

**edificação  
SEGURA**

PROGRAMA NACIONAL  
DE REDUÇÃO DE RISCOS  
E AUMENTO DA VIDA ÚTIL  
DE ESTRUTURAS DE  
EDIFICAÇÕES





**Curso de capacitação em inspeção  
de estruturas de concreto  
- 2014 -**

**Módulo 5. Inspeção de Estruturas de Concreto.**  
**Aula 5.1: Inspeção de Estruturas de Concreto. Introdução & Critérios**

**Prof. Paulo Helene. PhD Engenharia**

**Patrocínio:**







**Coordenação:**



1

1







**Introdução à Inspeção de Estruturas  
de Concreto**

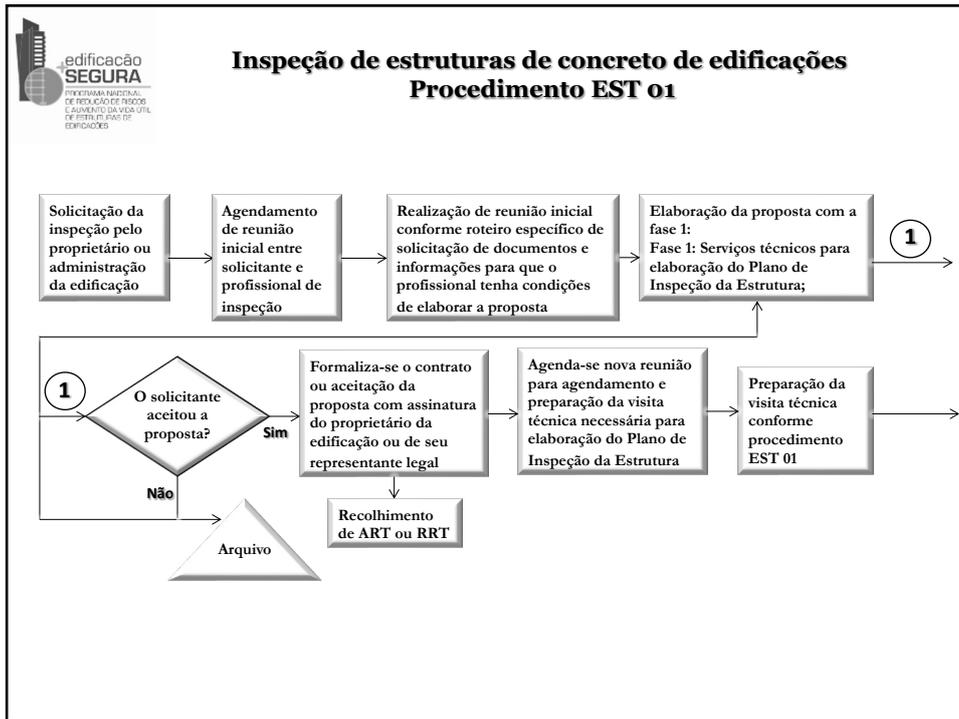


*"O Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

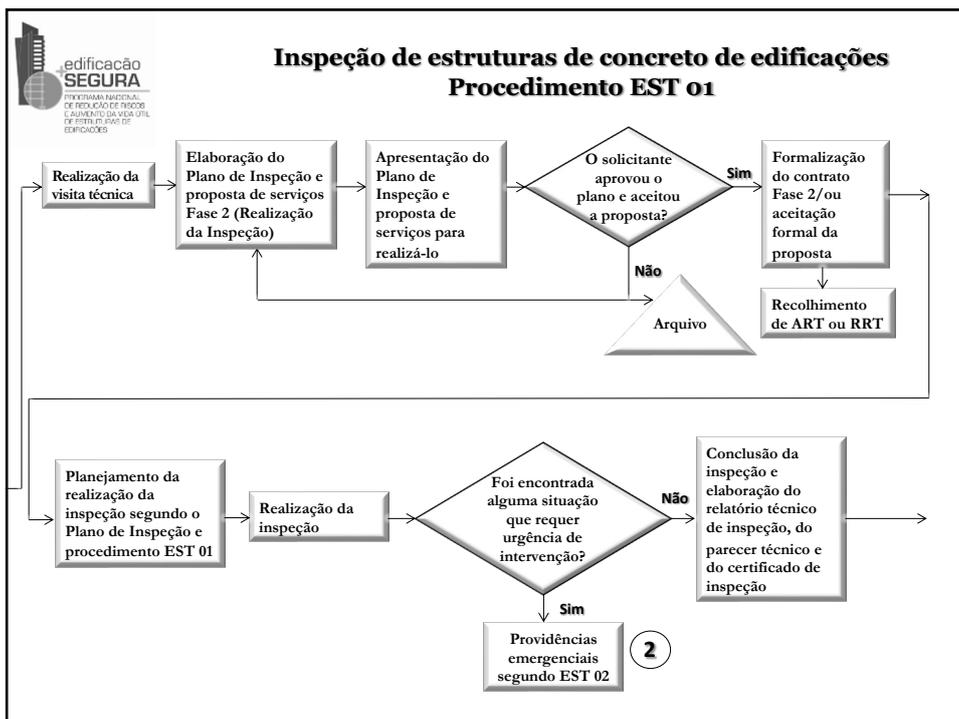
**Paulo Helene**  
*Diretor PhD Engenharia  
Presidente de Honor ALCONPAT  
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP  
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures  
Diretor e Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

