

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

RS

ANA

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

3. ANOMALIAS EM BARRAGENS

3.2. VERIFICAÇÃO DE ANOMALIAS

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.1

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

RS

ANA

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

3.2. VERIFICAÇÃO DE ANOMALIAS

No Manual do MI (2002) foi incluído *Checklist*, onde foi estabelecida tabela para Classificação de Anomalias (e Grau de Risco para a Barragem).

É preciso tomar cuidado na colocação de valores (Magnitude & Nível de Perigo), dada a dificuldade em se entender realmente as condições existentes.

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.2

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

RS

ANA

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Na REN n. 236/17 ANA (Capítulo III), há o Nível de Perigo da Anomalia – NPA, que se restringe a cada Anomalia encontrada em relação ao perigo causado à Segurança da Barragem, especificamente.

Há também o Nível de Perigo Global da Barragem – PGB (Capítulo IV), o qual representa a gradação dada à Barragem em função do comprometimento de sua Segurança decorrente do efeito conjugado de Anomalias.

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.3

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos



Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.4

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

As anomalias em Barragens de Concreto podem estar relacionadas com Materiais / Construção / Operação.

A falta de qualidade na produção e/ou lançamento do concreto (inclusive travamento de formas) pode provocar Grumos ou Desalinhamentos de Superfícies, Recobrimento inadequado, etc.

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.5

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

As anomalias em Barragens de Concreto podem estar relacionadas com Materiais / Construção / Operação.

A perda de Resistência do concreto (inclusive de Origem Térmica - Retração) pode provocar a Ruptura na estrutura, a qual, dependendo da abertura, pode ser considerada:

- Fissura;
- Trinca;
- Fratura; Fenda; Brecha; etc.

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.6

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Quadro 2 Tipos de fissuração – Concreto endurecido

TIPO	CAUSA PRINCIPAL	CAUSA SECUNDÁRIA	SINTOMA	LOCALIZAÇÃO MAIS COMUM	POSSÍVEL AÇÃO CORRETIVA
Retração por secagem ao longo do tempo (retração hidráulica)	Juntas insuficientes.	Fissuração excessiva; cura insatisfatória	Fissuração paralela usualmente mais fina de 0,1 mm de concreto armado.	Lajes e paredes delgadas.	Reduzir o teor de água no concreto e melhorar o processo de cura; diminuir o espaçamento das juntas.
Alveolares	Forma impermeável.	Misturas ricas.	Fissuração na forma de pele de crocodilo.	Lajes	Melhorar o processo de cura e acabamento.
Condição da armadura	Cobrimento insuficiente; uso de cimento de baixo grau.	Concreto de baixa qualidade.	Fissuração ao longo das barras, inicialmente finas, crescendo com o tempo devido ao deslocamento do concreto.	Pilares e vigas; concreto sujeito a ação de cloretos.	Eliminar as causas.
Reação alcali agregado	Agregados reativos.		Fissuração avulsiva característica em concreto pouco armado e fissuração na direção da armadura principal em concreto armado.	Locais úmidos.	Usar material pozzolânico no concreto.

Elaborador: Ruben José Ramos

Fonte: MEDERROS, Carlos Henrique et al. Material Didático do Curso de Especialização em Segurança de Barragens (2006). ARZIVO ANA - <http://arquivoana.ana.gov.br/contenuto/curso/segur/2007/22>

Projeção 3.2.7

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Quadro 3 - Fissuração grave para a segurança de barragens de concreto

LOCAL	TIPO E CARACTERÍSTICAS	CAUSAS POSSÍVEIS	POSSÍVEIS AÇÕES CORRETIVAS
BARRAGEM DE CONCRETO			
Crista	Transversal, estendendo-se de montante para jusante, com profundidade igual ou superior a 30cm.	Sobrecarga excessiva da barragem; terremoto; recalque de fundação; tensões de origem térmica.	Eventualmente rebatimento do reservatório e tratamento da fundação.
Paramentos ou faces	Vertical e diagonal, mais de 1,5m de comprimento e 30cm de profundidade.	Tensões excessivas; tensões de origem térmica.	Injeção com epóxi para selar as fissuras e restaurar a monoliticidade do concreto; utilizar membranas sobre as fissuras para vedar eventuais infiltrações que estejam ocorrendo.
Galerias	Fissuras verticais contínuas através de paredes, teto e piso, com abertura superior a 1mm e ocorrência de um pouco de infiltração.	Tensões de origem térmica na massa do concreto e reação de fundação.	Injeção de calda de cimento ou resina.
Contrafortes e laje em barragem de contrafortes	Fissuras verticais, contínuas a partir da fundação, comprimentos iguais ou superiores a 15cm.	Recalque de fundação; tensões de origem térmica; terremoto.	Injeção de epóxi; eventual reforço com protensão no contraforte.

