto armado aos equipamentos projetados, de modo a promover a instalação dos equipamentos, de acordo com o estado da arte, a segurança da obra e o seu adequado funcionamento.

Os materiais, equipamentos e instalações devem ser sujeitos a ensaios de validação e recepção nas fases de fabricação, fornecimento, entrega na obra, montagem e entrada em serviço.

O programa de trabalho e o plano de concretagem devem considerar os condicionamentos, relativos aos equipamentos estabelecidos nos respectivos desenhos de projeto e planos de montagem, devendo ser definido o tipo de concreto, as fases de concretagem, as alturas das camadas de concretagem e os respectivos tempos limite de espera, os processos de compactação do concreto e a pressão a utilizar nas injeções de ligação.

Caso existam equipamentos susceptíveis de funcionar durante o período de construção, deve ser estabelecido um plano com instruções de manutenção e conservação, de ensaio e de manobra de emergência.

2.12 Instalações elétricas definitivas

As instalações elétricas definitivas da obra devem ser executadas pela empreiteira, de acordo com o projeto, respeitando as normas, regulamentos e demais legislações em vigor. Essas instalações devem garantir os adequados níveis de operacionalidade e segurança dos equipamentos e infraestruturas a que se destinam, respeitando as disposições dos respectivos regulamentos específicos.

3 BARRAGENS DE ATERRO (TERRA E ENROCAMENTO)

3.1 Materiais para aterro

O projeto inclui estudos relativos aos materiais e suas condições de colocação na obra, baseados em investigações geológicas e geotécnicas, tal como indicado no *Guia para a Elaboração do Projeto de Barragens*.

Na fase inicial da obra devem ser realizados trabalhos nas jazidas dos materiais, definidas em projeto, visando verificar a adequação dos equipamentos de escavação e transporte às reais situações encontradas em obra. Na realização desses trabalhos devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) Em solos residuais, é frequente que a ação mecânica dos equipamentos de escavação, transporte, espalhamento e compactação altere a granulometria dos materiais;
- b) Para cada tipo de material é conveniente prever uma área específica para o processamento (homogeneização e umidificação) e armazenamento temporário dos materiais, antes do transporte para aterro; os materiais só devem ser transportados para os aterros, após a análise dos registros dos ensaios de controle tecnológico dos materiais processados na jazida, devendo os resultados desses ensaios ser confrontados com parâmetros de referência, tanto constantes das especificações técnicas (faixas granulométricas), como com base em ensaios laboratoriais a realizar no maciço;
- c) Os aspectos relativos ao controle de teores de umidade deverão ser devidamente ponderados e acautelados, de modo que o cronograma de trabalhos previsto possa ser cumprido, não se devendo fazer correções de teor de umidade por defeito sobre os aterros, para além de simples umidificações controladas;
- d) Em particular, no caso de solos finos em áreas saturadas ou em que o nível freático esteja próximo da superfície, deve garantir-se a disponibilidade de equipamentos e de procedimentos que assegurem a colocação do material nos teores de umidade especificados, em especial, a utilização de equipamentos de espalhamento e arejamento e a execução de ações de drenagem, previamente à exploração da jazida;
- e) Na definição da programação de exploração das jazidas, deve-se considerar, a saber, as cotas de localização dos materiais a explorar e a sua eventual inundação nas diferentes fases de desvio do rio, o que poderá implicar na necessidade de efetuar explorações antecipadas e depósitos temporários ou bota-esperas (depósitos provisórios);
- f) Para assegurar uma adequada seleção e utilização dos materiais, poderá ser necessário o recurso a depósitos provisórios (ou bota-esperas);
- g) Nas jazidas de materiais e nas pedreiras para a construção de barragens de enrocamento, deve proceder-se a um desmonte experimental, à separação dos materiais e à sua colocação em depósito, antes da construção dos aterros.

3.2 Filtros, drenos e transições

Os materiais para filtros devem respeitar as disposições do projeto e as especificações técnicas, a saber:

- a) Possuir composição mineralógica que confira conveniente resistência à alteração e ao esmagamento;
- b) As composições granulométricas especificadas (após colocação e compactação acompanhada de umedecimento abundante).

Durante a execução dos filtros, devem adotar-se técnicas construtivas, que assegurem o seu adequado funcionamento, evitando contaminação do material do filtro com solos finos ou caldas de injeção, usadas na consolidação ou impermeabilização da fundação, bem como a segregação granulométrica dos materiais.

Nesse sentido os materiais dos filtros e dos drenos ou transições, funcionando como drenos, devem ser colocados úmidos e devem ser apenas ligeiramente compactados com a passagem de um trator ou rolo vibrador de modo que a sua compacidade relativa não seja elevada (normalmente a compacidade relativa não deve ultrapassar 75 a 80%), evitando assim ficarem muito rígidos de maneira a evitar recalques diferenciais relativamente aos materiais adjacentes.

As camadas de filtro e drenos só devem ser colocadas após a conclusão de qualquer tratamento do maciço de fundação, e preferencialmente em avanço relativamente às camadas de solos finos adjacentes, ou seja, as camadas de filtro e dreno sobem primeiro que as camadas de solos finos adjacentes, devendo essa defasagem ser de apenas duas camadas de filtro ou dreno.

No caso de barragens de terra zonada com vedação (núcleo), após a colocação do material do filtro a jusante do núcleo, não deve ser permitida a circulação de veículos sobre essa área, de modo a evitar sua contaminação, atendendo ao papel crítico que este desempenha para a segurança da barragem.

As camadas de filtros e drenos horizontais deverão também ser construídos em avanço relativamente aos aterros adjacentes devendo ser garantida a inclinação das camadas para jusante.

Quanto à segregação granulométrica, a medida mais eficaz para evitá-la obtém-se com a adequada seleção da granulometria dos materiais, que devem ter um coeficiente de não uniformidade adequadamente definido no projeto.

A retomada dos aterros, originada por descontinuidade no ritmo de trabalho e provocando a exposição excessiva da camada, deve ser sempre precedida de uma operação de remoção da camada de material alterado.

No caso de projetos com utilização de geotêxteis, esses devem ter adequadas resistência mecânica, abertura de filtração, admissividade (permeabilidade perpendicular à superfície do geotêxtil) e transmissividade (permeabilidade ao longo do plano do geotêxtil), bem como, durabilidade.

3.3 Aterros experimentais

No caso de barragens de médio e grande porte, devem ser executados aterros experimentais, antes da colocação dos materiais na obra, em locais a serem aprovados

pela supervisão da obra, de acordo com as disposições incluídas no projeto e nas especificações técnicas.

Os aterros experimentais são, normalmente, realizados fora dos aterros da barragem, devendo, sempre que possível, localizar-se nas ensecadeiras e devem ser realizados, dentro dos prazos previstos no cronograma de trabalhos da obra, de modo a estarem concluídos e os resultados devidamente interpretados, antes do início da colocação dos aterros da barragem.

A preparação dos aterros experimentais deve seguir todas as regras de construção previstas para a obra, bem como utilizados os mesmos equipamentos, para que os resultados obtidos possam ser considerados representativos da forma de execução da obra. Alterações posteriores à realização dos aterros experimentais com impacto no processo construtivo, tal como, a alteração dos equipamentos de compactação, obriga a realização de novos aterros experimentais.

Deve ser elaborado um relatório com resultados dos ensaios e sua interpretação, bem como a descrição e relatório fotográfico da execução dos aterros experimentais. Esses resultados permitirão definir as metodologias de realização dos aterros de cada um dos materiais, em especial, quanto à espessura das camadas, ao teor de umidade e ao número de passagens do rolo.

3.4 Proteção dos taludes

Os taludes das barragens de aterro, em especial, o talude de montante, são frequentemente protegidos por enrocamentos (Figura 13), dotados das necessárias camadas de transição, devendo os materiais ser submetidos aos ensaios previstos nas especificações técnicas, em particular, aos ensaios de granulometria e durabilidade.

Todos os materiais devem ser selecionados, quando se proceder ao carregamento na pedreira ou na jazida de materiais.

A colocação dos revestimentos deve acompanhar a construção dos aterros, com o principal objetivo de assegurar proteção contra ravinamentos. Como procedimento mais comum, os materiais serão lançados e espalhados em camadas de espessura máxima equivalente ao diâmetro máximo do enrocamento, empurrando as pedras de maior dimensão para a face externa do talude e fazendo-se uma arrumação final.



Figura 13. Proteção do talude de montante em enrocamento.
(Fonte: COBA, S.A.)

Os paramentos podem também ser protegidos por intermédio de cascalho, solo-cimento, gabiões e colchões Reno.

No paramento de jusante é frequente a utilização de cobertura vegetal (Figura 14), o que contribui, também, para a integração paisagística da obra. Nesse caso, deve-se justificar, definir e detalhar devidamente a solução adotada, dado que a cobertura vegetal requer cuidados específicos relativamente às espécies vegetais a adotar, ao modo e época do ano de aplicação e às condições de irrigação e drenagem e exigem manutenção permanente. Existem também para o talude de jusante outras soluções como a ilustrada na Figura 15, onde foi aplicado um revestimento em cascalho.



Figura 14. Proteção do talude de jusante em cobertura vegetal.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 15. Proteção do talude de jusante em cascalho.
(Fonte: COBA, S.A.)

3.5 Elemento de vedação do aterro nas barragens de enrocamento com face de concreto

A estanqueidade das barragens de enrocamento com face de concreto é garantida por um sistema, constituído por uma laje de concreto, apoiada sobre a face do enrocamento de montante, engastada na fundação por uma laje espessa (o plinto) e em regra uma cortina de injeções no maciço de fundação.

Os aspectos construtivos para a execução da laje de concreto e do plinto, bem como os equipamentos a utilizar na construção, devem ser adequados à natureza dos trabalhos, de modo a ser respeitado o que definido no projeto e nas especificações técnicas.

Os materiais de transição de fundação das lajes ou adjacentes ao plinto, as próprias lajes e o plinto, assim como os materiais que os cobrem, devem ser definidos no projeto e nas especificações técnicas de construção.

Na compactação dos enrocamentos do corpo da barragem, devem ser utilizados rolos lisos vibratórios pesados e irrigação com água, de modo a obter uma adequada compatibilidade entre o módulo de compressibilidade dos enrocamentos compactados e as deformações da face de concreto.

O plinto de ligação à fundação depende da topografia, assim como do tipo e qualidade do maciço de fundação. A sua execução varia com a solução geométrica e a possibilidade de se construir um acesso adequado.

O plinto convencional (normalmente em maciços rochosos de boa qualidade) é constituído por uma laje apoiada sobre a fundação, com uma zona espessa (cabeça)

criando o apoio, aproximadamente perpendicular, da laje da face de concreto (Figura 16). Em algumas ombreiras é recomendável projetar o plinto com uma laje externa (de 3 a 4m) e uma laje interna para completar o comprimento, que atenda ao requisito de gradiente. Em ombreiras muito íngremes, em vales estreitos, é comum o plinto ser projetado como se fosse uma parede ancorada no maciço rochoso. Em depósitos aluvionares pode recorrer-se a um plinto articulado (CRUZ; MATERÓN; FREITAS, 2009).

