



Durabilidade e Desempenho das Estruturas de Concreto.

ABNT NBR 15575



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto
IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Presidente ALCONPAT*

ASBRACO

20 de agosto de 2013

Brasília - DF

1

Conceitos

As estruturas devem ser adequadas para sua correta utilização durante a vida útil de projeto:

- ✓ Seguras
- ✓ Funcionais
- ✓ Suportar incêndio
- ✓ Duráveis
- ✓ Bonitas
- ✓ Sustentáveis

2

Recentes Avanços

Combinar Durabilidade com Sustentabilidade:

Pedro Castro-Borges & Paulo Helene.

El enfoque filosófico y conceptual de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado que se requiere para confrontar el cambio climático.

Paper de conferencia magistral: 12 p. Memorias del I Congreso Internacional Científico/Técnico de Ingeniería (CICTI 2007), Maracaibo, Venezuela, 4-9 de Noviembre de 2007.

3

Recentes Avanços

- ✓ **ISO 16204:2012. Durability: Service Life Design of Concrete Structures**
- ✓ ***fib* Model Code 2010. Concrete Structures**
- ✓ ***fib* Model Code for Service Life Design 2006.**

Helland, Steinar. Design for Service Life: Implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. Structural Concrete 14 (2013), n.1. p. 10-18

4

Estruturas de Concreto

Conceitos

- ✓ **Envelhecimento natural** *previsto; não incomoda*
- ✓ **Envelhecimento precoce** *não previsto; caro*
- ✓ **Durabilidade** *vida útil*
- ✓ **Projeto de manutenção** *saber e realizar*

5

Mecanismos de Deterioração e Envelhecimento

Aço / Armadura

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

Concreto

- ✓ lixiviação → água, chuva ácida e ácidos
- ✓ expansão → sulfatos e AAR
- ✓ Contaminação → fungos, fuligem, poeira ácida

Estrutura

- ✓ ações mecânicas, movimentos térmicos, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, ... fator humano

6

Ingresso de gases e fluidos *mecanismos de transporte*

- Permeabilidade
- Capilaridade
- Difusibilidade
- Migração
- Convecção

7

Recentes Avanços

ISO 16204:2012. Durability . Service life design of concrete structures
Estabelece 4 alternativas para verificar VU:

1. The full probabilistic method. *Método probabilista integral*
2. The partial factor method. *Método dos fatores parciais (característicos)*
3. The deemed-to-satisfy method. *Método prescritivo (a/c, cobrimentos, consumo, etc.)*
4. The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção da estrutura*

8

Recentes Avanços

ISO 16204:2012 Durability -- Service life design of concrete structures
Estabelece 4 alternativas para verificar VU:

The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção da estrutura, impedir contato com o meio agressivo*

IMPERMEABILIZAÇÃO

9

**qual o significado de
impermeabilização ?**

10

existe material impermeável à
água e aos gases?



*parede de 1mm, selado, vidro comum =
980anos para descer 10mm*

11

então um concreto de
16MPa que nem é
permitido por norma pode
ser “impermeável” ?

12



13

...e pode ser tão
“impermeável” quanto
uma chapa de aço ?

14



15

...então todos os produtos e
sistemas dito
“impermeáveis” são, na
verdade, permeáveis ?

16

...sim e muitos deles com permeabilidade inferior à de uma parede de concreto.

17

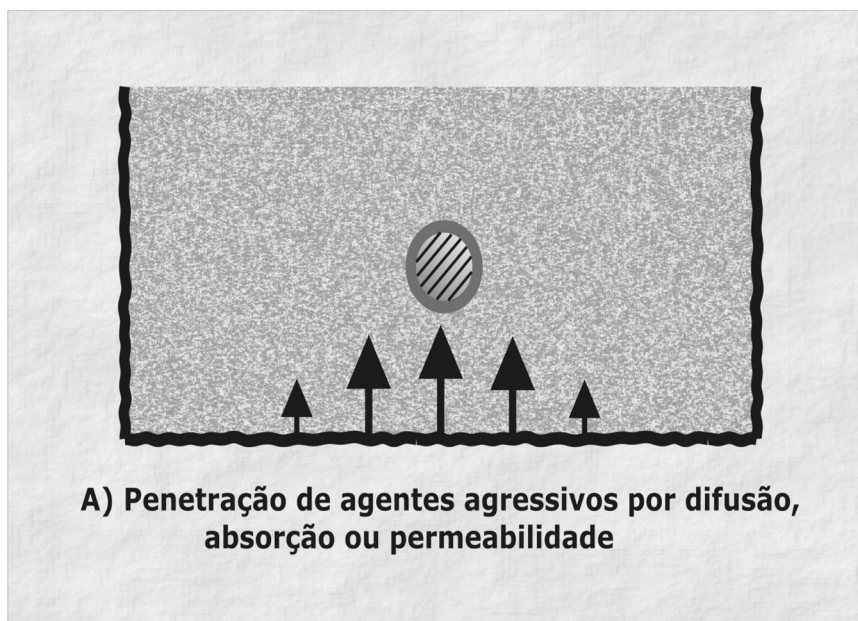
comparativo a água

Pintura acrílica →	8cm 20MPa e 2cm 50MPa
Poliuretano →	25cm 20MPa e 4cm 50MPa
Epóxi →	30cm 20MPa e 5cm 50MPa
Poliuréia →	35cm 20MPa e 7cm de 50MPa
Manta PVC →	28cm 20MPa e 4cm 50MPa
Manta betume →	10cm 20MPa e 2cm 50MPa

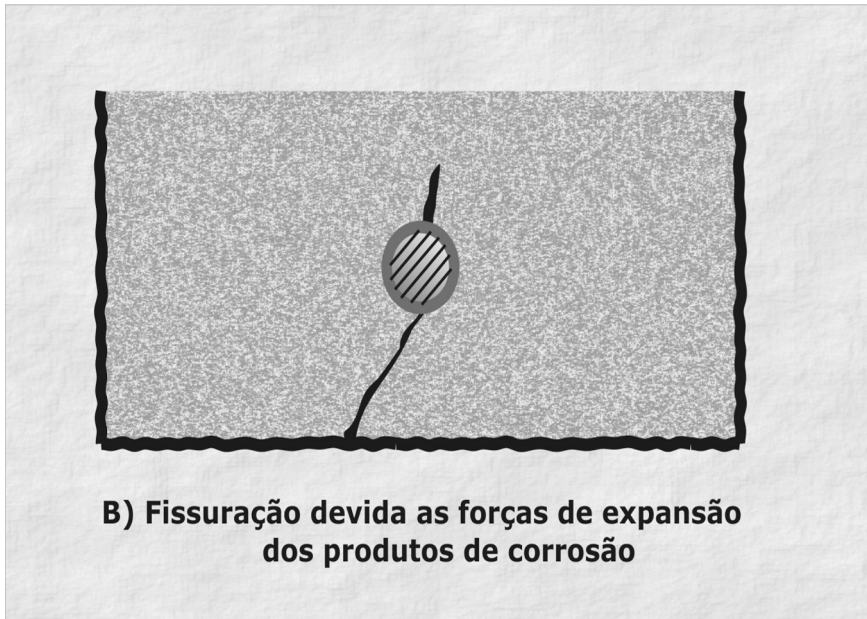
18

... então porque uma
estrutura nua, só com
concreto armado e
protendido em geral
nunca funciona ?