**Centro Britânico**      **13 de Agosto de 2014**      **São Paulo**

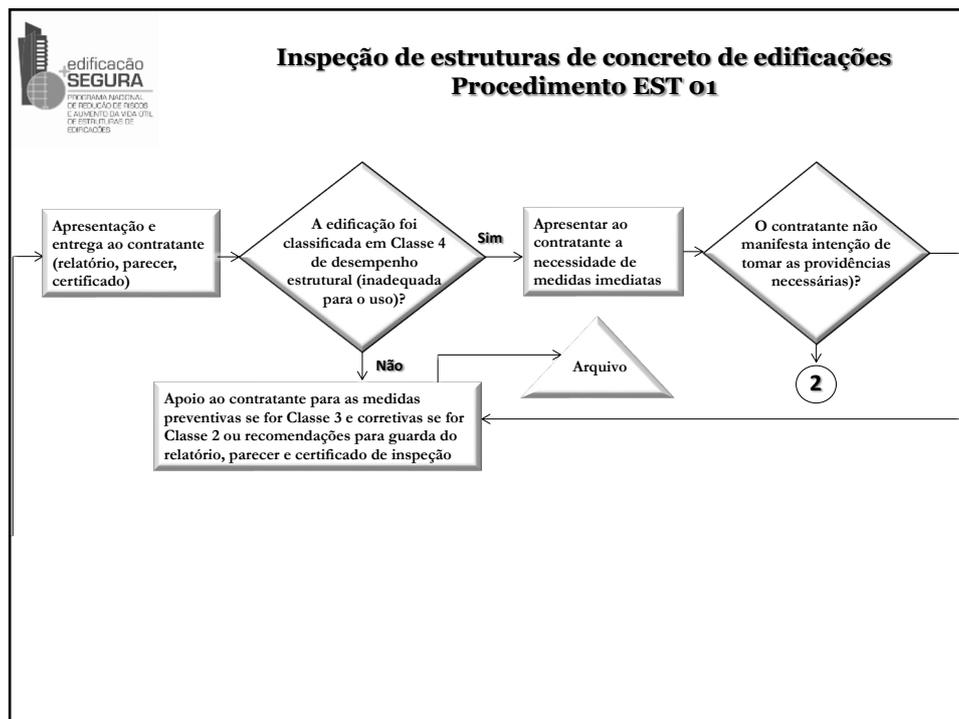
2



3



4



5

**Classe 1 de desempenho:** Desempenho adequado ao uso - quando a estrutura não apresenta qualquer situação ou manifestação que impeça o uso normal da edificação;

**Classe 2 de desempenho:** Desempenho adequado ao uso com ações corretivas a fazer - quando a estrutura não apresenta situação que impeça o uso normal da edificação, não apresenta situação que coloque em risco a segurança dos usuários, mas que apresenta manifestações de deterioração que precisam ser corrigidas para evitar que a curto, médio ou longo prazo venham a causar o impedimento ao uso normal e o comprometimento da segurança e/ou vida útil;

6

**Classe 3 de desempenho:** Desempenho adequado ao uso com ações preventivas recomendadas - quando a estrutura não apresenta situação que impeça o uso normal da edificação, não apresenta situação que impeça o uso normal da edificação, não apresenta situação que coloque em risco a segurança dos usuários, mas que requer ações preventivas decorrentes das constatações feitas na inspeção visando prevenir manifestações patológicas futuras que venham a comprometer a segurança e/ou vida útil;

**Classe 4 de desempenho:** Desempenho inadequado ao uso - quando as manifestações patológicas detectadas são de magnitude e natureza que coloquem em risco a segurança dos usuários a curto prazo ou com risco iminente de ruína parcial ou total.

7

## Metodologia de Análise de Problemas Patológicos

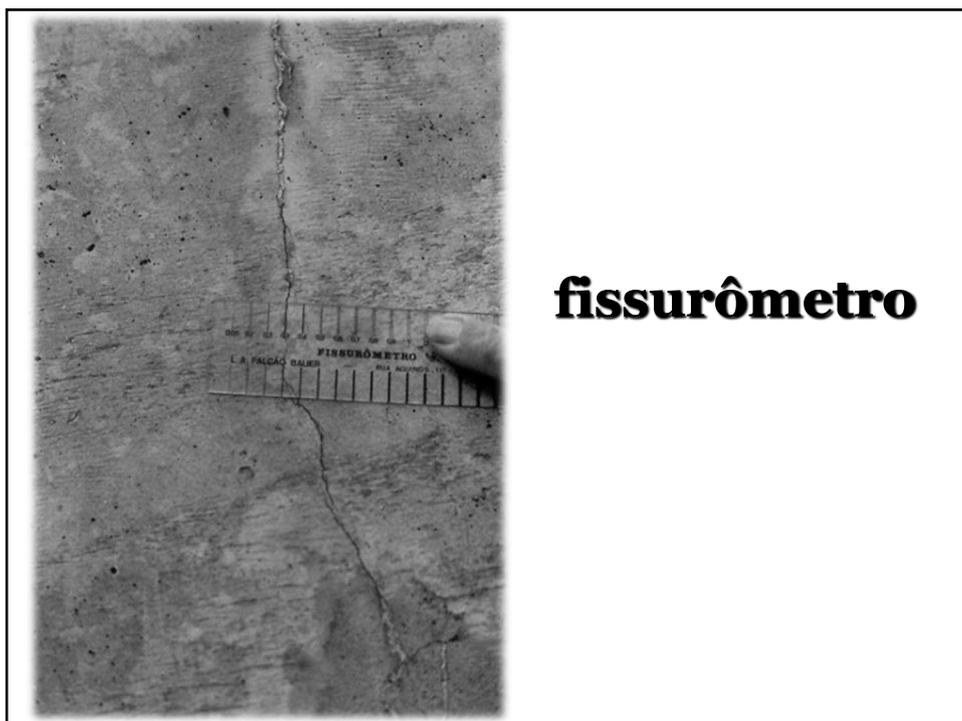
- 1º → Inspeção Preliminar
- 2º → Inspeção Detalhada
- 3º → Diagnóstico da Situação
- 4º → Estudo de Alternativas
- 5º → Definição da conduta