A fim de reduzir a fendilhação, devida a variações de temperatura e retração, podem ser construídas juntas de construção, convenientemente tratadas, e as superfícies expostas devem manter-se (durante pelo menos 14 dias) devidamente molhadas.

As juntas de construção do plinto têm apenas como condicionante a melhor adaptação do plinto à topografia do terreno. Devem ser juntas sem vedantes e com continuidade na armadura.

Na construção das lajes da face de concreto é importante a preparação da superfície do talude de montante, dependente do material utilizado na camada de assentamento da laje. Em barragens, sem a utilização de mureta de concreto, a proteção durante a construção pode ser feita mediante revestimento asfáltico ou concreto projetado ou ainda argamassa. A proteção da superfície é importante para impedir a erosão, provocada pela precipitação, e prover uma base firme para colocação do equipamento para disposição da ferragem e das fôrmas da laje.

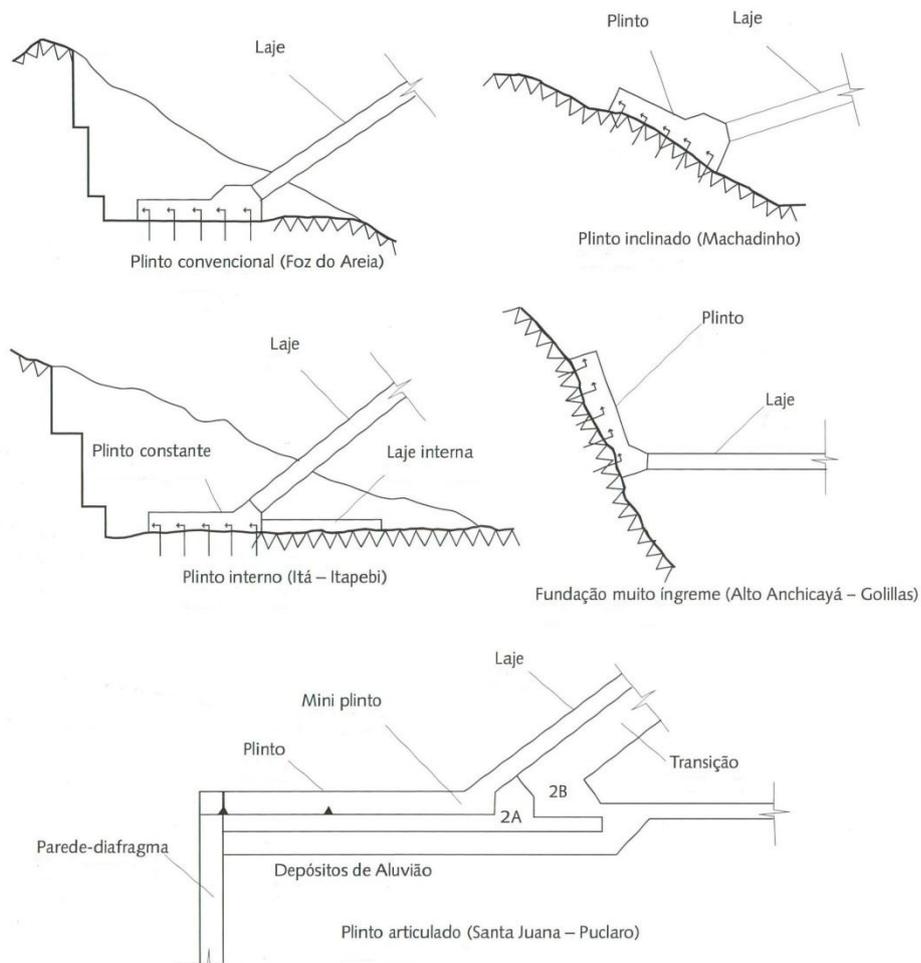


Figura 16. Tipos de plintos. (Fonte: CRUZ; MATERÓN; FREITAS, 2009)

A colocação do concreto na obra só deve acontecer, após a realização de ensaios de composição do concreto e de resistência mecânica.

A construção das lajes requer, em regra geral, dois tipos de fôrmas: de madeira, para a execução das lajes de partida ou de arranque, e deslizantes, para a construção da laje principal.

As lajes principais devem ser construídas em bandas alternadas, que devem ser concretadas sem interrupção de junta a junta. As lajes de arranque, de forma trapezoidal, que fazem a ligação ao plinto, devem ser concretadas manualmente, simultaneamente à construção do enrocamento, bem antes da construção da laje principal. A execução das lajes de arranque antecipadamente à execução da laje principal, permite concretar com muito cuidado a junta de ligação ao plinto.

A construção da laje principal é normalmente realizada pelo deslizamento da fôrma após a instalação da armadura de aço.

As lajes principais devem ter apenas juntas de construção horizontais: nas lajes das ombreiras e entre as lajes de arranque e as lajes principais, onde deve ser utilizada fôrma deslizante.

A Figura 17 ilustra a construção da face em concreto e plinto de fundação de uma grande barragem de enrocamento.



Figura 17. Construção de uma barragem de enrocamento com face em concreto e plinto de fundação. (Fonte: COBA, S.A.)

O projeto e as especificações técnicas devem apresentar, devidamente detalhadas, as soluções para a ligação do sistema, constituído pelo plinto e lajes da face de concreto, bem como o tipo e a aplicação dos veda-juntas, da junta perimetral e das juntas verticais entre as lajes.

As ligações aos órgãos anexos, nomeadamente às estruturas de descarga de fundo, ao vertedouro ou aos muros das tomadas de água, são particularmente importantes (ICOLD, 2010).

O Plano de Monitoramento e Instrumentação da barragem deve prestar especial atenção ao comportamento do sistema de estanqueidade, dos pontos de vista de resistência mecânica, deformabilidade e impermeabilidade.

3.6 Materiais diversos

As características dos diferentes materiais utilizados nas obras de aterro, tais como cimento, aço e concreto e, se for o caso, revestimentos vegetais, solo-cimento, concreto betuminoso, geomembranas (como vedação, em substituição à face em concreto) e geotêxteis, ou ainda alvenarias, bem como cablagem eléctrica, devem obedecer às disposições do projeto e das especificações técnicas, e às normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

3.7 Fundações e seu tratamento

A superfície de contato entre os aterros ou outros elementos da obra e os respetivos maciços de fundação, bem como, os maciços de fundação na vizinhança dessa superfície, devem ser objeto de particular atenção, com vistas à segurança das obras (quanto a cenários de estabilidade, deformabilidade e erosão interna), em especial, por intermédio de estudos e especificações técnicas e construtivas, podendo levar à necessidade de abrandamento dos taludes dos aterros da barragem ou à criação de

bermas estabilizantes e à adoção de soluções de fundações especiais para os órgãos extravasores e de operação.

Apresentam-se em seguida alguns aspectos da preparação da superfície de contato aterros/maciços de fundação, assim como do tratamento desses maciços e do controle desses tratamentos.

3.7.1 Preparação da superfície de fundação

A superfície de contato aterro/fundação deve ser objeto de adequados trabalhos de regularização e limpeza, uma vez executadas as escavações, trabalhos considerados indispensáveis para a boa execução e arranque dos aterros.

No caso de serem detectadas surgências ou nascentes, durante a realização dos trabalhos de escavação, deve proceder-se ao seu tratamento com filtros adequados e drenos, com a capacidade necessária para que as subpressões sejam sempre inferiores às pressões totais dos aterros sobrejacentes, cuidados especiais na área de contato do aterro com a fundação.

Em terrenos que sofrem rápida deterioração, quando em contato com o ar, a remoção da última camada de cobertura da fundação deve ser feita por áreas pouco extensas, rapidamente cobertas e confinadas pelos aterros sobrejacentes ou por uma camada pouco espessa de concreto de limpeza, que não deve estar exposto durante muito tempo.

No caso da fundação dos aterros em maciços rochosos, a preparação das fundações deve ser realizada, considerando os seguintes cuidados:

- a) Após a escavação, o contato aterro-fundação deve ser cuidadosamente limpo, devendo ser removidas para fora da área de contato quaisquer bolsões de areia ou pedregulhos, de solos e fragmentos de rocha solta (a limpeza final da superfície deve ser feita manualmente e, se possível, com jateamento de água);
- b) Se a superfície exposta nos níveis de fundação, após escavação, apresentar cavidades e irregularidades, estas devem ser preenchidas com concreto dental e de regularização, de forma a criar uma superfície de fundação de razoável regularidade e, se apresentar fissuras, poderá ser utilizada calda de cimento para o seu preenchimento e selagem;
- c) Toda a área da fundação em contato direto com o núcleo da barragem deve ser objeto de cuidados especiais, de modo a se conseguir a selagem de eventuais fraturas ou o preenchimento de eventuais cavidades, garantindo-se, assim, uma interface adequada.
- d) Caso se justifique, poderá ser feita uma limpeza com jateamento de ar, de modo a garantir a limpeza da superfície e a remoção efetiva de elementos de pequena dimensão, que dificultam a identificação superficial de fraturas e áreas de esmagamento (após a limpeza com jateamento de ar deve ser sempre feita uma limpeza final manual de remoção de materiais soltos);
- e) Nas áreas mais perturbadas e com fraturas abertas, após uma ligeira sobrecavação e/ou trabalho pontual de abertura das discontinuidades, estas deverão ser seladas;
- f) Nas áreas de cisalhamento, em pontos localizados que, em resultado da limpeza da fundação e da sobrecavação efetuada se tenham criado depressões

localizadas ou cavidades que, pela sua geometria, não permitam uma adequada compactação dos aterros da barragem, deve proceder-se ao seu preenchimento com concreto.

Toda a fundação da barragem deve ser objeto de cuidadoso mapeamento geológico-geotécnico, incluindo peças escritas e desenhos. Esse mapeamento deve ser executado em escala adequada sobre uma planta de escavações, de modo a permitir a fácil identificação das características geológico-geotécnicas da fundação, e nele devem constar:

- a) A litologia;
- b) A ocorrência de vazios, fissuras, porosidade, canalículos, etc.;
- c) A ocorrência de feições diversas, tais como a xistosidade, fraturas, dobras, falhas, etc., caracterizadas pela direção e mergulho;
- d) A presença de veios, materiais de preenchimento, estrias de fricção, etc.;
- e) A ocorrência de surgências (com vazão aproximada), áreas saturadas, artesianismos (com a devida pressão), etc.;
- f) A caracterização geotécnica da fundação;
- g) Qualquer outras feições julgadas de interesse pela supervisão.

