

# *SEGURANÇA DAS BARRAGENS: A VISÃO DA EDP*



## **Controlo de segurança**

*Conjunto de medidas a tomar nas várias fases da vida da obra, contemplando aspectos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, com vista a assegurar as suas condições de segurança e que, nas fases de primeiro enchimento e de exploração, deve permitir um conhecimento adequado e continuado do estado da barragem, a deteção oportuna de eventuais anomalias e uma intervenção eficaz sempre que necessário*

**R.S.B. Artigo 4º**



# SEGURANÇA ESTRUTURAL

## MATERIAIS

### ALVENARIAS

#### Objectivos dos estudos de reabilitação

- redução da percolação
- reforço estrutural da barragem

#### Caracterização de propriedades da alvenaria

##### Peso volúmico

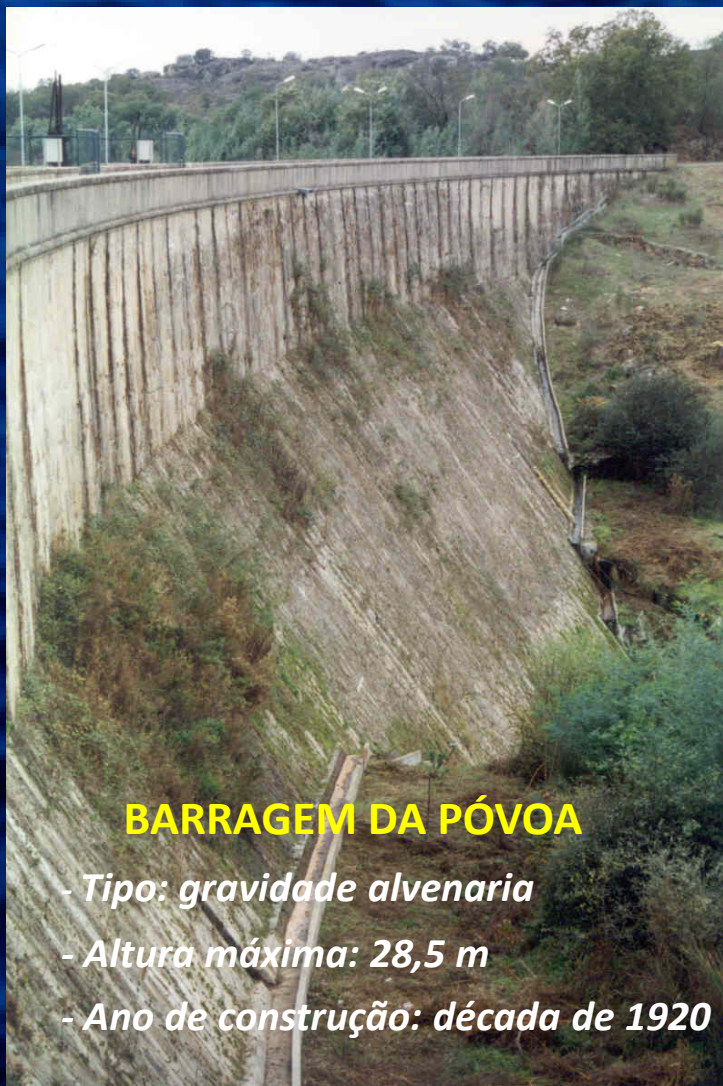
- ensaios “in-situ” - câmaras CV1 (cota 289) e CV2 (cota 299)
- ensaios sobre amostras
  - de sondagens de reconhecimento
  - de material das câmaras

##### Permeabilidade

- ensaios de injectabilidade da alvenaria

##### Características mecânicas

- ensaios geofísicos da alvenaria



#### BARRAGEM DA PÓVOA

- *Tipo: gravidade alvenaria*
- *Altura máxima: 28,5 m*
- *Ano de construção: década de 1920*

### Peso volúmico da alvenaria

#### Ensaios “in situ”

- Pesados os materiais provenientes da abertura das câmaras e medidos os volumes destas:
  - peso volúmico médio do material retirado: CV1 - 26,3 kN/m<sup>3</sup> CV2 - 24,5 kN/m<sup>3</sup>

#### Ensaios em laboratório

- Amostras de rocha e de argamassa provenientes do desmonte das câmaras CV1 e CV2
  - Argamassa (seca/ saturada): 20,8 / 22,2 kN/m<sup>3</sup> Rocha (seca/ saturada): 25,2 / 25,6 kN/m<sup>3</sup>
- Amostras provenientes de sondagens de reconhecimento do corpo da barragem :
  - Matriz composta de rocha e argamassa (seca/ saturada): 22,0 / 22,8 kN/m<sup>3</sup>

**Peso volúmico ponderado - 24,5kN/m<sup>3</sup> (?)**

mais elevado na parte inferior da barragem (CV1) que na parte superior (CV2)



### Permeabilidade

#### Ensaios “in situ” (câmaras CV1 e CV2)

- câmara CV1 - permeabilidade superior a 100 Lugeon
- câmara CV2 não foi sequer possível saturar a alvenaria

*Permeabilidade da zona superior mais elevada que a da zona inferior*

**Modelos numéricos de escoamento bidimensional** (aferição das infiltrações) - permeabilidade média da alvenaria situada entre 10 e 50 Unidades Lugeon ( $1U.L. = 10^{-7} \text{ m/s}$ )

