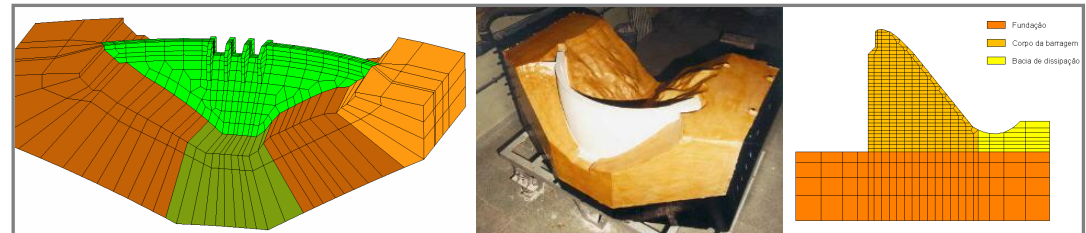


Modelagem e análise de barragens de concreto. Desenvolvimentos recentes.

Carlos Pina

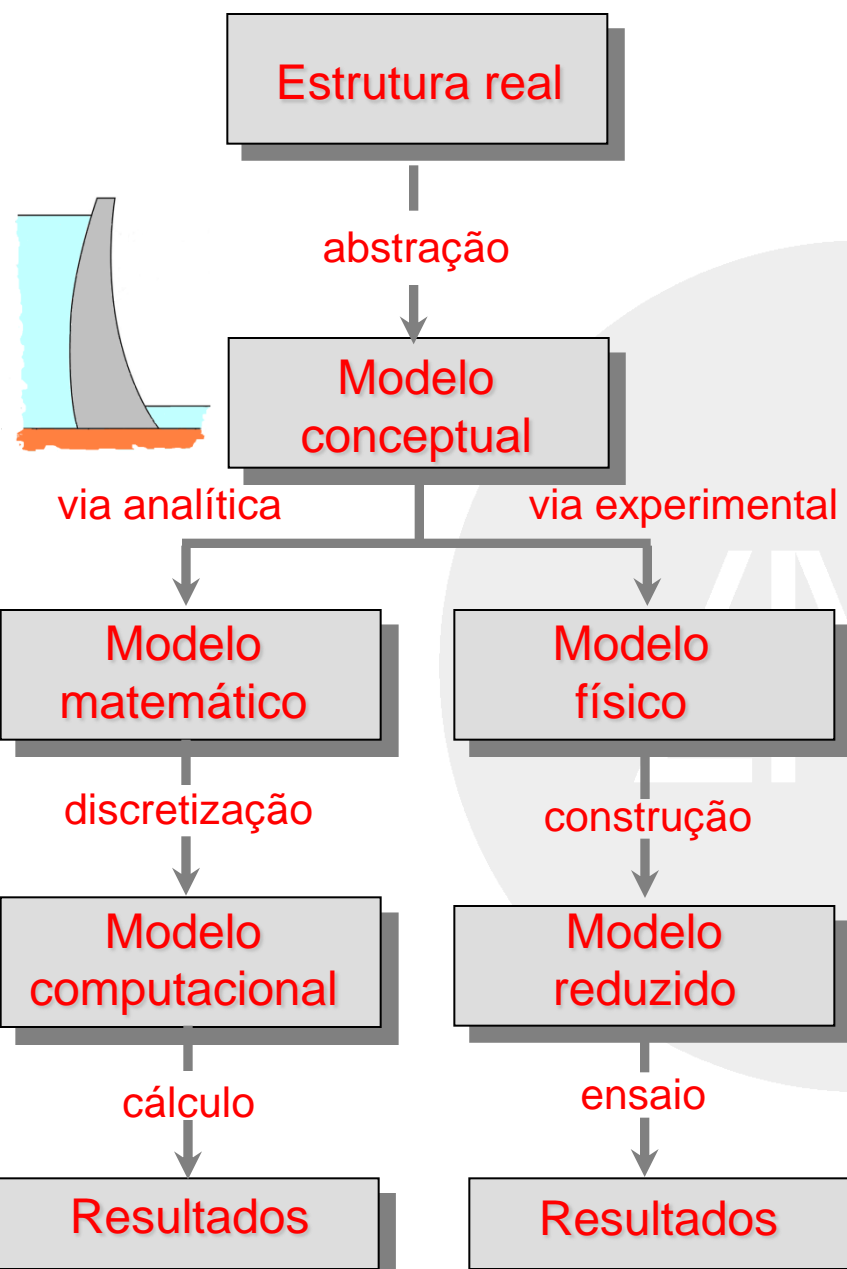
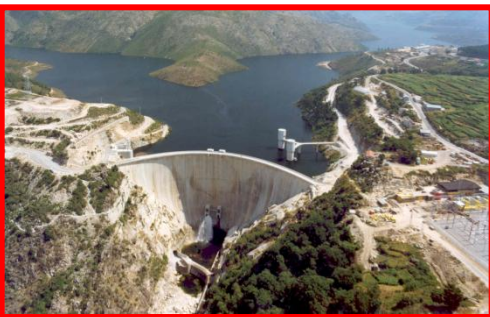
Presidente do LNEC



DAM WORLD CONFERENCE

IBRACON 2012 - 54º Congresso Brasileiro do Concreto

Maceió, 9 de outubro de 2012

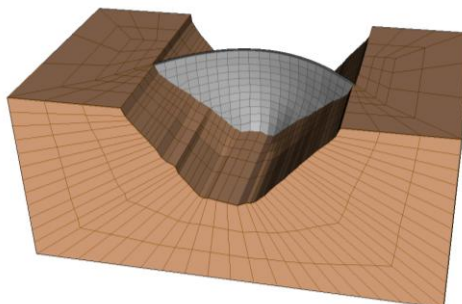


$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + f_i^B &= 0 \text{ em } V \\ \sigma_{ij}n_j &= f_i^{S_f} \text{ em } S_f \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{equilíbrio}$$

$$u_i|_{S_u} = u_i^{S_u} \rightarrow \text{condições de compatibilidade}$$

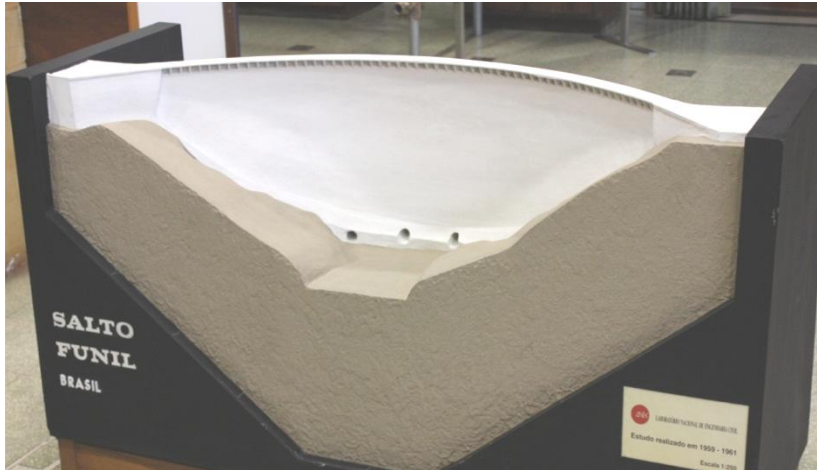
$$\sigma_{ij} = f(\epsilon_{kl}) \rightarrow \text{relações tensão - deformação}$$

- Relações de semelhança*
- Semelhança de Froude
 - Semelhança de Cauchy



Modelagem e análise de barragens de concreto. Desenvolvimentos recentes.
 DAM WORLD CONFERENCE, Maceió, 9 de outubro de 2012

Exemplos de barragens estudadas no LNEC



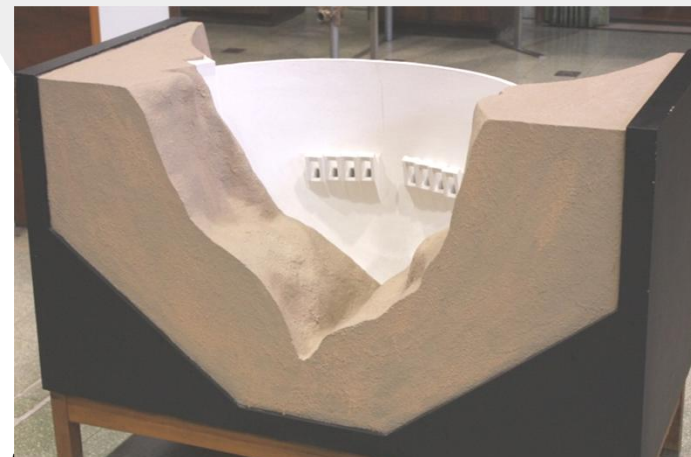
Salto do Funil, Brasil, 73 m



Cambambe, Angola, 88 m



Aldeadávila, Espanha, 140 m



Cahora Bassa, Moçambique, 170 m

- *Peças lineares*
- *“Trial Load” – grelha de arcos e consolas*
- *Método dos elementos finitos (FEM)*
- *Método dos elementos de fronteira (BEM)*
- *Método das diferenças finitas (FDM)*
- *Método dos elementos discretos (DEM)*
- *Métodos sem malha (Meshless methods)*
- *Método das partículas (DPM e PFEM)*

