

*jornadas*

INEC

**mobilidade e gestão**  
das **infraestruturas**  
de **transporte**

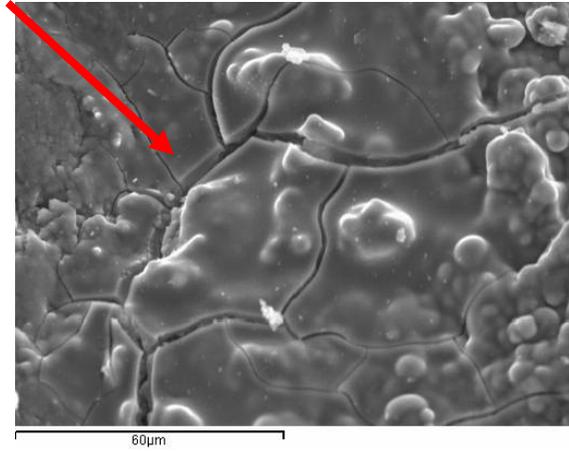
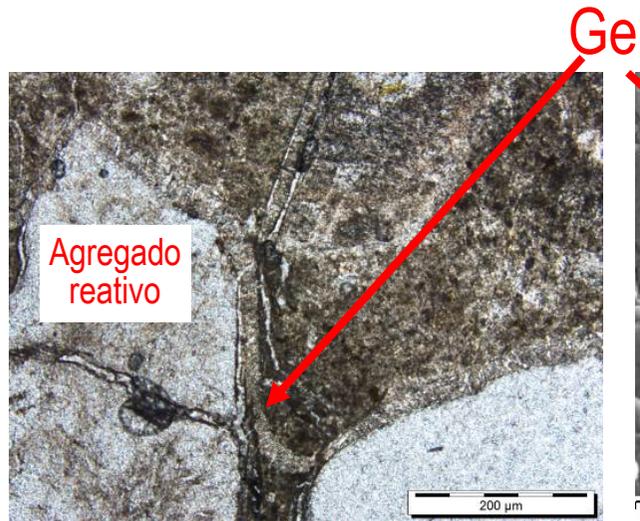
INEC • Lisboa • 5-7 novembro 2012

*engenharia para a sociedade*  
**investigação e inovação**

# Degradação de obras de arte por reações expansivas: Situação atual e perspetivas futuras

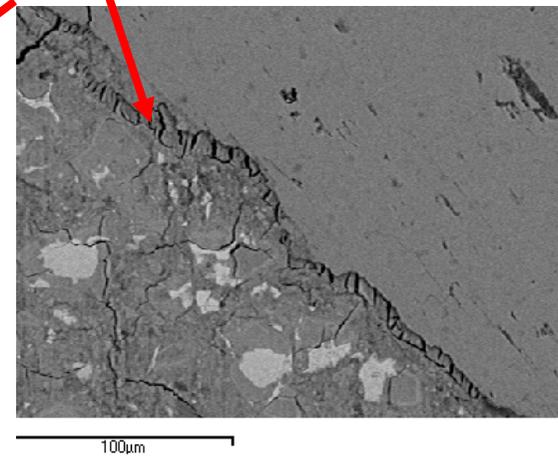
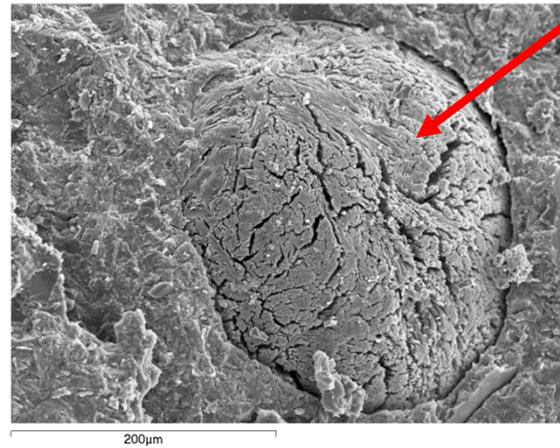
**António Santos Silva, A. Bettencourt Ribeiro, J. Custódio, P. Gomes**  
[ssilva@lnec.pt](mailto:ssilva@lnec.pt), [bribeiro@lnec.pt](mailto:bribeiro@lnec.pt), [jcustodio@lnec.pt](mailto:jcustodio@lnec.pt), [pgomes@lnec.pt](mailto:pgomes@lnec.pt)





Reação Álcalis-Sílica (RAS)