### Ensaios geofísicos

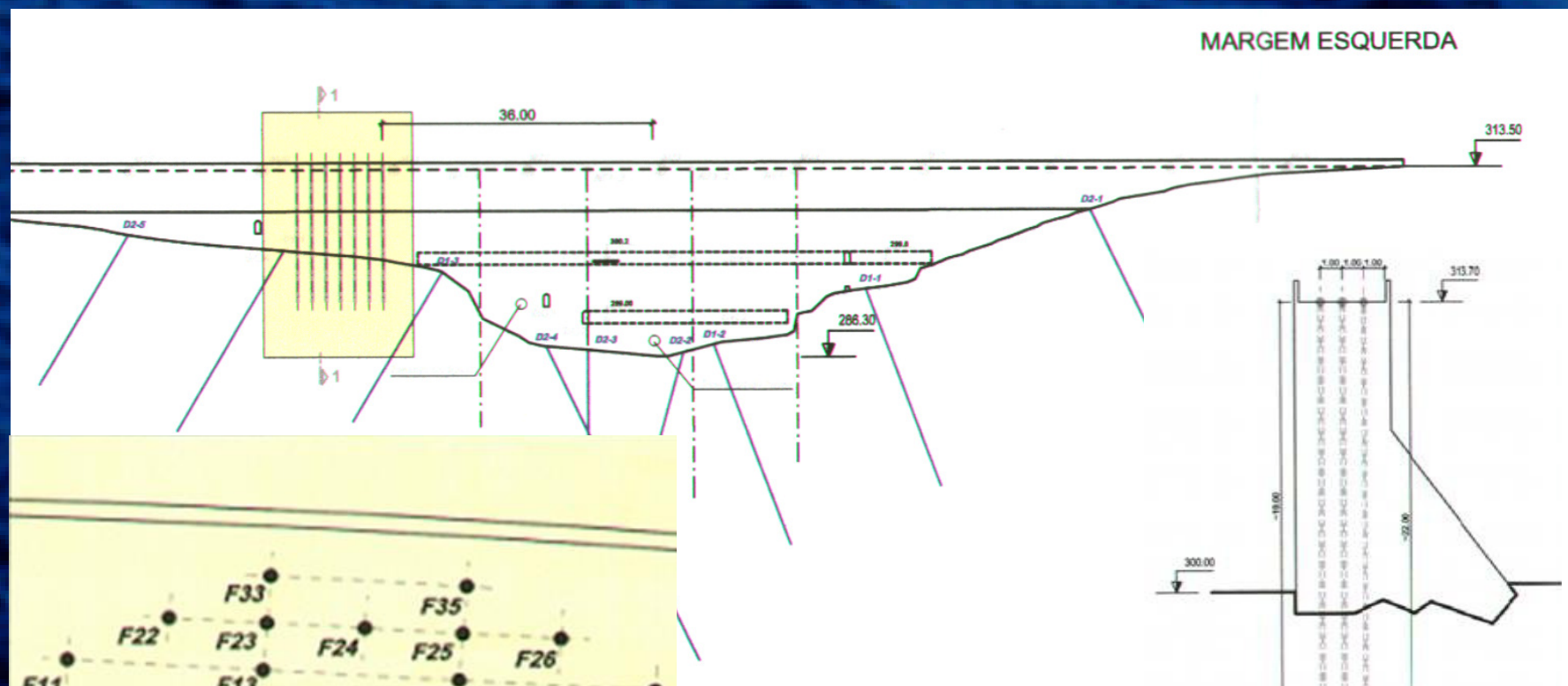
Velocidade de propagação das ondas longitudinais na zona superior significativamente mais elevadas que na zona inferior da barragem

Características analisadas apontam para menor qualidade da alvenaria da parte superior da barragem



envelhecimento mais acentuado ou menor qualidade de construção da parte superior?

## ENSAIOS DE INJECTABILIDADE DA ALVENARIA



1ª fase - F11, F13, F15 e F17 (fiada de montante)

