



# Reacción Álcali Árido y Efectos Térmicos en Bloques de Cimentación



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

## Paulo Helene

Director PhD Engenharia  
Miembro Red PREVENIR CYTED  
Consejero permanente y Director IBRACON  
Prof. Titular de la Universidade de São Paulo USP  
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life  
Presidente de honor Asociación Latino Americana de Control de Calidad,  
Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.

Universidad Tecnológica Nacional

04 de abril de 2014

Concepción del Uruguay, Argentina

1

## AAR Reacción Álcali-Árido

- ✓ reacciones químicas entre los álcalis (sodio y potasio) del cemento e áridos con características reactivas (minerales o texturales)
- ✓ generam productos sílico-cálcico-alcalinos (geles expansivos o cristales)
- ✓ causan fisuras, merma de capacidad resistente y desplazamientos estructurales

PhD Engenharia

2

## **AAR Reacción Álcali-Árido**

1. Importancia
2. Historia
3. Mecanismo
4. Sintomatología
5. Inspección y diagnóstico
6. Terapia
7. Profilaxia

*PhD Engenharia*

3

### **IMPORTANCIA**

La mayoría de los casos más graves de RAA se comprueban las presas, pero hay registros en los puentes, cubiertas, puerto dock, traviesas de ferrocarril y cimientos de los edificios.

En el Brasil, hoy, ha catalogado :

- Presa Moxotó
- Metro del São Paulo
- Presa Joanes
- Presa Paulo Afonso
- Presa Sobradinho
- Presa de la Pedra
- Túneles de la Ecovias
- Autopista AUTOBAN
- Aumento da Barragem de Tucuruí
  - cimientos de varios edificios
    - ETAs
    - ETES

*PhD Engenharia*

4

## Presa Moxotó

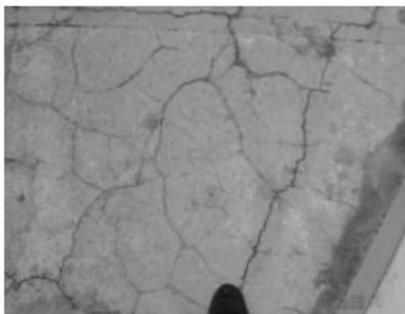


La expansión del concreto provocó el mal funcionamiento de los equipos hidromecánicos

<http://www.sbbengenharia.com.br/links/raa.php>

5

## Presa Paulo Afonso



(a) fissuras primárias no piso da tomada d'água da UHE Paulo Afonso III



(b) fissura secundárias na guia da comporta da tomada d'água da UHE Paulo Afonso I

Figura 16 - Características de fissuras devidas à RAA  
Fonte: SILVA (2007)

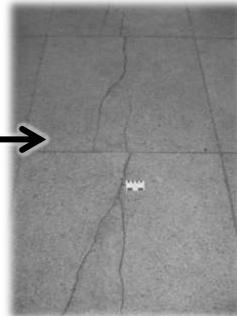
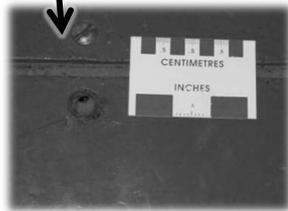
**PhD Engenharia**

6

## Presa Paulo Afonso



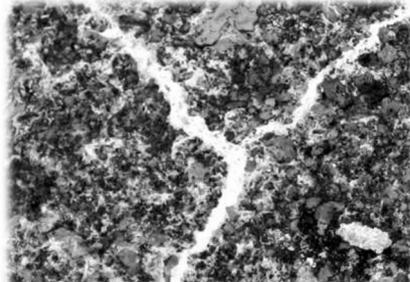
### Avisos de la estructura



<http://www.sbbengenharia.com.br/links/raa.php>

7

## Presa Jaguari - SP



SALLES, Flávio M., 2010

8

## Viaducto Robert-Bourassa - Charest, Québec, Canada



SANCHES, L.; FOURNIER, B.; KUPERMAN, S., 2010

9

## Historia

- ✓ Fue descubierto en los años 30 en California EUA. por **Thomas Stanton**. *Expansion of concrete through the reaction between cement and aggregate. Proceedings ASCE, n. 66, 1940. p. 1781-1811*
- ✓ Al mismo tiempo la USA Bureau of Reclamation identificó AAR en la Parker Dam (Colorado) e en la Stewart Mountain Dam e hay especificado  $\text{Na}_2\text{O} < 0,6\%$
- ✓ Los primeros estudios realizados en los años 60 → Presa Jupia
- ✓ 1985 primero caso Presa UHE Apolonio de Sales Oliveira (Moxotó);

PhD Engenharia

10

## Historia



Thomas Stanton, Caltrans - CA

FOURNIER, B., 2010

11

## Historia

✓ **Fue informado por el profesor Dr. Benoit Fournier, Professor, Université Laval Québec, Presidente da CSA technical group on Alkali-Aggregate Reaction, que en más de 50 países ya han sido diagnosticados estructuras afectadas por AAR.**

✓ RILEM TC 191-ARP Alkali-reactivity and prevention. Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity

*PhD Engenharia*

12



13

**Mecanismo**

**Reacción expansiva entre el álcali, proporcionado principalmente cemento y ciertos minerales presentes en ciertos agregados reactivos utilizados en la producción de concreto**

**El resultado de esta reacción es la formación de un gel que absorbe agua y se expande, que conduce a esfuerzos de tracción mayor que la capacidad del concreto;**

*PhD Engenharia*

14

# Reacciones

**reacción álcali-silicato**

**reacción álcali-silica**

**reacción álcali-carbonato**

*PhD Engenharia*

15

<b>reacción</b>	<b>áridos reactivos</b>
<b>álcali-silicato</b>	<b>rocas milonitizadas quartzo tensionado</b>
<b>álcali-silica</b>	<b>opala calcedônia cristobalita tridimita vidrios volcánicos</b>
<b>álcali-carbonato</b>	<b>calcários dolomíticos calcários argilosos</b>

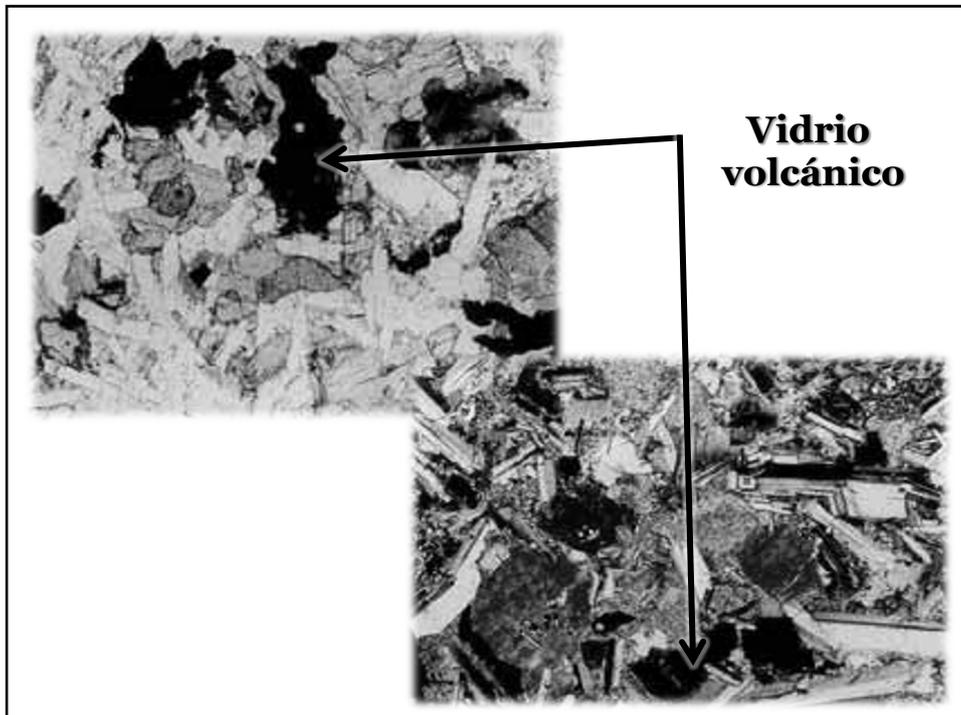
*PhD Engenharia*

16

# Áridos Reactivos

*PhD Engenharia*

17



18

## **Investigación**

### *mapeo de los áridos reactivos en la Provincia de São Paulo, Brasil*

*Valduga & Paulon, 2004*

*PhD Engenharia*

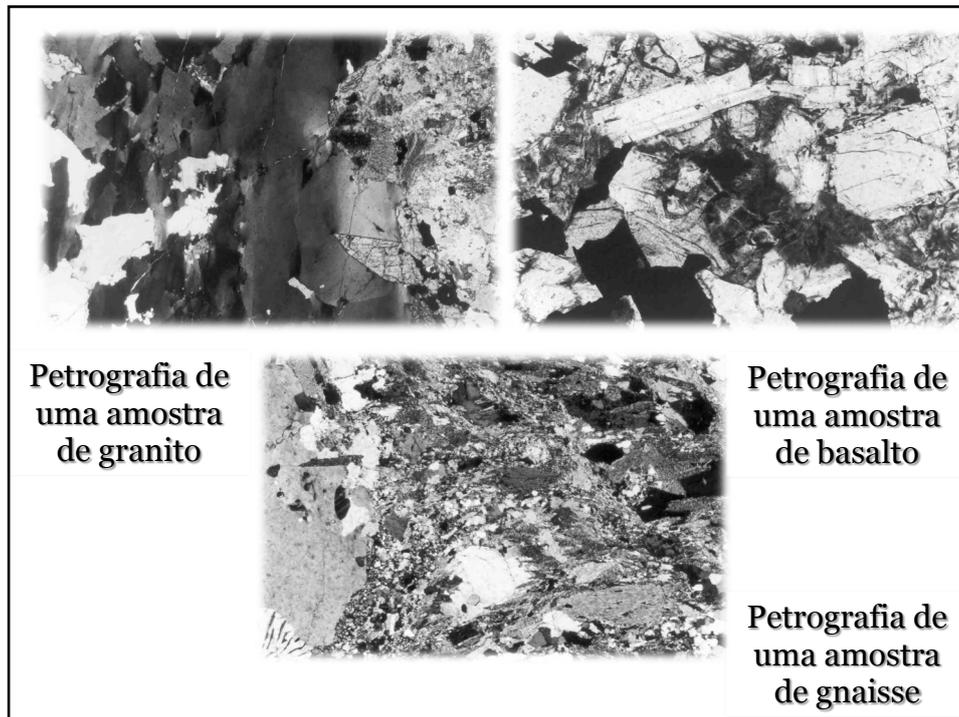
19

### ***Fueron empleados en este estudio:***

- + análise petrográfica ASTM C 295;***
- + análise método químico ASTM C289;***
- + mortero + árido ASTM C 1260;***
- + microscopia eletrônica de varredura***

