



## **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**

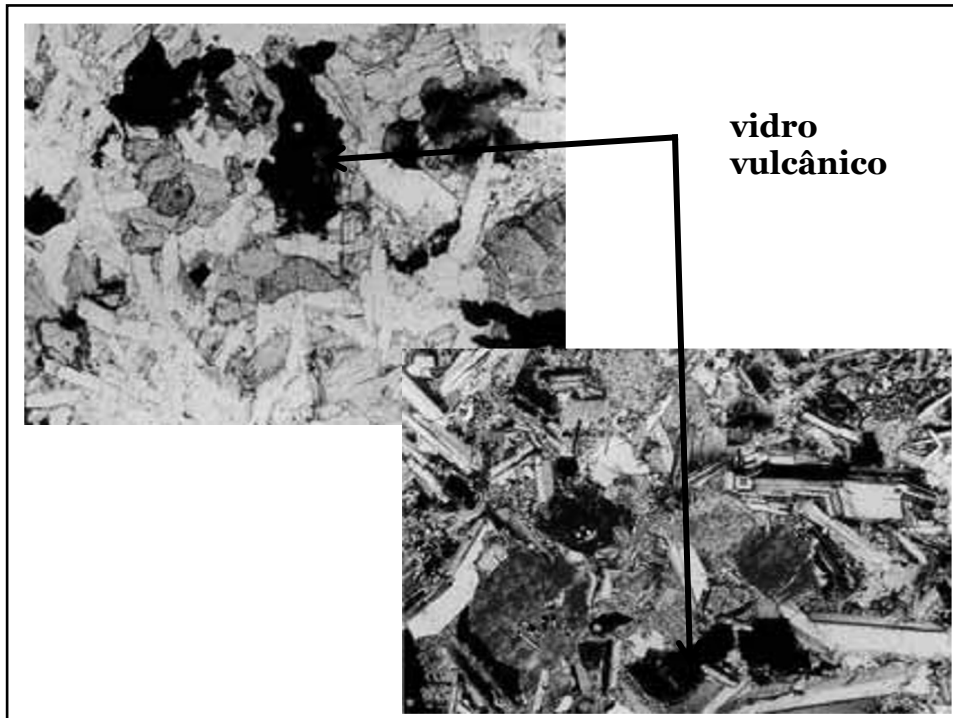
8

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

9

# **Agregados Reativos**

10



11

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

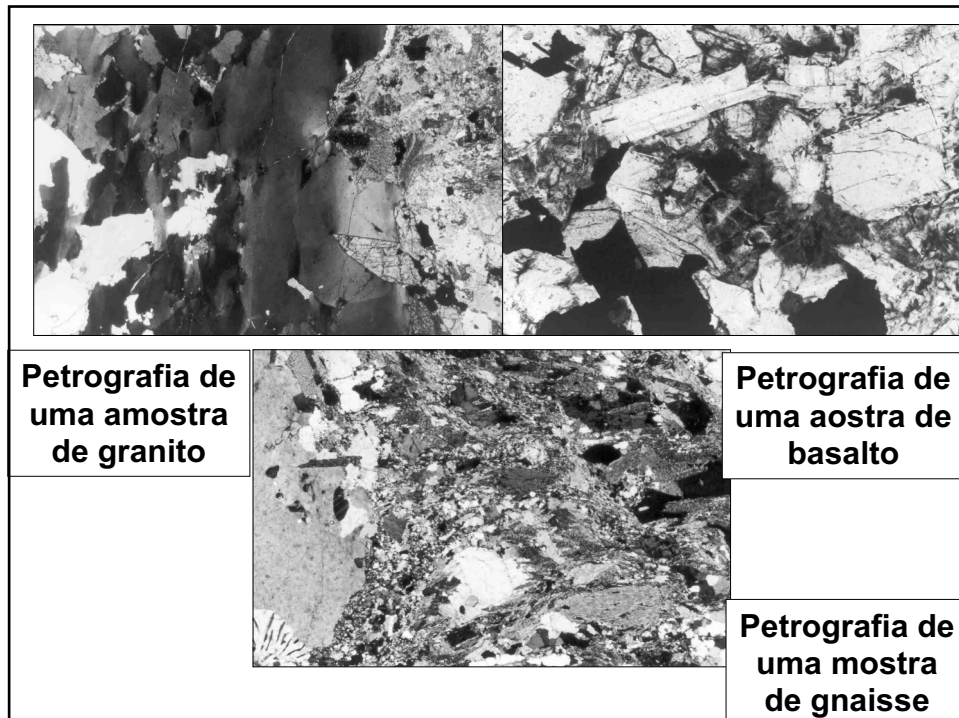
*Valduga & Paulon, 2004*

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

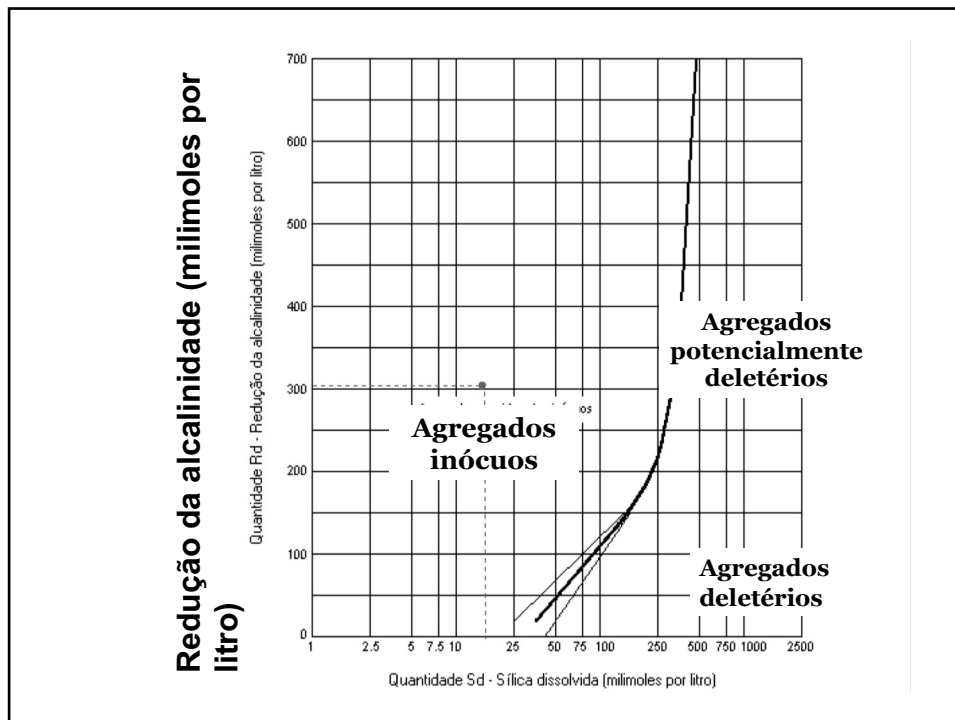


14

**Método químico:**

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

15



16

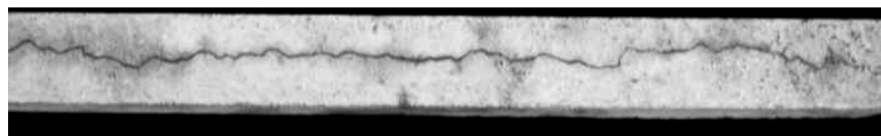
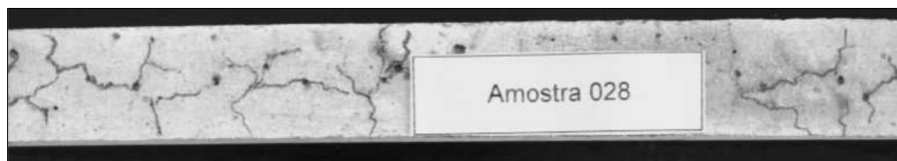