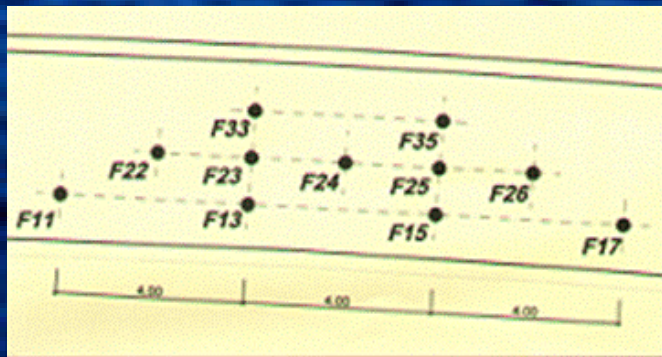
2ª fase - F22, F26, F33 e F35

3ª fase - F24

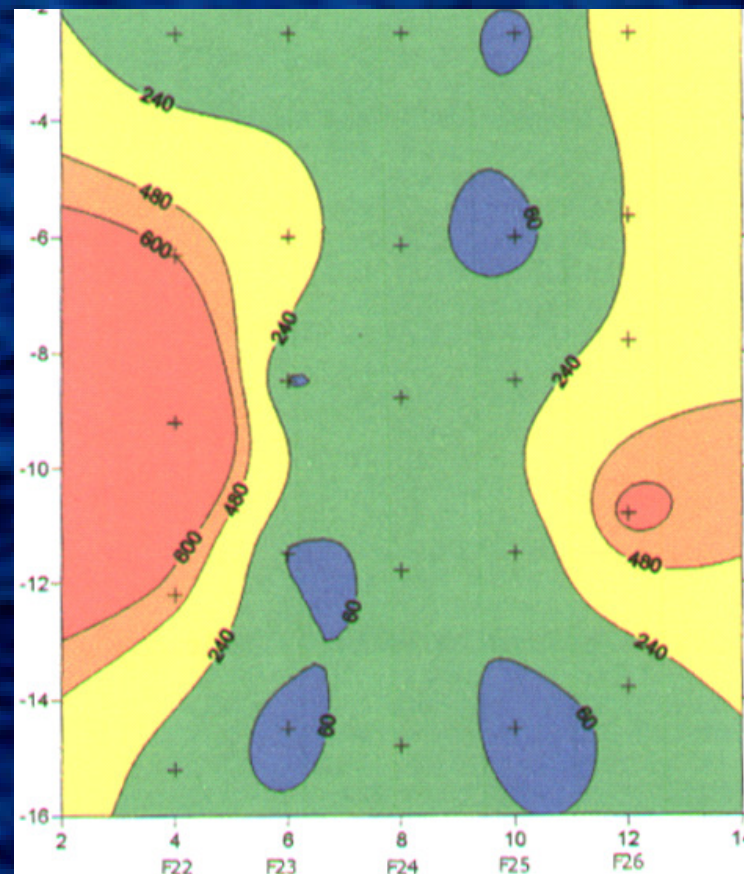
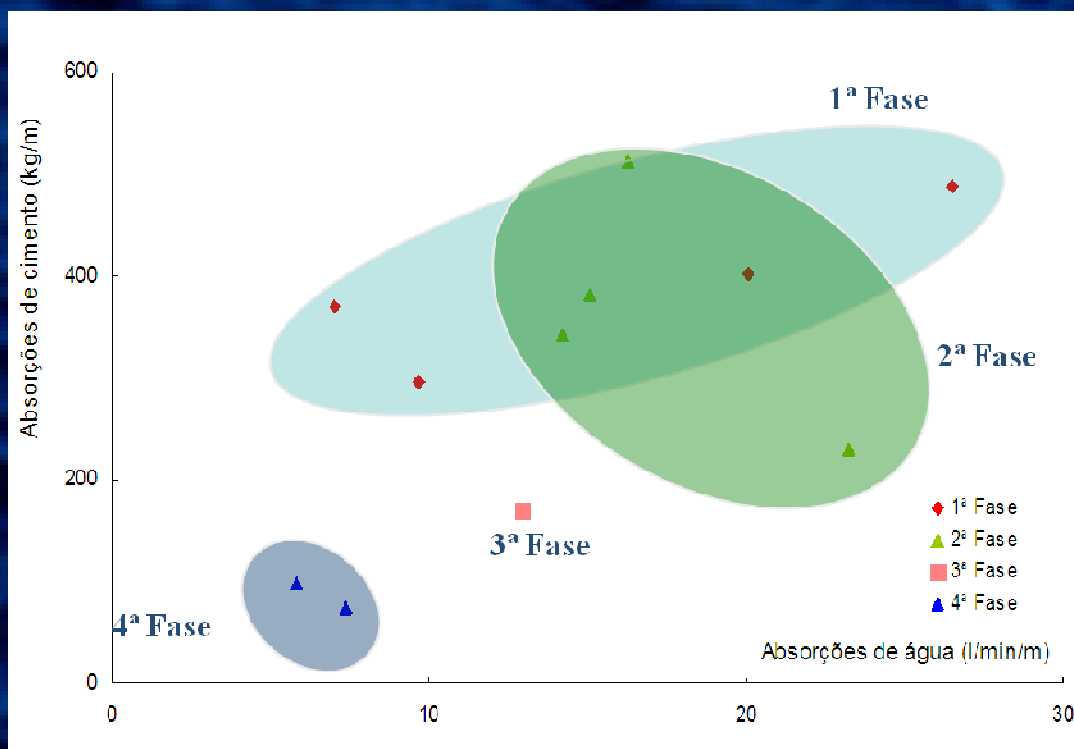
4ª fase - F23 e F25

# Segurança das barragens: a visão da EDP

## ABSORÇÕES DE ÁGUA E DE CIMENTO



Perfil pelo alinhamento intermédio

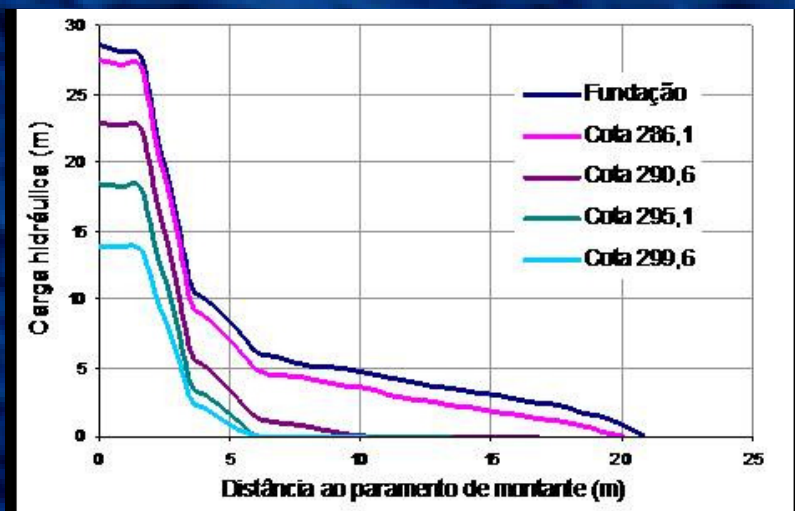


Absorções de cimento (kg/m)



### Percolação através da barragem e fundação (Cenário após tratamento, para NMC)

Diagramas de subpressões a diferentes níveis



Alta permeabilidade e baixo peso volúmico da alvenaria penalizam a segurança da barragem:

- as solicitações (diminuem o p.p. e agravam a acção hidrostática)
- as características mecânicas (tensões admissíveis)

### Linhas de investigação

- Efeitos do envelhecimento sobre a segurança das barragens de alvenaria: evolução do peso volúmico, da permeabilidade, resistências ... e suas consequências na segurança
- Estudo de caldas e argamassas adequadas à reabilitação: penetrabilidade, estabilidade, densidade, ...

