

**Curso:**

# **Inspeção e Segurança de Barragens**

**FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU – BRASIL  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**

**NOTAS DE AULA:**

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

**ANTONIO NUNES DE MIRANDA  
Engenheiro Civil – PhD**

**2016**



# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

## ÍNDICE

	Página
<b>UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO</b>	
VISÃO GERAL.....1	
Introdução	
Objetivos da Unidade	
FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO.....2	
Introdução	
Características das Barragens de Aterro	
Tipos das Barragens de Aterro	
Barragens de Terra	
Barragens de Enrocamento	
PARTES DAS BARRAGENS DE ATERRO.....7	
Introdução	
Talude de Montante	
Talude de Jusante	
Crista e Bordas	
Pé de Jusante	
Ombreira	
Reservatório	
Conduitos Hidráulicos	
Dreno de Pé	
Convenções	
Resumo	
TÉCNICA DE INSPEÇÃO DO MACIÇO.....11	
Introdução	
Inspeção de taludes	
Inspeção de Barragens de Enrocamento	
Inspeção dos Encontros	
Inspeção da Crista	
Técnicas de Observação	
RESUMO..... 16	

Continua...

# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

## ÍNDICE

Página

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS

VISÃO GERAL.....	1
Introdução	
Objetivos da Unidade	
INFILTRAÇÃO.....	2
O Que é Infiltração	
Controle da Infiltração Através de drenos Internos	
Controle da Infiltração Através de Poços de Alívio	
Problemas de Infiltração	
Instabilidade	
Piping (entubamento)	
Erosão Interna	
Formas de Infiltração	
Áreas Propensas a Infiltração	
Monitorando Infiltrações	
Soleiras e Calhas	
Piezômetros	
Drenos	
Drenos Obstruídos	
Poços de Alívio	
Turbidez	
FISSURAS.....	15
O Que é Fissura?	
Fissuração Transversal	
Fissura Transversal: Inspeção	
Fissuração Longitudinal	
Fissura Longitudinal: Inspeção	
Fissuração por Ressecamento	
Fissura por Ressecamento: Inspeção	
INSTABILIDADE.....	20
Instabilidade	
Deslizamentos	
Deslizamento Superficial	
Deslizamento Superficial: Inspeção	
Deslizamento Profundo	
Deslizamento Profundo: Inspeção	
Deformação (“Spreading”) Lateral	
Abaulamentos (“Bulges”) devido a Deformação Lateral: Inspeção	

Continua...

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

### ÍNDICE

	Página
SUBSIDÊNCIAS (“SINKHOLES”).....	24
Subsidências	
Subsidências: Inspeção	
DEPRESSÕES.....	25
Depressões	
Detectando Depressões	
Depressões: Inspeção	
PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO.....	27
Problemas de Manutenção	
Proteção Inadequada dos Taludes	
Riprap	
Proteção Vegetal	
Erosão pelas Ondas e Proteção dos Taludes	
Proteção Inadequada dos Taludes: Inspeção	
Erosão pelas Águas Superficiais	
Ravinas	
Proteção dos Taludes e Crista	
Erosão pelas Águas Superficiais: Inspeção	
Desenvolvimento Impróprio da Vegetação	
Crescimento Excessivo da Vegetação	
Vegetação com Raízes Profundas	
Crescimento Impróprio da Vegetação: Inspeção	
Detritos	
Detritos: Inspeção	
Cavas de Animais	
Cavas de Animais: Inspeção	

**Curso:**

# **Inspeção e Segurança de Barragens**

**FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU – BRASIL**

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**

**Inspeção de Barragens de Aterro**

**Unidade I**

**Inspeccionando o Maciço**

# **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS**

## **UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: VISÃO GERAL**

### **INTRODUÇÃO**

Esta primeira unidade apresenta:

- Fundamentos das Barragens de Aterro
  - Características das Barragens de Aterro
  - Tipos das Barragens de Aterro
- Aspectos das Barragens de Aterro
- Técnicas de Inspeção de Barragens de Aterro

Caso você esteja iniciando-se em inspeções de segurança de barragens, as informações apresentadas nesta unidade fornecerão uma importante base e conhecimentos. A apresentação do processo de inspeção foi desenvolvida de modo a orientar a realização de uma abrangente inspeção do maciço de uma barragem.

Se você tem experiência com barragens de aterro, esta unidade servirá de revisão da terminologia chave usada em inspeções de barragens. Como a terminologia costuma variar, pode ser útil rever esta seção para se familiarizar com as palavras que serão usadas neste módulo.

### **OBJETIVOS DA UNIDADE**

Após completar esta unidade, você será capaz de:

- Descrever as características de uma barragem de aterro.
- Descrever os diferentes tipos de barragens de aterro.
- Listar os principais aspectos de uma barragem de aterro e descrever a função de cada uma de suas partes.
- Descrever os procedimentos de inspeção dos taludes de montante e jusante, crista, ombreiras, pé e drenos de uma barragem de aterro.

# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

## UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO:

### FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO

#### INTRODUÇÃO

Esta seção fornece informações sobre as características e tipos de barragens de aterro. Alguns tipos de barragens de aterro podem ser mais susceptíveis que outras a certos tipos de deficiências. Entendendo como as barragens são projetadas e construídas ajudará a realizar as inspeções.

#### CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS DE ATERRO

Barragens de aterro são definidas como aquelas construídas principalmente com materiais naturais da terra, ou seja, solo e rocha.

As barragens de aterro geralmente têm certas vantagens em relação às barragens de concreto no que diz respeito às condições do sítio e economia.

- **Condições do Sítio:** Barragens de aterro podem ser construídas em uma gama de variedades de fundações e topografia mais larga que as barragens de concreto.
- **Economia:** Barragens de aterro são tipicamente construídas com materiais escavados perto, ou no local, da barragem e usualmente requerem somente um processamento mínimo.

A principal vulnerabilidade das barragens de aterro é que elas podem sofrer danos ou serem destruídas se a altura da barragem ou a capacidade do vertedouro forem insuficientes a ponto de levarem ao transbordamento e conseqüente erosão do maciço. Ou, ainda, se uma fuga de água descontrolada resultar em erosão interna do maciço ou da fundação.

Não há um projeto padrão de barragens de aterro que possa se aplicar a qualquer tipo de sítio. Assim, uma barragem de aterro deve ser projetada especificamente para as condições particulares do local de construção. A escolha do tipo de obra que é mais adequada ao sítio depende da cuidadosa consideração dos seguintes fatores:

- Topografia, geologia e condições de fundação do sítio.
- Disponibilidade dos materiais de construção.
- Requisitos de vertedouros e tomadas d'água.
- Condições climáticas.
- Operação do reservatório.
- Considerações sobre a manutenção.

Falha dos projetistas em levar em consideração um ou mais destes fatores pode ter implicação na segurança da barragem. Uma vez estes fatores tendo sido considerados, o custo da obra passa a ser o fator decisivo na escolha do tipo de barragem a ser construída.

# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

## UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO:

### FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO

#### TIPOS DE BARRAGENS DE ATERRO

Existem duas principais categorias de barragens de aterro: barragens de terra e barragens de enrocamento. Ainda que várias diferentes definições de barragens de terra e enrocamento sejam usadas, as mais comuns são:

- **Barragens de Terra:** Barragem formada em mais de 50%, em volume, por material terroso (aterros compostos por solo e material rochoso predominantemente com granulometria igual, ou menor, que pedregulho).
- **Barragens de Enrocamento:** Barragem formada em mais de 50% por enrocamento (predominantemente com tamanho igual, ou maior, que pedra de mão).

Estes dois principais tipos podem ser subdivididos ainda com base na disposição dos materiais ou nos processos construtivos. Figura I-1, na página seguinte, mostra os tipos mais comuns de barragens de terra e enrocamento.

#### **Barragens de Terra**

O advento de grandes equipamentos de terraplenagem e de compactação tornou possível a construção dos modernos maciços compactados. Nestas obras, materiais extraídos das jazidas ou escavados para execução de outras estruturas são transportados para o local do aterro e espalhados em camadas. Cada camada sendo cuidadosamente compactada e ligada a camada precedente por rolos compactadores motorizados. Barragens de maciços compactados são basicamente de dois tipos: homogênea ou zoneada.

##### Barragens de Maciço Homogêneo

Uma barragem homogênea é composta por somente um tipo de material, a menos das proteções dos taludes. O material deve ser suficientemente impermeável para constituir uma barreira a passagem da água e os taludes devem ter uma inclinação suficientemente pequena para garantir a estabilidade do maciço e a dissipação adequada da carga hidráulica quando a água do reservatório percola através da barragem. Em uma barragem homogênea modificada, pequenas zonas bem localizadas de material permeável controlam a infiltração através do maciço. (Ver Figura I-1.)

##### Barragem Zoneada

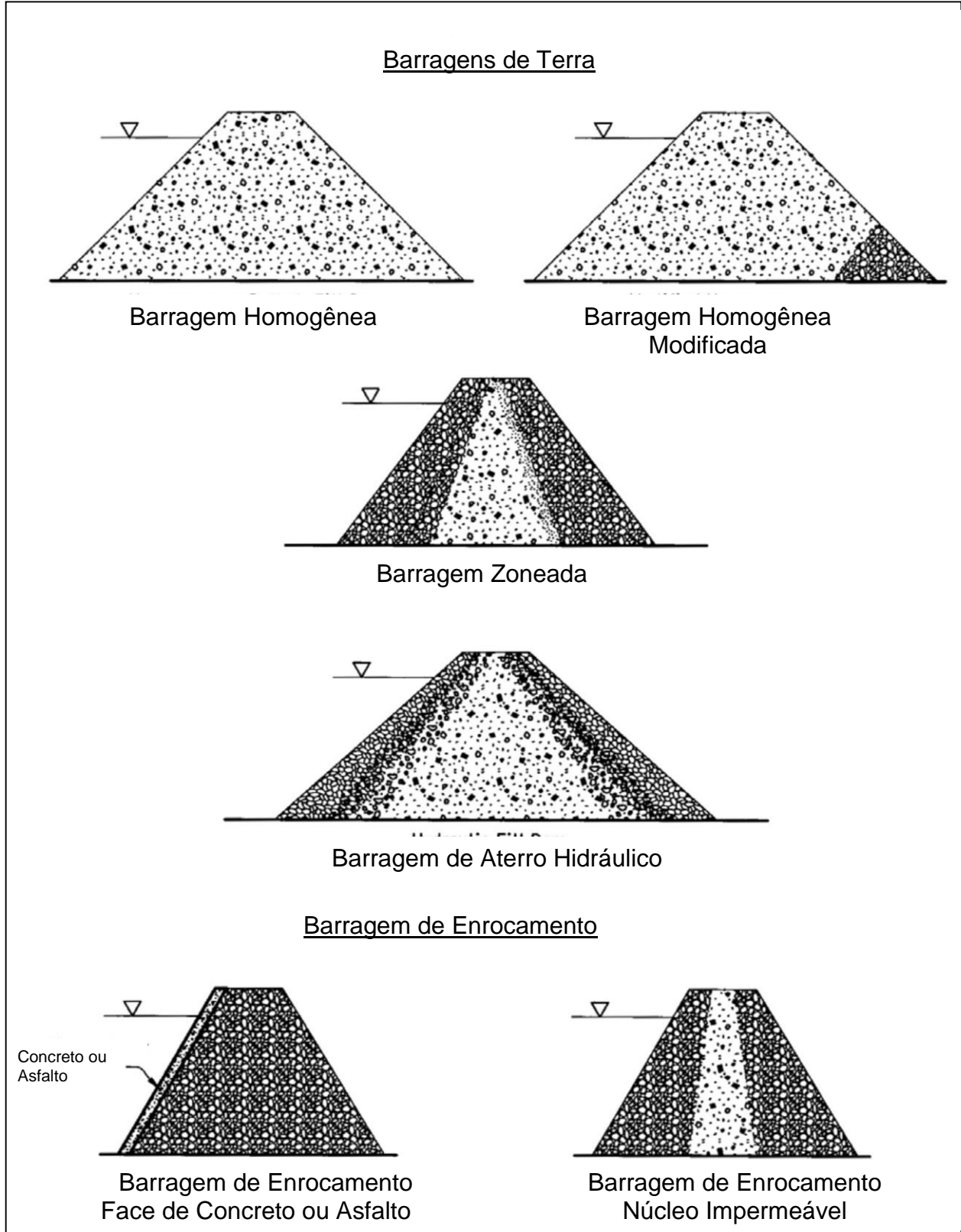
O tipo mais comum de barragem de terra é a zoneada, na qual um núcleo central impermeável é flanqueado por zonas de material mais resistente e geralmente mais permeável, chamadas de zonas externas. As zonas externas envolvem, suportam e protegem o núcleo impermeável. A zona externa de montante garante a estabilidade contra esvaziamento rápido do reservatório enquanto a de jusante assegura a estabilidade e funciona com dreno para controlar a água que infiltra através do maciço. (Ver Figura I-1.)

# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

## UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO:

### FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO

FIGURA I-1. PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS DE ATERRO



## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS**

### **UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO:**

#### **FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO**

##### Barragens de Aterro Hidráulico

Algumas velhas barragens de terra, conhecidas como barragens de aterro hidráulico, foram construídas usando água para transportar o material para formação do maciço. Neste método de construção, o material é descarregado a partir de tubos posicionados nas bordas externas do aterro. O material mais grosso é depositado logo após o ponto de descarga, enquanto que os finos são carreados para a parte central do aterro. O resultado é um maciço zoneado com um núcleo relativamente impermeável, mas o aterro resultante fica saturado e pouco compacto, o que torna este tipo de barragem susceptível a grandes deformações durante terremotos. Este método era econômico e conseqüentemente popular antes do advento dos modernos equipamentos de terraplenagem.

##### **Barragens de Enrocamento**

As barragens de enrocamento têm dois componentes estruturais básicos: uma zona impermeável e o enrocamento que suporta esta zona impermeável. Barragens de enrocamento podem ser classificadas com base nas características da zona impermeável em três tipos: Barragem de Face Impermeável, Núcleo Impermeável e Diafragma.

##### Barragem de Face Impermeável

Em uma barragem de face impermeável, o corpo da barragem é construído com rocha (pedra de mão ou maior) e uma parede de material impermeável é usado para barrar a água. Esta barreira impermeável é colocada na face de montante, podendo ser de concreto, asfalto ou outro material. (Ver Figura I-1.)

Barragens de face impermeável apresentam diversas vantagens. Elas têm mais estabilidade contra escorregamento a jusante que uma barragem de núcleo impermeável. Se a operação da barragem permitir, o reservatório pode ser periodicamente esvaziado para verificar a integridade da face impermeável e, se necessário, reparos podem ser feitos. Ainda mais, pressão da água no interior do maciço não representa problema e a barreira impermeável, sendo de montante, pode ser instalada após a execução do enrocamento sem ser afetado pelos recalques que ocorrem durante a construção.