Fase de projeto



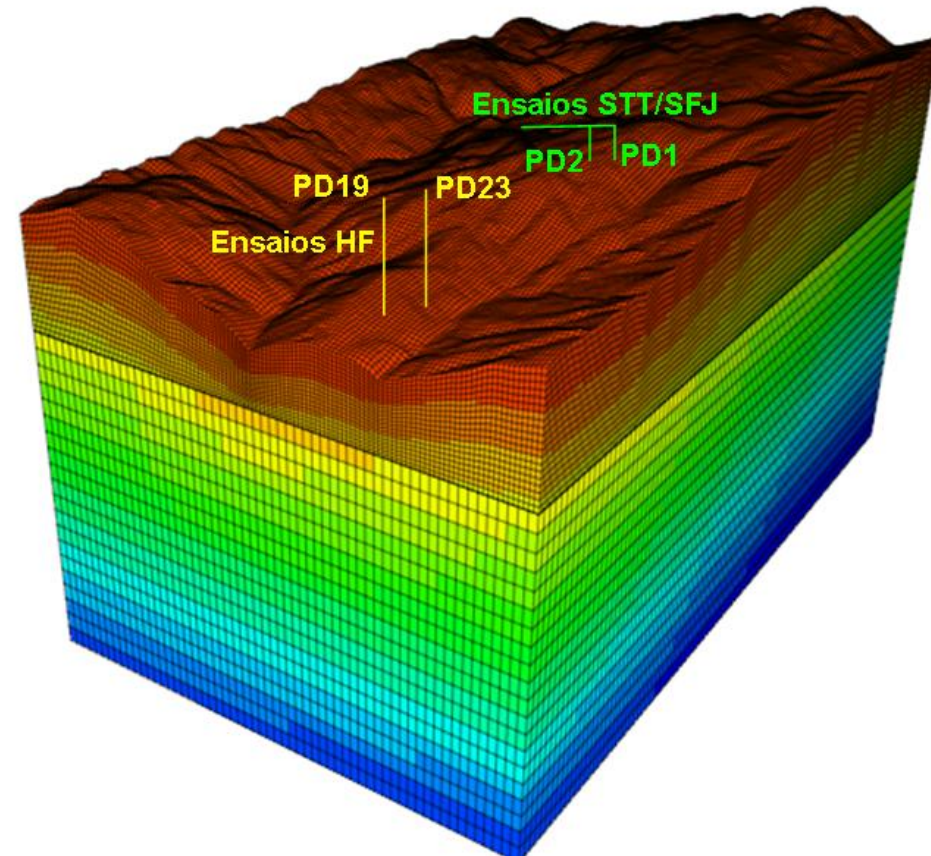
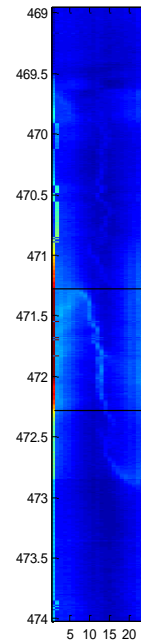
Estudos de apoio ao projeto

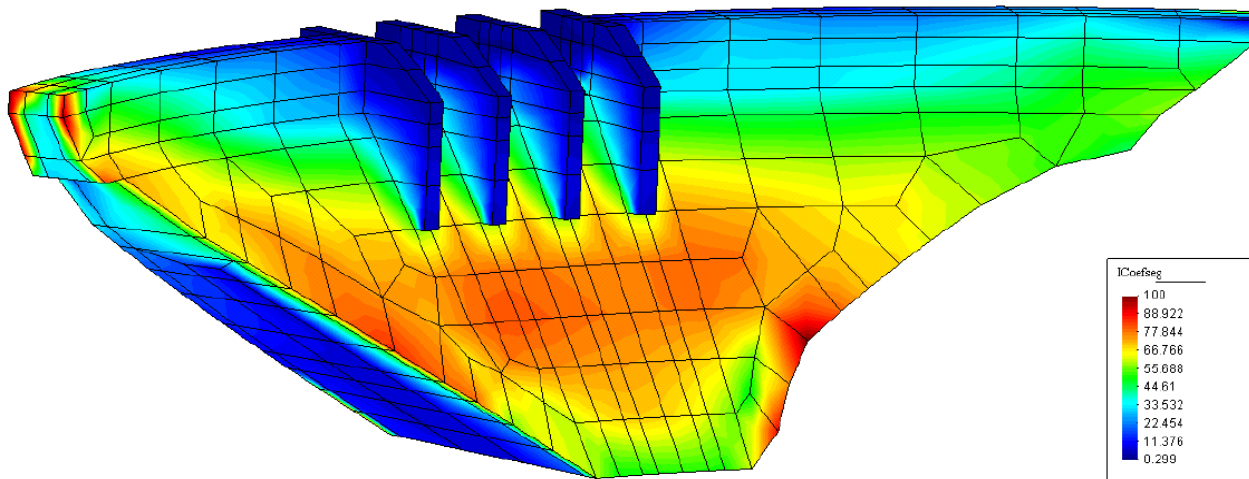
Caraterização do estado de tensão regional a partir de resultados de diferentes métodos de ensaios mecânicos

Modelo regional para retroanálise



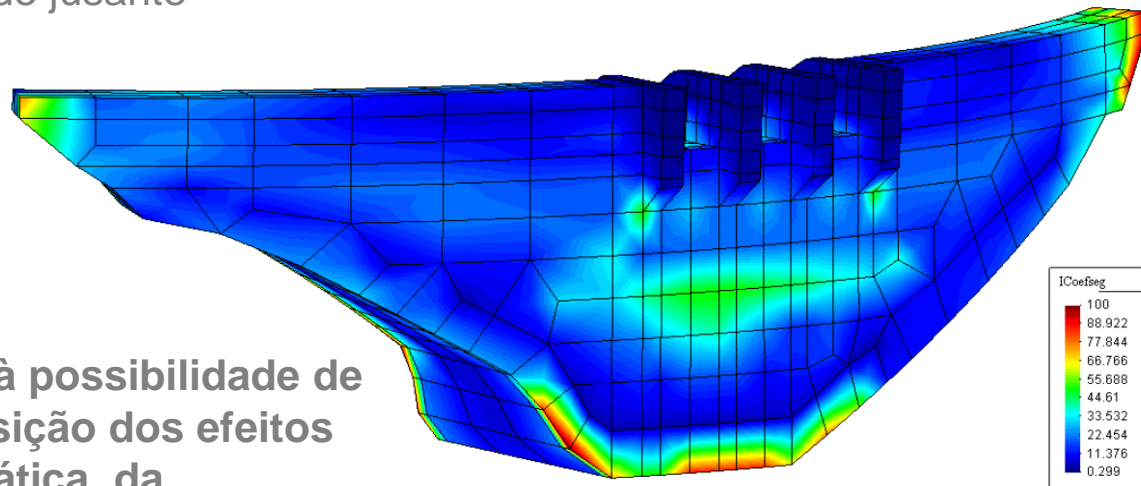
Ensaio de fraturação
hidráulica





Paramento de jusante

Tensões no betão
Verificação da segurança pelo
critério de Mohr-Coulomb
($f_t = 2 \text{ MPa}$ $f_c = 20 \text{ MPa}$)
 $i_R = 100$ Rotura local
 $40 < i_R < 100$ Não verifica NPB
 $i_R < 40$ verifica NPB

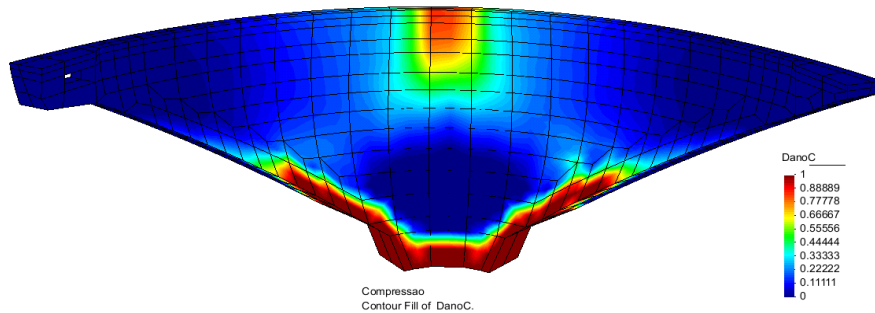


Paramento de montante

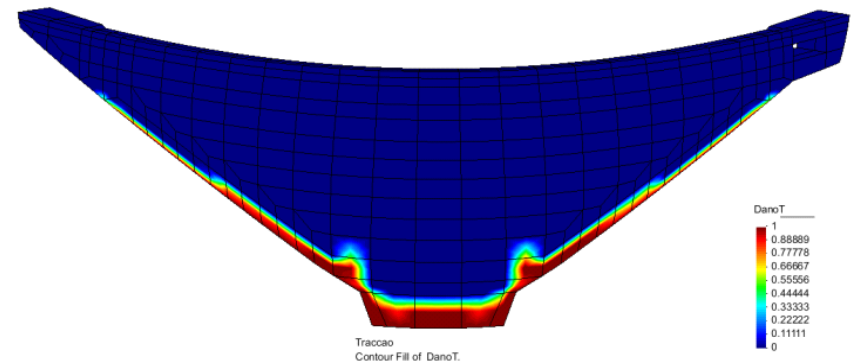
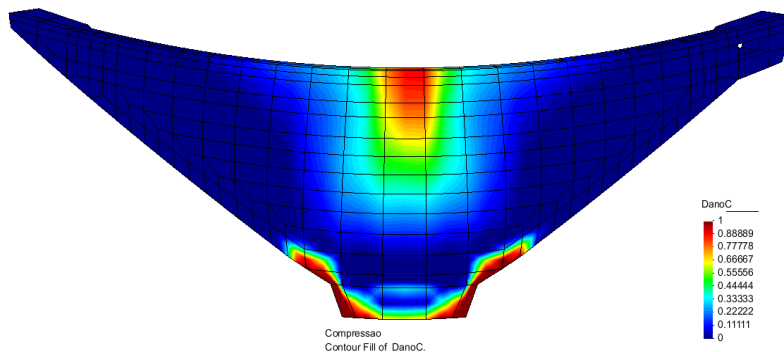
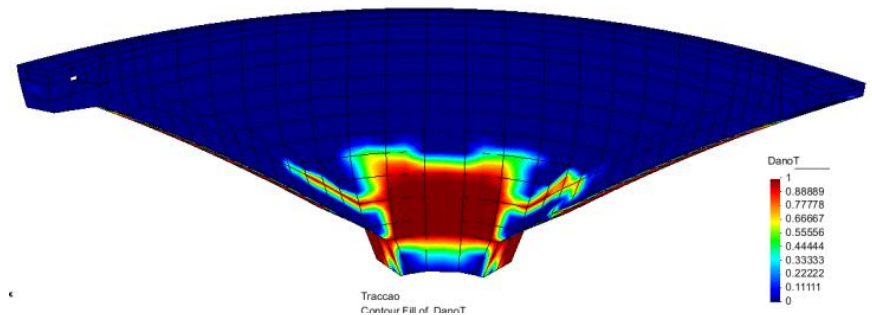
Estudo da segurança relativamente à possibilidade de roturas no betão devidos à sobreposição dos efeitos do peso próprio, da pressão hidrostática, da temperatura e do SBP