### BETÕES

#### Betão com prévia colocação de agregados

O molde é cheio com os agregados de maiores dimensões e a argamassa é despejada posteriormente preenchendo os vazios existentes

**Principais vantagens:** simplificação da central de betonagem, do transporte e colocação do betão. Aumento do rendimento de colocação

1ª fase - Ensaio sobre amostras extraídas de um cubo com 2m de aresta, confeccionado em laboratório



1 - Cubo com agregados



2 - Colocação da argamassa



3 - Amostra para ensaio



## Segurança das barragens: a visão da EDP

2ª fase – Aplicação no bloco 2-3 da ensecadeira de jusante da barragem principal do Baixo Sabor



1 - Vista de montante durante a construção



2 - Vista durante a construção (colocação da argamassa)



## Segurança das barragens: a visão da EDP

3ª Fase – Aplicação no bloco 19-20 da barragem de jusante do Baixo Sabor

Execução de 3 camadas de BPCA, entre as cotas 133 e 138



Dispositivo p/ colocação da argamassa



Aspecto final da camada com geotêxtil

Vista do paramento de montante das camadas realizadas com BPCA



## Resultados dos ensaios realizados sobre amostras do BPCA

Amostras de BPCA retiradas da barragem



TIPO DE ENSAIO	RESULTADOS	OBSERVAÇÕES
Resistência cúbica à compressão	33,7 MPa	<p><b>Composição do BPCA</b></p> <p>Os ensaios foram realizados cerca dos 90 dias</p>
Massa volumica	2 448 kg/m <sup>3</sup>	
Modulo de elasticidade	16 900 MPa	
Resistência cilíndrica à compressão	19,6 MPa	
Tracção por compressão diâmetral	2,49 MPa	
Coefficiente de permeabilidade (*)	5,60 x 10 <sup>-11</sup> m/s	
Coefficiente de permeabilidade (**)	2,78 x 10 <sup>-10</sup> m/s	
Coefficiente de permeabilidade (***)	5,01 x 10 <sup>-09</sup> m/s	

(\*) ensaios no LNEC. (\*\*) ensaios in-situ, na massa do betão. (\*\*\*) ensaios in-situ, na junta de betonagem.

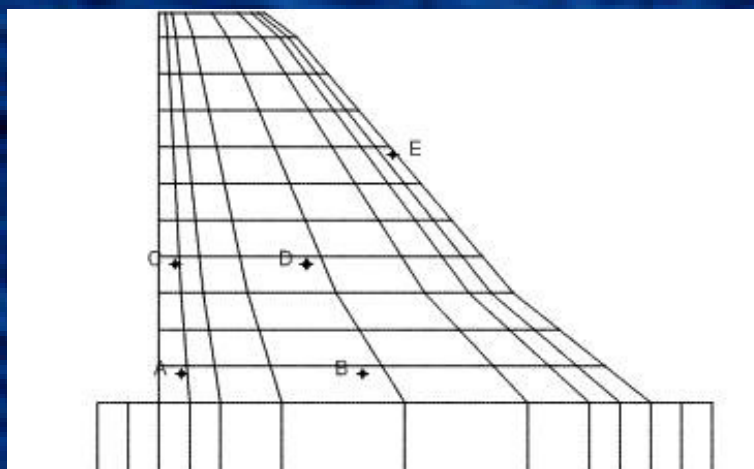
### Linhas de investigação:

- Estudo da retracção do BPCA – espaçamento de juntas de contracção
- Estudo de composições de argamassas para BPCA
- Estudo do BPCA utilizando agregados com maiores dimensões



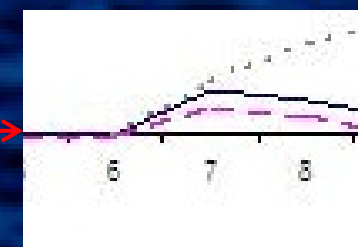
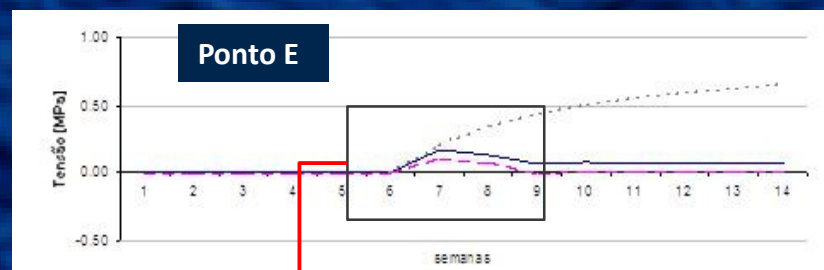
## Segurança das barragens: a visão da EDP

### Betão compactado com cilindros



Localização de pontos de controlo de tensões

Evolução de  $\sigma_1$  (pp+temperatura) para betonagem durante o inverno (cenário favorável)



