



Reacción Álcali Árido y Efectos Térmicos en Bloques de Cimentación



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

Presidente ALCONPAT

Diretor PhD Engenharia

Diretor Conselheiro IBRACON

Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life

Colegio de Ingenieros Civiles de Yucatán A. C.

17 de febrero de 2014

Mérida , Yucatán

1

AAR Reacción Álcali-Árido

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

PhD Engenharia

2

1

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

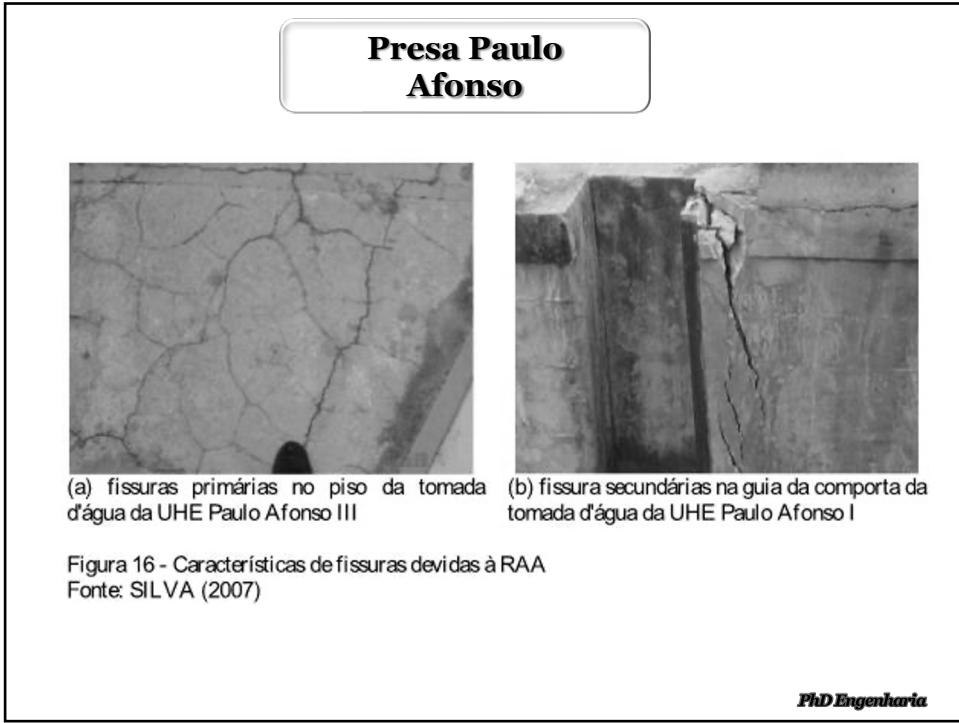
PhD Engenharia

4

2



5

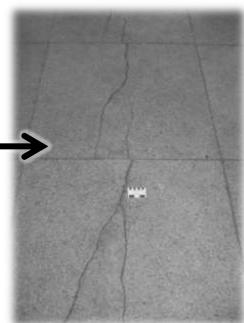


6

Presa Paulo Afonso



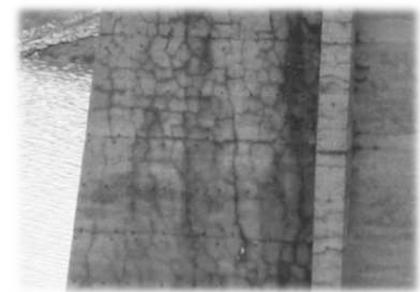
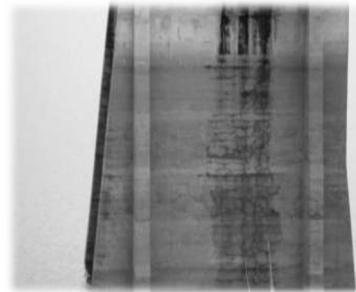
Gritos de la estructura



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

7

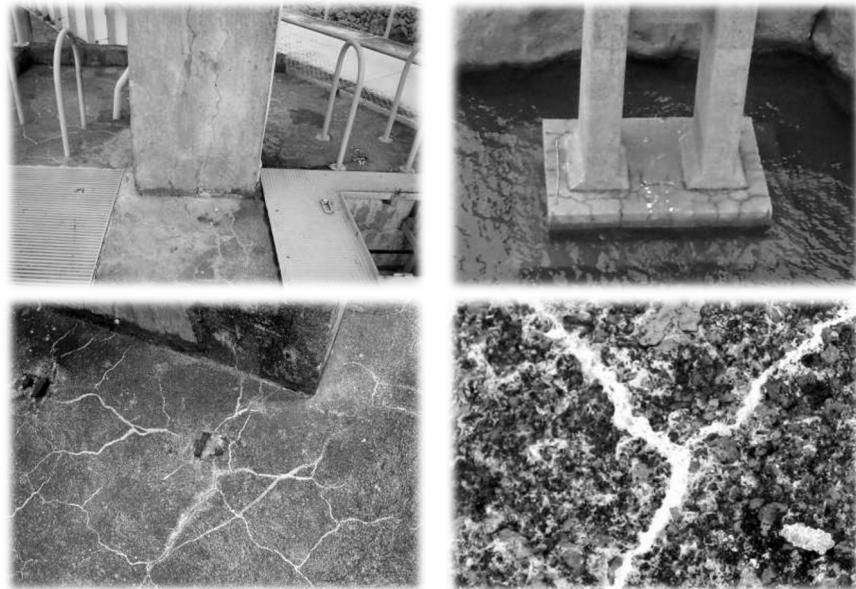
Presa Jaguari - SP



SALLES, Flávio M., 2010

8

Presa Jaguari - SP



SALLES, Flávio M., 2010

9

Presa de la Pedra



IEME

10

Viaducto Robert-Bourassa - Charest, Québec, Canada



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

11

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 Jupiá
- ✓ 1985 primero caso Presa UHE Apolonio de Sales Oliveira (Moxotó);

PhD Engenharia

12

Historia



Thomas Stanton, Caltrans - CA



FOURNIER, B., 2010

13

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

14



15

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

16

Reacciones

reacción álcali-silicato

reacción álcali-silica

reacción álcali-carbonato

PhD Engenharia

17

reacción	áridos reactivos
álcali-silicato	rocas milonitizadas quartzo tensionado
álcali-sílica	opala calcedônia cristobalita tridimita vidrios volcánicos
álcali-carbonato	calcários dolomíticos calcários argilosos