8



9



**fissurômetro**

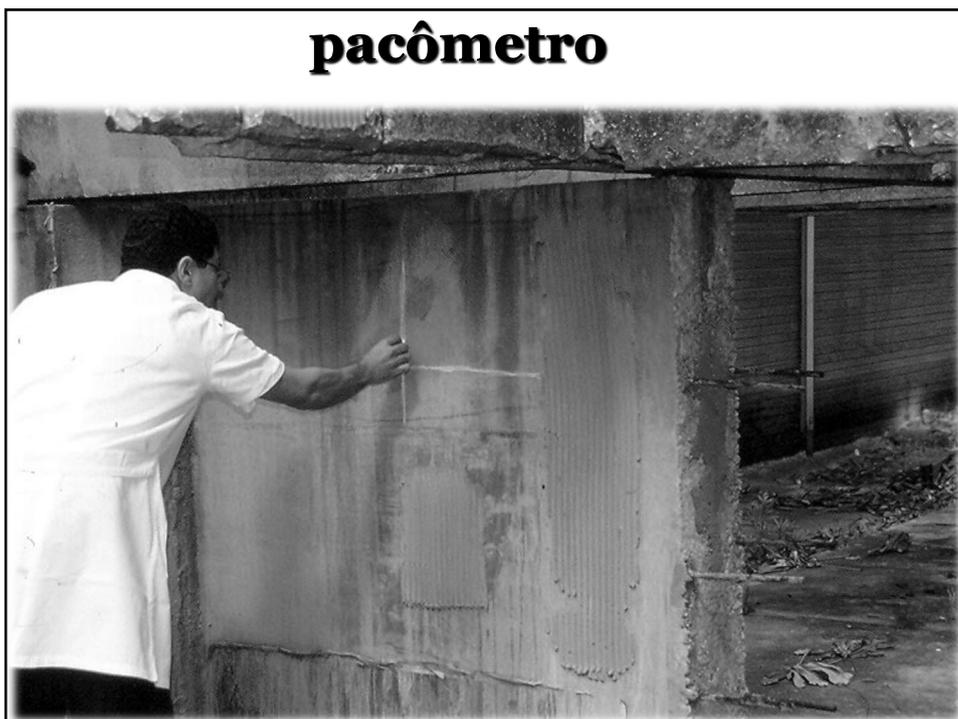
10

## **umidímetro superficial**



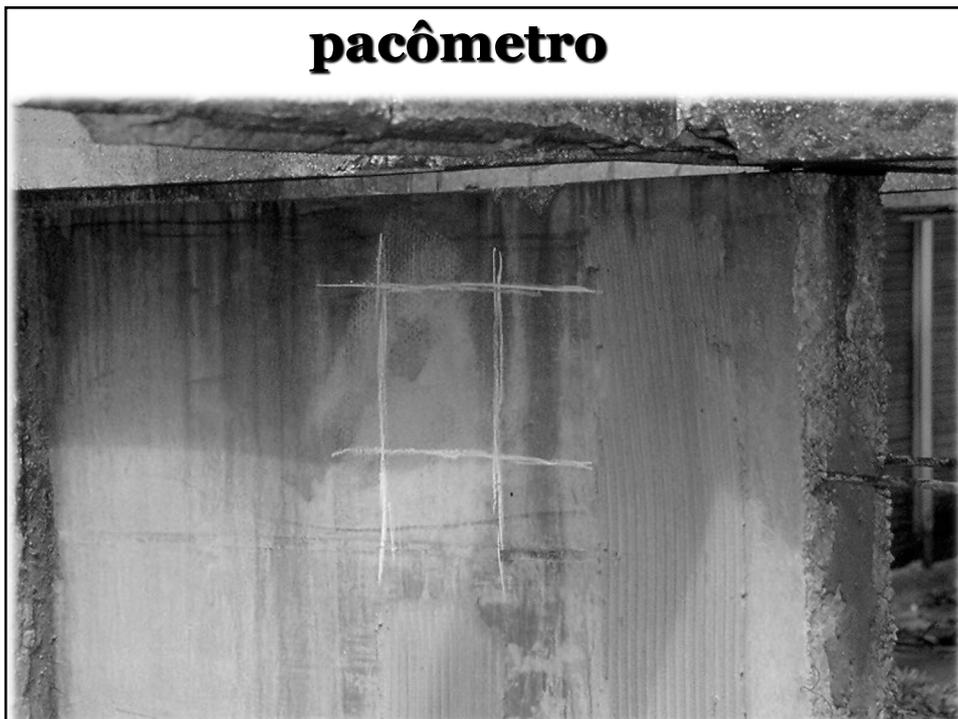
11

## **pacômetro**



12

**pacômetro**



13



**pacômetro**

14



**pacômetro**

15



**esclerômetro de reflexão**

16

## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Método de  
ensaio”**



17

## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Método de  
ensaio”**



18



## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Método de  
ensaio”**

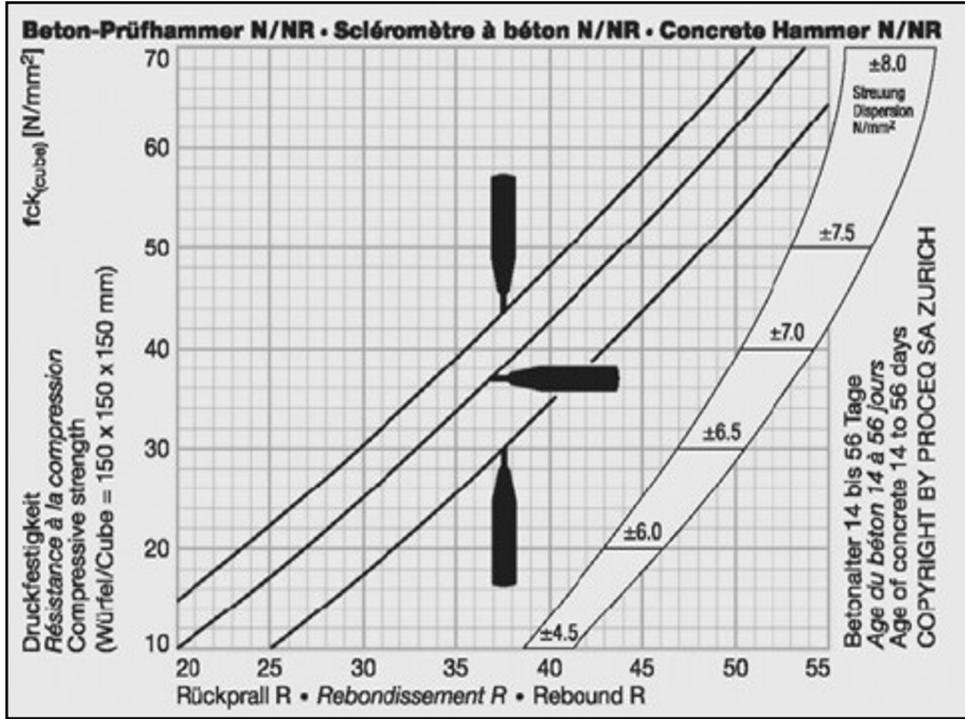
19



