

DIRETORIA DE GESTÃO E RECURSOS HÍDRICOS – DRH

Anomalias em barragens e Gestão de Risco

José Roberto Jorge
Engenheiro Agrônomo
Especialista em Segurança de Barragens e Geotécnica
Diretor Técnico - AGERH
Agência Estadual de Recursos Hídricos
(27) 3347-6229
drh@agerh.es.gov.br





Maneiras de inspecionar os taludes e o coroamento de uma barragem de terra:

Para inspeção adequada dessas áreas é necessário que se percorra os taludes e o coroamento quantas vezes for necessária para se obter uma completa visualização das áreas;

A sequência escolhida para inspecionar a barragem não é importante o importante é que seja examinadas todas as áreas da superfície da barragem.

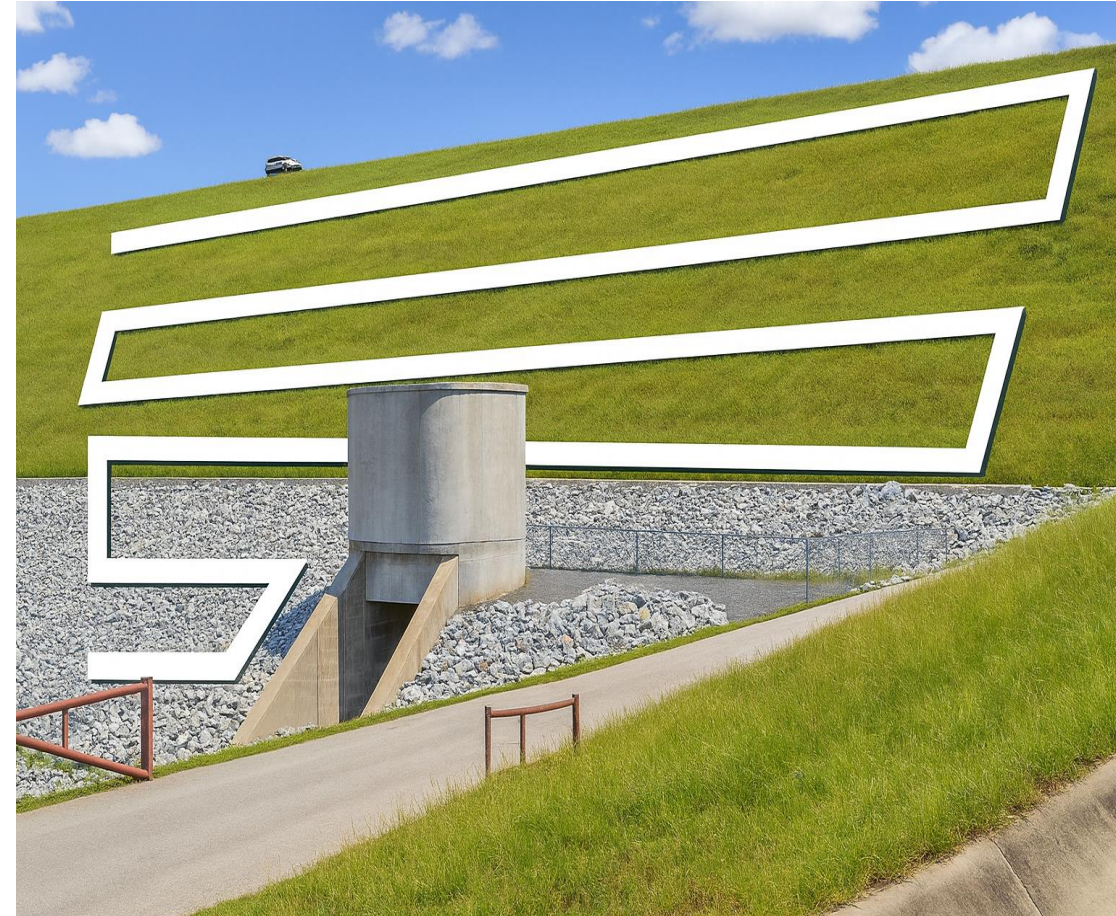
Inspeção taludes e coroamento contin...



Existem duas maneiras de se inspecionar as superfícies dos taludes, percorrendo em trajetórias paralelas ou em zigue-zague.

Trajetórias Paralelas:

- Recomendada para grandes barragens de terra, ou;
- Naquelas que possui os taludes muito íngremes.

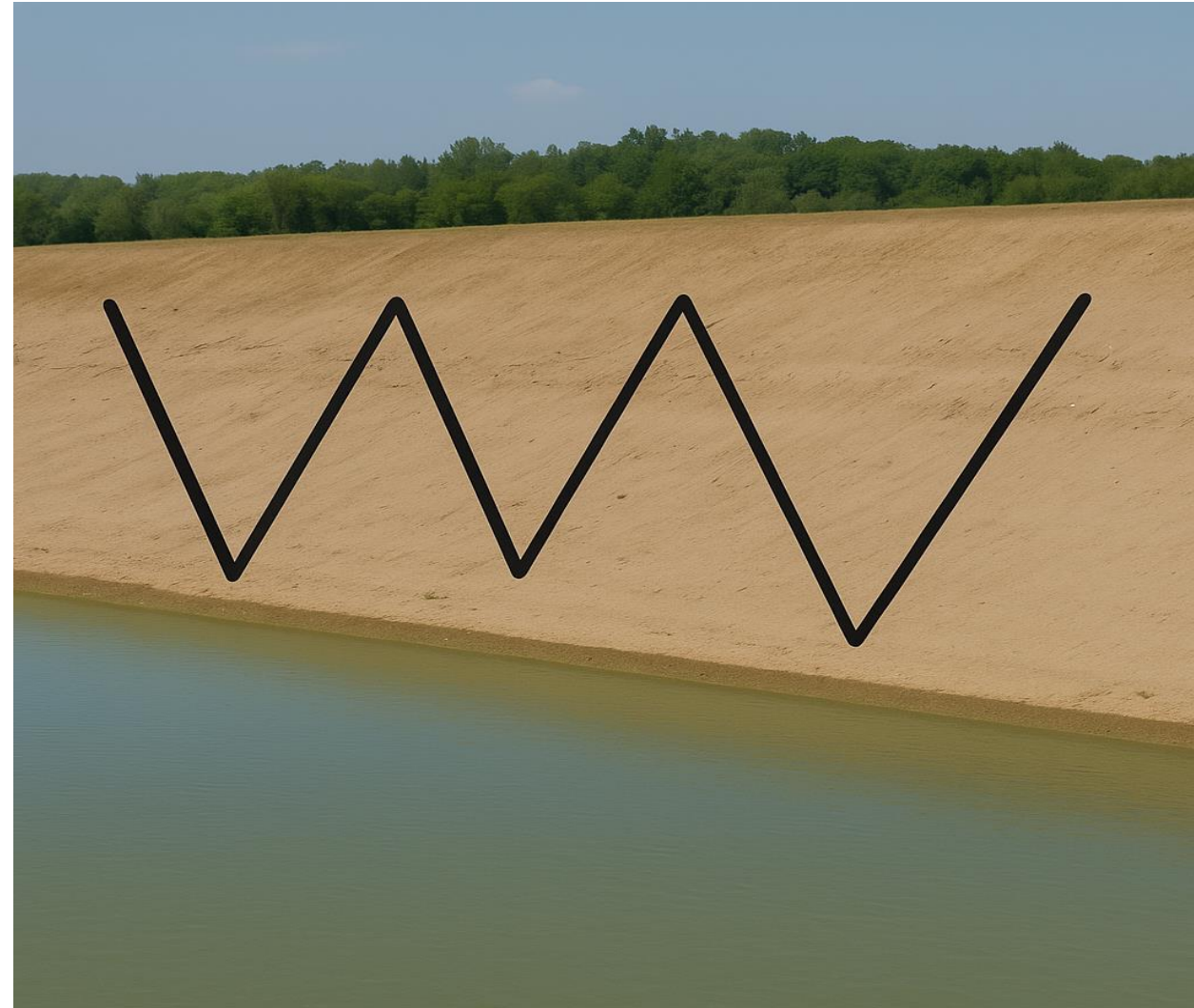


Inspeção taludes e coroamento contin...