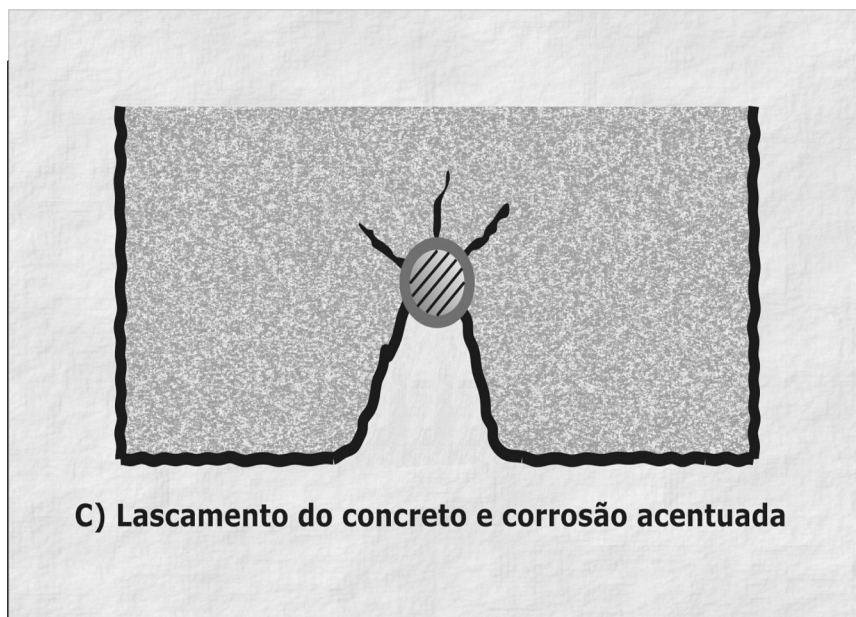
19



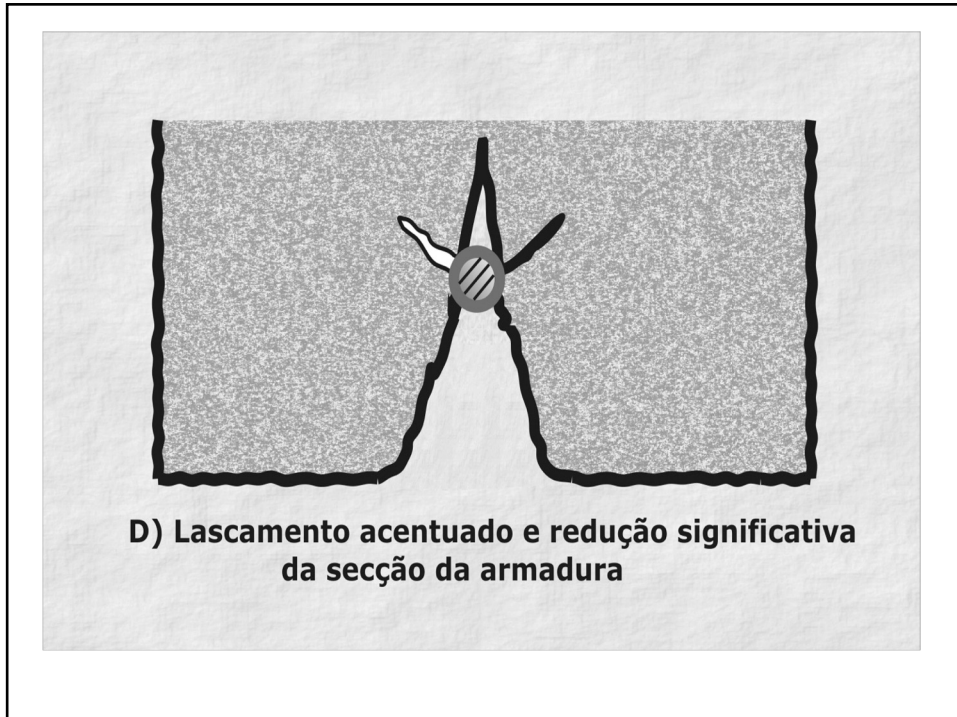
20



21



22



23



24

Aço → Corrosão por cloretos



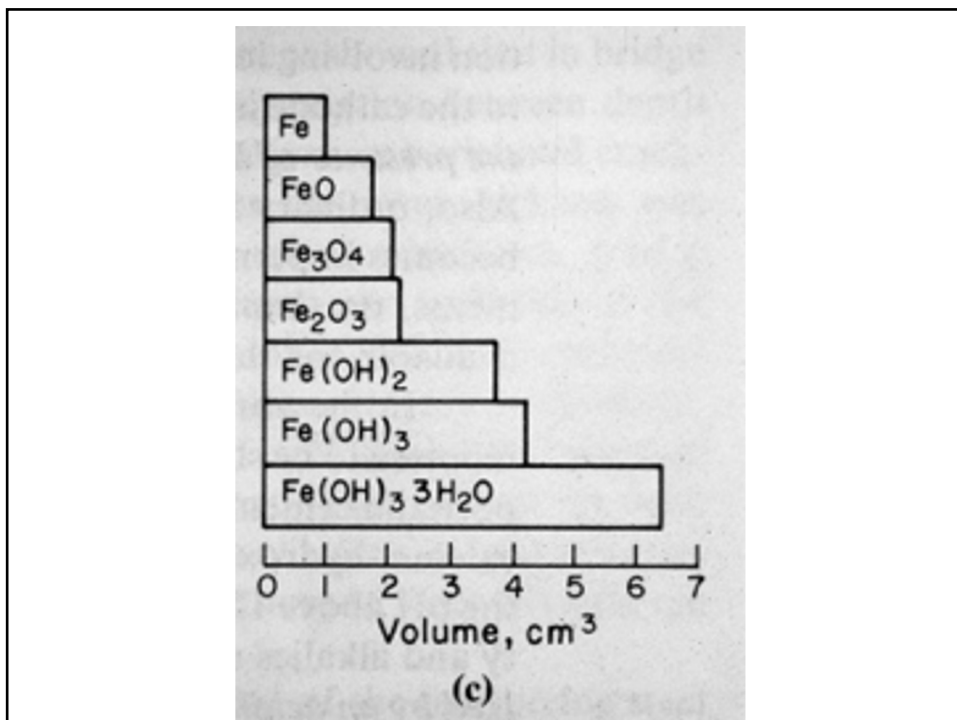
25



26



27



28

Concreto → *Lixiviação* (*água de chuva*)



**Cobertura do
Prédio da FAU-USP**



**Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP**

29

Concreto → *Lixiviação* (*chuva ácida*)



