



Mecanismos, Diagnóstico, Prevención y Corrección de la Reacción Álcali-Árido AAR en Estructuras de Concreto

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

Hotel Vista Real

15 de Marzo de 2011

Guatemala

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**

2

AAR Reacción Álcali-Árido

- 1. Importância**
- 2. Histórico**
- 3. Mecanismo**
- 4. Sintomatología**
- 5. Inspección y diagnóstico**
- 6. Terapia**
- 7. Profilaxia**

3

IMPORTÂNCIA

A maior parte e as mais graves das ocorrências de RAA são verificadas em barragens mas há registros em pontes, pavimentos, cais portuários, dormentes e fundações de edifícios.

No Brasil, hoje, tem catalogado:

- **Barragem de Moxotó**
- **Metrô de São Paulo**
- **Barragem de Joanes**
- **Barragem de Paulo Afonso**
- **Barragem de Sobradinho**
 - **Túneis da Ecovias**
 - **Rodovia AUTOBAN**
- **Ampliação da Barragem de Tucuruí**
 - **80 fundações edifícios**
 - **ETAs**
 - **ETEs**

4

Histórico

- ✓ Foi descoberto na década de 30, na Califórnia USA por Thomas Stanton. *Expansion of concrete through the reaction between cement and aggregate. Proceedings ASCE, n. 66, 1940. p. 1781-1811*
- ✓ Na mesma época o USA Bureau of Reclamation identificou AAR na Parker Dam (Clorado) e na Stewart Mountain Dam e especificou $\text{Na}_2\text{O} < 0,6\%$
- ✓ Primeiros estudos década de 60 Barragem Jupia
- ✓ 1985 primeiro caso Barragem UHE Apolonio de Sales Oliveira (Moxotó);

5

Histórico

- ✓ Foi reportado por Prof. Dr. Benoit Fournier, *Professor, Université Laval Québec, Presidente da CSA technical group on Alkali-Aggregate Reaction, que em mais de 50 países já foram diagnosticadas estruturas afetadas pela AAR.*
- ✓ RILEM TC 191-ARP Alkali-reactivity and prevention. Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity

6

Mecanismo

Reação expansiva entre os álcalis, fornecidos principalmente do cimento, e determinados minerais reativos presentes em certos agregados usados na produção do concreto

A reação resulta na formação de um gel, que absorve água e se expande, induzindo tensões de tração superiores a capacidade do concreto;

7

Reações

reação álcali-sílicato

reação álcali-silica

reação álcali-carbonato

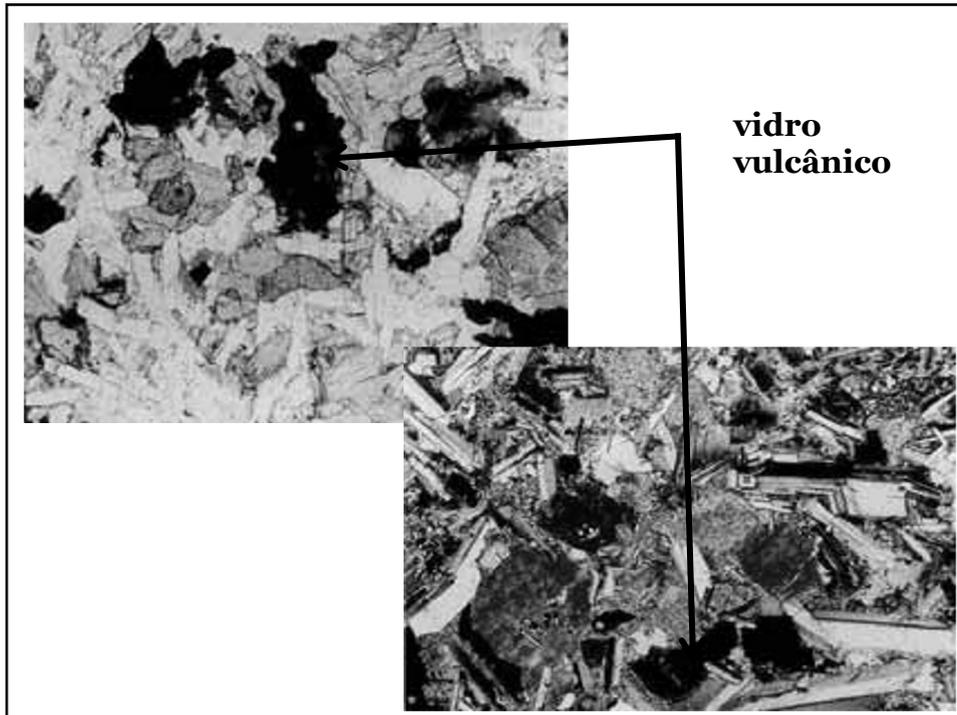
8

reação	agregados reativos
álcali-silicato	rochas milonitizadas quartzo tensionado
álcali-silica	opala calcedônia cristobalita tridimita vidros vulcânicos
álcali-carbonato	cálcários dolomíticos calcários argilosos

9

Agregados Reativos

10



11

Investigação:
*mapeamento de
agregados reativos
no estado de São Paulo*

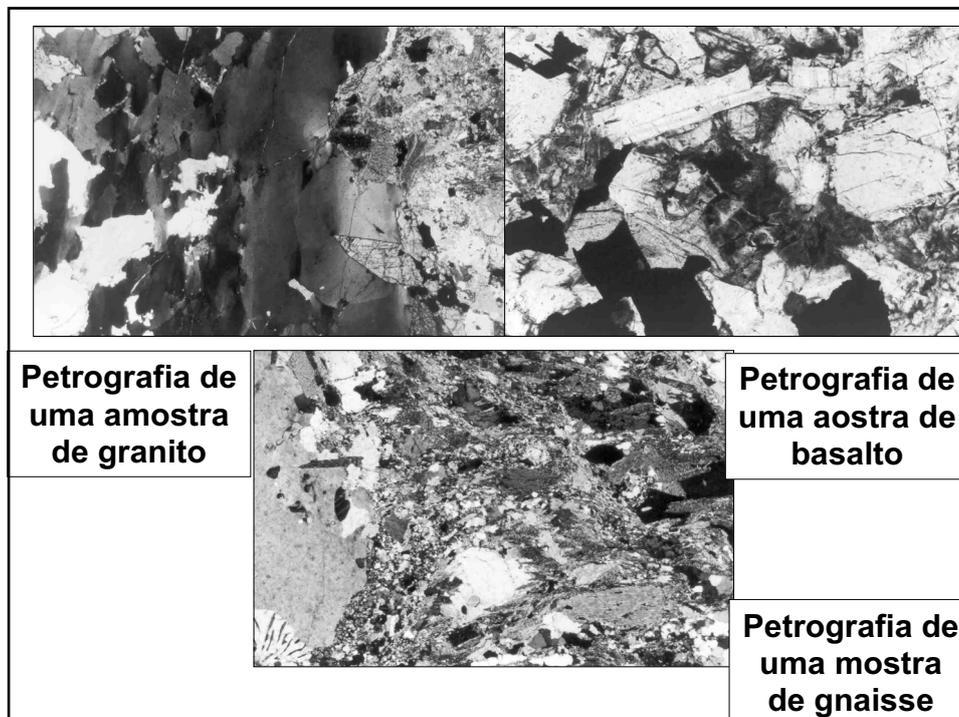
Valduga & Paulon, 2004

12

Foram empregados nesse estudo :

- ✦ análise petrográfica ASTM C 295;***
- ✦ análise método químico ASTM C289;***
- ✦ argamassa + agregado ASTM C 1260;***
- ✦ microscopia eletrônica de varredura***