***Método acelerado:***

- ✦ ***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

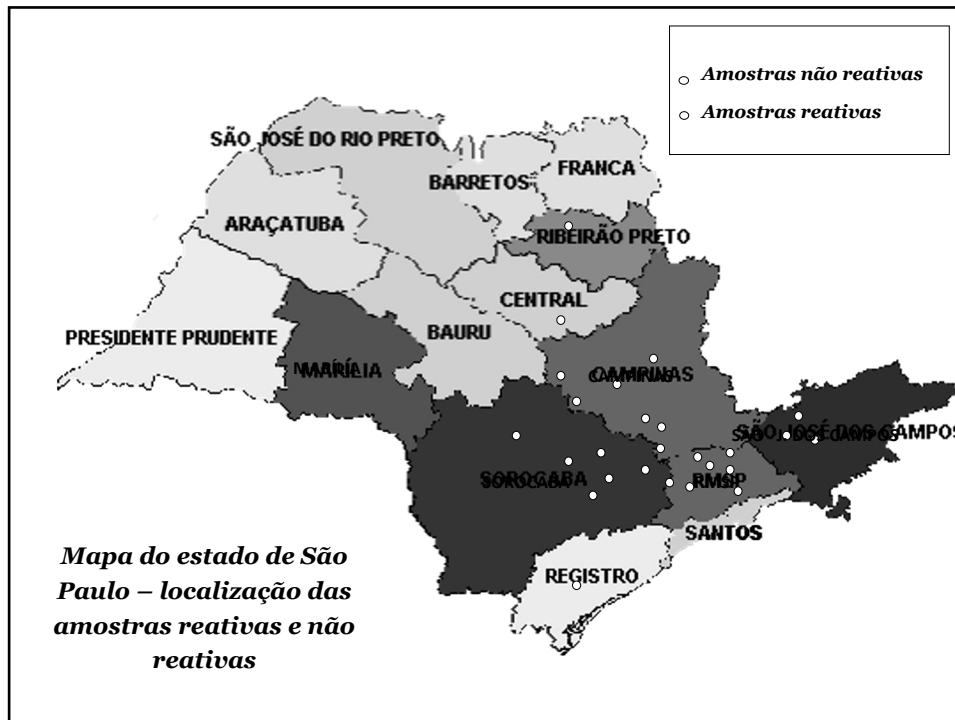
*Microscopia eletrônica de varredura:*

*busca de gel de reação*

19



20



21

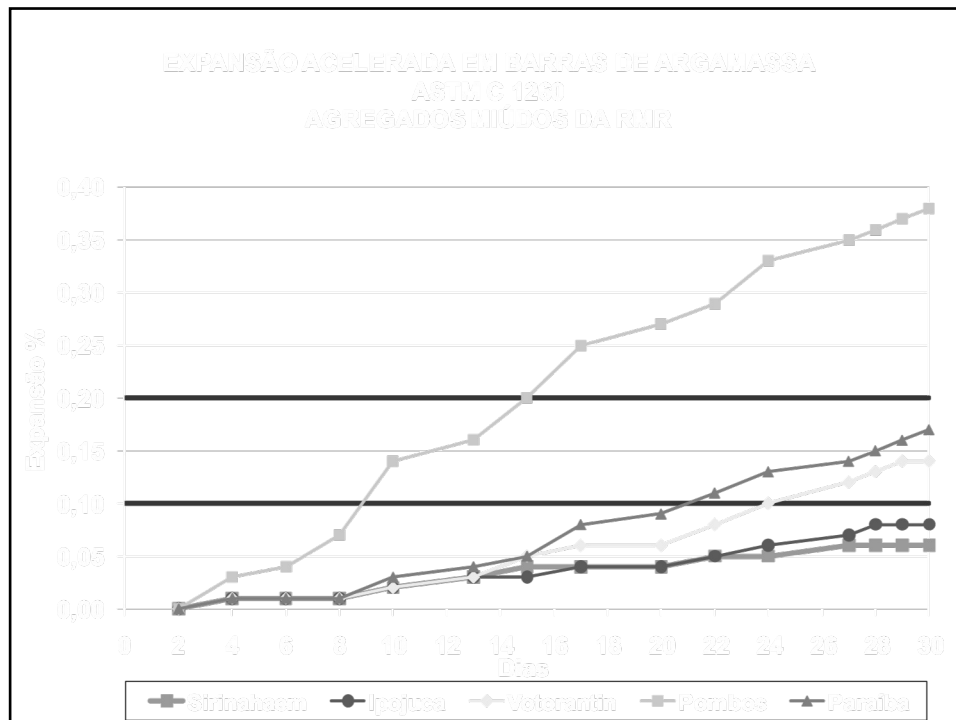
## Investigação: Reatividade de agregados na Região Metropolitana do Recife