Etringite

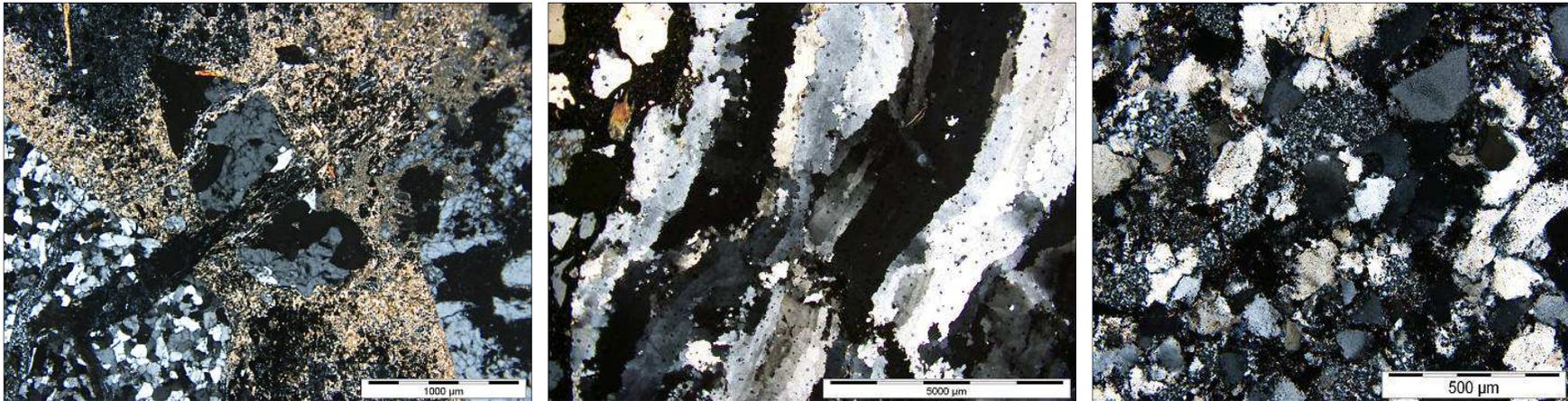


Reação Sulfática Interna (RSI)

# Reação álcalis-sílica no betão

## □ A origem

Reatividade entre o cimento e os agregados com formas de sílica mal cristalizadas ou deformadas



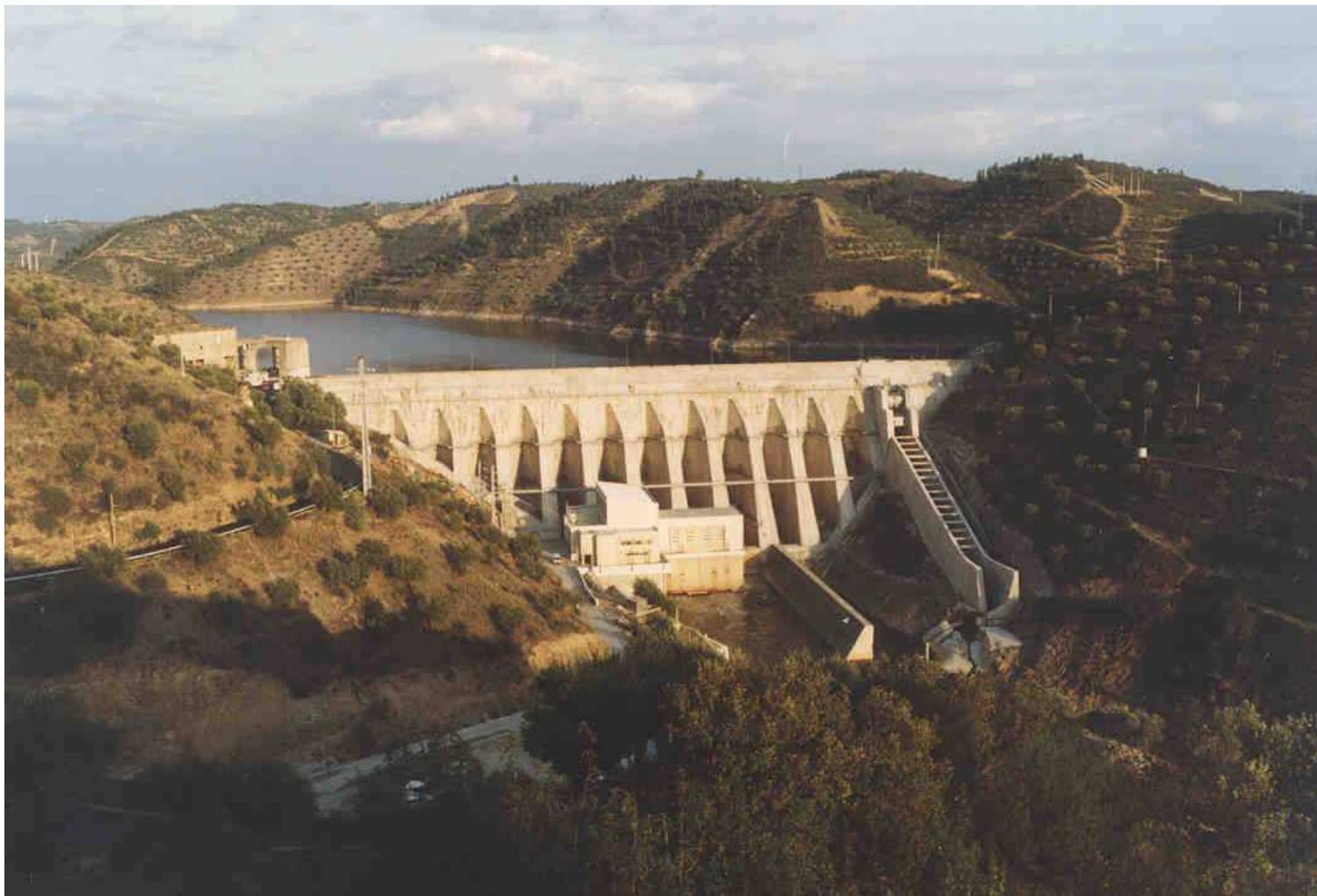
## □ As causas

A sílica e os álcalis dos agregados e a humidade; as zonas mais sensíveis das estruturas são as zonas em contacto com água, expostas às intempéries ou com deficiente drenagem ou não estanques

## □ Identificada pela 1ª vez nos E.U.A. em 1940

Em Portugal o fenómeno apareceu na década de 90

## RAS - Primeira descoberta em Portugal



Barragem de Pracana (rio Ocreza – bacia hidrográfica do Tejo)

## RAS - Ocorrência em obras de arte



Viaduto Duarte Pacheco (Lisboa) - 1993



# Reação álcalis-sílica no betão

- ❑ Após a descoberta desta patologia - Necessidade de se efetuarem reparações importantes (Barragem do Pracana, Viaduto Duarte Pacheco, etc.)