Pelo lado negativo, por ser exposta, a face impermeável a montante é suscetível a danos.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS**

### **UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO:**

#### **FUNDAMENTOS DAS BARRAGENS DE ATERRO**

##### Barragem de Núcleo Impermeável

Barragens de núcleo impermeável têm configuração semelhante a uma barragem de terra zoneada, mas suas zonas externas são construídas com enrocamento grosseiro livremente drenante que é mais estável que um solo de granulometria fina, possibilitando taludes mais íngremes e resultando em projetos mais econômicos, pois um menor volume de material é requerido. (Ver Figura I-1.) Núcleos impermeáveis de solo neste tipo de barragem são executados do mesmo modo de um aterro compactado. As zonas externas de enrocamento são compactadas com grandes rolos compactadores vibratórios, o que leva a reduzidos recalques pós-construção. Por outro lado, antes do advento destes equipamentos, os enrocamentos eram lançados sem compactação e apresentavam recalques consideráveis ao longo do tempo. Assim, recalques diferenciais entre zonas externas mal compactadas e o núcleo bem compactado têm ocorrido em muitas destas barragens mais antigas. Uma barragem de núcleo impermeável bem projetada e executada com cuidado apresenta alta resistência a deformações durante terremotos.

##### Barragem Diafragma

Em uma barragem diafragma, assim como nas barragens de núcleo impermeável, o corpo da barragem é construído com rocha (pedra de mão ou maior), mas neste caso um diafragma fino de material impermeável é usado para barrar a água. O diafragma é um núcleo fino vertical impermeável colocada na parte central do maciço, podendo ser de argila, concreto, asfalto ou outro material.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

### UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: PARTES DAS BARRAGENS DE ATERRO

#### INTRODUÇÃO

Esta seção apresenta informações sobre as diversas partes de uma barragem de aterro típica. Figura I-2, na página seguinte, mostra estes componentes. Esta figura mostra algumas das deficiências ou anomalias sobre as quais será falado mais a seguir neste módulo. Vamos rapidamente examinar cada um destes componentes.

#### TALUDE DE MONTANTE

O talude de montante é a superfície inclinada do maciço em contato com o reservatório. Assim, esta superfície deve ser protegida contra o poder erosivo das ondas. A proteção contra erosão pode ser feita com cobertura vegetal, riprap ou outro material apropriado para proteção, ou mesmo, pelos materiais que compõem o maciço. Como exemplo desta última situação temos as zonas externas de uma barragem de enrocamento que são capazes de resistir à erosão das ondas.

#### TALUDE DE JUSANTE

O talude de jusante é a superfície inclinada do maciço oposta ao reservatório. O talude de jusante também necessita alguma forma de proteção contra a erosão das águas de superfície. Cobertura vegetal e camadas de brita ou pedregulho ou mesmo de enrocamento são comumente usadas para proteger o talude de jusante contra erosão. Em regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, a cobertura vegetal não é indicada por não resistir aos longos períodos de estiagem.

Os taludes podem ser descritos como íngreme ou suave. Esta inclinação pode ser representada pela razão entre a dimensão horizontal (H) e a dimensão vertical (V). Por exemplo, a razão 2H:1V significa que para cada metro na vertical correspondem dois metros na horizontal e, por conseguinte, que o talude é moderadamente íngreme.

#### CRISTA E BORDAS

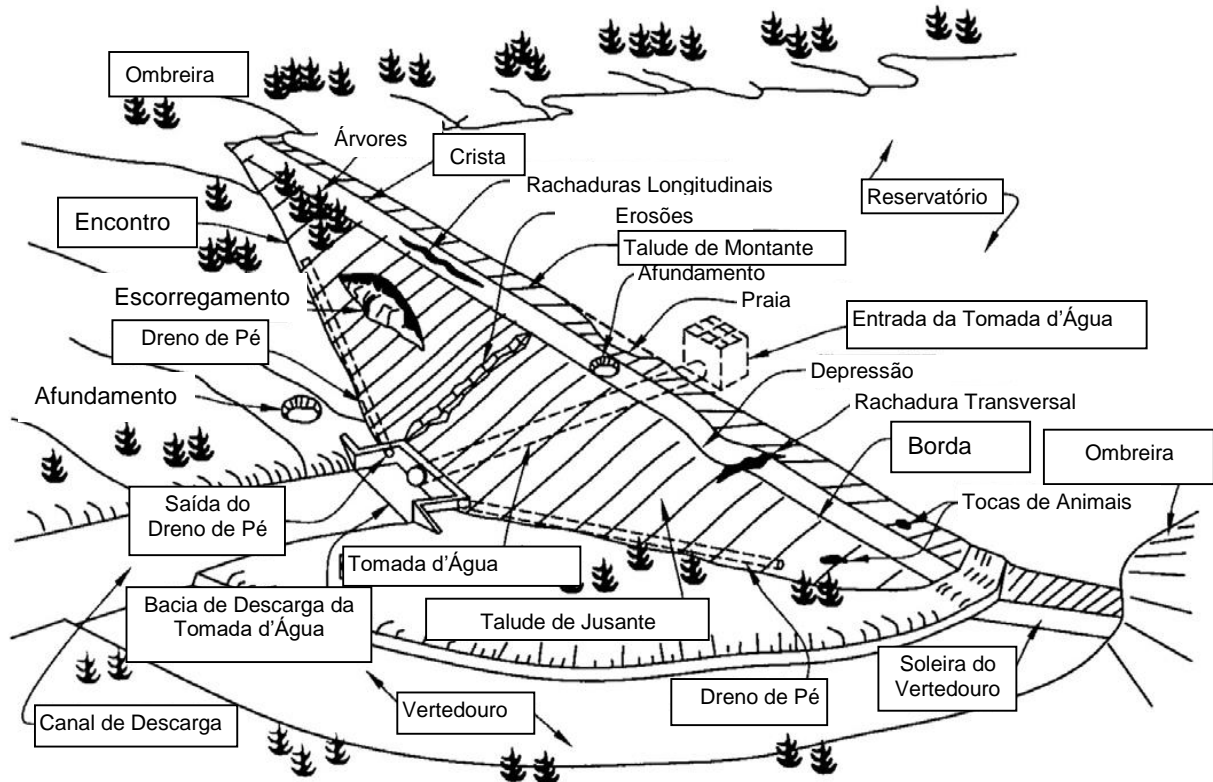
A **crista** é a superfície plana no topo da barragem. Normalmente, a crista é usada como uma estrada para tráfego de veículos ou para facilitar a operação, inspeção e manutenção da barragem.

As **bordas** são as interseções da crista com os taludes de montante e jusante.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

### UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: PARTES DAS BARRAGENS DE ATERRO

FIGURA I-2. BARRAGEM DE ATERRO TÍPICA COM ANOMALIAS



Os títulos nas caixas de texto indicam as principais partes de uma barragem de aterro, os demais títulos indicam as anomalias comumente encontradas nestas obras.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS

### UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: PARTES DAS BARRAGENS DE ATERRO

#### PÉ DE JUSANTE OU PÉ

A junção do talude de jusante da barragem com o terreno natural é chamada de **pé de jusante ou pé**.

#### OMBREIRA

As **ombreiras** são as laterais do vale onde a barragem se apoia. As linhas onde os taludes do maciço encontram as ombreiras são chamadas de **contato entre o maciço e a ombreira** ou simplesmente de **encontro**. Para completa definição é preciso indicar qual é o talude (jusante ou montante) e qual é a ombreira (esquerda ou direita), por exemplo: encontro do talude de jusante com a ombreira esquerda.

#### RESERVATÓRIO

O **reservatório** é o corpo de água criado pela barragem.

#### ESTRUTURAS DE CONDUÇÃO DA ÁGUA

A passagem da água contornando ou através da barragem se dá através das **estruturas de condução da água** ou **condutos hidráulicos**, que incluem:

- **Vertedouro:** O **vertedouro** (ou **sangradouro** como se usa no Nordeste) é a principal estrutura para descarga das cheias que chegam ao vertedouro. Se a vazão do vertedouro é controlada por meios mecânicos, como uma comporta, a estrutura é chamada de vertedouro controlado. Se a geometria do vertedouro é o único controle, a estrutura é considerada um vertedouro não controlado. Como ilustrado na Figura I-2, os vertedouros usualmente retiram a água do topo do reservatório.
- **Tomadas d'Água:** As **tomadas d'água** são as estruturas através das quais, normalmente, se faz a liberação da água do reservatório. Tomadas d'água podem também ser usadas para rebaixar ou esvaziar o reservatório. Elas podem ser condutos que passam pelo maciço ou pela fundação da barragem, ou túneis escavados em ombreiras rochosas.

As **tomadas d'água**, através da barragem, usualmente retiram a água próxima do fundo do reservatório. Tomadas d'água e vertedouros podem ser combinados em uma única estrutura. Uma barragem pode ter múltiplas estruturas de vertedouros e tomadas d'água.

- **Conduto Forçado ("Penstocks"):** **Conduto Forçado** é uma tubulação ou um conduto sob pressão que liga o reservatório às turbinas de geração de energia. São geralmente encontrados em hidroelétricas.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS**

### **UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: PARTES DAS BARRAGENS DE ATERRO**

#### **DRENO DE PÉ**

**Dreno de pé** é o meio mais comum de drenagem interna de uma barragem de terra. Ele coleta e carrega a água de infiltração para fora da barragem. Consiste em uma zona de material permeável no pé do talude de jusante ou em uma trincheira, escavada sob o pé, preenchida com material permeável que algumas vezes recobre um tubo drenante envolvido por material filtrante. A água coletada é descarregada em um tubo, canaleta ou canal de descarga que deságua no vertedouro, na bacia de descarga da tomada d'água ou, de forma segura, em qualquer ponto a jusante da barragem. O **despejo** (“**outfall**”) ou ponto de descarga do dreno de pé é um local conveniente para medida da vazão drenada.

#### **CONVENÇÕES**

É convenção que a esquerda ou a direita de uma barragem é sempre referida à posição de um observador voltado para jusante, de costas para o reservatório. Por exemplo, a ombreira esquerda ficaria no lado esquerdo de um observador que esteja na crista da barragem olhando para jusante.

A obediência a esta convenção vai auxiliar ao leitor de um relatório a se orientar e eliminará qualquer confusão sobre as deficiências ou anomalias observadas.

#### **RESUMO**

Esta seção descreveu as principais partes de uma barragem de aterro. A seguir, será indicado como estas partes devem ser inspecionadas.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERROS**

### **UNIDADE I. INSPECIONANDO O MACIÇO: TÉCNICA DE INSPEÇÃO DO MACIÇO**

#### **INTRODUÇÃO**

O propósito da inspeção é identificar deficiências ou anomalias em um estágio inicial de modo que ações corretivas possam ser executadas antes que a segurança da barragem possa ser ameaçada. Deficiência ou anomalia é uma condição que afeta ou interfere com a operação segura da barragem.

Uma inspeção efetiva requer uma cuidadosa preparação. Para isto, pode ser interessante rever o módulo do TADS: “Preparando a Realização de uma Inspeção de Segurança de Barragem”. Uma equipe técnica deve ser usada na inspeção, se for possível, pois geralmente o trabalho em equipe é mais abrangente e cuidadoso. É importante que os inspetores sigam as normas técnicas aplicáveis e que as inspeções de uma barragem sejam realizadas em diferentes épocas do ano. Variando a época da inspeção possibilita que a barragem seja examinada quando o reservatório estiver em níveis diferentes e em diferentes condições de vegetação. Por outro lado, ao longo dos anos, é conveniente que a barragem seja examinada quando o reservatório estiver nos mesmos níveis para identificar alterações de comportamento para a mesma carga hidráulica.

Esta seção apresenta algumas orientações gerais para inspeção de barragens de aterro.

#### **INSPECIONANDO OS TALUDES**

A técnica geral de inspeção de um talude é caminhar sobre este, tantas vezes quanto for necessário, para se ver claramente toda sua superfície. De um determinado ponto do talude é possível ver pequenos detalhes até distâncias entre 3 a 30 metros, dependendo das irregularidades da superfície, da vegetação e de outras condições. Assim, para garantir que toda a barragem foi coberta é preciso caminhar indo e voltando até que toda área tenha sido vista. Os seguintes padrões podem ser usados para caminhar sobre a crista e os taludes.

##### **PADRÃO**

###### **Zigue-zague**

Uma trajetória em zigue-zague é a recomendada para garantir que toda a área dos taludes e da crista foi coberta. Pode ser preferível usar a trajetória em zigue-zague para áreas pequenas ou taludes não muito íngremes. Figura I-3, na página seguinte, ilustra a trajetória em zigue-zague para percorrer uma barragem.

###### **Paralela**

A segunda maneira é fazer uma série de passadas paralelas à crista através dos taludes. Usualmente, é preferível usar esta maneira quando os taludes são íngremes por ser menos árduo. Figura I-4, na página seguinte, ilustra a trajetória em paralelo para percorrer uma barragem.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### I. INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO: TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

#### INSPECIONANDO OS TALUDES (Continuação)

FIGURA. I-3 TRAJETÓRIA EM ZIGUE-ZAGUE PARA INSPEÇÃO DE TALUDE

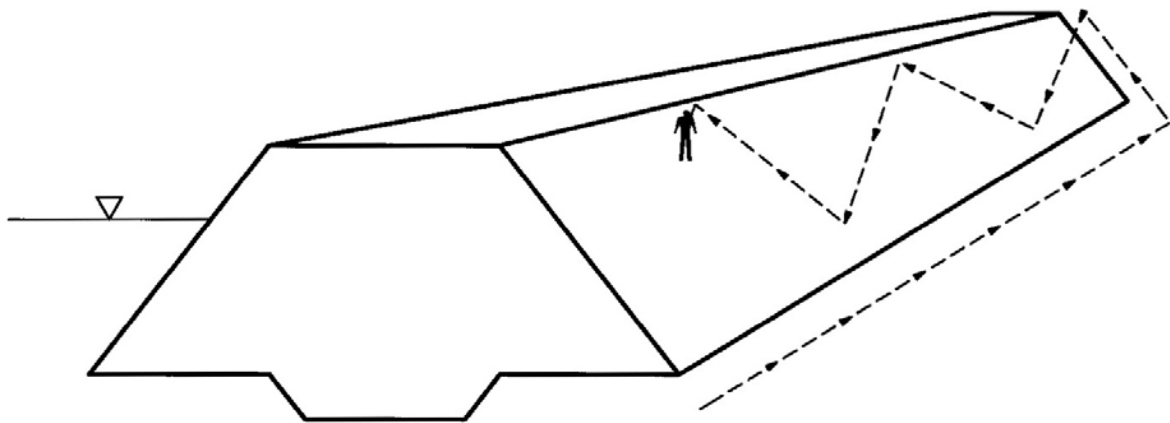
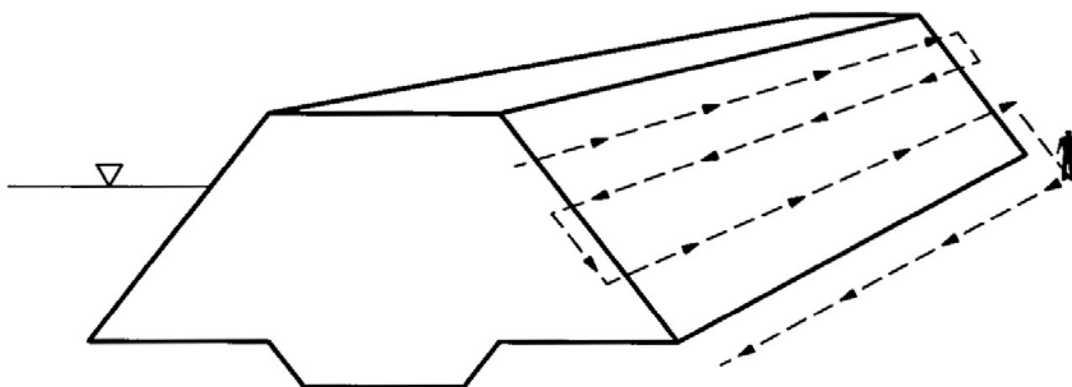


FIGURA. I-4 TRAJETÓRIAS PARALELAS PARA INSPEÇÃO DE TALUDE



## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **I. INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO: TÉCNICAS DE INSPEÇÃO**

#### **INSPECIONANDO OS TALUDES (Continuação)**

Em intervalos regulares, enquanto caminhando sobre o talude, deve-se parar e olhar 360 graus em para:

- Verificar a uniformidade da superfície visível.
- Confirmar que nenhuma deficiência ou anomalia passou despercebida.