13

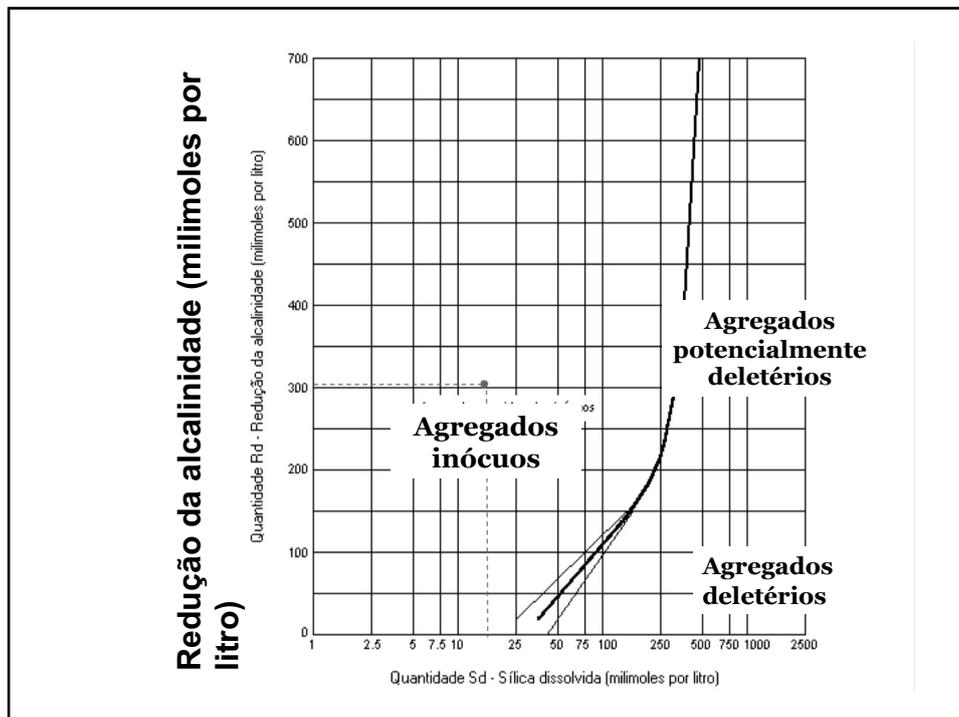


14

Método químico:

Depende da região do gráfico onde as amostras do agregado se situam para serem consideradas potencialmente reativas ou não.

15



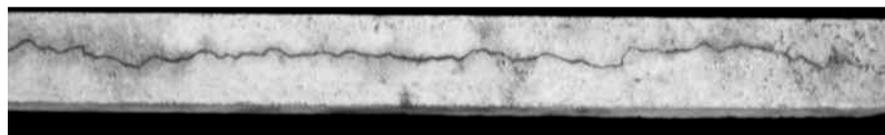
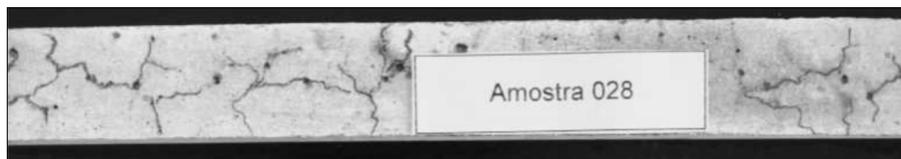
16

Método acelerado:

- ✦ ***Os limites de expansão (0,1 e 0,2%) foram analisados aos 16 e aos 28 dias de idade;***
- ✦ ***Amostras que apresentaram expansão mostraram-se bastante fissuradas.***

17

Barras de argamassa apresentando fissuração



18

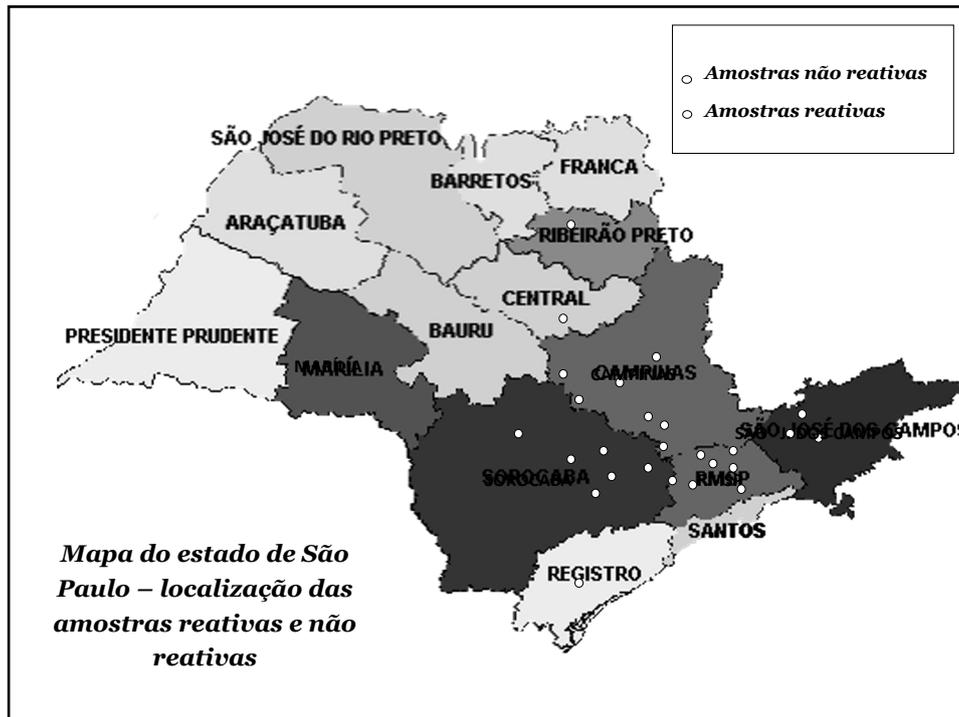
Microscopia eletrônica de varredura:

busca de gel de reação

19



20



21

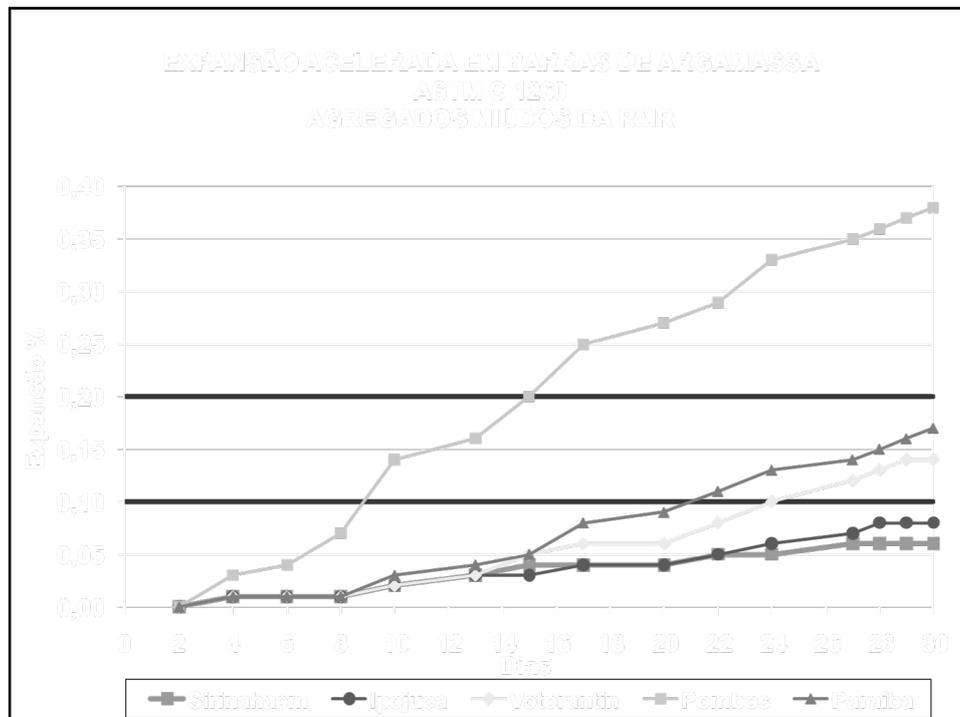
Investigação: Reatividade de agregados na Região Metropolitana do Recife