## Reação Sulfática Interna (RSI)

### ❑ A origem

Fontes internas de sulfatos e /ou remobilização dos sulfatos inicialmente contidos na matriz cimentícia

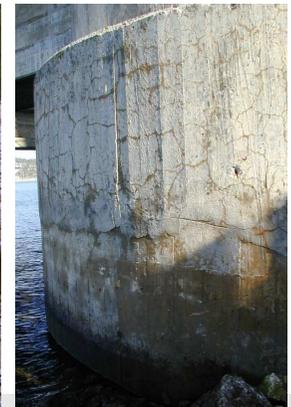
### ❑ A principal causa

Ambiente húmido, aumento da temperatura durante o endurecimento do betão e sulfatos

### ❑ Os tipos de betão afetados

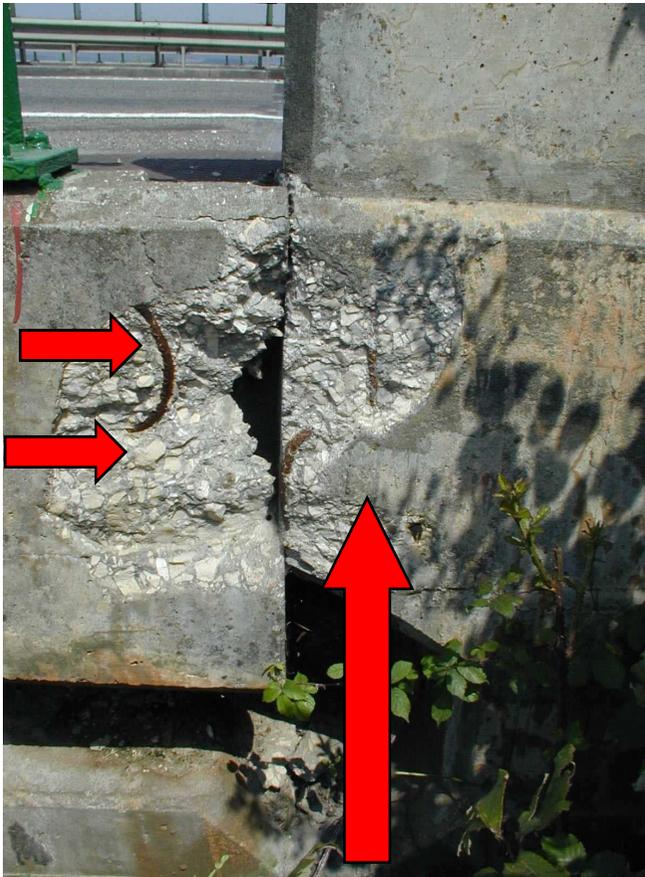
- betões sujeitos a tratamentos térmicos
- partes da estrutura de betão em massa (pilares, maciços, ...)

### ❑ Identificada pela 1ª vez (travessas de caminho-de-ferro) na Alemanha nos anos 80. Em Portugal o fenómeno apareceu em 99



## Manifestações macroscópicas semelhantes em obra

- Fissuração em rede (*craquelê*)
- Fissuração orientada
- Movimentos, deformações
- Pequenas crateras