*Andrade; Silva; Hasparyk & Silva, 2008*

22

# agregados miúdos

23



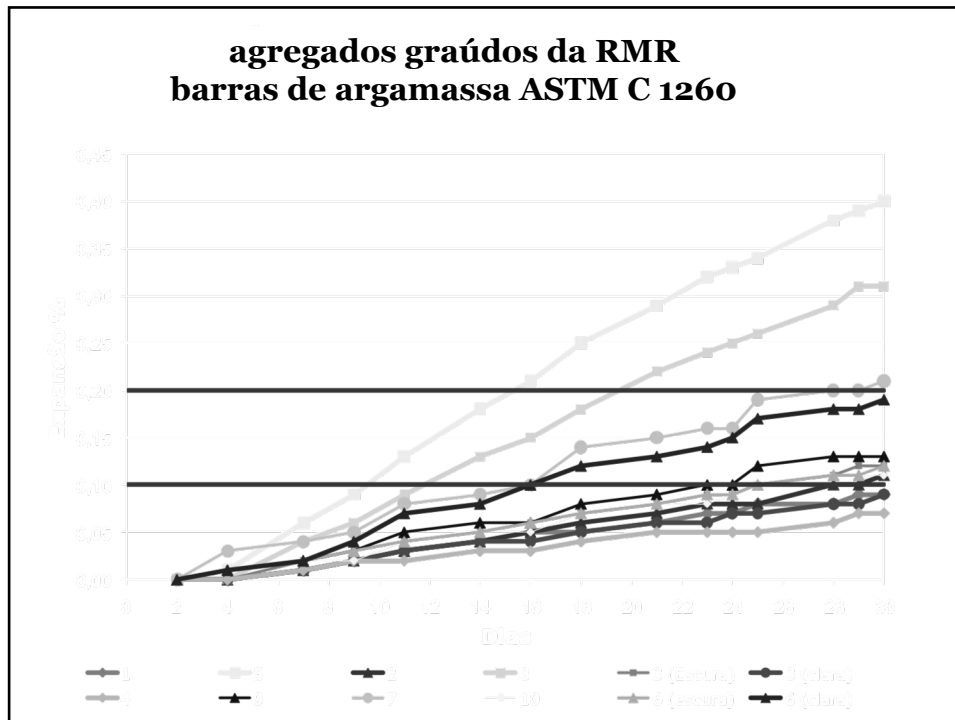
24

# agregados graúdos

25

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

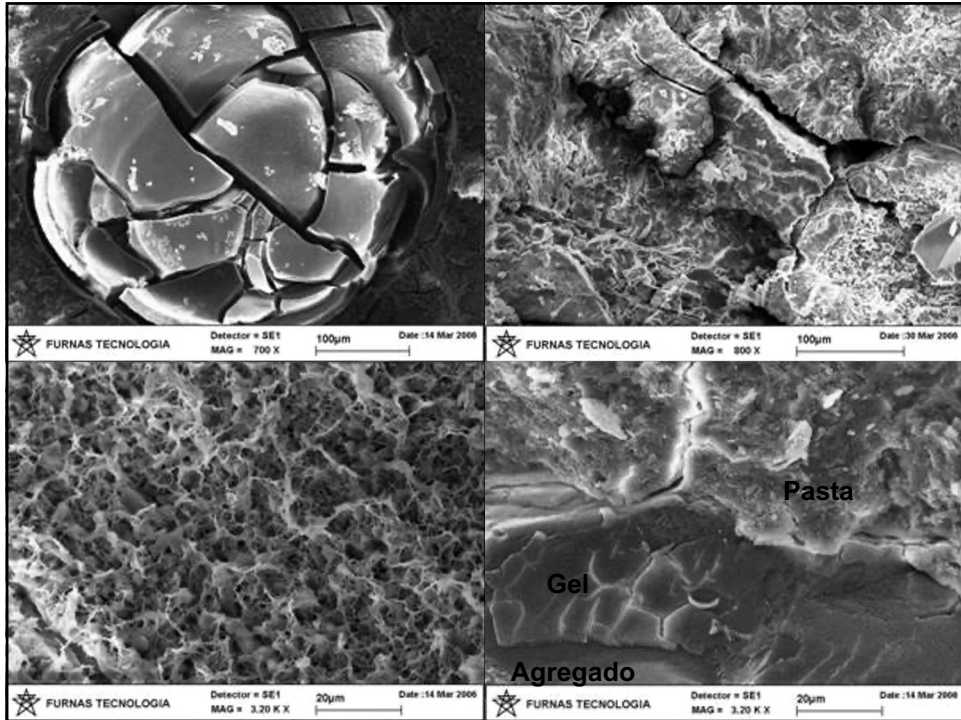
26



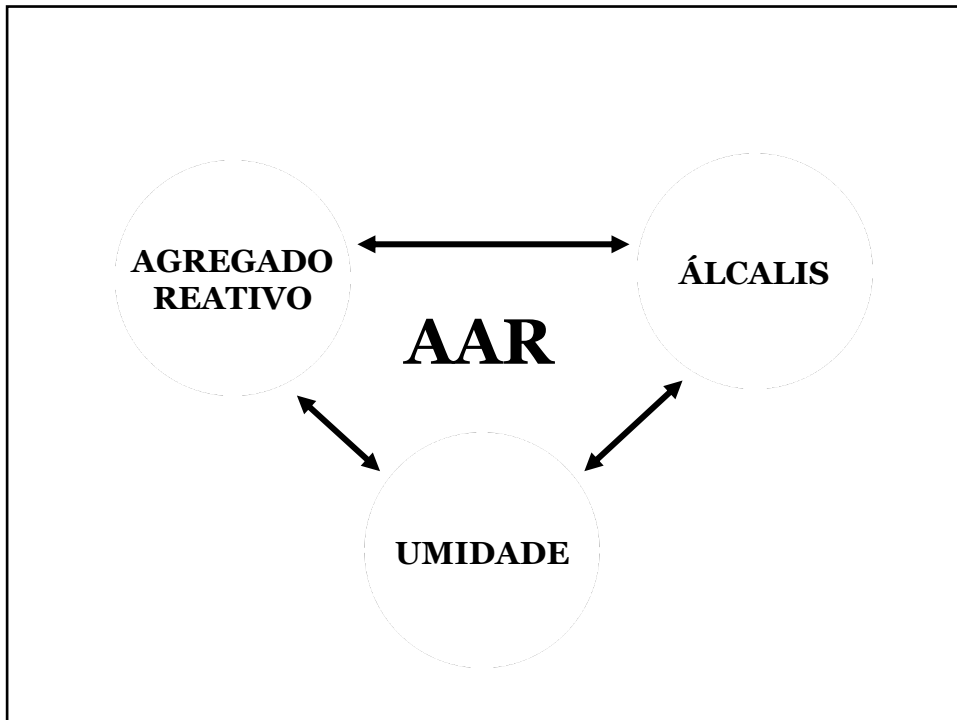
27

análise  
microestrutural das  
barras de argamassa

28



29



30

# Álcalis

31

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

- $\text{Na}_2\text{O}$  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  $\text{m}^3$  do concreto