Trajetoórias em zigue-zague:

- Utilizadas quando o talude da barragem for PEQUENO e pouco INGREME.



Inspeção taludes e coroamento contin...



Durante a inspeção é recomendado que se faça paradas regulares para observar de que nada passou despercebido.

Deve-se inspecionar cuidadosamente as áreas de contato das ombreiras com o maciço, essas áreas são chamadas de encontros.

Os encontros são susceptíveis a problemas de percolação e de erosão superficial.

A melhor maneira de se inspecionar as superfícies de encontro é percorrer essa superfície de contato antes de deixar os taludes.



Inspeção taludes e coroamento contin...



Assim como os taludes ao percorrer o coroamento da barragem é importante observar cada detalhe de sua área de superfície, pode-se caminhar em zigue-zague ou a longo da borda de montante em seguida atravessar o coroamento e percorrer a borda de jusante.



A borda é a linha de contato entre o coroamento e o talude. Seguir uma sequência lógica que se permita uma descrição detalhada de toda área do coroamento.

Inspeção taludes e coroamento contin...



Verificar o alinhamento entre os taludes e o coroamento da barragem: **Centrar seu olhar em uma sequência de marcos de linha reta e mover-se de um lado para o outro, para observar esses marcos a partir de vários ângulos. Os marcos podem ser guardas corpos, faixas do pavimento ou parapeitos, entre outros pontos que propiciem verificar o alinhamento.**

Com essas técnicas de observação pretende verificar desalinhamentos, irregularidades no coroamento e nos taludes da barragem.

Pode utilizar binóculos ou fotografar com uma câmera com zoom.





Principais anomalias:

- Falta de proteção;
- Erosões e fissuras;
- Presença de vegetação excessiva;



Falta de Proteção

Não são anomalias que podem elevar o nível de perigo de uma barragem, mas devem ser corrigidas e monitoradas ao longo do tempo.

Causas prováveis

Falta do elemento na construção, carreamento com a água da chuva, variação constante do nível do reservatório.

Possíveis consequências

Pode levar ao surgimento de processos erosivos superficiais, bem como a ocorrência de trincas por ressecamento e outros.





Erosões e Fissuras

Erosões costumam ser produto da falta de proteção superficial do talude de montante;
Apresentam perigo imediato se generalizadas ou grandes.

Causas prováveis

Ação das ondas, falta de proteção dos taludes, escoamento de águas pluviais inadequado, má compactação da estrutura.

Possíveis consequências

A erosão diminui a largura e possivelmente a altura do maciço, o que pode conduzir ao aumento da percolação ou ao transbordamento da barragem.





Presença de Vegetação

Grande quantidade de vegetação prejudicando a vistoria visual da região e pode levar a tombamentos de árvores.

Causas prováveis

Falta de conhecimento técnico a respeito da presença de árvores e arbustos, falta de manutenção ou abandono da estrutura.

Possíveis consequências

Raízes profundas podem criar caminhos para passagem de água. Arbustos podem dificultar inspeções visuais e abrigar roedores.





Principais anomalias:

- Falta de proteção;
- Erosões;
- Presença de vegetação excessiva;
- Surgência de água
- Umidade Visível;
- Desabamentos;

TALUDE DE JUSANTE



1. Erosão no talude de jusante.



2. Talude de jusante sem proteção.



3. Trinca no talude de jusante.



4. Vegetação excessiva no talude de jusante.



Surgência de água

São anomalias que apresentam vazão contínua ou crescente no talude de jusante;

Se a água estiver barrenta, apresenta perigo imediato.

Causas prováveis

Um caminho preferencial de percolação desenvolveu-se através do maciço.

Possíveis consequências

O aumento do fluxo pode levar à erosão do maciço e à ruptura da barragem.

A saturação do maciço próximo à zona de infiltração pode criar instabilidade, levando à ruptura da barragem.





Umidade Visível

O material do maciço na área está permitindo fluxo de água. A evolução pode elevar ao início de processos erosivos.

Causas prováveis

Um caminho preferencial de percolação desenvolveu-se através do maciço.

Possíveis consequências

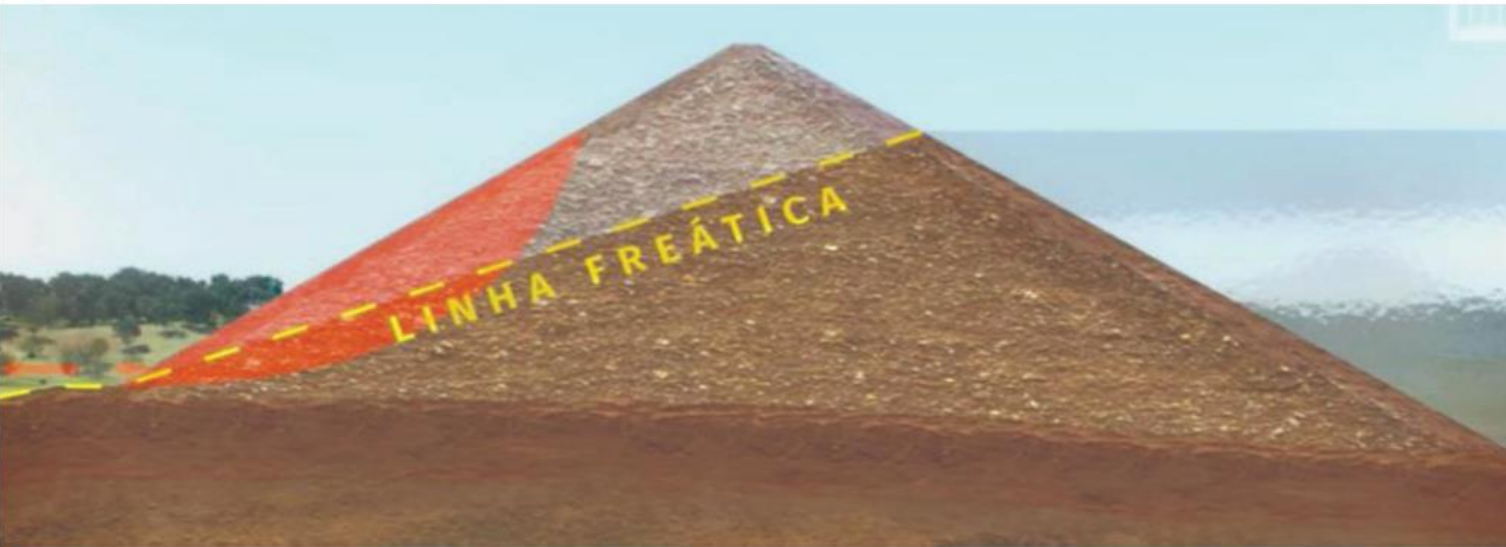
Pode indicar a existência de uma área saturada.

Gera certa instabilidade no talude, com a descompactação do material.





Nível freático controlado.
A linha freática que separa o
porção saturada da
instaurada está no interior do
maciço.