*PhD Engenharia*

20



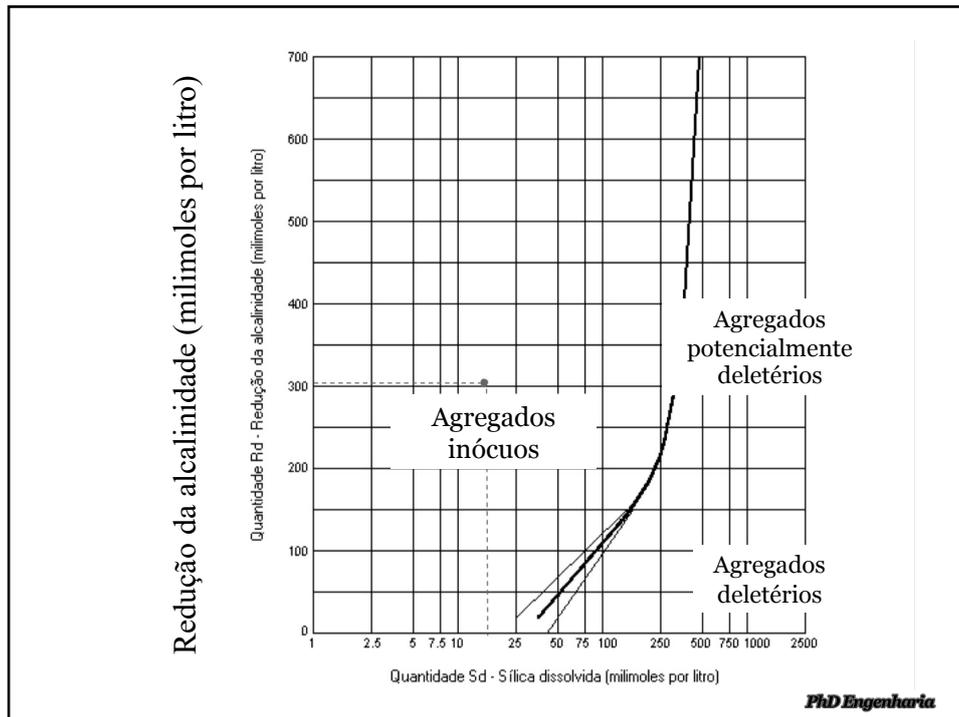
21

***Método químico:***

*Depende de la región en el gráfico donde se encuentran las muestras del agregado que se considera potencialmente reactivo o no.*

**PhD Engenharia**

22



23

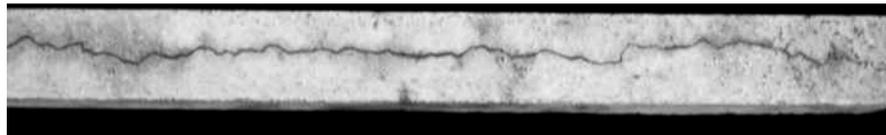
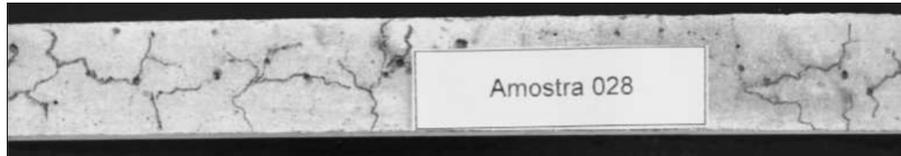
### **Método acelerado:**

- ✦ *Los límites de expansión (0,1 y 0,2%) se analizaron en 16 y 28 días de edad;*
- ✦ *Las muestras que mostraban expansión eran bastante fisurada.*

PhD Engenharia

24

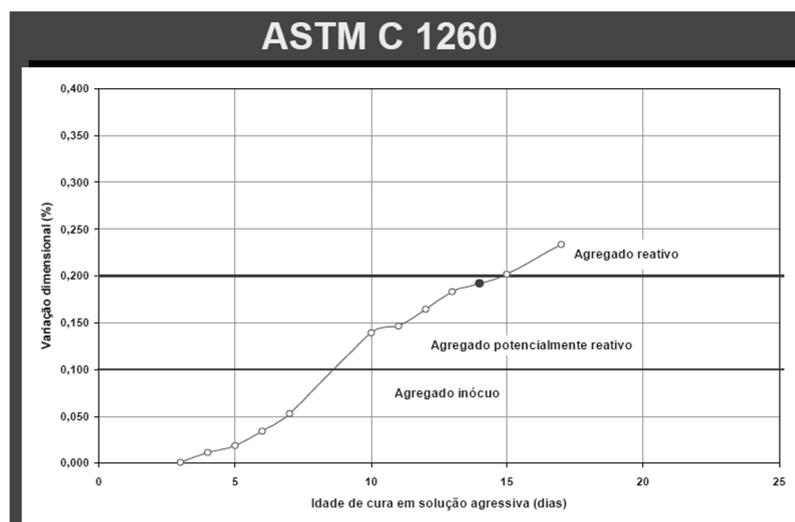
## ***Barras de mortero que mostram agrietamento***