Análise do comportamento até à rotura para o cenário de deterioração do betão com base em leis constitutivas de dano

Dano à compressão



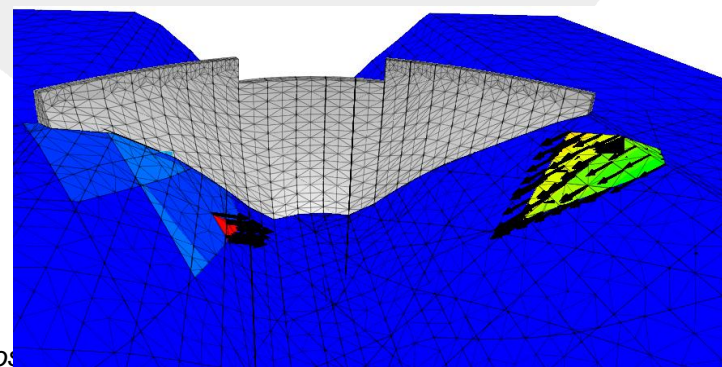
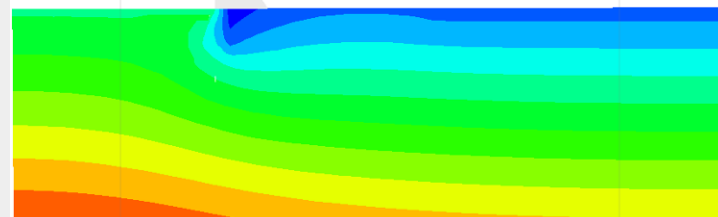
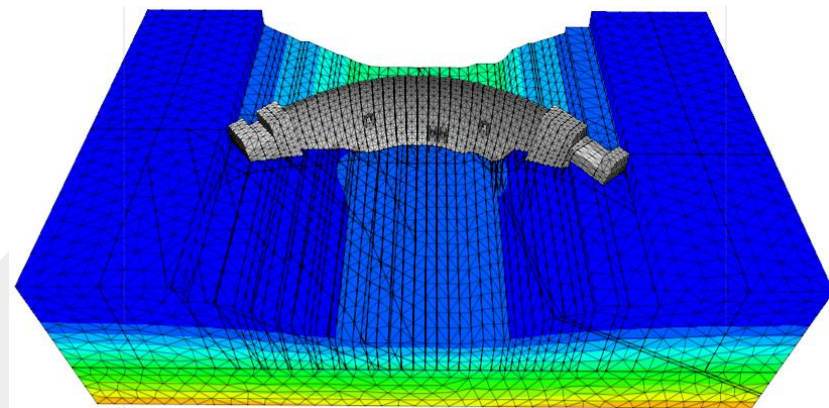
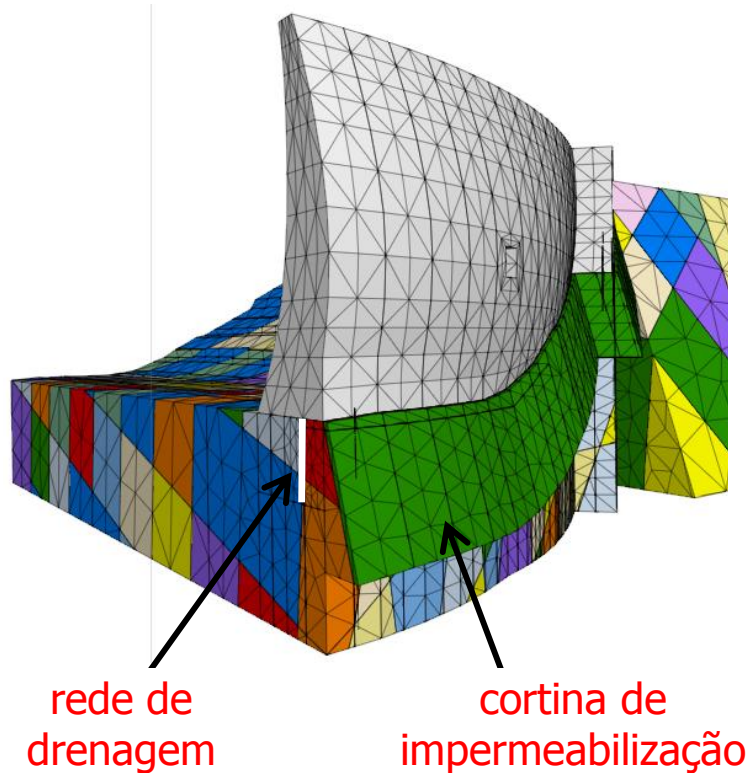
Dano à tracção



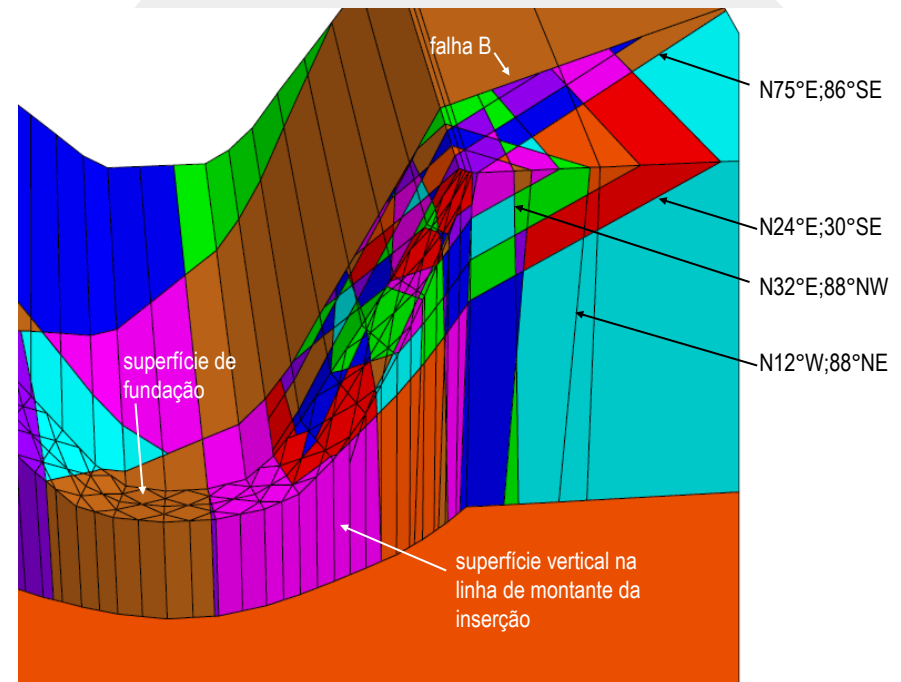
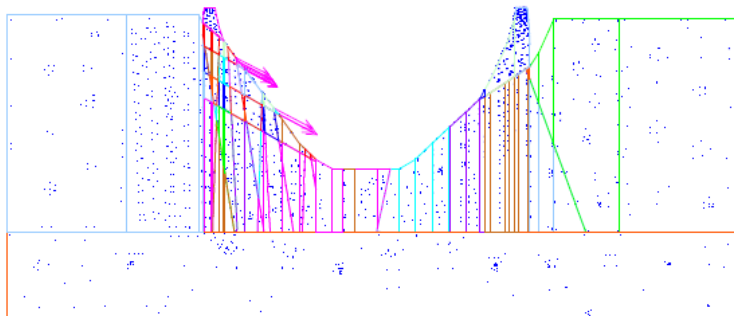
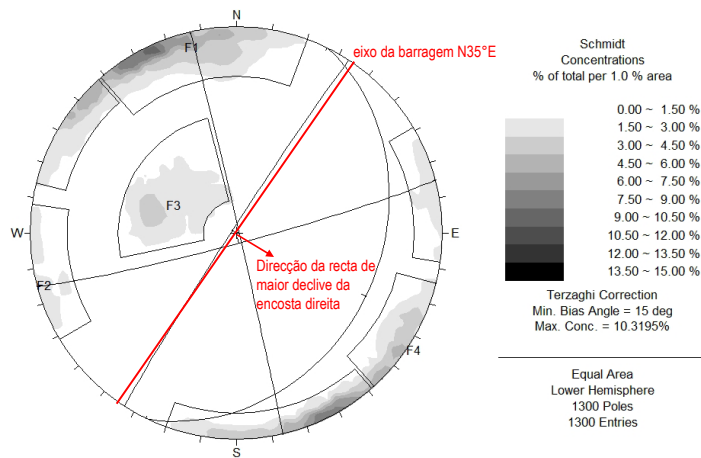
Zonas danificadas na situação final de colapso $\lambda_S = 10,9$ antes.