Elaborador: Ruben José Ramos

Fonte: Adaptado de Training Aids for Dam Safety, 1990, p. 1-14.

Projeção 3.2.8

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

RS

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Injeção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Quadro 3 - Fissuração grave para a segurança de barragens de concreto

LOCAL	TIPO E CARACTERÍSTICAS	CAUSAS POSSÍVEIS	POSSÍVEIS AÇÕES CORRETIVAS
VERTEDOUROS E CONDUTOS			
Paredes, muros, lajes de fundo de canais ou bacias de dissipação	Aberturas de fissura superiores a 1mm e com profundidades superiores a 15cm.	Variações de temperatura; armadura insuficiente.	Limpar, remover concreto solto; injetar epóxi nas fissuras, refazer acabamento superficial; eventualmente acrescentar armadura.
Conduto de adução e de fuga	Fissuração causando infiltração na barragem; fissuras estruturais e paredes.	Recalques diferenciais; erosão da fundação.	Selar as fissuras com resina; injetar em torno do conduto para melhorar as condições de suporte; tratamento de fundação.

Fonte: Adaptado de Training Aids for Dam Safety, 1990, p. 1-14.

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Fonte: MEDERROS, Carlos Henrique et al. Material Didático do Curso de Especialização em Segurança de Barragens (2006). ARZIVO ANA - <http://arquivoana.ana.gov.br/contenuto/curso/segur/2007/22>

Projeção 3.2.9



Projeção 3.2.10



Projeção 3.2.11



Projeção 3.2.12



Projeção 3.2.16



Projeção 3.2.17



Projeção 3.2.18

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e segurança em Barragens de Usos Múltiplos

As Anomalias em Barragens de Concreto podem estar relacionadas com Materiais / Construção / Operação.

Irregularidades superficiais em Estruturas Hidráulicas, em Concreto, podem provocar a Erosão por Cavitação.

Facilitador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.19

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Figura 42 – Possibilidades de ocorrência de cavitação em superfícies irregulares

Fonte: Adaptado de Falvey, 1990, p.15.

Facilitador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.20

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Figura 45 – Buraco formado devido à erosão por cavitação.

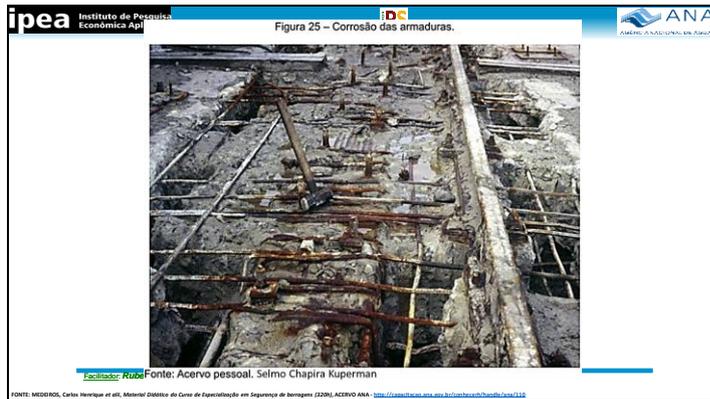
Fonte: Acervo pessoal. Selmo Chapira Kuperman

Facilitador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.21



Projeção 3.2.25



Projeção 3.2.26



Projeção 3.2.27

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

As Anomalias em Barragens de Concreto podem estar relacionadas com Materiais / Construção / Operação.