30



31

Concreto → Contaminação
fungos, poeira, fuligem



32



33



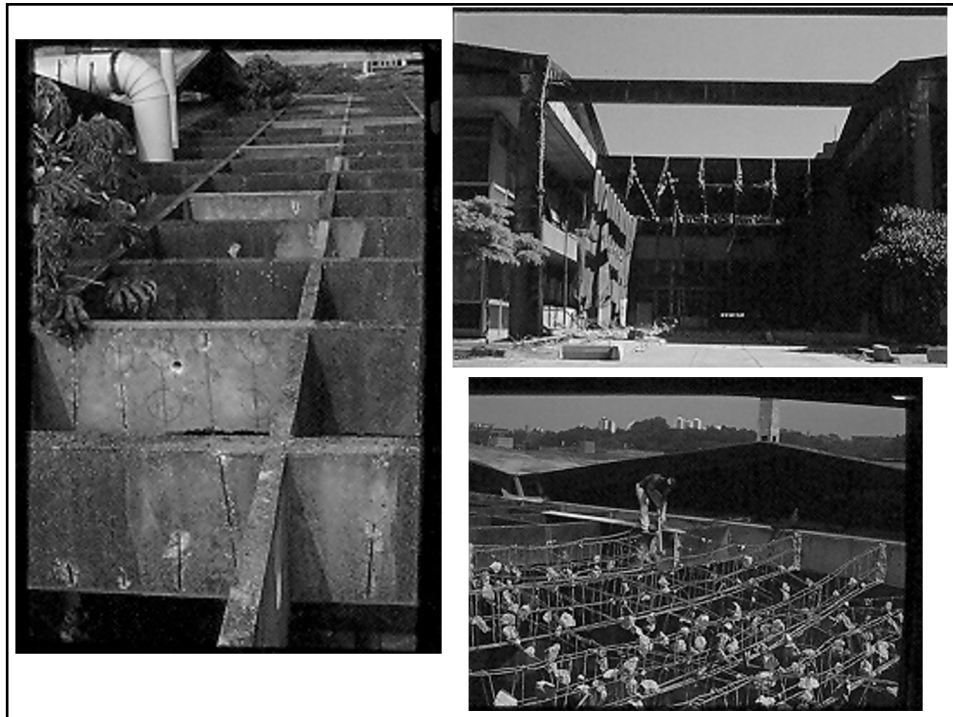
34



35



36



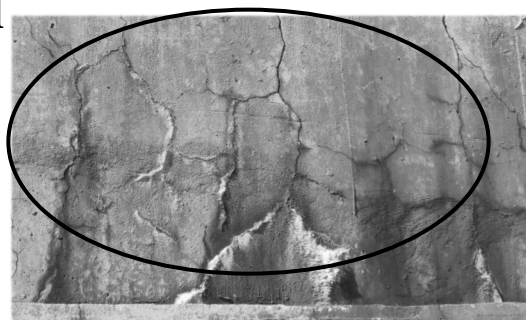
37

Concreto → *Expansão*

Reação Álcali-Ágregado AAR

Manifestação:

- Fissuras aleatórias;
- Presença de gel



38



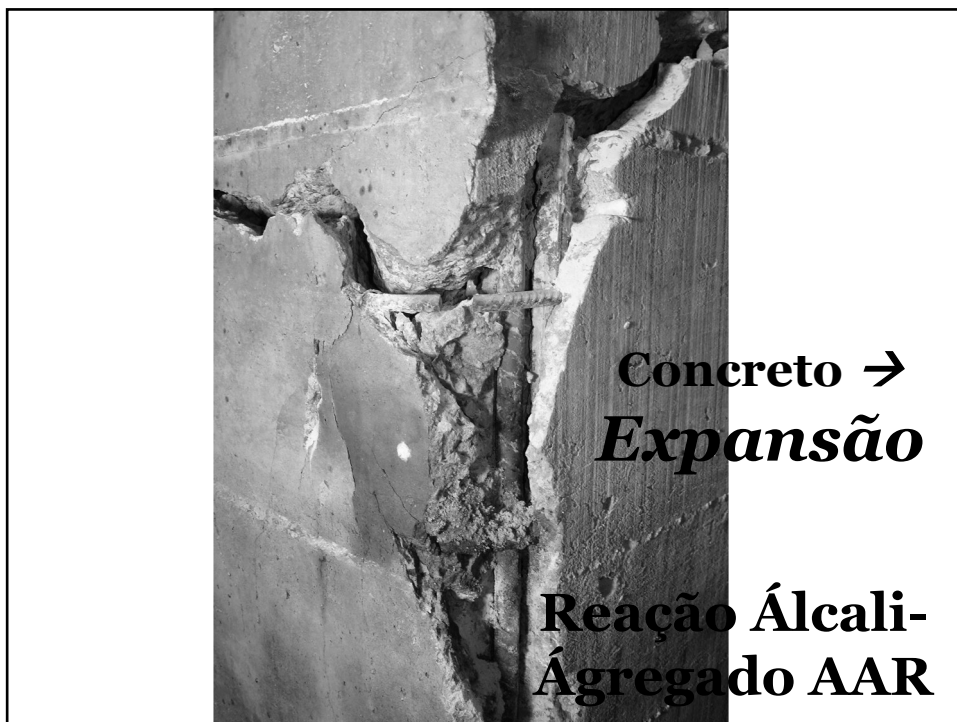
39



40



41



42



43

Reservatórios de água

Piscinas

Coberturas

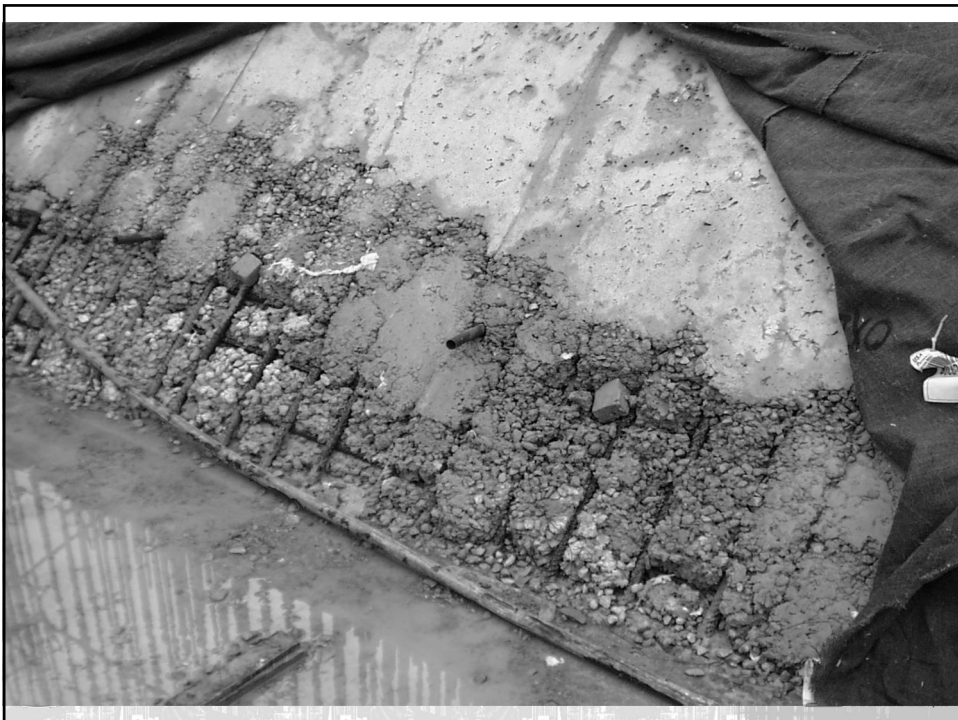
Pontes

Túneis

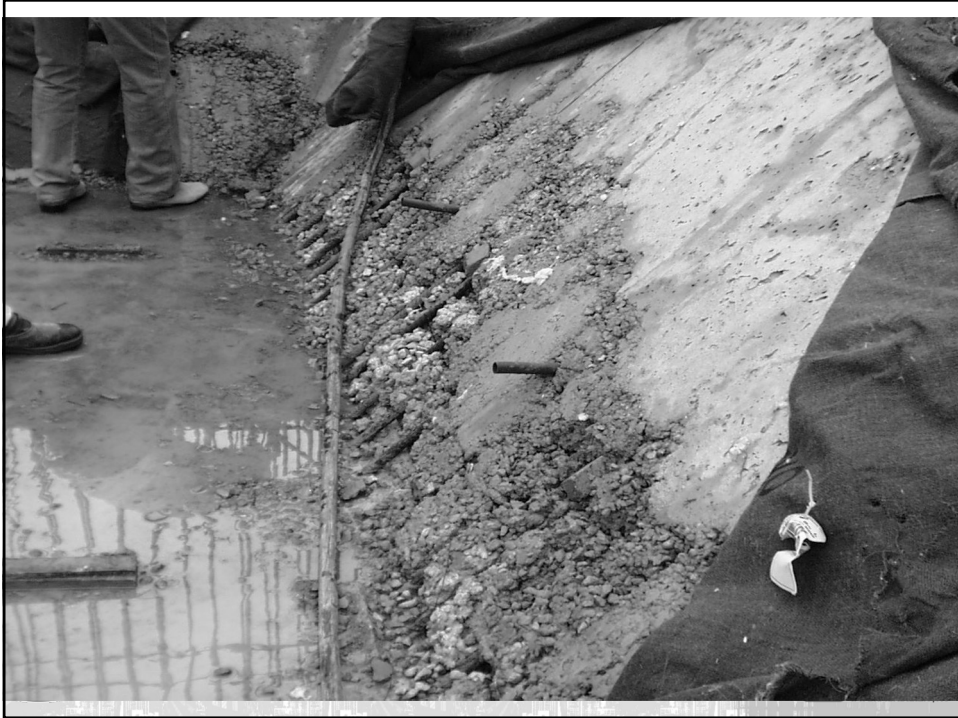
44



45



46



47



48



49

Reservatórios de água

Piscinas

Coberturas

Pontes

Túneis

50



51



52



53

Reservatórios de água

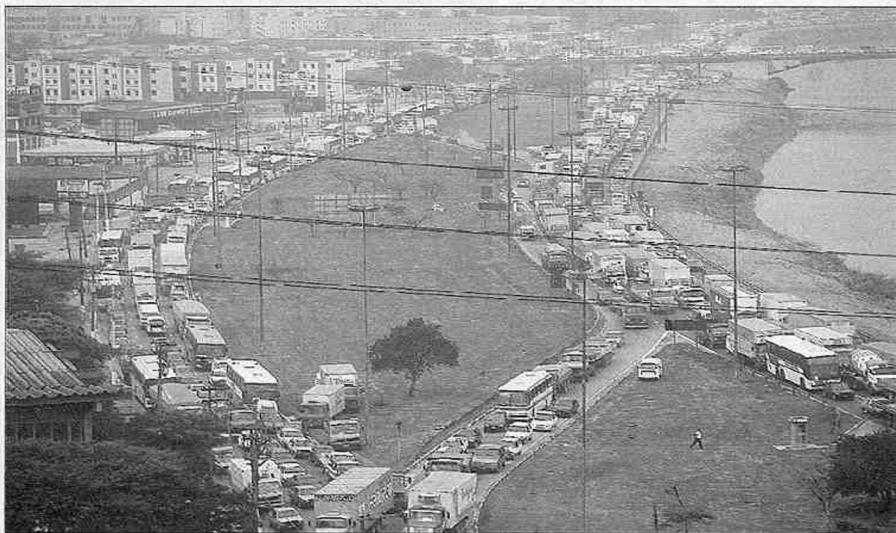
Piscinas

Coberturas

Pontes

Túneis

54



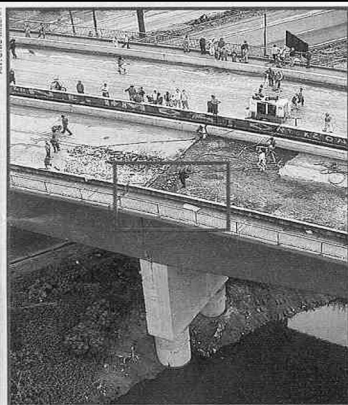
ANTONIO MILENA

O descaso estrangula São Paulo

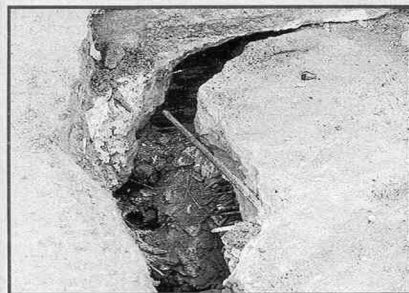
Há mais de um ano a prefeitura soube que a Ponte dos Remédios estava com problemas em sua estrutura. Não a consertou, mas avisou o DER, que também não fez nada. Quando a ponte deu sinais de que poderia ruir, na semana passada, a Marginal Tietê foi interditada e instalou-se o caos na cidade inteira.

Pág. 12

55



A Ponte dos Remédios, com seus 360 metros, foi construída, em 1970, com tecnologia inovadora, a do concreto protendido. Na semana passada, depois de quase três décadas sem a manutenção do governo estadual ou da prefeitura e recebendo a carga pesada de caminhões rumo à Ceagesp, ela começou a rachar como um biscoito. A Marginal do Tietê foi interditada para que o movimento dos carros não aumentasse as fissuras. Uma das vigas de sustentação teve dez dos 44 cabos rompidos em três pontos distintos. Estavam oxidados pela infiltração de água das chuvas em microfissuras da parede. Na maior parte das fendas havia espaço suficiente para deixar passar as pernas de um garoto de 12 anos



