

# ROTURAS HISTÓRICAS DE BARRAGENS

João Marcelino



## Sumário

- Porquê roturas?
- Barragem de Malpasset. France. Failed in 1959
- Reservatório de Baldwin Hills. USA. Failed in 1962
- Barragem de Vajon. Italia. Acidente em 1963
- Barragem de Lower San Fernando. USA. Quase rotura em 1971
- Barragem de Teton. USA. Rotura 1976
- Barragem do Lapão. Portugal. Quase rotura em 2003

## Porquê roturas?

- As barragens são estruturas com reduzida probabilidade de rotura
- Mas as consequências são, em geral, grandes
- Casos históricos de roturas ou quase roturas
  - Investigação profunda e relatórios detalhados
  - Aprendizagem pelo exemplo
  - Evitar erros graves!

## Malpasset dam. France. Rotura em 1959

- Dados de base
  - Localização - França, Rio Reyran na Riviera francesa.
  - Construção - 1952 a 1954.
  - Tipo de barragem: Concreto, 61 m altura arco de dupla curvatura com raio variável.
  - Fundação: Gnaisse

## Malpasset antes da rotura



## O acidente

- A barragem colapsou em 2 de Dezembro de 1959,
- Morreram 423 pessoas em resultado da cheia.
- A estrutura sofreu uma grande rotura criando uma onda com 40 metros de altura que se deslocava a 70 km/h.
- A onda destruiu 2 localidades Malpasset e Bozon e o estaleiro da construção de uma auto-estrada
- 20 minutos após a rotura a onda com cerca de 3 m chegou a Fréjus

## Lições

- Algumas semanas antes da rotura apareceram fendas na barragem junto à fundação.
- Não foi dada a atenção necessária a estes sinais, mas apesar disso o D.O. pediu autorização para proceder a descargas
- A autorização não foi dada para não interferir com a construção da auto-estrada
- Os estudos geotécnicos são essenciais no projeto de uma barragem. No caso de Malpasset estudos mais detalhados poderiam ter permitido detetar a falha e proceder a tratamentos ou escolher outro local.

## Baldwin Hills reservoir. USA. Failed in 1963

- Dados de base
  - Los Angeles.
  - Barragem de aterro com altura máxima de 71 m
  - Reservatório de  $0.96 \times 10^6$  m
  - Tapete impermeável argiloso com 3 m
  - Construção entre 1947 e 1951
  - Sobre falha ativa

## Baldwin Hills reservoir in 1951



## O acidente

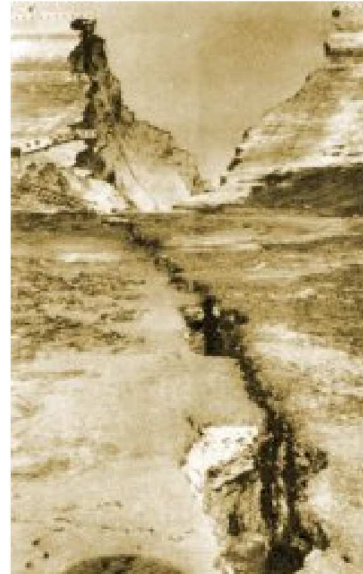


- initial sign of seepage from the dam was detected at 11:15
- attempt to draw down the reservoir level which caused flooding
- 1:45 pm evacuation order
- about 4 h and 30 min after the initial detection of the leakage the breach was completely formed and the dam failed.