Idades jovens do betão

### Linhas de investigação:

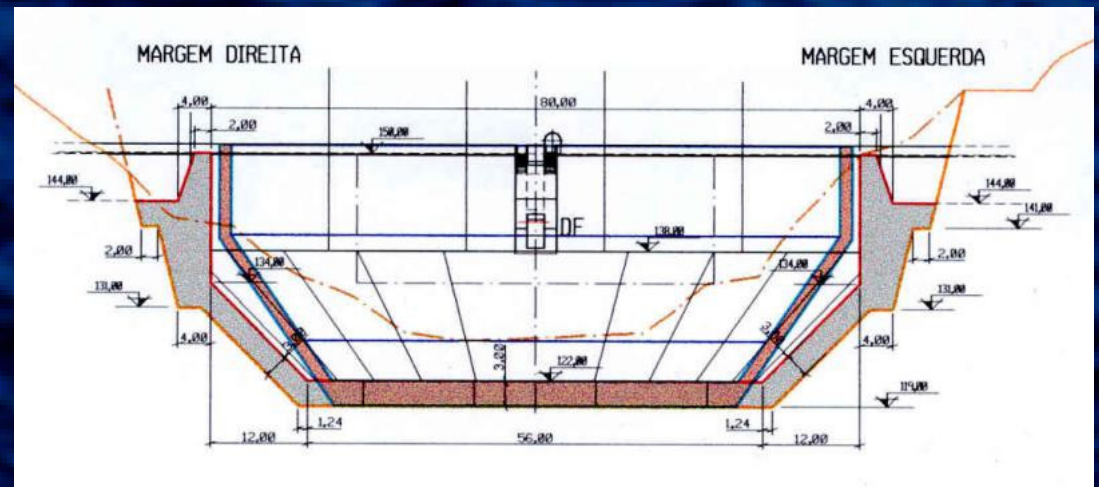
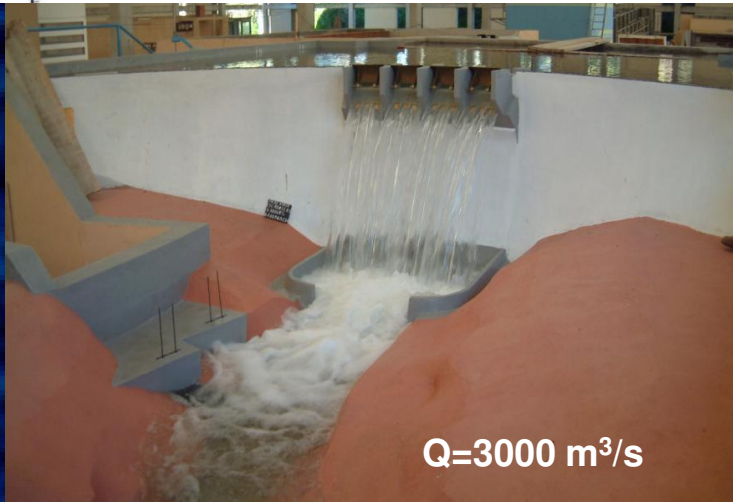
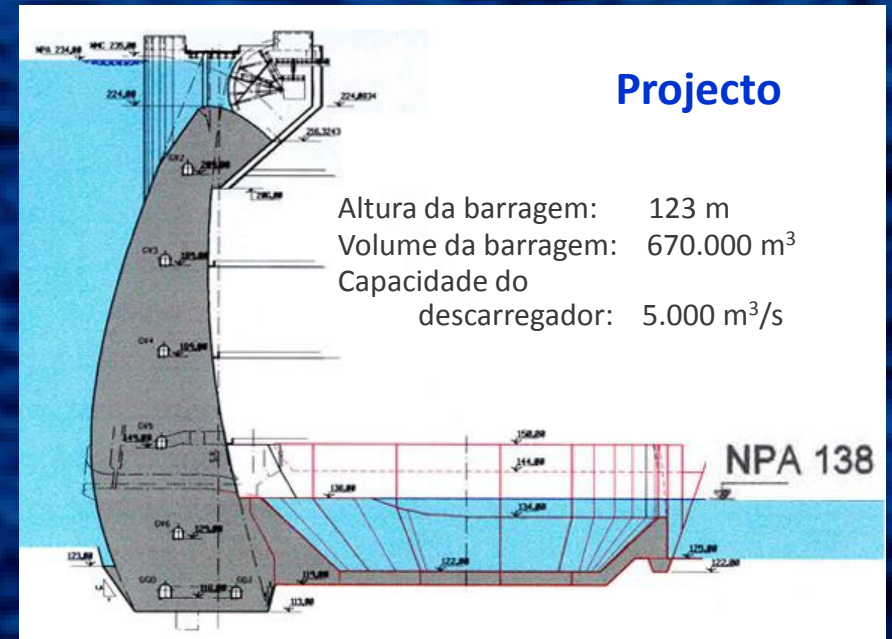
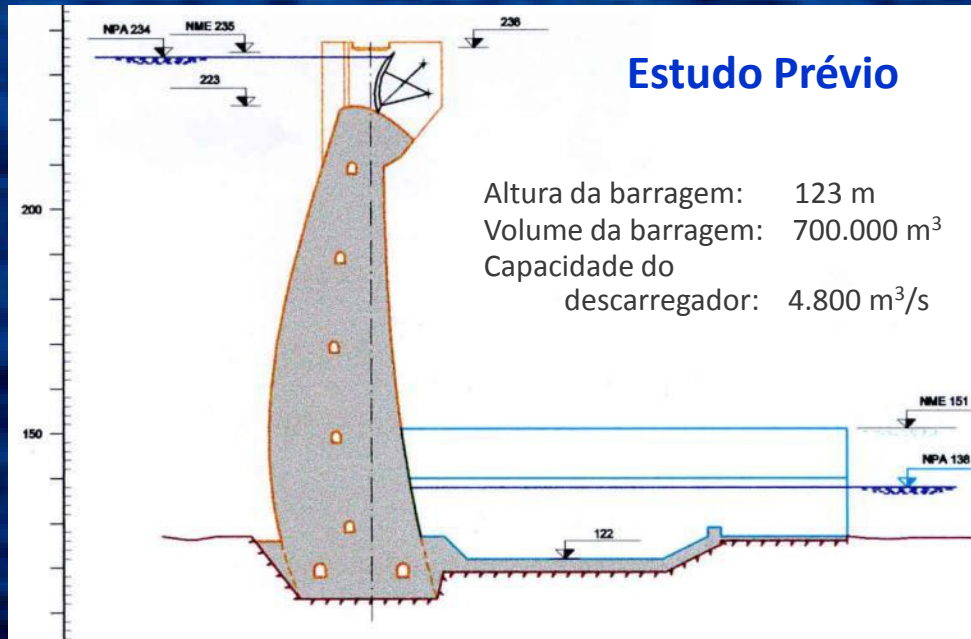
- Estudo das propriedades (retracção, fluência, libertação de calor) dos betões jovens – 1<sup>as</sup> semanas de idade