Parando e olhando em volta, permite ver o talude de diferentes perspectivas, o que pode revelar deficiências que, outra forma, poderiam não ser notadas.

Em adição, olhando o talude a distância pode revelar anomalias como distorções da superfície do maciço e discretas alterações na vegetação, que serão discutidas adiante. Comumente estas situações não são notadas quando olhadas de perto. Ainda, olhando a distância, áreas de vegetação mais verde ou mais viçosa que podem indicar infiltração tornam-se mais facilmente visíveis. Estas áreas devem ser examinadas com mais cuidado.

#### **INSPECIONANDO UMA BARRAGEM DE ENROCAMENTO**

Em maciços que os taludes são de enrocamento, distorções na superfície são mais visíveis quando examinadas de um ponto ao longe que diretamente do maciço. Isto porque os taludes de enrocamento têm superfície irregular o que normalmente dificulta a visualização, de perto, das distorções. A crista, o contato do reservatório com o maciço, as ombreiras e a junção do maciço com as ombreiras são locais vantajosos para se avaliar potenciais movimentos dos taludes. Quando a observação for feita de fora do talude ou o histórico identificar um potencial problema em um talude de enrocamento, uma inspeção cuidadosa da área deve ser feita.

#### **INSPECIONANDO OS CONTATOS**

Os encontros do maciço com as ombreiras (ou contatos) devem ser percorridos para uma cuidadosa inspeção destas áreas.

A inspeção dos contatos é importante porque estas áreas são susceptíveis a:

- Erosão pela água superficial.
- Infiltração.

Mais sobre a detecção destas deficiências será visto adiante.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### I. INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO: TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

#### INSPECIONANDO A CRISTA

A inspeção da crista é similar à inspeção dos taludes. Pode ser usada tanto a trajetória em zigue-zague ou em paralelas. Quando inspecionando a crista lembre:

- ✓ Percorra a crista tantas vezes quanto necessário para cobrir toda a área e garantir que nenhuma deficiência deixará de ser identificada. O ponto chave é que todo pequeno pedaço da superfície seja examinado. Verifique se pavimentos e parapeitos apresentam sinais de desgastes tais como: fissuras, deslocamentos ou depressões.
- ✓ Olhe a crista de diferentes perspectivas. Algumas deficiências são detectadas de perto enquanto outras somente são observadas a distância.

#### TÉCNICAS DE OBSERVAÇÃO

Quando verificando o alinhamento da crista e de bermas nos taludes de montante e jusante, uma técnica útil de observação é centralizar a visada ao longo da linha em exame e, então, mover-se de um lado para outro de modo a ver a linha de vários ângulos.

Alguns equipamentos e referências que ajudam a observação são:

- **Binóculos e Lentes Teleobjetivas:** O uso de binóculos e lentes teleobjetivas de câmeras fotográficas podem ajudar a observar irregularidades porque as distâncias são reduzidas e as distorções perpendiculares a linha de visada se tornam mais aparentes.
- **Linhas de Referência:** Em uma barragem de eixo retilíneo, objetos ou estruturas em linha podem servir como referência e serem de grande ajuda na observação de movimentos do maciço. Estas referências podem ser: guarda corpo, linha de postes, listras no pavimento da crista, parapeitos e monumentos de observação de deslocamento ao longo da superfície da barragem. Se desalinhamentos forem identificados nestas estruturas, não esquecer que isto pode ser causado por fatores outros que não sejam ligados a deficiências da barragem. Assim, uma observação mais cuidadosa é requerida.
- **Equipamentos Topográficos (Nível e Teodolito):** Um nível ou um teodolito podem ser usados para visar em linha reta, determinando qualquer desalinhamento vertical ou horizontal. Quando usados juntamente com uma mira topográfica, medidas exatas podem ser obtidas.

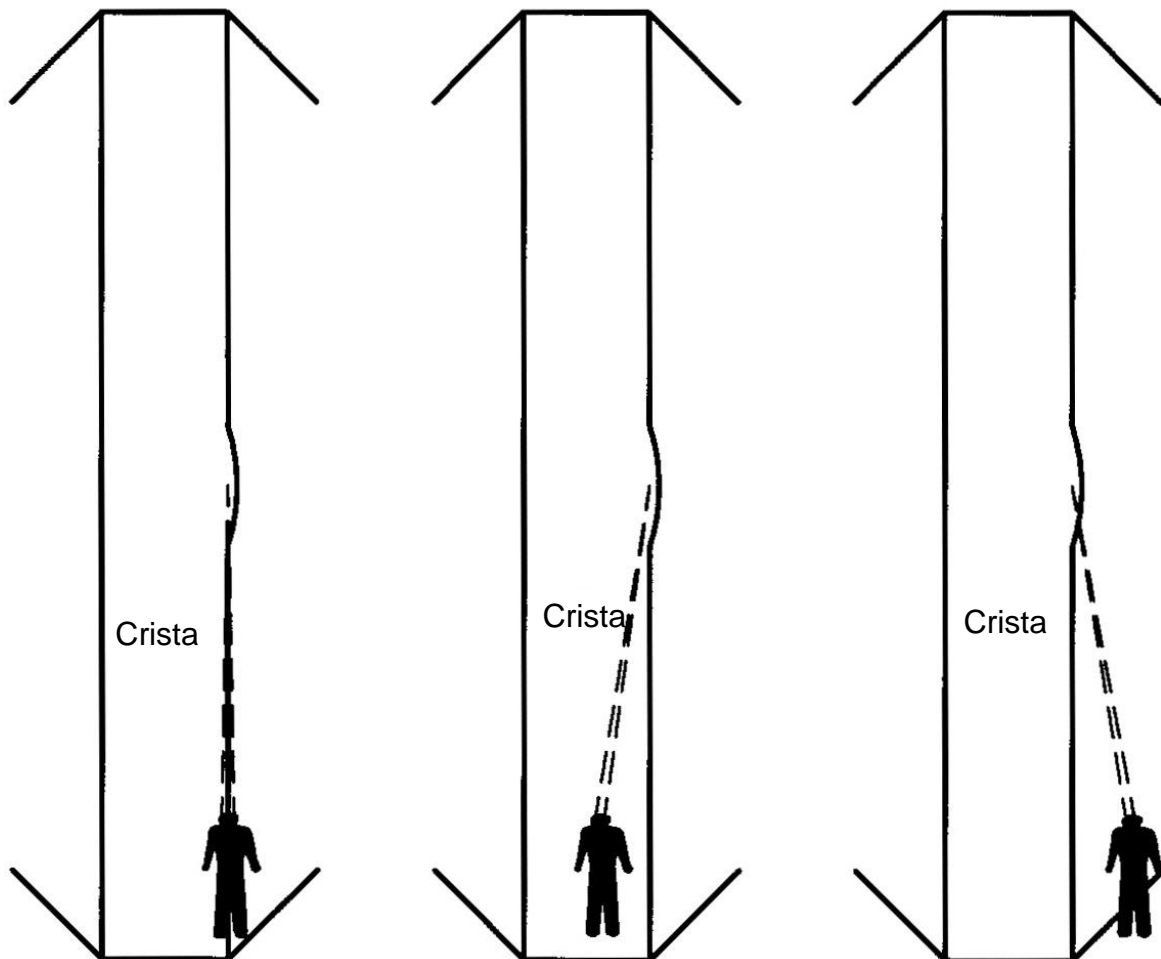
Figura I-5, na página seguinte, ilustra as técnicas de observação usadas ao longo da crista de uma barragem.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### I. INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO: TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

#### INSPECIONANDO A CRISTA

FIGURA I-5. OBSERVANDO AO LONGO DA CRISTA



Ao olhar ao longo da crista, deve-se mirar a linha de referência adotada de diversas perspectivas. Primeiro, olhe diretamente sobre a linha, depois mova-se para um e outro lado. A técnica de mirar ao longo da crista usando o olho nu, lentes teleobjetivas e binóculos será mostrada em vídeo.

A técnica de observação descrita nesta seção é também útil para detectar alterações na uniformidade dos taludes. A linha de contato do talude de montante com a superfície do reservatório deve ser paralela ao eixo da barragem. Em outras palavras, se a barragem tem eixo retilíneo, a linha d'água também deve ser uma linha reta.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **I. INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO: RESUMO**

Esta seção apresenta algumas orientações gerais para inspeção de barragens de aterro. Na próxima unidade, será mostrado como detectar problemas de infiltração, que é uma das principais deficiências a serem encontradas durante as inspeções.

**Curso:**

# **Inspeção e Segurança de Barragens**

**FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU – BRASIL  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**

**Inspeção de Barragens de Aterro**

**Unidade II  
Inspeccionando as Anomalias**

# **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

## **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: VISÃO GERAL**

### **INTRODUÇÃO**

O objetivo da inspeção é identificar existentes ou potenciais deficiências em relação à segurança da barragem. Esta unidade apresenta informações sobre:

- Os tipos de deficiências ou anomalias que se espera identificar.
- O impacto destas de deficiências na segurança da barragem.
- As ações a serem tomadas se deficiências forem encontradas.

Barragens de aterro são sujeitas a diversos tipos de deficiências, que incluem:

- Infiltração
  - Controlada
  - Não Controlada
- Fissuração
- Instabilidade
  - Escorregamento
  - Deformação Lateral
- Subsidências
- Afundamentos
- Problemas de Manutenção
  - Proteção Inadequada dos Taludes
  - Erosão pelas Águas Superficiais
  - Crescimento Impróprio da Vegetação
  - Detritos
  - Cavas de Animais

Cada tipo de deficiência ou anomalia será discutido em detalhes nesta unidade. Algumas destas deficiências são mostradas na Figura I-2 na Unidade I. Assim, talvez seja conveniente voltar a esta figura na medida que as deficiências sejam discutidas.

### **OBJETIVOS DA UNIDADE**

Após completar esta unidade o leitor deve ser capaz de:

- Identificar e explicar as características e potenciais consequências de infiltrações, fissuras, instabilidade, subsidências, afundamentos e manutenção inadequada.
- Explicar as ações a serem executadas para proteger a barragem.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

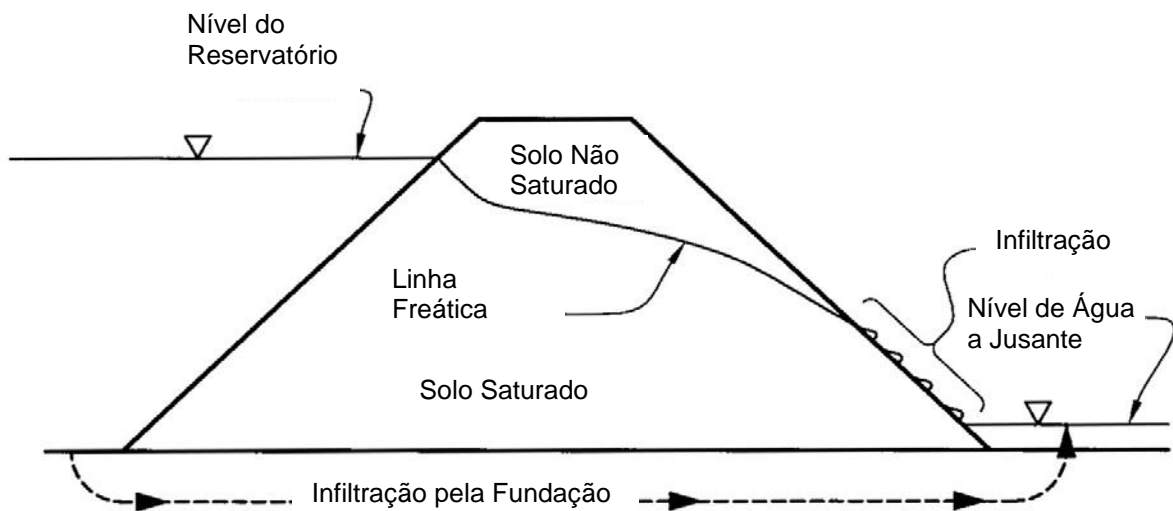
### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### O QUE É INFILTRAÇÃO?

Em todas as barragens ocorre a passagem de água através do maciço ou da fundação. A passagem de água através do maciço ou da fundação é chamada de infiltração.

Infiltração se torna um problema quando os materiais do maciço ou da fundação são carreados pela água ou quando a pressão da água na barragem ou na fundação se torna excessiva. Infiltrações descontroladas podem ser um sério problema. Figura II-1 ilustra Infiltrações descontroladas através da barragem e de sua fundação.

**FIGURA II-1. INFILTRAÇÃO EXCESSIVA ATRAVÉS DA BARRAGEM**



#### CONTROLE DA INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DE DRENOS INTERNOS

A maioria das modernas barragens de aterro tem **drenos internos** para controlar infiltração. Drenos internos são projetados para interceptar a água de infiltração e descarregá-la com segurança. Muitos diferentes tipos de drenos podem ser usados para controlar a infiltração. Três comuns tipos de drenos são: dreno de pé, tapete drenante e dreno vertical com tapete drenante. Figura II-2, na página seguinte, mostra estes comuns tipos de drenos.