Andrade; Silva; Hasparyk & Silva, 2008

22

agregados miúdos

23



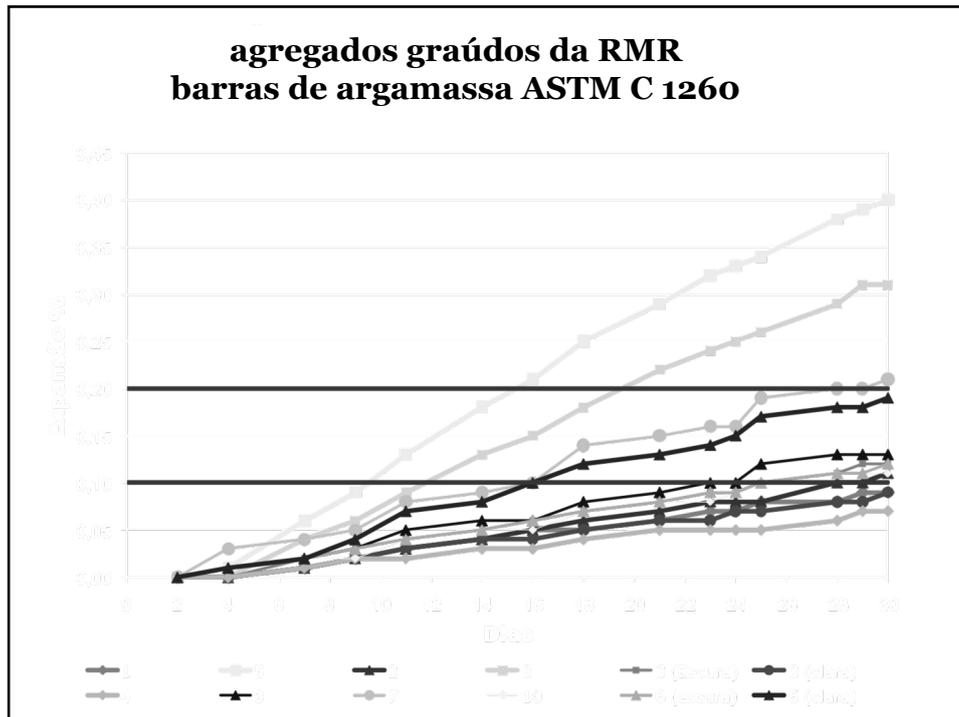
24

agregados graúdos

25

Agregado Graúdo			
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 tectónica.
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 e 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.

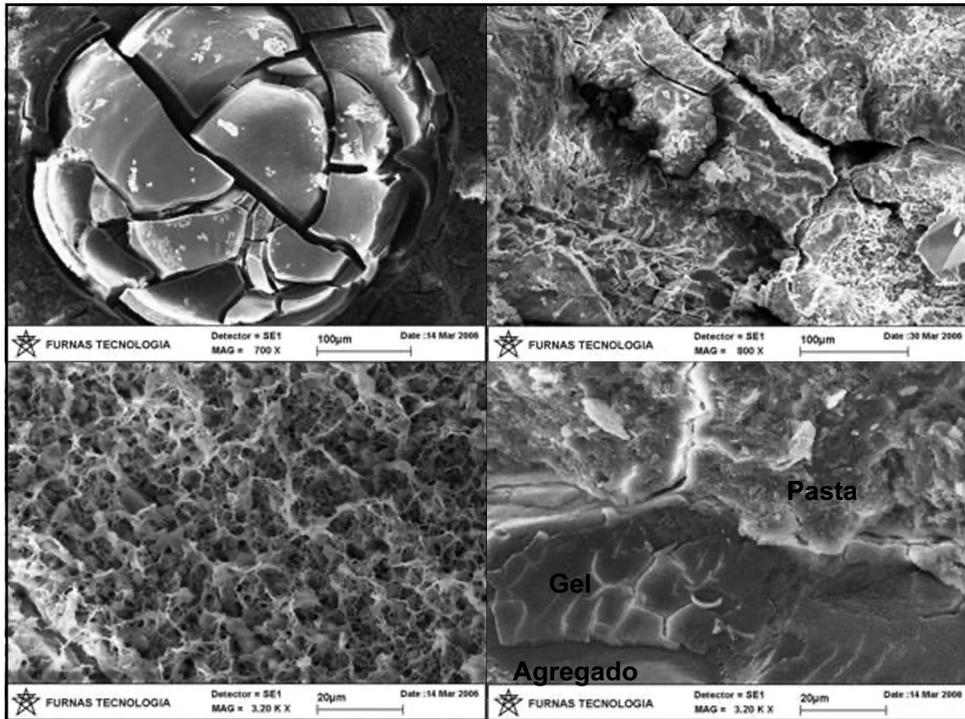
26



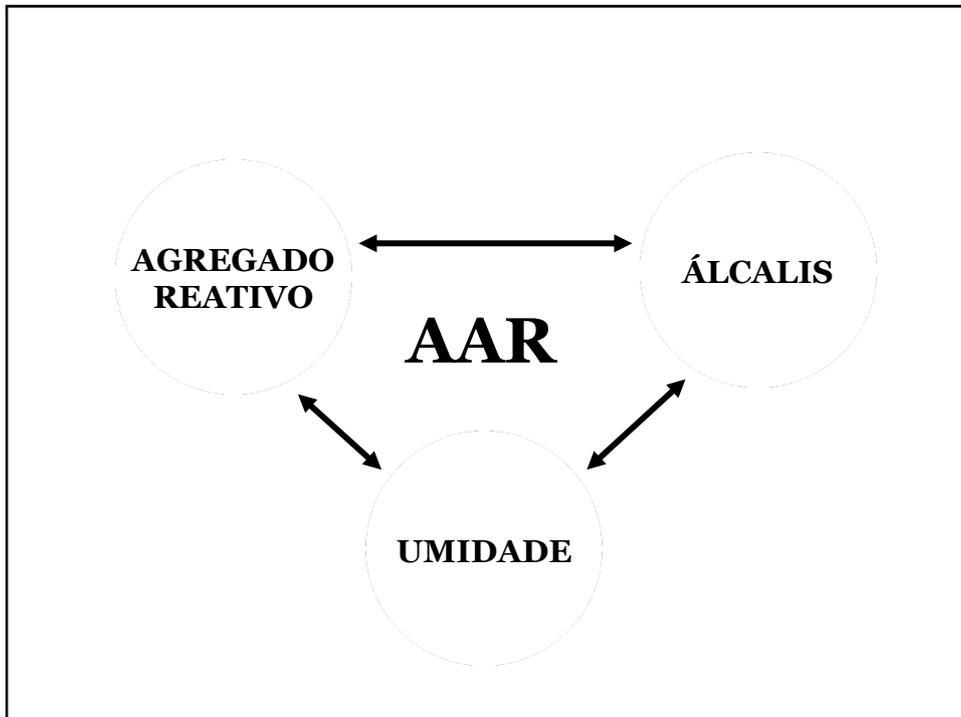
27

análise
microestrutural das
barras de argamassa

28



29



30

Álcalis

31

- Íons Na^+ (sódio) e K^+ Potássio

- Na_2O equivalente no cimento anidro não deve 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 do concreto