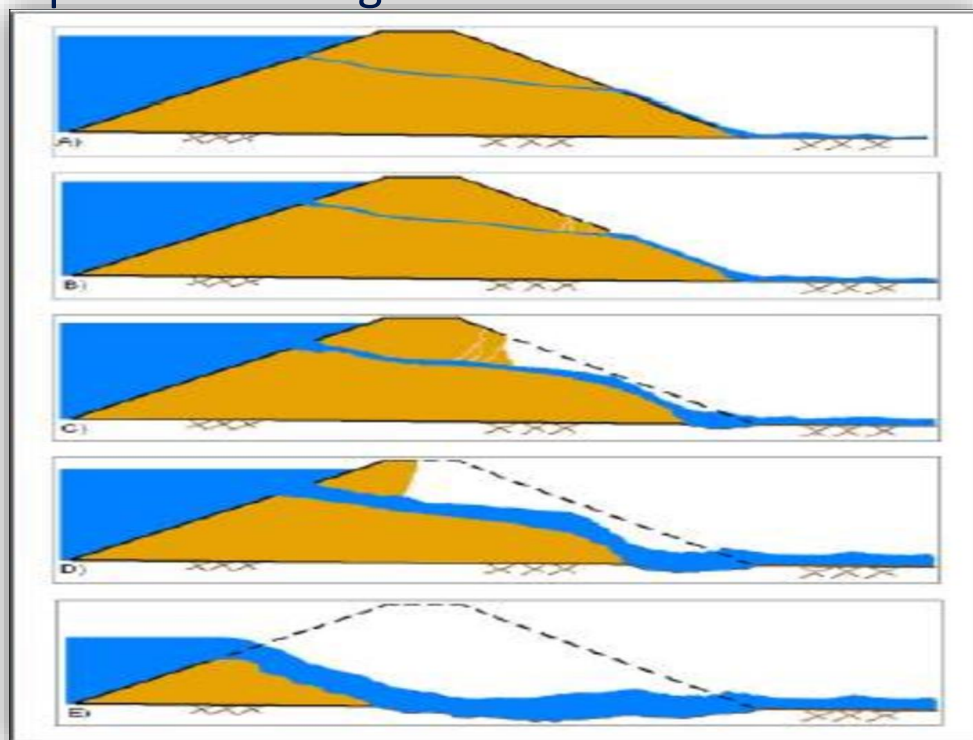


Nível freático descontrolado.
A linha freática começa a
aparecer no talude de jusante.
Podendo levar a erosão interna
e colapso da estrutura.

PIPING:

É o caso mais sério de percolação. Caso não seja controlada alimentará progressivamente podendo até causar a ruptura da barragem.

O PIPING é formado quando o material do maciço ou fundação é carregado pela água de percolação formando um duto, um PIPING, esse conduto avança em direção ao talude de montante, mais e mais materiais são carregados para jusante, finalmente é criada uma passagem de água contínua do reservatório o que causará a ruptura da barragem.



Desabamentos

O maciço da barragem está próximo ao colapso.

Essa anomalia com grande significância exige ações de emergência a jusante.

Causas prováveis

Erosões não controladas, tombamentos de árvores, galgamentos.

Possíveis consequências

Ruptura iminente da barragem.





Principais anomalias:

- Vegetação excessiva;
- Falta de proteção;
- Trincas;
- Deformações e recalque;
- Desalinhamento

CRISTA DA BARRAGEM



1. Palmeiras na crista da barragem.



2. Vegetação descontrolada.



3. Falta de proteção ou escoamento de águas pluviais.



Trincas e Fissuras

Causas prováveis

Trincas - Movimentos desiguais das partes adjacentes do maciço.

Fissuras - Movimento vertical entre seções do maciço da barragem. Deformação ou falha estrutural causada por instabilidade estrutural ou falha na fundação.

Possíveis consequências

Podem criar um caminho para infiltração na direção transversal do maciço.

Criam área de baixa resistência no interior do maciço, podendo iniciar futura deformação, movimento ou ruptura. Permitem um ponto de entrada para água de escoamento superficial





Deformações e recalques

Deformações excessivas podem indicar deslizamento da barragem por má compactação.

A Passagem de veículos pode gerar sulcos que empoçam água.

Causas prováveis

Assentamento excessivo no maciço ou fundação. Erosão interna do maciço da barragem. Deformação a jusante ou montante.

Passagem constante de veículos.

Terraplanagem final inadequada.

Possíveis consequências

Redução da borda livre da barragem.

Infiltração das águas pluviais.





Desalinhamento

Desalinhamentos em barragens de concreto exigem adoção de ações de emergência.

Causas prováveis

Movimentos entre partes adjacentes do maciço. Deformação estrutural ou ruptura próxima à área do desalinhamento.

Possíveis consequências

Pode produzir áreas localizadas de baixa resistência no maciço, que podem provocar a ruptura deste.





Principais anomalias:

- Vertedouro obstruído;
- Monge obstruído;
- Monge com acesso inadequado.



Vertedouro obstruído

Barragens com vertedouros obstruídos precisam corrigir imediatamente a situação em caso de fortes chuvas.

Causas prováveis

Acúmulo de material escorregado, árvores mortas, crescimento excessivo de vegetação, processos erosivos no canal do vertedouro.

Possíveis consequências

Redução da capacidade de descarga da vazão excedente, causando o transbordamento da barragem. O transbordamento prolongado pode causar a ruptura da barragem.





Monge obstruído

Monge é a estrutura por onde sai a vazão residual do barramento.

Causas prováveis

Acúmulo de material ou vegetação, fechamento da saída para aumento do nível do reservatório, falta de controle pelo empreendedor do barramento.

Possíveis consequências

Redução da capacidade de descarga, operação em desacordo com a outorga e as leis ambientais.
Impossibilidade de redução do nível da barragem em casos de emergência.





Monge com acesso inadequado

Em caso de fortes chuvas, a AGERH recomenda a redução do nível do reservatório. Essa operação é realizada no monge.

Causas prováveis

Falta de previsão em projeto ou defeito na passarela por deterioração da estrutura.

Possíveis consequências

Dificuldades na operação do nível do reservatório, crucial em momentos de emergência.





- Formigueiros e tocas de animais;
- Erosão nas ombreiras;
- Nível do reservatório.



Formigueiros e tocas de animais

Formigueiros e tocas de animais devem ser controladas, mas não apresentam risco iminente a segurança da barragem.

Causas prováveis

Falta de manutenção do barramento.

Possíveis consequências

Criam passagens da água superficial para dentro do maciço, permitindo a saturação das áreas adjacentes, o que pode provocar rupturas localizadas. Podem reduzir o caminho de percolação da água e provocar piping.





Erosão nas ombreiras

São anomalias que devem ser monitoradas para evitar obstruções nos dispositivos de descarga.

Causas prováveis

Deslizamento das áreas de doação, falta de proteção superficial, etc.

Possíveis consequências

Erosões não combatidas podem provocar deslizamentos ou desabamentos para dentro do vertedouro ou do reservatório, que resultam na redução da capacidade de descarga e no assoreamento.



Nível do reservatório

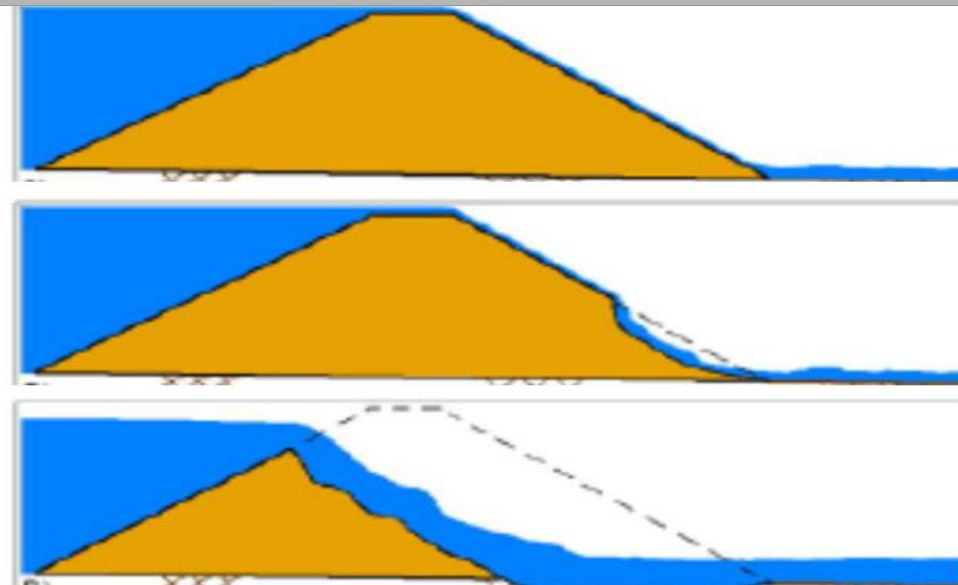
A recomendação é de que o nível do reservatório esteja a 1 m da crista em períodos normais e 1,5 m antes de previsões de chuva intensa ou período chuvoso.