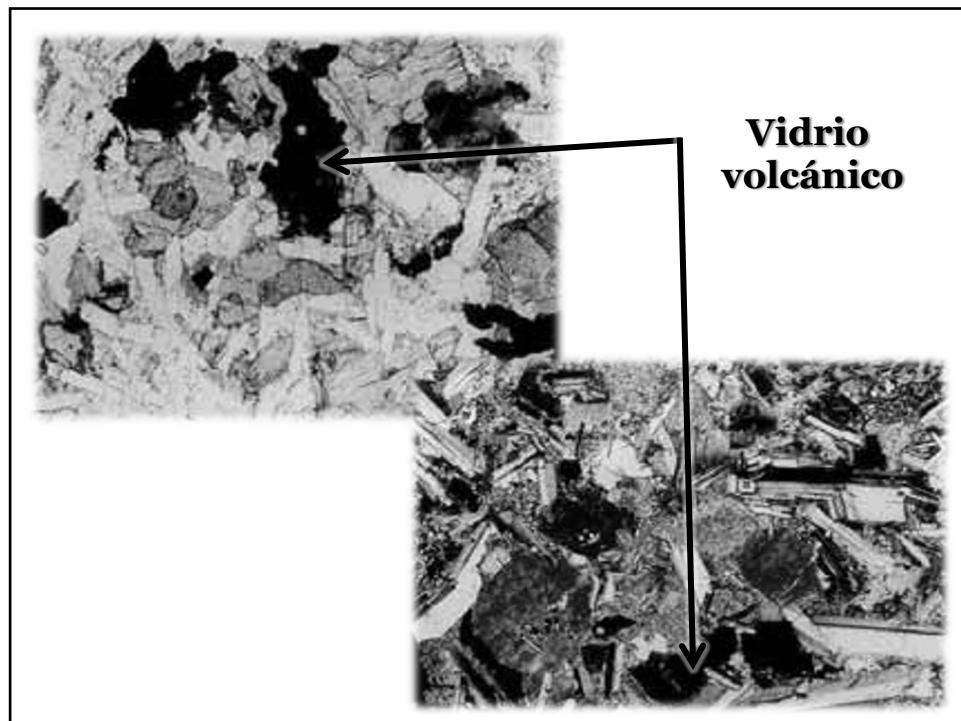
PhD Engenharia

18

Áridos Reactivos

PhD Engenharia

19



20

10

Investigación

mapeo de los áridos reactivos em el Estado de São Paulo

Valduga & Paulon, 2004

PhD Engenharia

21

Fueron empleados en este estudio:

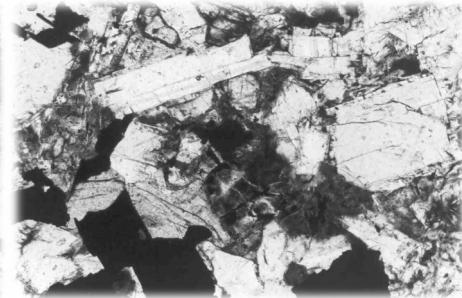
- + ***análise petrográfica ASTM C 295;***
- + ***análise método químico ASTM C289;***
- + ***mortero + árido ASTM C 1260;***
- + ***microscopia eletrônica de varredura***

PhD Engenharia

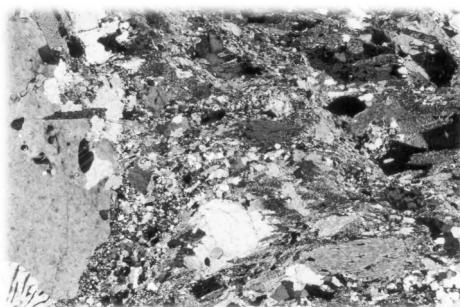
22



Petrografia de
uma amostra
de granito



Petrografia de
uma amostra
de basalto



Petrografia de
uma amostra
de gnaisse

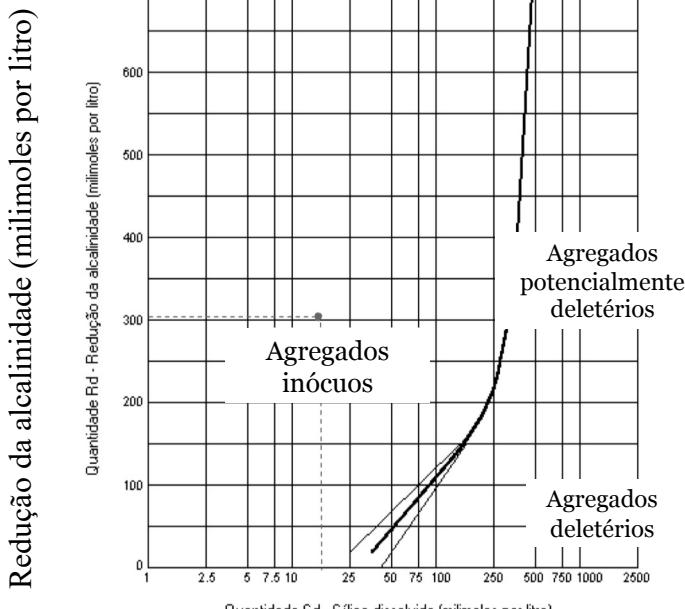
23

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

24



PhD Engenharia

25

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

26

Barras de mortero que muestran agrietamiento



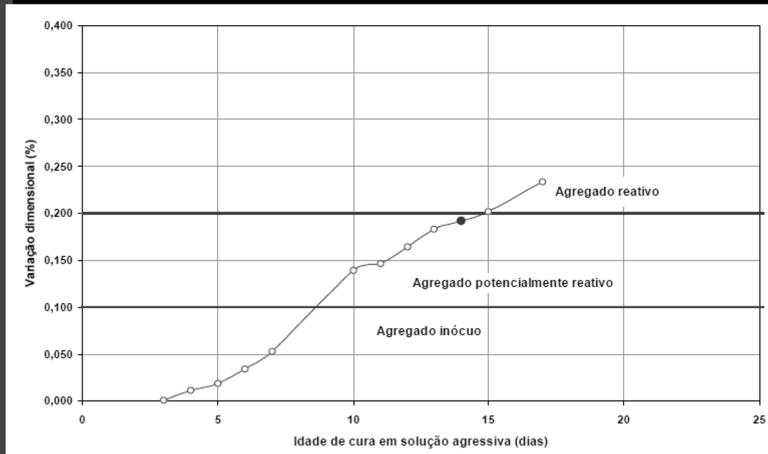
PhD Engenharia

27

Método acelerado

mortero + árido ASTM C 1260

ASTM C 1260



Battagin; Kihara

28

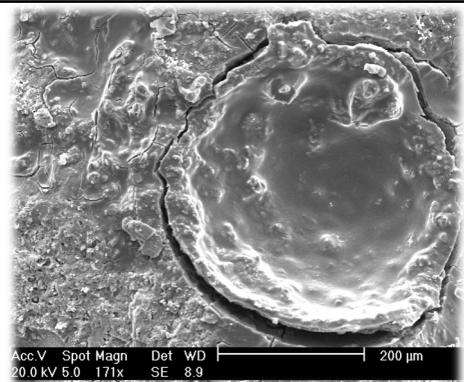
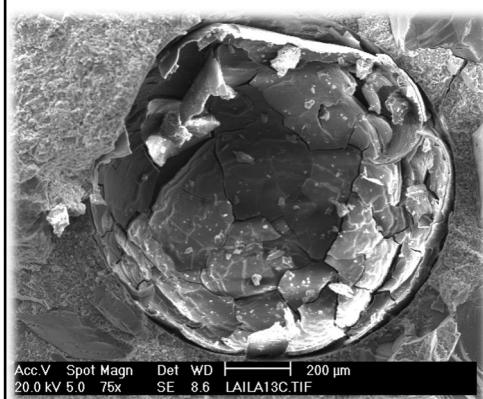
Microscopia eletrônica de varredura:

busca de gel de reacción

PhD Engenharia

29

Poro revestido de gel

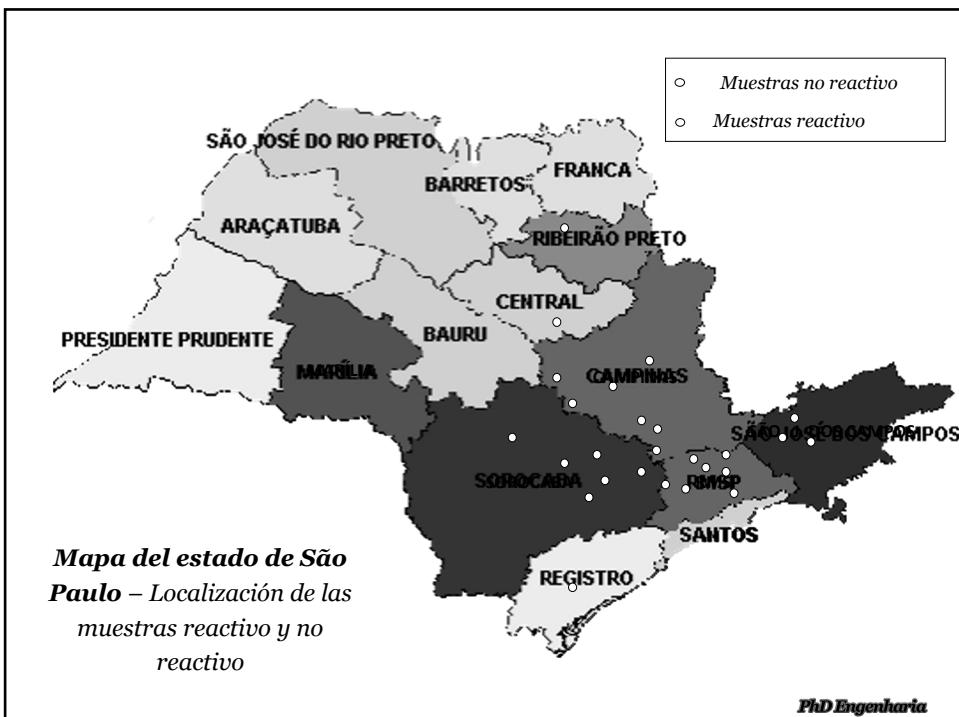


Gel maciço e gretado

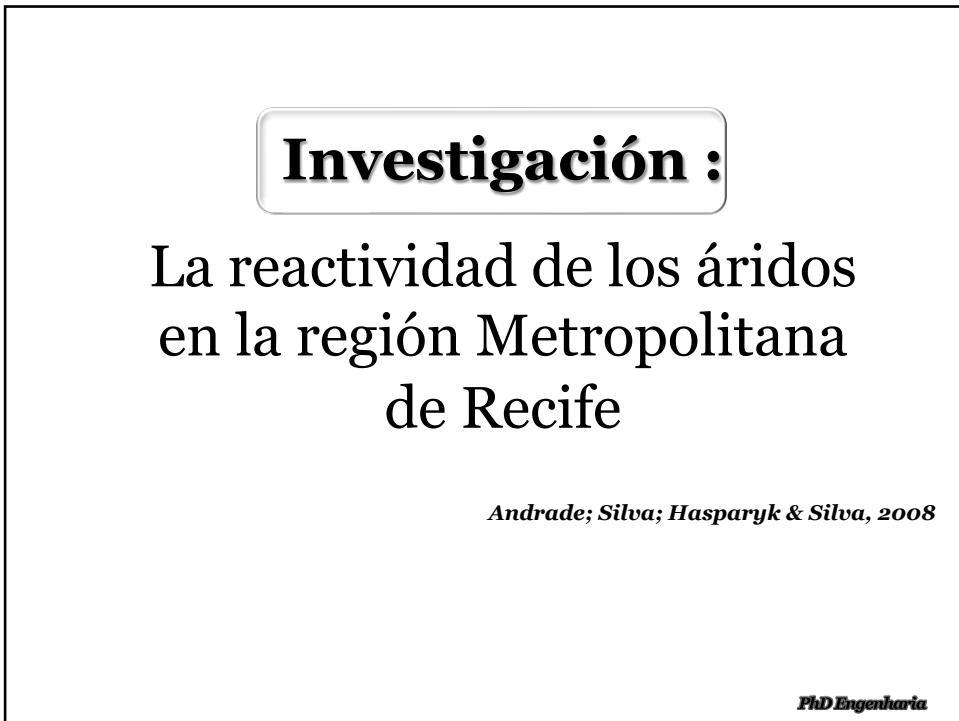
PhD Engenharia

30

15



31

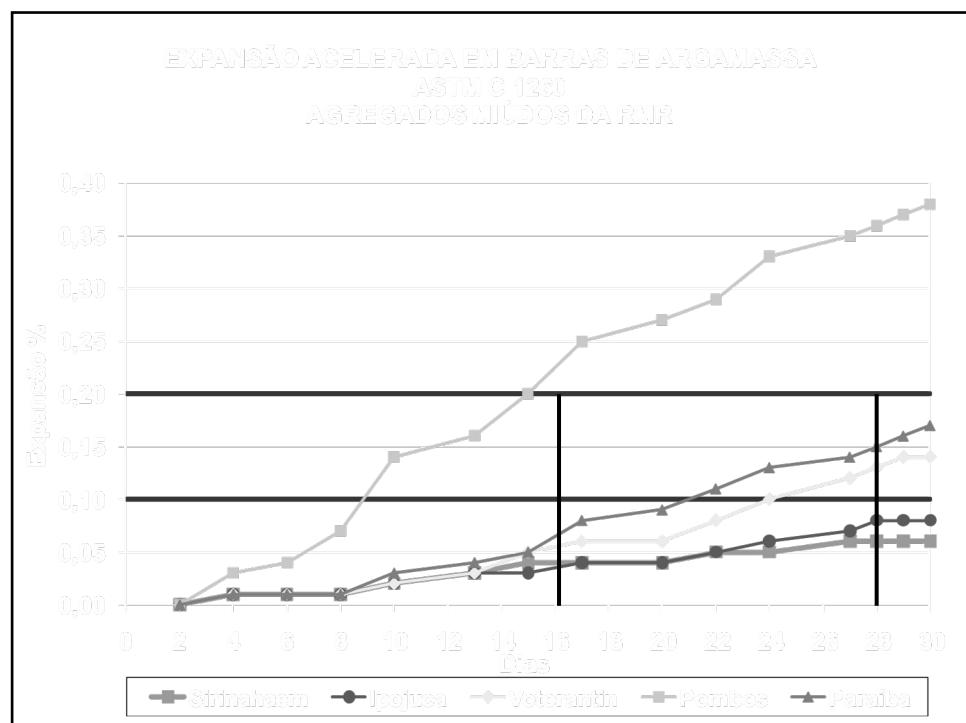


32

áridos finos

PhD Engenharia

33



34

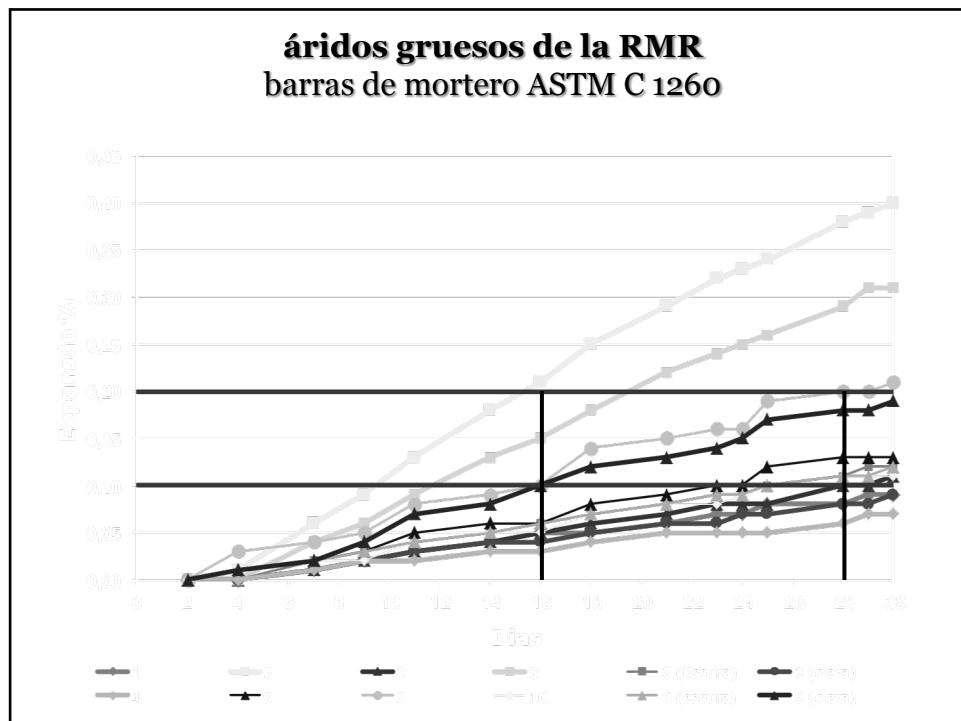
áridos gruesos

PhD Engenharia

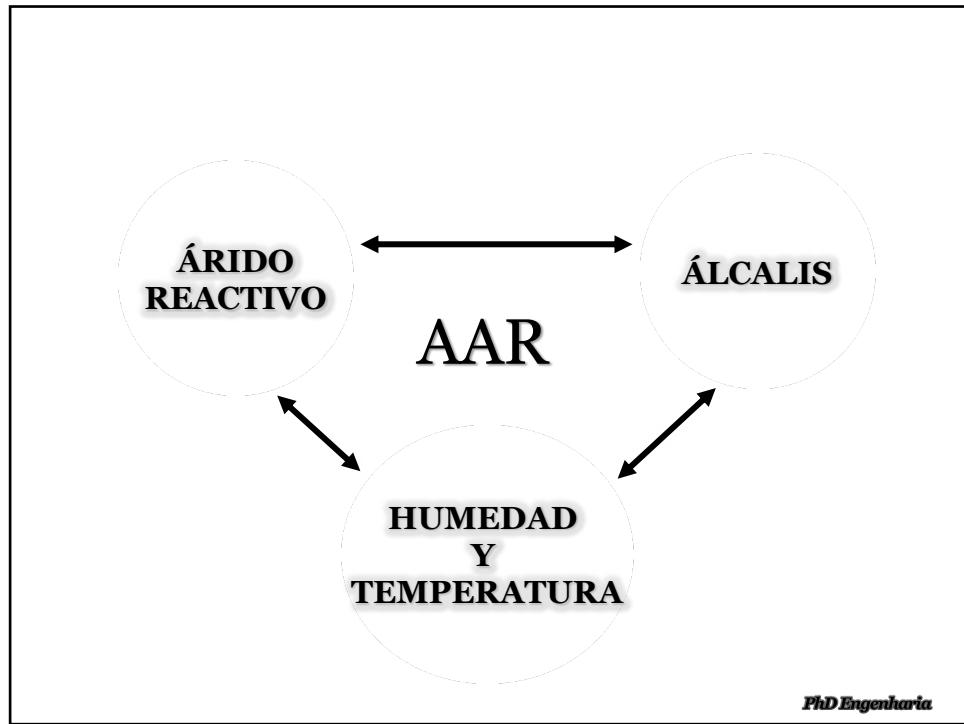
35

Áridos gruesos			
pedreira	class.	natureza	observações
01	granito	ígnea	Granulação grossa a média Maioria do quartzo com extinção ondulante de alto grau (>25°).
02	Granito Gnaisse	ígnea	Granulação média a fina. Quartzo com extinção ondulante moderada (<25°). Mostrou feições texturais evidenciando deformação tectônica.
03	Biotita granito	ígnea	Granulação muito grossa. Quartzo com intensa extinção ondulante (>25°)
04	Biotita granito	ígnea	Granulação muito grossa.
05	Milonito gnaisse	metamórfica	Granulação média a fina. Textura cataclástica, evidenciada pela fragmentação dos cristais de feldspatos. Rocha originalmente granítica, submetida a deformação e recristalização (principalmente do quartzo).
06	Biotita granito	ígnea	Granulação média a muito grossa extinção ondulante moderada a forte.
07	Granito milonitizado	ígnea/ metamórfica	Granulação média a fina Maioria do quartzo com extinção ondulante de alto grau (>25°). Matriz mais fina envolvendo os cristais mais desenvolvidos. Quartzo recristalizado.
08	Granito cataclástico	ígnea	Granulação grossa. Feldspato e quartzo com extinção ondulante. Matriz mais fina envolvendo os cristais mais desenvolvidos, proveniente da fragmentação de cristais originalmente mais desenvolvidos.
09	Biotita granito	ígnea	Granulação média a muito grossa Forte extinção ondulante (>25°).
10	Biotita granito	ígnea	Granulação média a muito grossa. Quartzo com extinção ondulante moderada a forte.