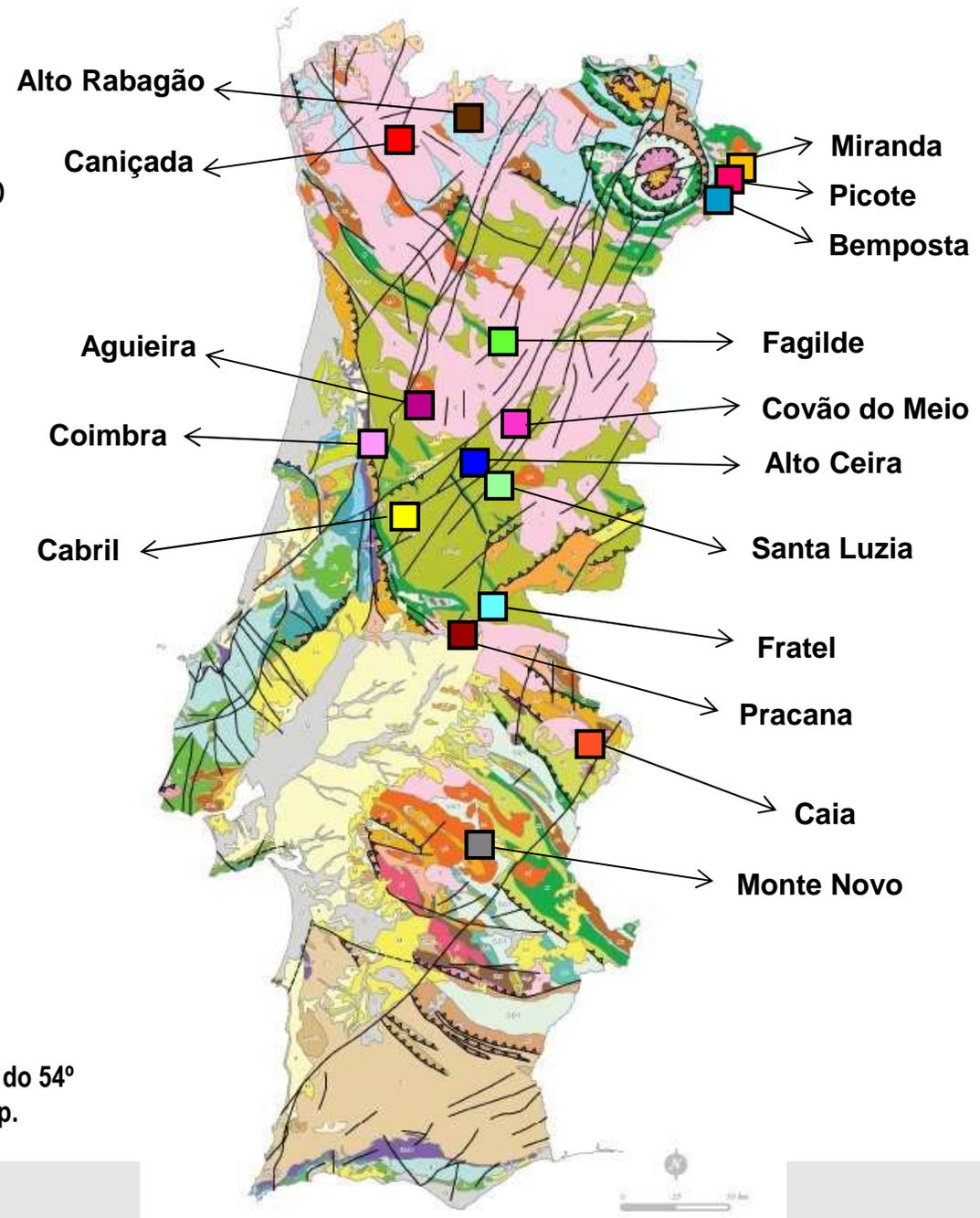
# O papel do LNEC

- Pioneiro na descoberta do fenómeno

## BARRAGENS AFETADAS (2012)

Q	Depósitos de aluviões, praias, dunas e terraços
P	Areias, arenitos e argilitos
E	Argilitos, arenitos e conglomerados
K2	Arenitos, argilitos e calcários
J1	Calcários, dolomitos e margas
c	Turbiditos (xistos e grauvaques), arenitos e conglomerados
O	Quartzitos, xistos e vulcanitos
NP-ep	Turbiditos (xistos, grauvaques e quartzitos)
g	Granitos

Fonte:  
Batista, A.L.; Gomes, J.P., 2012, Anais do 54º  
Congresso Brasileiro do Concreto, 30 p.