Cenários de rotura

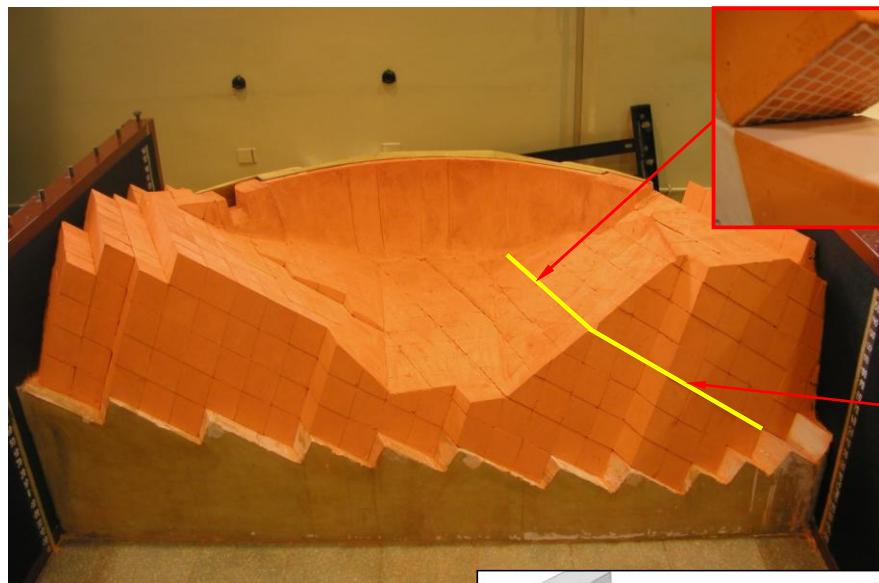
Análise da estabilidade de fundações de barragens abóbada



Análise do comportamento até à rotura para o cenário de rotura pela fundação

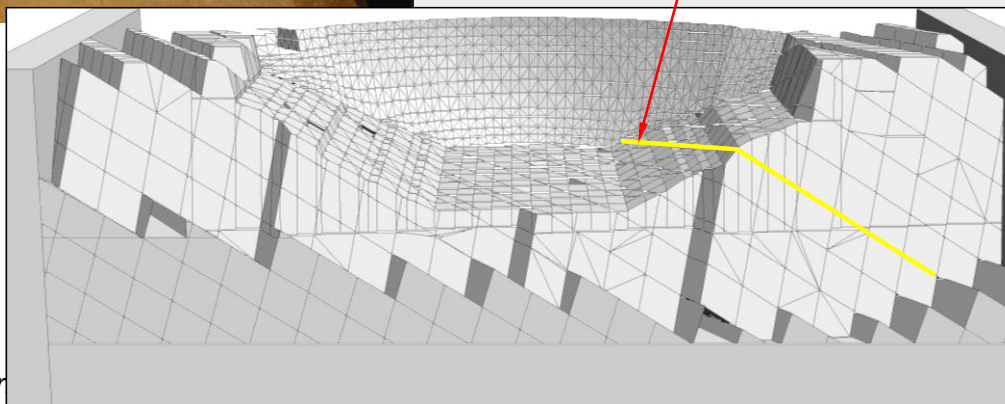


Rotura da barragem para um cenário de deslizamento ao longo da fundação



Modelo Físico

Plano da Falha 22

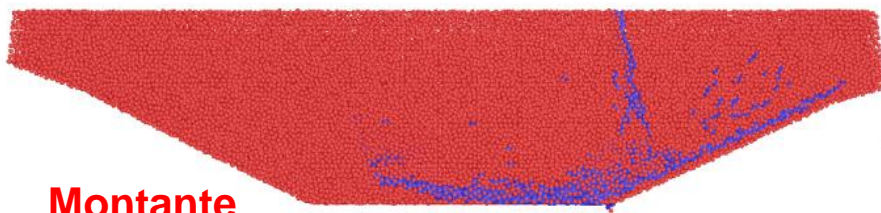


Modelo Matemático

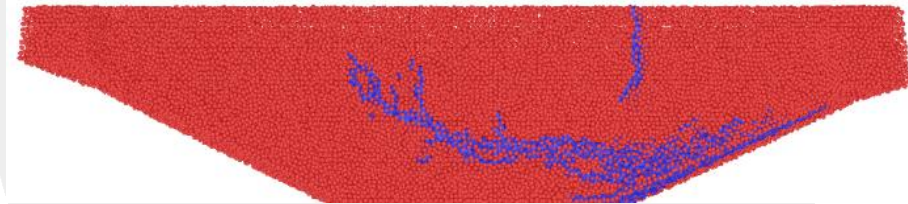
Modelagem e análise de barragem
DAM WORLD CONFERENCE, Macao, 9 de outubro de 2012

Análise do comportamento até à rotura de uma barragem abóbada devido a movimentos diferenciais na fundação

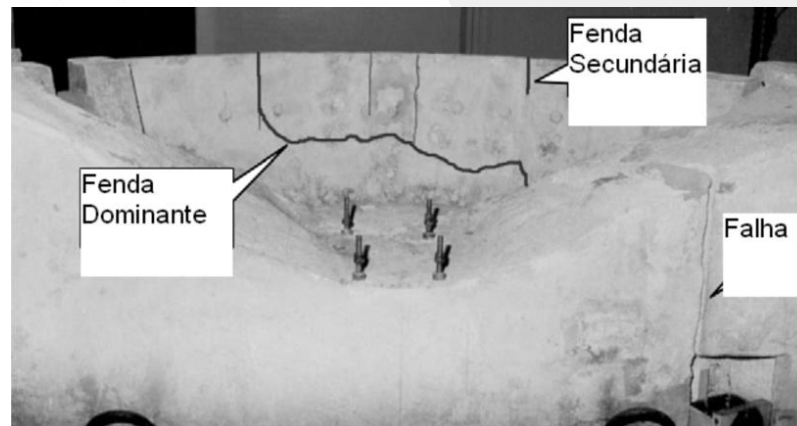
MÉTODO DAS PARTÍCULAS (DEM) Fendilhação dos contactos junto aos paramentos



Montante



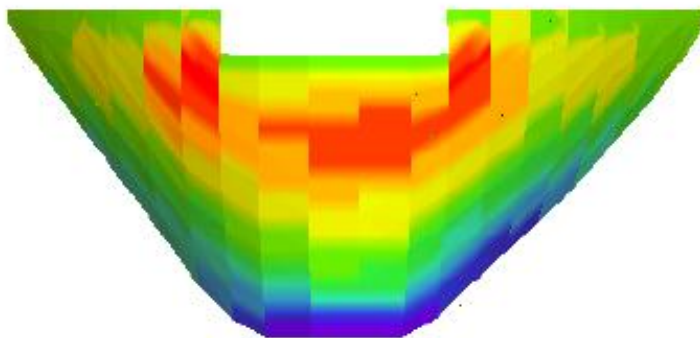
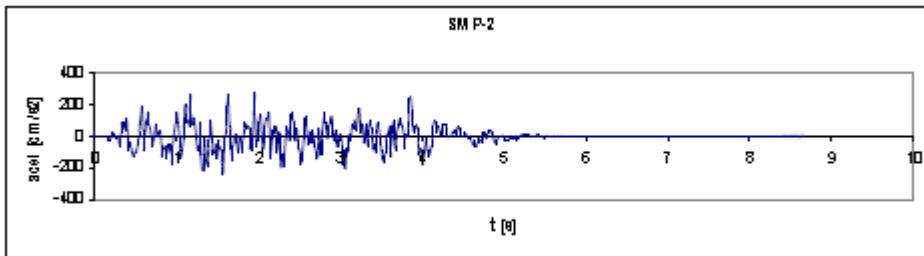
Jusante