36



37



38

Álcalis

PhD Engenharia

39

- Íons Na^+ (sódio) e K^+ Potássio

- Na_2O equivalente no cemento 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 m^3 de concreto

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

Álcalis totales (cemento mexicano) = 0,5%

PhD Engenharia

40

Humedad y Temperatura

H_2O

PhD Engenharia

41

**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

42

Sintomatología

PhD Engenharia

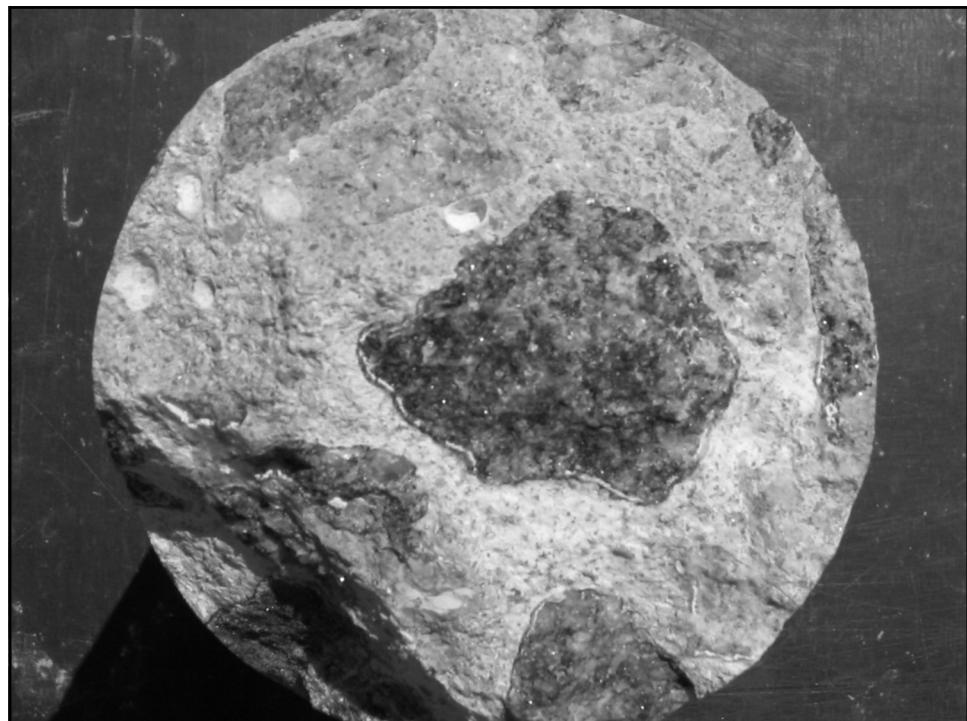
43

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

44



45



46

Externamente

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

PhD Engenharia

47



PhD Engenharia

48



49



50

Inspección y Diagnóstico

PhD Engenharia

51

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

52

Métodos de Ensayo

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

PhD Engenharia

53

Bloques de cimentación de edificio afectados por RAA estudio de caso

Sobrinho, Carlos W. de A., 2012

PhD Engenharia

54

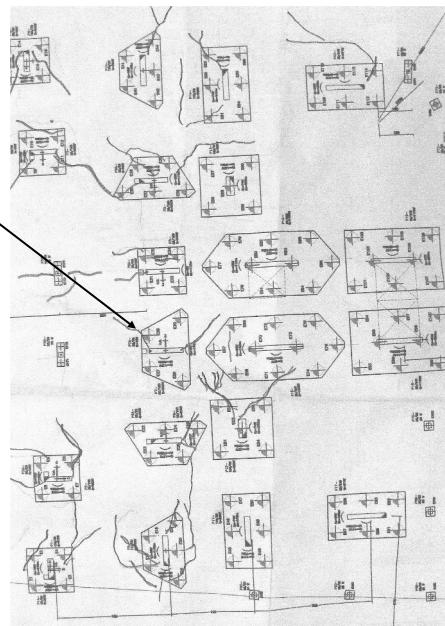
Edificio Habitacional

- 27 pisos
- 16 años
- bloques sobre estacas
- Grietas en las bases de las columnas y grietas inclinadas en las paredes