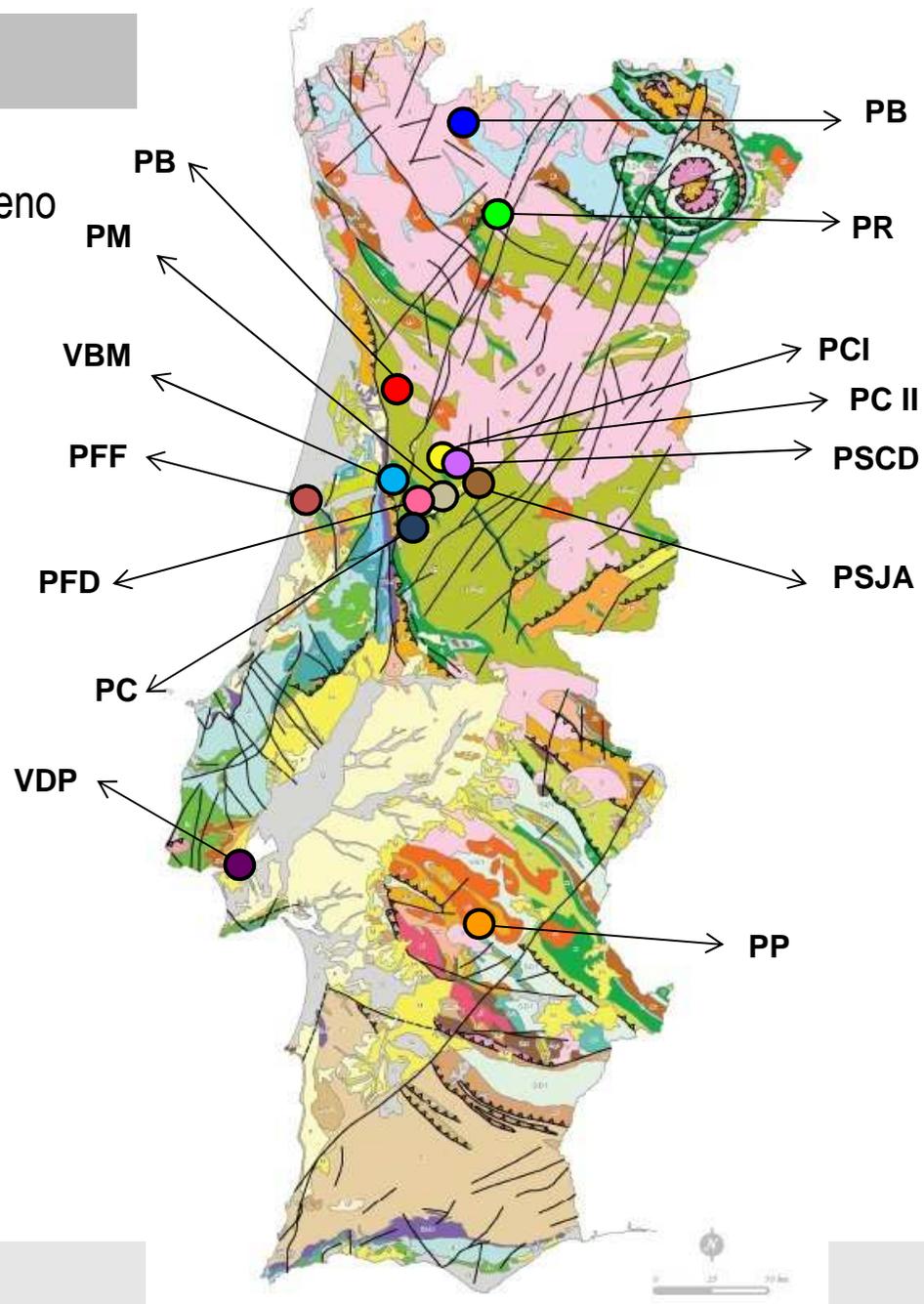


# O papel do LNEC

- Pioneiro na descoberta do fenómeno

OBRAS DE ARTE AFETADAS (2012)

Q	Depósitos de aluviões, praias, dunas e terraços
P	Areias, arenitos e argilitos
E	Argilitos, arenitos e conglomerados
K2	Arenitos, argilitos e calcários
J1	Calcários, dolomitos e margas
C	Turbiditos (xistos e grauvaques), arenitos e conglomerados
O	Quartzitos, xistos e vulcanitos
NP-ep	Turbiditos (xistos, grauvaques e quartzitos)
g	Granitos



# O papel do LNEC

-Estabelecimento de recomendações para o diagnóstico, prognóstico e inibição

**LNEC** LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

## ESPECIFICAÇÃO LNEC

Documentação normativa

### BETÕES

#### Metodologias para Prevenir Reações Expansivas Internas

**E 461 - 2007**

CI/SfB q4:f2 (A)jv

CDU 691.327:620.192.53.(083.74)

ISSN 0870-8592

NOVEMBRO DE 2007

Esta Especificação anula e substitui a Especificação LNEC E 461-2004.

**BÉTON**  
Méthodologies pour prévenir des réactions de gonflement interne

**OBJET**  
Cette Spécification LNEC identifie les roches et les minérales qui au Portugal peuvent être potentiellement réactives aux alcalins, défine des méthodologies pour évaluer la réactivité des granulats et établie les mesures pour éviter les réactions expansives alcali-silice et la formation d'ettringite différée.

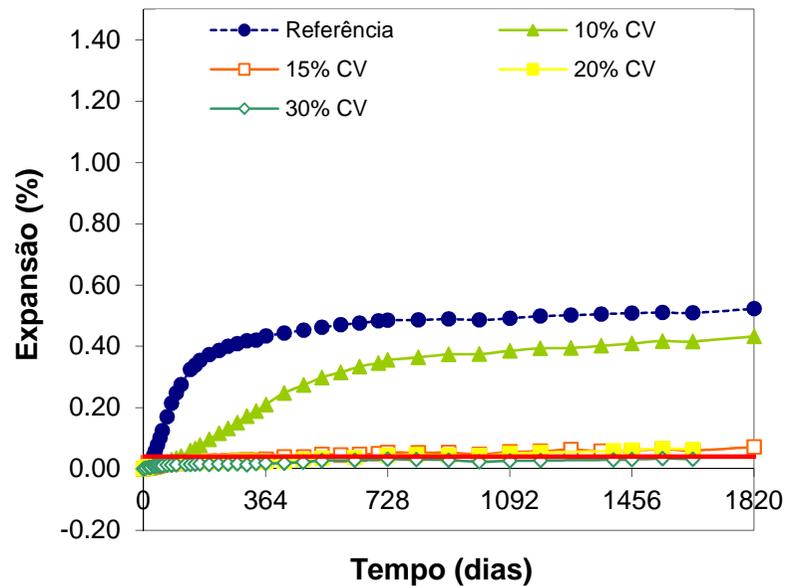
**CONCRETE**  
Methodologies for avoiding internal expansive reactions

**SCOPE**  
This LNEC Specification identifies the rocks and minerals that can be potentially reactive with the alkalis, defines the methodologies for evaluating the reactivity of the aggregates and establishes the measures in order to prevent the expansive reactions due to alkali-silica and to delay ettringite formation.