A ação da natureza, em contato com Instrumentos de drenagem (Drenos) em Estruturas Hidráulicas, em Concreto, podem provocar a Obstrução por Anomalias:

- BIOLÓGICAS;
- FÍSICAS;
- QUÍMICAS;

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.28

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Figuras 59 e 60 – Colmatção de drenos de origens biológica (raízes) e química



Fonte: CEMIG GT

FONTE: MEDRICO, Carlos Henrique et al. Material Didático do Curso de Especialização em Segurança de Barragens (220h), ACERVO ANA. <http://assinadigital.ana.gov.br/assinadigital/assinadigital/220>

Projeção 3.2.29

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

As Anomalias em Barragens de Enrocamento e/ou de Terra podem estar relacionadas com problemas de Materiais / Construção / Operação.

Se não houver projeto e construção adequados, o Núcleo Impermeável pode ser Erodível ou o Filtro não ser adequado (podendo ocorrer a Erosão Hídrica - *Piping*).

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.30

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Figura 53 - Ruptura por Piping, apesar dos Colares



Fonte: RCP Spillway Anti-seep Collars Schnabel Engineering Piping Failure

Fonte: MESSERIG, Carlos Henrique et al. Manual Oculista de Curso de Especialização em Segurança de Barragens (2006). AGÊNCIA ANA. <http://www.ana.gov.br/Arquivos/Manual%20OC.pdf>

Projeção 3.2.31

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Pode ocorrer Percolação excessiva pelas Fundações e/ou Aterro, provocando Subpressão elevada, causando redução das condições de Estabilidade.

Em Solos Arenosos, o excesso de Umidade e possíveis Vibrações e/ou Subpressões elevadas, podem provocar a ocorrência de Liquefação no Aterro, com conseqüente Ruptura.

Elaborador: Rubem José Ramos Cardia

Projeção 3.2.32

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Pode ocorrer Percolação excessiva pelas Fundações e/ou Aterro, provocando Subpressão elevada, causando redução das condições de Estabilidade.

Caso ocorra dissolução e/ou carreamento de solos (principalmente Calcários / Karsticos), essa movimentação e aumento de cavidades, podem provocar Afundamentos no Aterro e/ou Fundações, com risco de Ruptura.

Podem ser: SUBSIDÊNCIA / *Sinkhole* / SUFUSÃO / DOLINA.

Elaborador: Rubem José Ramos Cardia

Projeção 3.2.33

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **GOV RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Figura 57 - Subsidência na Crista Causada por Piping



Fonte: Sinkhole in crest of new Dam in Maryland-Piping along Spillway Conduct.

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Fonte: MOURÃO, Carlos Henrique et al. Monitoramento do Curso de Aproveitamento em Segurança de Barragens (2006). ACQUIVO ANA: <http://www.ana.gov.br/Documentos/seguranca/seguranca.htm>

Projeção 3.2.34

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **GOV RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

A ausência de Manutenções, não só irá causar um aspecto de abandono nas estruturas, como poderá dificultar o monitoramento e facilitar o desenvolvimento de uma condição 'Não Normal'.

Essa condição poderá se tornar uma séria Anomalia, vindo a afetar a Operacionalidade (virando Incidente) ou até mesmo a Segurança da Barragem (Acidente).

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.35

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **GOV RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

A falta de monitoramento, a ocorrência de Anomalias e a ausência de manutenção, pode resultar em Incidente ou Acidente com a Barragem.

- Incidente = Afeta a Operacionalidade do Empreendimento;
- Acidente = Afeta a Segurança da Barragem;

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.36

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Para se garantir o conhecimento das possíveis causas de Rupturas de Barragem, deve ser efetuada:
Análise dos Prováveis Modos de Ruptura – **PFMA**.

Para se garantir o conhecimento das possíveis consequências (além das causas) de Rupturas de Barragem, deve ser efetuada:
Análise dos Modos de Falha e Efeitos – **FMEA**;

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.37

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Alguns dos:
Prováveis Modos de Ruptura – PFMA.

- Galgamento;
- Erosão Hídrica / *Piping*;
- Escorregamento de Taludes;
- Sismo;
- Liquefação;
- Recalques Diferenciais;
- Perda de Resistência Estrutural;
- Deficiência de Fundações; etc

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.38

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e segurança em Barragens de Usos Múltiplos

GALGAMENTO: O galgamento irá afetar Barragens de Aterro, sendo que em virtude da altura de lâmina de água e do tempo de galgamento, pode se iniciar erosão no talude jusante e provocar ruptura do aterro.

