



Detecção e classificação de anomalias e causas de rotura de barragens

João Marcelino



Sumário

- Causas mais comuns de acidentes e incidentes
- Ferramentas para a deteção de anomalias
- Anomalias
 - Causas
 - Consequências
 - Deteção

Causas mais comuns de acidentes ou incidentes

Causa	% de casos	Σ
Galgamento	13	61
Piping	36	
Erosão	12	
Deformação	13	25
Deslizamento	12	
Deterioração + sismos + defeitos de construção, etc.		14

Adaptado de Fell et al. (Geotechnical Engineering of Embankment Dams - 1992)

Ferramentas para a deteção de anomalias

- Observação instrumental
- Inspeção visual

Ferramentas para a deteção de anomalias

- **Observação instrumental**
 - Equipamentos instalados na barragem
 - Frequências de leitura
 - Modelos de comportamento

Ferramentas para a deteção de anomalias

- **Observação instrumental**
 - **Equipamentos instalados na barragem**
 - Níveis de água
 - Pressões de água
 - Deslocamentos
 - Deformações
 - Tensões
 - Ações dinâmicas
 - Frequências de leitura
 - Modelos de comportamento
 - Níveis de alerta

Ferramentas para a deteção de anomalias

- **Observação instrumental**
 - Equipamentos instalados na barragem
 - Frequências de leitura
 - Níveis de água a montante e jusante → diário
 - Caudais totais → diário
 - Piezómetros → trimestral
 - Etc.
 - Modelos de comportamento
 - Níveis de alerta

Ferramentas para a deteção de anomalias

- **Observação instrumental**
 - Equipamentos instalados na barragem
 - Frequências de leitura
 - **Modelos de comportamento**
 - Modelos matemáticos
 - Empíricos & estatísticos
 - Conceptuais
 - Níveis de alerta

Modelos de comportamento

- Modelos matemáticos
 - Solução de equações diferenciais, etc.
- Empíricos
 - Baseados em observações anteriores → modelos estatísticos
- Conceptuais
 - Comportamento esperado, relações entre grandezas, obras semelhantes

Ferramentas para a deteção de anomalias

- Observação instrumental
- **Inspeção visual**
 - Análise, por I.V. da superfície visível da barragem
 - Deteção de indícios de anomalias
 - Registo
 - Tipos
 - Rotina
 - Especialidade

Como se detetam as anomalias?

- As anomalias são detetadas conjugando a inspeção visual e a observação instrumental
- Frequentemente é necessário analisar diversas grandezas e indícios
- Pode ser uma tarefa difícil

Como funciona a I.V.?

- Grande anomalias
 - Inequívoco
 - Ação
- Pequenas anomalias
 - Registo
 - Acompanhamento

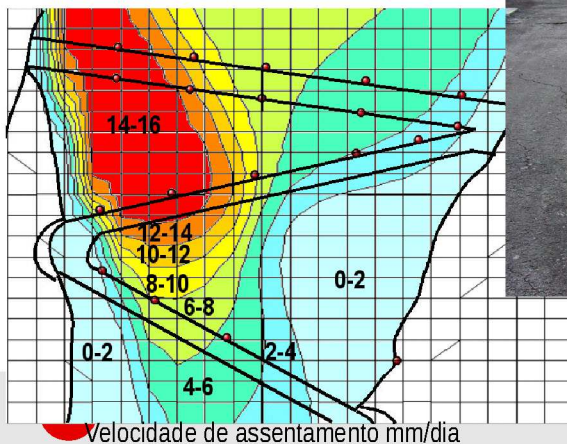
Borda livre insuficiente 13% dos casos



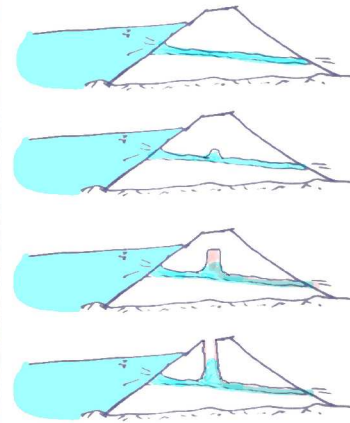
Alemanha 2002, rotura em 20 min

Depressões localizadas

- Assentamento junto ao muro do vertedouro



Sinkhole



Percolação excessiva e erosão interna



- Caudal 10 x superiores ao esperado
- Indícios de erosão

- Deposição de areia proveniente do tapete drenante



Erosão interna & *piping*



- Fluxo proveniente de erosão tubular numa pequena barragem
- Água turva → possível sinal de erosão



Problemas no vertedouro



Obstrução propositada (muito perigosa)



Erosão do concreto na base do canal



Comportas avariadas, manter abertas!