# O papel do LNEC

## Projeto EXREACT:

Inventariação de materiais nacionais com propriedades pozolânicas (CV, MK, ES, CB, LMP, ...) e os seus efeitos na inibição das reações expansivas



**WORKSHOP**  
**As reacções expansivas internas no betão**  
**Prevenção dos riscos e gestão das estruturas afectadas**

Projecto FCT EXREACT – Mitigação de reacções expansivas deletérias em estruturas de betão (PTDC/CTM/65243/2006)

Apoio: LNEC, LCPC, FCT

Encontro Nacional CONSERVAÇÃO e REABILITAÇÃO de ESTRUTURAS  
Lisboa - LNEC - 23 a 25 de Junho de 2010

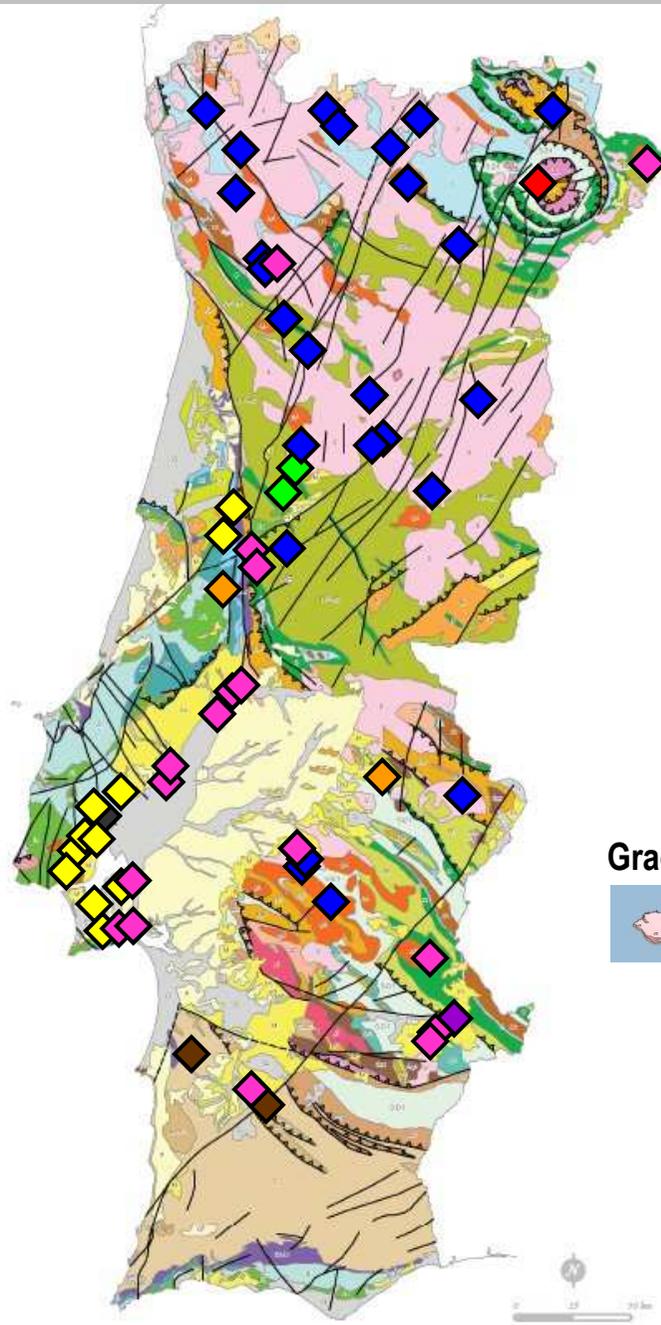
reabilitar 2010

<http://www-ext.lnec.pt/EXREACT/index.html>

# O papel do LNEC

**Projeto IMPROVE:**  
Inventariação dos principais tipos de agregados nacionais para betão e estudo sistemático da sua reatividade aos álcalis

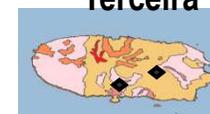
- ◆ Granito
- ◆ Diorito
- ◆ Basalto
- ◆ Ignimbrito
- ◆ Calcário
- ◆ Dolomito
- ◆ Quartzito
- ◆ Xisto
- ◆ Anfibolito
- ◆ Silicioso