Baldwin Hills failure, youtube

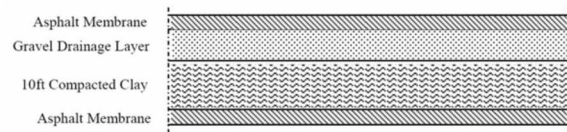
# Brecha & falha



## Lições

- A existência de falhas ativas tem de ser bem considerado no projeto e construção de barragens
- As condições particulares da envolvente devem também ser consideradas.
- Neste caso, a injeção de água para a exploração de petróleo pode ter sido a causa da rotura

- Tapete impermeável →

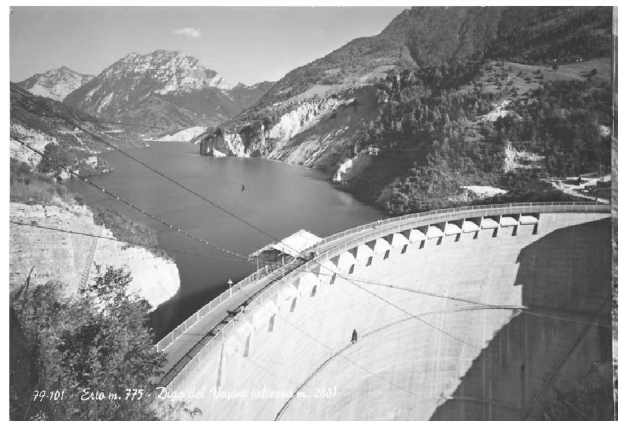
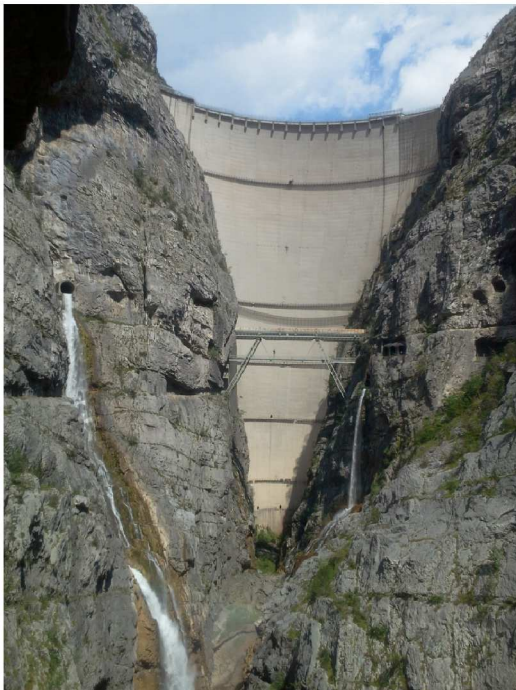


- Sinais de movimentos anteriores à rotura
- Mecanismo de erosão interna & *piping*



## Barragem de Vajon. Italia. Acidente em 1963

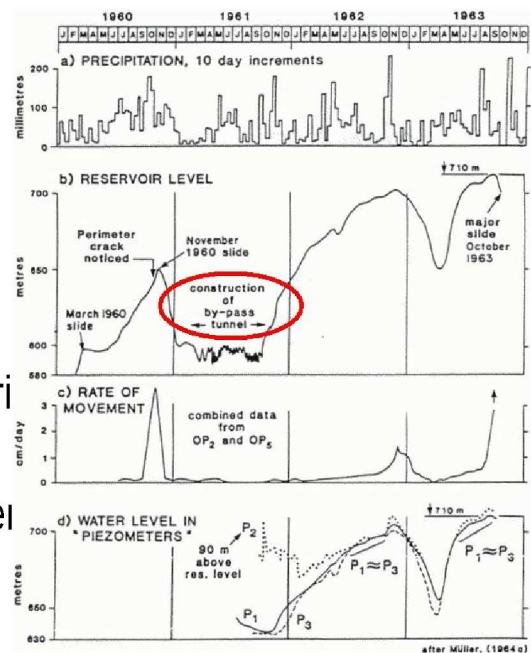
- Dados de base
  - Barragem de concreto em arco de dupla curvatura
  - 260 m de altura e 160 m de comprimento (!)
  - Construção entre 1957 e 1959
  - Diversos sinais de fendas e movimentos no Monte Toc
  - Primeiro enchimento em 1960
  - Em Março um primeiro deslizamento e em Novembro um segundo