As feições de maior interesse na fundação, tais como eventuais surgências, deverão receber destaque especial, inclusive acompanhadas de documentação fotográfica e devidamente referenciadas topograficamente.

No caso da fundação dos aterros em solos, os solos dos aterros a serem utilizados diretamente no contato com a fundação, em especial na área do núcleo, devem possuir um teor de umidade suficientemente elevado e uma plasticidade mínima para permitir uma compactação adequada contra as irregularidades do terreno.

3.7.2 Consolidação, impermeabilização e drenagem

O tratamento das fundações tem por objetivo assegurar aos maciços de apoio dos aterros características adequadas, visando obter um bom comportamento estrutural e hidráulico do conjunto barragem-fundação. A consolidação visa, em especial, melhorar as características mecânicas do maciço e a impermeabilização o controle da percolação da água no maciço de fundação (ICOLD, 2005).

O tipo de tratamento de consolidação e impermeabilização mais comum em maciços rochosos consiste na execução de injeções de calda de cimento. Os procedimentos a adotar na realização desses trabalhos, devem:

- a) Ter em consideração as disposições do projeto e das especificações técnicas, de acordo com o tipo e dimensões da barragem e as particularidades do maciço de fundação, em especial, a alteração das rochas constituintes, o seu diaclasamento, estratificação e xistosidade, bem como as falhas, mergulhos e cavernas, eventualmente existentes;
- b) Ser ajustados ou mesmo alterados, em função da informação adicional obtida durante a construção, em particular, pelos trabalhos de investigação complementar, decapagem e escavação, e mesmo pelos próprios trabalhos de consolidação, impermeabilização e drenagem.

No caso de fundações em solos, dispõe-se, regra geral, de outro tipo de tratamentos, salientando-se entre eles:

- a) Para consolidação: vibro-flutuação, compactação dinâmica, e inclusões, nomeadamente por estacas de areia ou de brita;
- b) Para impermeabilização: paredes diafragmas e injeções de argila-cimento, de silicatos e de resinas.
- c) Para a drenagem: quando se verifica a ocorrência de camadas superficiais de baixa permeabilidade a jusante, que exercem um bloqueio da saída do fluxo, elevando as subpressões nessa região da barragem, poços de alívio ou trincheiras drenantes.

A execução dos tratamentos mencionados impõe cuidados especiais para preservar as condições de funcionalidade dos filtros e drenos da barragem.

No sentido de permitir a necessária aferição, às reais condições encontradas em obra, dos equipamentos e procedimentos previamente definidos para o tratamento da fundação, recomenda-se a realização de ensaios, sempre que possível, num trecho representativo da fundação.

3.7.3 Controle do tratamento da fundação

Durante a execução dos ensaios de absorção de água e das injeções, deve ser garantido:

- a) A verificação das características dos materiais e respectivos componentes usados nas injeções, tais como, composição de caldas e utilização de adjuvantes;
- b) O cumprimento das especificações, relativas às pressões de ensaio ou de injeção, de preferência registradas automaticamente;
- c) O cumprimento das especificações iniciais ou resultantes de alterações, relativas aos espaçamentos, orientações e profundidades dos furos;
- d) O controle e registro das quantidades dos materiais absorvidos nas injeções, referindo-os aos furos correspondentes;
- e) A verificação das condições de funcionamento dos equipamentos, durante as injeções.

As quantidades de trabalho estimadas no projeto devem ser devidamente aferidas em relação às reais condições encontradas em obra, de modo a assegurar o cumprimento dos objetivos do tratamento.

Para verificação da eficiência dos tratamentos de consolidação, vibro-flutuação, compactação dinâmica e inclusões, em especial, por colunas de areia ou de brita, deve ser determinada a compacidade final, obtida por ensaios *in situ*, e efetuar ainda:

- a) Na vibro-flutuação, o registro contínuo da energia consumida pelo equipamento que atua o vibrador e, sempre que possível, a medição dos assentamentos da superfície do solo;
- b) Na compactação dinâmica, a medição regular dos assentamentos da superfície do solo, durante o tratamento.

No caso de paredes diafragmas é essencial verificar a sua integridade e estanqueidade e, ainda, a das juntas entre painéis e das interfaces da parede com os aterros da barragem e com o trecho subjacente da fundação, pelo que, previamente, deve ser proposto o método preconizado para aquelas verificações.

Os elementos resultantes do processamento, bem como dados relevantes obtidos durante os trabalhos, devem ser devidamente registrados e arquivados.

No Quadro 3 apresenta uma síntese com os ensaios e procedimentos mais frequentemente utilizados no controle de qualidade dos tratamentos de fundação de barragens de aterro.

Quadro 3. Controle de qualidade dos tratamentos da fundação de barragens de aterro.

Tipo de Tratamento	Ensaios e procedimentos de verificação mais frequentes
Impermeabilização com injeção de caldas de cimento	Ensaio de absorção de água; Verificação das características dos materiais, em especial das caldas e adjuvantes; Verificação das especificações relativas às pressões de ensaio ou de injeção especificadas; Verificação das especificações relativas aos espaçamentos, orientações e profundidades dos furos; Controle e registro das quantidades dos materiais absorvidos nas injeções; Verificação das condições de funcionamento dos equipamentos durante as injeções.
Consolidação por vibro-flutuação, compactação dinâmica e inclusões como colunas de areia e de brita	Ensaio in situ como, por exemplo, o ensaio de penetração CPTU; Na vibro-flutuação, registro contínuo da energia consumida pelo equipamento e medição dos assentamentos da superfície do solo; Na compactação dinâmica, medição regular dos assentamentos da superfície do solo.
Impermeabilização por paredes diafragma	Método específico a cada caso para verificação da integridade e estanqueidade dos painéis e juntas.
Drenagem com execução de poços de alívio ou trincheiras drenantes	Inspeção visual para controle na aplicação do material drenante.

3.8 Construção dos aterros

O início da colocação dos aterros deve ser precedido de inspeção pormenorizada da superfície de fundação, por técnicos devidamente habilitados, a qual deve permitir autorizar o início da colocação do aterro ou indicar as necessárias medidas corretivas, a validar em nova inspeção.

Durante a execução dos aterros deve ser observado que:

- a) A colocação de qualquer camada seja precedida da aprovação das condições de compactação da camada anterior, e de inspeção prévia, quando se tenha verificado uma interrupção dos trabalhos;
- b) Se a colocação de qualquer camada tiver sido autorizada com base em resultados provisórios de ensaios expeditos da camada anterior, esses resultados devem ser validados pelos ensaios especificados, sendo da responsabilidade da empreiteira a remoção da camada ou camadas subsequentes, caso os resultados dos ensaios especificados não validem os resultados provisórios;
- c) Em aterros adjacentes a encontros rochosos ou a estruturas hidráulicas, as superfícies devem ser previamente preparadas, não se aceitando superfícies subverticais, fazendo-se o abrandamento dos taludes e preenchendo cavidades com concreto;
- d) No caso da utilização de solos argilosos em aterros adjacentes a encontros rochosos ou a estruturas hidráulicas de concreto, deve ser utilizada a sua fração mais fina e plástica e o seu teor de umidade de compactação deve estar do lado úmido, relativamente ao ótimo, determinado de acordo com as especificações técnicas;
- e) Em situações em que o aterro é argiloso e muito úmido, é conveniente, na medida do possível, colocar as camadas do aterro com espessura reduzida e de forma não contínua, para permitir uma melhor secagem, visando reduzir o excesso de poropressão que poderia ocorrer;
- f) Em solos argilosos é fundamental adotar programas de trabalho que permitam contatos inclinados de aterros de idades diferentes; esses contatos devem ser alvo de cuidados especiais, podendo envolver o corte da parte da superfície do talude já construído, com menor grau de compactação, como via de regra, e a execução de bermas estabilizadoras no talude, cortado à medida que o novo aterro vai sendo construído; outra medida para evitar assentamentos diferenciais e fissuração, em especial no caso de aterros argilosos, será definir uma faixa de contato na qual o aterro seja colocado do lado úmido relativamente ao ótimo;
- g) No caso de o desvio do rio ser feito através de uma brecha deixada na barragem e sendo esta em solo argiloso, num primeiro estágio deve ser preparada a fundação da barragem, na região onde se localizará a abertura temporária, mas sem alterar a declividade do leito natural do rio, para evitar erosão; em seguida, o rio deve ser canalizado para passar pelo local preparado, continuando-se com a construção da barragem de terra para ambos os lados do canal; os taludes da abertura do canal na barragem devem ser suaves (3 a 4 para 1) para facilitar o enchimento da brecha, no final da construção, em boas condições e diminuir o risco de fissuração dos taludes devido a recalques diferenciais, além de possibilitar uma boa superfície de contato entre o aterro da barragem anteriormente construído e o material da brecha; a colocação do aterro da brecha deve ser precedido do corte da parte superficial dos maciços dos dois lados da brecha tal como já referido na alínea (f);

- h) As camadas de aterro deverão desenvolver-se, em qualquer circunstância, paralelamente ao eixo longitudinal da barragem;
- i) As técnicas de lançamento, espalhamento, umidificação e compactação serão dependentes dos resultados dos aterros experimentais;
- j) Os percursos dos equipamentos sobre o aterro devem evitar a criação de comportamentos e caminhos de percolação preferenciais, no sentido montante jusante, e ter alinhamentos variados, para não criar áreas diferenciadas;
- k) Relativamente às camadas de filtro tipo chaminé, recomenda-se que sejam colocadas de forma antecipada, relativamente às camadas adjacentes do aterro, de modo a evitar a sua contaminação.

As Figuras 18 e 19 ilustram a construção dos aterros, respectivamente de uma barragem homogênea e zonada.



Figura 18. Aterro homogêneo. Operações de escarificação e de compactação.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 19. Aterro zonado. Operações de espalhamento e de compactação.
(Fonte: COBA, S.A.)

Nos casos de aterros de enrocamento será necessário considerar os seguintes aspectos.

O lançamento de materiais de enrocamento deve ser realizado com a técnica da deposição em cordão, isto é: o material é colocado sobre a camada de base, a cerca de 5 m da frente da mesma e, em seguida, é espalhado e nivelado pela lâmina de um trator de lagartas, de modo a se obter uma camada de espessura uniforme e com a superfície, o mais regular possível.

Deve ser especificado o volume de água a adicionar (10% a 30% do volume de enrocamento, dependendo do tipo litológico do enrocamento), antes e durante a compactação, com rolo vibratório devendo o equipamento mobilizado permitir, tanto quanto possível, a uniforme irrigação de toda a camada envolvida (Figura 20).



Figura 20. Irrigação do aterro de enrocamento.
(Fonte: COBA, S.A.)

Em geral, os desníveis entre camadas adjacentes dos materiais não deverão exceder uma camada compactada.

Um aspecto muito conveniente nas barragens de enrocamento é a possibilidade de implantar rampas em qualquer direção e, assim, reduzir o número de acessos às margens.