**PhD Engenharia**

25

## ***Método acelerado mortero + árido ASTM C 1260***



*Battagin; Kihara*

26

**Microscopia eletrônica de varredura:**

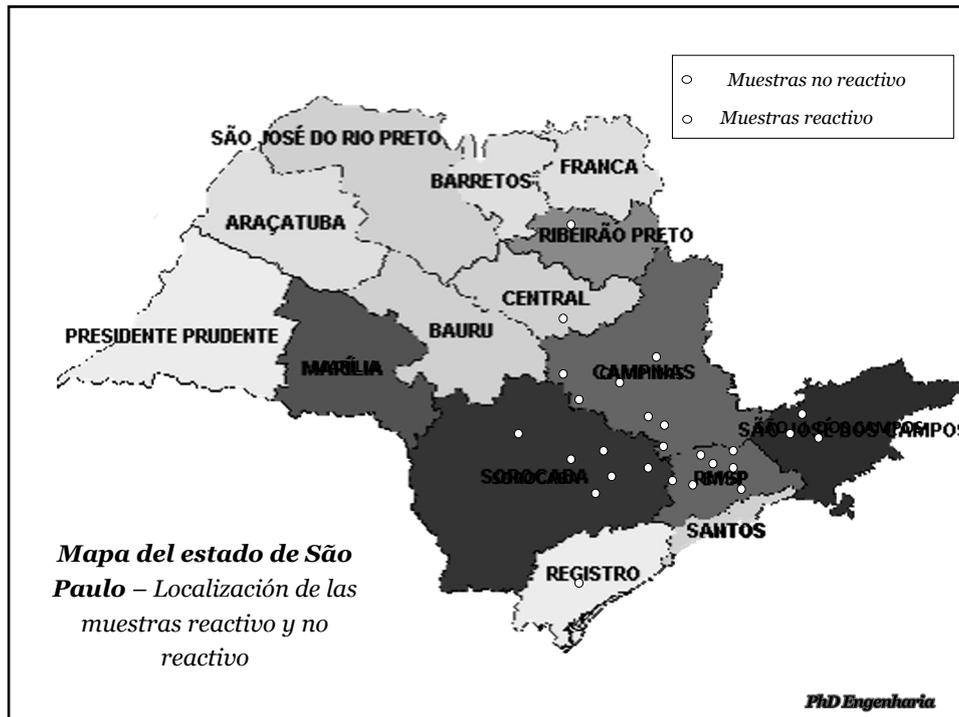
**busca de gel de reação**

**PhD Engenharia**

27



28



29

**Investigación :**

La reactividad de los áridos  
en la región Metropolitana  
de Recife

*Andrade; Silva; Hasparyk & Silva, 2008*

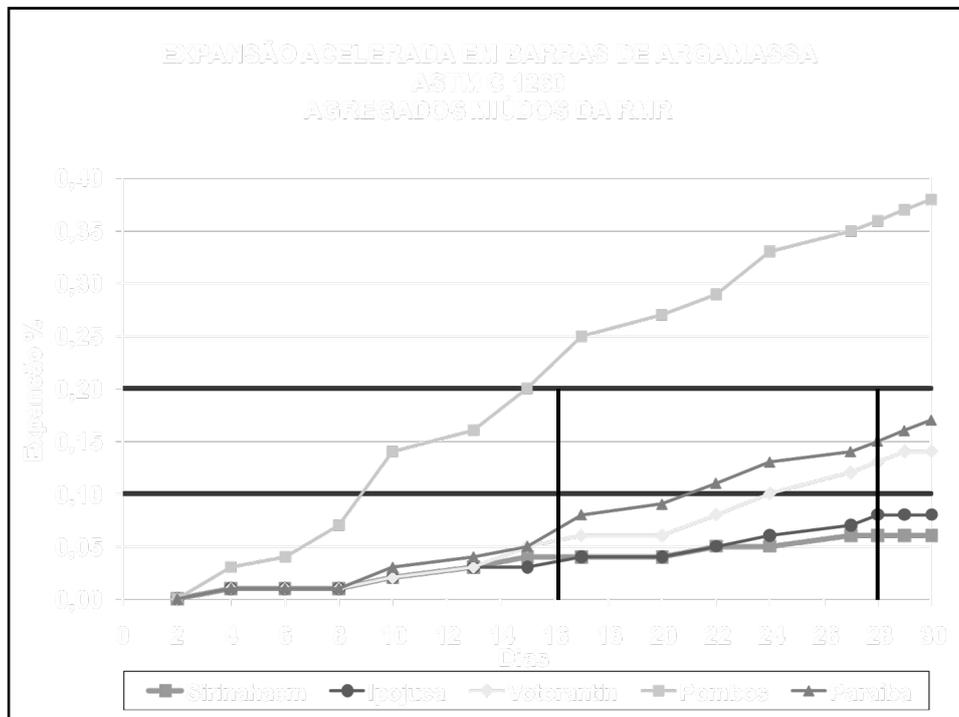
*PhD Engenharia*

30

# áridos finos

PhD Engenharia

31



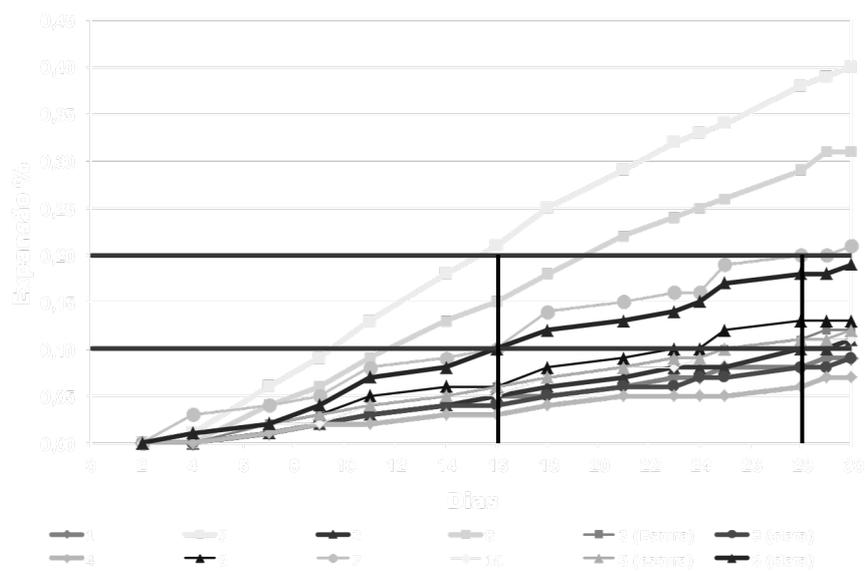
32

# áridos gruesos

PhD Engenharia

33

## áridos gruesos de la RMR barras de mortero ASTM C 1260

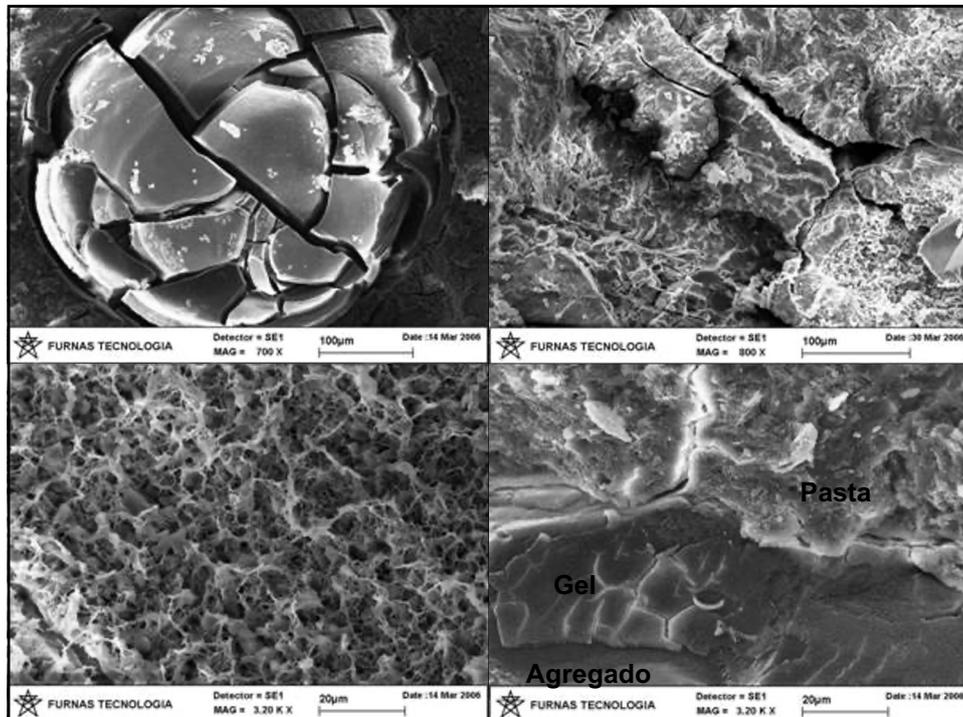


34

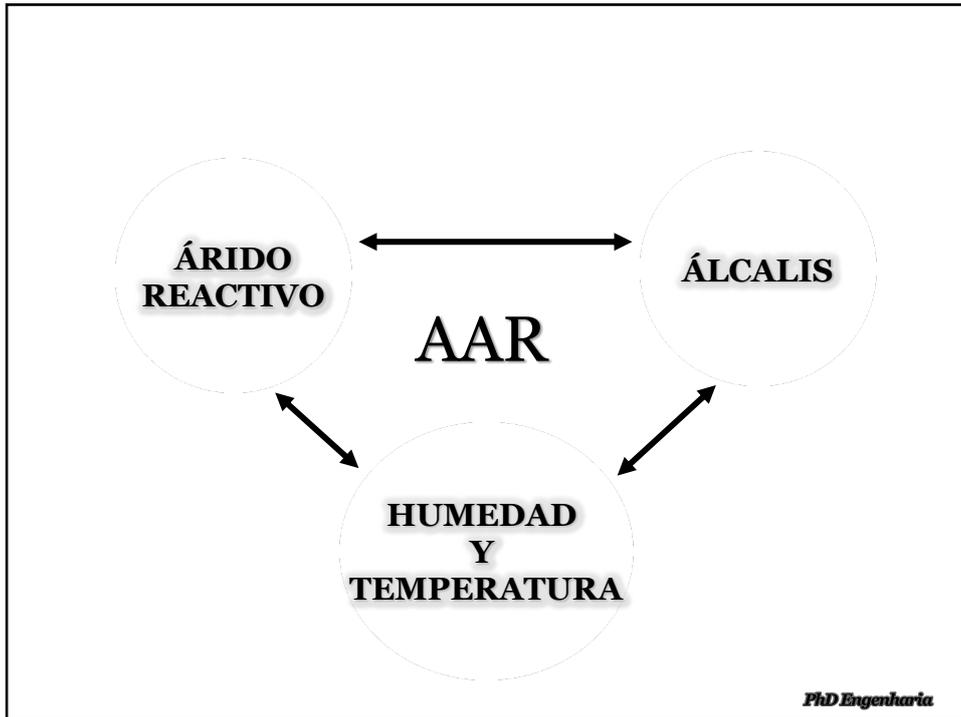
# Análisis microestructural de las barras de mortero

PhD Engenharia

35



36



37

# Álcalis

PhD Engenharia

38

• Íons  $\text{Na}^+$  (sódio) e  $\text{K}^+$  Potássio

•  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente no cimento anhidro  
no debe exceder a 0,6%

$$\text{Na}_2\text{O eq} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O}$$

• Máximo de álcalis por  $\text{m}^3$  de concreto

$$< 3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Álcalis totales (cimento mexicano)} = 0,5\%$$