[http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AVajont\\_Dam\\_1960\\_panorama.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AVajont_Dam_1960_panorama.jpg)

## O acidente

- Durante o enchimento diversos escorregamentos
- Abaixamento do nível
- Monitorização subestimada...
- 9 /10/ 1963 escorregamento de  $260 \times 10^6 \text{ m}^3$  para o reservatório (45 sec.)
- Onda de 250 m sobre a barragem
- volume estimado de  $50 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Cerca de 2000 mortes



## Vajon após o acidente



"La diga del Vajont vista da Longarone 18-8-2005" by Foto di Emanuele Paolini. - Own work. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons - <http://commons.wikimedia.org>

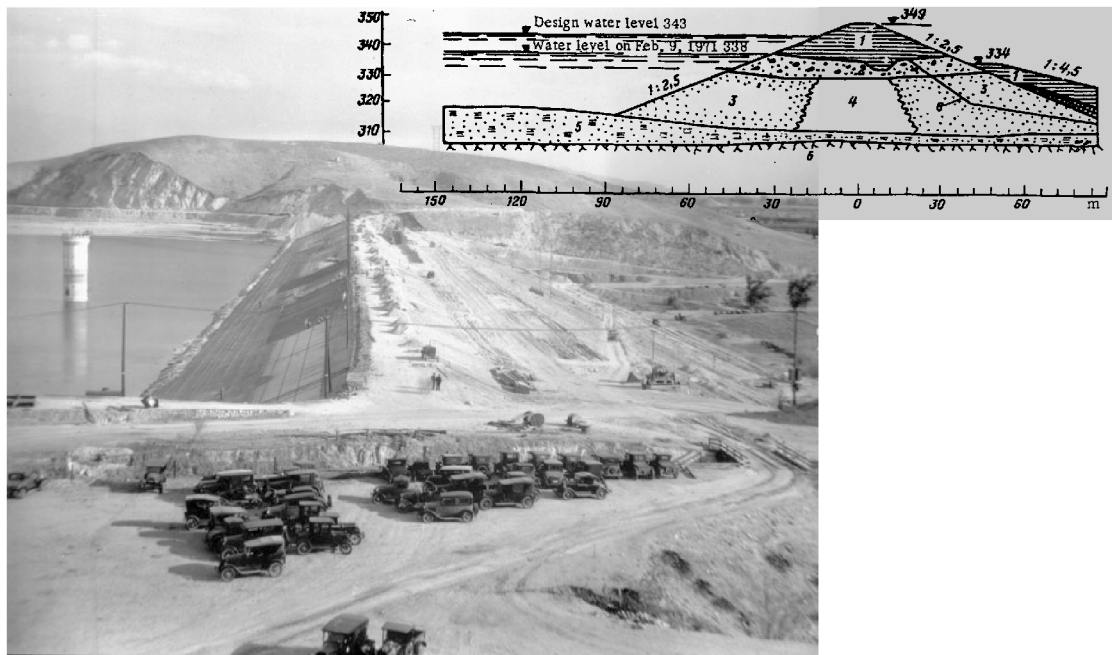


## Lições

- Os estudos geotécnicos são cruciais na segurança da barragem
- Os estudos devem considerar também a envolvente e todas as estruturas potencialmente afetadas pelo reservatório
- Os sinais de aviso devem ser convenientemente considerados
- Os dados da observação têm de ser analisados e os resultados consequentes