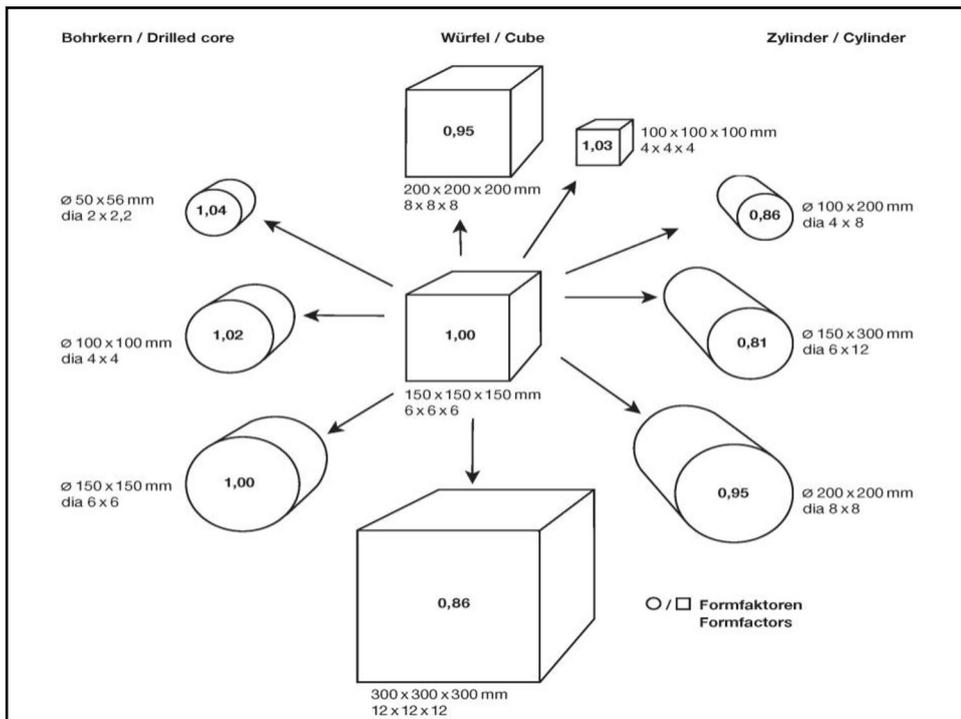
## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Método de  
ensaio”**

20



21



22



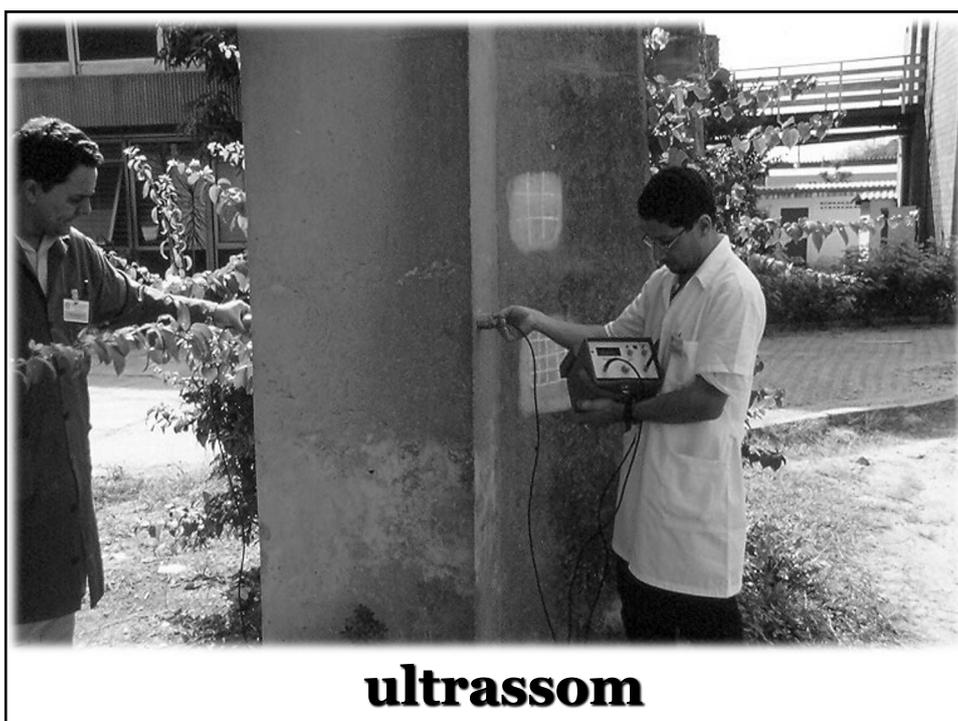
23



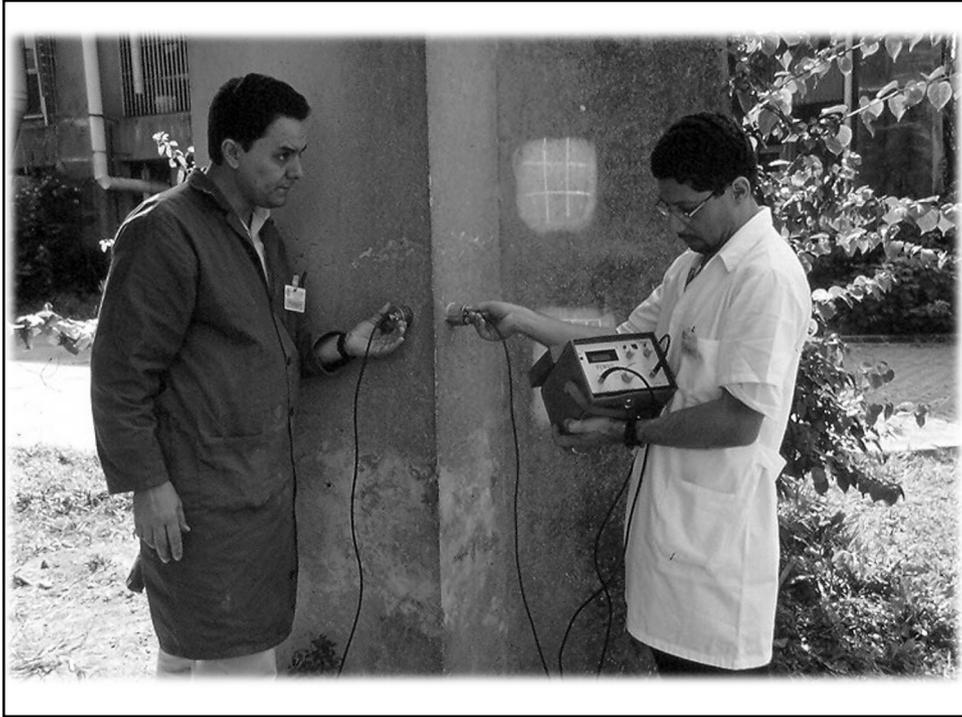
24



25



26



27



28



**resistividade iônica superficial**

29



**resistividade iônica superficial**

30



31



32

## Resistividade volumétrica

- ❑ NBR 9204 concreto endurecido. Determinação da resistividade elétrica- volumétrica. Método de ensaio.
- ❑ ASTM G57 Standart test method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four-electrode method.