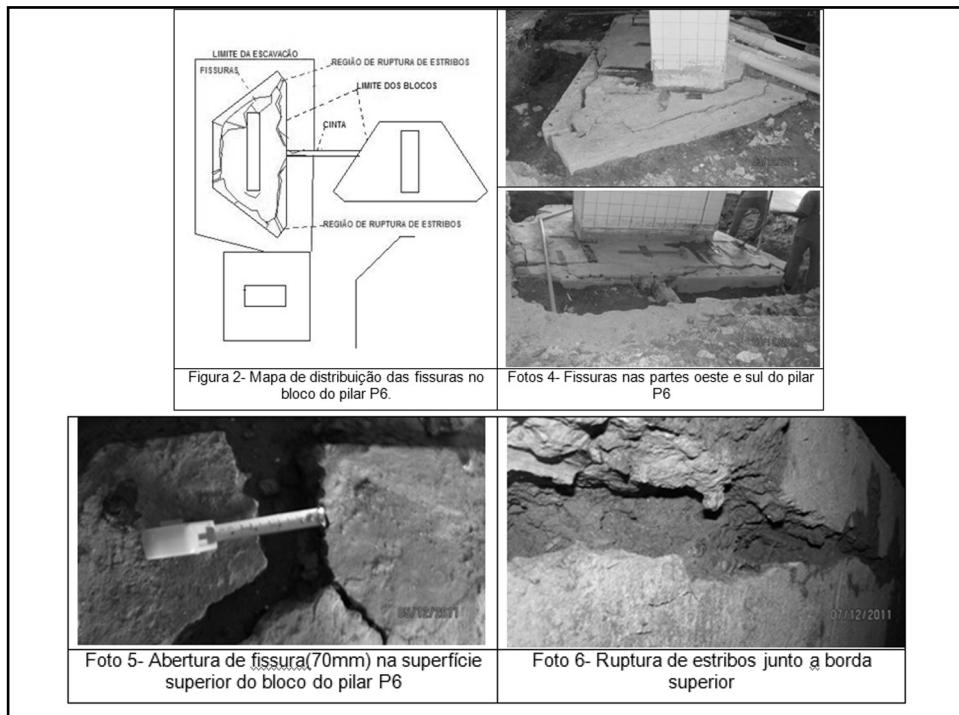
PhD Engenharia

55

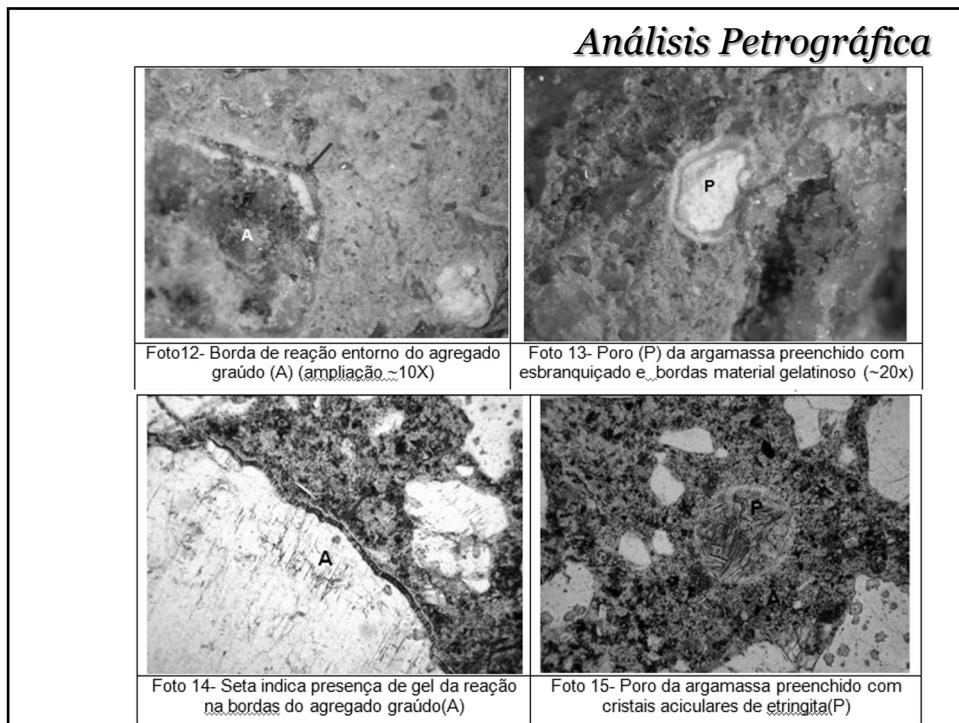
Gritos de la estructura



56



57



58

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

59

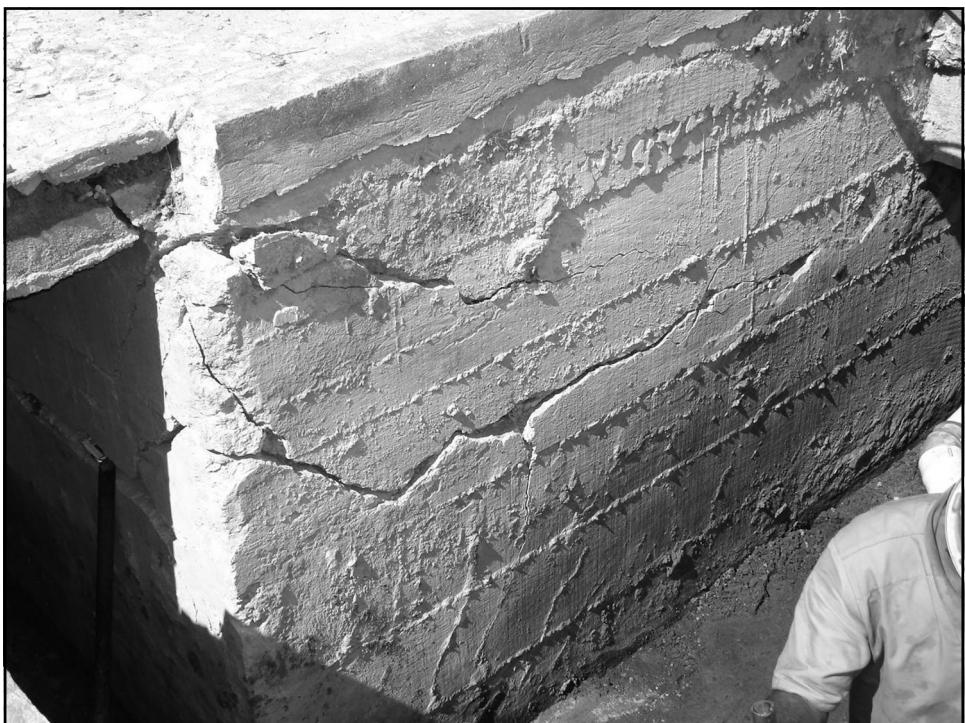


60

30



61



62



PhD Engenharia

63



64

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

65

Ensayo petrográfico

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

PhD Engenharia

66

Concreto

- módulo de elasticidad

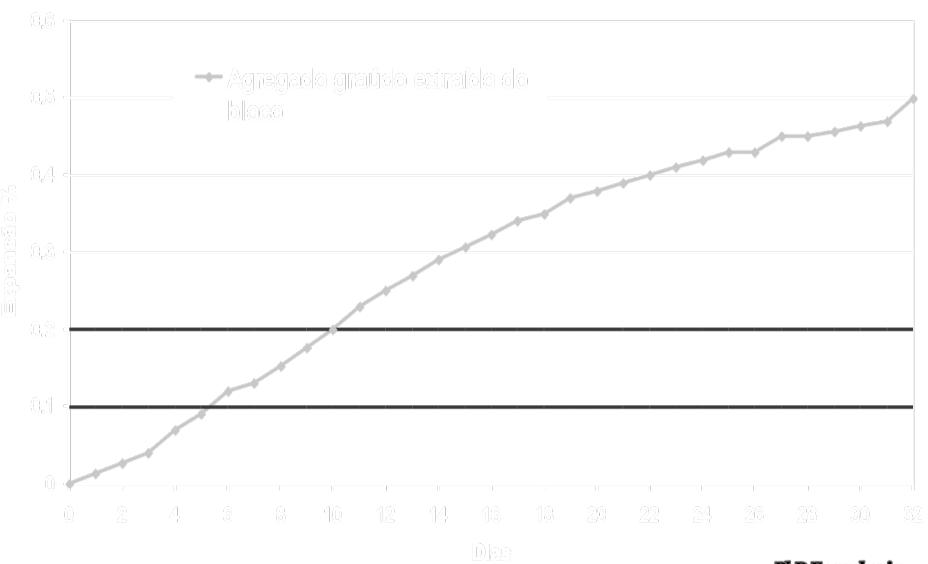
BLOQUE	f_{ck} (MPa)	Resistencia a la compresión média (MPa)	Módulo tangente médio (GPa)
BP 12	18,0	23,7	12,8
BP 22	18,0	26,8	14,5

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

PhD Engenharia

67

Mortero ASTM C 1260



68

Terapia

PhD Engenharia

69

Terapia

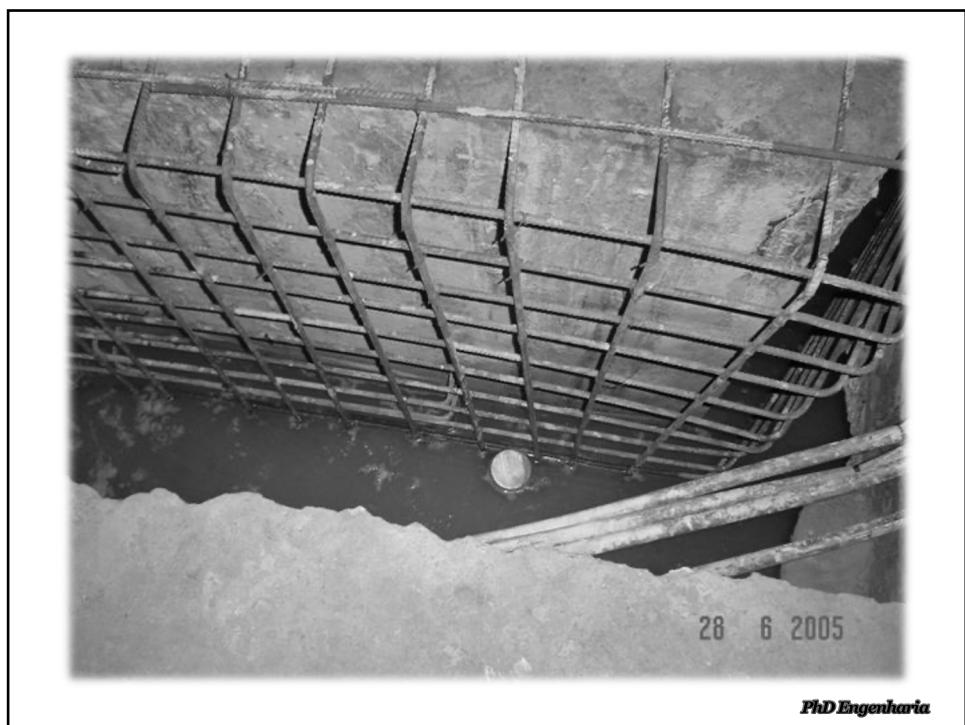
- 1.** Reducir el acceso al agua;
- 2.** La inyección de sales de litio;
- 3.** Cintar;
- 4.** Abrir juntas