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

32



# **Umidade H<sub>2</sub>O**

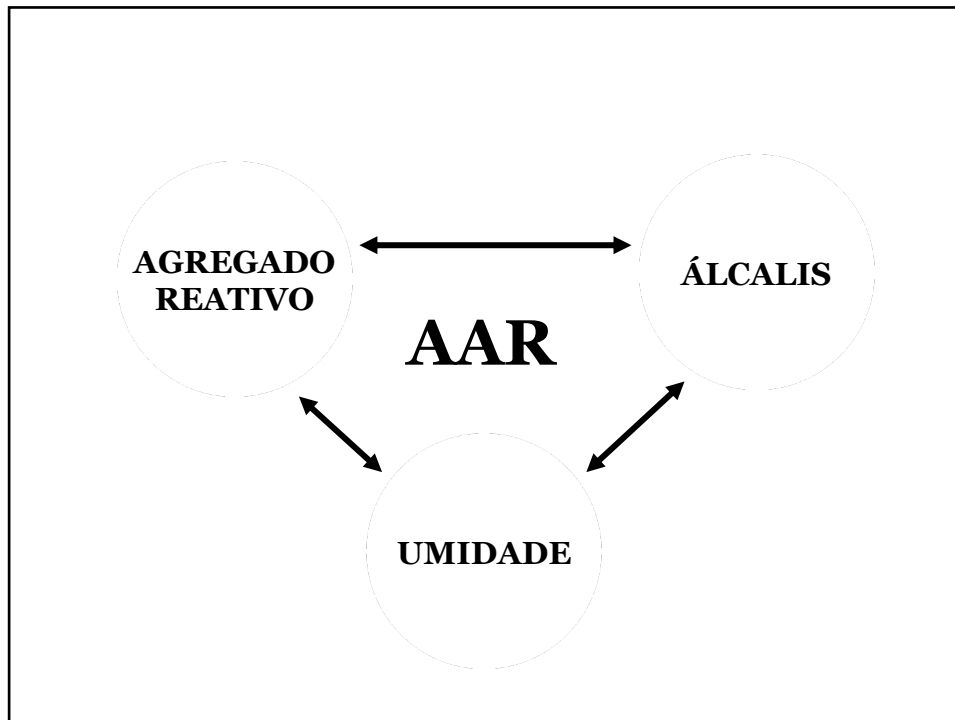
33

**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**

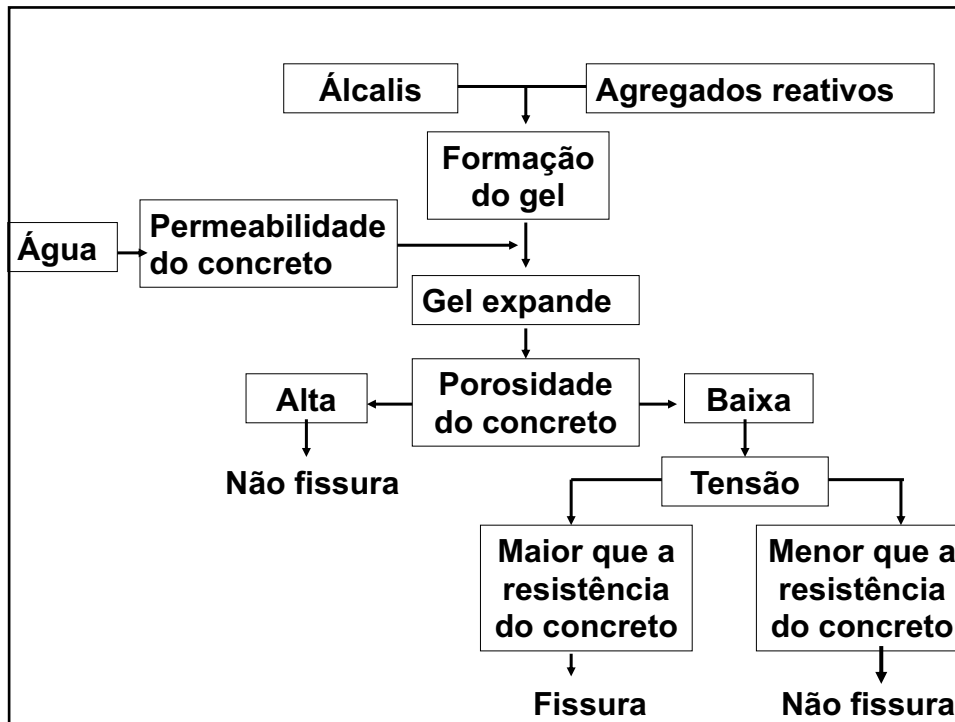
34



35

# Sintomatologia

36

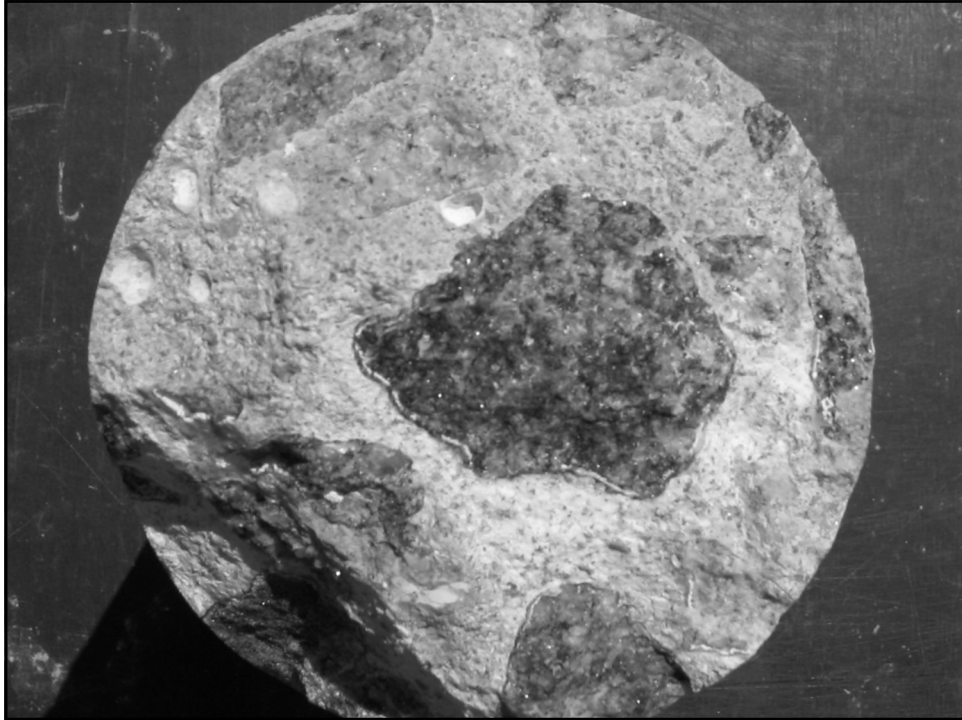


37

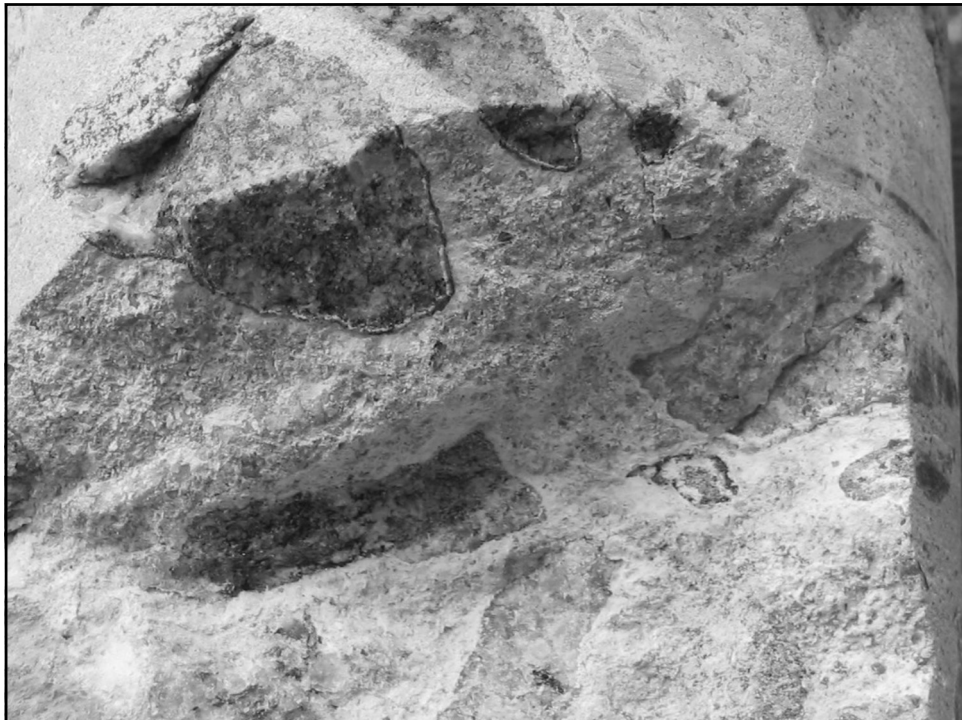
## internamente

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

38



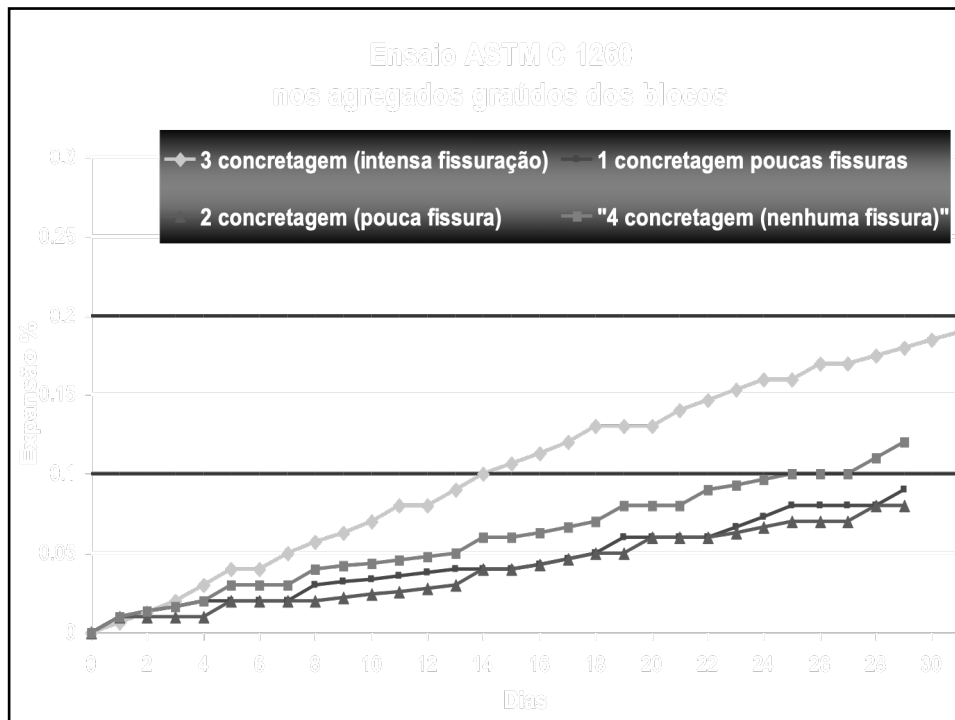
39



40

Características		Concretagem			
		1ª	2ª	3ª	4ª