Graciosa



Terceira



São Miguel



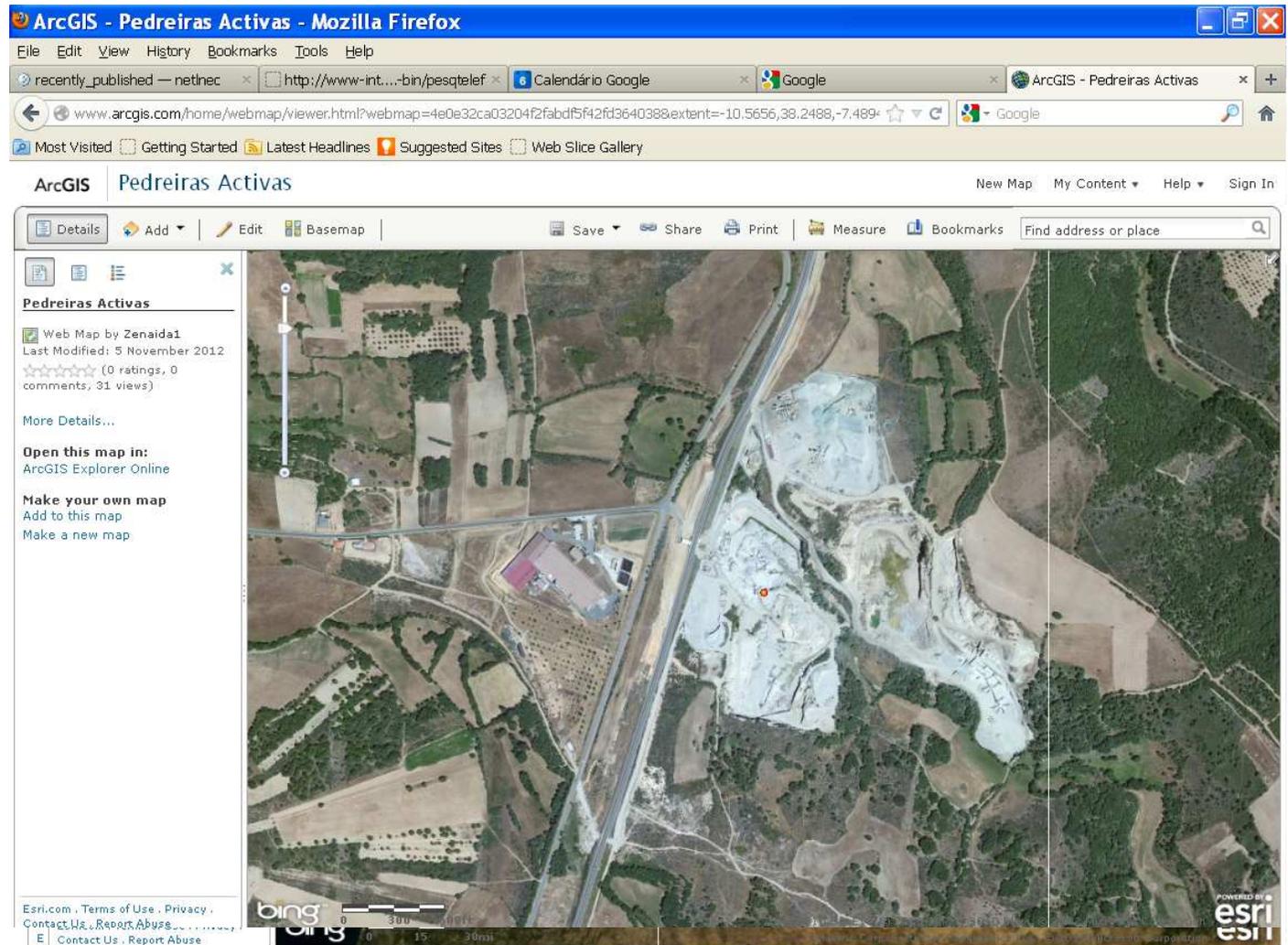
Santa Maria



# O papel do LNEC

## Projeto IMPROVE:

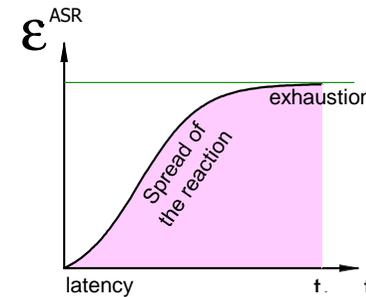
Inventariação dos principais tipos de agregados nacionais para betão e estudo sistemático da sua reatividade aos álcalis



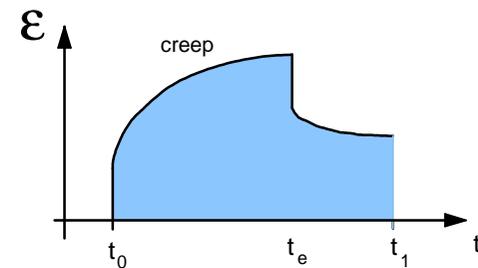
# O papel do LNEC

Modelação do processo expansivo em barragens (PhD Piteira Gomes), tem em conta os principais fatores que influenciam o desenvolvimento do processo expansivo, i.e., as propriedades do betão, as condições ambientais, as mudanças das propriedades reológicas ao longo do tempo e os danos induzidos pela expansão.

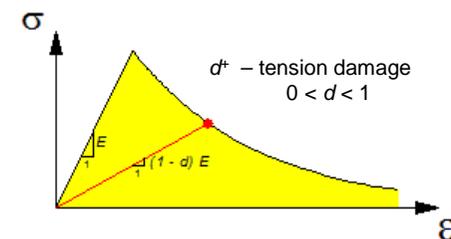
Modelação das reações expansivas para simular os efeitos macroscópicas das reações químicas, através de uma deformação histórica imposta



As mudanças ao longo do tempo nas propriedades reológicas do betão foi tida em conta por uma relação constitutiva incremental



A evolução da fissuração é calculada utilizando um modelo de dano escalar com duas variáveis de dano independentes,  $d^+$  para a tração e  $d^-$  para a compressão