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

32

Umidade H₂O

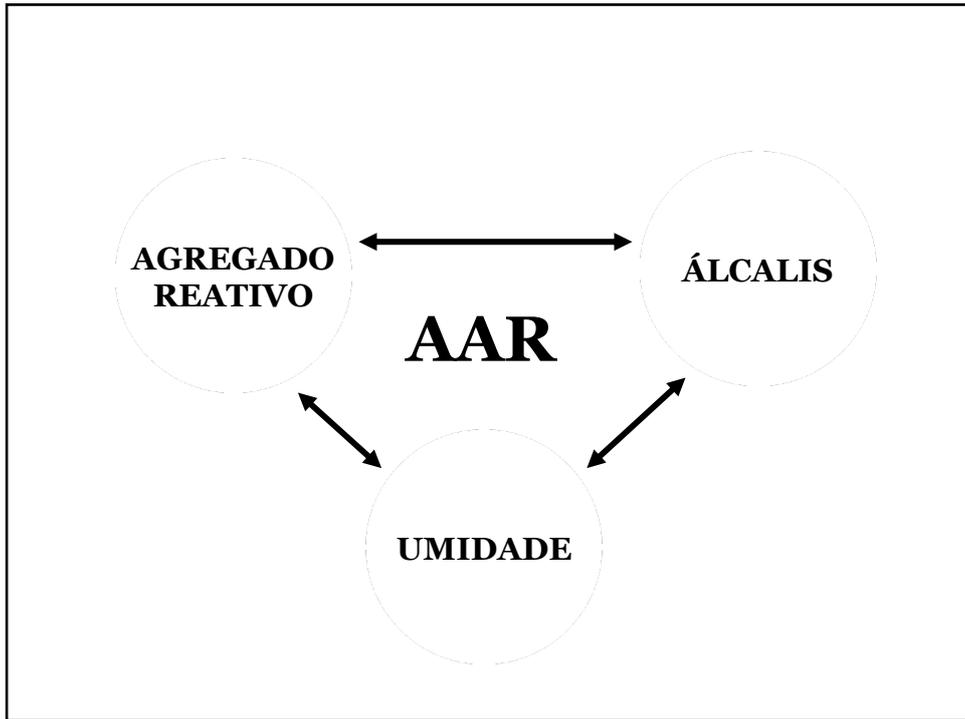
33

**concreto em contato direto com o
solo e/ou água**

**concreto em ambientes de UR >
90% por longos períodos de tempo**

**concreto sujeito a ciclos de
molhagem e secagem**

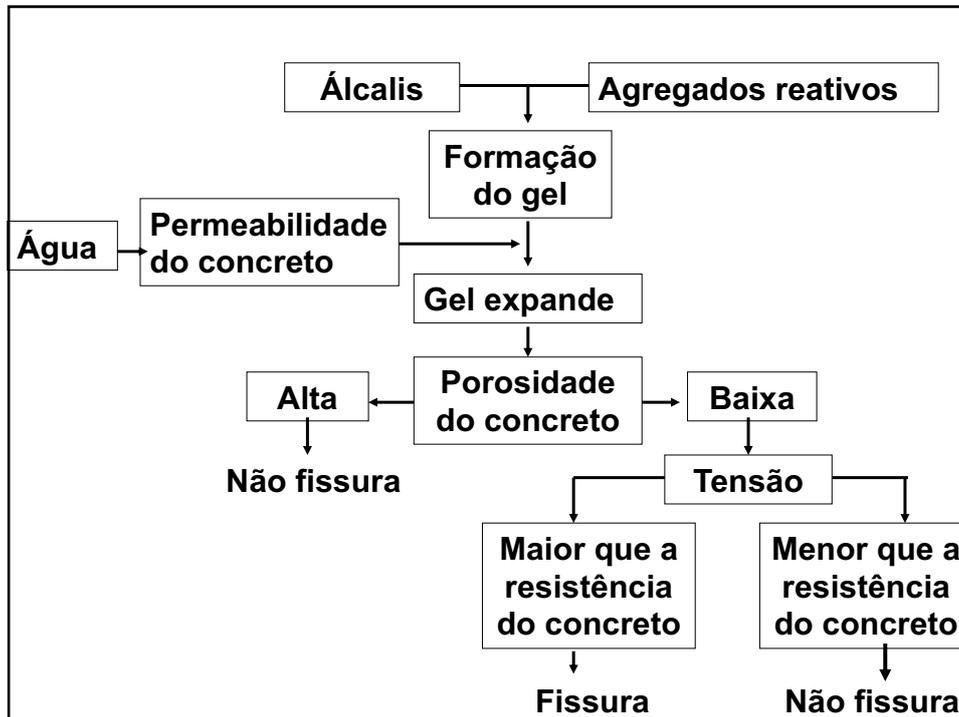
34



35

Sintomatologia

36

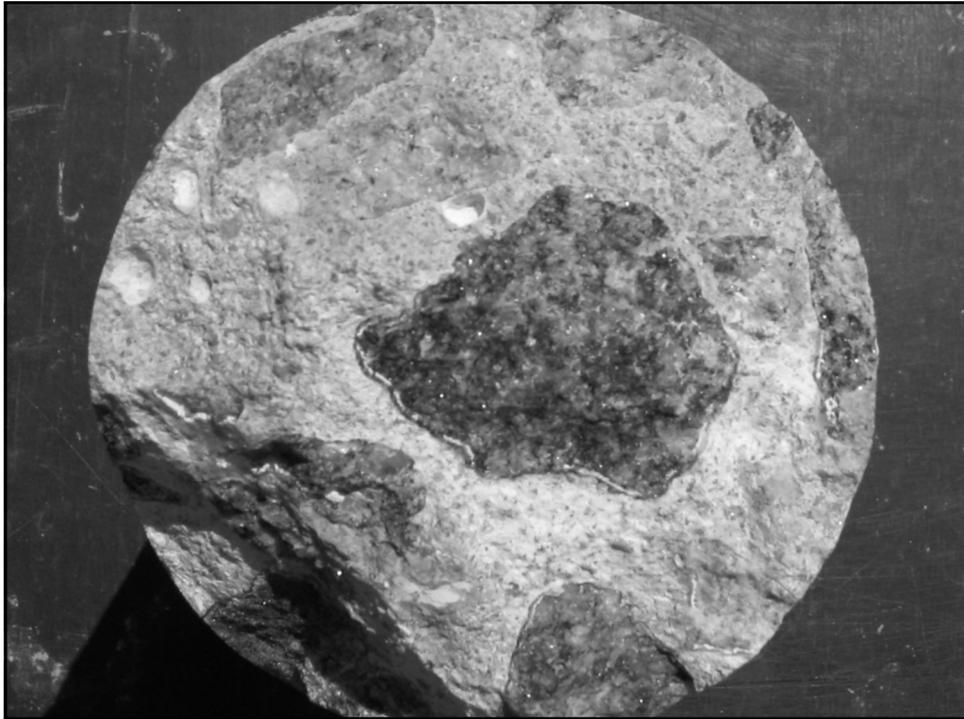


37

internamente

- **bordas de reação no contorno dos grãos**
- **preenchimento de macroporos com gel**
- **fissuras na interface pasta agregado**
- **fissuras nos agregados**