PhD Engenharia

70



71



72



PhD Engenharia

73



Puente Paulo Guerra Recife, Brasil

PhD Engenharia

74



75



76



77

Puente Paulo Guerra

Recife PE → 2002

Terminado en 1980 → hace 22 años
Bloques de cimentación → $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$
cubierta de estructura de concreto
armado → $f_{ck} = 22 \text{ MPa}$
sobre el río, cerca del mar, pero no hay
“splash zone”

78



Puente Paulo Guerra

Diagnóstico:

análisis del agua

pH = 7,5 Cl⁻ = 14.000 mg/L

Mg⁺⁺ = 900 mg/L SO₄⁺⁺ = 1.900 mg/L

SO₄⁺⁺ en concreto = 0,35% a 0,62%

SO₄⁺⁺ max concreto = 0,59% p/ 3% gipso

79



Puente Paulo Guerra

Diagnóstico:

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

→carbonatación $< 12\text{mm}$

→E_{corr} 10mV a -450 mV

→i_{corr} $0,07$ a $0,31 \mu\text{A/cm}^2$

→ ultra sonido 1600 a 3800 m/s

80



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”

81



82



83



84



85



86



87

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

88



Puente Paulo Guerra

alternativas

- demoler
- construir otra
- sales de Lítio
- zunchar

PhD Engenharia

89



Puente 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.

90

Profilaxia

PhD Engenharia

91

¿Cómo prevenir?

1. Controlando álcalis no cimento;

Na₂O equivalente < 0,6%

Total álcalis < 3kg/m³

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

92

¿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

93

¿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

94

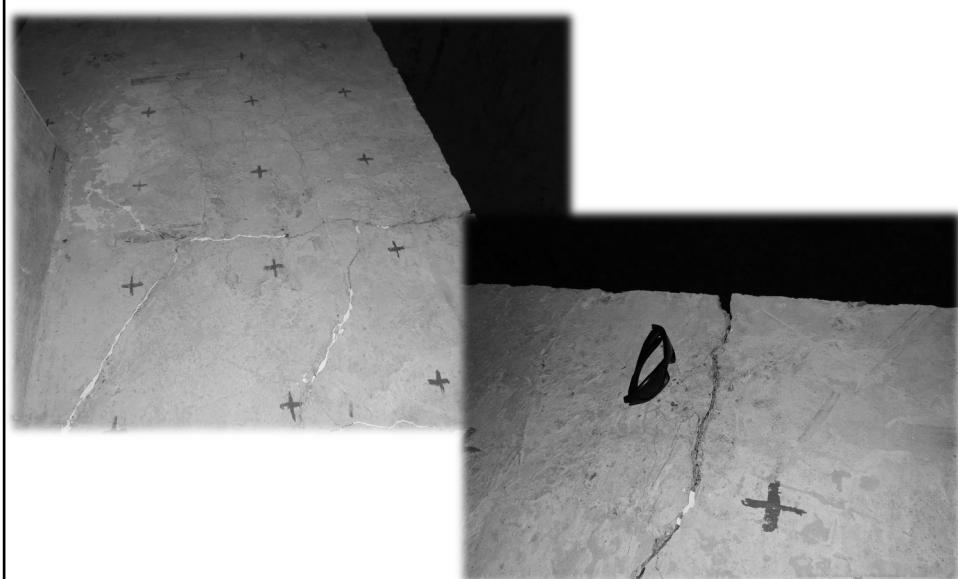
Estudio de caso: Edificio Comercial

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

PhD Engenharia

95

AAR?