# O papel do LNEC

**REUNIÃO RILEM / RILEM MEETING**  
**“AZORES.2010”**  
ALKALI-AGGREGATE REACTIONS IN CONCRETE  
STRUCTURES

**Ponta Delgada – S. Miguel**  
**11-14.MAR.2010**

**SEMINAR**

*Recent Developments in AAR, Alkali-Aggregate Reactions*

**SPONSORSHIP**

Direcção Regional da Ciência, Tecnologia e Comunicações – Governo dos Açores

Direcção Regional da Ciência,  
Tecnologia e Comunicações



**SUPPORT**

LREC – LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL DOS AÇORES  
RESEARCH PROJECT “EXREACT - MITIGAÇÃO DE REACÇÕES DELETÉRIAS EXPANSIVAS  
INTERNAS EM ESTRUTURAS DE BETÃO” - PTDC/CTM/65243/2006



# O papel do LNEC

- Apoio técnico aos novos aproveitamentos hidroeléctricos (EDP, Iberdrola, Endesa)



Ribeiradio (EDP)



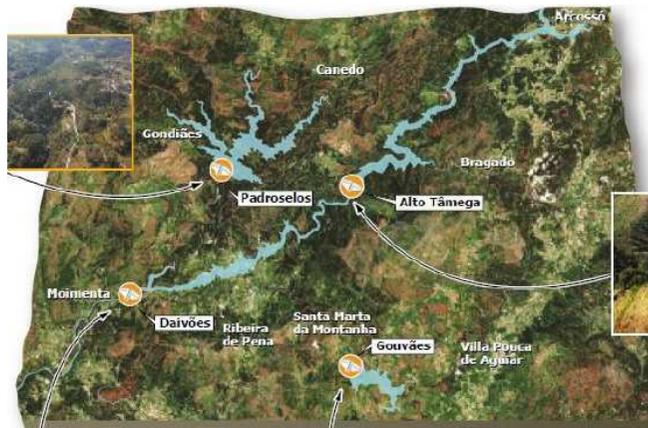
Alto Sabor (EDP)



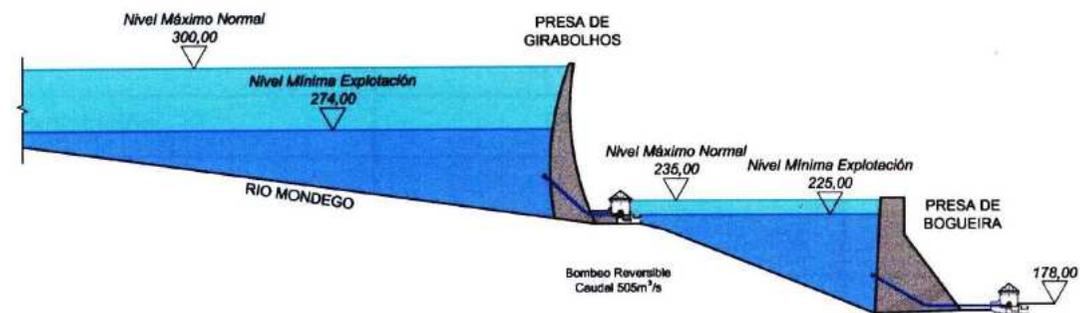
Foz Tua (EDP)



Alto Ceira (EDP)



Alto Tâmega (Iberdrola)

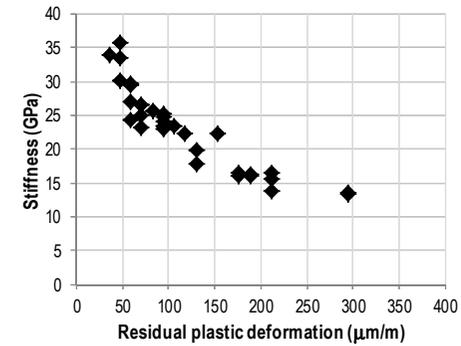
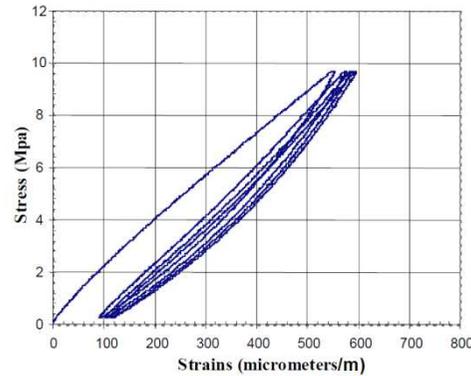


Girabolhos e Bogueira (Endesa)

# O papel do LNEC e os desafios futuros

- Otimização das metodologias

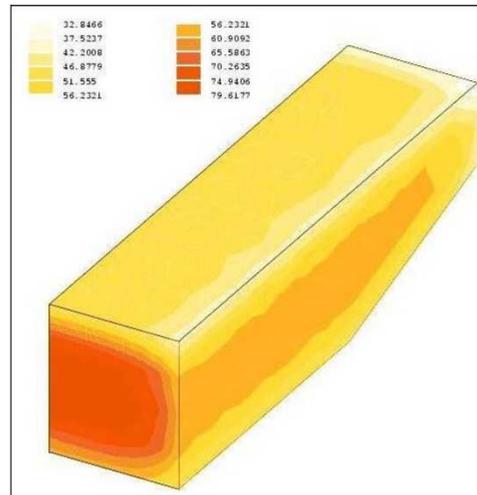
Prevenção  
Diagnóstico  
Prognóstico



- Modelação dos processos expansivos em obras de arte

- Monitorização

- Reparação



# Degradação de obras de arte por reações expansivas: Situação atual e perspectivas futuras



**Obrigado pela atenção**