38



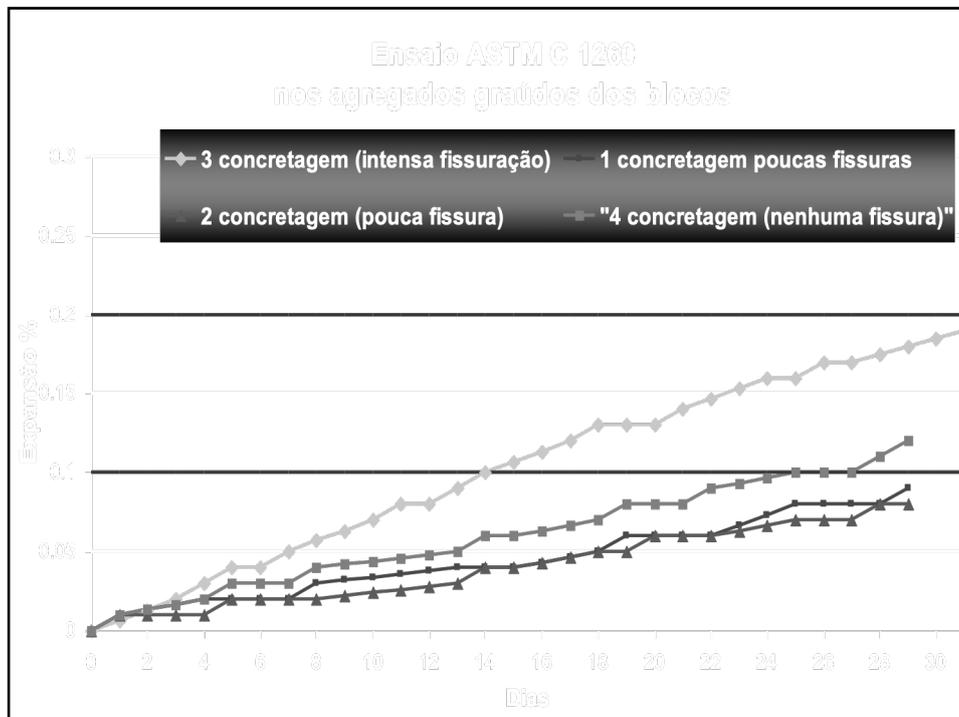
39



40

Características		Concretagem			
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Concreteira		A	A	B	A
Intensidade de fissuração		Pouca	Pouca	Intensa	Nenhum
Agregado graúdo	Classificação	Granito porfirítico	Granito porfirítico	Gnaisse cataclástico/milonito	Granito porfirítico
	Estrutura	Maciça	Maciça	Foliada	Maciça
	Minerais reativos	Quartzo deformado com extinção ondulante	Quartzo deformado com extinção ondulante	Quartzo deformado com extinção ondulante e quartzo microcrist	Quartzo deformado com extinção ondulante

41



42

externamente

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

43



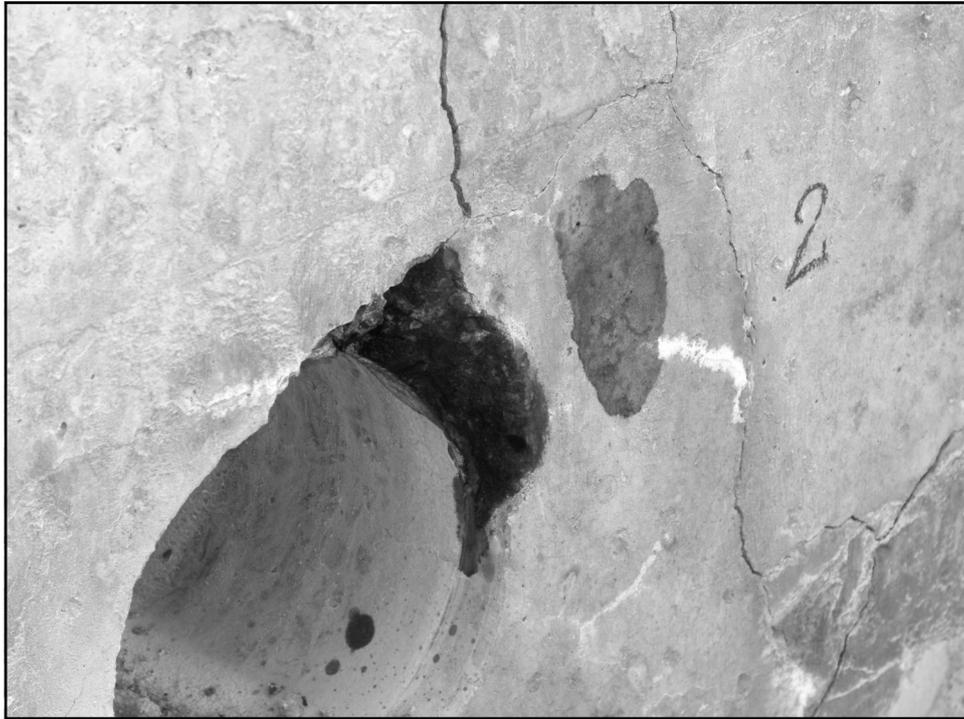
44



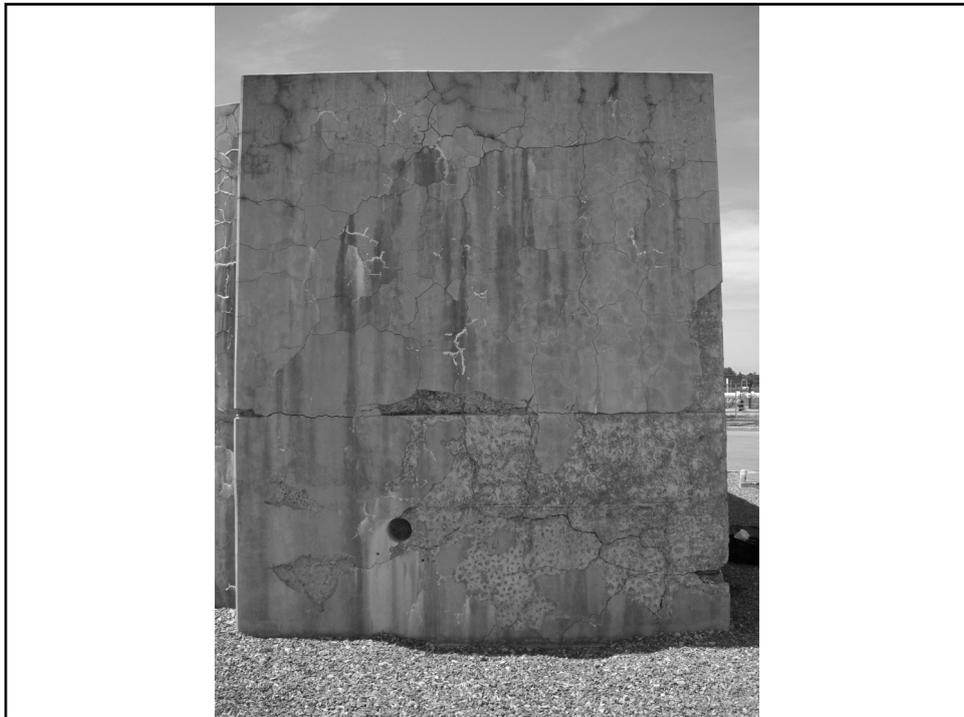
45



46



47



48



49

Inspeção e Diagnóstico

50

Métodos de Ensaio

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

51

Métodos de Ensaio

- **Observação visual**
- **Extração testemunhos**
- **Modulo elasticidade**
- **Análise petrográfica**
- **Análise microscópio**
- **Ensaio de barras de argamassa**
- **Ensaio de prisma de concreto**