## Resistividade superficial

33



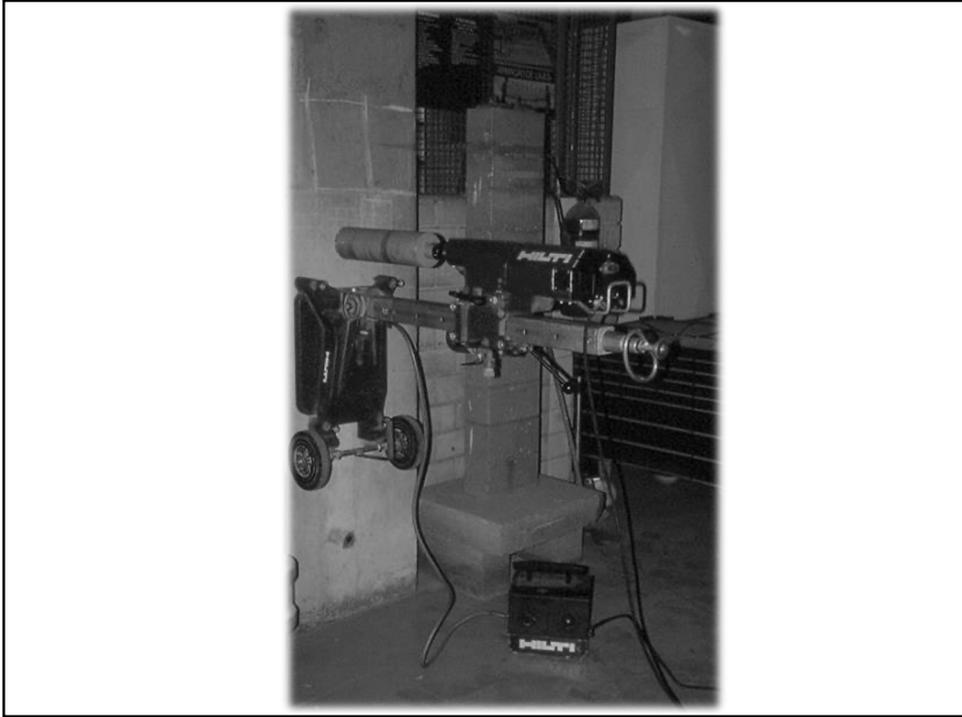
34



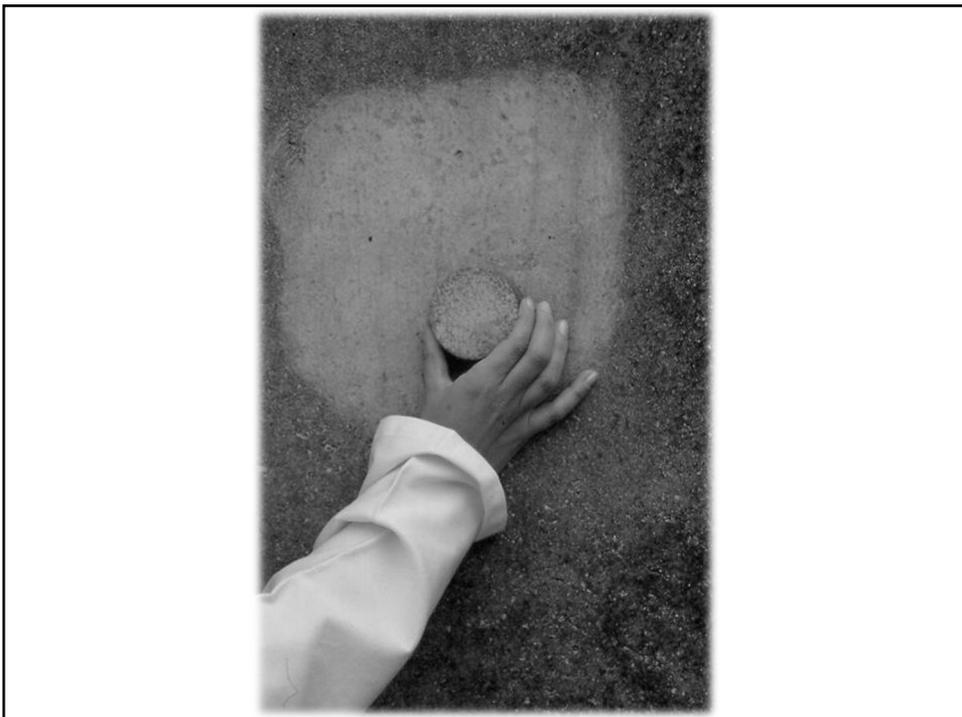
35



36



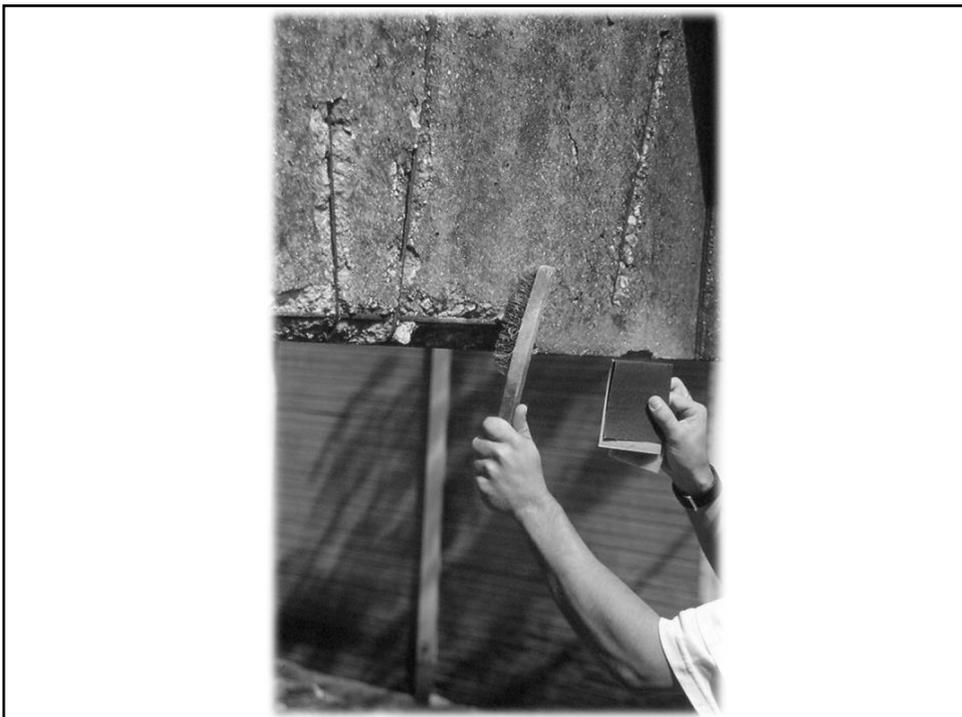
37



38



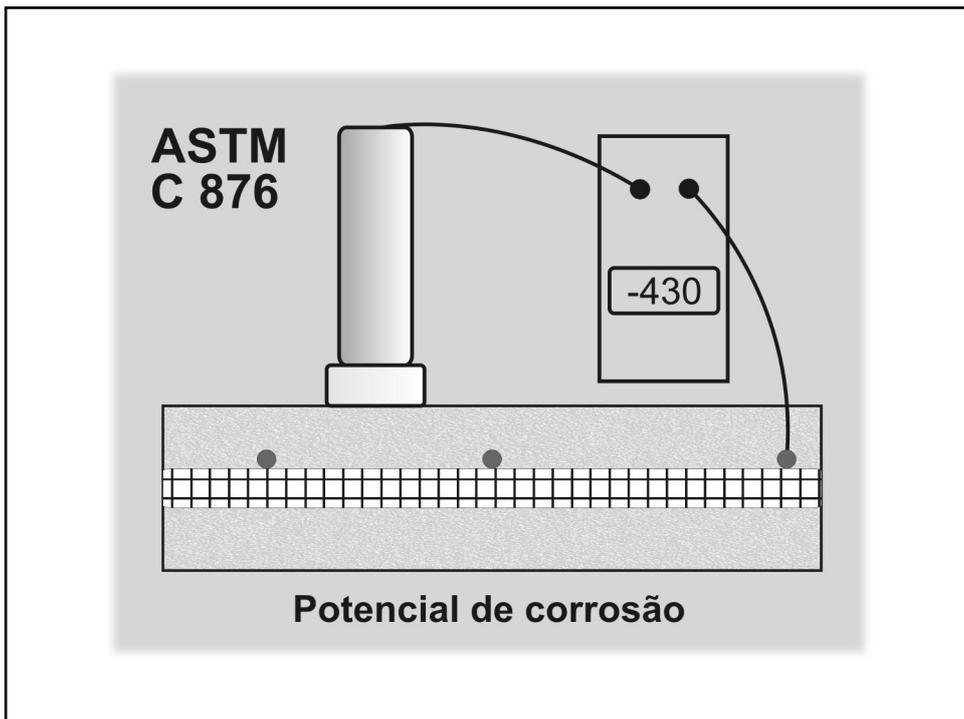
39



40



41



42



43



44



45



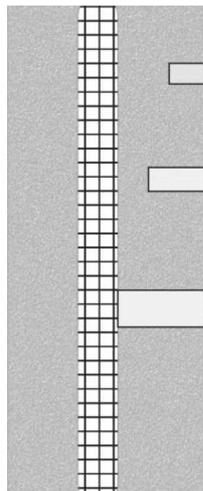
46

## Teor de cloretos

**ASTM C 1152**  
**Standart test method for acid soluble chloride in mortar and concrete**

47

## Cloretos



ACI, CEB, Internacionais  