Em vales abertos, um volume considerável de enrocamento pode ser colocado com rampas incorporadas, que ajudarão a reduzir as distâncias de transporte, dentro do local da barragem. As rampas a construir dentro do aterro podem ter inclinação de até 15%, devendo as definitivas ter inclinação até 12%. As mudanças de direção devem ser feitas em plataformas niveladas (plataformas de retorno).

Devem ser registradas todas as anomalias ou outros fatos de interesse para a segurança da obra, tais como:

- a) Interrupções prolongadas da construção e suas causas;
- b) Utilização de materiais não previstos no projeto e sua justificação;
- c) Galgamentos da obra durante a construção e suas consequências;
- d) Ocorrência de escorregamentos ou queda de taludes de escavações;
- e) Mudanças de equipamentos de transporte e compactação e sua justificação;
- f) Adaptações do projeto às condições encontradas em obra.

3.9 Controle da construção

Nos solos e nos enrocamentos, devem ser efetuados ensaios de controle de compactação, com a frequência especificada no projeto e nas especificações técnicas, e sempre que a supervisão o determinar, contemplando:

- a) Para solos, o grau de compactação e o desvio do teor de umidade, em relação ao ótimo;
- b) Para enrocamentos, o peso específico e a composição granulométrica;
- c) Para materiais de filtros, drenos e transições, a compacidade relativa e a composição granulométrica.

As Figuras seguintes ilustram alguns dos ensaios *in situ* frequentemente realizados para controle tecnológico dos aterros: na Figura 21 apresentam-se os equipamentos necessários para a determinação do peso específico de solos com frasco de areia; a Figura 22 ilustra a determinação da densidade *in situ* de uma transição com aplicação de uma membrana de plástico que permite medir o volume da cova escavada; as Figuras 23 e 24 ilustram os ensaios para determinação da densidade *in situ* e o ensaio granulométrico de materiais de enrocamento.



Figura 21. Determinação do peso específico do solo com frasco de areia. (Fonte: Universidade do Minho, Portugal)

Figura 22. Ensaio de densidade “*in situ*” de material de transição. (Fonte: WATZKO, 2007)

Embora com menor frequência, devem também ser efetuados ensaios para controle da resistência ao cisalhamento, bem como, sempre que se justifique, para determinação da deformabilidade e da permeabilidade.

Para materiais de enrocamento, o controle pode ser feito, através do seguimento estrito de procedimentos, previamente validados em aterro experimental, apoiado em ensaios de verificação não sistemáticos, ainda que de frequência devidamente especificada.



Figura 23. Ensaio de densidade *in situ* de enrocamento. (Fonte: WATZKO, 2007)

Ensaio expedito para controle do teor de umidade e do grau de compactação devem ser aceitos pela supervisão, apenas de um modo provisório, devendo os resultados desses ensaios serem ratificados pelos ensaios especificados, tal como referido no item anterior.

A execução dos ensaios referidos deve ser precedida de observação visual das camadas, de modo a verificar a sua homogeneidade, condição essencial para que os ensaios tenham significado, devendo ainda ser efetuados previamente alguns poços ou trincheiras, para observação interessando várias camadas, de modo a validar a boa ligação entre camadas, além da homogeneidade do aterro.



Figura 24. Ensaio granulométrico *in situ* de enrocamento.

(Fonte: WATZKO, 2007)

Quadro 4. Controle tecnológico de aterros.

Tipo de aterro	Ensaio e procedimentos de verificação mais frequentes	
Solos	Inspeção visual e tátil da camada	Controle de construção através do acompanhamento e observação visual de todas as operações construtivas desde a escarificação, destorroamento, correção da umidade, homogeneização, espalhamento e compactação.
	Controle topográfico das camadas	
	Ensaio de laboratório	Granulométrico por peneiramento e sedimentação (ABNT NBR 7181); Limite plasticidade (ABNT NBR 7180); Limite de liquidez (ABNT NBR 6459); Peso específico real dos grãos (ABNT NBR 6508); Massa específica aparente com recurso a balança hidrostática (ABNT NBR 10838 MB 2887/88); Teor de umidade (ABNT NBR 6457); Permeabilidade a carga variável (ABNT NBR 14545/2000). Compactação (ABNT NBR 7182). Adensamento Unidimensional ou Edométrico (ABNT NBR 12007 MB 3336/90).
	Ensaio de campo	Controle da compactação pelo método de Hilf (ABNT NBR 12102 MB 3443).
		Massa específica aparente com recurso a frasco de areia (ABNT NBR 7185/86).
		Massa específica aparente com recurso a cilindro de cravação (ABNT NBR 9813/87).
Filtros, drenos e transições	Inspeção visual	Controle de construção através do acompanhamento e observação visual de todas as operações de lançamento, espalhamento, saturação e compactação.
	Controle topográfico das camadas	
	Ensaio de laboratório	Granulométrico por peneiramento; Densidade mínima e máxima (ABNT NBR 12004 e 12051) Permeabilidade (ASTM D2434).
		Índice de vazios máximo de solos não coesivos (ABNT NBR 12004 MB 3324/90).
		Índice de vazios mínimo de solos não coesivos (ABNT NBR 12051 MB 3388/91).
	Ensaio de campo	Densidade <i>in situ</i> .
Permeabilidade <i>in situ</i> .		
Enrocamentos	Inspeção visual	Controle de construção através do acompanhamento e observação visual de todas as operações construtivas, desde as operações de extração dos materiais, ao carregamento, transporte, lançamento, espalhamento e compactação.
	Controle topográfico das camadas	
	Ensaio de laboratório	Granulométrico (ASTM 5519).
	Ensaio de campo	Granulométrico <i>in situ</i> .
Densidade <i>in situ</i> (ASTM 5030).		

3.10 Problemas mais frequentes em decorrência de falha na construção

Nas barragens de aterro, como principais deficiências decorrentes de falhas na construção podem referir-se:

- Deformação excessiva do maciço de fundação por deficiente escavação de formações compressíveis ou falha no tratamento (por exemplo no tratamento por vibro-flutuação, ou outro);
- Recalques excessivos por deficiente construção do aterro, em especial por deficiente compactação ou falha de saturação (nos aterros de enrocamento);
- Erosão interna na fundação e no aterro, por deficiência de construção dos filtros e transições (colmatação ou redução da permeabilidade dos materiais por contaminação, segregação ou compactação excessiva), deficiente contato aterro fundação;
- Erosão interna no contato com galerias de fundo ou outras estruturas, devido a deficiente construção das juntas das estruturas e deficiente compactação do aterro envolvente;
- Percolação excessiva através da face de concreto em barragens de enrocamento com face em concreto devido a assentamento e faturamento das lajes em consequência da deformação excessiva do aterro;
- Aberturas de trincas ou fissuras por deficiente compactação do aterro, em especial junto às ombreias, excesso de compactação do filtro vertical;
- Caudais de percolação excessivos por deficientes tratamentos dos terrenos de fundação;
- Erosão superficial devido a deficiente construção do sistema de drenagem superficial;
- Degradação dos blocos de rocha do rip-rap com algum grau de alteração ou com granulometria inadequada ou mal arrumados durante a construção.

4 BARRAGENS DE CONCRETO

4.1 Materiais

4.1.1 Agregados e granulometrias

Os agregados utilizados na fabricação de concretos devem obedecer às especificações técnicas, bem como às normas técnicas e regulamentos aplicáveis, devendo ser objeto de:

- Inspeção visual, para verificação do seu estado geral, forma e limpeza;
- Lavagem, para retirar todas as sujeiras e matéria orgânica;
- Seleção, de acordo com as classes granulométricas;
- Estocagem, em local de fácil acesso e protegido das ações atmosféricas;
- Ensaios de controle sobre amostras coletadas na origem, bem como a determinação da granulometria, do peso específico, do coeficiente de forma e da reação aos álcalis.

Dada a influência dos agregados na qualidade dos concretos, torna-se indispensável:

- a) Uma adequada supervisão dos ensaios sobre amostras coletadas na origem e das ações acima referidas;
- b) Ensaios dos materiais estocados nos silos principais, para determinação do módulo de finura;
- c) Ensaios dos materiais que se encontram nos silos da instalação de fabricação de concreto, para determinação dos teores de umidade e de matéria orgânica.

4.1.2 Cimentos, pozolanas e cinzas volantes

Os tipos de cimentos, pozolanas e cinzas volantes, a serem utilizados na fabricação de concretos, bem como as suas características e os respectivos ensaios de controle de qualidade, devem obedecer às especificações técnicas e às normas técnicas e regulamentos em vigor.

O transporte, descarga e estocagem desses materiais devem obedecer às especificações, normas técnicas e regulamentos em vigor e, ainda, terem em consideração os seguintes aspectos:

- A estocagem ser feita em locais de fácil acesso e protegidos termicamente;
- O número e a capacidade dos silos serem adequados ao consumo previsto e à necessidade dos materiais ensilados só poderem ser utilizados, após obtenção dos resultados dos ensaios de controle;
- Em cada silo, o tipo de material estocado e a data do seu carregamento estarem devidamente identificados;
- Os meios de transporte dos materiais para os silos e destes para a central de fabricação de concreto serem adequados, em particular, evitando o aquecimento dos materiais.

A supervisão deve incidir sobre os aspectos, acima referidos, e deve assegurar que os silos se encontrem em bom estado de operacionalidade e que o consumo dos materiais ensilados seja efetuado por ordem da sua chegada ao canteiro.

4.1.3 Água

A água a ser utilizada na fabricação dos concretos, em geral, captada no rio, a montante do local da barragem, deve ser submetida a análises periódicas para determinação das suas características físicas e químicas mais importantes, de acordo com as normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

A água deve ser provida em tanques (depósitos) que preservem a sua qualidade, devendo ainda proceder-se regularmente ao controle das condições de operacionalidade da instalação.

4.1.4 Aditivos

Os aditivos são, em geral, utilizados na fabricação dos concretos para barragens, visando melhorar a trabalhabilidade e reduzir a segregação do concreto fresco, aumentar a resistência mecânica, reduzir a permeabilidade e ainda retardar ou acelerar o tempo de pega.

A seleção e estocagem dos aditivos devem respeitar as especificações técnicas e as normas e regulamentos aplicáveis.

O controle de qualidade deve ser efetuado sobre amostras coletadas, quando do fornecimento, quantificando características físicas e químicas adequadas.

O controle de qualidade, relativo aos recipientes, depósitos e dosadores deve respeitar o disposto nas especificações técnicas, bem como nas normas e regulamentos aplicáveis.

4.1.5 Aços

Os tipos de aço a serem utilizados em armaduras ordinárias ou de protensão e as suas características e utilização devem obedecer às especificações técnicas e às normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

As estruturas metálicas, definitivas ou provisórias, devem satisfazer às especificações técnicas e obedecer às normas e regulamentos aplicáveis, quanto aos aços e à execução e montagem das estruturas.