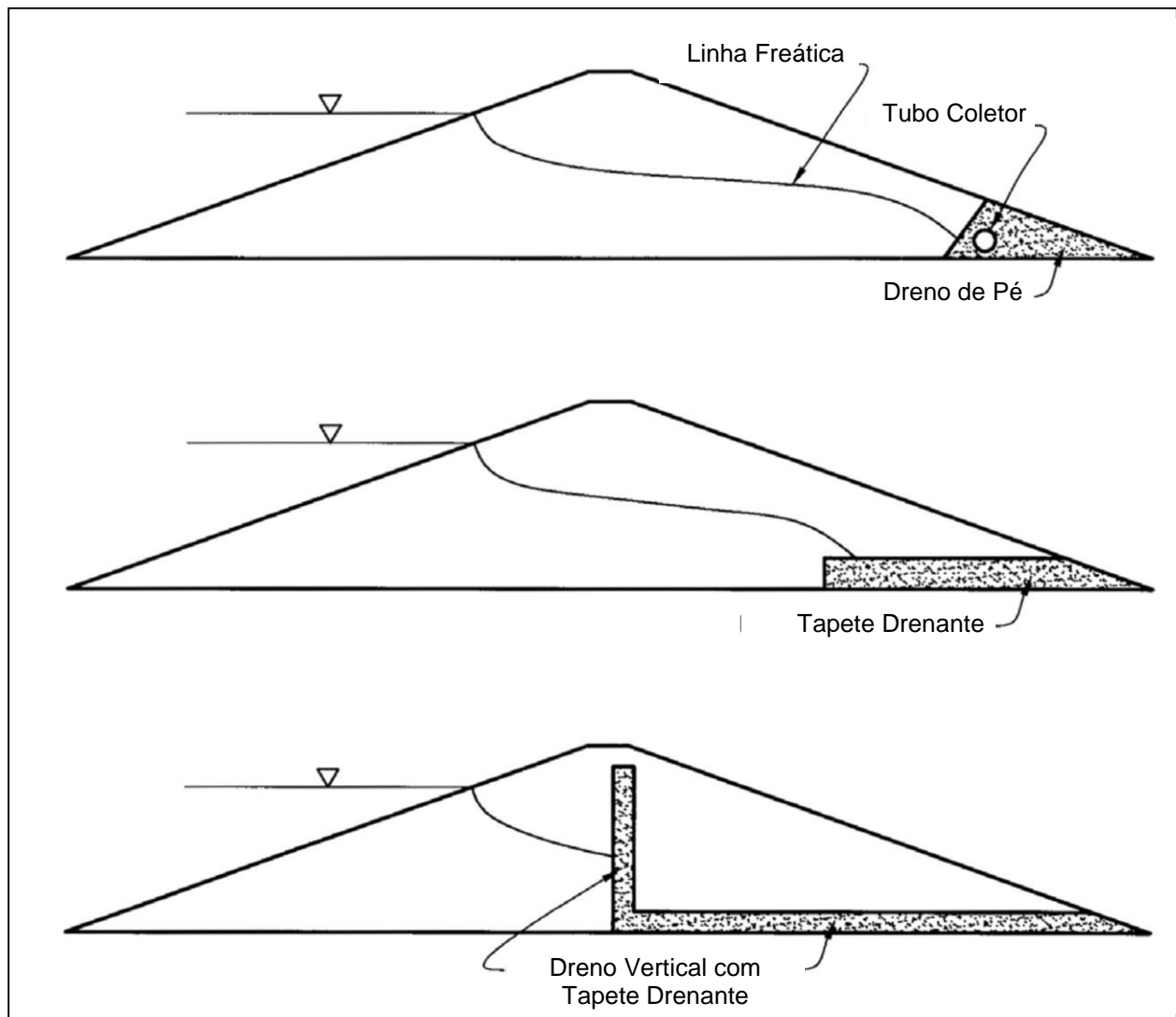
O material do dreno deve ter sua granulometria definida para dar vazão ao fluxo esperado e, ao mesmo tempo, evitar o carreamento do solo drenado.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### CONTROLE DA INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DE DRENOS INTERNOS (Continuação)

FIGURA II-2. TIPOS COMUNS DE DRENOS INTERNOS



Barragens sem drenagem interna dependem das propriedades dos materiais e da disposição destes materiais para ajudar o controle da infiltração. Assim, nestas obras é mais comum ocorrer problemas de infiltração.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

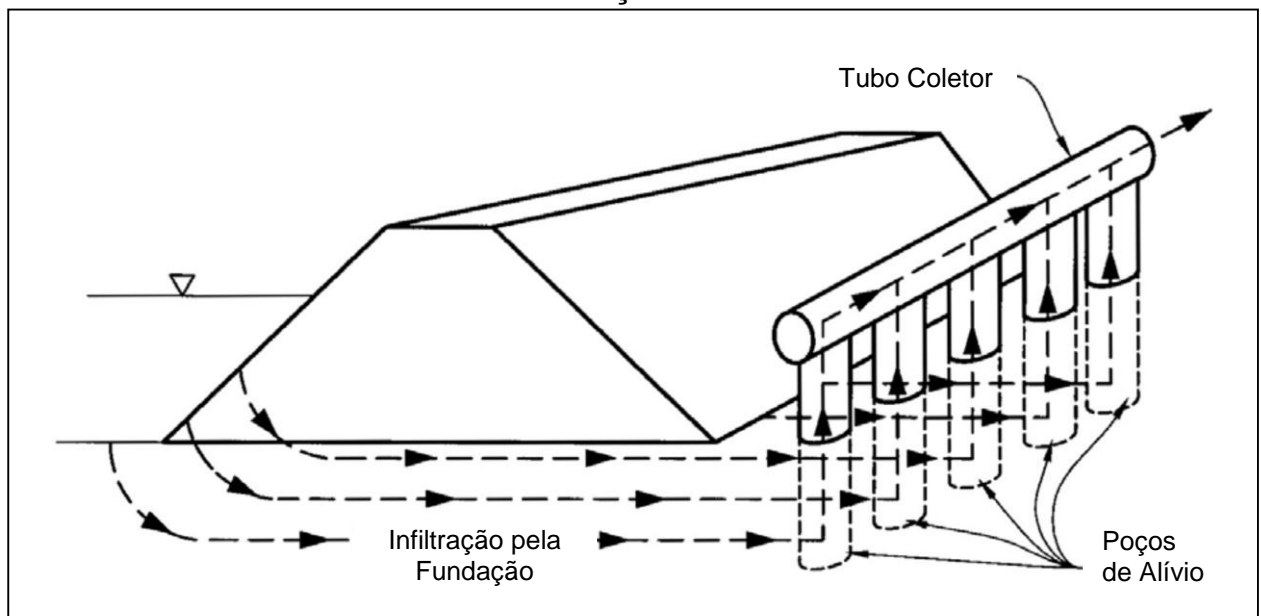
#### CONTROLE DA INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DE POÇOS DE ALÍVIO

**Poços de Alívio** são instalados próximos ao pé do talude de jusante para reduzir subpressões potencialmente perigosas causadas pela infiltração através de materiais permeáveis da fundação, que não foram removidos. Subpressões decorrentes de uma excessiva percolação podem causar piping na fundação ou instabilidade do maciço.

Poços de alívio são usados para controlar e descarregar com segurança o fluxo de água que infiltra sob a barragem, podendo ser usados conjuntamente com outros sistemas de drenagem.

Figura II-3 mostra uma linha de poços de alívio usados para interceptar e controlar, de forma segura, o fluxo na fundação.

**FIGURA II-3. POÇOS DE ALÍVIO**



Se a drenagem é feita por vários poços, eles podem descarregar em sistema coletor, que pode ser um canal aberto ou uma tubulação. O sistema coletor é usado para coletar o fluxo dos poços de alívio e descarregar a água para um ponto a jusante da barragem. Comumente, esta água é descarregada em curso d'água natural, quase sempre passando antes através de um medidor de vazão.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### PROBLEMAS DE INFILTRAÇÃO

Agora vamos examinar alguns problemas específicos de infiltração. Infiltração excessiva é a principal causa de ruptura de barragens de aterro. Problemas devidos à infiltração podem ser divididos nas três seguintes categorias:

- Instabilidade
- Piping (entubamento, erosão tubular regressiva)
- Erosão Interna

#### Instabilidade

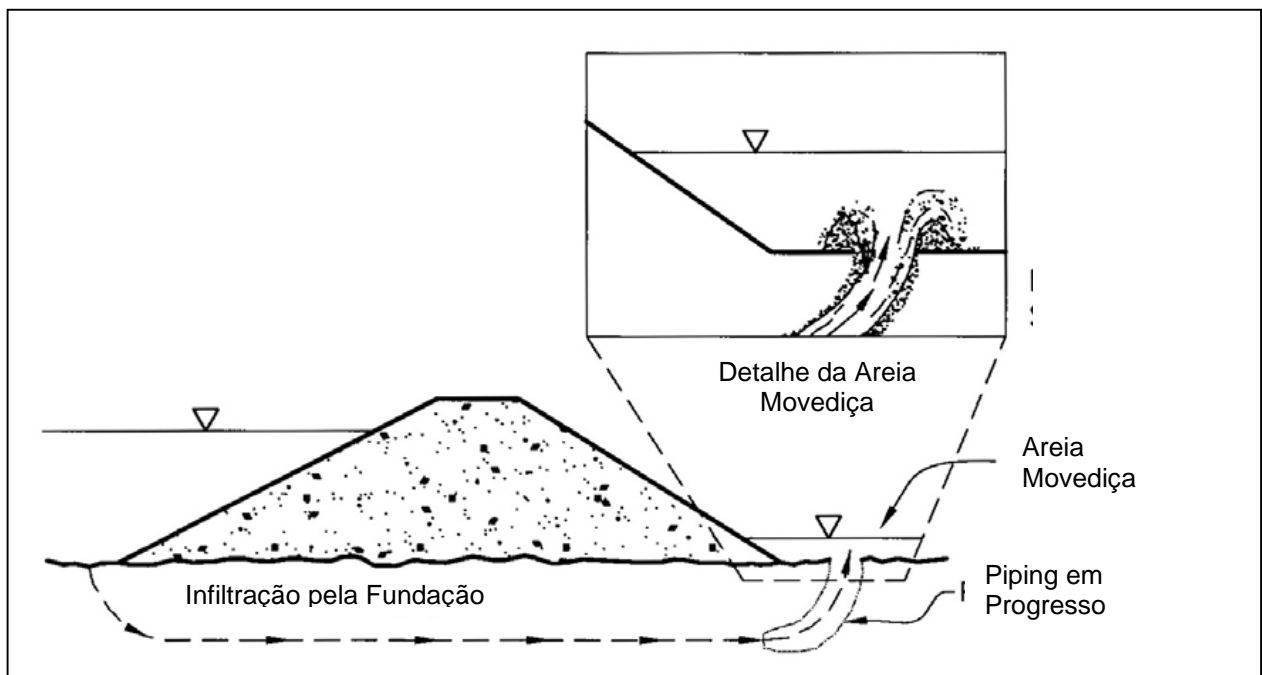
Infiltração causa problemas de instabilidade quando uma elevada pressão na água e a saturação do maciço e da fundação causam diminuição da resistência do solo. Se a infiltração pelo maciço chega perto ou emerge no talude de jusante, como mostrado previamente na Figura II-1, é muito comum acontecer encharcamento e escorregamentos superficiais, ou mesmo profundos.

#### Piping (Entubamento)

Piping ocorre quando a água do reservatório fluindo através dos poros dos solos da fundação ou do maciço (ou seja, percolando) exerce uma força de arraste capaz de remover as partículas do solo através do qual o fluxo está ocorrendo e arrastá-las até o ponto de surgência. Isto causa uma erosão que progride para montante formando um tubo ("pipe") através da barragem ou da fundação; daí o termo piping (entubamento).

Em uma ruptura por piping, este tubo vai aumentando com a remoção por erosão do solo adjacente. Comumente, a parte do maciço sobrejacente desmorona abrindo uma brecha na barragem. Figura II-4 ilustra o desenvolvimento de uma ruptura por piping através da fundação.

**FIGURA II-4. PIPING**





## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### Piping (continuação)

O tipo de infiltração mostrado acima é difícil de ser detectado porque nada é visível até que o maciço comece a afundar ou um redemoinho se forme no reservatório. Um redemoinho, ou vórtice, é o movimento rotacional que se forma com o fluxo da água em alta velocidade penetrando na fundação. Este mesmo tipo de movimento pode ser visto quando se retira o plugue da bacia cheia de água de um lavatório

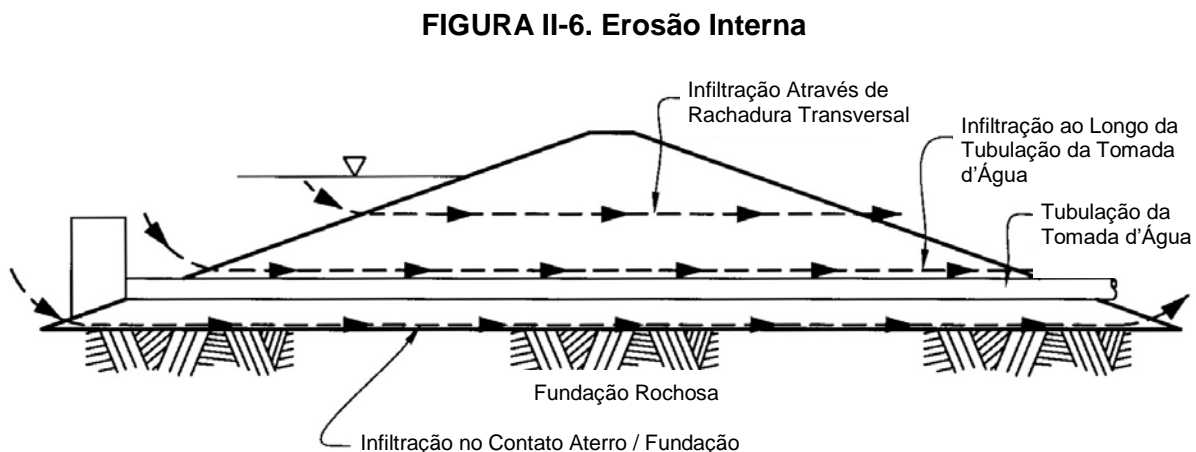
Os solos mais susceptíveis de piping são as areias finas, fofas, mal graduadas e não plásticas. Também altamente susceptíveis são os siltes não coesivos e areias finas de baixa plasticidade, bem como, areias bem graduadas fofas e misturas de pedregulhos de granulometria muito aberta com finos de baixa plasticidade. Solos argilosos com significativa coesão não são susceptíveis ao piping. No entanto, alguns solos que não são susceptíveis ao piping podem sofrer erosão interna (descrita na seção seguinte).

**Piping é um perigoso problema de infiltração. Se você acredita que está ocorrendo piping, deve imediatamente contatar o proprietário e um engenheiro qualificado.**

#### Erosão Interna

Erosão Interna pode parecer ser o mesmo que piping porque em ambas situações partículas de solo são carreadas pela força erosiva da água. Assim, uma falha causada por erosão interna pode ser parecer muito semelhante a uma causada por piping. No entanto, os processos de piping e de erosão interna são muito diferentes. Erosão interna ocorre quando a infiltração se dá ao longo de uma trajetória já estabelecida, tais como:

- Ao longo de fissuras e outros defeitos no maciço ou na fundação que ocorram transversalmente à barragem.
- Ao longo de contatos entre o solo do maciço e rocha.
- Entre solo do maciço e estruturas auxiliares.



## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### **Erosão Interna** (continuação)

Solos que não são susceptíveis ao piping podem ser altamente susceptíveis à erosão interna. Um bom exemplo é a argila dispersiva. Algumas argilas se dispersam ou se defloculam em água relativamente pura. Este tipo de solo é virtualmente impermeável e por isso não susceptíveis ao piping. No entanto, são criadas as condições para a erosão interna quando uma fissura ocorre em um solo dispersivo ou entre um solo dispersivo e a rocha de fundação ou uma estrutura auxiliar, permitindo fluxo de água a partir do reservatório. Neste caso, as partículas se dispersam na água que flui e são por ela carregadas, levando rapidamente ao alargamento da passagem e a ruptura da barragem.