*PhD Engenharia*

39

Humedad y Temperatura  
 $\text{H}_2\text{O}$

*PhD Engenharia*

40

**concreto en contacto directo con  
el suelo y / o agua**

**concreto en condiciones de  
ambiente de humedad relativa >  
90% para períodos de tiempo  
prolongados**

**concreto sometido a ciclos de  
humedecimiento y secado**

*PhD Engenharia*

41

*Sintomatología*

*PhD Engenharia*

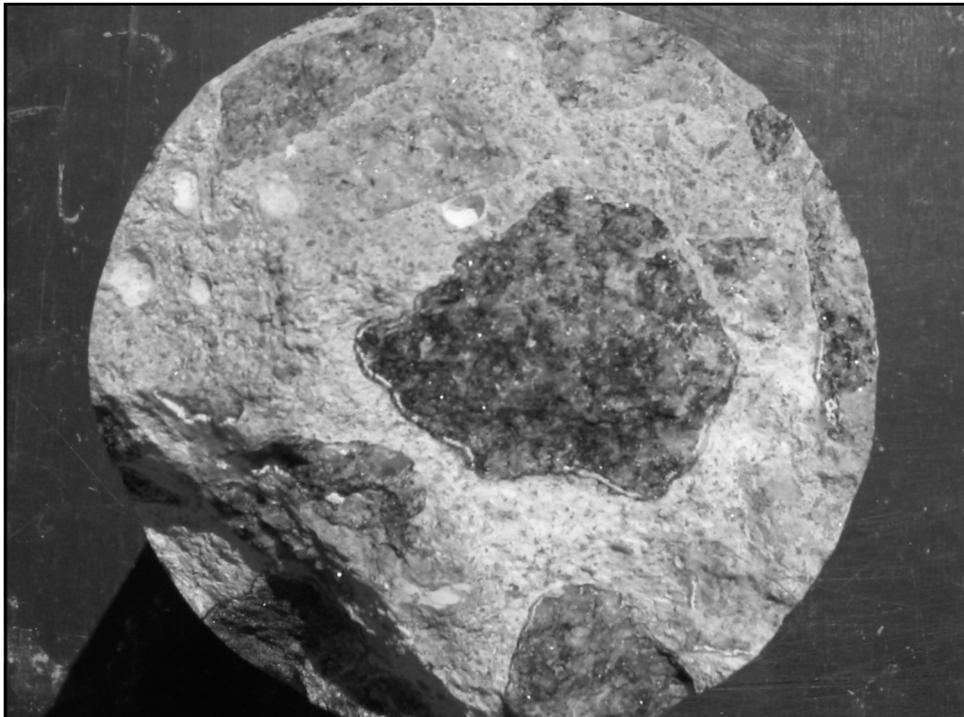
42

## Internamente

- reacción bordes en el límite de grano
- macroporos con relleno de gel
- grietas en la interfaz pasta-árido
- grietas en los áridos

*PhD Engenharia*

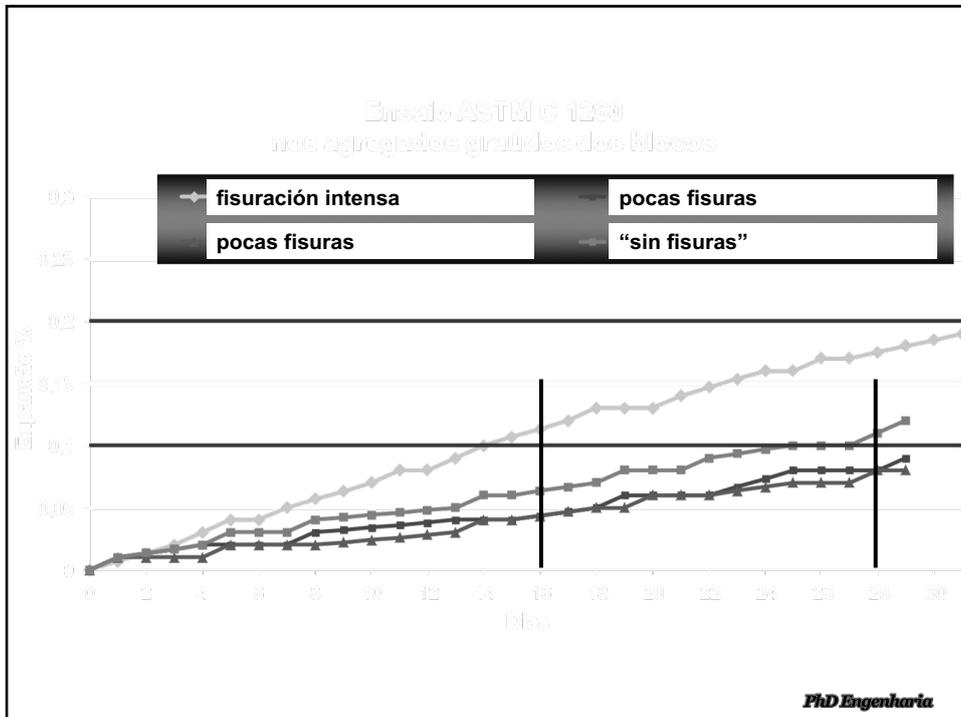
43



44



45



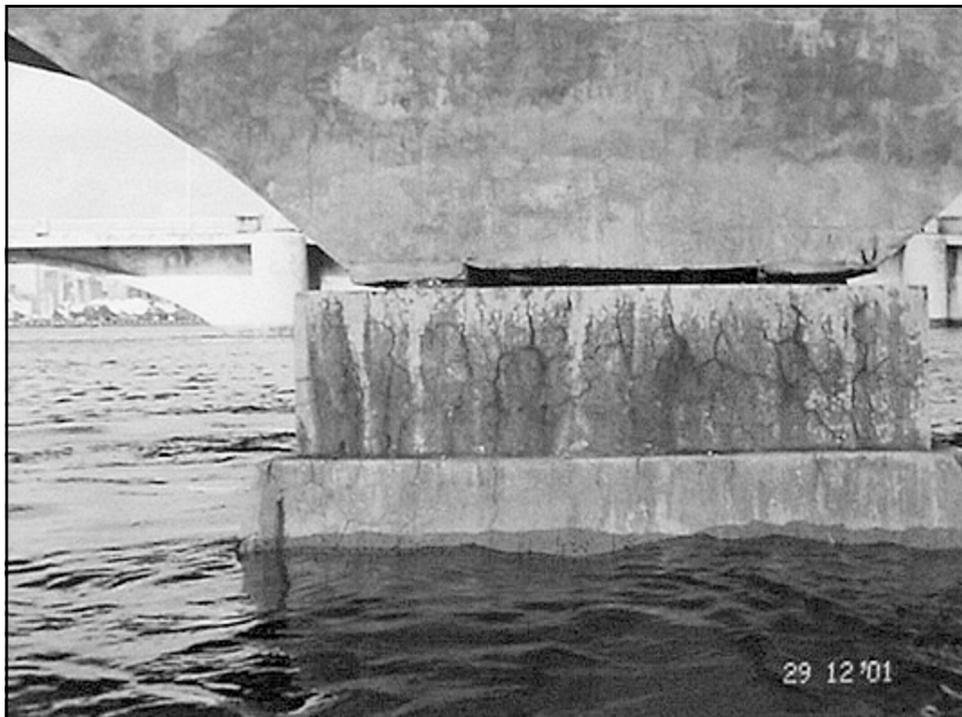
46

## Externamente

- fissuras mapeadas
- eflorescências nas fissuras
- fissuras de grandes aberturas dependente das restrições