4.2 Barragens de concreto convencional

4.2.1 Composição dos concretos

As composições dos concretos a utilizar na construção de barragens devem respeitar as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, e devem ser estudadas visando satisfazer às exigências de qualidade na construção, em especial, quanto à resistência (mecânica e química), deformabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, durabilidade, características térmicas, dimensão máxima dos agregados e processo de colocação.

A Figura 25 ilustra a construção de uma barragem de concreto convencional.



Figura 25. Barragem de concreto convencional (Barragem de Ribeiradio, Portugal).
(Fonte: COBA, S.A.).

4.2.2 Fabricação do concreto

Na fabricação do concreto devem ser respeitadas as disposições do projeto e das especificações técnicas, bem como as normas técnicas e regulamentares aplicáveis.

Na Figura 26 apresenta-se um exemplo de esquema de uma central de fabricação de concreto.

O transporte dos componentes dos lugares de estocagem para a central de fabricação deve ser feito, de modo a não alterar as suas características e a quantidade de concreto fabricado deve ser exclusivamente a necessária para cada lançamento.

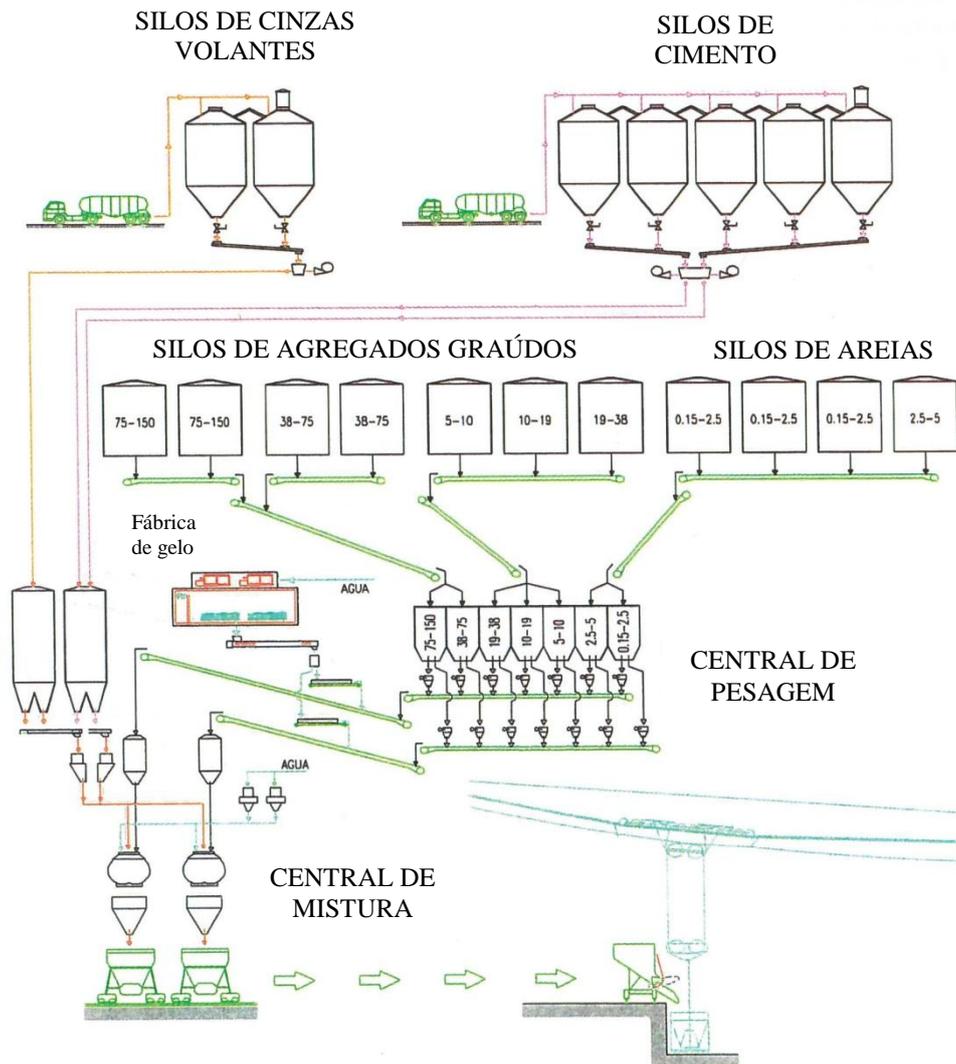


Figura 26. Esquema de uma central de fabricação de concreto.
(Fonte: EDIA, S.A.).

Devem ser adotados procedimentos, visando assegurar a qualidade dos concretos fabricados, a saber:

- Registradas as instruções dadas à central, bem como, as eventuais diferenças, controlando as pesagens em todas as betonadas;
- Controlado o tempo de betonada, para garantia da homogeneidade da mistura e da fusão completa do gelo, quando utilizado;
- Determinada a consistência e a temperatura do concreto na instalação de fabricação e durante o lançamento na obra;
- Determinada a resistência mecânica de amostras coletadas na central de concreto.

4.2.3 Transporte, lançamento e compactação do concreto

No transporte, lançamento e compactação do concreto devem ser respeitadas as disposições do projeto e das especificações técnicas, bem como, das normas técnicas e regulamentares aplicáveis.

O lançamento e compactação do concreto devem ser precedidos de autorização da supervisão da obra, após verificar o cumprimento das condições necessárias para garantia da qualidade na construção, em especial:

- a) O posicionamento correto das fôrmas, armaduras, dispositivos de vedação, peças fixas, dispositivos de injeção de juntas de contração, serpentinas de refrigeração e instrumentação de monitoramento embebido no concreto;
- b) As prescrições adequadas às condições meteorológicas, como seja a utilização de gelo na betonada;
- c) A identificação do tipo e classe do concreto;
- d) Os ensaios de controle previstos na alínea (c) do item 4.2.2.

O lançamento do concreto deve ser efetuado, de modo a evitar a sua segregação.

O controle da qualidade do concreto colocado em obra deve ser assegurado pela realização de ensaios da sua resistência mecânica, bem como, eventualmente, de ensaios para determinação do coeficiente de elasticidade, da tensão de ruptura e da quantidade de ar contido em amostras coletadas durante o lançamento, segundo critérios definidos nas especificações técnicas.

4.2.4 Superfícies de fundação e juntas de concretagem

Após a preparação da superfície de fundação, o concreto deve ser colocado, o mais rapidamente possível, de acordo com as disposições das especificações técnicas e das normas técnicas e regulamentos aplicáveis, em particular:

- a) As superfícies correspondentes a feições, como sejam diaclases ou planos de estratificação ou xistosidade, devem apresentar rugosidade que garanta uma boa aderência;
- b) A rocha adjacente a feições, que tenham sido removidas, não deve ficar danificada pelos trabalhos associados à remoção;
- c) As cavidades eventualmente existentes devem ter sido limpas com jateamento de ar e água, a superfície tornada rugosa com apicoamento, e preenchidas com concreto.

A supervisão deve verificar, imediatamente antes da colocação do concreto, se a superfície da fundação está apta a recebê-lo.

As juntas de concretagem entre concretos de diferentes idades correspondem a superfícies de descontinuidades, em geral, horizontais ou com pequena inclinação. Essas juntas devem ser executadas e tratadas, de forma a assegurar o monolitismo e estanqueidade da estrutura, respeitando as disposições das especificações técnicas, normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

4.2.5 Fôrmas

As fôrmas e as respectivas estruturas de montagem, obedecendo às formas geométricas das estruturas estabelecidas no projeto, devem ser concebidas, executadas e convenientemente posicionadas, em conformidade com as especificações técnicas, normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

As fôrmas para as superfícies de concreto, que vão estar em contato com fluxos de água de alta velocidade, devem apresentar as faces especialmente bem acabadas.

A supervisão deve verificar as fôrmas e as respectivas estruturas de montagem, antes de autorizar qualquer concretagem.

4.2.6 Juntas de contração e injeções

As juntas de contração são superfícies de descontinuidades que dividem o corpo da barragem em blocos, com geometria e localização, definidos no projeto, e que têm por objetivo:

- a) Reduzir os efeitos das deformações dos concretos, em especial durante a fase inicial de dissipação do calor de hidratação;
- b) Limitar as dimensões dos blocos de concretagem;
- c) Conferir à estrutura capacidade para suportar deslocamentos sem deterioração, associados, por exemplo, a mudanças bruscas da seção de escavação;
- d) Diminuir a rigidez de alguns elementos estruturais.

A estanqueidade das juntas é garantida por dispositivos definidos no projeto e colocados, de acordo com as respectivas especificações técnicas.

Para assegurar o comportamento tridimensional das estruturas, podem ser utilizadas juntas de contração denteadas e/ou proceder à injeção das juntas. Essa injeção deve ser realizada, de acordo com as disposições do projeto e das especificações técnicas, com vistas a garantir a segurança da estrutura, definindo, a saber:

- a) As áreas em que a obra é dividida para fins de injeção;
- b) As fases de injeção, em correspondência com a evolução da construção, bem como a sequência de injeção dos compartimentos interessados em cada fase, as composições dos materiais de injeção e as pressões a utilizar;
- c) As grandezas a observar durante as operações de injeção, tais como as temperaturas e os níveis da água, os movimentos de juntas e os deslocamentos da estrutura.

4.2.7 Cura do concreto e desfôrma

A cura do concreto deve ser realizada, de modo a evitar a perda da água necessária à hidratação do cimento e, enquanto o concreto não alcançar endurecimento suficiente, exige cuidados especiais, referidos nas especificações técnicas e nas normas técnicas e regulamentos aplicáveis, de que se destacam:

- a) Manter as superfícies expostas permanentemente úmidas, por intermédio de processos que não conduzam ao arrastamento de calda do cimento superficial, e evitar grandes variações de temperatura nessas superfícies;
- b) Impedir a circulação de pessoas e de equipamentos sobre os concretos jovens, assim como a utilização de explosivos ou equipamentos, que introduzam vibrações significativas, na sua vizinhança.

Os procedimentos, meios e técnicas adotados na cura do concreto e desfôrma, devidamente pormenorizados nas especificações técnicas e controlados na obra, devem ser estabelecidos,

de forma a que rendimentos elevados de lançamento não prejudiquem uma cura correta do concreto.

As operações de desfôrma devem efetuar-se, de acordo com as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, devendo ser objeto de especial cuidado as superfícies que irão ser sujeitas à ação de fluxos de água.

A reparação de imperfeições das superfícies do concreto, tal como, a obturação dos orifícios resultantes da fixação das fôrmas, devem ser efetuadas imediatamente após a desfôrma, respeitando os prazos, os processos e os materiais referidos nas especificações técnicas.

4.2.8 Colocação do concreto em tempo de chuva ou de frio

Em período de chuva intensa, a concretagem não deve ser efetuada, uma vez que pode provocar lavagem de materiais finos e alteração na relação água-cimento superficial do concreto.