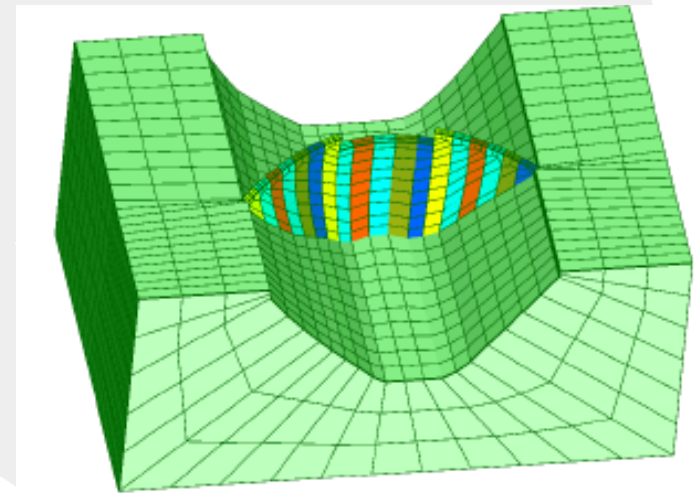
Ensaio experimental

$$\Delta_N = \frac{3}{4} \Delta_T$$

Análise do comportamento dinâmico para o Sismo Máximo de Projeto



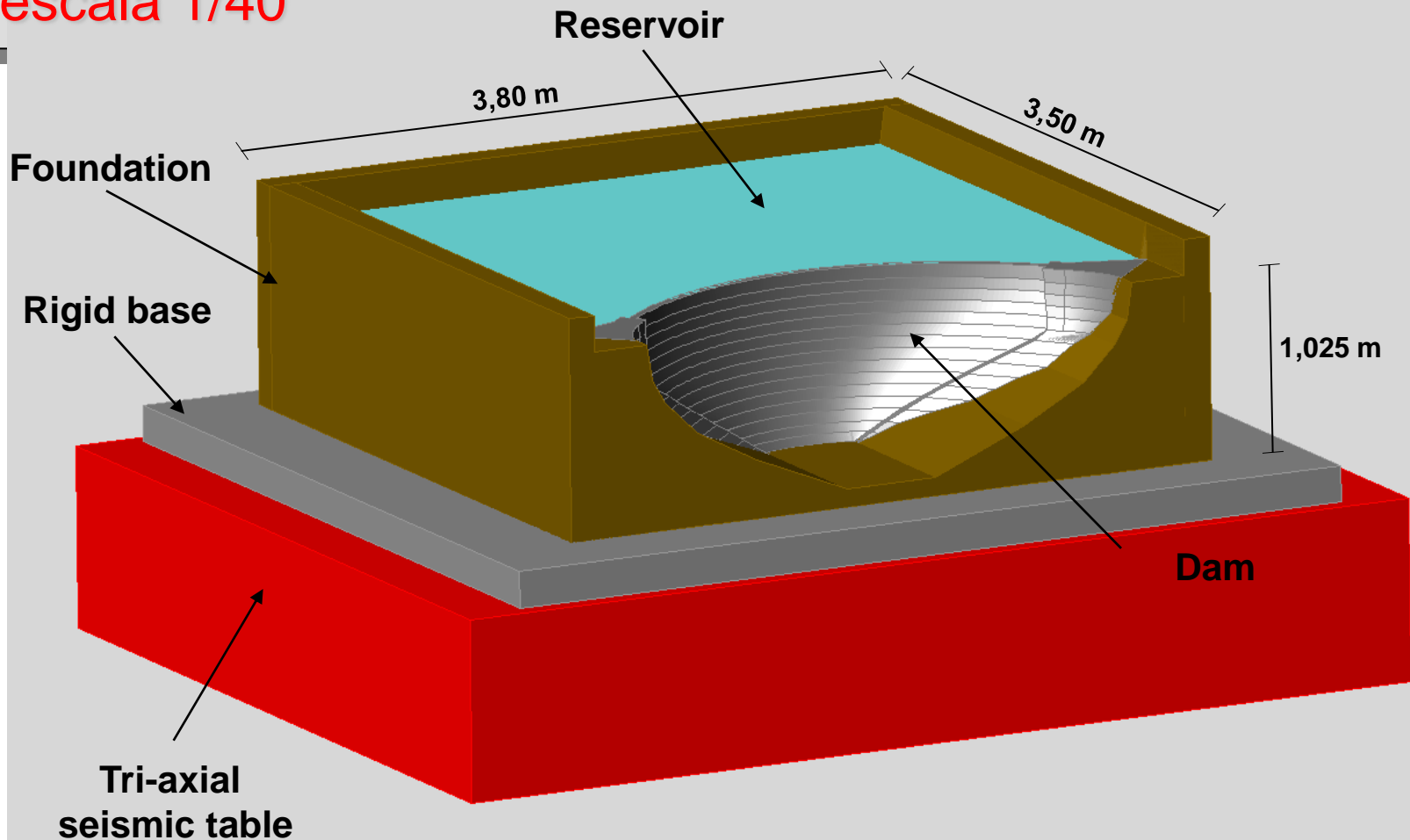
[MPa]



Tensões máximas nas consolas

Modelagem e análise de barragens de concreto. Desenvolvimentos recentes.
DAM WORLD CONFERENCE, Maceió, 9 de outubro de 2012

Análise do comportamento sísmico utilizando um modelo físico à escala 1/40

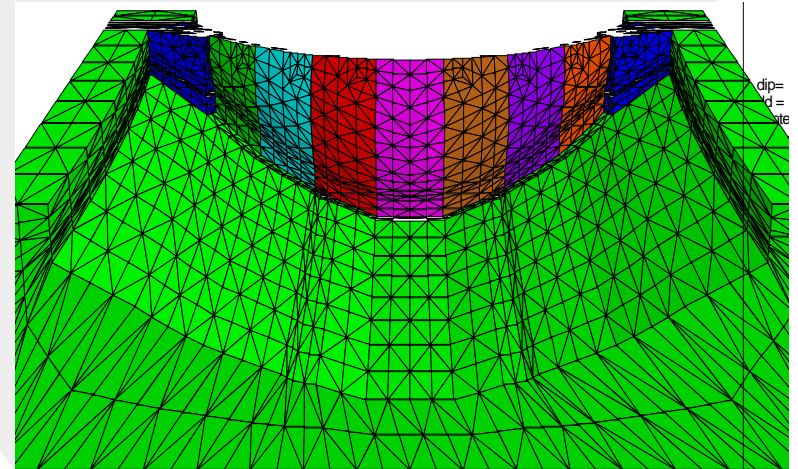


Rotura da barragem devida à ocorrência de um sismo

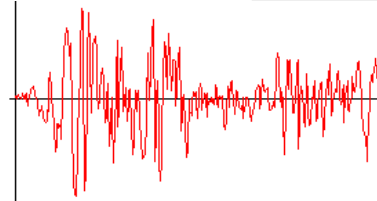
Modelo Físico



Modelo Matemático



Excitação
(acelerograma)



Cenários de rotura



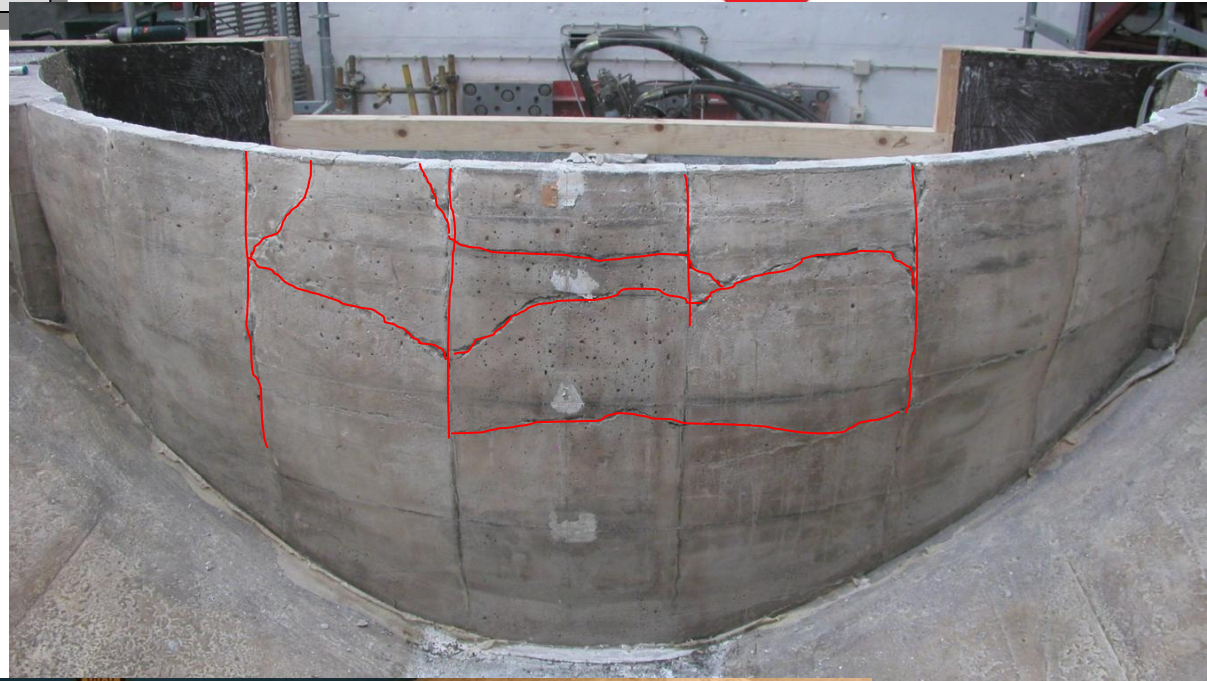
Cenários de rotura



Cenários de rotura



As primeiras fendas ocorreram para uma amplificação de 2 do acelerograma base (0,4g).