 $\leq 0,4\%$  concreto armado  
 $\leq 0,05\%$  concreto  
protendido.

48

## Cloretos

### ABNT NBR 12655:2014 (Revisão)

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl <sup>-</sup> ) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

49

## Cloretos

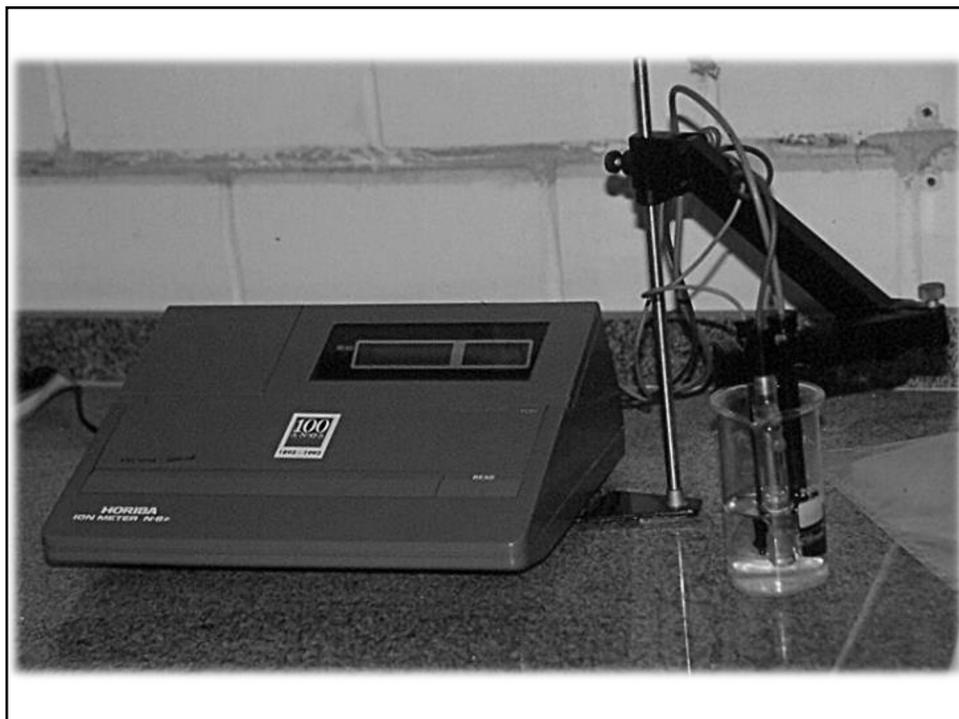
a) Conhecidos:

- **Perfil de concentração de cloretos**
- **Idade da estrutura**

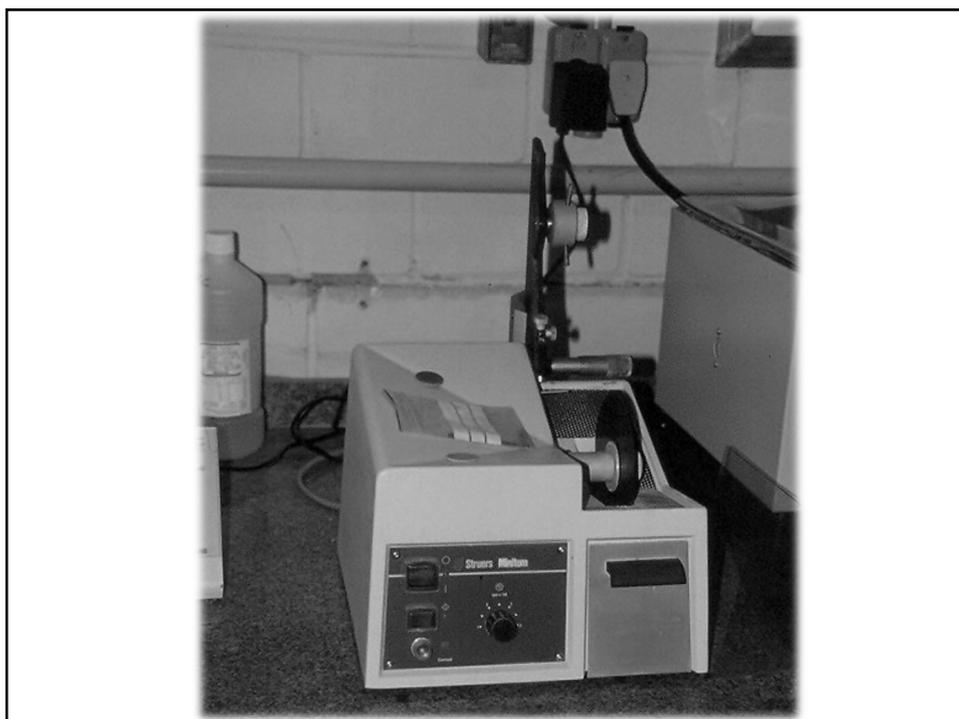
b) Calcular o coeficiente de difusividade pela 2ª lei de Fick