*PhD Engenharia*

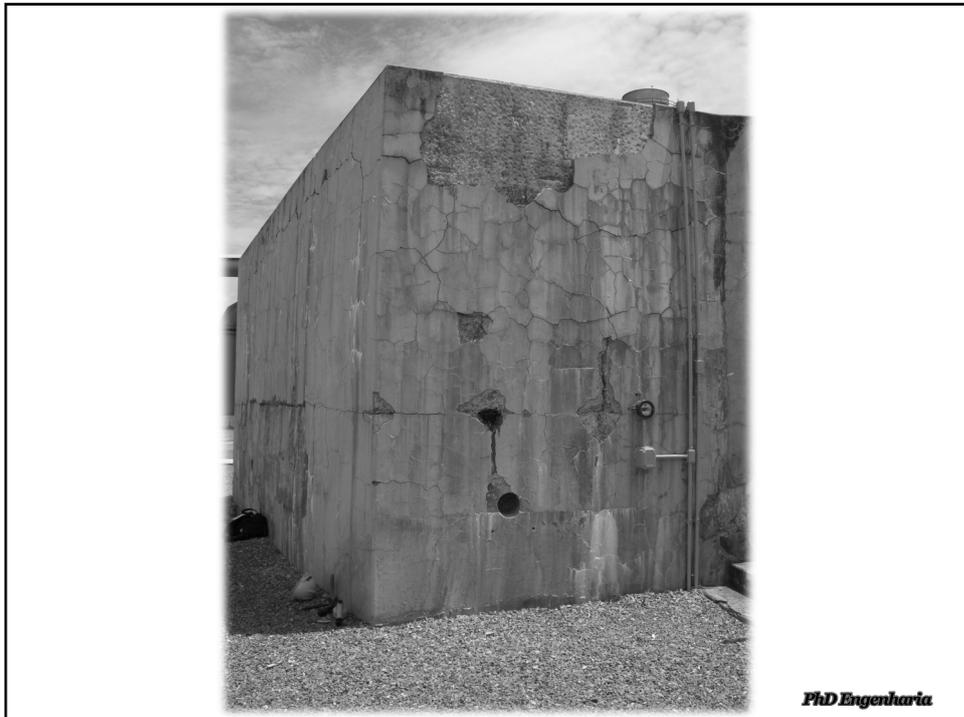
47



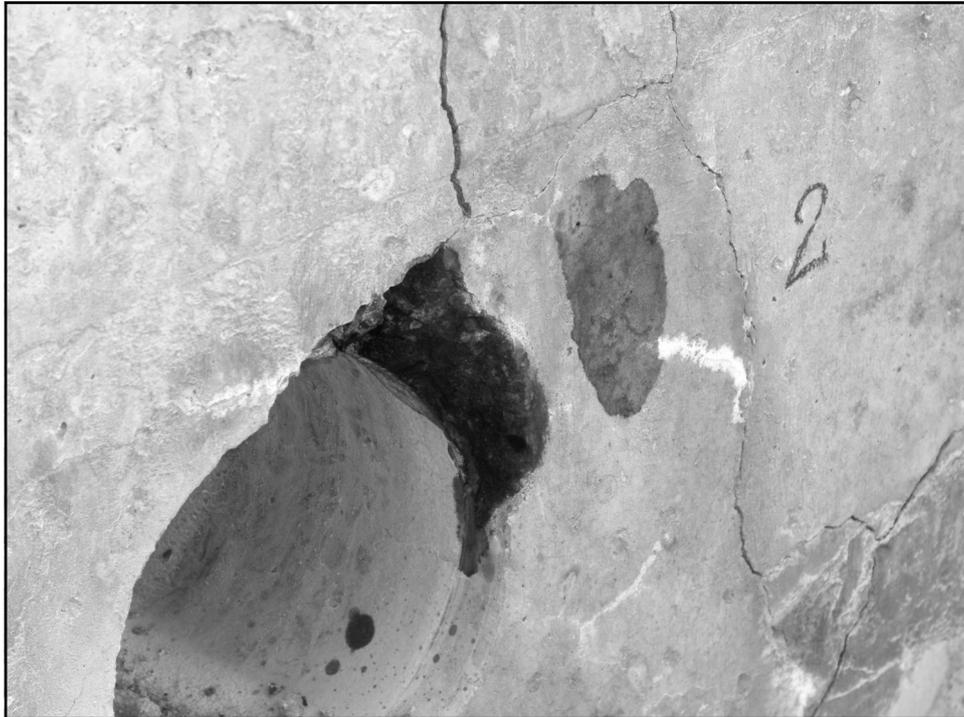
48



49



50



51



52



53

## *Inspección y Diagnóstico*

**PhD Engenharia**

54

## Métodos de Ensayo

ASTM C 856 → Petrographic examination of hardened concrete by microscopic examination. Short duration Specimens can be examined with stereomicroscopes, polarizing microscopes, metallographic microscopes, and scanning electron microscope

ASTM C 856 → Annex → uranyl- acetate treatment procedure to identify products of ASR in hardened concrete

*Los Alamos* staining method to identify products of ASR in hardened concrete. Staining of a freshly-exposed concrete surface with two different reagents. Immediate results

*PhD Engenharia*

55

## Métodos de Ensayo

- Observación visual
- Extracción testemunhos
- Módulo de elasticidad
- Análise petrográfica
- Análisis petrográfica
- Ensayo de barras de mortero
- Ensayo de prisma de concreto

*PhD Engenharia*

56

# **Bloques de cimentación de edificio afectados por RAA estudio de caso**

*Sobrinho, Carlos W. de A., 2012*

*PhD Engenharia*

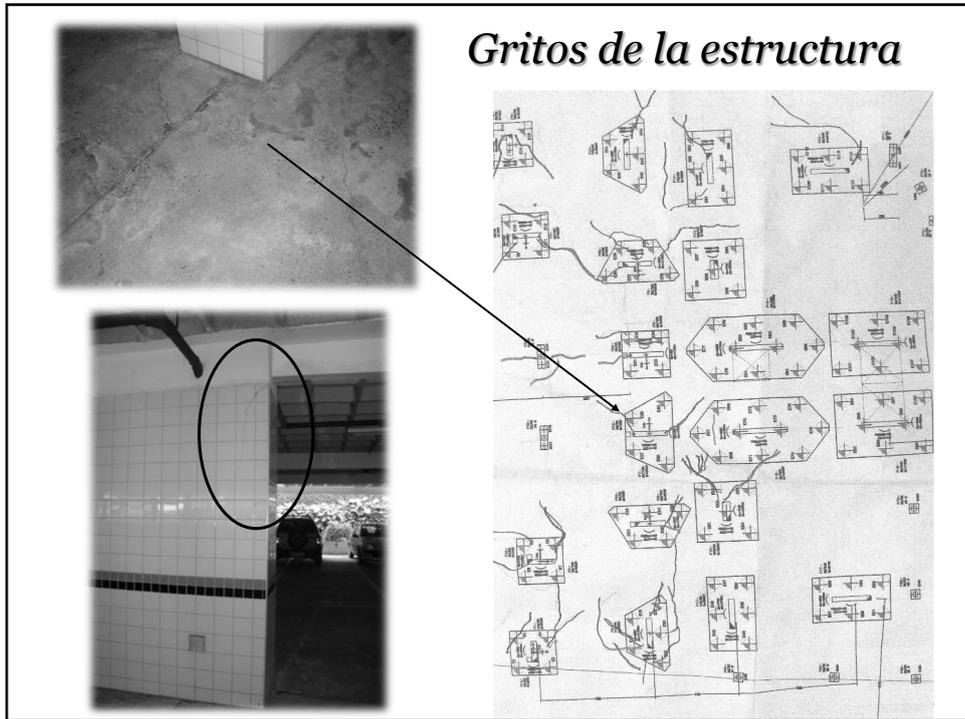
57

## *Edificio Habitacional*

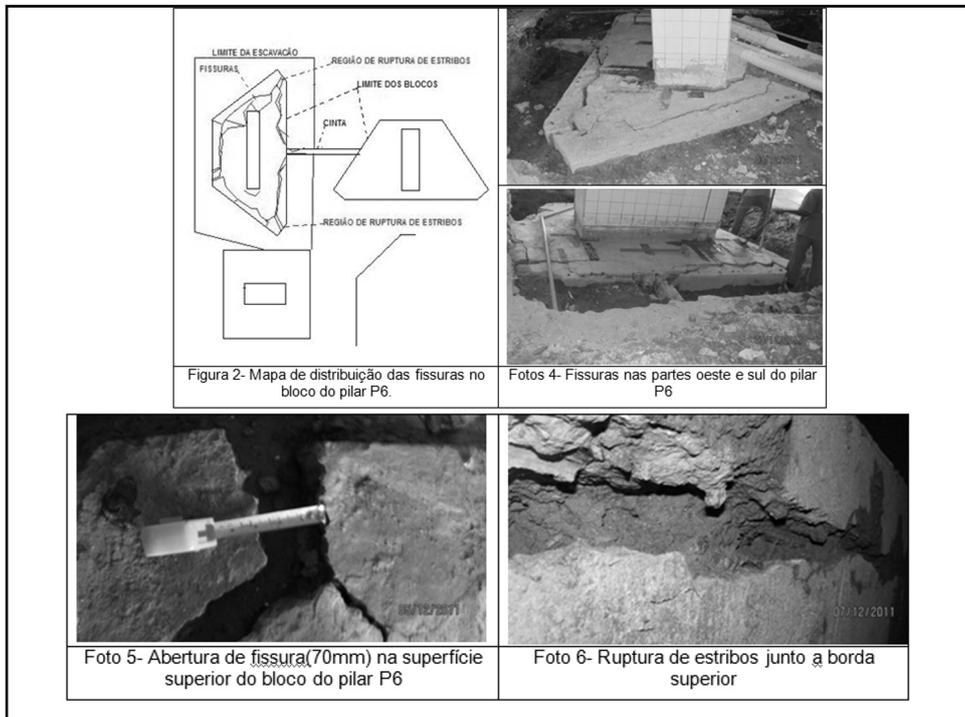
- 27 pisos
- 16 años
- bloques sobre estacas
- Grietas en las bases dos pilares e grietas inclinadas em las paredes

*PhD Engenharia*

58



59



60

## Análisis Petrográfica

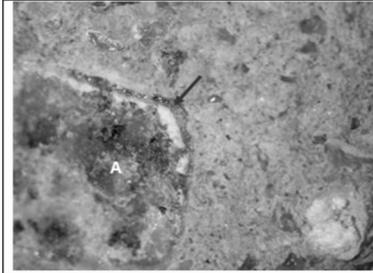


Foto12- Borda de reação entorno do agregado gráudo (A) (ampliação ~10X)

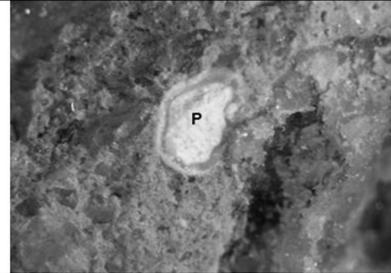


Foto 13- Poro (P) da argamassa preenchido com esbranquiçado e bordas material gelatinoso (~20x)

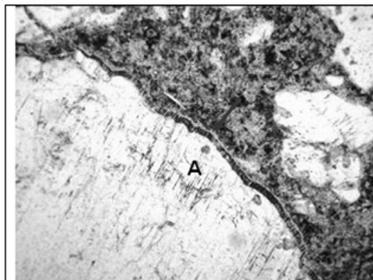


Foto 14- Seta indica presença de gel da reação na bordas do agregado gráudo(A)

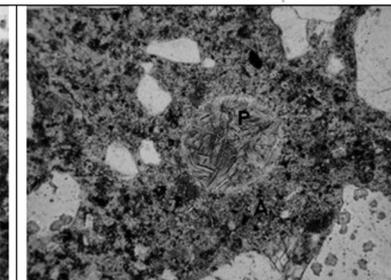


Foto 15- Poro da argamassa preenchido com cristais aciculares de etringita(P)

61

# Diagnóstico de reacción álcali-agregado en bloques de cimentación

*Andrade; Silva; Patrocínio; Almeida; Kihara & Pecchio, 2007*

**PhD Engenharia**

62

## ***el problema***

- se observaron grietas en uno de los bloques de cimentación
- después de la constatación, otros bloques fueron excavados, que mostró manifestaciones patológicas similares