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

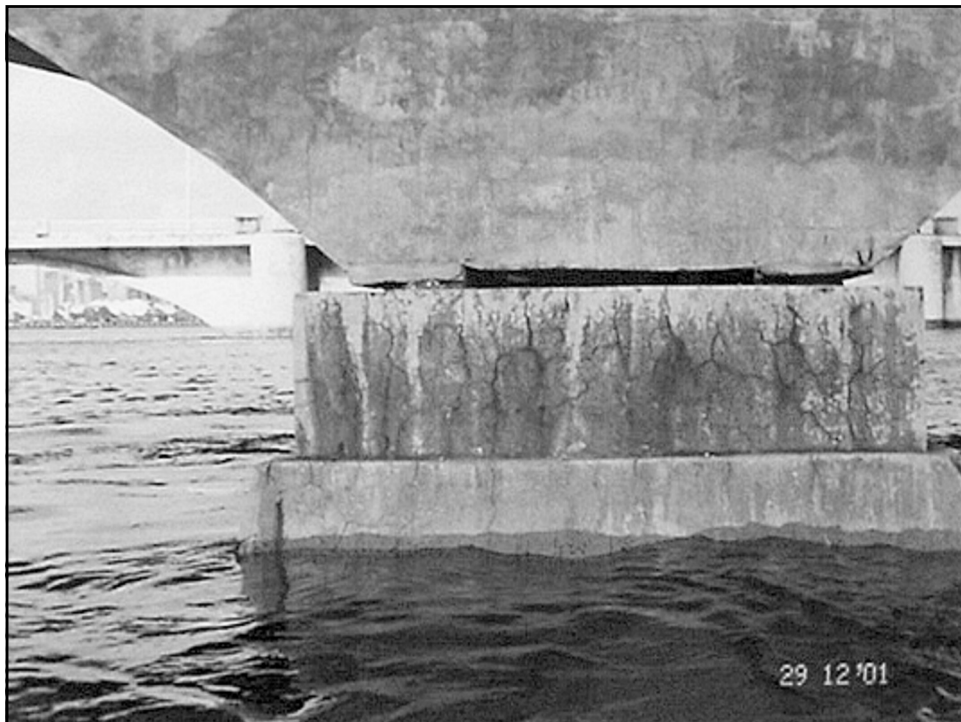


42

## **externamente**

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

43



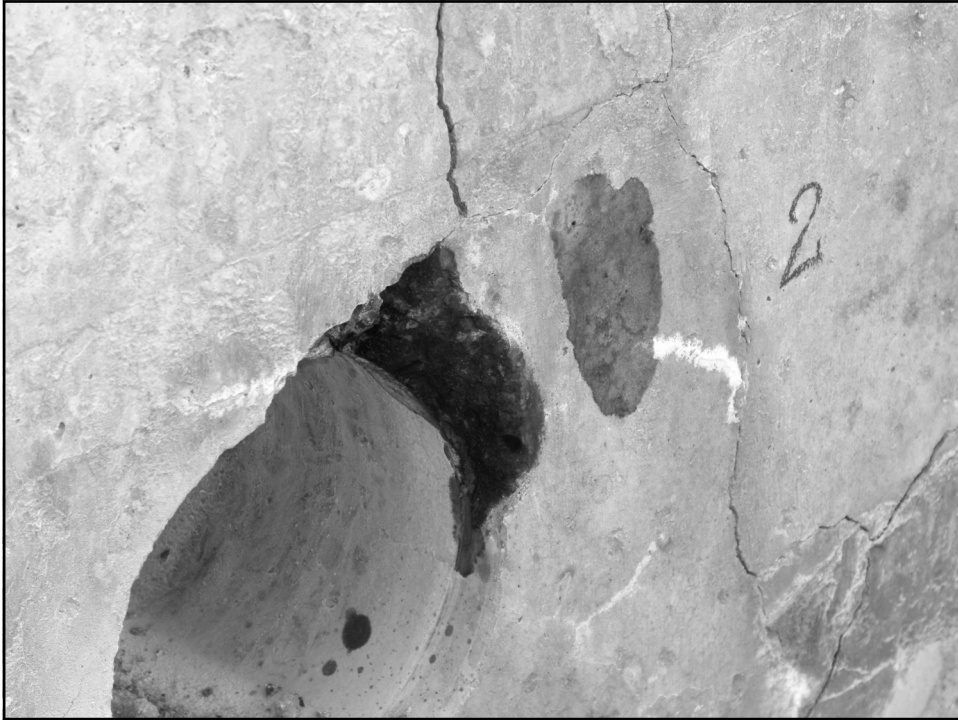
44



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**

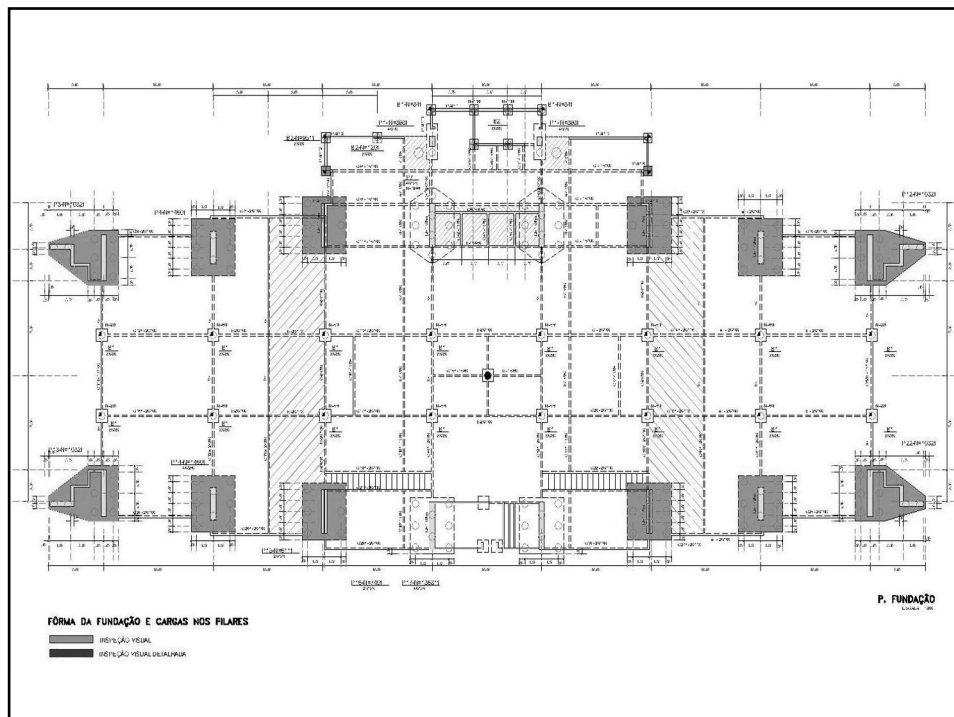
- ▼ **foi observado fissuras em um dos blocos de fundação**
- ▼ **após a constatação do fato, foram escavados outros blocos, os quais apresentaram manifestações patológicas similares**

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.