Causas prováveis

Obstrução do vertedouro ou do monge, projeto dos dispositivos de descarga inadequado as condições pluviométricas.

Possíveis consequências

Galgamento da barragem, que se persistente pode levar a ruptura da estrutura.



EXEMPLOS DE ROMPIMENTOS



1. Rompimento por galgamento.



2. Rompimento por tombamento de árvore na ombreira.

EXEMPLOS DE ROMPIMENTOS



3. Rompimento por galgamento, falta de vertedor, barragem de terra sob base de rocha

BONS EXEMPLOS



1. Talude de jusante com proteção adequada.



2. Ombreiras protegidas.



3. Vertedouro sem obstrução.



4. Monge com acesso adequado.

Recomendações de leitura

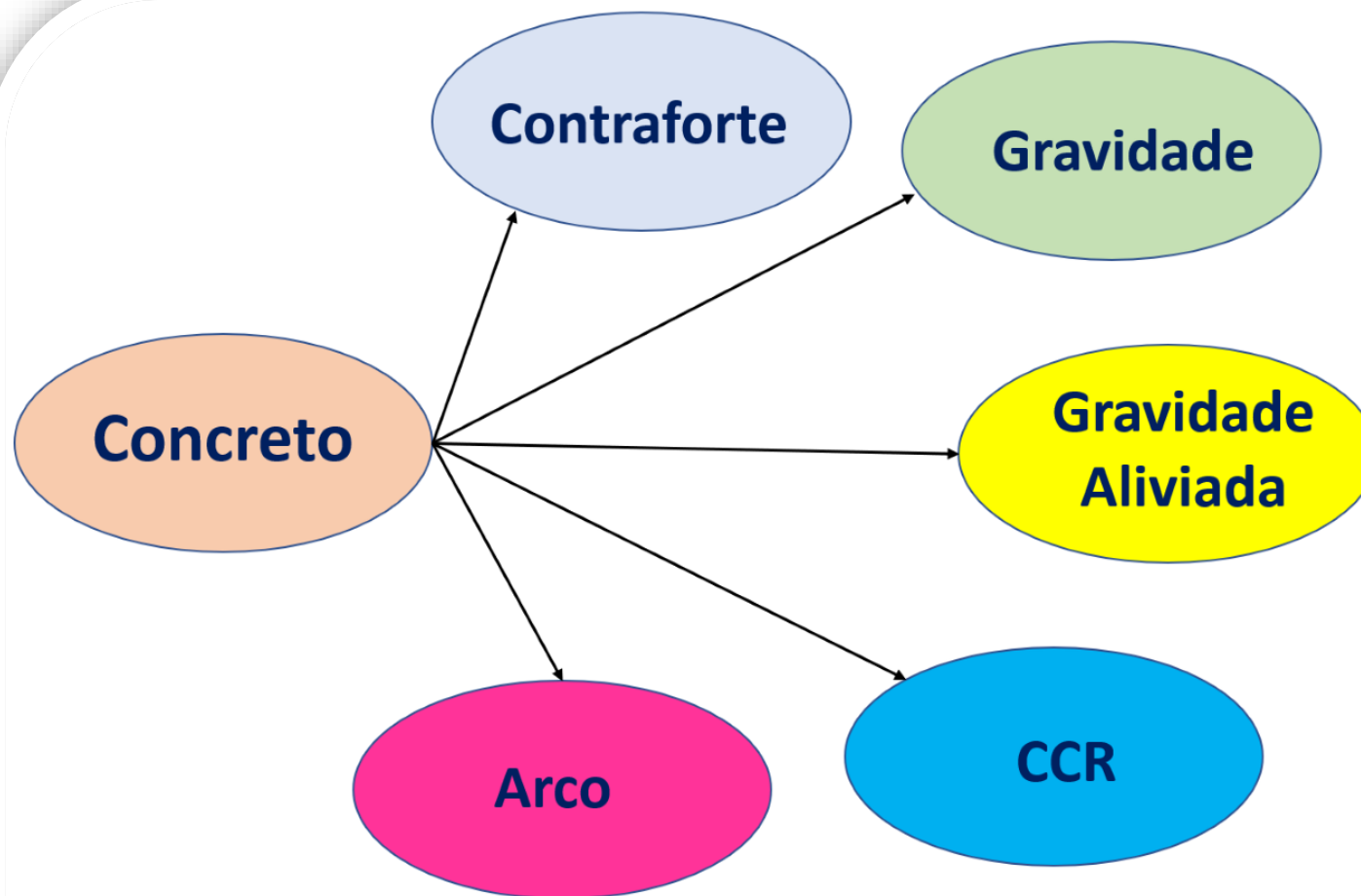


- Guia Prático de Pequenas Barragens – Volume VIII - ANA
- Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem – Volume II - ANA
- Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para Entidades Fiscalizadoras - ANA
- Cartilha de Segurança de Barragens – AGERH