## Barragem de Lower San Fernando dam. USA. Quase rotura em 1971

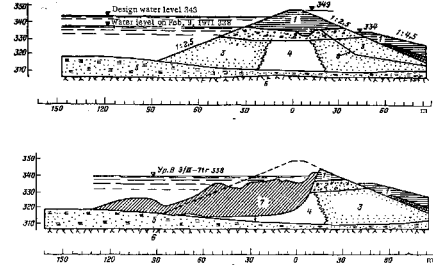
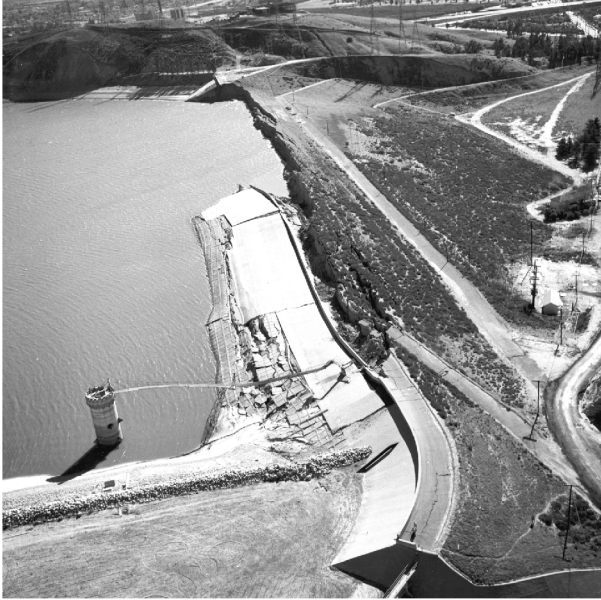
- Dados de base
- A barragem de Lower San Fernando localizava-se no vale de San Fernando (LA, USA)
- Barragem de aterro com 43 m de altura
- Reservatório com  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Construção
  - Aterro hidráulico entre 1912 and 1915
  - Entre 1920 - 1930 solo argiloso com blocos compactado
  - Em 1940, aterro compactado na berma a jusante



## O acidente

- Em 9 de Fevereiro de 1971 um sismo atingiu o estado da Califórnia com uma intensidade de 9 pontos e epicentro a 13 km da barragem
- Aceleração máxima 0.6g
- 12 seconds
- Escorregamento no maciço de montante
- A barragem esteve muito próxima do galgamento

## Após o sismo



after V. A. Melent'ev. The collapse of the Lower San Fernando Dam. Power Technology and Engineering, 10, 11 1976.

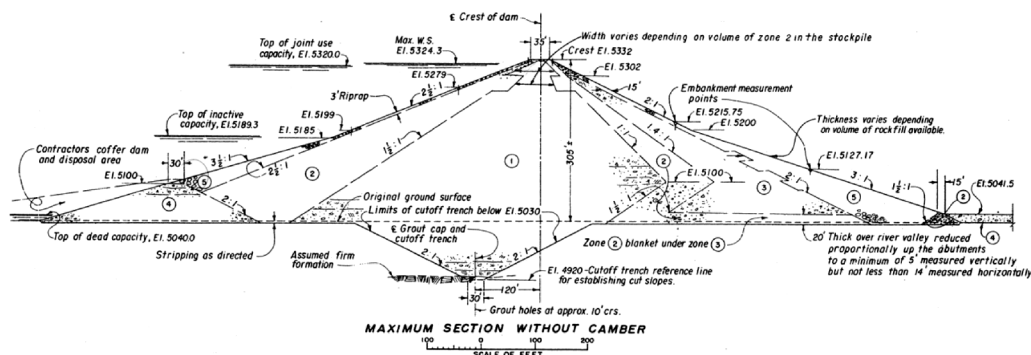
## Lições

- Os aterros hidráulicos são soluções perigosas, especialmente (mas não exclusivamente) em áreas sísmicas devido à alta suscetibilidade dos aterros não compactados à liquefação.
- As roturas podem ocorrer durante a construção apenas devidas ao peso próprio

## Barragem de Teton. USA. Rotura em 1976

- Dados de base
- A barragem de Teton localizava-se no estado de Idaho (rio Teton)
- Solução de aterro zonado com 94 m de altura
- Coroamento com 1 km de comprimento
- Reservatório com  $355 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Vale estreito com fundação de basalto e riolito
- Zona sísmica