52

Diagnóstico de reação álcali-agregado em blocos de fundação

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

53

o problema

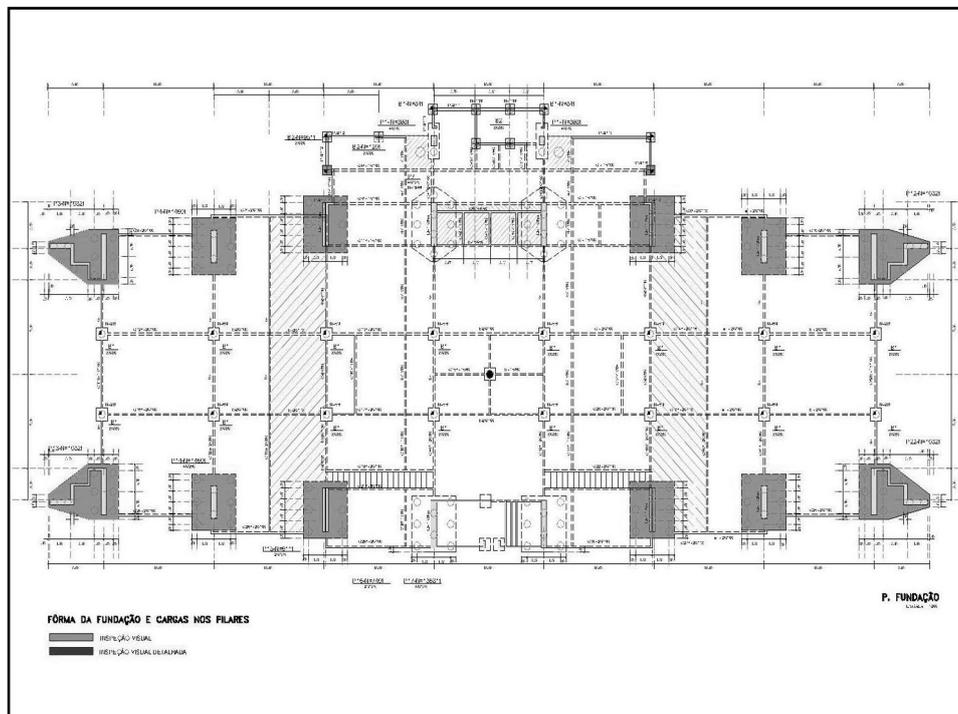
- ▼ **foi observado fissuras em um dos blocos de fundação**
- ▼ **após a constatação do fato, foram escavados outros blocos, os quais apresentaram manifestações patológicas similares**

54

Edifício Habitacional

- ▼ 13 pavimentos
- ▼ Idade 12 anos
- ▼ estacas pré-fabricadas centrifugadas;
- ▼ cargas elevadas nos blocos de fundação;
- ▼ $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$;
- ▼ alta umidade do solo na época da inspeção.

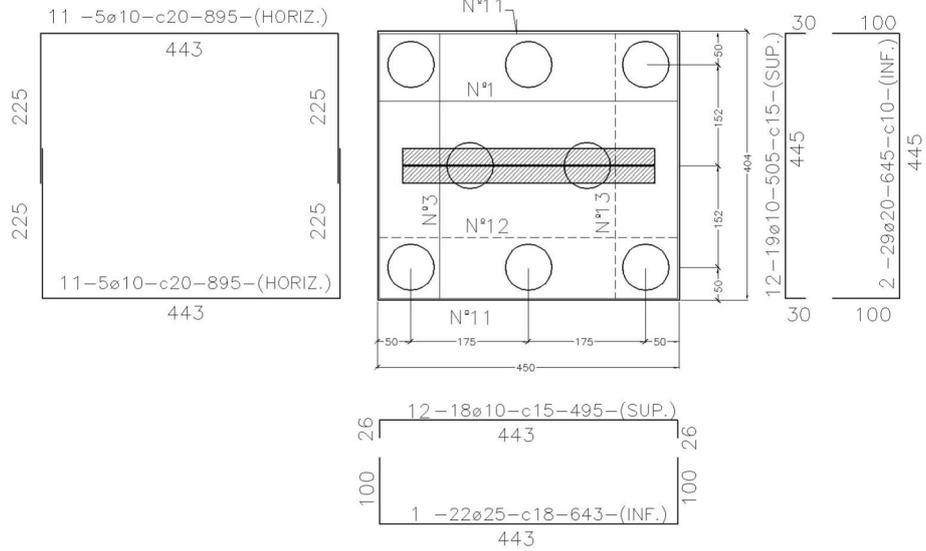
55



56

blocos de fundação

$$B(P5+P6)=B(P9+P10)=B(P15+P16)=\frac{B(P95+P20) - (4x)}{4}$$



57



58



59



60



61



62

Ensaaios

▼ Extração de testemunhos

- Avaliação da profundidade e da direção das fissuras e trincas no interior dos blocos;
- Análise petrográfica do concreto;
- Resistência à compressão;
- Resistência à tração na compressão diametral;
- Módulo de elasticidade;

▼ Ensaio acelerado das barras de argamassa do agregado graúdo extraído dos testemunhos;

▼ Percentual do teor álcalis solúveis no concreto

63

Ensaio petrográfico

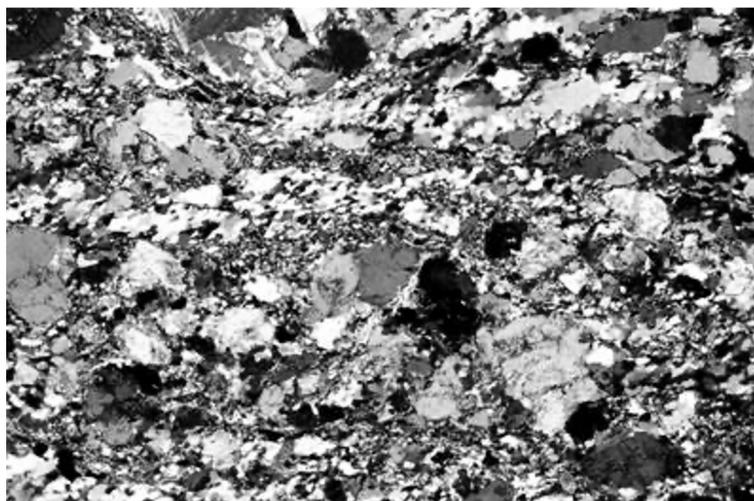
▼ Agregado graúdo

- Tipo de Rocha : Metamórfica
- Class. petrográfica: Milonito
- Textura : Milonítica

- Minerais reativos :
Quartzo deformado com extinção ondulante, quartzo recristalizado e quartzo fino.

- Reatividade Potencial: reativo

64



fotomicrografia do agregado, onde pode ser vista a textura fina dos grãos

65

Concreto

▼ Resistência à compressão

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

66

Concreto

▪ res. à tração na compressão diametral

Test.	res. à tração na compressão diametral (MPa)	res.à tração na compressão diametral estimada (MPa)	%
F3-A	1,8	2,9	62
F6-A	2,1	2,9	72
F3-B	1,8	2,8	64

67

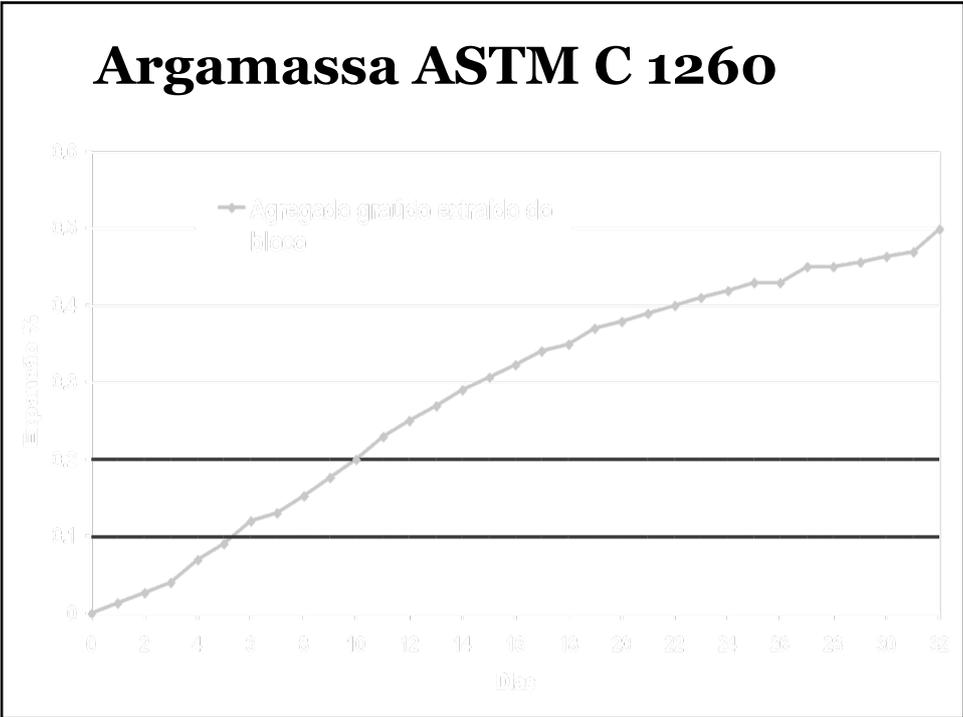
Concreto

▪ módulo de deformação

BLOCO	f_{ck} (MPa)	Resistência à compressão 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 6118/03