*PhD Engenharia*

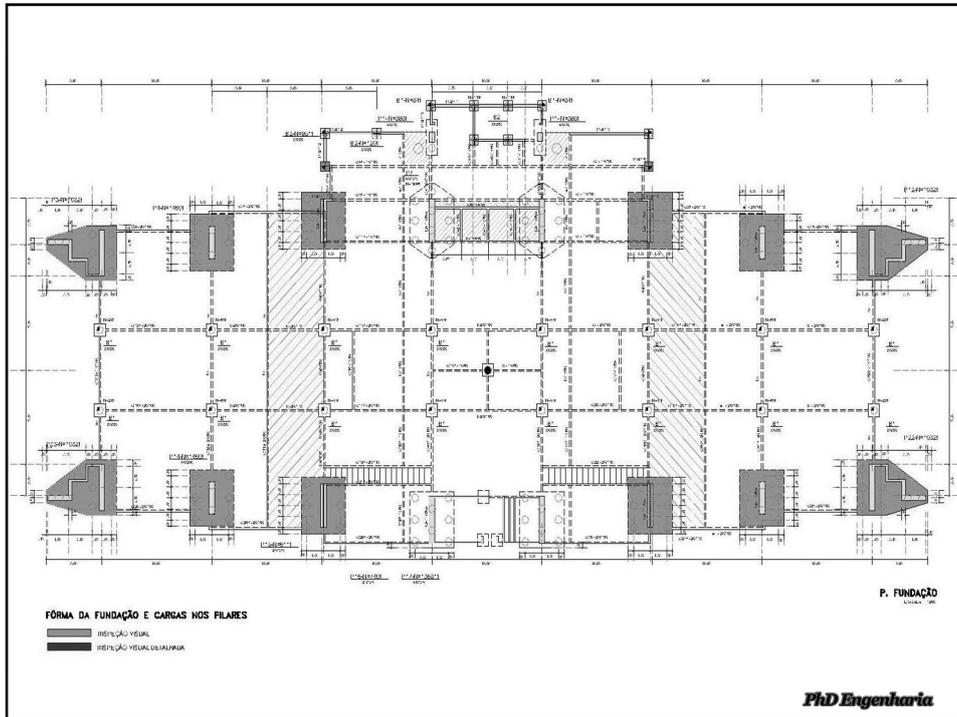
63

## ***Edificio Habitacional***

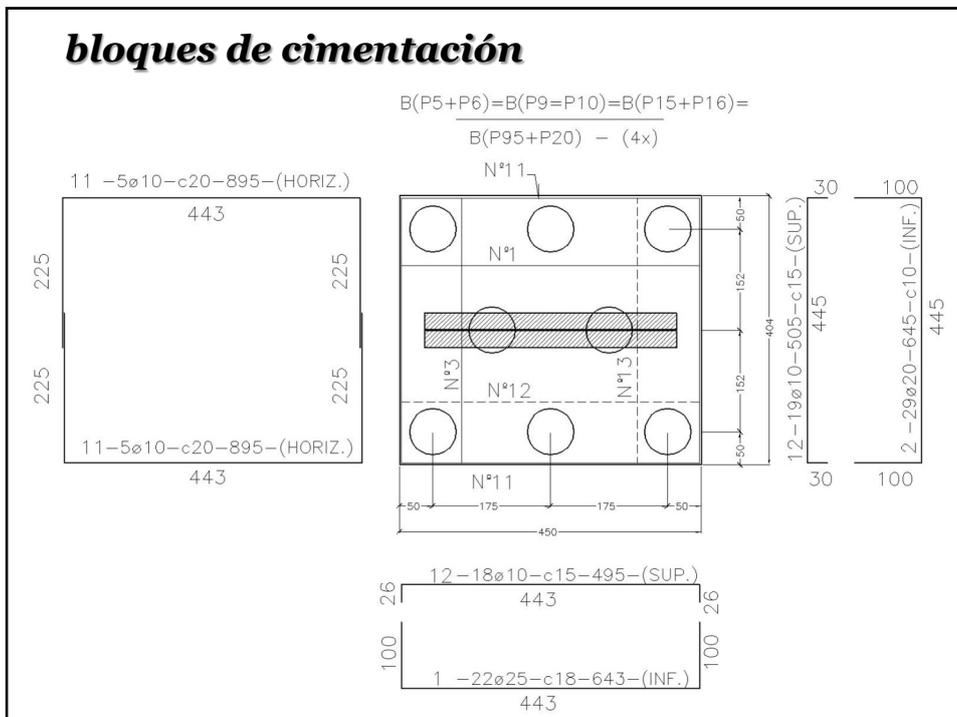
- 13 pisos
- 12 años
- estacas pré-fabricadas centrifugadas;
- cargas elevadas em los bloques de cimentación;
- $f_{ck} = 18$  MPa;
- alta umidad del suelo en el momento de la inspección.

*PhD Engenharia*

64



65



66



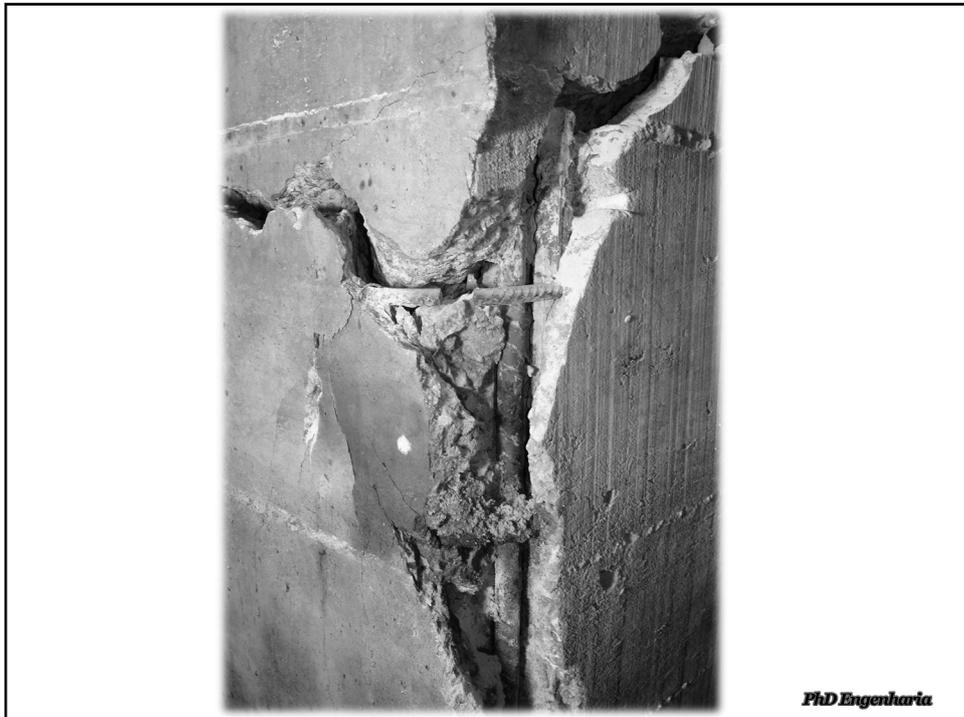
67



68



69



*PhD Engenharia*

70



71

## ***Ensayos***

- Extracción de testemunhos
  - Evaluación de la profundidad, y la dirección de las fisuras y grietas dentro de los bloques;
  - Análisis petrográfica del concreto;
  - Resistencia a la compresión;
  - Resistencia a la tracción en diametra compresión;
  - Modulo de elasticidad;
- Ensayo acelerado de las barras de mortero do agregado grueso extraído dos testemunhos;
- Porcentaje de contenido de álcali soluble en concreto

**PhD Engenharia**

72

## ***Ensayo petrográfico***

- **Agregado grueso**
  - Tipo de Roca: Metamórfica
  - Class. petrográfica: Milonito
  - Textura: Milonítica
  
- **Minerales reactivos:**  
Quartzo deformado com extinción ondulante, quartzo recristalizado y quartzo fino.
  
- **Reatividad Potencial:** reactivo

*PhD Engenharia*

73



**fotomicrografia del agregado, donde se puede ver la fina textura de los granos**

*PhD Engenharia*

74

## **Concreto**

- Resistencia a la compresión

<b>dados</b>	<b>bloque 22</b>	<b>bloque 12</b>
<b>n° de testemunhos</b>	<b>13</b>	<b>08</b>
<b>res. média (MPa)</b>	<b>25,0</b>	<b>23,8</b>
<b>desvio padrão (MPa)</b>	<b>4,0</b>	<b>4,8</b>
<b>res. média estimada aos 28 dias</b>	<b>19,4</b>	<b>18,9</b>

*PhD Engenharia*

75

## **Concreto**

- res. a la tracción en compresión diametral

<b>Test.</b>	<b>res. a la tracción en compresión diametral (MPa)</b>	<b>res. a la tracción en compresión diametral estimada (MPa)</b>	<b>%</b>
<b>F3-A</b>	<b>1,8</b>	<b>2,9</b>	<b>62</b>
<b>F6-A</b>	<b>2,1</b>	<b>2,9</b>	<b>72</b>
<b>F3-B</b>	<b>1,8</b>	<b>2,8</b>	<b>64</b>