Erosão severa

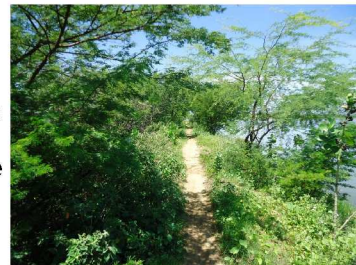
Proteção em rip-rap no paramento de montante



Vegetação excessiva



- Condiciona a inspeção
- Favorece a atividade de animais
- Cria zonas de percolação preferencial
- Pode causar instabilidade



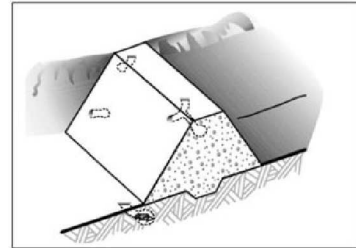
Atividade de roedores, castores, etc..



Coelhos toupeiras, cobras



Formigas



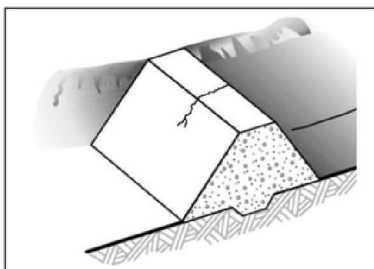
Castores



Térmitas



Fendas transversais



Fendas longitudinais



- Fendas longitudinais causadas por assentamentos muito intensos no paramento de montante

Fuga na conduta

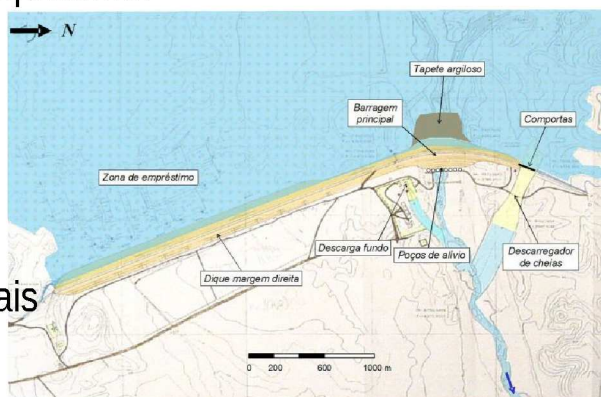


- Em operação → injeção de água no aterro
- Em repouso → erosão para a conduta



Barragem de Massingir, Moçambique

- Rio dos Elefantes, principal afluente do Limpopo, Gaza
- 46 m altura, 4600 m de comprimento
- Reservatório com 2.8 km³
- Objetivos
 - Abastecimento humano
 - Agricultura
 - Energia
- Primeiro enchimento → Sinais de erosão interna

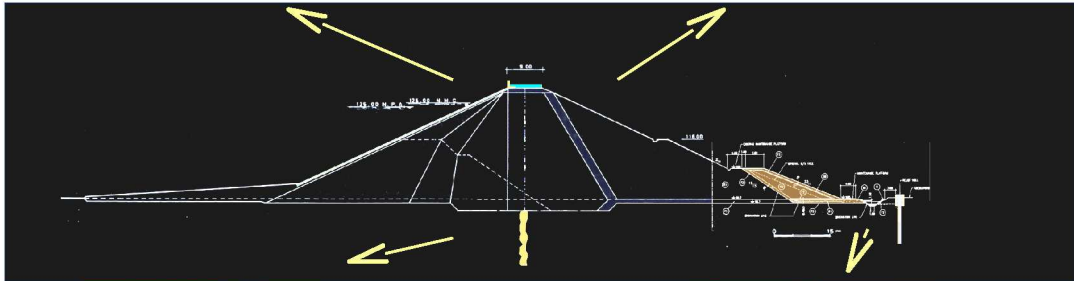


Primeiro enchimento



- Erosão interna
- Limitação do NA (111m)





- 85 Poços de alívio
- Injeções em cerca de 2000 m
- Comportas
- Berma
- Alçamento
- Muro de parapeito
- Rip-rap



Enchimento



Rotura na casa de força



Falta de atenção na inspeção?