68



69

Terapia

70

Terapia

- 1. Reduzir acesso de água;**
- 2. Injetar sais de lítio;**
- 3. Cintar;**
- 4. Abrir juntas**

71



72



73



74

 **Ponte Paulo
Guerra
Recife, Brasil**

75



76



77



78

Paul War Urbanway Bridge

Recife PE → 2002

finished 1980 22 years old

foundation blocs $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

deck reinforced concrete structure

$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$

over river, near sea but no splash zone

79

Paul War Urbanway Bridge

Diagnosis:

Water analysis

pH = 7,5 Cl⁻ = 14.000 mg/L

Mg⁺⁺ = 900 mg/L SO₄⁺⁺ = 1.900 mg/L

SO₄⁺⁺ in concrete = 0,35% a 0,62%

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

80

Paul War Urbanway Bridge

Diagnosis:

- concrete cover $\mu = 16\text{mm}$ $\sigma = 2,5\text{mm}$
- carbonation $< 12\text{mm}$
- E_{corr} $10\text{mV to } - 450\text{ mV}$
- i_{corr} $0,07\text{ to } 0,31\ \mu\text{A}/\text{cm}^2$
- ultra sound $1600\text{ to } 3800\text{ m/s}$

81

Paul War Urbanway Bridge

Diagnosis:

- concrete strength (cores) $f_{cm} = 28\text{MPa}$
- elasticity modulus $5\text{GPa to } 30\text{GPa}$
- petrography analysis
- “alkali-aggregate evidence, no ettringite
secondary evidence”

82



83



84



85



86



87



88

Paul War Urbanway Bridge

Solution:

→ for corrosion → classic “cut and fill”

**→ for foundation reinforced concrete
blocs with alkali-aggregate reactions in
advanced level**

**“new foundations, new blocs, maintain
deck only”**

89

Paul War Urbanway Bridge

alternativas

- demoler
- construir otra
- sales de Lítio
- zunchar

90

Paul War Urbanway Bridge

**“just confine
the blocs with ??
compression
stress”**

> 4 MPa ?

91



Universidade de Sao Paulo, Escola Politécnica
Department of Civil Engineering Construction

ICCRRR 2008



**Surface protections to prevent alkali-
aggregate reactions (AAR) in concrete
structures**



MSc. Leandro Francisco Moretti Sanchez
Prof. Dr. Selmo Kuperman
Prof. Dr. Paulo Helene

92

- Last decades → many concrete structures are suffering from AAR;
- There is no consensus to how repair and reinforce damaged structures and each case needs to be study as an unique case;
- On the other hand, there is a consensus to face the problem → the prevention;
- However there are structures suffering from AAR and they need to maintain their intended function;
- For these structures, surface protections can be used with the intention of stopping or decreasing the expansion caused within the concrete.



(ANDRADE, 2006)

(HELENE, 2002)

93

Surface protections

- types for surface protections that can be used for concrete structures:
 - silicones, siloxanes and silanes: are best used as water repellents. these materials are not designed to resist chemical attacks;
 - cementitious coatings modified with latex: are used in mild chemical exposure conditions. this type of coating can also be used to waterproof concrete from the positive or negative side;
 - polyurethanes coatings (up to 0,13 mm per coat): are used to seal concrete for nondusting, cleanability, grafitty resistance, and resistance to mild chemicals;
 - epoxi coatings (up to 0,08 mm per coat): are designed for nondusting, cleanability, grafitty resistance, and resistance to water for a brief period.

94

Experimental procedures

- Aggregates and surface protections used:

4 aggregates vs 4 surfaces systems

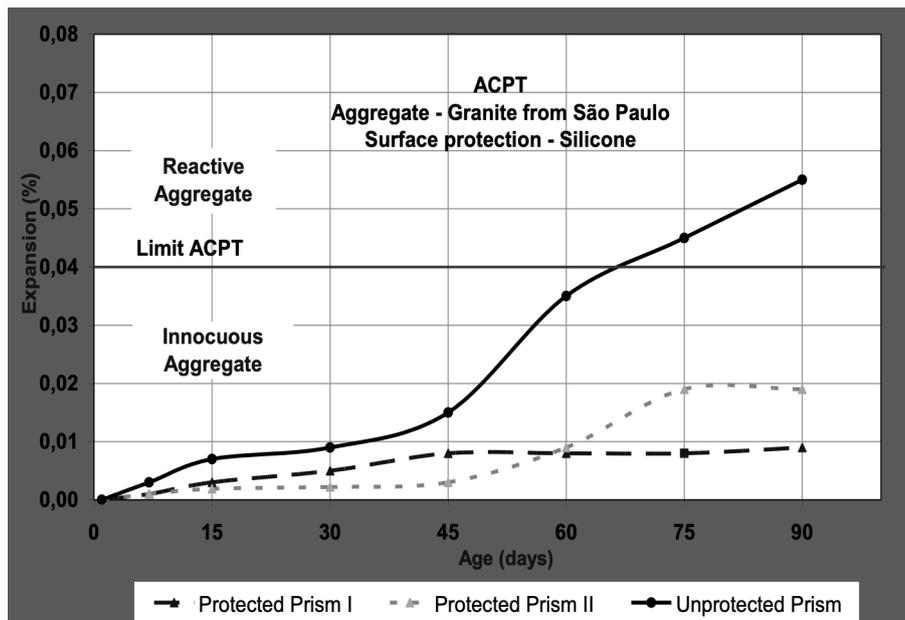
- ACPT was carried out with the four aggregates;

- Expansions were analyzed up to 3 months (90 days).