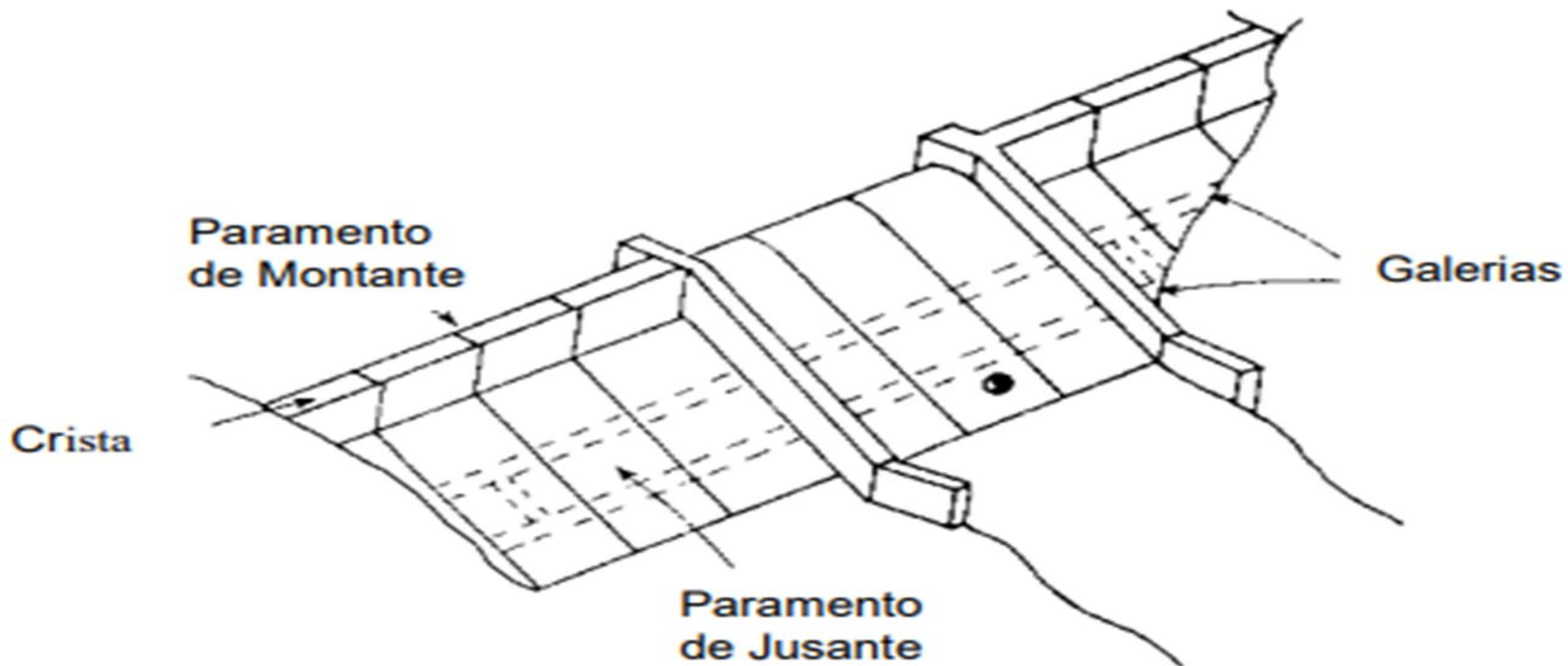
Barragem de concreto



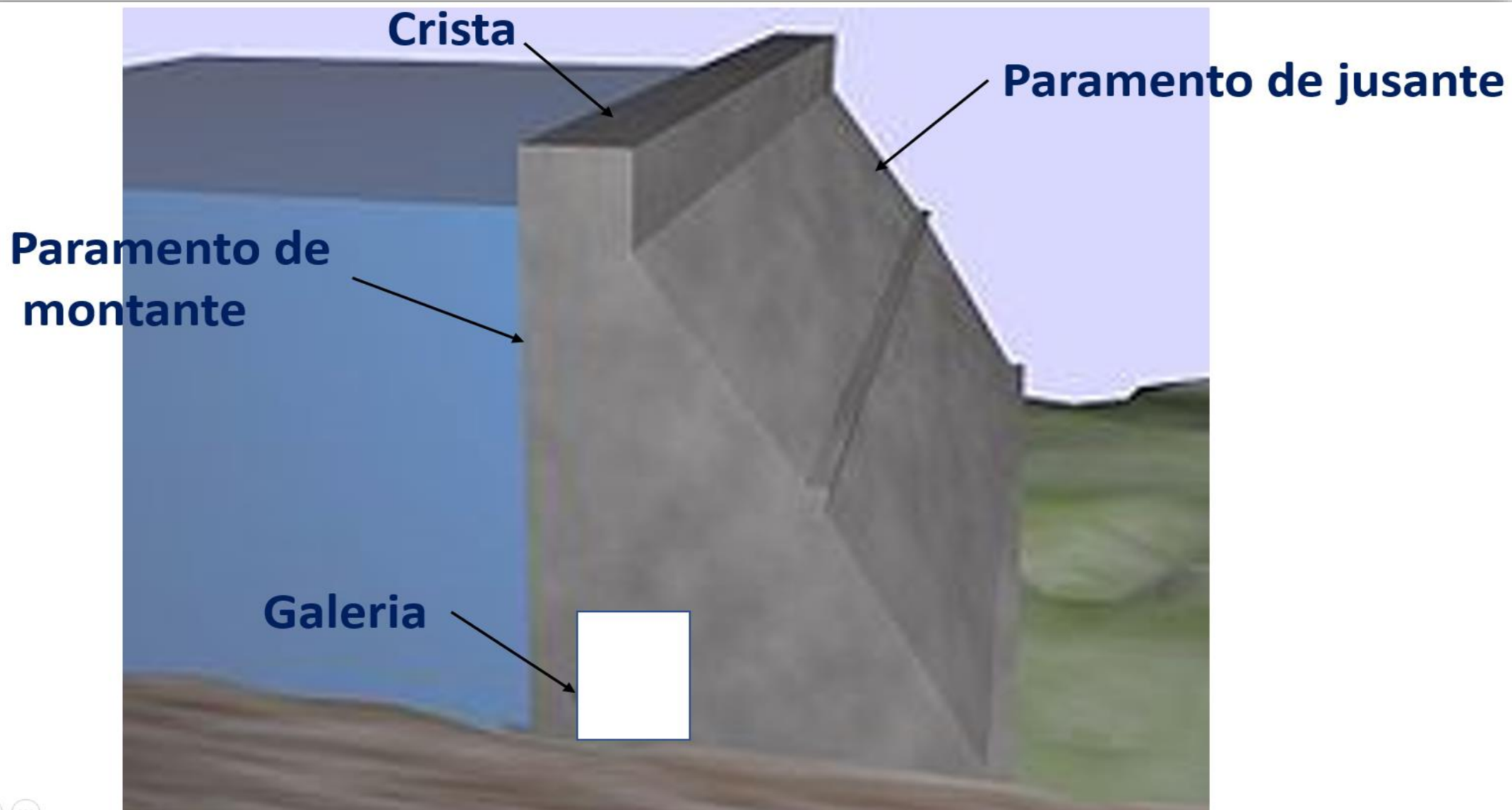
Barragem de concreto



Barragem de concreto



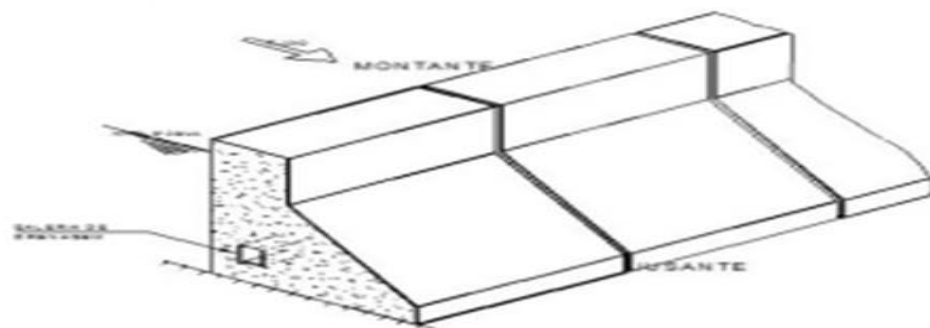
Barragem de concreto



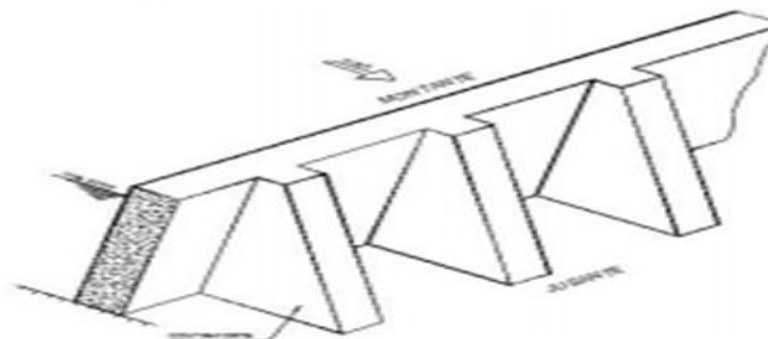
Barragem de concreto



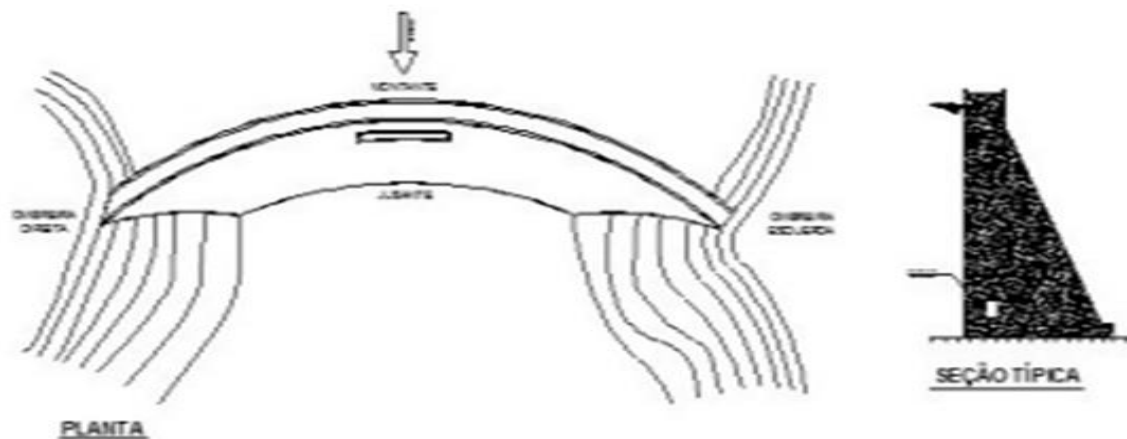
Barragem de Gravidade



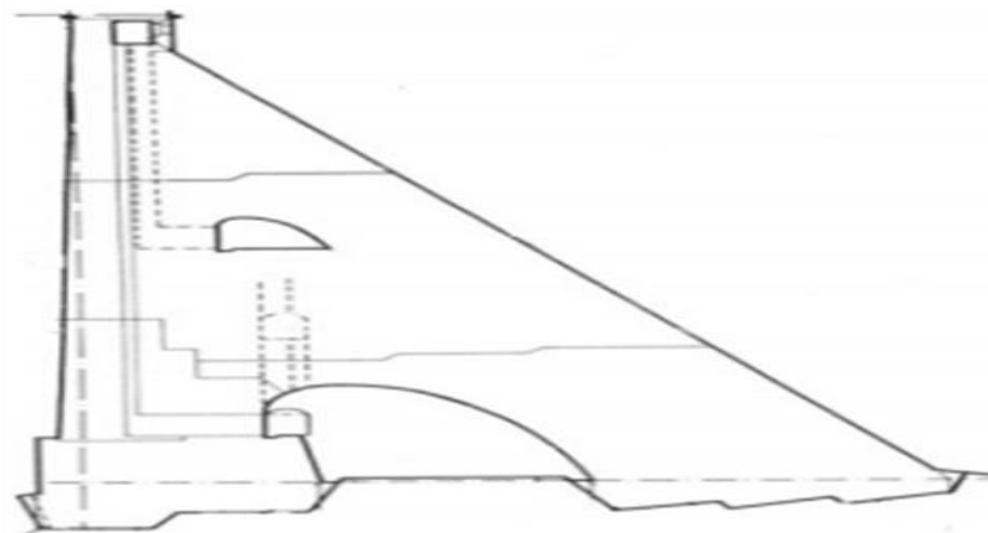
Barragem de Contraforte



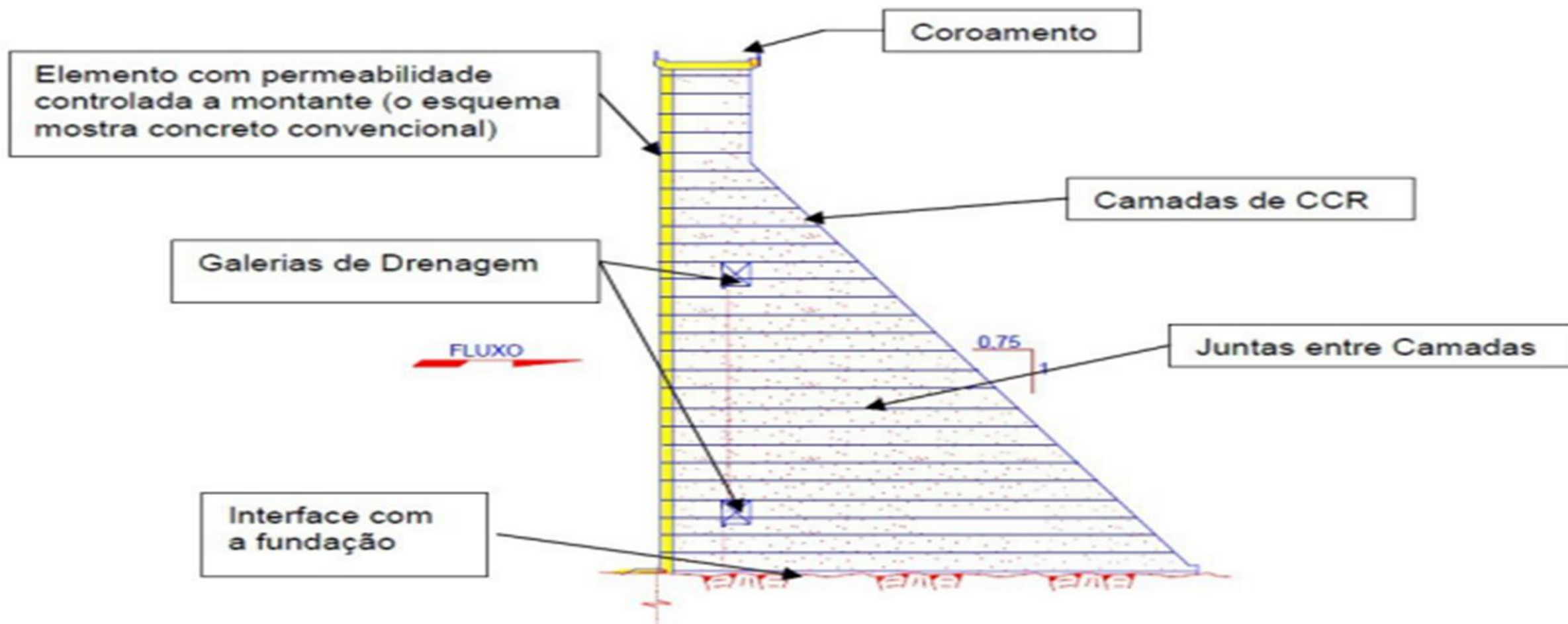