Em tempo frio, a superfície da camada de concreto deve ser protegida com material isolante, imediatamente após a concretagem, até à concretagem da camada seguinte ou, pelo menos, durante uma semana.

Os trabalhos de lançamento do concreto, que tenham sido suspensos, devido à chuva ou ao tempo frio, só devem ser retomados, quando o concreto estiver suficientemente endurecido. As superfícies devem então ser tratadas, de acordo com os procedimentos definidos nas especificações técnicas para as juntas de construção.

4.2.9 Dissipação do calor de hidratação e refrigeração dos componentes do concreto

Os procedimentos para reduzir as temperaturas elevadas no concreto, especialmente quando colocado em épocas quentes, assim como para diminuir o tempo necessário à dissipação do calor de hidratação e estabilização da temperatura, devem ter em consideração as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, assim como:

- a) Composição adequada do concreto, como referido no item 4.2.1;
- b) Altura das camadas de concretagem, intervalo de tempo mínimo entre lançamentos consecutivos e aumento do tempo de espera entre lançamentos, compatíveis com o plano de execução do concreto;
- c) Eventual utilização de um sistema de refrigeração artificial.

Nos casos em que é utilizado um sistema de refrigeração artificial, em geral, constituído por serpentinas embebidas no concreto, nas quais se faz circular água fria, a configuração desse sistema e os procedimentos, relativos à sua montagem, manobra e controle, devem ser definidos no projeto e nas especificações técnicas.

4.2.10 Plano de concretagem

O plano de concretagem, essencial à garantia da qualidade na construção, constitui parte integrante do programa de trabalhos e deve definir:

- a) As cotas de todas as camadas de concretagem;

- b) Os intervalos de tempo mínimo e máximo entre a realização de camadas consecutivas;
- c) As datas de início e conclusão dos trabalhos, as datas-chave e os períodos previstos para a montagem dos equipamentos.

Na elaboração do plano de concretagem, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) A sequência da construção prevista no projeto;
- b) A capacidade da central de concreto e da empreiteira para a fabricação, transporte e lançamento do concreto;
- c) A eventual necessidade de atrasar a construção de alguns blocos, de modo a permitir a passagem de vazões de cheia;
- d) As épocas do ano em que se efetuam as concretagens;
- e) Compatibilização entre as atividades de controle dos concretos lançados e de monitoramento e instrumentação da obra, bem como com os resultados do rompimento de corpos de prova.

4.3 Barragens de concreto compactado a rolo (CCR)

4.3.1 Composição dos concretos

O concreto compactado a rolo (CCR) é um concreto seco, com abaixamento nulo, de modo a permitir que o equipamento de transporte e lançamento, semelhante ao usado na construção de aterros, possa circular sobre o concreto fresco.

As Figuras 27 e 28 ilustram a construção de barragens de concreto compactado a rolo.

A composição dos concretos deve ser estudada, considerando as percentagens dos diferentes componentes, de modo a obter-se um abatimento nulo e tendo em conta, entre outros aspectos, o local da obra e os materiais e equipamentos disponíveis, de modo a satisfazer as exigências da qualidade na construção, em especial, quanto à resistência mecânica e química, deformabilidade, permeabilidade e características térmicas. O peso específico do concreto e a sua durabilidade são também aspectos importantes a considerar.



Figura 27. Barragem de concreto compactado a rolo (CCR). Barragem do Mamoeiro, CE.
(Fonte: COBA, S.A.)



Figura 28. Barragem de concreto compactado a rolo (CCR) (Barragem de Pedrógão, Portugal). (Fonte: LNEC)

4.3.2 Bloco experimental

Antes do início da construção deve ser construído um bloco experimental, em local acordado entre a empreiteira e a supervisão, destinado à realização de ensaios para aferir os parâmetros de construção, em especial, dos parâmetros com maior dificuldade de caracterização na fase de projeto.

O bloco experimental deve ser realizado com os equipamentos de fabricação, lançamento e compactação semelhantes aos que vão ser utilizados na construção da barragem.

Com base nos resultados dos ensaios realizados no bloco experimental, devem ser elaboradas especificações técnicas, incluindo a origem e características dos agregados, a composição do ligante, as características de compactação (espessura das camadas, energia de compactação e número de passagens), as condições de ligação entre camadas e os ensaios a realizar e sua frequência, com vista ao controle da qualidade da construção.

Devem também ser considerados os aspectos relativos ao tratamento de singularidades, tais como, interfaces com paramentos, vedantes e concretos convencionais, assim como a realização das juntas de contração.

Durante a execução do bloco experimental, a central de fabricação do concreto deve ser aferida, fixando-se a data de início da fabricação dos concretos destinados à obra, após a verificação da funcionalidade da central.

4.3.3 Estocagem e transporte dos agregados

A localização, dimensão e forma dos depósitos de agregados devem ser coordenadas com a localização da central de fabricação do concreto e com o método de aprovisionamento, considerando que deve estar permanentemente disponível um volume de agregados que garanta a continuidade dos trabalhos, sem quebra do ritmo de construção.

O transporte dos agregados dos locais de estocagem para a central de fabricação do concreto deve ser feito, de modo a não alterar as suas características.

4.3.4 Fabricação do concreto

A central de fabricação do concreto deve dispor de capacidade de produção e de confiabilidade compatíveis com as elevadas frequências de lançamento do CCR, assim como garantir o grau de precisão exigido e o nível de controle da mistura durante o processamento, devendo o plano da sua instalação e as especificações do equipamento estar disponíveis para apreciação da supervisão.

No controle de qualidade dos concretos, devem ser seguidas as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, com as adaptações que as especificações técnicas determinem, tendo em conta o referido no item 4.2.2, relativamente ao controle de qualidade na fabricação do concreto.

4.3.5 Transporte, colocação e compactação do concreto

No transporte do concreto, desde a central até à obra, devem ser seguidas as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, devendo os percursos, o processo de descarga e a circulação das máquinas ser cuidadosamente planejados para que o equipamento funcione com eficácia e segurança (Figura 29). As exigências de limpeza do equipamento de transporte requerem especial cuidado, visando a evitar a contaminação das superfícies das camadas com lama, óleos, massas consistentes e outras substâncias.

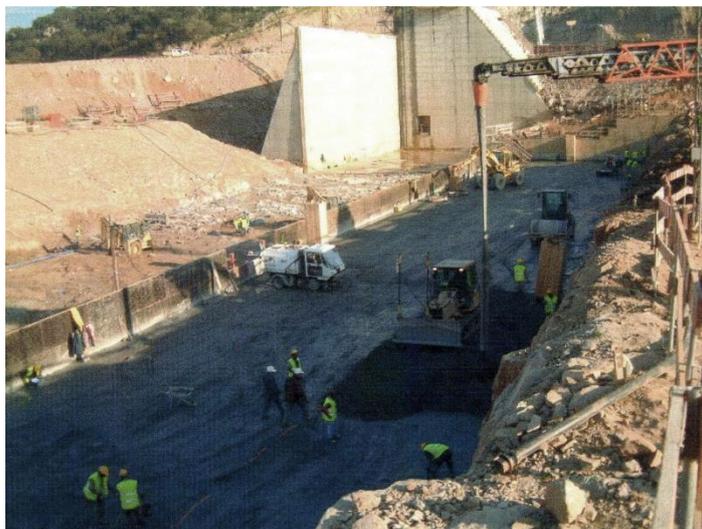


Figura 29. Colocação de CCR. (Fonte: EDIA, S.A.)

No lançamento do concreto devem ser seguidas as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, ressaltando:

- a) A altura máxima de queda livre do concreto deve ser da ordem de 0,6 m;
- b) A camada sobre a qual vai ser espalhada a mistura deve estar livre de materiais soltos;
- c) A técnica de espalhamento a ser utilizada deve garantir que o material seja depositado, tão próximo, quanto possível da sua localização final na camada.

Na compactação do concreto, devem ser seguidas as especificações técnicas e as normas técnicas e regulamentos aplicáveis, ressaltando:

- a) A compactação do concreto deve ser efetuada, logo após o espalhamento, de modo que o tempo decorrido entre a obtenção da mistura e o início da compactação não exceda trinta minutos;
- b) A espessura da camada compactada deve ser, no mínimo, três vezes a máxima dimensão dos agregados;
- c) Os rolos vibradores não devem passar sobre a camada já compactada, dado que se corre o risco de fissurar o concreto que começa a ganhar pega;
- d) Os rebordos expostos da camada que não serão cobertos pela camada seguinte devem ser compactados com equipamento apropriado, nos trinta minutos seguintes ao lançamento do concreto.

A Figura 30 ilustra alguns aspectos da colocação do concreto compactado com rolo e da realização de uma galeria de drenagem (SANCHES; PEDRO, 2006).



Figura 30. Aspectos da construção de blocos em CCR. (Fonte: EDIA, S.A.)

4.3.6 Controle de qualidade do concreto em obra

O controle da qualidade do concreto em obra deve incidir fundamentalmente na determinação, mediante ensaios adequados, da espessura e regularidade das camadas, do peso específico, do teor de umidade e da temperatura.

As especificações técnicas devem indicar a frequência, com que devem ser efetuadas sondagens mecânicas para obtenção de testemunhos, destinados a ensaios de resistência mecânica e química, de deformabilidade e de permeabilidade.

Nos Quadros 5 e 6 apresentam-se, respectivamente, os ensaios correntes para a caracterização dos materiais constituintes do concreto e os ensaios de controle de qualidade do concreto na produção.

Quando os ensaios de controle de qualidade do concreto na obra indicarem a existência de material inadequado numa determinada camada, deve ser removida esta camada.

Quadro 5. Ensaios correntes de caracterização dos materiais constituintes do concreto^(*).