# SEGURANÇA ESTRUTURAL

## PROJECTO

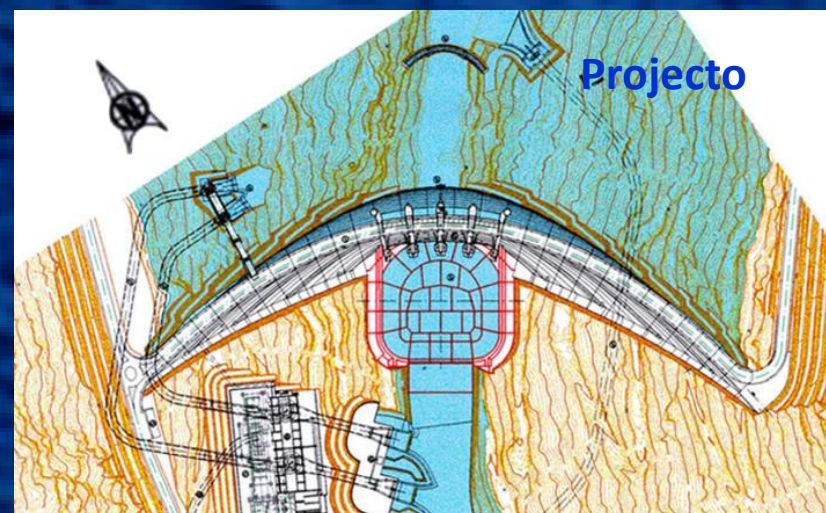
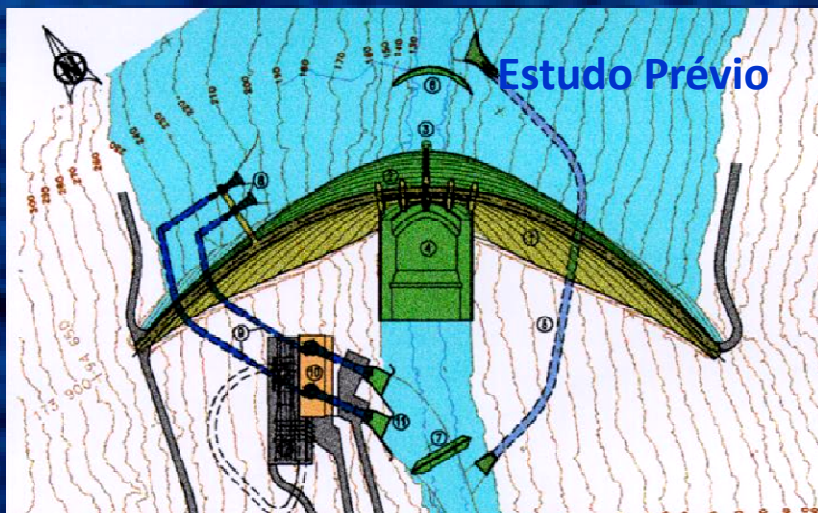
# Segurança das barragens: a visão da EDP