GALGAMENTO: O galgamento irá afetar menos as Barragens de Concreto, sendo que pode ocorrer a ruptura, em função de erosão no pé jusante da estrutura ou encontro de ombreiras;

Expositor: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.39

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

EROSÃO HÍDRICA: Podem existir erosões hídricas superficiais por enxurradas concentradas (Ravinas).

EROSÃO HÍDRICA / Piping: O carreamento de sólidos no interior do aterro ou pelas fundações, com filtro inadequado, pode provocar a erosão.

EROSÃO HÍDRICA / Piping: A erosão pode ser na forma tubular progressiva para montante (*Piping*), resultando em ruptura na 'Sunny Day'.

Facilitador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.40

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Figura 52 - Erosão por Piping na Barragem



Facilitador: Rui Fonte: 319 Medford Genstar piping failure HVA larger

FONTE: MEDERDOL, Carlos Henrique et al. Material Didático do Curso de Especialização em Segurança de Barragens (2006). ARQUIVO ANA - <http://www.ana.gov.br/assessoria/ana/ana/319medfordgenstarfailurehva071206>

Projeção 3.2.41

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

ESCORREGAMENTO DE TALUDES = Seja qual for o motivo (Erosão; Perda de Resistência; etc.) nem sempre ocorre a Ruptura Total da Barragem de Aterro.

Dependendo do local (principalmente em encontros ou perto da crista) essa Anomalia pode ocasionar a Ruptura;

Facilitador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.42

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL INFRAESTRUTURA **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

SISMO = No Brasil não é comum a ocorrência de Sismo com intensidade superior a 4,5 graus na escala *Richter* e assim, dificilmente irá acarretar Ruptura.

SISMO = Pode ocorrer destruição de Pilares, Torres, etc., em estruturas de concreto.
Há risco de Trincas e Recalques em estruturas de Aterro.

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.43

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL INFRAESTRUTURA **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

LIQUEFAÇÃO = Vibração excessiva (Sismo; Explosivos; Operação de Equipamentos; etc.), desde que haja saturação necessária à instalação deste fenômeno, pode provocar instabilidade de aterros arenosos, podendo chegar à Ruptura por Liquefação.

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.44

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **RS** GOV. DO RIO GRANDE DO SUL INFRAESTRUTURA **ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

RECALQUES DIFERENCIAIS = A irregularidade de fundações e definições de projeto podem resultar em rápidas mudanças de altura de Aterros.

Nesses locais, podem ocorrer Recalques, com diferentes intensidades (Diferenciais), resultando em Trincas.

Se forem Transversais, podem provocar passagem de água e a consequente Ruptura.

Elaborador: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.45

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **IRS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

Figura 49 – Trinca provocado por recalque diferencial dos materiais do aterro



Figura 48 – Recalque localizado, perceptível na crista da barragem



Fonte: CEMIG GT

Elaborado: Ruben José Ramos Cardia

Fonte: MOURÃO, Carlos Henrique et al. Manual Técnico de Curso de Aperfeiçoamento em Segurança de Barragens (2006). ARQUIVO ANA: http://www.ana.gov.br/Documentos/Manual_Curso_06.pdf

Projeção 3.2.46

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **IRS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

PERDA DE RESISTÊNCIA = O excesso de carregamento e/ou a deterioração progressiva na estrutura, podem provocar a insuficiência ou a perda de resistência, levando a uma fratura ou até à Ruptura.

Isso pode se dar por Subpressão elevada; Saturação do Aterro; aplicação de carga de forma inadequada; excesso de vazios; etc.

Elaborado: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.47

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada **IRS** **ANA** Agência Nacional de Águas

Inspecção e Segurança em Barragens de Usos Múltiplos

DEFICIÊNCIA DE FUNDAÇÕES

Camadas ou contatos e feições geológicas frágeis nas fundações, podem permitir a remoção de material (por percolação) ou deslocamento de materiais, causando instabilidade e Ruptura da estrutura, principalmente em barragens de concreto.

Elaborado: Ruben José Ramos Cardia

Projeção 3.2.48