Componentes	Ensaios	Normalização
Agregados (NBR 7211; NBR NM 26; NBR NM 27; NBR 15577)	Análise granulométrica	ABNT NBR 7217/87; NBR NM 248
	Massa específica e absorção	ABNT NBR 9937/87; NBR NM 53 (agregados graúdos); BR 9777/87; NBR NM 30; NBR NM 52 (agregados miúdos)
	Massa unitária	ABNT NBR 7251
	Material pulverulento (passante na #200)	ABNT NBR 7219/87; NBR NM 46
	Teor de humidade	ABNT NBR 9775/87; NBR 9939/87
	Teor de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218/87 (Agregados graúdos)
	Teor em matéria orgânica	ABNT NBR NM 49 (Agregados miúdos)
	Abrasão "Los Angeles"	ABNT NBR NM 51 (Agregados graúdos)
	Índice de forma	ABNT NBR 7809/83 (Agregados graúdos)
Cimento	Resistência ao esmagamento	ABNT NBR 9938/97
	Análise química	ABNT NBR NM 10; NBR NM 11; NBR NM 20; NBR NM 22; NBR 11578/91
	Superfície específica "Blaine"	ABNT NBR 7224/84; NBR NM 76
	Calor de hidratação (Garrafa de Langavant)	ABNT NBR 12006
	Massa específica	ABNT NBR NM 23; NBR 6474/87
	Resistência à compressão	ABNT NBR 7215/07
	Tempo de início e fim de pega	ABNT NBR NM 65; NBR 11581/91
	Equivalente Alcalino (Teor de Sódio e Potássio)	ABNT NBR NM 17
	Resíduo insolúvel	ABNT NBR NM 15; NBR NM 22
	Perda ao fogo	ABNT NBR NM 18
	Expansibilidade "Le Chatelier"	ABNT NBR 11582
	Óxidos elementares	ABNT NBR NM 11-2; NBR NM 22
	Alcális solúveis e totais	ABNT NBR NM 17
Cal livre	NBR NM 13	
Água (NBR 12654 e NBR NM 137)	pH	ABNT NBR 9251/86
	Análise química	
Aditivos (NBR 11768)	pH, Teor de material sólido, massa específica	NBR 10908
	Análise química	

(*) além destes ensaios podem também ser realizados ensaios especiais, tais como teores de cloretos, de sulfatos solúveis e de partículas leves, durabilidade (sanidade ao ataque pelo sulfato de sódio ou magnésio, ciclagem artificial em água e estufa ou ciclagem acelerada com etienoglicol, entre outros.

Quadro 6. Ensaio correntes de controle na produção de concretos.

Tipo de concreto	Ensaio	Normalização
Concreto Convencional		
Concreto no estado fresco	Teor de ar incorporado	ABNT NBR NM 47 ; NBR 9833/87
	Massa específica	ABNT NBR 9833/87
	Trabalhabilidade/Abatimento ("Slump test")	ABNT NBR NM 67
	Espalhamento no cone de Abrams ("Slump Flow Test")	ABNT NBR 15823
	Início e fim de pega	ASTM C403; NBR NM 09
	Temperatura	
Concreto endurecido	Resistência à compressão uniaxial em corpos de prova	ABNT NBR 5739/07
	Módulo de elasticidade em corpos de prova	ABNT NBR 8522/03
	Extração de carotes e determinação de:	
	Resistência à compressão uniaxial	ABNT NBR 5739/07
	Módulo de elasticidade	ABNT NBR 7222/94
Concreto Compactado a rolo (CCR)		
Concreto no estado fresco	Ensaio Vebê	ACI 211.3/87
	Ensaio Vebê modificado "Cannon Time"	
	Massa unitária	
	Densidade <i>in situ</i> com densímetro nuclear	ASTM C1040M-08
Concreto endurecido	Resistência à compressão uniaxial em corpos de prova	ABNT NBR 5739/07
	Módulo de elasticidade em corpos de prova	ABNT NBR 8522/03
	Extração de carotes e determinação de:	
	Resistência à compressão uniaxial	ABNT NBR 5739/07
	Resistência à compressão diametral	ABNT NBR 7222/94
	Absorção de água por imersão	ABNT NBR 9778/87

4.3.7 Superfície da fundação e juntas de concretagem

A superfície de fundação deve ser preparada para o lançamento do concreto, segundo o indicado no item 4.2.4.

As juntas de concretagem correspondem a superfícies de interrupção dos lançamentos entre as diferentes camadas, devendo cada camada ser coberta com o concreto da camada superior, antes de iniciar a pega, de modo a assegurar uma ligação perfeita entre as duas camadas.

Quando só for possível lançar uma determinada camada, depois do concreto da camada anterior iniciar a pega, a junta resultante, designada por junta fria, deve ser tratada, de acordo com as especificações técnicas, considerando os resultados do bloco experimental para diferentes condições do processo construtivo, em especial no que se refere ao intervalo de interrupção, à temperatura ambiente e à eventual aplicação de uma argamassa de ligação.

4.3.8 Concretagem em condições desfavoráveis,

A concretagem não deve ser efetuada em período de chuva intensa, que possa provocar a lavagem de finos do concreto.

Em tempo frio, a concretagem deve ser efetuada, de acordo com as especificações técnicas, normas técnicas e regulamentos aplicáveis.

4.3.9 Fôrmas

As fôrmas e respectivas estruturas de suporte, em geral, constituídas por blocos ou painéis deslizantes, devem respeitar o referido no item 4.2.5 e, em especial, não devem impedir a fácil movimentação dos equipamentos de compactação, nem restringir excessivamente o acesso às áreas de trabalho.

4.3.10 Juntas de contração e seu tratamento

Nas barragens de CCR, em especial quando a estanqueidade é assegurada pelo concreto, devem ser previstas juntas de contração, formadas por cisalhamento de cada camada após concretagem ou por dispositivos indutores de fendas.

O tratamento por injeções das juntas de contração, assim como de eventuais fendas com desenvolvimento transversal, será efetuado, quando necessário, por meio de furos executados, a partir dos paramentos ou de galerias.

4.3.11 Galerias e órgãos anexos

A construção das galerias integradas no corpo das obras, tal como dos órgãos hidráulicos construídos em concreto convencional, deve ser realizada, de acordo com as especificações técnicas, devidamente aferidas, em função das reais condições de execução. Essa construção deve ser compatibilizada com os procedimentos de colocação do CCR e dos equipamentos.

4.3.12 Plano de concretagem

O plano de concretagem, integrado no programa de trabalhos, é um documento especialmente importante na construção de barragens de CCR, dado que cada concretagem envolve grande quantidade de concreto e o lançamento das camadas deve ser feito, de modo a evitar a formação de juntas frias.

O plano de concretagem deve definir as cotas das camadas de concretagem, as condições correspondentes à formação de uma junta fria, as datas para início e conclusão dos trabalhos, bem como datas-chave e os períodos previstos para a montagem dos equipamentos, referidos no item 2.11.

Na elaboração do plano de concretagem, devem ser considerados, entre outros aspectos:

- a) A compatibilização do lançamento do CCR com os elementos da obra, onde é utilizado concreto convencional, bem como, com os equipamentos dos órgãos extravasores e de operação;
- b) A capacidade em obra para a fabricação, transporte e lançamento do concreto;
- c) As épocas do ano em que se efetuam as concretagens;
- d) A compatibilidade das concretagens com as atividades de controle de concretos e de monitoramento do comportamento da obra.

4.4 Fundações e seu tratamento

Nas barragens de concreto, em geral, fundadas sobre maciços rochosos, a superfície de contato entre o concreto e o maciço de fundação, bem como, o maciço na vizinhança dessa superfície, devem ser objeto de tratamento, com vistas a assegurar que as propriedades desses maciços permitam um adequado comportamento estrutural e hidráulico do conjunto barragem-fundação.

No caso particular de barragens de concreto com elementos de obra apoiados em solos, o estudo desses elementos deve merecer especial cuidado, dos pontos de vista hidráulico e estrutural, e o tratamento da fundação deve ser realizado com as necessárias adaptações, como referido no item 3.7.1.

O tratamento da superfície de contato entre o concreto e o maciço rochoso de fundação das barragens de concreto convencional e compactado a rolo (CCR) foi referido nos itens 4.2.4 e 4.3.7.

O tratamento dos maciços rochosos de fundação das barragens de concreto, incluindo, em geral, trabalhos de consolidação, impermeabilização e drenagem, é referido nos itens seguintes, assim como aspetos do controle de qualidade desses trabalhos.

4.4.1 Consolidação, impermeabilização e drenagem

O tratamento dos maciços rochosos de fundação das barragens de concreto, em especial, a consolidação, a impermeabilização e a drenagem têm por objetivos:

- a) A consolidação, melhorar em especial as características mecânicas do maciço;
- b) A impermeabilização, controlar a percolação da água no maciço;
- c) A drenagem, recolher a água de percolação, de modo a controlar os gradientes hidráulicos e a subpressão na base da barragem e em eventuais superfícies de deslizamento potencial do maciço.

Os procedimentos, a serem adotados na realização dos trabalhos de consolidação, impermeabilização e drenagem da fundação, devem ter em consideração as disposições do projeto e as especificações técnicas estabelecidas, de acordo com o tipo e dimensões da barragem, assim como as particularidades do maciço de fundação, tais como, a alteração das rochas constituintes e suas feições, como sejam, o diaclasamento, estratificação e xistosidade, falhas, mergulhos e cavernas.

Deve ser observado que os procedimentos a serem adotados no tratamento das fundações devem ser revistos, durante a construção, de acordo com a informação adicional, obtida nessa fase, por intermédio dos trabalhos de investigação geológico-geotécnica complementar e de escavação.

4.4.2 Controle dos trabalhos de consolidação e impermeabilização

O controle dos trabalhos de consolidação e impermeabilização das fundações rochosas de barragens, tais como a realização dos furos, as características das caldas e as pressões de injeção, visa essencialmente:

- a) Garantir a estabilidade da barragem e do maciço de fundação na sua vizinhança, durante as injeções;
- b) Reduzir as fugas dos produtos de injeção;
- c) Avaliar a evolução das características do maciço nas diferentes fases do tratamento, possibilitando adequar o projeto à realidade;
- d) Estabelecer situações de referência no final dos trabalhos de tratamento e após o primeiro enchimento do reservatório, com as quais serão comparadas situações futuras, em fase de operação.

O controle dos trabalhos de consolidação e impermeabilização deve ser assegurado por intermédio de:

- a) Inspeção visual da superfície do maciço rochoso, das juntas da barragem e da interseção dos paramentos com a fundação;
- b) Detecção de eventuais comunicações entre furos, que não tenham sido previstas;
- c) Análise dos registros das pressões de injeção e das absorções em cada furo e sua comparação com os resultados de ensaios de permeabilidade;
- d) Interpretação dos resultados de observação, com vistas à detecção de eventuais comportamentos anômalos na barragem e na fundação.

A eficácia do tratamento pode ser avaliada, por comparação das propriedades iniciais do maciço rochoso com as obtidas em fases posteriores ao tratamento. As propriedades do maciço rochoso podem ser caracterizadas, por intermédio de ensaios de permeabilidade e de ensaios geofísicos, realizados em locais característicos da fundação, definidos com base no estudo do seu fraturamento (ICOLD, 2005) (RODRIGUES; OLIVEIRA; SOUSA, 1983).

O número e distância entre furos de injeção de caldas de cimento deverá ser ajustado no decorrer dos trabalhos, em função das quantidades de calda absorvidas em cada furo.