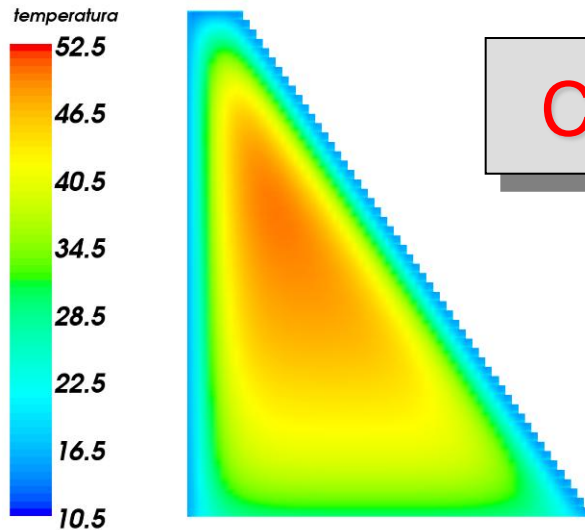


Fase de construção

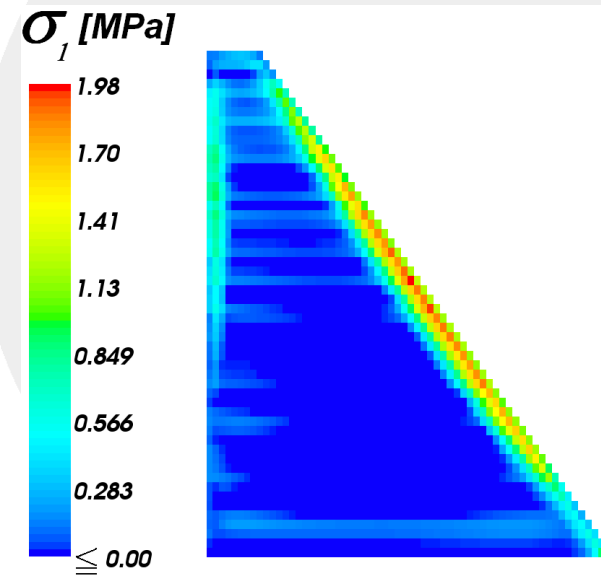
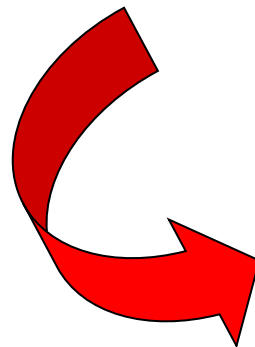


Caracterização dos materiais
Controlo da fendilhação

Cálculo termo-químico-mecânico



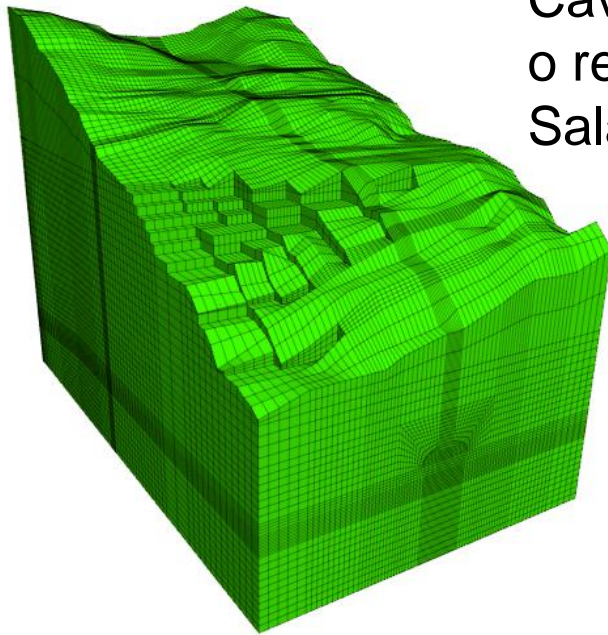
Cálculo termo-químico



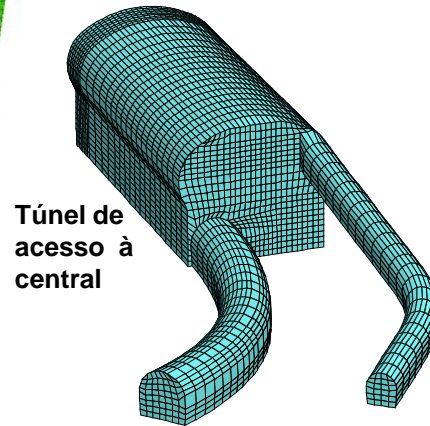
Cálculo mecânico

Identificação do módulo de elasticidade e estado de tensão com base nos valores observados durante a escavação

Caverna da central para o reforço de potência de Salamonde

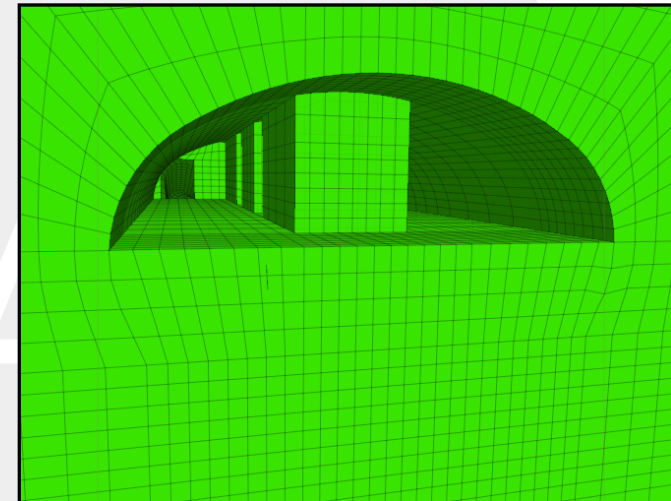


Modelo global



Túnel de acesso à central

Túnel de ataque à abóbada da central

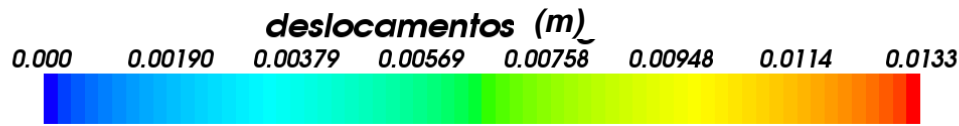
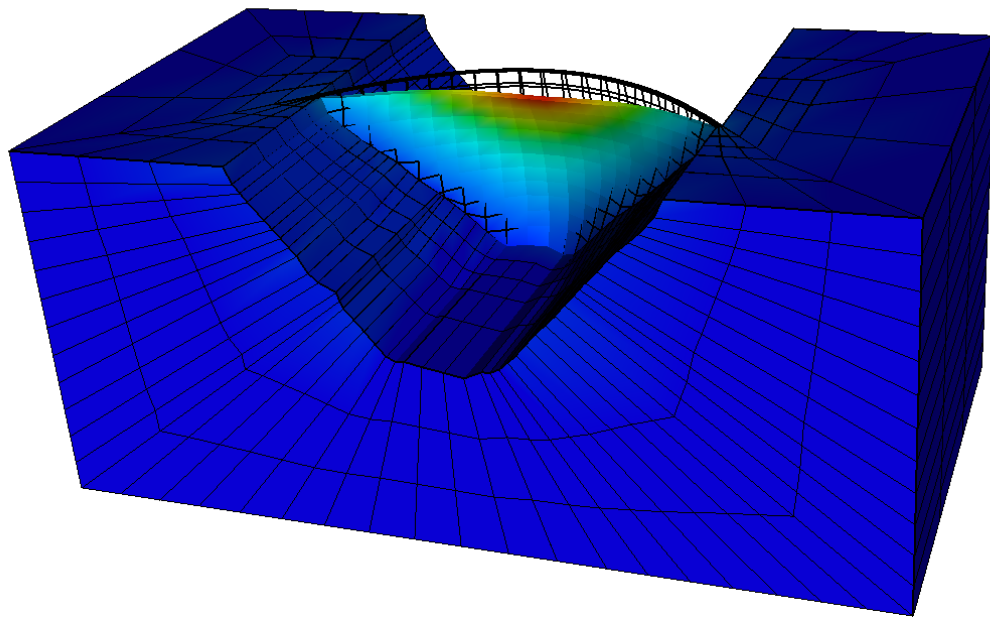