*PhD Engenharia*

76

# Concreto

## ▪ módulo de elasticidade

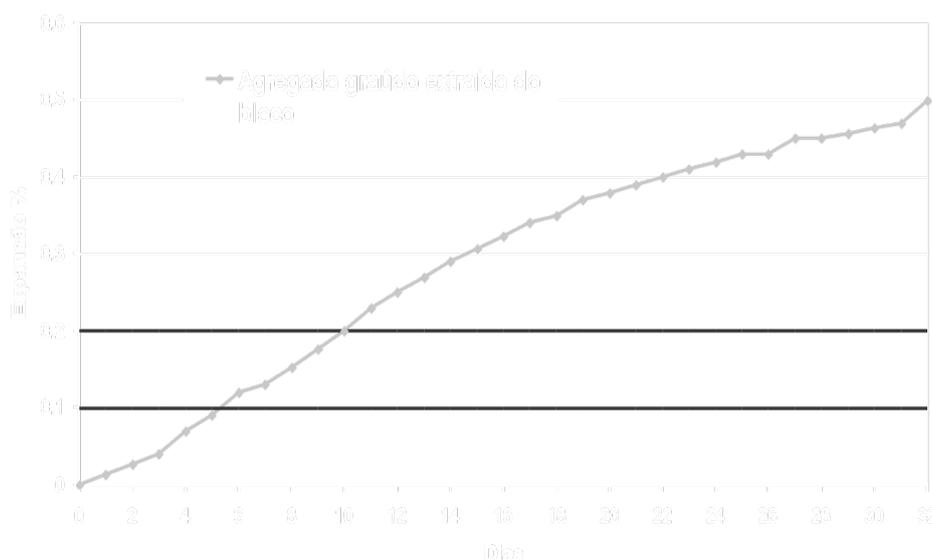
BLOQUE	$f_{ck}$ (MPa)	Resistencia a la compresión média (MPa)	Módulo tangente medio (GPa)
BP 12	18,0	23,7	12,8
BP 22	18,0	26,8	14,5

O valor obtido é cerca de 57% do estimado  
pela NBR 6118/07

PhD Engenharia

77

# Mortero ASTM C 1260



PhD Engenharia

78

# ***Terapia***

*PhD Engenharia*

79

## **Terapia**

1. Reducir el acceso al agua;
2. La inyección de sales de litio;
3. Zunchar;
4. Abrir juntas

*PhD Engenharia*

80



81



82



83

# **Ponte** **Paulo Guerra** **Recife, Brasil**

*PhD Engenharia*

84



85



86



87

## **Puente Paulo Guerra**

**Recife PE → 2002**

**Terminado en 1980 → hace 22 años**

**Bloques de cimentación →  $f_{ck} = 15$  MPa**

**cubierta de estructura de concreto**

**armado →  $f_{ck} = 22$  MPa**

**sobre el río, cerca del mar, pero no hay**

**“splash zone”**

88

## **Puente Paulo Guerra**

### **Diagnóstico:**

#### **análisis del agua**

**pH = 7,5      Cl<sup>-</sup> = 14.000 mg/L**

**Mg<sup>++</sup> = 900 mg/L    SO<sub>4</sub><sup>++</sup> = 1.900 mg/L**

**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> en concreto = 0,35% a 0,62%**

**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> max concreto = 0,59% p/ 3% gipso**

89

## **Puente Paulo Guerra**

### **Diagnóstico:**

**→recubrimiento de concreto  $\mu = 16\text{mm}$   $\sigma = 2,5\text{mm}$**

**→carbonatación < 12mm**

**→E<sub>corr</sub> 10mV a - 450 mV**

**→i<sub>corr</sub> 0,07 a 0,31  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$**

**→ ultra sonido 1600 a 3800 m/s**

90

## **Puente Paulo Guerra**

### **Diagnóstico:**

**→resistencia del concreto (testemunhos)**

$$f_{cm} = 28\text{MPa}$$

**→módulo de elasticidad 5GPa a 30GPa**

**→análisis de petrografía**

**“alkali-aggregate evidence, no ettringite  
secondary evidence”**

91



92



93



94



95



96



97

## **Puente Paulo Guerra**

### **Solución:**

- **por la corrosión → clásico “corte y relleno”**
- **para la fundación reforzada bloques de concreto con las reacciones álcali-agregado en el nivel avanzado**
- **“Nuevas fundaciones, nuevos bloques, sólo mantienen la cubierta”**

*PhD Engenharia*

98

## **Ponte Paulo Guerra**

alternativas

- demoler
- construir outra
- sales de Lítio
- zunchar

*PhD Engenharia*

99

## **Ponte Paulo Guerra**

“sólo confinar  
los bloques con?  
esfuerzo de compresión”

> 4 MPa ?  
**Pretensado química\***

\*HELENE, P.; PEREIRA, F. & CASTRO-BORGES, P. Tests for Alkali-Aggregate Reaction. A case study of a Brazilian Bridge. Concrete International, ACI, v.27, n. 7, p.41-4, July 2005.

\*FIGUEIRÔA, J. do P.; ANDRADE, T. O Ataque da Reação Álcali-agregado sobre as Estruturas de Concreto. UFPE, 2007, p. 52 e 107.

100

# *Profilaxia*

*PhD Engenharia*

101

## **¿Cómo prevenir?**

1. Controlando álcalis no cimento;

$\text{Na}_2\text{O}$  equivalente < 0,6%

Total álcalis < 3kg/m<sup>3</sup>

2. Controlando reatividade nos agregados

Método químico ASTM C 289 (24h)

Visual análisis ASTM C 294 (24h)

Análise petrográfica ASTM C 295 (24h)

*PhD Engenharia*

102

## **¿Cómo prevenir?**

### 3. Control de la reactividad en concreto

Método de barras adição mineral ASTM C 441 (6 meses)

Método das barras de argamassa ASTM C 227 (6 meses)

Método carbonato → ASTM C 586

Método alcali carbonato → ASTM C 1105

Método acelerado das barras ASTM C 1260 (16d e 28d)

Método dos prismas de concreto ASTM C 1293 (1ano)

*PhD Engenharia*

103

## **¿Cómo prevenir?**

### 4. Uso de adiciones

Método de barras adição mineral ASTM C 441 (6 meses)

Eficácia de adições ASTM C 1567  
microsílica, metacaulim, fly-ash, escória

### 5. Impermeabilización

silicone, epoxy, poliuretano, cimento+latex, betume, drenar, etc.

*PhD Engenharia*

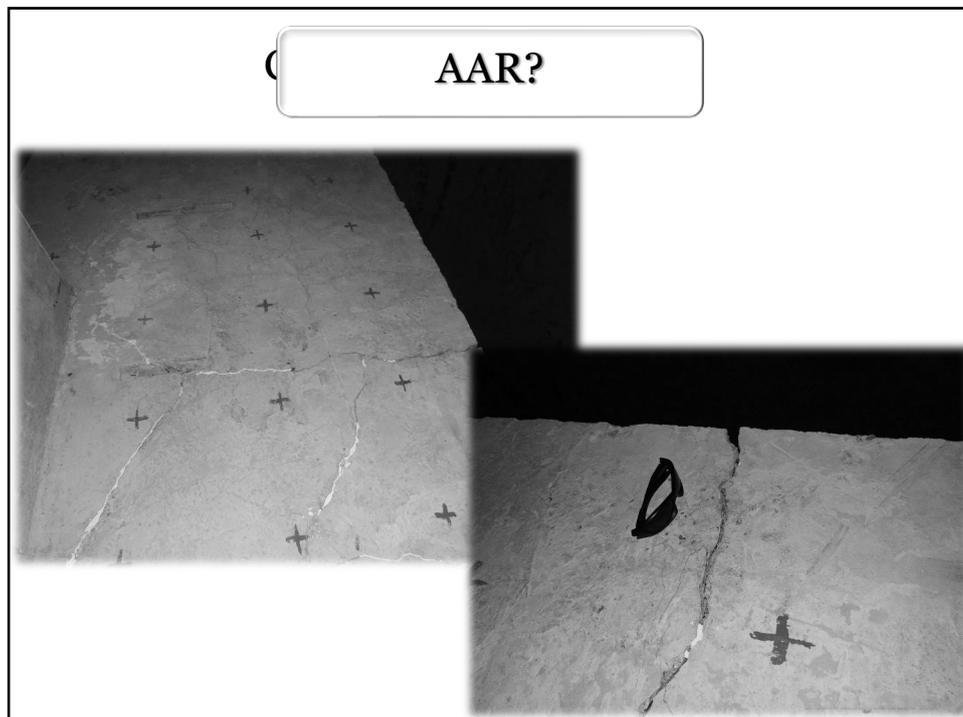
104

## *Edificio Comercial*

- 24 pisos
- Edad: 1 año
- estacas tipo raiz
- altas cargas en los bloques de cimentación;
- $f_{ck} = 35$  MPa.