FOTOS: BRONCHI, LOPES JUNIOR/FOUN. MACENA

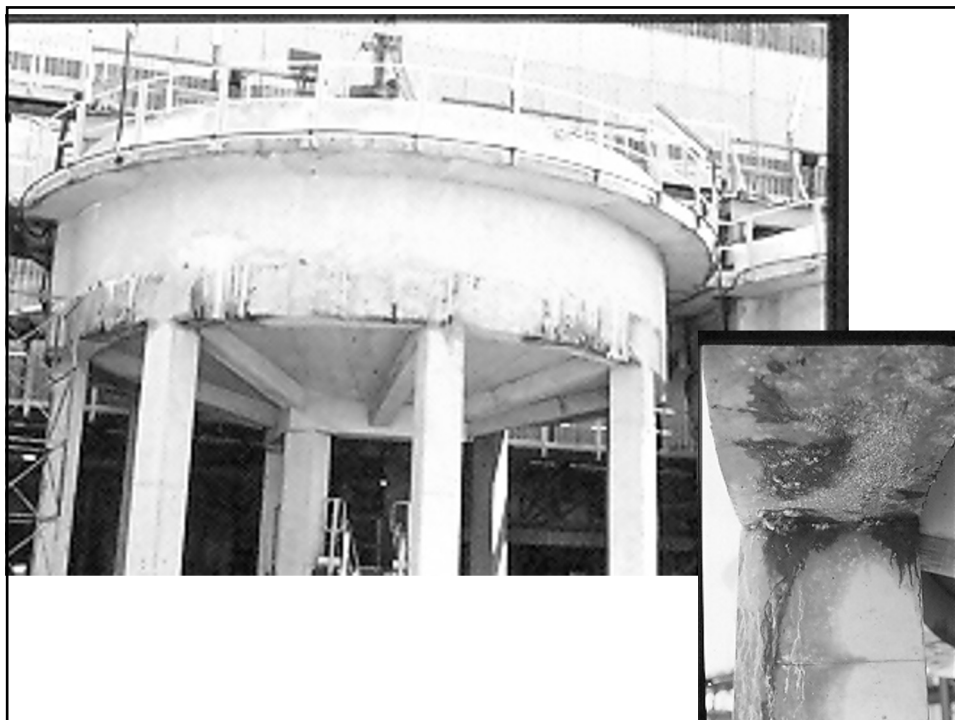
56

**Aço →
Corrosão por
cloretos**

**Tanque da
salmoura
a 40°C**



57



58



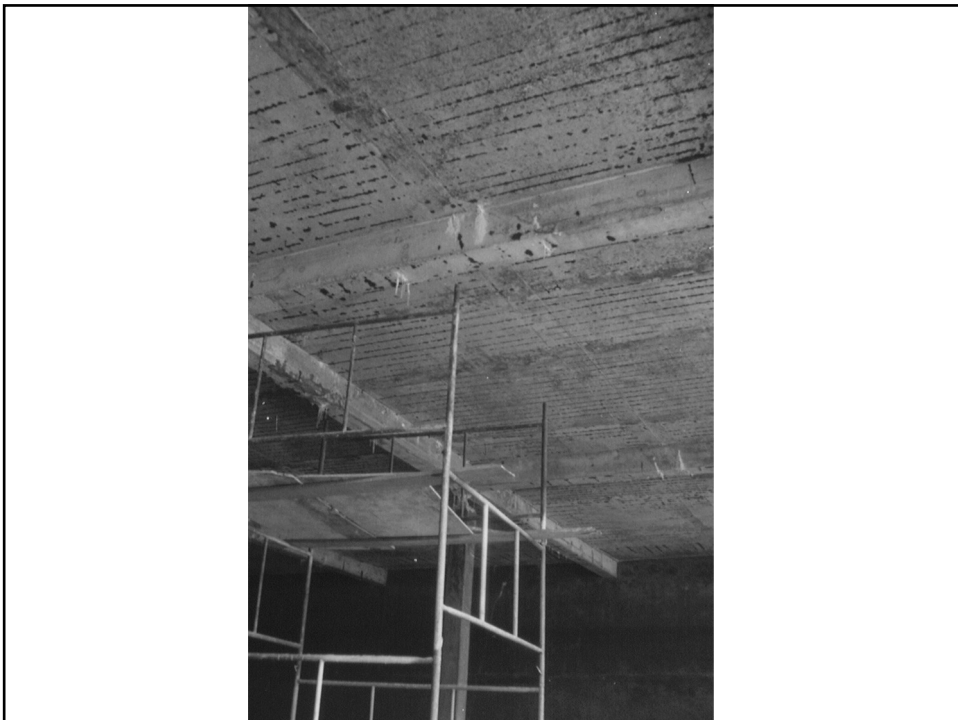
59



60



61



62



63



64

PROBLEMÃO
quase insolúvel

ESTANQUEIDADE!