Vista do interior durante a escavação do túnel de acesso

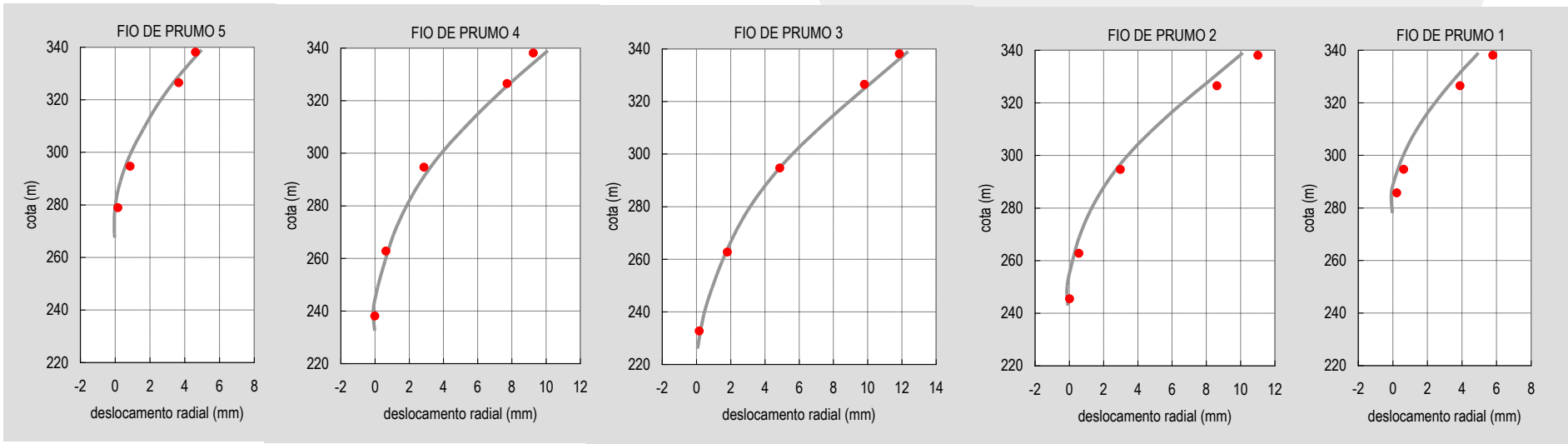
Fase de exploração



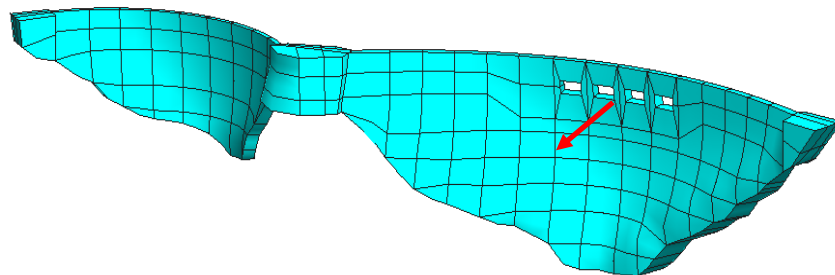
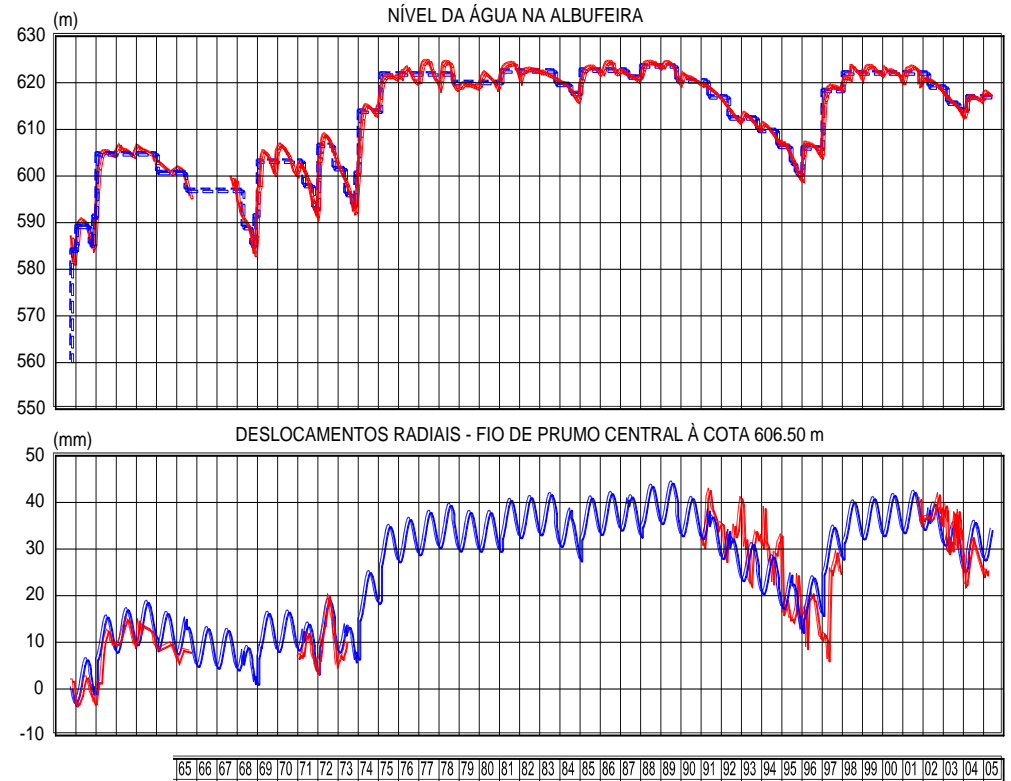
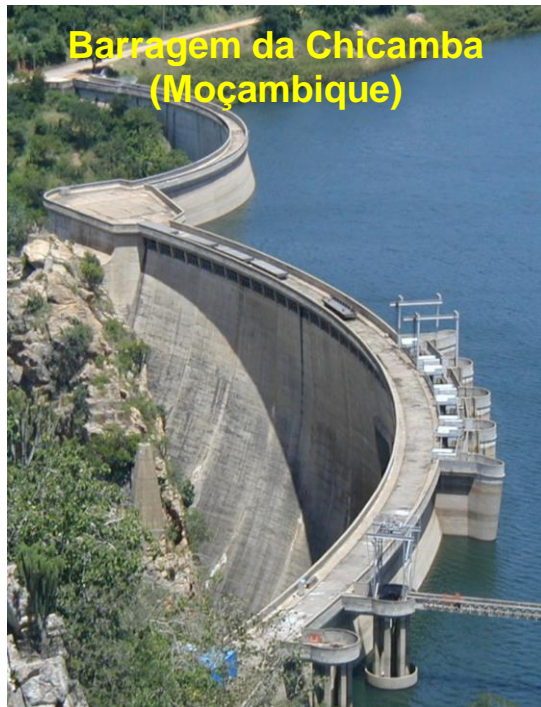
Avaliação das condições de segurança



Interpretação do comportamento observado



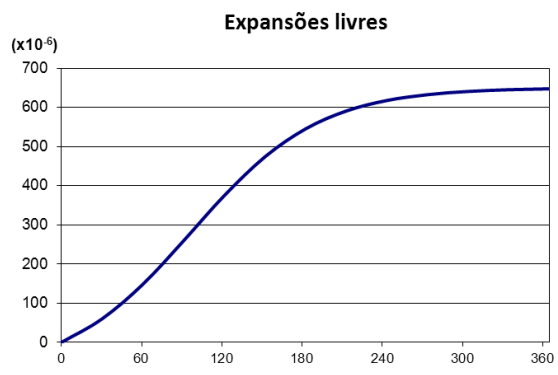
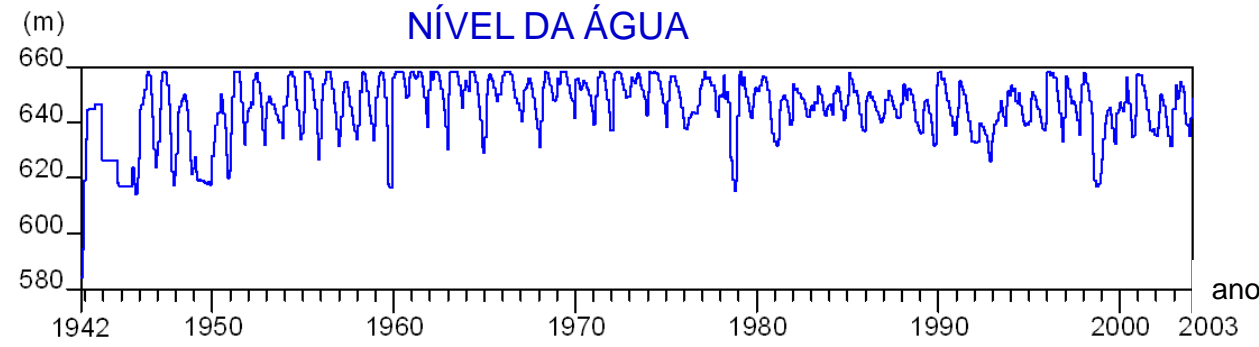
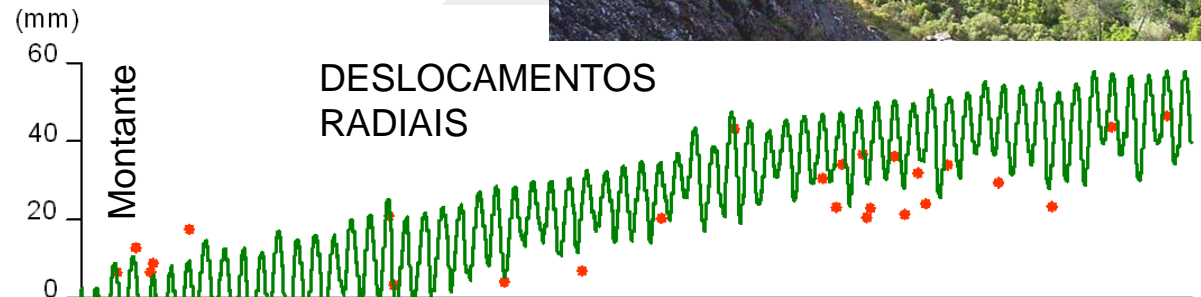
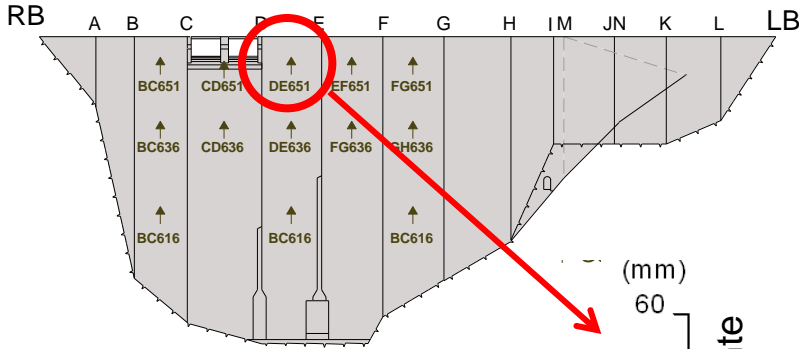
Interpretação e previsão do comportamento



— **Observado** — **Calculado**

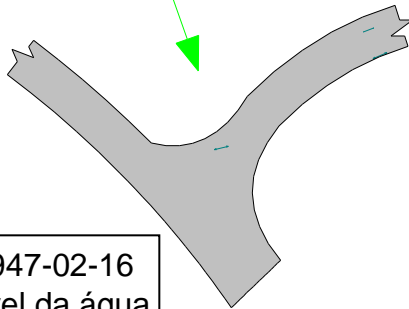
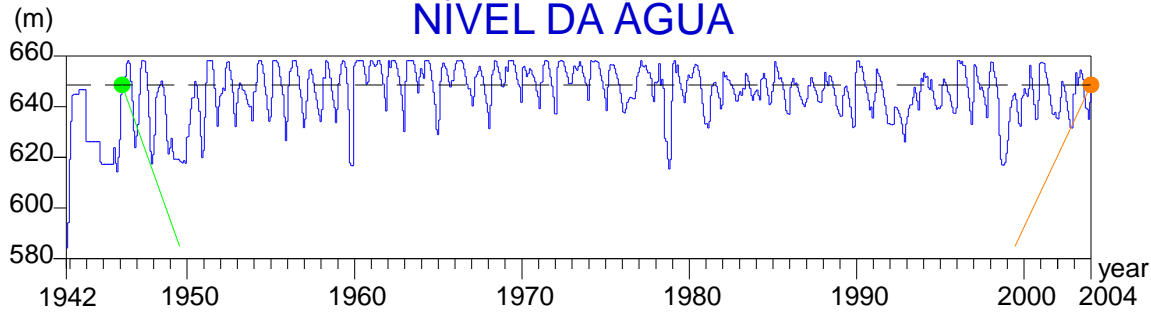
Deslocamentos radiais