## BAIXO SABOR - ESCALÃO DE MONTANTE





# Segurança das barragens: a visão da EDP



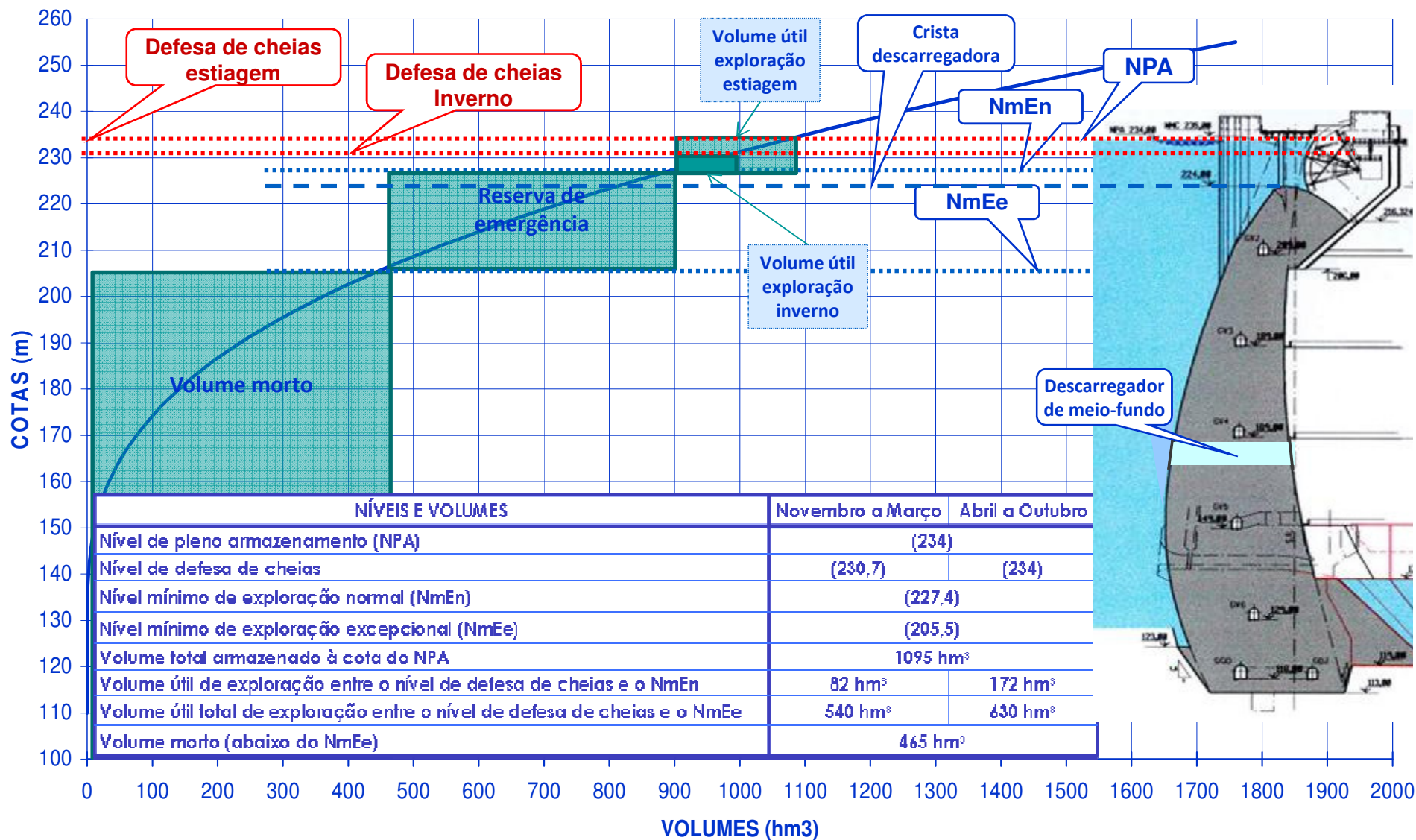
Vista geral da obra



Vista da margem esquerda e fundo do rio



## ESCALÃO DE MONTANTE – Curva de capacidades



### Linhas de investigação:

- Estudo de soluções de órgãos de descarga envolvendo descarregadores de superfície e de meio-fundo
- Estudo de soluções estruturais envolvendo o conjunto barragem abóbada + bacia de dissipação



# SEGURANÇA ESTRUTURAL

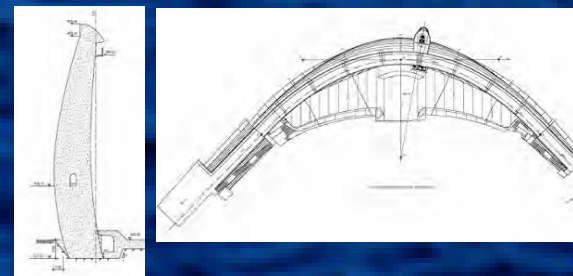
## OBSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS

## Segurança das barragens: a visão da EDP

**Utilização da fibra óptica** (fase experimental)  
aparelhagem embebida na nova barragem do Alto Ceira



Nova barragem do  
Alto Ceira



**Vantagens** em relação à instrumentação convencional embebida no betão

- tem menor dimensão
- não é sensível a campos eléctricos nem magnéticos
- é mais resistente à corrosão
- redução do comprimento de cabo (um cabo serve vários extensómetros)

**Linhas de investigação:**

- Utilização da fibra óptica de forma mais ampla



### Observações Geodésicas



Estações totais de  
precisão motorizadas

Barragem  
do Cabril

Estação total  
motorizada, controlada  
remotamente

- envolvem poucos recursos humanos
- permitem pontarias automáticas
- as observações são de realização rápida

### **Evoluções previsíveis**

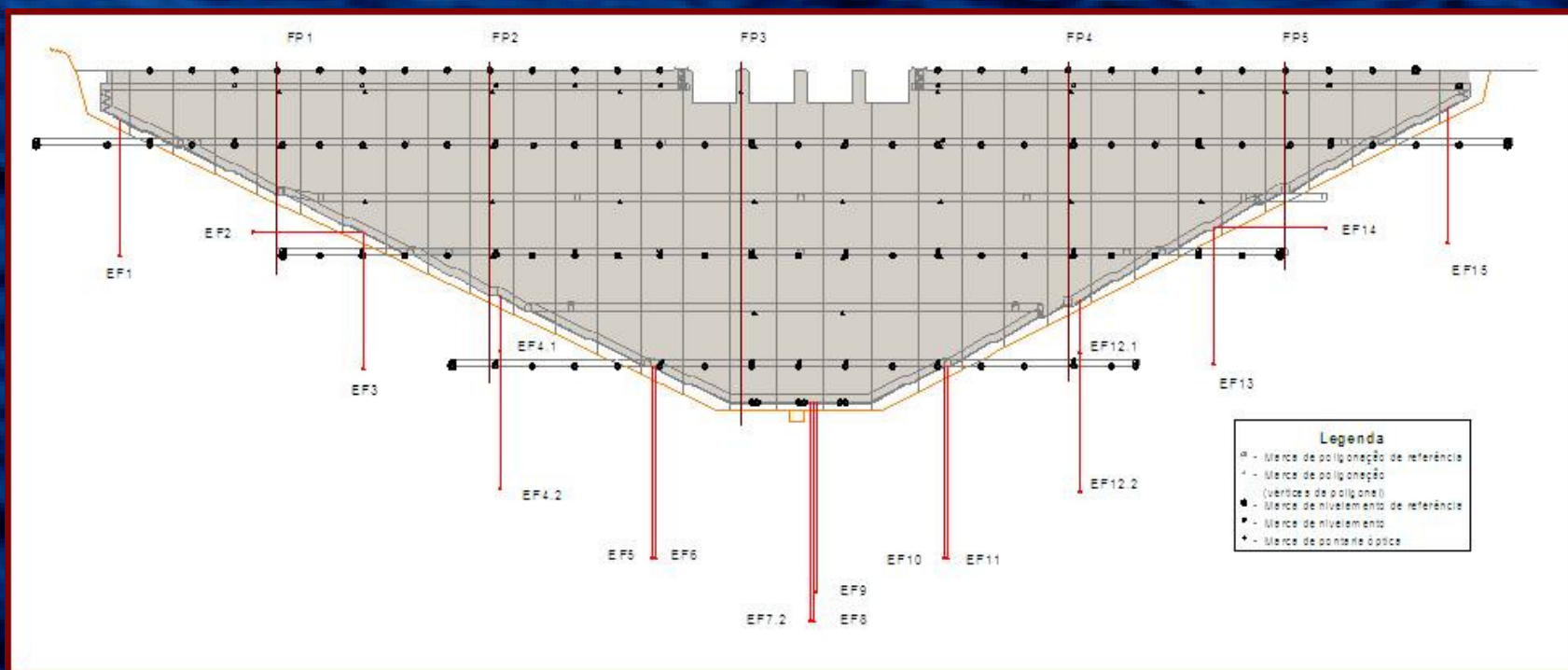
experiência em curso  
na barragem do Cabril