4.5 Problemas mais frequentes em decorrência de falha na construção

Nas barragens de concreto como principais deficiências decorrentes de falhas na construção podem referir-se:

- Percolação excessiva e erosão interna com arraste do material de enchimento das fissuras do maciço rochoso devido a deficiente tratamento de consolidação e de impermeabilização da fundação;
- Subpressões excessivas na fundação devido a tratamento deficiente de drenagem da fundação;
- Deformações excessivas ou movimentos diferenciais entre blocos, fendas fissuras e grandes passagens de água, devido a deficiente escavação de terrenos de má qualidade da fundação, falha de tratamentos de consolidação do maciço rochoso, ou falha do tratamento das juntas;
- Fissuras no concreto resultantes de recalques diferenciais da fundação;
- Degradação excessiva dos concretos devido a má qualidade dos concretos ou dos produtos das juntas, ou deficientes técnicas de construção do concreto e das juntas;
- Deterioração devida a expansões associadas a reações químicas (reatividade álcali-agregado) por falta de estudos do fenômeno durante o projeto e construção que permitam selecionar os materiais mais adequados para fabricação do concreto.

5 CONTROLE DE SEGURANÇA DURANTE A CONSTRUÇÃO

5.1 Monitoramento e instrumentação

O controle da segurança na fase de construção tem como principais objetivos, não só assegurar a não ocorrência de incidentes ou acidentes durante a construção, mas contribuir, também, para assegurar a qualidade da construção e para minimizar os eventuais impactos ambientais, associados à construção. Nessa fase, o controle de segurança apoia-se, essencialmente, nas inspeções de segurança, mas também no monitoramento dos resultados da instrumentação.

Na fase de construção, o Plano de Monitoramento e Instrumentação integrado no projeto deve ser convenientemente adaptado, para levar em consideração as reais condições encontradas na obra, e complementado com as especificações, relativas à instalação e uso dos instrumentos a serem instalados e respectivos acessórios, bem como aos procedimentos a seguir na utilização e manutenção desses instrumentos e acessórios.

Na realização das atividades de instrumentação da obra, deve ser levado em consideração que a qualidade dessas atividades vai condicionar, em larga medida, a qualidade do controle de segurança, ao longo da vida das obras.

Nos itens seguintes desenvolvem-se alguns aspectos das atividades de monitoramento e instrumentação específicos da fase de construção das obras.

5.1.1 Adaptação do Plano de Monitoramento e Instrumentação

No decurso da construção, podem ocorrer situações que, como referido, impliquem alterações ao Plano de Monitoramento e Instrumentação estabelecido no projeto, tais como:

- Alterações do projeto que obriguem a mudar a localização ou o tipo dos dispositivos de instrumentação previstos;
- Comportamentos anômalos que impliquem a instalação de instrumentos não previstos;
- Avarias dos instrumentos, devidas a deficiente instalação ou em resultado dos processos construtivos.

As alterações ao plano, que resultem de situações como as acima tipificadas, devem ser devidamente registradas. No caso de avarias dos instrumentos, os responsáveis pela adaptação do plano de monitoramento e instrumentação devem ser rapidamente informados, com o objetivo de permitir, sempre que possível, tomar medidas que possibilitem o controle das grandezas que deveriam ter sido medidas pelos equipamentos avariados.

A aplicação dos procedimentos ou as alterações referidas devem ser objeto de um relatório pormenorizado, a ser elaborado pelos responsáveis pela adaptação do plano de monitoramento e instrumentação. Esse relatório deve ser integrado no Plano de Segurança da Barragem.

5.1.2 Instalação dos instrumentos de monitoramento

A instalação dos instrumentos para a realização do monitoramento deve ser realizada, como referido, de acordo com as disposições do Plano de Monitoramento e Instrumentação, as quais devem indicar, com o devido detalhamento:

- A localização dos instrumentos de observação e os percursos dos cabos de ligação, quando for o caso;
- As especificações, relativas à instrumentação e respectivos acessórios, bem como, as instruções sobre a sua instalação e uso;
- A localização e constituição das centrais de leitura, quando for o caso;
- Os sistemas automáticos no local da obra, relativos à comutação, coleta, processamento, registro, e transmissão de dados e resultados, quando for o caso.

No caso de instrumentação, sobre a qual existe experiência significativa, devem ser referidas as eventuais anomalias registradas, bem como as suas causas, presumíveis ou constatadas. No caso de dispositivos insuficientemente conhecidos, deve ser, sempre que possível, prevista a realização de estudos e ensaios prévios e a instalação, em paralelo, de dispositivos tradicionais, de forma a controlar a confiabilidade dos novos dispositivos.

As especificações técnicas devem incluir disposições, com vistas a proporcionar uma adequada coordenação entre os trabalhos de construção e de monitoramento e instrumentação, de modo a minimizar a ocorrência de danos nos aparelhos ou nos acessórios, causados por pessoal ou equipamento envolvido na construção, assim como alertar para evitar eventuais perturbações no ritmo de construção.

5.1.3 Leitura, processamento e arquivamento de dados e resultados

Após a instalação, cada instrumento deve ser lido e os resultados registrados, de acordo com as metodologias estabelecidas no Plano de Monitoramento e Instrumentação. Se o sistema de leitura for automatizado, o mesmo deve ser descrito.

No Quadro 7 e no Quadro 8 indicam-se as frequências mínimas recomendadas para leitura dos instrumentos utilizados no monitoramento. 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).

O processamento dos dados, a análise e interpretação dos resultados devem ser realizados, de acordo com as metodologias estabelecidas no Plano de Monitoramento e Instrumentação.

Os dados de instrumentação devem ser verificados no local da obra, imediatamente em seguida à sua coleta, de modo a permitir a correção de eventuais erros de leitura ou a confirmação de valores aparentemente anômalos.

Os critérios de validação de dados e resultados devem ser estabelecidos, com base nos métodos de interpretação e análise disponíveis no local das obras.

Quadro 7. 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
Porosidade	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 1 ano geralmente.

Quadro 8. 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 1 ano geralmente.

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.

5.2 Inspeções de segurança

Antes de dar início ao primeiro enchimento do reservatório, de acordo com o Plano de Enchimento do Reservatório referido no *Guia para o Projeto de Barragens*, em especial no caso de barragens de dano potencial alto, deve ser realizada uma inspeção de segurança especial. Essa inspeção, que pode ser feita de forma antecipada, simultânea ou posterior ao final da construção, visa, essencialmente, verificar se o estado da obra e a operacionalidade

dos dispositivos de fechamento do rio e dos equipamentos dos órgãos extravasores e de operação, assim como da implementação do Plano de Monitoramento e Instrumentação e do PAE (nas obras em que é requerido), permitem dar início ao enchimento do reservatório.

Podem também ser realizadas outras inspeções de segurança especiais durante a construção, visando detectar eventuais problemas de qualidade ou de deterioração das obras. Nesses casos, deve ser, sempre que possível, referenciado devidamente o local da deterioração, com marca ou dispositivo apropriado, devidamente datado, e obtidas fotografias ilustrativas. Deve ser levado em consideração que, na fase de construção, por vezes, não é possível manter essas marcas por muito tempo.

No relatório de cada Inspeção de Segurança Especial, realizada na fase de construção, deve constar, além da avaliação da própria inspeção, a análise dos relatórios anteriores e dos respectivos registros de instrumentação, visando fundamentar a análise do comportamento, assim como, os planos de operação do monitoramento ou eventuais reparações.

5.3 Análise e interpretação dos resultados

A análise e interpretação dos resultados do monitoramento e inspeção das diferentes estruturas, que se vão materializando, ao longo da construção, permitem, não só avaliar as suas condições de segurança, mas obter, também, contribuições significativas para:

- O ajustamento de métodos e processos construtivos;
- A determinação de características dos materiais, da barragem e dos maciços de fundação;
- A avaliação da resposta da barragem a ações construtivas (instalação do peso próprio, desenvolvimento de poropressões, injeção de juntas ou fendas, tratamento das fundações, introdução de protensão, etc.);
- A calibração dos modelos de comportamento por métodos de análise ou retroanálise;
- A definição das características estruturais e do estado de tensão instalado na barragem, na época de referência no final da construção.

5.4 Plano de Segurança da Barragem

De acordo com a Lei nº12.334, de 20 de setembro de 2010, o empreendedor deve constituir o Plano de Segurança da Barragem, incluindo as informações gerais relativas ao empreendimento e à estrutura organizacional do empreendedor, a documentação técnica do empreendimento, os planos e procedimentos de operação e manutenção e respectivos registros e controles, o PAE (nas obras em que é requerido), e as revisões periódicas de segurança. Este Plano deve estar devidamente constituído com toda a informação recolhida até ao final da construção, com vista ao apoio das atividades de controle de segurança durante o enchimento do reservatório).

No caso de barragens fiscalizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), a organização do Plano de Segurança da Barragem deve seguir as disposições estabelecidas pela Resolução da ANA nº 91/2012.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CBDB. **Main Brazilian Dams. Design, Construction and Performance**. Brazilian: Committee On Large Dams, 1982.

COLORADO DIVISION OF WATER RESOURCES. **Rules and Regulations for Dam Safety and Dam Construction**. State of Colorado. Department of Natural Resources. Division of Water Resources. Office of the State Engineer Dam Safety Branch. Denver, Colorado, US, 2007.

CRUZ, P.T.; MATERÓN, B.; FREITAS, M.. **Barragens de Enrocamento com Face de Concreto**: Concrete Face Rockfill Dams. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2009.

ELETRONBRAS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas S.A., 2003.

ESTEVES, J. M.. **Controlo de Vibrações Provocadas por Explosões na Indústria da Construção**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, 1993.

ICOLD. **Concrete Face Rockfill Dams: Concepts for Design and Construction**. Bulletin 141. Paris: International Commission On Large Dams, 2010.

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

Ministerio de Obras Publicas, Transportes Y Medio Ambiente. Madrid: Real Decreto 9/2008.

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

NCB. **Normas de Construção Projecto de Barragens**: Anexo à Portaria nº 246/98 de 21 de Abril, 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. Lisboa, Portugal: Diário da República, 1998.

RODRIGUES, L. F.; OLIVEIRA, R.; SOUSA, A.C.. **Cabril Dam – Control of the Grouting Effectiveness by Geophysical Seismic Tests**. Melbourne, Australia: Annals of the V Congress of International Society on Rock Mechanics, 1983.

SANCHES, R.; PEDRO, J. O.. **Alqueva. Empreendimento de Fins Múltiplos**. EDIA, Portugal: Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A., 2006.

USACE. **Construction Control for Earth and Rock-Fill Dams**: EM 1110-2-1911. U.S. Army Corps of Engineers, 1995.

USACE. **Earth and Rock-Fill Dams: General Design and Construction Considerations**. EM 1110-2-2300. U.S. Army Corps of Engineers, 1994.

USACE. **General Design and Construction for Earth and Rock-Fill Dams**: EM 1110-2-2300. Washington, D.C.: US Army Corps of Engineers, 2004.

USSD. **Materials for Embankment Dams**. United States Society on Dams, 2011.

WATZKO, A.. **Barragens de Enrocamento com Face de Concreto no Brasil**. Florianópolis-SC: Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia

Civil - PPGEC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, 2007.