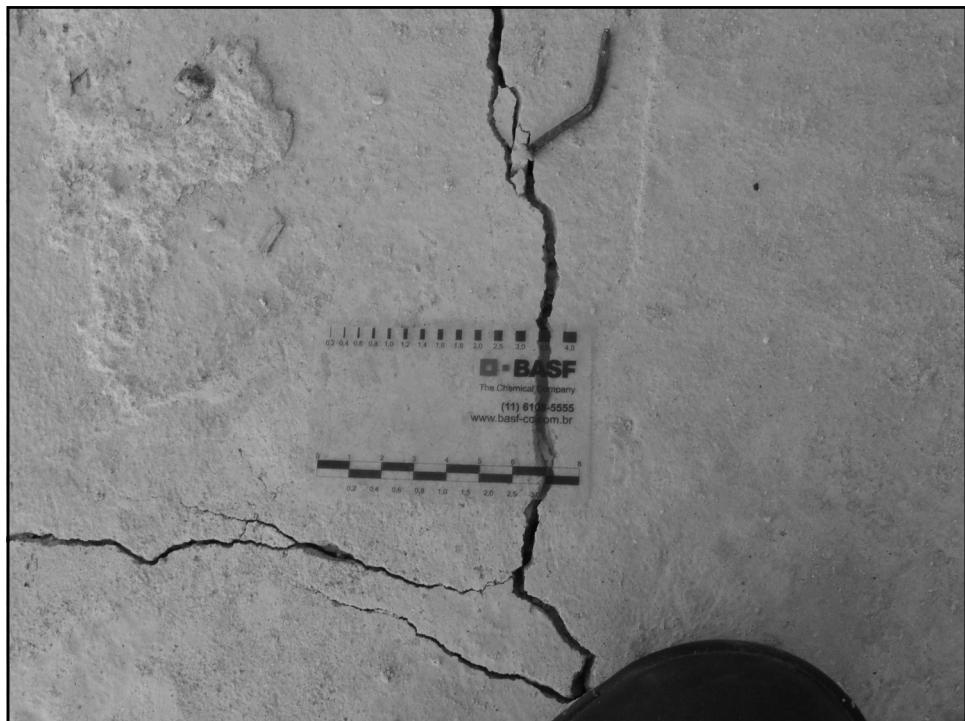
96



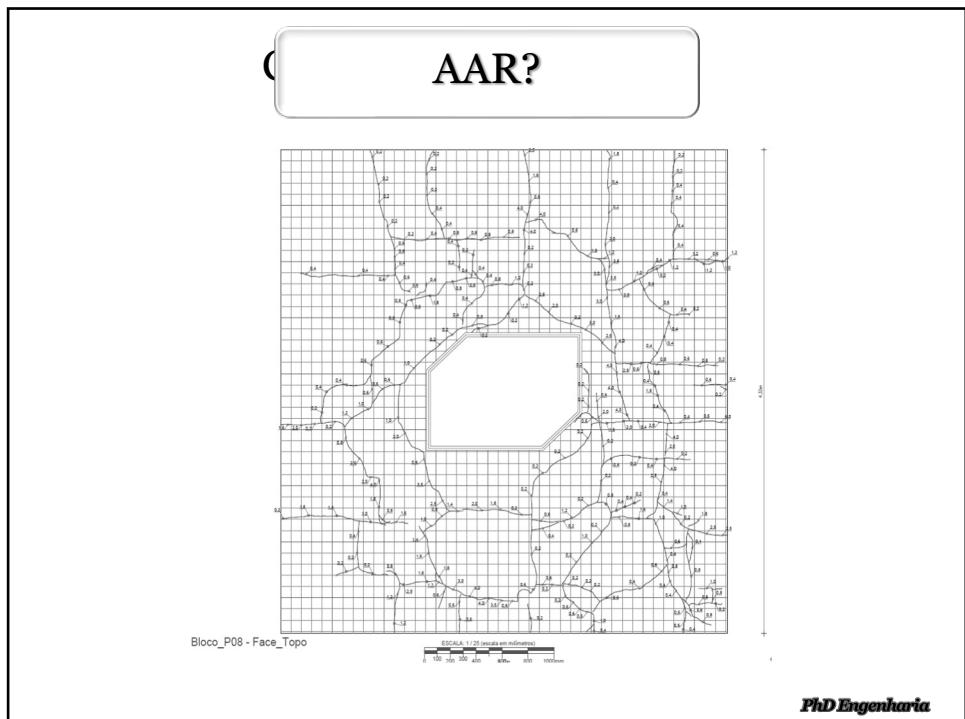
97



98

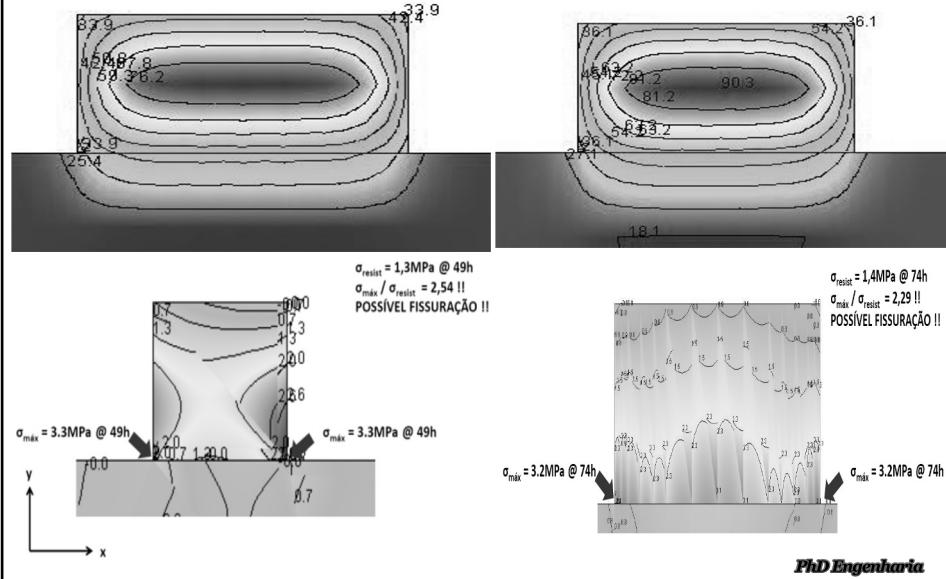


99



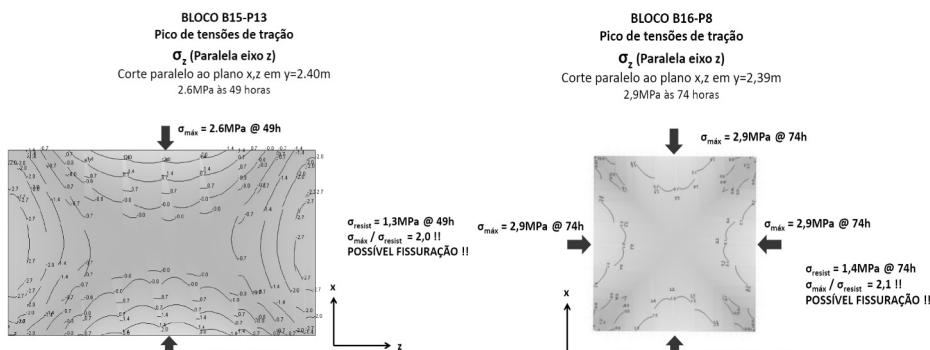
100

Efectos térmicos



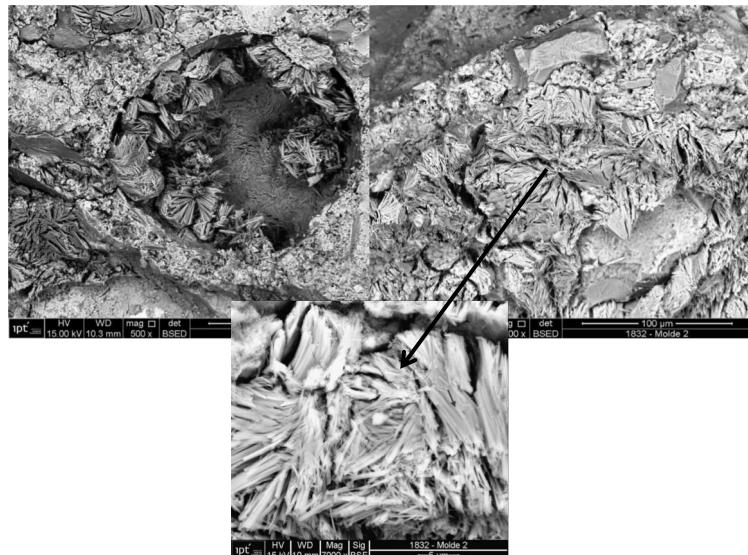
101

Efectos térmicos



102

DEF



PhD Engenharia

103

Solución

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

PhD Engenharia

104

Solución



PhD Engenharia

105



106



107



108



109



110



111



112



113

GRACIAS!

PhD
Engenharia

"do Laboratório de Pesquisa do Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

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

A black and white advertisement. At the top, the word "GRACIAS!" is written in large, bold, serif capital letters. Below it, the letters "PhD" are prominently displayed, with "Engenharia" written underneath in a smaller font. A graduation cap icon is positioned above the "D". Below this, a quote in Portuguese, "do Laboratório de Pesquisa do Canteiro de Obras", is written in a small, italicized font. At the bottom, there are two website addresses: "www.concretophd.com.br" and "www.phd.eng.br". Below the websites are two phone numbers: "11-2501-4822 / 23" and "11-7881-4014". The background of the ad is a black and white photograph of the same modern building with wavy overhangs seen in the previous image, showing its exterior and some people walking around.

114