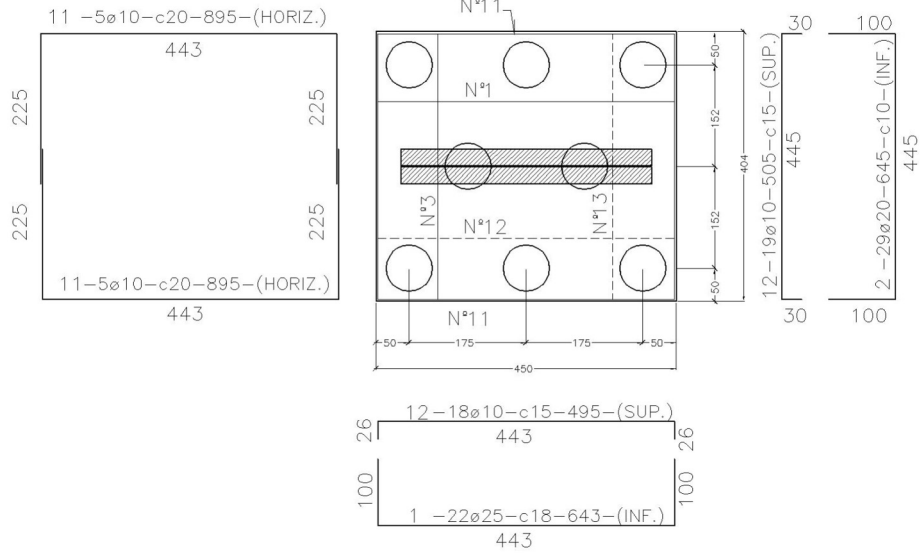
55



56

# blocos de fundação

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



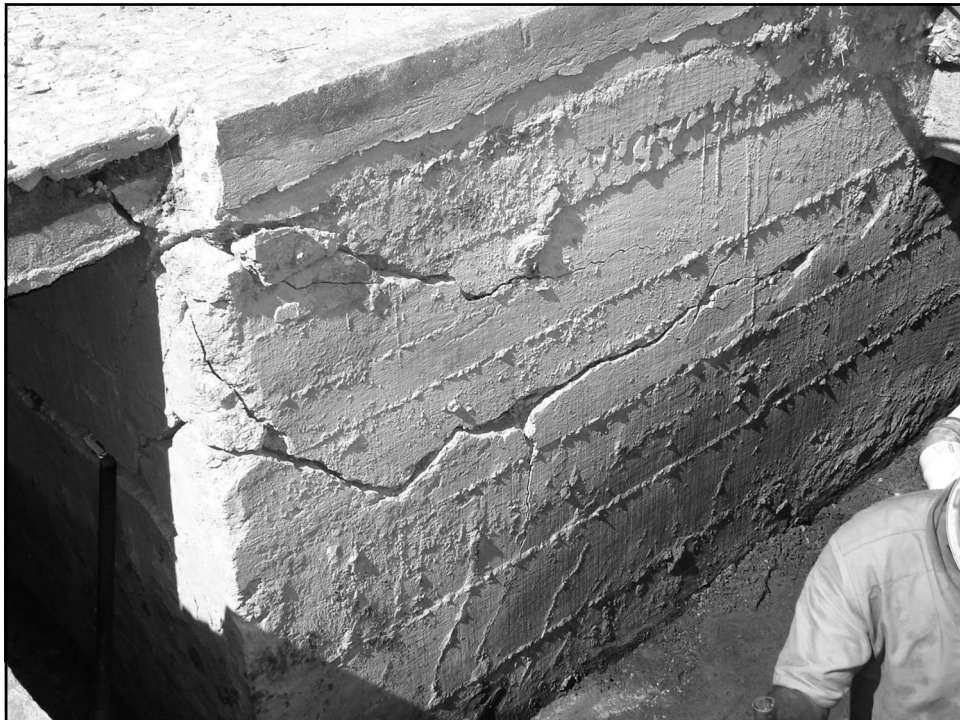
57



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

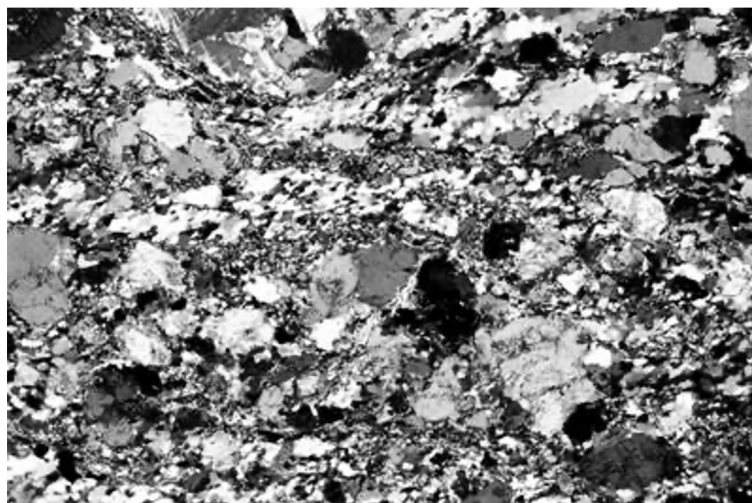
## **Ensaio petrográfico**

### **▼ 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**

<b>dados</b>	<b>bloco 22</b>	<b>bloco 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>