c) Simplificadamente ajustar uma lei do tipo  $e_{xcl} = k_c \cdot t^{0,5}$

50



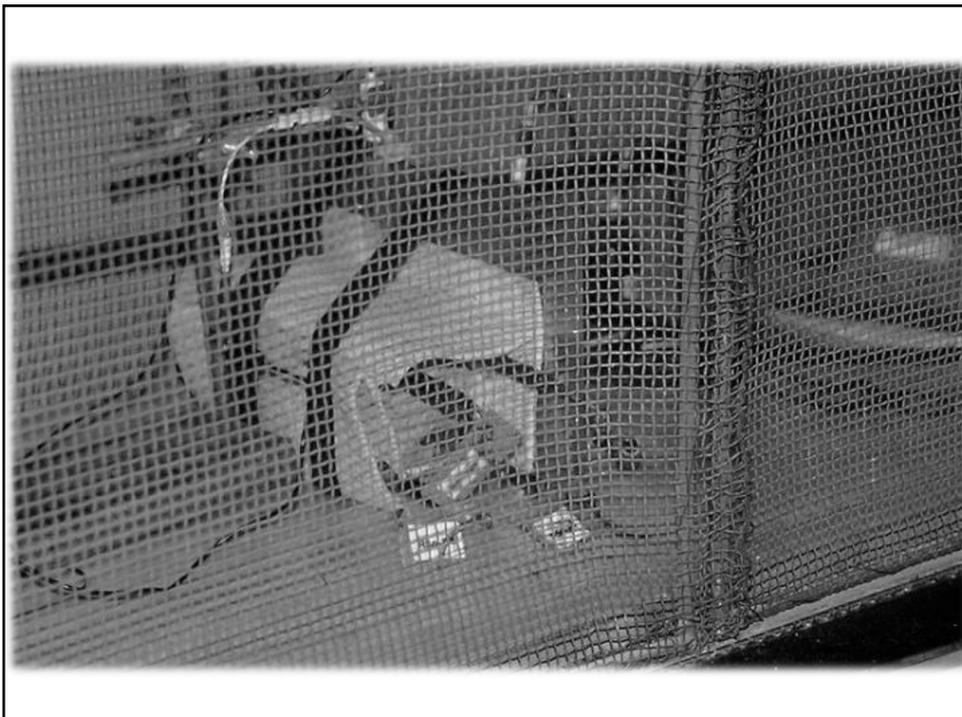
51



52



53



54



55

## Sulfatos

### ABNT NBR 12655:2014 (Revisão)

Tabela 4 – Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO <sub>4</sub> ) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal <sup>a</sup>	Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada <sup>b</sup>	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa <sup>c</sup>	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

<sup>a</sup> Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

<sup>b</sup> A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO<sub>4</sub> seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

<sup>c</sup> Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

56

## Outros agentes agressivos

### ABNT NBR 12655:2014 (Revisão)

Tabela A.1 Características recomendadas para concreto exposto a soluções aquosas agressivas <sup>a</sup>

Condições de exposição em função da agressividade	pH <sup>b</sup> (Ver Bibliografia, [1])	CO <sub>2</sub> agressivo mg/L (Ver Bibliografia, [5])	Íon magnésio mg/L (Ver Bibliografia, [3])	Íon Amônia mg/L (Ver Bibliografia, [2])	Resíduo sólido mg/L (Ver Bibliografia, [4])	Máxima relação água/cimento <sup>b</sup>	Mínimo $f_{ck}$ MPa
Fraca	7 a 6	< 30	< 100	< 100	> 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada	6 a 5,5	30 a 45	100 a 200	100 a 150	150 a 50	0,50	35
Severa	< 5,5	> 45	> 200	> 150	< 50	0,45	40

<sup>a</sup> Esta Tabela não é exaustiva e, para casos especiais e outras questões complementares, como o tipo e consumo de cimento, bem como da espessura mínima de cobrimento, deve-se consultar um especialista ou fazer uso de procedimentos e normas internacionais aplicáveis e aceitos pela comunidade tecnocientífica, como as constantes da bibliografia desta Norma, que foi utilizada para a elaboração deste Anexo.

<sup>b</sup> Propriedade adimensional.