65



66



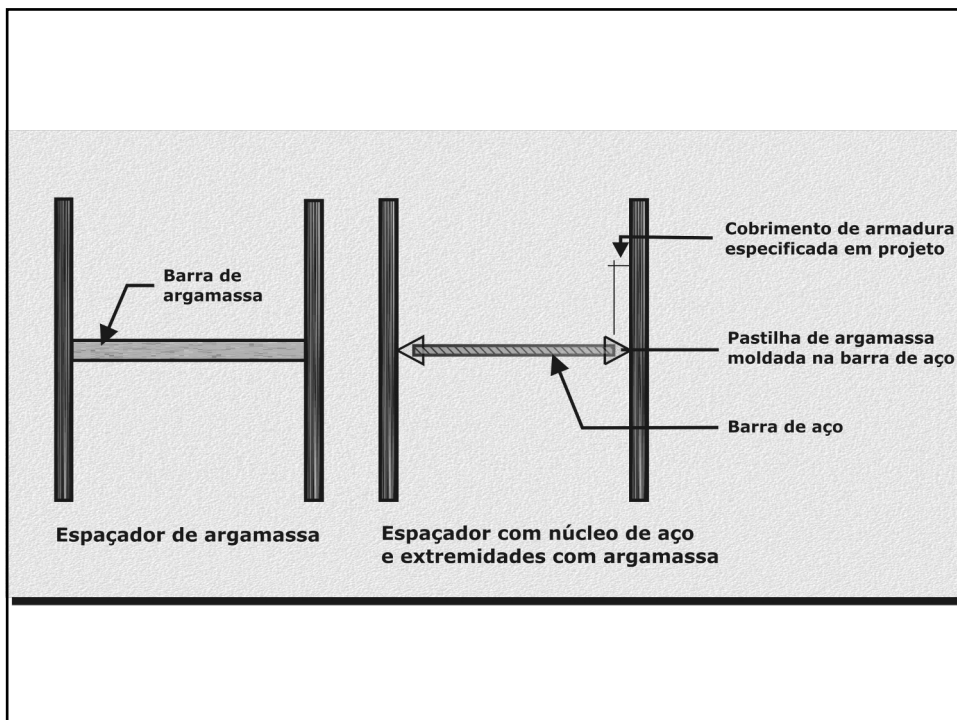
67



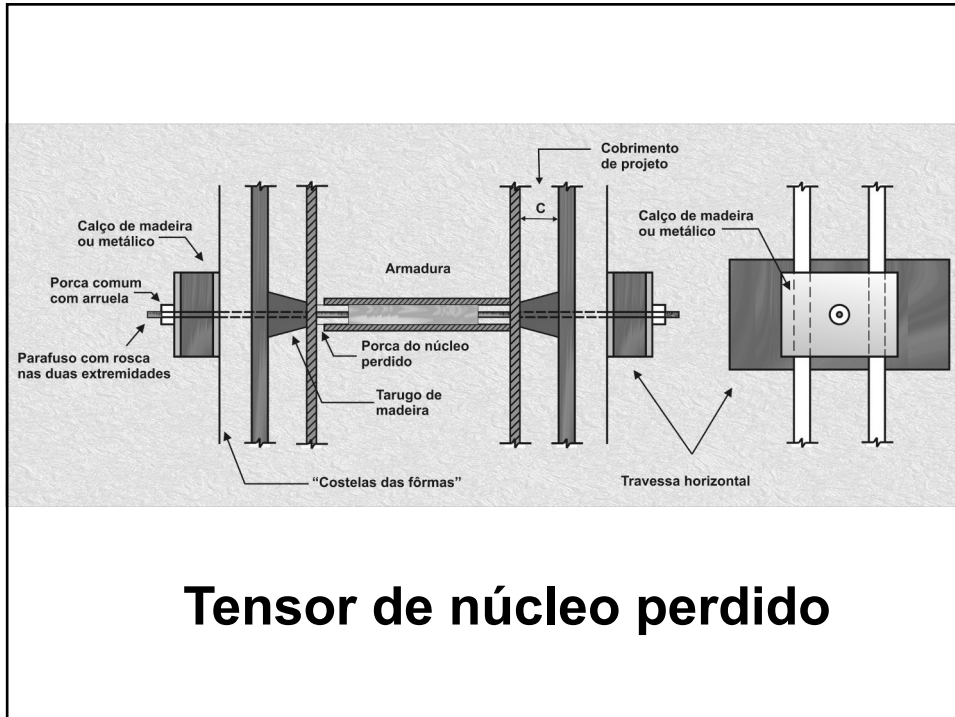
68



69



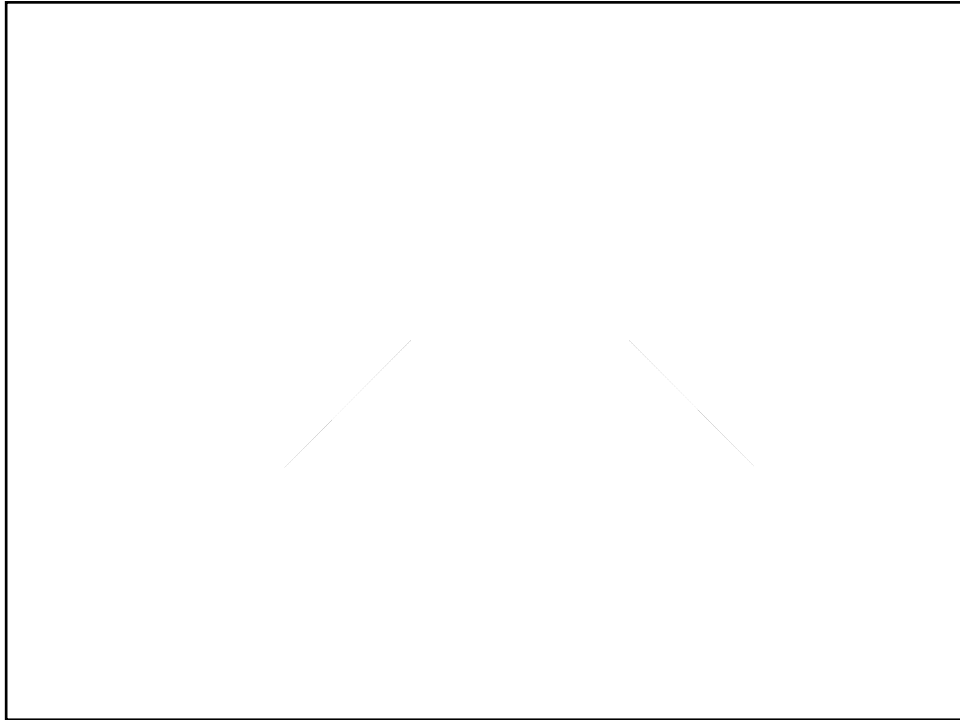
70



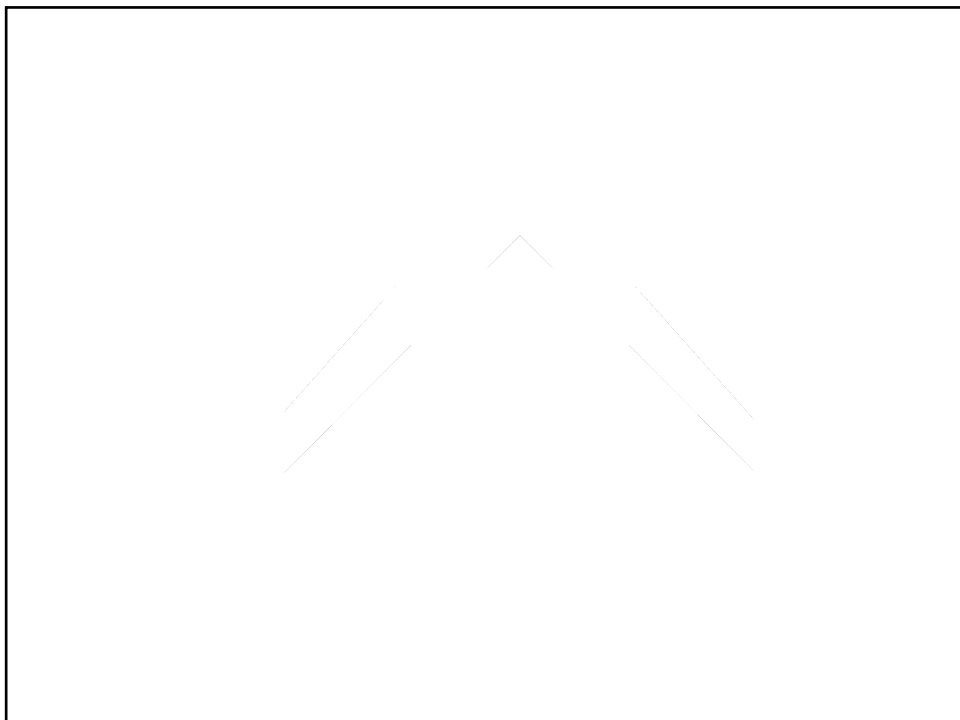
71



72



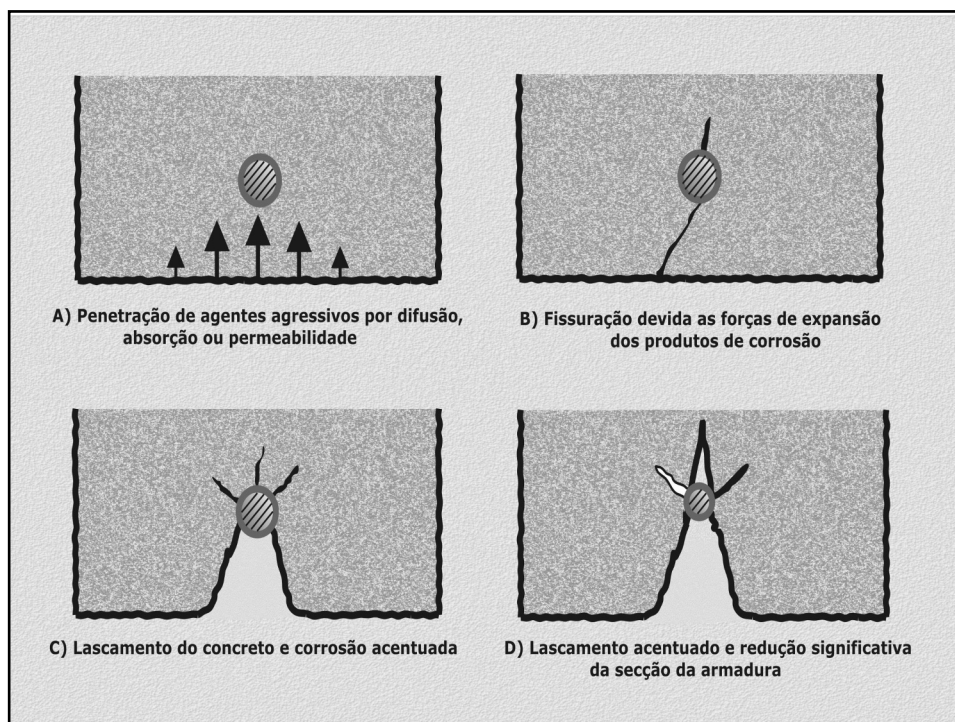
73



74

Proteção contra Corrosão!