- controlo remoto
- observações contínuas
- transmissão remota em tempo real
- dispositivo automático de alerta



## Observações Geodésicas

### Baixo Sabor - escalão de montante



#### estações GNSS permanentes:

- uma na estrutura (estação "ponto objecto", junto a FP3)
- uma no exterior (estação de referência)

- acesso remoto
- observações contínuas
- transmissão remota em tempo real
- dispositivo automático de alerta

## Segurança das barragens: a visão da EDP

### Observações Geodésicas (Inspeções visuais assistidas)



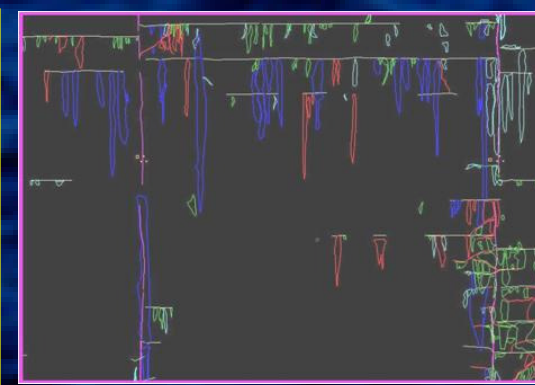
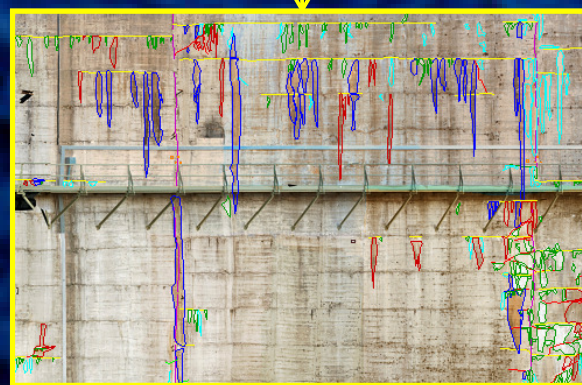
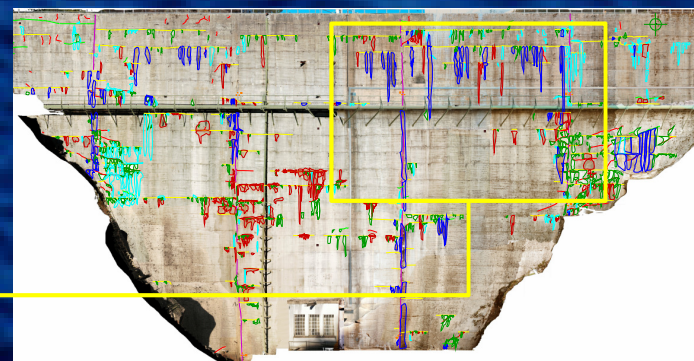
Câmara  
fotográfica

Laser

Laser  
scanner

Conjugam o varrimento laser com imagens obtidas com câmaras fotográficas digitais

### Ortofoto e vectorização das patologias do paramento



*A inclusão de nuvens de pontos capturados com scanners de precisão, associando a imagem fotográfica, constitui um poderoso auxiliar de inspeção visual*

### Linhas de investigação:

- Sistematização da **observação geodésica** (estações totais motorizadas e estações GNSS permanentes), utilizando procedimentos e equipamentos padronizados, que se revelem económicos e fiáveis
- Desenvolvimento da utilização do “**laser scanning**” para potenciação das inspecções visuais – comparação quantitativa periódica da evolução das deteriorações (fissuras, infiltrações, carbonatações)



### Outras linhas de investigação:

- **Expansões do betão** – sua modelação e detecção atempada (concepção de sistemas de observação específicos)
- Modelos de dano; estabelecimento de relações entre dano observado e segurança estrutural; **previsão da evolução do envelhecimento**
- Análise dinâmica de barragens existentes assumindo diferentes tipos de comportamento para as **juntas**
- Desenvolvimento de modelos numéricos para aplicações do âmbito da **hidráulica de estruturas**: tomadas de água, soleiras descarregadoras, dispositivos para passagens de peixes (bacias sucessivas)