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

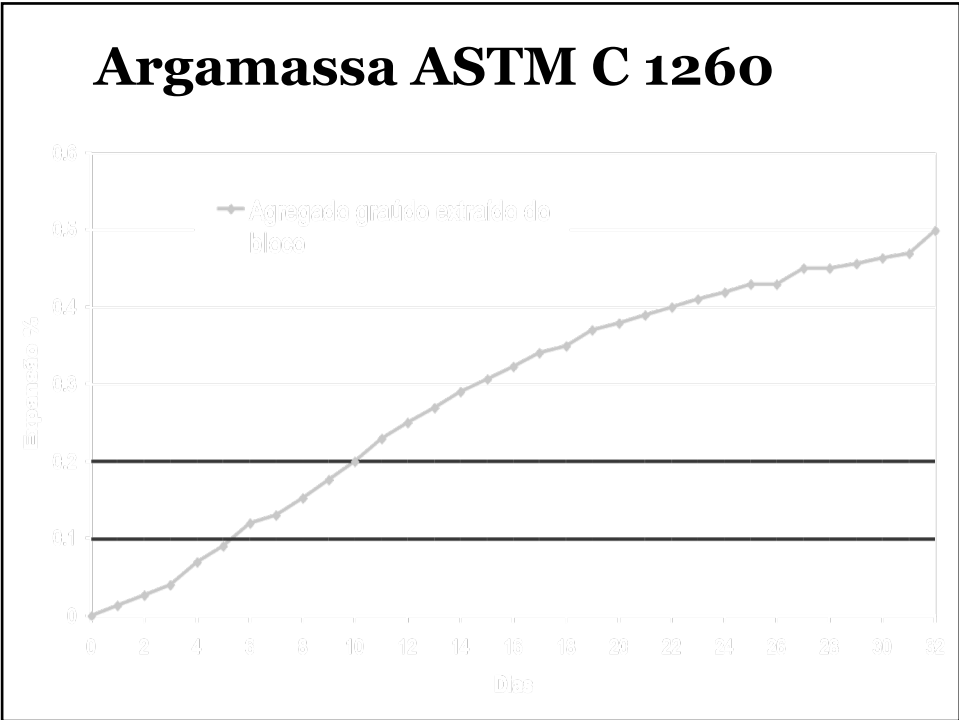
## Concreto

### ▪ 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**

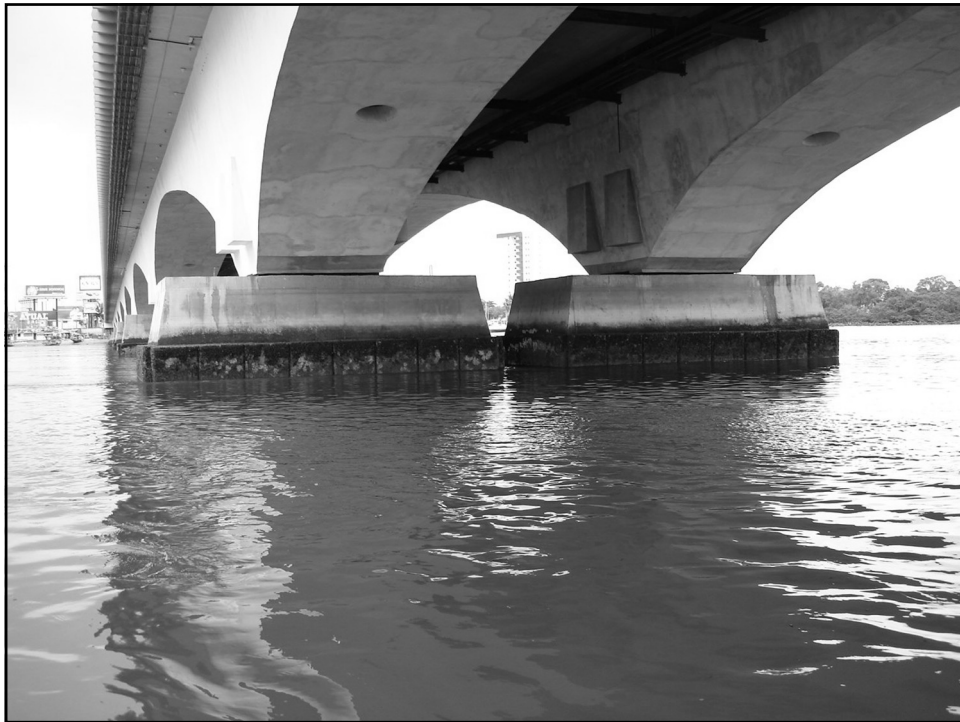
75



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<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> in concrete = 0,35% a 0,62%**

**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> 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               $< 12\text{mm}$
- $E_{\text{corr}}$                        $10\text{mV to } - 450\text{ mV}$
- $i_{\text{corr}}$                        $0,07\text{ to } 0,31\ \mu\text{A/cm}^2$
- 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

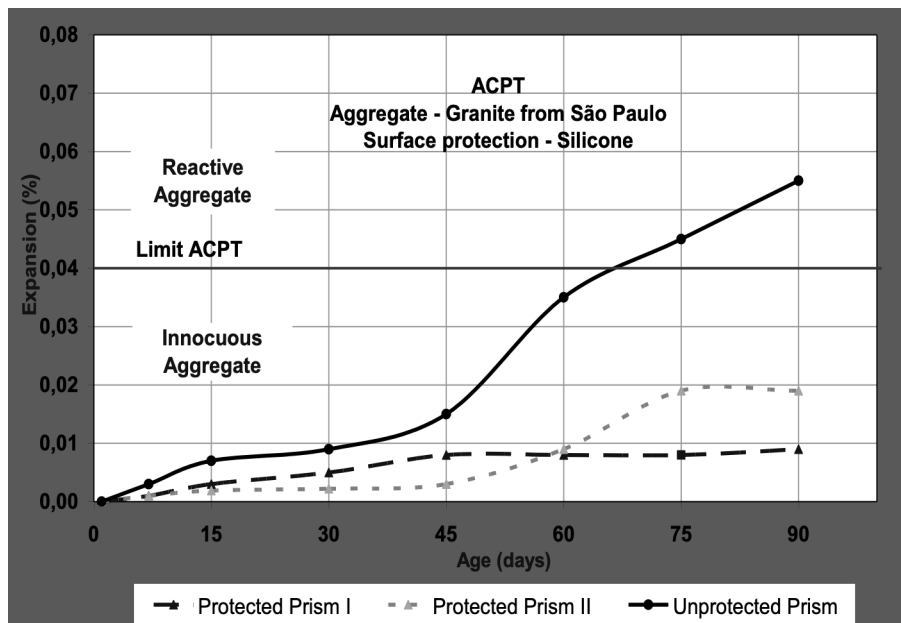
▪ACPT was carried out with the four aggregates;