Barragem em Arco



Barragem de Gravidade Aliviada



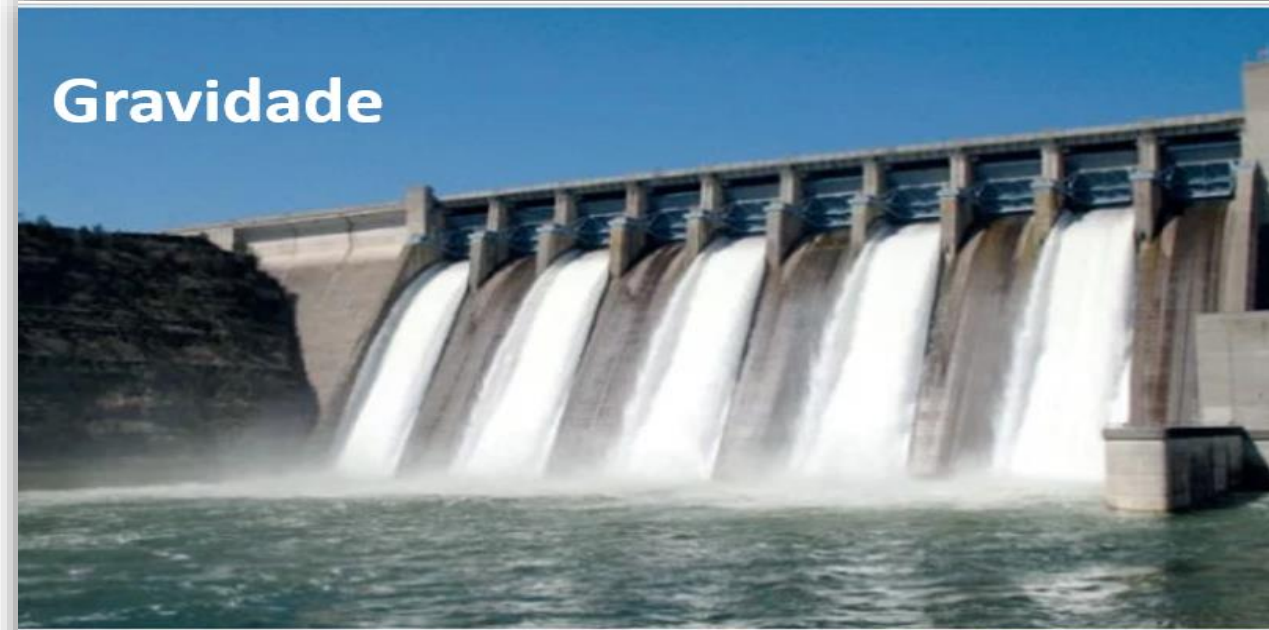
Barragem de concreto



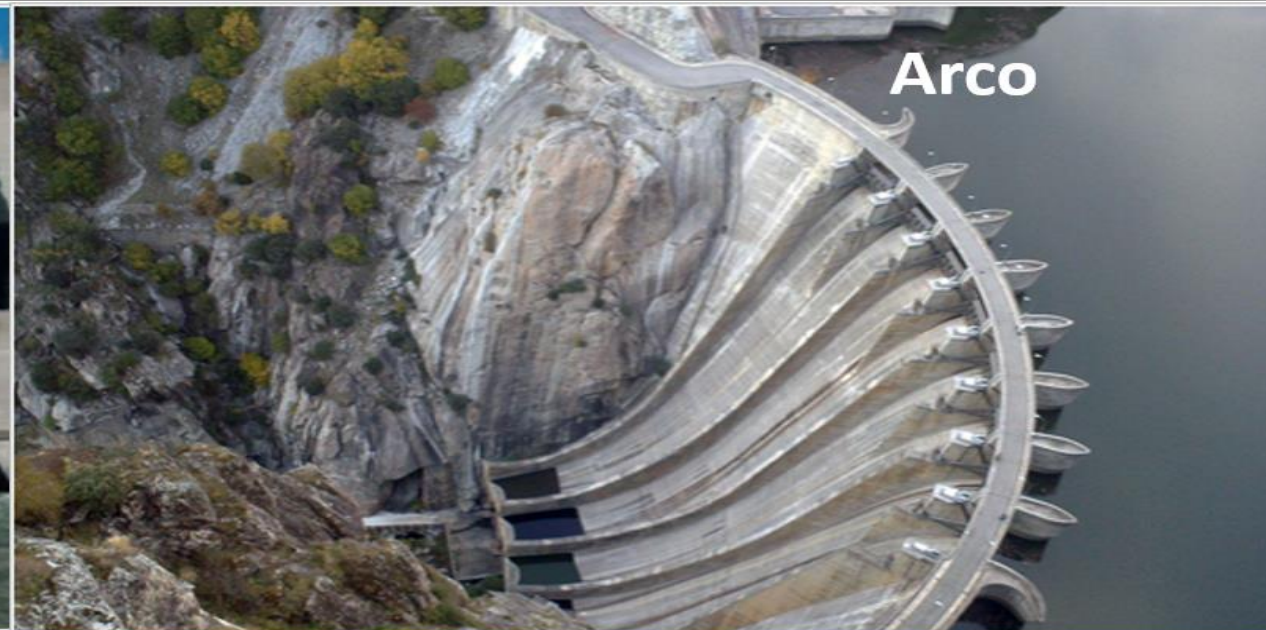
Barragem de concreto



Gravidade



Arco



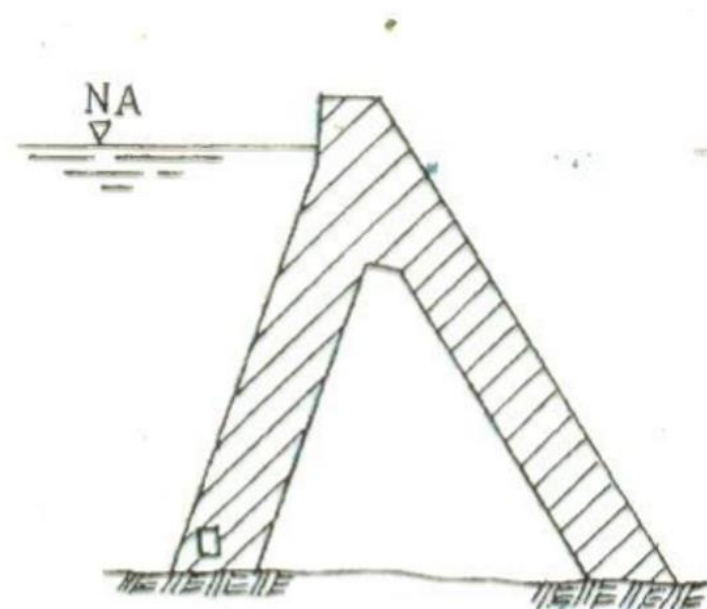
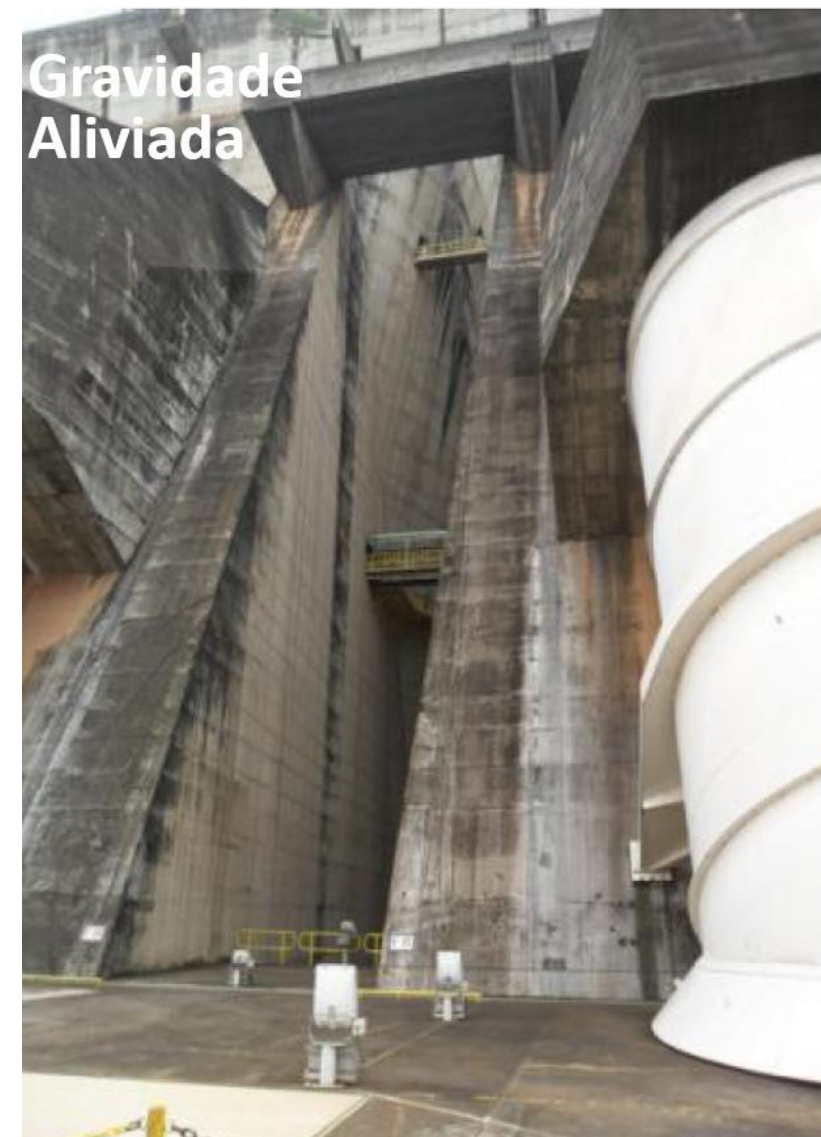
**Contrafort
e**



**Gravidade
Aliviada**



Barragem de concreto



a.2 - Gravidade aliviada

Barragem de concreto



**Concreto Compactado
com Rolo (CCR)**



Anomalias em barragem de concreto



- Fissuras ou Trincas
- Expansão
- Lixiviação ou Dissolução
- Corrosão da armadura
- Desalinhamentos e Deslocamentos Diferenciais
- Infiltração
- Abrasão e Cavitação

Anomalias em barragem de concreto



Fissuras ou Trincas — São anomalias físicas que surgem quando as tensões de tração, que se estabelecem na estrutura, superam a resistência à tração do concreto provocando sua ruptura.