Você aprenderá mais sobre solo dispersivo na seção sobre fissuras e erosão superficial, a seguir neste módulo.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Um teste simples para verificar se uma argila é dispersiva consiste em colocar um torrão do solo em um frasco com água. Se a água rapidamente fica turva, isto pode indicar que o solo é dispersivo. Este ensaio é chamado de “Crumb Test”.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Esteja atento à ocorrência de erosão interna no maciço ou na fundação procurando por fugas d'água no entorno de estruturas auxiliares, próximas ao contato maciço fundação e em fissuras transversais.

**Erosão interna é um perigoso problema de infiltração. Se você acredita que está ocorrendo erosão interna, deve imediatamente contatar o proprietário e um engenheiro qualificado.**

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### FORMAS DE INFILTRAÇÃO

As infiltrações aparecem em diferentes formas. Elas podem aparecer como áreas úmidas ou como fontes jorrantes. A vegetação também pode indicar uma infiltração. Áreas com muita vegetação que gosta de água, como taboa, junco e musgo, devem ser verificadas quanto à infiltração. Também, áreas em que a vegetação aparece mais verde e viçosa devem ser examinadas com cuidado. Estas manchas de vegetação são mais visíveis em regiões áridas.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Olhando o talude de jusante a distância, algumas vezes, facilita a identificação de discretas alterações na vegetação. Uma linha ao longo da qual a vegetação se destaca indica onde a linha freática encontra o talude.

#### ÁREAS PROPENSAS À INFILTRAÇÃO

Os contatos entre o talude jusante e as ombreiras (também chamados de encontros) são especialmente propensos à infiltração porque o aterro nestes locais é comumente menos compacto que em outras partes do maciço e, portanto, mais permeável. O aterro é menos compacto pela dificuldade de realizar a compactação junto às ombreiras. Ainda, rochas porosas ou fraturadas que não sejam apropriadamente seladas e injetadas podem dar origem a infiltrações nas ombreiras que vão aflorar nos encontros.

Dificuldade de compactação também faz áreas em volta das estruturas de condução de água, tais como tomadas d'águas, vertedouros ou condutos forçados ("penstocks"), mais susceptíveis a problemas de infiltrações descontroladas. Fugas de água no entorno destas estruturas são particularmente alarmante porque podem também indicar que existe uma fissura ou abertura na estrutura vazando água do reservatório, sob pressão, para o interior do maciço. O que poderia resultar em uma rápida erosão e eventualmente em uma brecha na barragem.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Infiltração em torno das estruturas de condução de água pode ser um problema sério. Você deve contatar imediatamente um engenheiro qualificado.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### MONITORANDO INFILTRAÇÕES

Se uma infiltração é detectada, ela deve ser monitorada, para tanto devem ser anotados:

- ✓ A localização e vazão nos pontos de saída, se possível.
- ✓ A ocorrência de precipitação recente que possa ter afetado a vazão ou a aparência da água.
- ✓ A temperatura da água deve ser comparada com a do reservatório.
- ✓ O nível do reservatório por ocasião da observação.
- ✓ A turbidez da água na saída.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Anotações, desenhos esquemáticos e fotos são úteis na documentação e avaliação das condições da infiltração.

A vazão de infiltração comumente é correlacionada com o nível da água no reservatório. Geralmente, quando o nível sobe, a vazão aumenta.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Variações na vazão e na turbidez diferentes do que havia sido observado no passado podem indicar um agravamento da situação.

Em alguns casos, um teste com corante pode ser usado para ajudar o diagnóstico de uma fuga d'água.

#### Soleiras e Calhas

Soleiras e calhas podem ser instaladas para medir a vazão de uma infiltração no maciço ou na fundação. Desde que propriamente calibrados e mantidos livres de sedimentos e vegetação, as soleiras e calhas podem medir com precisão a vazão.

Soleiras e calhas preenchidas com sedimentos podem indicar que:

- O material do maciço ou da fundação está sendo carregado pela água.
- Sedimentos da erosão superficial pela água da chuva, carregados da vizinhança, estão se acumulando na estrutura.

Se soleiras e calhas estão acumulando sedimentos, você deve avaliar cuidadosamente as condições locais para determinar a causa.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### Piezômetros

Equipamentos para medir a pressão da água no interior do maciço ou da fundação são chamados de piezômetros. Eles possibilitam determinar a linha freática, que é o limite superior da infiltração. Estas medidas podem ser decisivas para identificação de possíveis pipings ou instabilidades induzidas pela infiltração, tais como as causadas por subpressão hidrostática.

#### Drenos

Muitos drenos possuem tubos coletores que descarregam a água infiltrada no maciço ou, em alguns casos, na fundação. Antes de realizar a inspeção de uma barragem de aterro que possui drenos, deve-se:

- ✓ Rever o projeto da barragem para conhecer a locação dos drenos e dos pontos de descarga.
- ✓ Rever os dados prévios de nível do reservatório e vazões dos drenos. Dados de vazões dos drenos devem estar relacionados a dados de nível do reservatório. Saber como o nível do reservatório afeta a vazão do dreno pode ajudar a determinar se existe um problema. Se for observado que a vazão do dreno é atípica para o nível do reservatório, investigações devem ser solicitadas.

Durante a inspeção, deve-se:

- ✓ Localizar a saída de cada dreno.
- ✓ Medir a vazão. Um método simples de determinar a vazão é coletar o fluxo em recipiente de volume conhecido e medir o tempo para enchê-lo. A vazão deve ser registrada em litros por segundo. Se não existir um tubo de descarga, será preciso estimar a vazão visualmente e recomendar a instalação de uma soleira vertedoura para medida da vazão.
- ✓ Compare a vazão medida com aquela esperada, com base nas leituras anteriores, para o atual nível do reservatório.

#### Drenos Obstruídos

Um dreno sem fluxo pode indicar que não há infiltração naquela área da barragem. No entanto, a falta de fluxo pode também indicar problema.

Se o dreno:

- Nunca funcionou, pode significar que o dreno foi projetado ou instalado errado.
- Apresentou fluxo algum tempo, mas depois deixou de funcionar, ele pode ter entupido.

Um dreno entupido pode ser um problema sério porque a água pode começar a fluir para um ponto onde não haja drenagem ou pode contribuir para aumentar a pressão e criar instabilidade. Devem ser recomendadas investigações adicionais para determinar a causa do entupimento.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### Drenos Obstruídos (Continuação)

Redução da vazão de um dreno para o mesmo nível do reservatório pode indicar que o dreno está sendo obstruído. Por outro lado, o oposto não é verdade, um aumento súbito da vazão de um dreno pode indicar que a barragem está ficando menos impermeável, o que pode ser causado, por exemplo, por uma fissura transversal.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Registros da vazão do dreno e do nível do reservatório auxiliarão a avaliação das condições de infiltração na barragem.

#### Poços de Alívio

Antes de realizar a inspeção de uma barragem de aterro que possui poços de alívio, deve-se:

- ✓ Rever o projeto da barragem para conhecer a localização dos poços de alívio.
- ✓ Rever os dados prévios de nível do reservatório e vazões dos poços. Saber como o nível do reservatório afeta a vazão do poço pode ajudar a determinar se existe um problema. Se for observado que a vazão do poço é atípica para o nível do reservatório, investigações devem ser solicitadas.

Durante a inspeção, deve-se:

- ✓ Localizar a saída de cada poço.
- ✓ Visualmente verificar se existe fluxo de água.

**SE NÃO HÁ VAZÃO** – Determine se, em razão dos dados anteriores e do atual nível do reservatório, deveria estar ocorrendo fluxo.

**SE HÁ VAZÃO** – Meça a vazão. A vazão pode ser medida no poço ou no ponto de descarga do coletor. Podem ser usadas soleiras vertedouras e calhas, bem como um balde e um cronômetro, para medir a vazão.

- ✓ Compare a vazão medida com a esperada para o atual nível de água no reservatório baseada em medidas anteriores.

Se o fluxo do poço é menor que o esperado, a tela ou filtro do poço pode estar ficando obstruído. Poços de alívio devem ser periodicamente sondados para verificar se existe acumulação de sedimentos. Se existe a suspeita que o poço não está funcionando bem devido à obstrução do filtro, uma limpeza deve ser recomendada.

Se o fluxo do poço é maior que o esperado, uma avaliação adicional da situação deve ser recomendada. Assegure-se que a vazão e o nível da água no poço foram cuidadosamente medidos. Também deve ser registrado se está ocorrendo alguma mudança no comportamento anteriormente observado do poço.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INFILTRAÇÃO

#### TURBIDEZ

Além de medir a vazão de uma infiltração, deve ser observado se a água apresenta-se turva ou clara. Água turva, ou apresentando turbidez, indica que partículas de solo estão em suspensão na água. Turbidez significa que a água passando através do solo está carreando o solo.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Cada vez que a vazão é medida, deve-se observar se houve mudança na turbidez da água.

Se a água é clara, mas você suspeita que ela contém material da fundação nela dissolvido (porque, por exemplo, houve aumento do fluxo) é preciso fazer ensaios de qualidade da água.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Como mencionado anteriormente, vazão e turbidez devem ser registradas a cada inspeção. Se há suspeita de problema de fuga d'água, a frequência das inspeções deve ser redefinida por engenheiro qualificado. E se, de fato, estiver ocorrendo problema, novos exames devem ser realizados por um engenheiro qualificado. É importante lembrar que infiltração excessiva é a principal causa de rupturas de barragens.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: FISSURAS**

#### **O QUE É FISSURA?**

Uma outra séria deficiência é fissuração. Fissuras são separações lineares que aparecem na crista ou nos taludes dividindo o material do maciço que antes era contínuo. Fissuração em uma barragem de aterro pode ser classificada em uma das três principais categorias:

- Fissuração Transversal
- Fissuração Longitudinal
- Fissuração por Ressecamento

Cada tipo de fissuração é discutido a seguir.

#### **FISSURAÇÃO TRANSVERSAL**

As fissuras transversais aparecem na direção aproximadamente perpendicular ao eixo da barragem. Se elas penetram no núcleo impermeável da barragem até abaixo do nível do reservatório, são especialmente perigosas. Pois podem criar uma passagem para um fluxo concentrado através da barragem. Estas fissuras ocorrem comumente na crista da barragem, próximo às ombreiras.

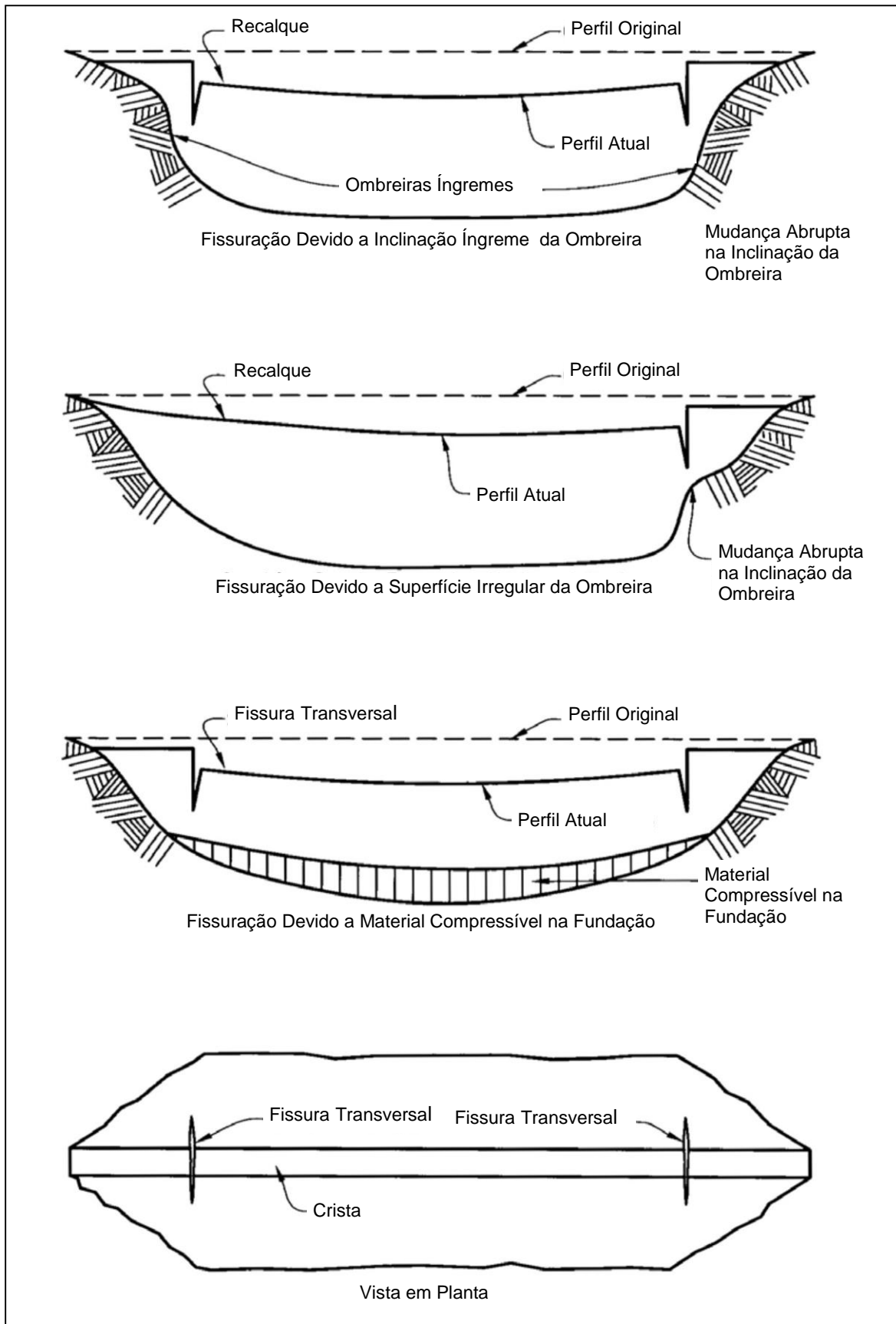
A presença de fissuras transversais aponta para recalques diferenciais no maciço ou na fundação. Este tipo de fissura frequentemente se desenvolve quando:

- Material compressível se apoia em ombreiras de rocha íngreme ou irregular.
- Zonas de material compressível existem na fundação.
- Seções do maciço foram escavadas e reaterradas (para instalação de condutos, por exemplo).

Figura II-7, na página seguinte, mostra como fissuras transversais se formam em uma barragem de aterro.

Uma fissura transversal pode criar uma passagem para a água através do maciço. Quando a profundidade da fissura se estende abaixo do nível do reservatório, pode ocorrer uma rápida erosão do maciço, eventualmente rompendo a barragem.

**FIGURA II-7. COMO SE FORMAM AS FISSURAS TRANSVERSAIS**



## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: FISSURAS

#### FISSURAÇÃO TRANSVERSAL (Continuação)

##### Fissuração Transversal: Inspeção

Ao observar-se uma fissura transversal, deve-se:

- ✓ Fotografar, sondar e registrar a localização, profundidade, comprimento, largura e ramificações de cada fissura.
- ✓ Monitorar a fissura para acompanhar alterações.
- ✓ Verificar se há evidências de que o maciço contenha materiais dispersivos. A passagem de água através deste tipo de solo pode levar rapidamente à ruptura da barragem.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Se a profundidade da fissura aparenta se estender abaixo do nível atual do reservatório, ou abaixo do máximo nível possível, um engenheiro qualificado deve indicar as investigações e as medidas corretivas apropriadas.