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



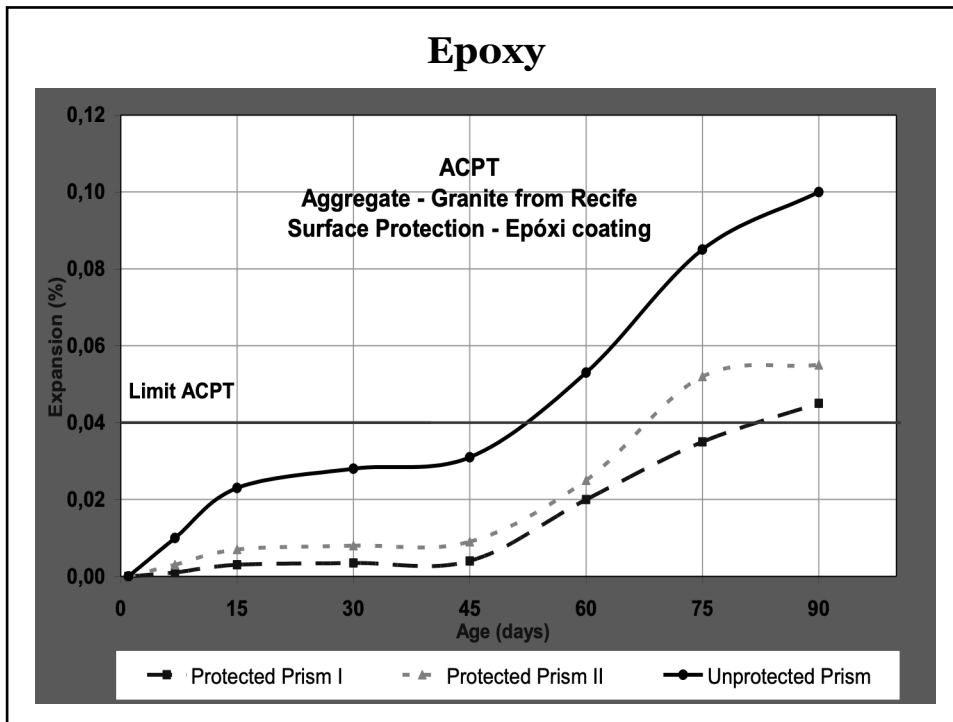
95

## Silicone

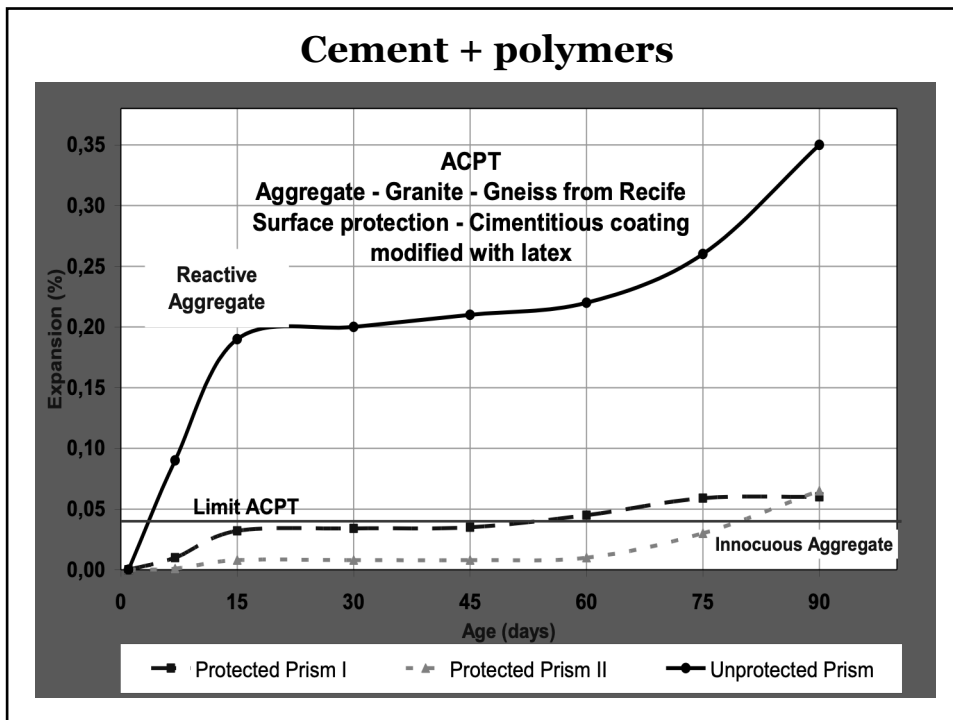


96



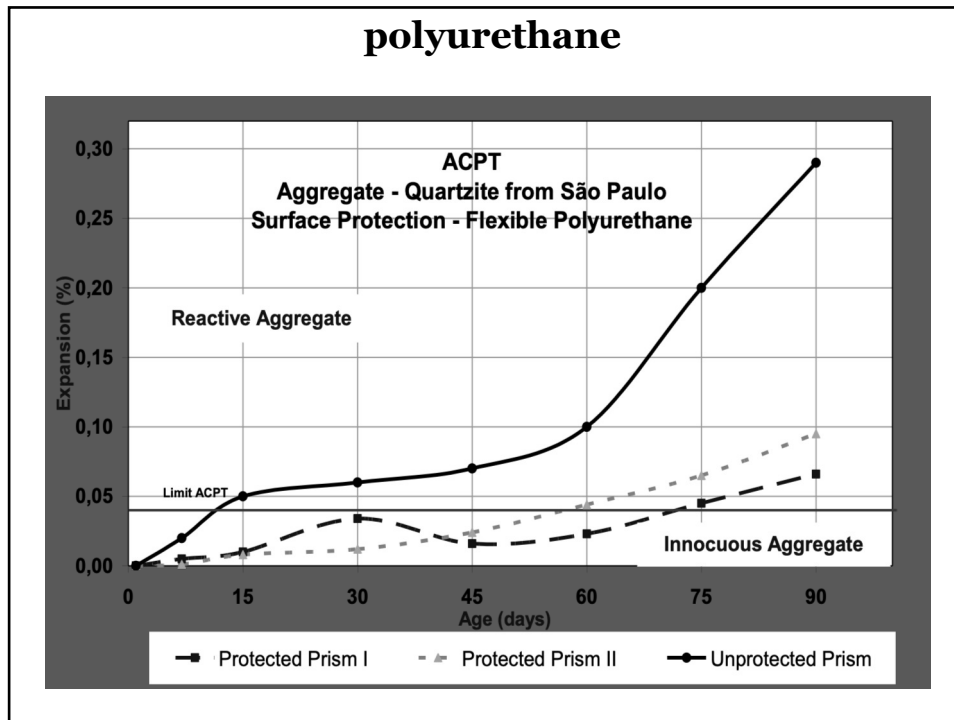


97



98

## polyurethane



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;

**Na<sub>2</sub>O equivalente < 0,6%**

**Total álcalis < 3kg/m<sup>3</sup>**

### 2. Controlando reatividade nos agregados

**Método químico ASTM C 289 (24h)**

**Visual análise 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)**

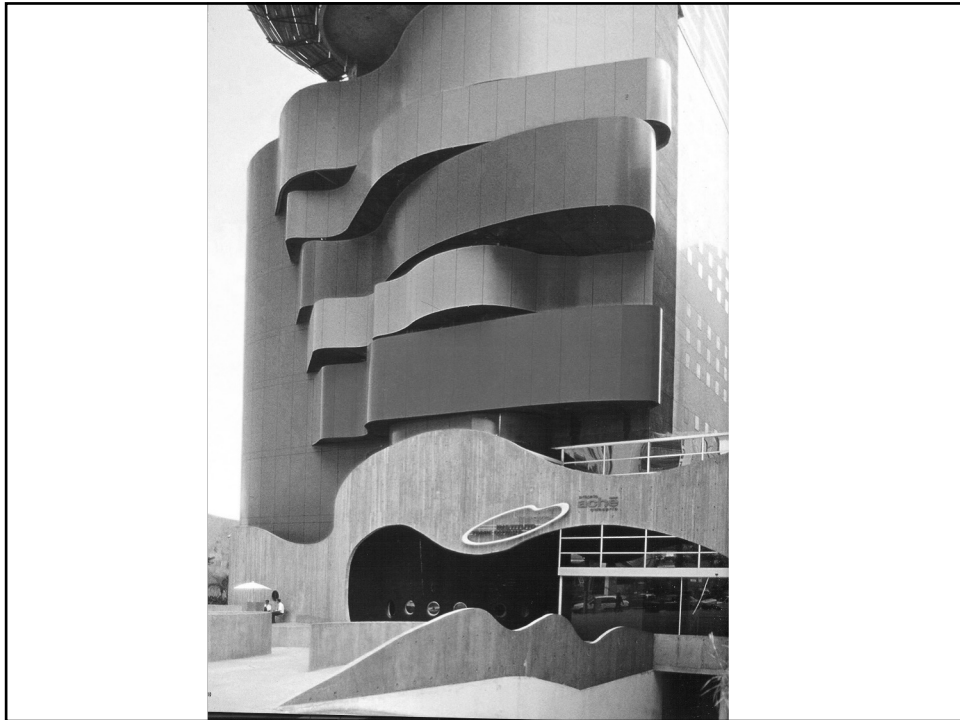
**Eficácia de adições ASTM C 1567**

**microsílica, metacaulim, fly-ash, escória**

### **5. Impermeabilizando**

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

104



105



106