Anomalias em barragem de concreto



Fissuração grave para segurança de barragem 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 rebaixamento do reservatório e tratamento da fundação.
	Transversal com continuidade vertical ou lateral e aberturas superiores a 1mm.	Recalque diferencial da fundação; terremoto; sobrecarga excessiva em blocos da barragem.	
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 membrana 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 restrição 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.

Anomalias em barragem de concreto



Fissuração grave para segurança de barragem 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. I-14.

Anomalias em barragem de concreto



Expansão – é consequência da formação de novos compostos estáveis na massa endurecida do concreto, acompanhada de aumento de volume.



Principal causa:

Reações álcali-agregado (RAA) – os álcalis do cimento dissolvidos nos poros da pasta de cimento podem reagir com a sílica presente nos agregados, causando aumento de volume.

Anomalias em barragem de concreto



Lixiviação — consiste na dissolução progressiva dos compostos da pasta de cimento endurecido. Compostos facilmente solúveis podem ser lavados do concreto ou da pasta de cimento pelo acesso contínuo da água, verificando-se a perda de material.



Um sintoma são as eflorescências verificadas na superfície do concreto (manchas brancas pontuais ou lineares) causadas pela lixiviação do hidróxido de cálcio de cimento – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – que se carbonata com o gás carbônico do ar – quando da percolação da água.

Anomalias em barragem de concreto



Lixiviação



Corrosão da armadura



- redução de seção da barra de aço, comprometendo a segurança da estrutura.
- fissuração do cobrimento de concreto, devido às forças de expansão causadas pelo aumento de volume original da barra de aço na formação de ferrugem, podendo causar o lascamento do concreto, favorecendo a penetração de agentes agressivos.

Anomalias em barragem de concreto



Desalinhamento e Deslocamentos Diferenciais — trata-se da movimentação da estrutura, ou de parte da mesma, de sua posição original.

Principal causa:

Desalinhamento: é qualquer variação em relação a configuração estrutural original;

Deslocamento diferencial: é o movimento de uma parte da estrutura com respeito as partes adjacentes da mesma e pode ser causado por recalque, subpressão ou reações químicas.



Anomalias em barragem de concreto



Infiltração — consiste no fluxo de água através de juntas, fissuras ou outras aberturas na estrutura.



Anomalias em barragem de concreto



Abrasão e Cavitação – essas anomalias acometem estruturas sujeitas ao fluxo de água, como é o caso de vertedouros de superfície.



Vazio do Ranhura Transversal



Superfície Rugosa





Na crista de uma barragem de concreto procure por:

- Fissuras;
- Deslocamento nas fissuras ou juntas;
- Fissuras no concreto em volta do corrimão ou outras peças metálicas embutidas no concreto que podem indicar deslocamento;
- Deterioração do concreto como desintegração, fragmentação.



Nos paramentos procure por:

- Fugas d'água ou sinais de fuga d'água (umidade, manchas, vegetação, eflorescência);
- Fissuras;
- Deterioração do concreto.



Na galeria procure por:

- Fissuras;
- Deterioração do concreto;
- Fuga d'água por fissuras ou juntas;
- Drenos obstruídos.
- Piezômetros.



Em vertedouros e tomadas de água procure por:

- Deterioração do concreto;
- Cavitação e erosão.
- Verifique as paredes e as juntas dos condutos por indícios de:
 - Deslocamentos;
 - Abertura das juntas;
 - Compressão.

Inspeção em ombreiras e margens do reservatório



Nas ombreiras procure por:

- Percolação ou indícios de percolação (vegetação mais desenvolvida ou rochas manchadas);

Nas ombreiras e margens do reservatório procure por:

- Deslizamentos ou indícios de deslizamento;
- Material deslizando para dentro do reservatório com potencial de obstruir tomadas d'água e vertedores;
- Dolinas (sinkhole) e subsidências;
- Redemoinhos



Gestão de Risco em Barragens

Perspectivas Técnicas e Estratégicas



Introdução

- **Importância das barragens para água, energia e controle de cheias**
- Histórico de rupturas no mundo e no Brasil
- Consequências: perdas humanas, ambientais e econômicas
- Necessidade de gestão preventiva e integrada



Conceito de Risco

- **Risco = Perigo x Vulnerabilidade**
- Perigo: agentes naturais ou antrópicos
- Vulnerabilidade: capacidade de resposta da estrutura e da comunidade
- Objetivo: minimizar a probabilidade e os impactos de falhas



Conceito de Risco

- **Risco = Perigo x Vulnerabilidade**
- Perigo: agentes naturais ou antrópicos
- Vulnerabilidade: capacidade de resposta da estrutura e da comunidade
- Objetivo: minimizar a probabilidade e os impactos de falhas



Tipos de Rupturas

- **Galgamento (overtopping): vertedouro insuficiente → erosão**
- Erosão interna (piping): percolação → brechas internas
- Falhas de fundação: problemas geotécnicos e estruturais
- Eventos sísmicos: tensões e fraturas
- Falhas humanas: projeto, construção, operação e manutenção
- Ações externas: guerras, vandalismo, terrorismo



Lições Históricas

- **Vaiont (Itália, 1963) – 2.600 mortos**
- Banqiao (China, 1975) – 230.000 mortos
- Mariana (MG, 2015) – 19 mortos + desastre ambiental
- Brumadinho (MG, 2019) – 270 mortos
- Reincidência em barragens de rejeitos minerais no Brasil



Políticas e Normas

- **PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei 12.334/2010)**
- Atuação da ANA, ANEEL, ANM, órgãos estaduais
- Planos de Ação Emergencial (PAE) obrigatórios
- Avanços, mas ainda com fragilidades de fiscalização e monitoramento



Gestão de Risco

- **Etapas fundamentais:**
- Identificação de perigos
- Análise e avaliação de riscos
- Monitoramento contínuo
- Planos de emergência
- Ferramentas: FMEA, FMECA, IC (Índice de Comportamento)

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), ou "Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos", é uma ferramenta qualitativa usada para identificar falhas potenciais em produtos ou processos, analisar seus efeitos e propor ações para melhorar a confiabilidade e segurança. Ela é aplicada desde a fase de projeto até o uso do produto final. Originada de normas militares americanas após a Segunda Guerra Mundial (MIL-P-1629), a FMEA evoluiu para a FMECA (Failure Mode and Critical Analysis), que é uma abordagem quantitativa baseada na norma MIL-STD-1692A. A principal diferença é que a FMECA considera também a probabilidade de ocorrência das falhas.

Ferramentas de Confiabilidade e Risco – FMEA e FMECA



Instrumentos de Prevenção

- **Inspeções periódicas e auditorias independentes**
- Instrumentação e monitoramento geotécnico/hidrológico
- Manutenção preventiva e corretiva
- Protocolos de operação em eventos extremos
- Capacitação das equipes operacionais



Gestão Social do Risco

- **Percepção da população como fator estratégico**
- Comunicação de risco clara e acessível
- Participação comunitária nos Planos de Ação Emergencial
- Exercícios simulados com defesas civis e municípios



Desafios e Recomendações

- **Fortalecer órgãos fiscalizadores e integração institucional**
- Ampliar recursos para manutenção e monitoramento
- Priorizar barragens em regiões críticas (MG e Nordeste semiárido)
- Investir em tecnologia e inovação (sensores, IA, modelagem hidrológica)
- Cultura de prevenção acima da reação

Cultura da prevenção acima da reação é uma mentalidade e um conjunto de valores em que uma organização prioriza a adoção de medidas proativas e antecipadas para identificar, evitar e mitigar riscos e perigos, em vez de esperar que os problemas ocorram para, então, reagir e resolver as consequências. Este modelo foca em um ambiente de aprendizado contínuo e em um compromisso coletivo para a segurança, integridade e bem-estar, garantindo que a prevenção seja um valor intrínseco e não apenas uma obrigação.

Obrigado!

Agencia Estadual de Recursos Hídricos

Agencia Estadual de Recursos Hídricos

(27) 3347-6229

drh@agerh.es.gov.br