#### FISSURAÇÃO LONGITUDINAL

As fissuras longitudinais ocorrem na direção aproximadamente paralela ao eixo da barragem, sendo uma indicação de:

- Recalques diferenciais entre zonas adjacentes do maciço, de diferentes compressibilidades.
- O início de formação de uma escarpa de deslizamento de um talude instável. Neste caso a fissura aparece na forma de arco.

Figura II-8, na página seguinte, ilustra a fissuração longitudinal.

Fissuras longitudinais permitem que a água penetre no maciço, podendo reduzir a resistência do solo nas vizinhanças das fissuras. Esta redução da resistência pode provocar, ou acelerar, o escorregamento do maciço.

##### Fissuração Longitudinal: Inspeção

Como na fissuração transversal, ao observar-se uma fissura longitudinal, deve-se:

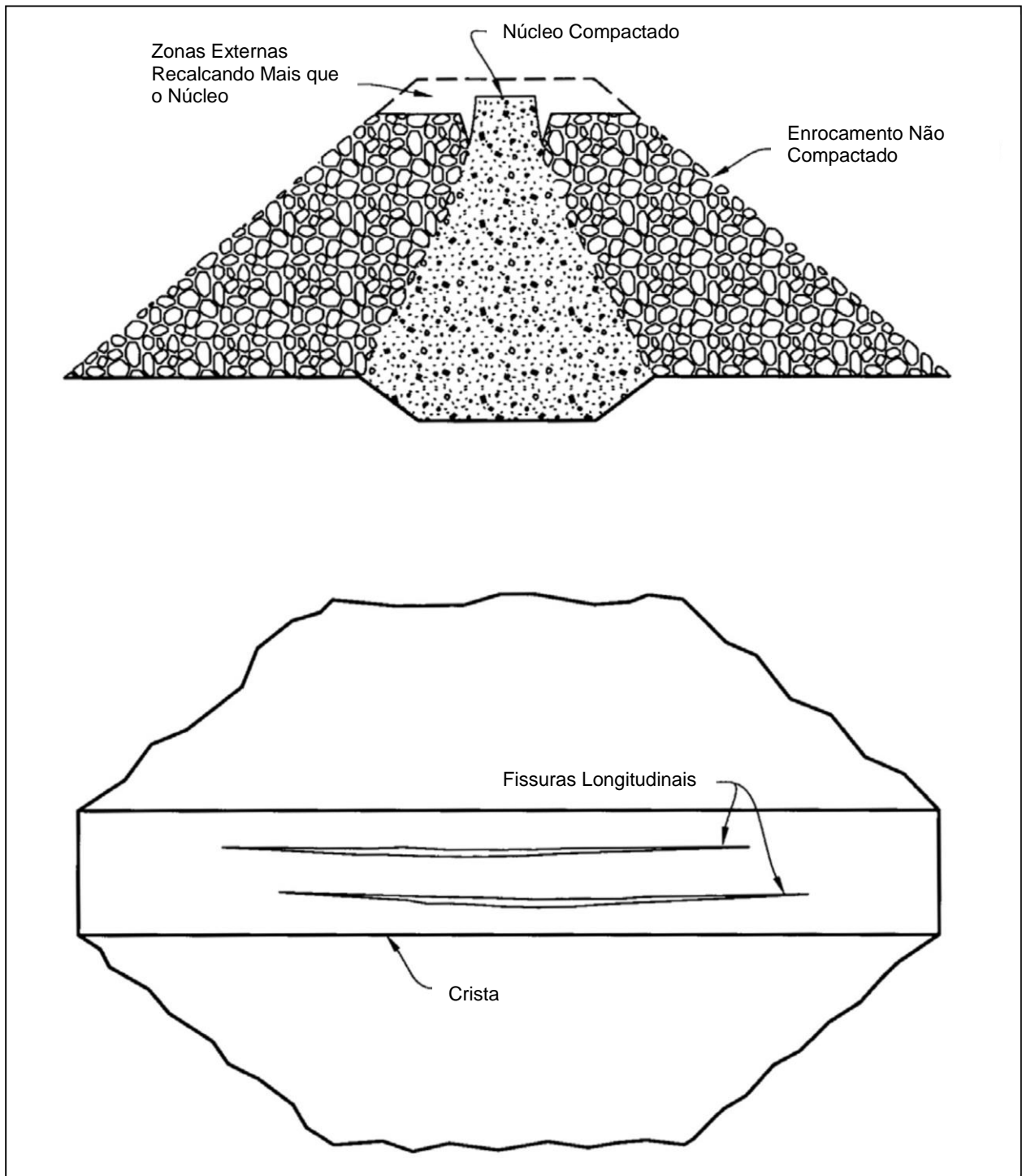
- ✓ Fotografar, sondar e registrar a localização, profundidade, comprimento, largura e ramificações de cada fissura.
- ✓ Monitorar a fissura para acompanhar alterações. O monitoramento pode ser feito criando uma linha de referência com estacas.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Um engenheiro qualificado deve ser consultado para determinar as causas da fissura.

## FISSURAÇÃO LONGITUDINAL (continuação)

FIGURA II-8. COMO SE FORMAM AS FISSURAS LONGITUDINAIS



## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: FISSURAS

#### FISSURAÇÃO POR RESSECAMENTO

Fissuração por ressecamento é causado pela perda de umidade e contração de alguns tipos de solo usados no maciço. As fissuras por ressecamento geralmente se desenvolvem aleatoriamente em um padrão de colmeia, na crista e no talude de jusante.

As piores fissuras por ressecamento ocorrem quando a combinação dos seguintes fatores está presente:

- Clima quente e seco com o reservatório permanecendo vazio por longos períodos.
- Maciço composto por solos argilosos de alta plasticidade.

Normalmente, fissuração por ressecamento não é prejudicial, exceto quando se torna muito severo. A maior ameaça é que estas fissuras podem contribuir para formação de ravinas por erosão. O fluxo de água superficial se concentrando nestas ravinas pode resultar em agravamento do problema e eventual dano à barragem.

Também, chuvas intensas podem preencher estas fissuras e causar instabilidade em partes do maciço com deslizamento ao longo das fissuras, onde o solo tiver perdido resistência por saturação. Fissuras profundas que estendem através do núcleo impermeável podem levar à falha da barragem caso o nível do reservatório se eleve e o solo não se expanda com rapidez suficiente para fechar as fissuras.

#### Fissuração por Ressecamento: Inspeção

Ao observar-se uma fissura por ressecamento, deve-se:

- ✓ Sondar a maior fissura para determinar sua profundidade.
- ✓ Fotografar, sondar e registrar a localização, profundidade, comprimento e largura das fissuras maiores.
- ✓ Comparar as medidas atuais com as anteriores para verificar se a situação estase agravando.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Se a profundidade das fissuras parece se estender abaixo do nível máximo do reservatório, um engenheiro qualificado deve indicar as investigações e medidas corretivas apropriadas.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INSTABILIDADE**

#### **INSTABILIDADE**

Instabilidade do maciço é um problema muito sério. Os principais indicadores visuais de instabilidade são:

- Deslizamentos
- Deformação Lateral
- Infiltração
- Fissuras

Outras indicações incluem fissuração e desalinhamento de estruturas complementares (por exemplo: muros, guarda corpos, pavimentos e obras anexas) ou mesmo da linha de contato do reservatório com o talude de montante.

#### **DESLIZAMENTOS**

O fenômeno do deslizamento recebe vários nomes incluindo deslocamentos, abatimentos, escorregamentos e solapamento. Os deslizamentos podem ser agrupados em duas categorias principais:

- Deslizamento Superficial
- Deslizamento Profundo

Um deslizamento pode levar a:

- Obstrução das estruturas de condução da água e dos drenos.
- A outros deslizamentos, maiores e mais profundos.
- Erosões superficiais e problemas de manutenção.

A seguir você aprenderá mais sobre cada uma das categorias de deslizamentos.

#### **Deslizamento Superficial**

Deslizamentos superficiais nos taludes de montante são frequentemente resultado de uma inclinação exagerada do talude agravada por um rápido abaixamento do nível da água no reservatório. Deslizamentos superficiais nos taludes de montante não impõem risco imediato à integridade da barragem.

Deslizamentos superficiais nos taludes de jusante também indicam uma inclinação exagerada. Em adição, também podem indicar uma resistência ou uma diminuição da resistência do material do maciço. Uma pequena resistência ou uma diminuição da resistência pode ser resultante de um maciço mal compactado ou causada por saturação do talude por percolação, infiltração da água superficial ou obstrução de um dreno. Cargas adicionais devidas a pilhas provisórias de solo ou ao peso de estruturas podem agravar a situação.

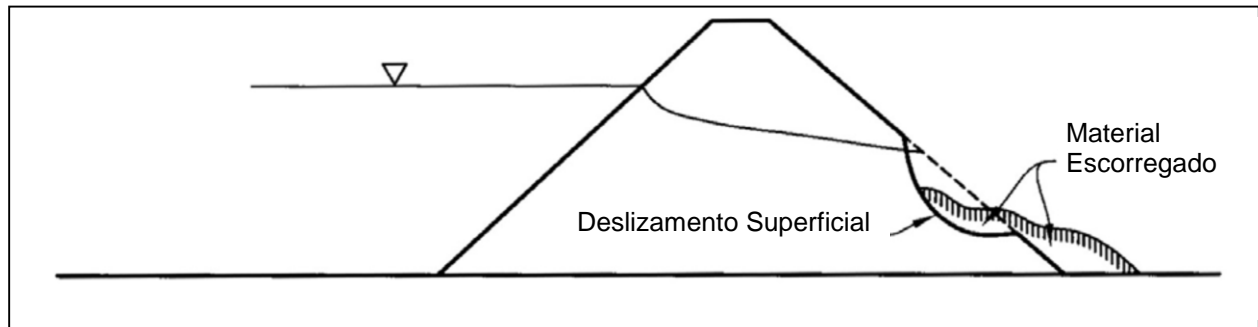
Figura II-9, na página seguinte, mostra um esquema de deslizamento superficial no talude de jusante.

**INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**  
**UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INSTABILIDADE**

**DESLIZAMENTOS**

**Deslizamento Superficial** (Continuação)

**FIGURA II-9. DESLIZAMENTO SUPERFICIAL**



**Deslizamento Superficial: Inspeção**

Ao perceber um deslizamento superficial, deve-se:

- ✓ Fotografar, e registrar a localização do escorregamento.
- ✓ Medir e registrar a extensão e o deslocamento do deslizamento.
- ✓ Procurar por fissuras no entorno, especialmente a montante.
- ✓ Sonde toda a área para determinar a profundidade e extensão da cunha que está escorregando.
- ✓ Verificar se existem infiltrações no deslizamento ou nas proximidades.
- ✓ Monitorar a área para determinar se a situação está se agravando. O monitoramento pode ser feito criando uma linha de referência com estacas.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Você deve consultar um engenheiro qualificado, caso não esteja seguro que o deslizamento não apresenta um risco sério à segurança da barragem.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INSTABILIDADE

#### DESLIZAMENTOS

##### Deslizamento Profundo

Deslizamentos profundos são sérias ameaças à segurança da barragem. Para reconhecer deslizamentos profundos, procure por:

- **Escarpas bem definidas**

Uma escarpa é uma área relativamente plana com um talude íngreme atrás.

- **Pé Abaulado (“Bulge”)**

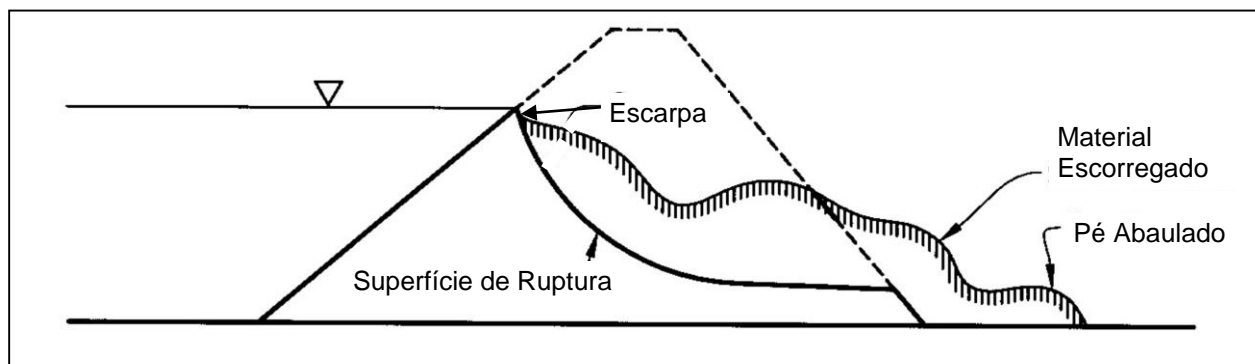
Um abaulamento do pé da barragem pode ser a porção inferior de um escorregamento profundo, sendo resultado do movimento horizontal ou rotacional do material do maciço. (Abulamentos serão discutidos na próxima parte desta seção)

- **Fissuras em forma de arco**

Fissuras em forma de arco no talude são indicações que um escorregamento está começando. Este tipo de fissuras pode dar início a uma grande escarpa no topo do deslizamento.

Figura II-10 apresenta um esquema de um deslizamento profundo.

**FIGURA II-10. DESLIZAMENTO PROFUNDO**




## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INSTABILIDADE

### DESLIZAMENTOS

#### Deslizamento Profundo: Inspeção

Um deslizamento profundo ou uma escarpa tanto no talude de jusante como no de montante é uma indicação de problema estrutural sério.

 **DICA DE INSPEÇÃO: IMEDIATA AÇÃO É NECESSÁRIA!** Em muitos casos um deslizamento profundo exigirá o rebaixamento do reservatório para evitar a falha da barragem. O proprietário deve ser avisado.

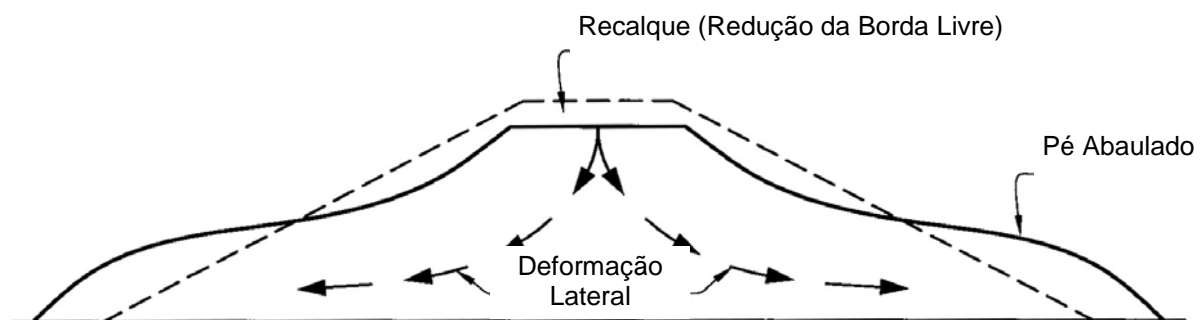
Um engenheiro qualificado deve ser consultado:

- Para determinar se o reservatório deve ser rebaixado ou esvaziado para evitar a ruptura da barragem.
- Para avaliar as causas do deslizamento.
- Para prescrever as ações de remediação.