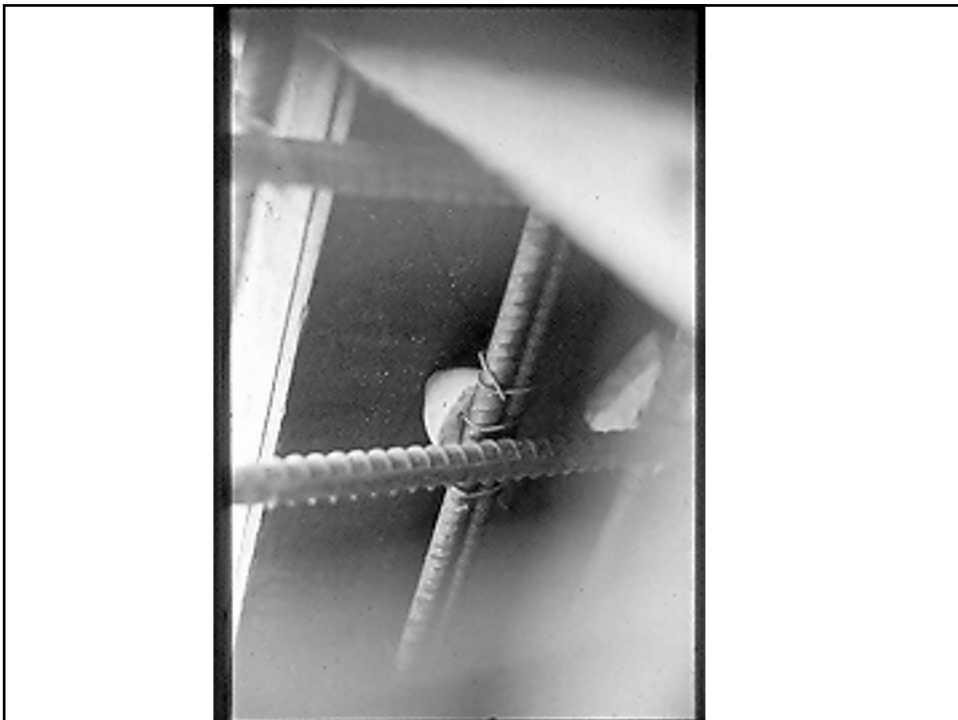
75



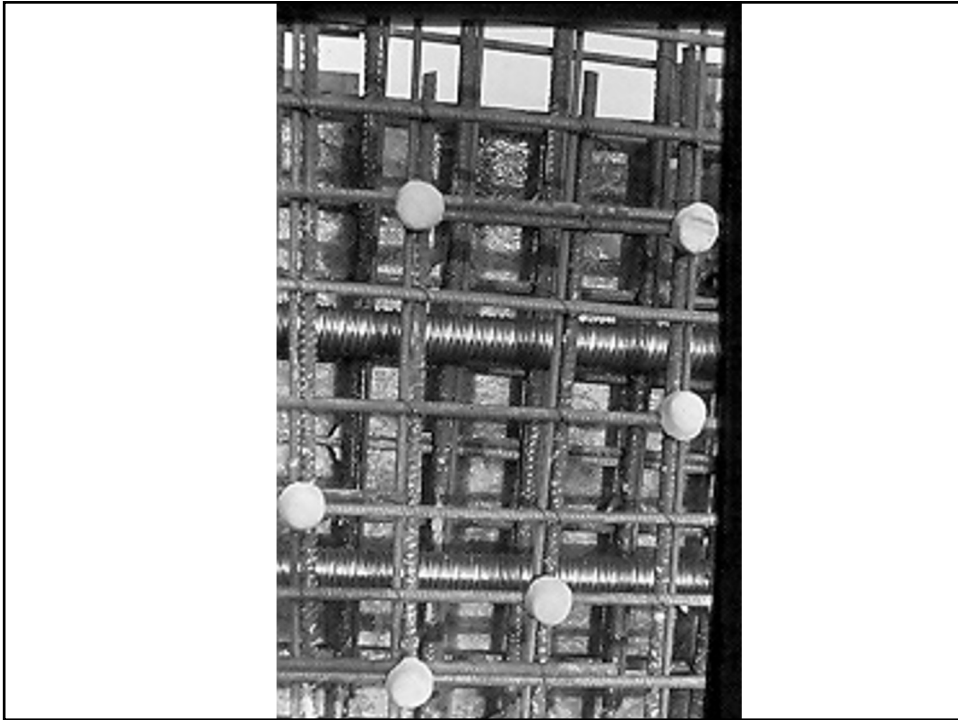
76



77



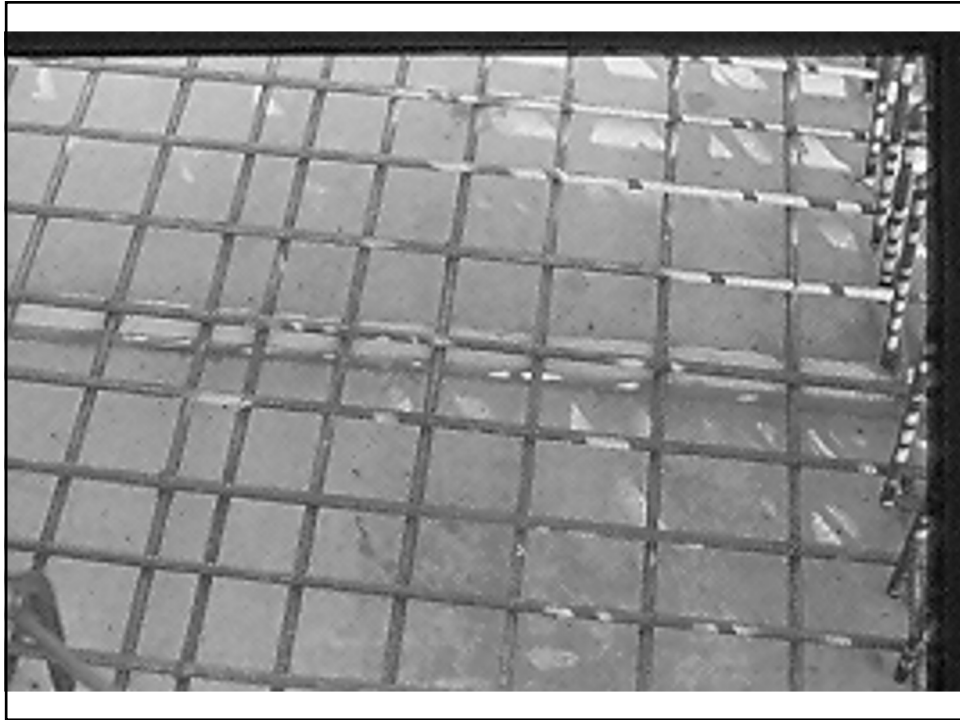
78



79



80



81



82

Ingresso de gases e fluidos

mecanismos de transporte

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migração**
- **Convecção**

83

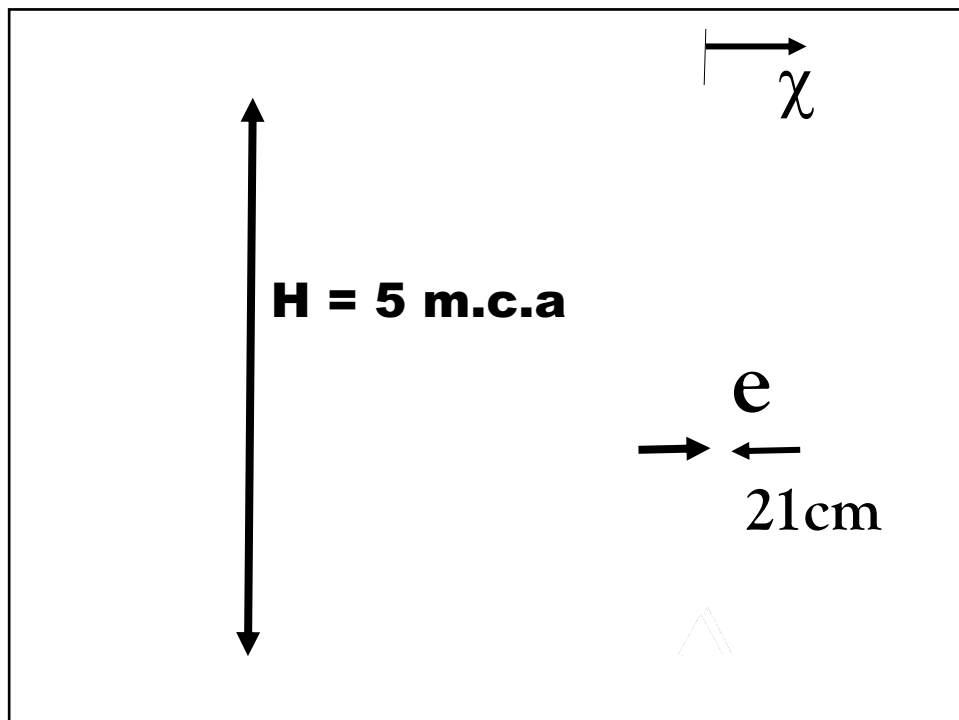
propriedade	20 MPa	50 MPa
coeficiente de permeabilidade à água k_w (cm/s)	$4 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-12}$
coeficiente de permeabilidade a gás O_2 k_g (m ²)	$1 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-17}$
carbonatação em 50 anos e_{CO_2} (mm)	52	2
coeficiente de difusão de cloretos D_{Cl} (m ² /s)	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$
absorção capilar de água em 24h w (dm ³ /m ²)	$40 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$

84

Permeabilidade ou Estanqueidade?