*PhD Engenharia*

105



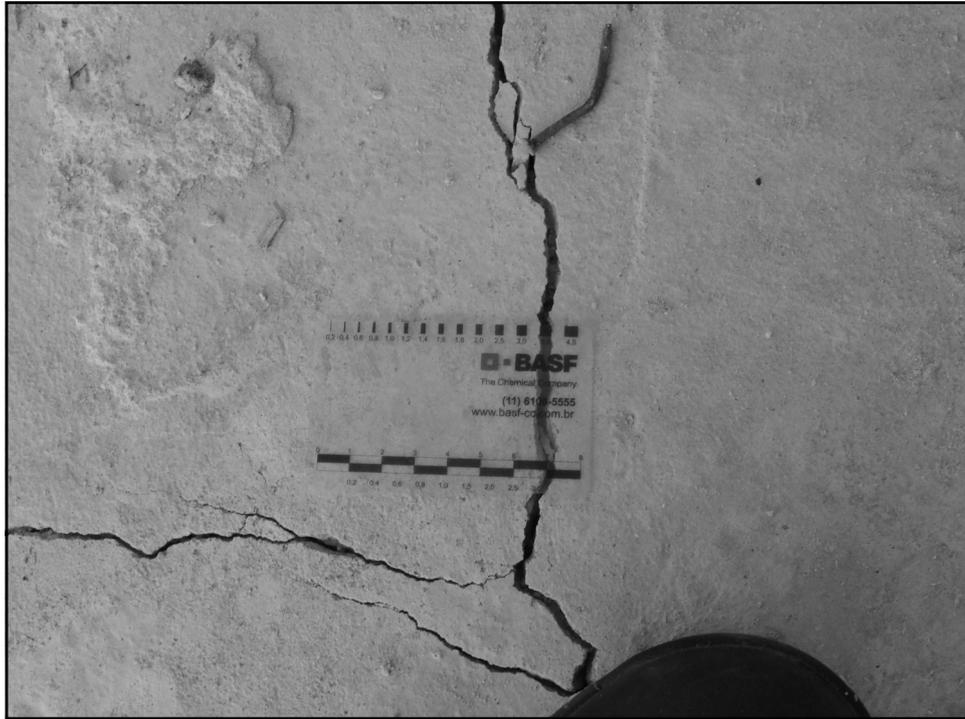
106



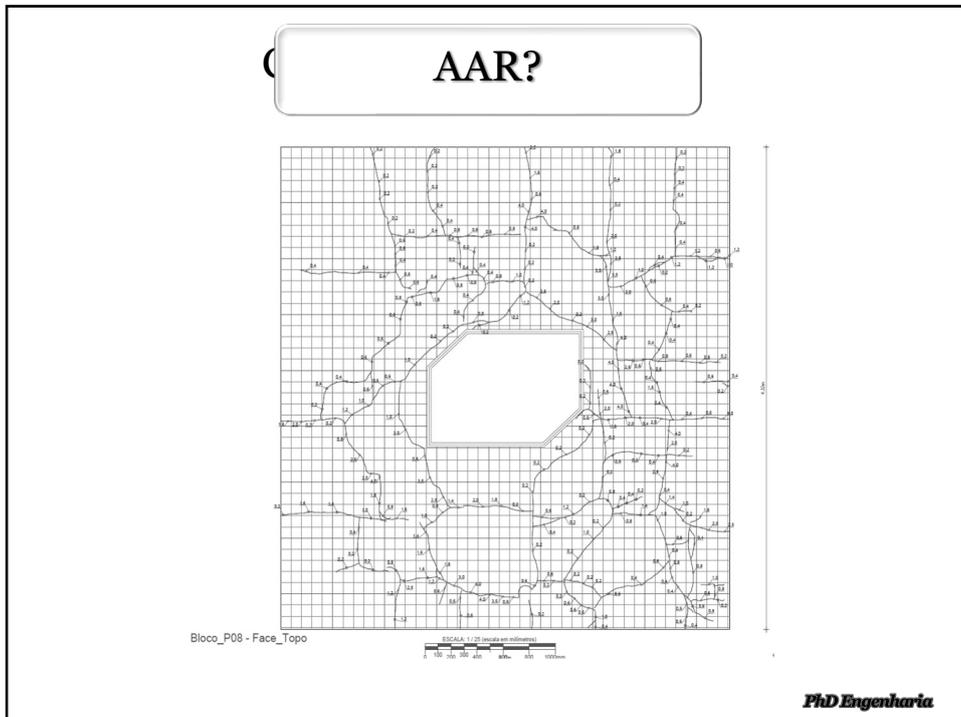
107



108

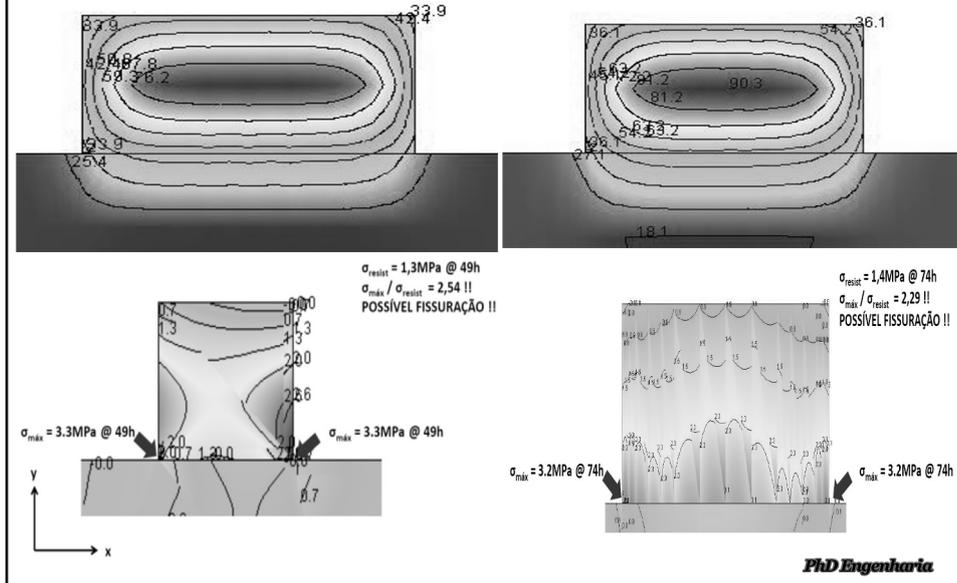


109



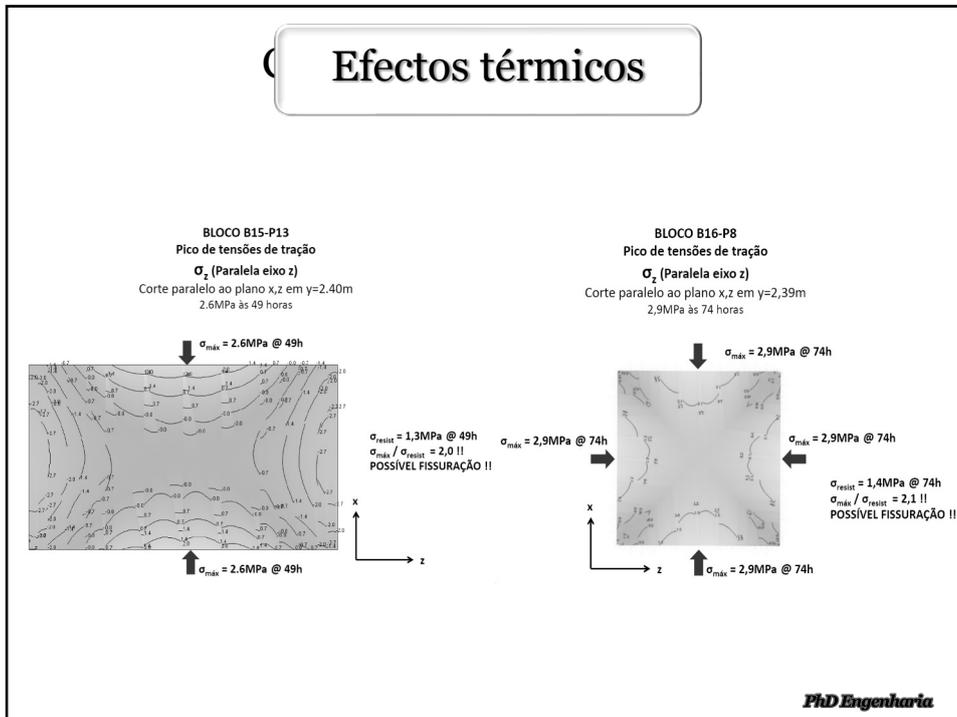
110

## Efectos térmicos



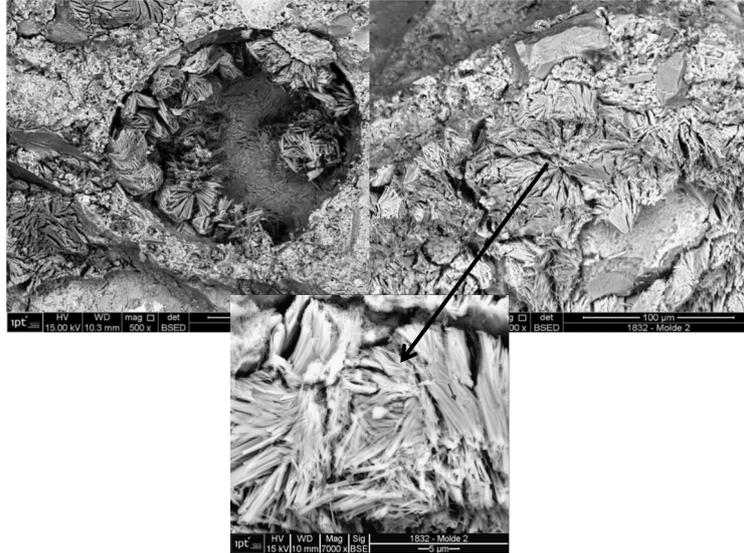
111

## Efectos térmicos



112

## DEF



PhD Engenharia

113

## Solución

La inyección de las grietas  
y refuerzo por  
envolviendo de los  
bloques

PhD Engenharia

114

# Solución



07/02/2013 02:48 PM



07/02/2013 02:49 PM

**PhD Engenharia**

115



08/02/2013 08:38 AM

116



117



118



119



120



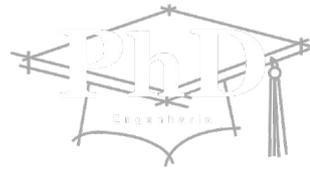
121



122



# GRACIAS !



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)**  
**[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)**

**11-2501-4822 / 23**  
**11-7881-4014**