### DEFORMAÇÃO (“SPREADING”) LATERAL


Recalques excessivos podem resultar em deformação lateral da barragem e abaulamentos (“bulges”), que podem ser acompanhados por fissuras paralelas longitudinais de tração nos taludes. Abaulamentos são mais evidentes no pé do talude. Figura II-11 ilustra o abaulamento ocorrendo devido à deformação lateral da barragem.

**FIGURA II-11. DEFORMAÇÃO (“SPREADING”) LATERAL**



#### Abaulamentos (“Bulges”) devido a Deformação Lateral: Inspeção

Um abaulamento devido a uma deformação lateral pode significar redução da borda livre, que é a distância vertical entre o nível máximo do reservatório e a crista da barragem.

 **DICA DE INSPEÇÃO:** Se você suspeita de redução da borda livre, um nivelamento topográfico da crista da barragem deve ser realizado, para verificar se realmente está ocorrendo esta redução.

**INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**  
**UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: INSTABILIDADE**

**DEFORMAÇÃO (“SPREADING”) LATERAL**

**Abaulamentos (“Bulges”) devido a Deformação Lateral: Inspeção (Continuação)**

Em complemento à verificação de perda de borda livre:

- ✓ Examine com cuidado a área acima do abaulamento procurando escarpas, o que indicaria se um deslizamento é a causa do problema.
- ✓ Sonde o abaulamento para determinar se o material está excessivamente úmido ou solto. O material estando com excessiva umidade e muito fofo também indica que a causa é um deslizamento.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: SUBSIDÊNCIAS

#### SUBSIDÊNCIAS

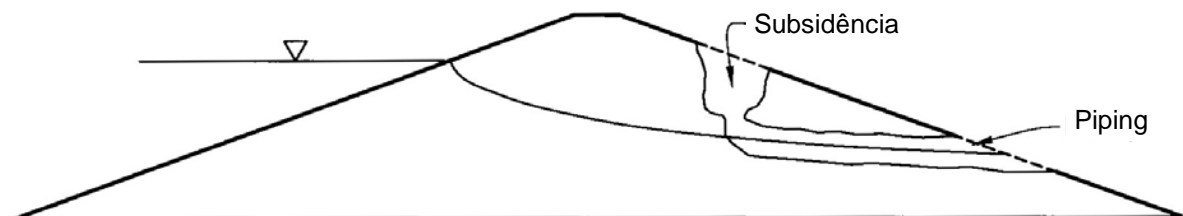
Subsidências são formadas quando a remoção do material no interior do maciço ou da fundação resulta no colapso do material sobrejacente, no vazio criado pela remoção.

A presença de uma subsidência pode indicar que o material está sendo, ou foi, carregado por um processo de erosão interna ou piping. (Ver a seção sobre infiltração para mais informação sobre erosão interna ou piping.). A decomposição de madeira enterrada, ou outro material vegetal, e cavas de animais podem também dar origem a subsidências.

Subsidências são frequentemente associadas com fundações cársticas e neste caso são chamadas de dolinas. Regiões cársticas são caracterizadas por cavernas, rios que desaparecem, grandes fontes, altiplanos estéreis e solos pouco espessos. Esta condição geralmente é encontrada em áreas de rochas calcárias que dão origem a estas feições por dissolução do embasamento rochoso e ação do intemperismo.

Figura II-12 ilustra como uma subsidência é formada.

**FIGURA II-12. FORMAÇÃO DE UMA SUBSIDÊNCIA**



#### **Subsidências: Inspeção**

Se você identificar uma subsidência:

- ✓ Sonde a subsidência para verificar se o vazio é maior que é aparente.
- ✓ Fotografe e registre localização, tamanho e profundidade da subsidência.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Uma subsidência pode ser um problema sério. Solicite que um engenheiro qualificado avalie a situação imediatamente.

## UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: DEPRESSÕES

### DEPRESSÕES

Uma depressão é uma forma de recalque no maciço ou na fundação que é menos sério que uma subsidência.

Depressões são causadas por:

- Erosão. A ação das ondas contra o talude montante removendo a parte fina do material do maciço ou a camada de transição sob o riprap pode causar uma depressão quando o riprap se assenta no vazio formado.
- Recalques localizados no maciço devido à má compactação ou na fundação devido à presença de materiais compressíveis.
- Perda de material subsuperficial por decomposição de material vegetal, ou por erosão interna ou piping.

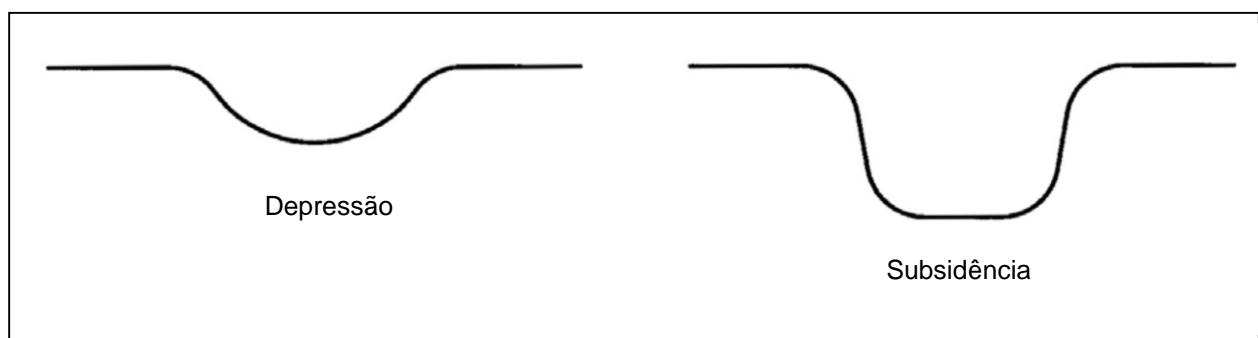
Algumas aparentes depressões podem de fato ser resultantes de má conformação da superfície final do maciço por falha do acabamento final durante a construção.

Algumas vezes, uma maneira de se distinguir entre depressões e subsidências é examinando o perfil do terreno. No entanto, deve-se estar atento para o fato de que uma depressão localizada pode ser a manifestação inicial de uma subsidência em formação.

- **Depressões:** Afundamentos localizados com taludes suaves e em forma de bacia.
- **Subsidências:** Subsidências geralmente têm taludes íngremes em forma de balde.

Figura II-13 ilustra a diferença entre depressão e subsidência.

**FIGURA II-13. DEPRESSÃO E SUBSIDÊNCIA**



## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: DEPRESSÕES**

#### **DEPRESSÕES**

##### **Detectando Depressões**

Outras indicações incluem fissuração e desalinhamento de estruturas complementares (por exemplo: e obras anexas) ou mesmo da linha de contato do reservatório com o talude de montante.

Depressões e outros desalinhamentos na crista e nos taludes do maciço frequentemente podem ser detectados visando através de pontos fixos alinhados. Você deve olhar e tirar fotos ao longo meio fios, guarda corpos, faixas no pavimento e através dos taludes. Entretanto, alguns aparentes desalinhamentos podem ser devidos à colocação irregular dos pontos fixos que estão sendo usados como linha de referência. Por esta razão, irregularidades no alinhamento destes elementos devem ser avaliadas ao longo do tempo para confirmar se são devidas a deslocamentos do maciço ou a falhas nas suas instalações.

A visualização destas irregularidades é facilitada pelo controle topográfico através de marcos de referência posicionados na crista para determinar a localização exata e a extensão do desalinhamento. O controle topográfico também pode informar a velocidade com que os deslocamentos estão ocorrendo.

##### **Depressões: Inspeção**

Apesar de depressões, na maioria dos casos não representar um perigo imediato, elas podem indicar antecipadamente problemas mais sérios. Se você identificar uma subsidência:

- ✓ Fotografe e registre localização, tamanho e profundidade da depressão.
- ✓ Sonde o fundo da depressão para verificar se existe ou não um vazio subjacente. Um vazio subjacente é um indicativo de que se trata de uma subsidência em estágio inicial de formação.
- ✓ Frequentemente, observe a depressão para assegurar-se de que ela parou de crescer.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

Manutenção diz respeito a todas as medidas rotineiras tomadas para proteger e manter a barragem em boas condições. Algumas questões de manutenção podem não representar uma ameaça imediata à barragem, mas podem se transformar em problemas caso não sejam tratadas a tempo. Deficiências associadas à manutenção inadequada incluem:

- Proteção Inadequada dos Taludes
- Erosão pela Água de Superfície
- Crescimento Excessivo da Vegetação
- Detritos
- Cava de Animais

Nesta seção, você vai aprender como detectar problemas de manutenção e quais as medidas corretivas que devem ser tomadas.

#### **PROTEÇÃO INADEQUADA DOS TALUDES**

Antes de examinar a questão da proteção inadequada dos taludes, vamos brevemente rever os diferentes tipos de proteção dos taludes.

A proteção dos taludes é projetada para prevenir a erosão dos taludes do maciço. Existem dois tipos mais comuns de proteção usados em barragens de terra:

- Riprap
- Cobertura Vegetal (Grama)

Solo cimento, concreto, asfalto, concreto compactado a rolo (CCR) e outros tipos de proteção também podem ser usados. A escolha depende do custo e das condições no sítio da barragem.

#### **Riprap**

Um riprap é formado por uma camada de blocos de rocha (ou matacões e pedregulhos) colocada nos taludes de montante e jusante, geralmente sobre uma camada de transição de blocos menores, brita (ou pedregulho) e areia grossa. O riprap protege contra erosão causadas por vento, ondas e água de chuva.

No talude de jusante, como proteção contra a erosão pela água superficial, é comum o uso de uma única camada de brita ou pedregulho, assente diretamente sobre o maciço.

# INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

## UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO

### PROTEÇÃO INADEQUADA DOS TALUDES

#### Riprap (Continuação)

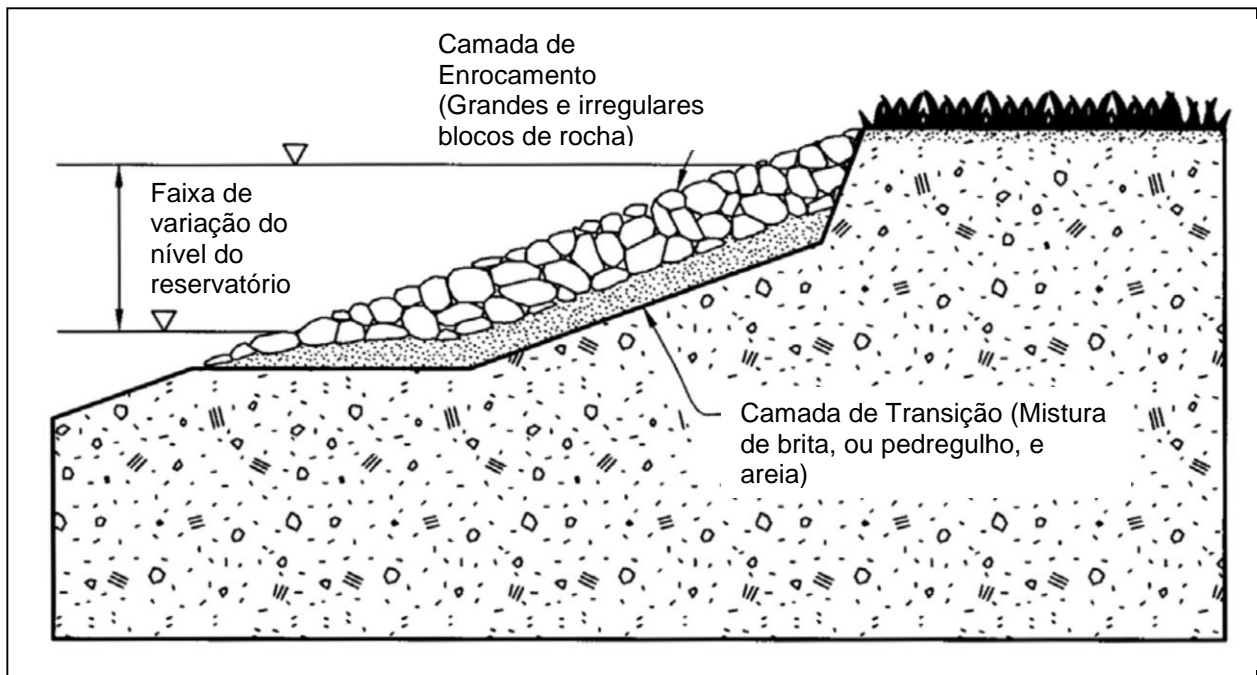
Um riprap, bem projetado, de proteção do talude de montante é composto, no mínimo, por duas camadas de material:

- **Camada de Transição:** Também chamada de camada filtrante, é formada por mistura de areias e brita (ou pedregulho). Ela tem por finalidade evitar que o solo do maciço seja arrastado pelas ondas através dos vazios entre os blocos de rocha de maior dimensão da camada superior (enrocamento). Com este propósito também podem ser usadas mantas drenantes de geotêxteis.
- **Camada de Enrocamento:** A camada superior de blocos de maior dimensão é dimensionada de modo a resistir os impactos e o poder de arraste das ondas.

É importante assegurar que blocos de rochas de tamanhos e formas variados sejam usados na camada de enrocamento. Os tamanhos e formas irregulares resultam em uma massa intertravada e mais fechada com maior resistência às ondas e, também, com melhor condição de evitar o arraste do material da camada inferior (Camada de Transição).

A inclinação do talude deve ser suficientemente suave para evitar que o riprap seja deslocado talude abaixo. Ripraps arrumados manualmente, embora normalmente assegurem uma boa proteção, constituem uma camada relativamente pouco espessa de proteção. Camadas finas de enrocamento são susceptíveis a falhas porque o deslocamento de um bloco maior pode causar o deslocamento das pedras vizinhas. Entretanto, atualmente, a maioria dos ripraps é executada por lançamento, o que obriga ao uso de camadas mais espessas. A Figura II-14 apresenta o esquema de um riprap apropriadamente projetado e executado sobre o talude de montante.

**FIGURA II-14. RIPRAP**



## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

##### **Proteção Vegetal**

A parte mais externa do maciço, quando composta por solo fino, deve ser protegida da erosão. A falta de proteção do talude poderia resultar em grandes erosões. E neste caso, seria necessário um considerável trabalho de manutenção e reparo, principalmente na crista e no talude jusante. O plantio de alguns tipos de vegetação (usualmente grama) nos taludes pode assegurar proteção contra erosão. O sistema radicular da cobertura vegetal mantém o solo no local e protege o talude contra a ação da água superficial e dos ventos.

Em muitas regiões uma cobertura consolidada de grama garante a proteção satisfatória da crista e do talude de jusante. E, em se tratando de uma pequena barragem com pequeno reservatório e ondas insignificantes, a proteção vegetal pode ser usada também para o talude de montante. A grama deve ser mantida aparada com altura máxima de 15 centímetros, para permitir a inspeção do maciço. Em adição, os cuidados com a grama ajudam a evitar a ocorrência de tocas de animais e impede o crescimento de plantas com raízes profundas.