Interpretação e previsão do comportamento

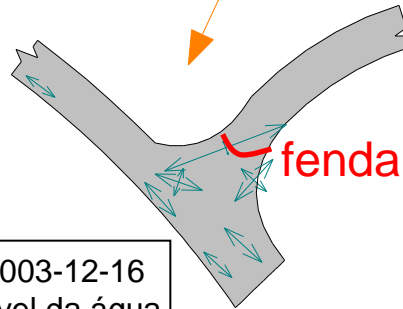


Interpretação e previsão do comportamento

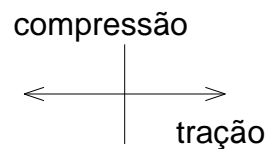
NÍVEL DA ÁGUA



1947-02-16
Nível da água
644,90 m



2003-12-16
Nível da água
648,60 m



0 10 MPa



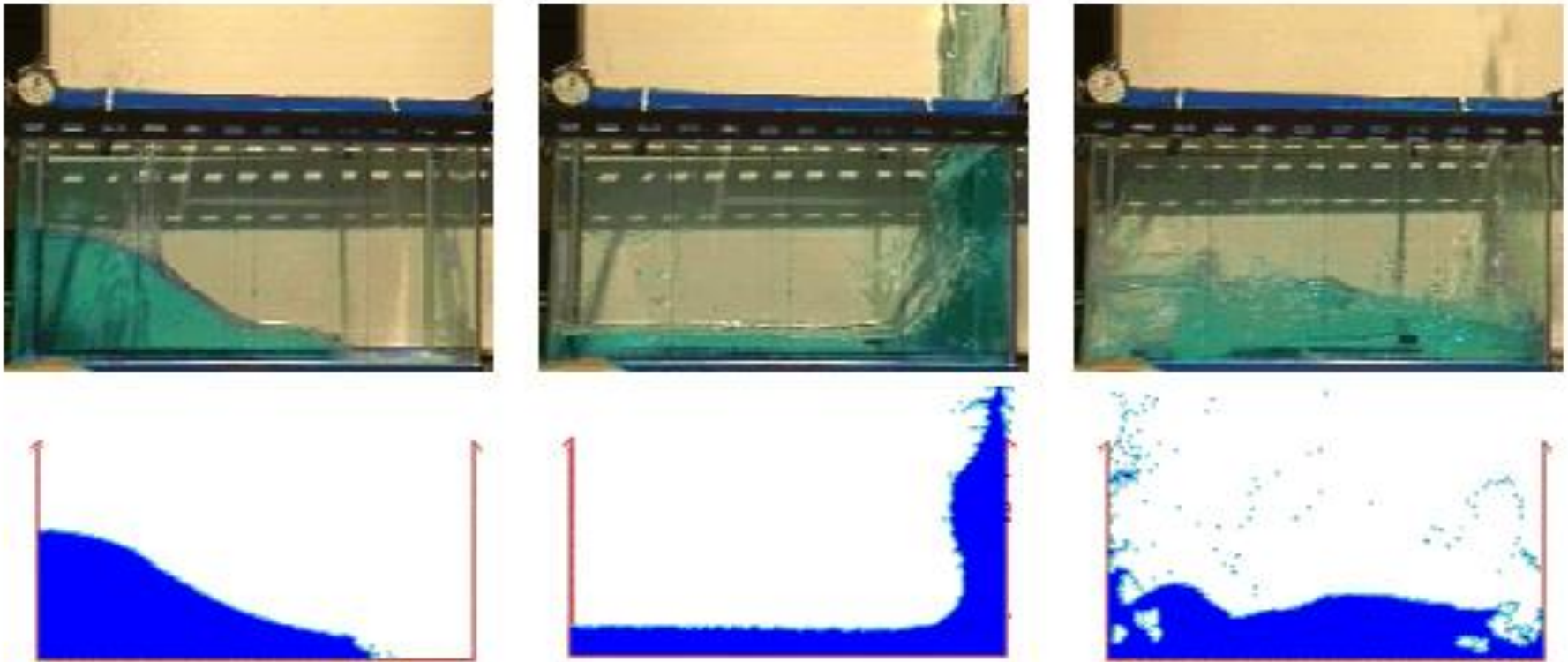
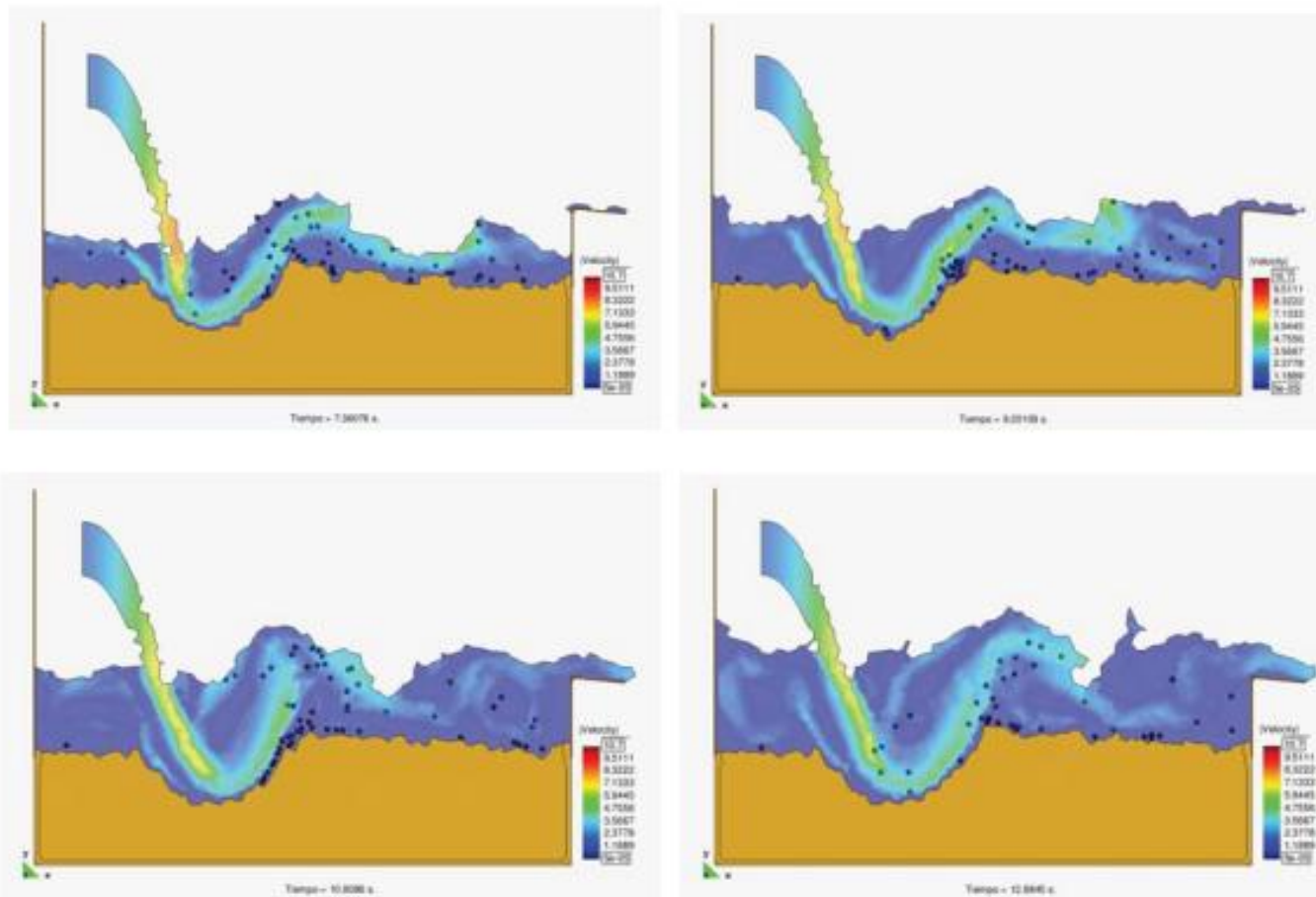


Fig. 7.5. Dam Collapse. Comparison between the experiment and numerical results obtained in different time steps, with different refinement levels.

Fluid-Structure Interaction Using the Particle Finite Element Method

S.R. Idelsohn^(1,2), E. Oñate⁽²⁾, F. Del Pin⁽¹⁾ and Nestor Calvo⁽¹⁾



ADVANCES IN THE PARTICLE FINITE ELEMENT METHOD (PFEM) FOR SOLVING COUPLED PROBLEMS IN ENGINEERING

Figure 30: Erosion, transport and deposition of particles at a river bed due to a jet stream

E. Oñate, S.R. Idelsohn*, M.A. Celigueta,
R. Rossi J. Martí, J.M. Carbonell, P. Ryzakov and B. Suárez
International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE)
Technical University of Catalonia (UPC)

Obrigado