85



86

Lei de Darcy

*permeabilidade
(gradiente de pressão)*

$$V = \frac{Q}{S} = k_w \cdot \frac{H}{x}$$

V → velocidade de percolação de água em cm/s

Q → vazão de água em cm³/s

S → área da superfície confinada por onde percola a água em cm²

H → pressão da água de contacto em cm.c.a

x → espessura de concreto percolada pela água em cm

k_w → coeficiente de permeabilidade do concreto em cm/s

87

Lei de Darcy

*permeabilidade
(gradiente de pressão)*

$$V = \frac{Q}{S} = k \cdot \frac{H}{x} \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \frac{k \cdot H}{x}$$

$$\Rightarrow \quad x dx = H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^e x dx = \int_0^t H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k}$$

88

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,75 \Rightarrow k = 10^{-9} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,45 \Rightarrow k = 10^{-11} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,35 \Rightarrow k = 10^{-13} \text{ cm/s}$$

89

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k_w}$$

$$H \rightarrow 5 \text{ m.c.a}$$

$$e \rightarrow 21 \text{ cm}$$

$$k_w \rightarrow 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} \text{ m/s}$$

90

Concreto

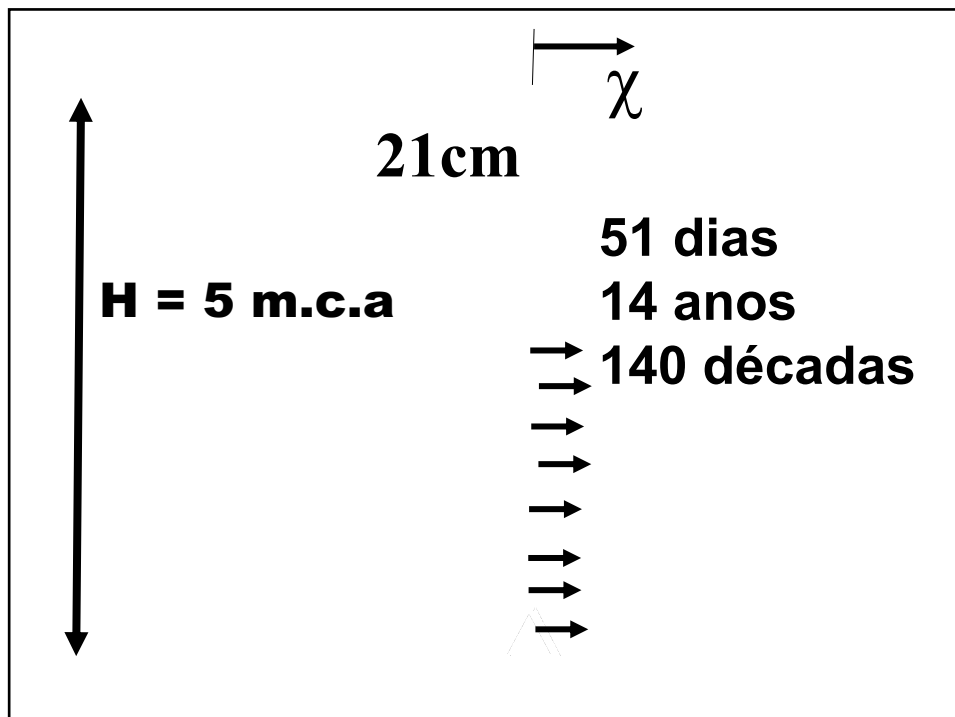
(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20\text{MPa} \rightarrow t = 51 \text{ dias}$$

$$f_{ck} = 40\text{MPa} \rightarrow t = 14 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 60\text{MPa} \rightarrow t = 140 \text{ décadas}$$

91



92

CONCRETO é
“impermeável”

difícil → estanqueidade

Pois depende do material e
depende 100% do projetista e
100% da CONSTRUTORA

93

Panteão
de
Roma

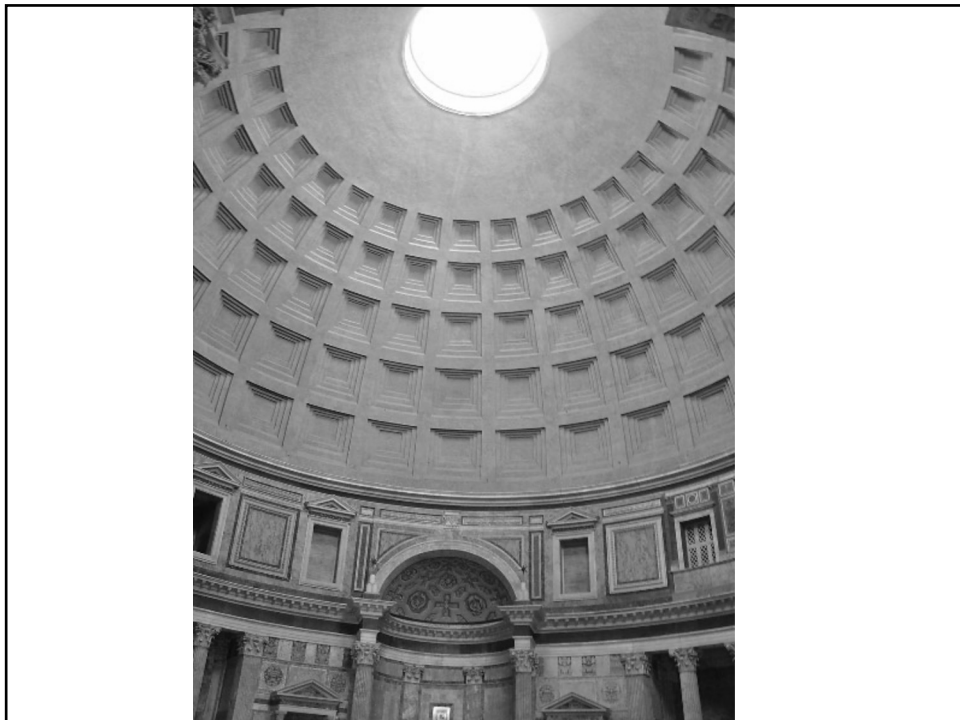


94

Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



95



96



97

CONCLUINDO

projetar e construir estruturas estanques e duráveis depende:

- ✓ especificação;
- ✓ projeto;
- ✓ dosagem;
- ✓ controle de materiais;
- ✓ execução → construtora;
- ✓ treinamento dos operários;
- ✓ fiscalização da execução

98



Nada é tão eficiente e conveniente quanto:

...renovar um sistema adequado de proteção e impermeabilização a cada 5anos...

99



100