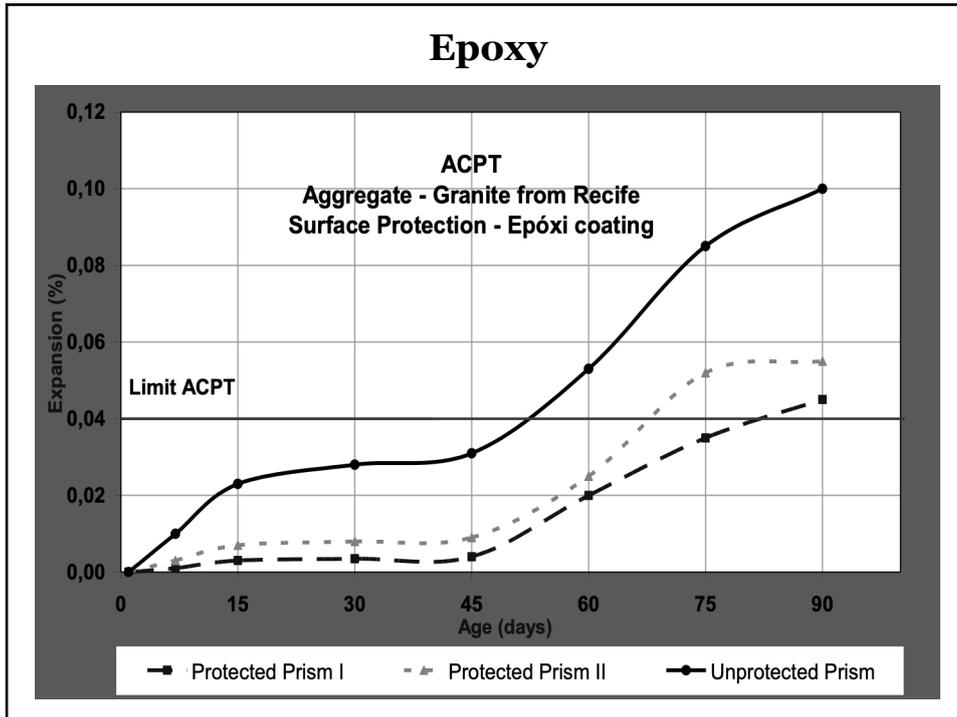


95

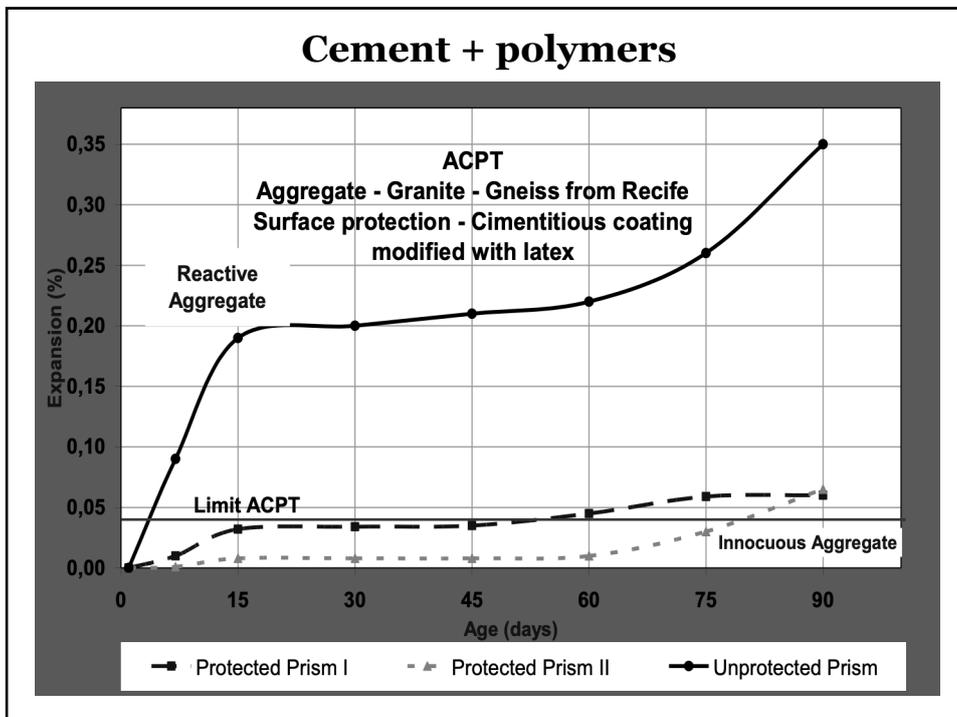
Silicone



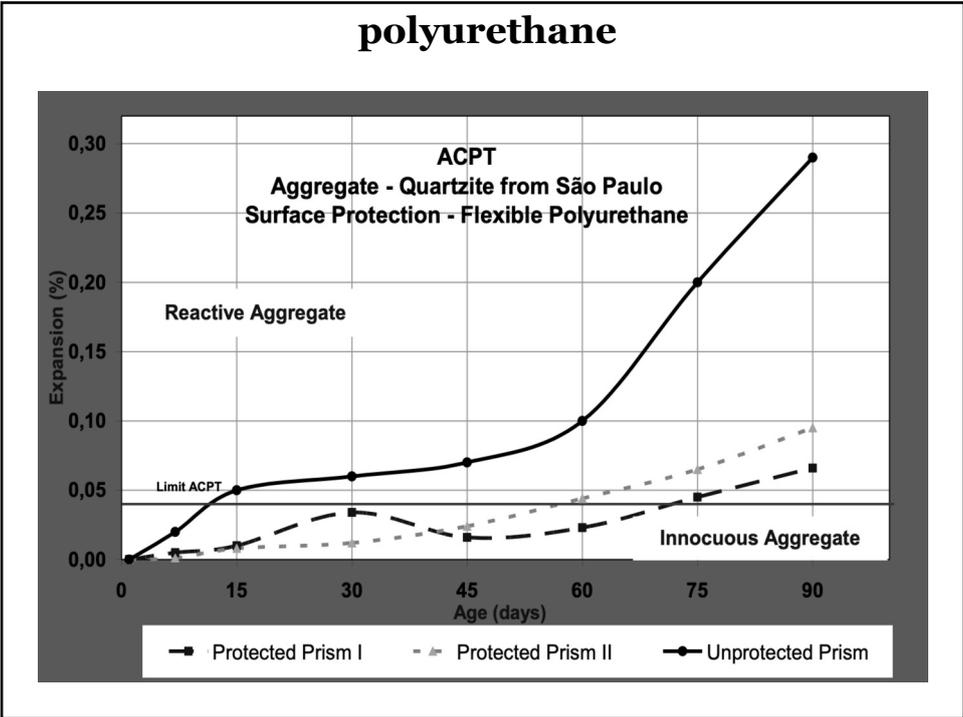
96



97



98



99

It is possible to notice that some types, like silicone and cementitious coating modified with latex, have a great potential to prevent expansions caused by AAR.

On the other hand, coatings like flexible polyurethane did not demonstrate potential to work well against AAR expansions.

100

Profilaxia

101

Como 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)

102

Como prevenir?

3. Controlando reatividade no concreto

Método de barras adição mineral ASTM C 342 & 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)

103

Como prevenir?

4. Usando adições

Método de barras adição mineral ASTM C 342 & ASTM C 441 (6 meses)

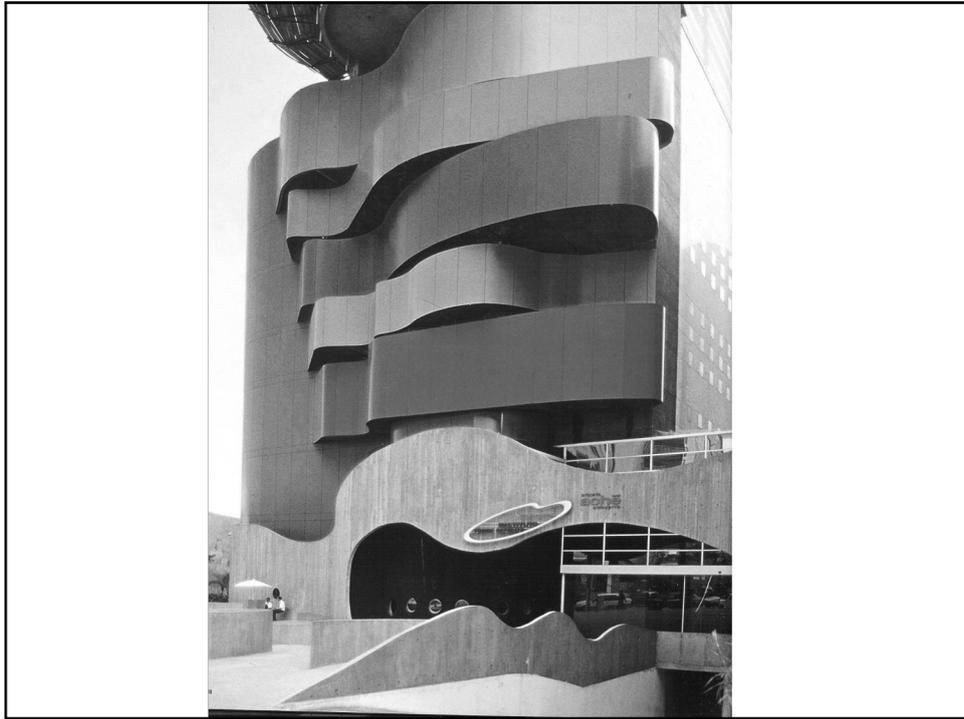
Eficácia de adições ASTM C 1567

microsílica, metacaulim, fly-ash, escória

5. Impermeabilizando

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

104



105



106