A proteção vegetal não se aplica, tornando necessário o uso de outros tipos de proteção, em:

- Regiões de clima árido.
- Áreas da barragem com concentração do fluxo de água superficial, como, por exemplo, no contato dos taludes com as ombreiras.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO

### PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO

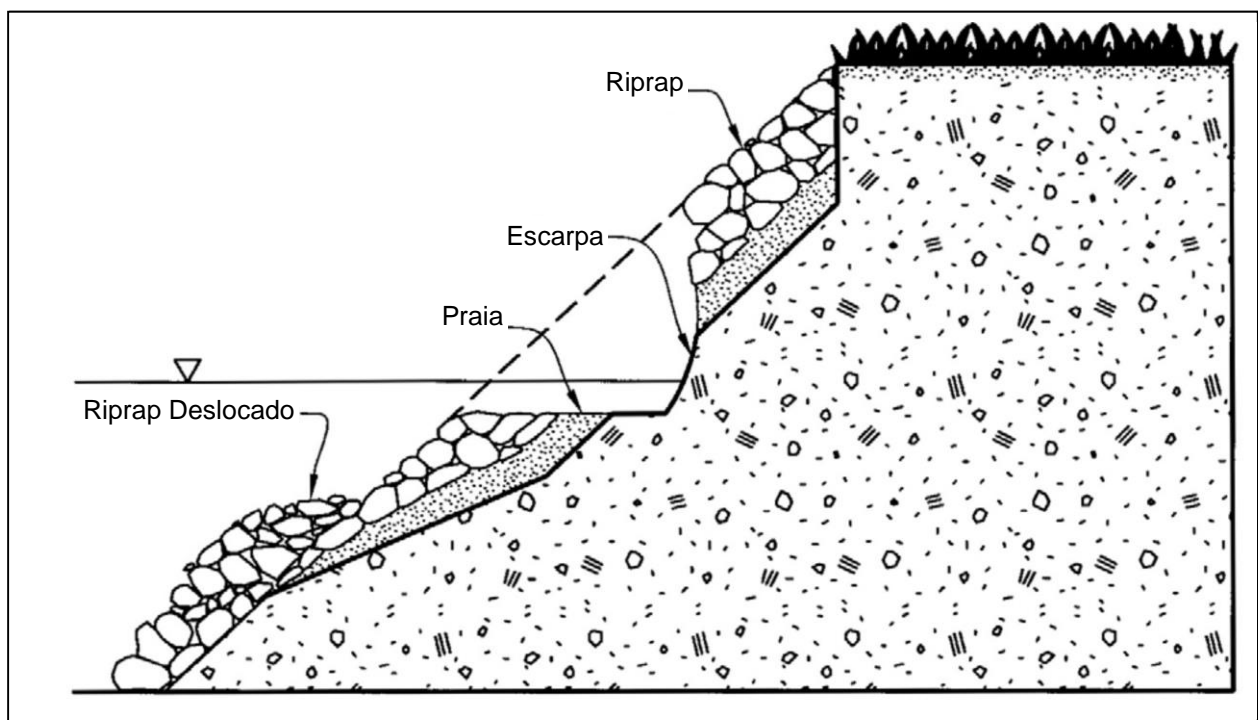
#### Erosão pelas Ondas e Proteção dos Taludes

A ação constante das ondas no talude de montante pode resultar em erosão com a formação de praias (“beaching”) e degradação da proteção do talude. Então, a menos que medidas sejam adotadas para recuperar a proteção do talude, a ação das ondas começará a erodir o material do maciço. Vamos examinar os diferentes efeitos do trabalho das ondas sobre o talude de montante.

- **Erosão pelas Ondas (“Beaching”):** A ação das ondas remove uma parte do talude de montante do maciço e deposita mais em embaixo no talude. Quando isto ocorre, a proteção do talude (riprap ou cobertura vegetal) e o material subjacente são removidos. Forma-se uma escarpa seguida por uma zona relativamente plana e espraída. Em barragens pequenas, esta ação, por redução da largura do maciço, pode levar ao aumento da percolação, instabilidade e transbordamento.
- **Degradação:** A degradação ocorre quando o material da proteção do talude fissa, se desgasta ou é destruído. Este processo é acelerado pela ação das ondas. Até mesmo uma proteção bem projetada sofrerá alguma degradação com o tempo. Ripraps, coberturas com solo cimento, concreto, concreto rolado ou qualquer outra proteção que estejam apresentando sinais de degradação devem ser monitoradas. Se houver evidências que o maciço está sendo agredido, a proteção deverá ser reparada ou substituída.

Figura II-15, a seguir, ilustra o efeito das ondas em um riprap

**FIGURA II-15. EROSÃO PELAS ONDAS**



**INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**  
**UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**  
**PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

**Proteção Inadequada dos Taludes: Inspeção**

Durante a inspeção, você deve:

- ✓ Assegure-se que a proteção dos taludes é adequada para evitar a erosão.
- ✓ Procure por sinais de erosão pela s ondas e degradação da proteção do talude.

Se uma proteção inadequada é detectada:

- ✓ Registre suas observações e fotografe a área.
- ✓ Estime a extensão em que o maciço foi danificado (ou seja, material do maciço foi removido).
- ✓ Recomende que ações corretivas sejam tomadas para reparar ou substituir a proteção inadequada.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **EROSÃO PELAS ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Erosão pelas águas superficiais é um dos mais comuns problemas de obras de terra. Áreas sem cobertura vegetal ou onde a vegetação é esparsa são mais suscetíveis à erosão superficial. Se não corrigida, uma erosão superficial pode se transformar em um sério problema.

#### **Ravinas**

O pior dano da erosão pelas águas superficiais se manifesta pelo desenvolvimento de sulcos nos taludes, que se aprofundam transformando-se em ravinas, tanto nos encontros com as ombreiras como na parte central da barragem.

Ravinas profundas podem:

- Provocar a abertura de uma brecha na crista.
- Reduzir o caminho de percolação através da barragem, levando ao desenvolvimento de piping.

Ravinas podem se desenvolver como resultado da conformação (nivelamento e inclinação) deficiente da crista durante a execução, que levou a um mau funcionamento da drenagem superficial. As águas da chuva se concentram e transbordam nos pontos baixos da borda da crista, precipitando-se talude abaixo. Ravinas causadas por este tipo de fluxo podem reduzir a área da seção transversal da barragem.

#### **Proteção dos Taludes e Crista**

Erosão pode solapar a proteção do talude de montante provocando seu abatimento. Este solapamento pode eventualmente levar a eventual degradação do próprio talude.

A crista pode sofrer desgaste e erosão se não protegida. A proteção da crista pode ser um revestimento de cascalho, asfalto ou concreto. O tipo de revestimento usado depende do volume de tráfego que se espera. Se pouco ou nenhum tráfego é esperado, uma proteção com grama pode ser adequada. Neste caso, deve-se verificar se esta cobertura oferece suficiente proteção contra a erosão. Tráfego excessivo em uma crista protegida com cascalho ou com grama, especialmente durante a estação chuvosa, pode levar ao surgimento de sulcos na superfície da crista. Estes sulcos irão acumular água, podendo potencialmente criar problemas de estabilidade.

Existem várias circunstâncias especiais que podem contribuir para aumentar, ou iniciar, erosões na crista ou no talude de jusante. Em algumas áreas, pessoas e animais podem estabelecer trilhas no maciço. Este trânsito pode prejudicar a cobertura vegetal do talude. Veículos recreacionais podem criar sulcos na crista e danificar a proteção do talude. Ondas quebrando por cima da crista podem danificá-la e atingir também o talude de jusante. Ainda, você precisa estar atento para algum problema especial que seja comum em uma situação particular ou problemas antigos já observados em prévias inspeções. Assegure-se de procurar por estes tipos de problemas em sua inspeção.

## INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO

### UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO

#### EROSÃO PELAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

##### Erosão pelas Águas Superficiais: Inspeção

Durante a inspeção, você deve:

- ✓ Assegurar-se que as proteções dos taludes e da crista são adequadas para evitar erosão. Áreas sem proteção ou onde a proteção é esparsa são mais suscetíveis à erosão superficial.
- ✓ Procure por ravinas, sulcos, ou outros sinais de erosão. Verifique os pontos baixos nas ombreiras e ao longo dos contatos destas com os taludes, pois nestes locais a fluxo superficial pode se concentrar.
- ✓ Verifique se algum problema em particular, tais como tráfego de pessoas, animais ou veículos recreacionais, possa estar contribuindo para a erosão.

Se erosão superficial for detectada:

- ✓ Fotografe a área e registre suas observações.
- ✓ Determine a extensão e a severidade do dano.
- ✓ Recomende que ações corretivas sejam realizadas para reparar as áreas atingidas pela erosão e quais as medidas preventivas devem ser adotadas para evitar problemas mais sérios.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Em áreas onde solo dispersivo está presente, um padrão específico de erosão é frequentemente evidente. A água se infiltra verticalmente em fendas alguns metros antes de aflorar na superfície do talude, formando túneis no maciço.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **DESENVOLVIMENTO IMPRÓPRIO DA VEGETAÇÃO**

Desenvolvimento impróprio de vegetação que é um outro comum problema de manutenção, geralmente cai em duas categorias:

- Crescimento Excessivo da Vegetação
- Vegetação com Raízes Profundas

#### **Crescimento Excessivo da Vegetação**

Vegetação em excesso é um problema em qualquer parte de uma barragem de aterro. Pois o crescimento excessivo da vegetação pode:

- Esconder partes da barragem, o contato do maciço com as ombreiras e o pé do talude de jusante impedindo a adequada inspeção visual. Problemas que põem em risco a segurança da barragem podem se desenvolver enquanto permanecem escondidos pela vegetação.
- Dificultar o acesso à barragem e às áreas em volta. Acesso limitado é um problema óbvio tanto para inspeção como para manutenção, especialmente em situação de emergência, quando é crucial.
- Proporcionar habitats para roedores e animais cavadores que podem pôr a barragem em perigo ao facilitar a ocorrência de piping.
- Bloquear a luz do sol fazendo a cobertura de grama definhando e morrer.

Ainda, não deve haver vegetação no riprap no talude montante, pois esta provoca deslocamentos e degradação desta proteção.

O crescimento da vegetação deve ser controlado por cortes periódicos ou outros meios.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Para garantir a melhor visibilidade dos taludes e da crista, tente programar a inspeção para logo depois da realização do corte da vegetação.

#### **Vegetação com Raízes Profundas**

Apesar de uma saudável cobertura vegetal ser benéfica para proteção do talude, o desenvolvimento de plantas com raízes profundas, tais como arbustos de maior porte e árvores, é indesejável.

Sistemas radiculares associados a estas plantas desenvolvem-se e penetram no maciço, inclusive na direção da seção transversal da barragem. Assim, quando a vegetação morre, as raízes em decomposição podem criar caminhos preferenciais para infiltração e provocar piping.

E mesmo raízes saudáveis de árvores de grande porte podem representar perigo, criando trajetórias que facilitam a infiltração e conseqüentemente ameaçando a integridade do maciço.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **DESENVOLVIMENTO IMPRÓPRIO DA VEGETAÇÃO**

##### **Vegetação com Raízes Profundas (Continuação)**

Arbusto e árvores são indesejáveis na barragem ou nas áreas adjacentes. A localização, porte e tipo das árvores, bem como os princípios que orientam a manutenção da barragem, determinarão, em cada caso, as ações a serem adotadas.

Cortá-las, antes que alcancem maior porte, é a melhor política para árvores na crista, nos taludes e nas áreas adjacentes à barragem. Se grandes árvores foram cortadas, mas as raízes não foram removidas, cuidadosamente monitore a área em volta dos tocos remanescentes procurando por sinais de infiltração.

##### **Desenvolvimento Impróprio da Vegetação: Inspeção**

Durante a inspeção, deve-se:

- ✓ Procurar vegetação excessiva ou com raízes profundas em toda a barragem.
- ✓ Assegurar que não há árvores e arbustos com raízes profundas crescendo no riprap.
- ✓ Verificar a ocorrência de sinais de infiltração em volta de tocos remanescentes ou raízes em decomposição no talude de jusante e no pé da barragem.

Se vegetação não adequada é observada:

- ✓ Fotografe a área e registre suas observações.
- ✓ Registre o porte das plantas e a extensão da área atingida.
- ✓ Recomende que ações corretivas sejam realizadas para eliminar a vegetação não adequada e que sejam tomadas medidas para evitar, no futuro, seu surgimento.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **DETRITOS**

O acúmulo de detritos na barragem ou em seu entorno não constitui um perigo imediato para a sua integridade. No entanto, detritos não cuidados podem levar a sérios problemas. Abaixo, são listados alguns problemas associados à presença de detritos.

- O acúmulo de galhos e troncos na barragem pode encobrir parte do talude de montante dificultando uma inspeção adequada.
- Sob a ação das ondas, detritos podem, por impacto, acelerar o processo de degradação do riprap ou de outras proteções do talude de montante.
- Detritos vegetais podem ficar saturados e afundar, possivelmente bloqueando entradas de tomadas d'água ou vertedouros. O bloqueio destas estruturas de entrada pode causar o transbordamento da barragem por ocasião de uma cheia.

#### **Detritos: Inspeção**

Se você encontrar detritos na barragem ou em seu entorno:

- ✓ Fotografe a área e registre suas observações.
- ✓ Assegure-se que as entradas dos condutos hidráulicos estejam limpas e funcionando apropriadamente.
- ✓ Recomende que medidas corretivas apropriadas sejam tomadas para remover os detritos e, se possível, sejam adotadas providências, como a instalação de barreiras flutuantes, para evitar futuras acumulações de detritos.

#### **CAVAS DE ANIMAIS**

Cavas de animais podem ser perigosas para a segurança estrutural da barragem porque enfraquecem o maciço e podem criar caminhos preferenciais para infiltração. Nos Estados Unidos os seguintes animais podem causar a destruição de barragens de terra (os três primeiros são os mais problemáticos):

- Rato Almiscarado
- Castor
- Marmota
- Esquilo
- Cão da Pradaria
- Texugo
- Cágados

No Brasil, tem ocorrido problema em pequenas barragens com formigueiros, principalmente naquelas que passam alguns meses com o reservatório vazio ou com o nível muito baixo.

## **INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO**

### **UNIDADE II. INSPECIONANDO AS ANOMALIAS: PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO**

#### **CAVAS DE ANIMAIS (Continuação)**

Animais cavadores fazem tocas e túneis. Estes túneis podem causar erosão interna e falha quando:

- Conectam o reservatório ao talude jusante ou diminuem os caminhos preferenciais de percolação.
- Penetram no núcleo impermeável da barragem.

Cavas rasas ou cavas que ficam limitadas a um lado do maciço (jusante ou montante) são menos perigosas que aquelas profundas ou que possuem túneis.



**DICA DE INSPEÇÃO:** Se cavas superficiais ocorrem em tão grande quantidade que dão ao talude uma aparência de colmeia, a integridade do maciço é duvidosa. Você deve consultar um engenheiro qualificado para determinar como esta anomalia deve ser corrigida

#### **Cavas de Animais: Inspeção**

Se cavas de animais são evidentes:

- ✓ Fotografe a área e registre suas observações.
- ✓ Recomende que medidas sejam tomadas antes que danos maiores ocorram. Erradicação ou remoção são as providências usuais.