## Perfil transversal tipo



## O acidente

- Em 5 Junho de 1976, pelas 7 da manhã uma ressurgência com indícios de arrastamento foi detetada mas a devida atenção não foi dada
- Pelas 9:30 uma zona úmida no paramento apareceu
- Evolução rápida: erosão progressiva e formação de uma brecha



"Teton Dam Sequence 13" by Source (WP:NFCC#4). Licensed under Fair use via Wikipedia - <http://en.wikipedia.org/wiki>

## Vídeo no youtube



Teton dam failure



## Lições

- Diversas causas:
- Material inadequado no núcleo: solos coluvionares permeáveis
- Falta de filtros
- Bed-rock muito fissurado
- Geometria desfavorável
- O mecanismo de rotura foi o piping



## Barragem do Lapão. Portugal. Quase rotura em 2003

- Dados de base
- Localizada a montante de Mortágua, centro de Portugal
- Altura 39 m, comprimento 97 m
- Reservatório com 1,26 hm<sup>3</sup>
- Vale apertado
- Durante o primeiro enchimento, (2 meses) deslocamentos elevados, com taxas de cerca de 1 mm/dia
- Enchimento interrompido



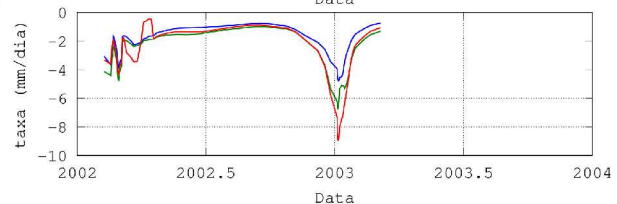
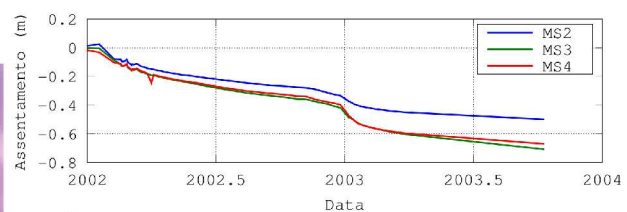
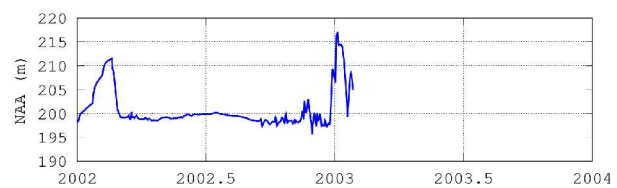
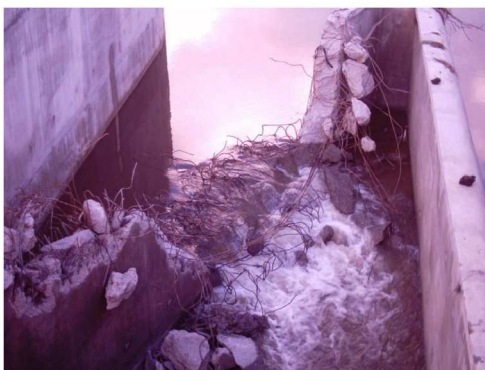
## Estudos complementares

- Reforço do SO
- Prospeção complementar
- Ensaio de laboratório
- Análise registos construção
- Final de 2003 → grandes cheias



## Janeiro 2003

- Pleno armazenamento
- Taxa de 15 mm/dia
- Sinkhole a jusante
- Demolição muro vertedouro





## Após esvaziamento

- Zonas de entrada e saída bem definidas



## Lições

- A forma do vale é determinante na solução a implementar
- O projetista definiu, para o material de aterro, condições de um solo plástico com compactação úmida
- O controlo não considerou o teor em água apenas o peso volúmico
- A barragem não rompeu porque o acompanhamento foi o adequado