57

## Profundidade de Carbonatação

- Fenolftaleína
- Timolftaleína

**1% água / álcool**

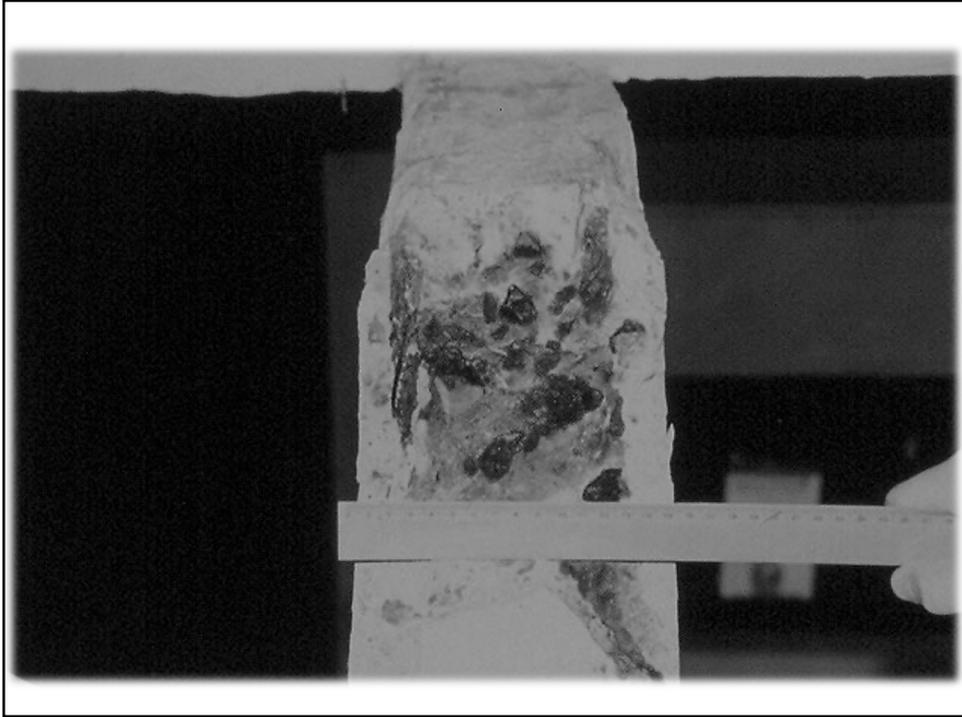
58



59



60



61

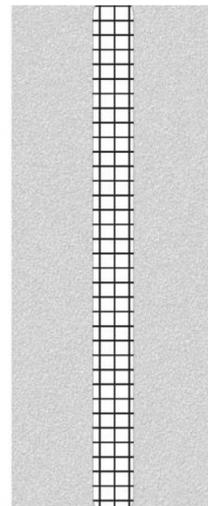
## Carbonatação

a) Conhecidos:

- Espessura carbonatada
- Idade da estrutura

b) Calcular k:

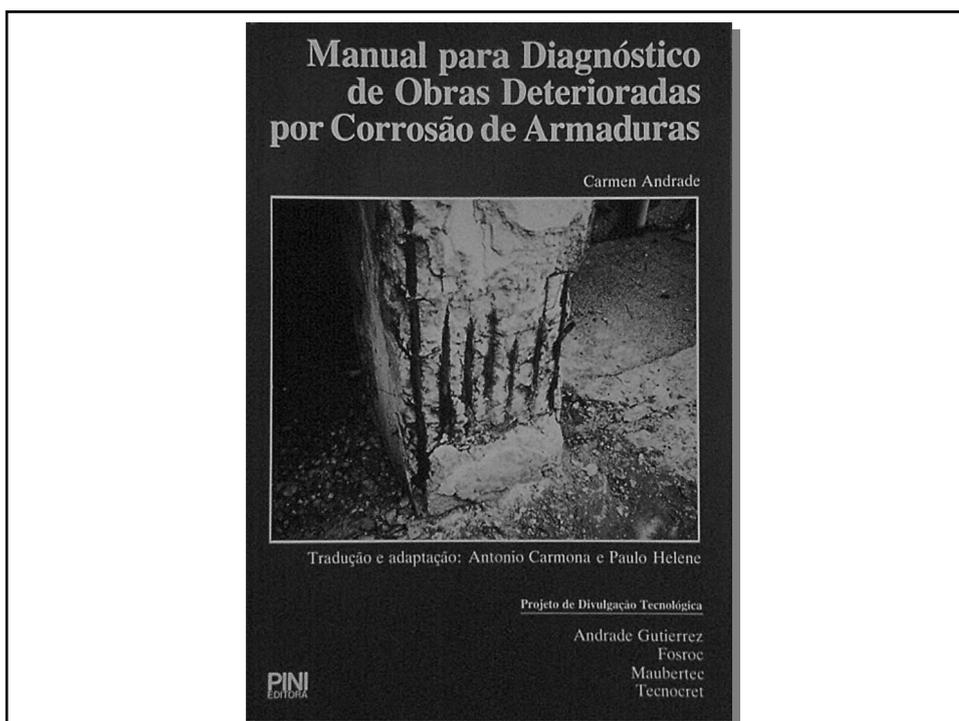
$$k = e_x \cdot t^{0,5}$$



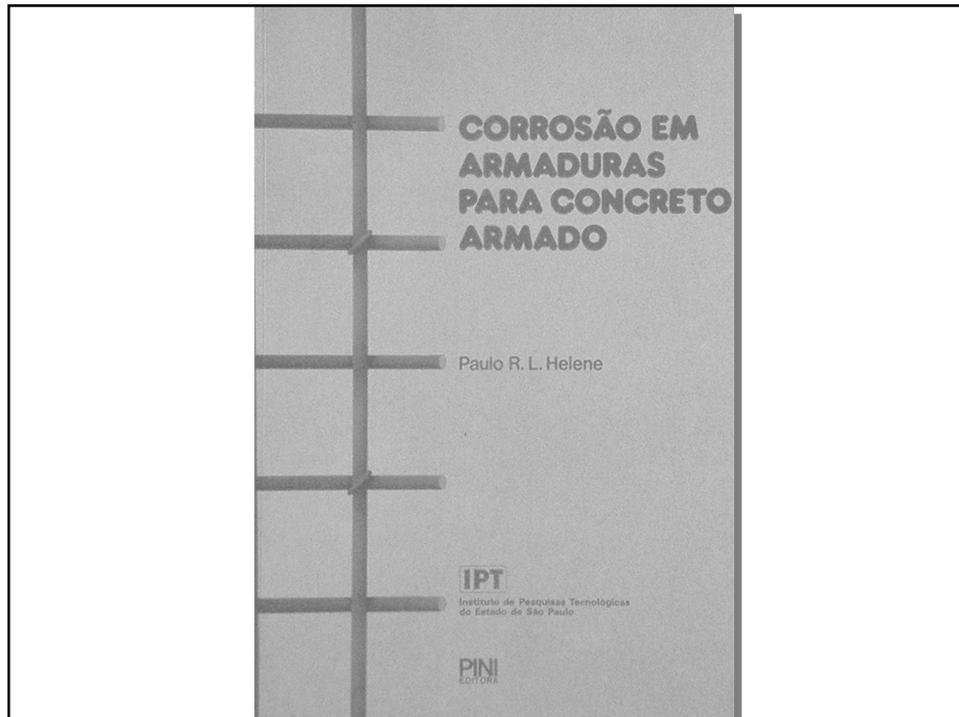
62



63



64



65

## **Técnicas implantadas**

### **Medidas físicas, químicas e eletroquímicas**

- **Aderência superficial**
- **Aderência “beam-test”**
- **Aderência “pull-out”**
- **Carbonatação acelerada**
- **“salt-spray”**
- **Extração de testemunhos**
- **Retirada de amostras**
- **Corte de “fatias” de concreto**

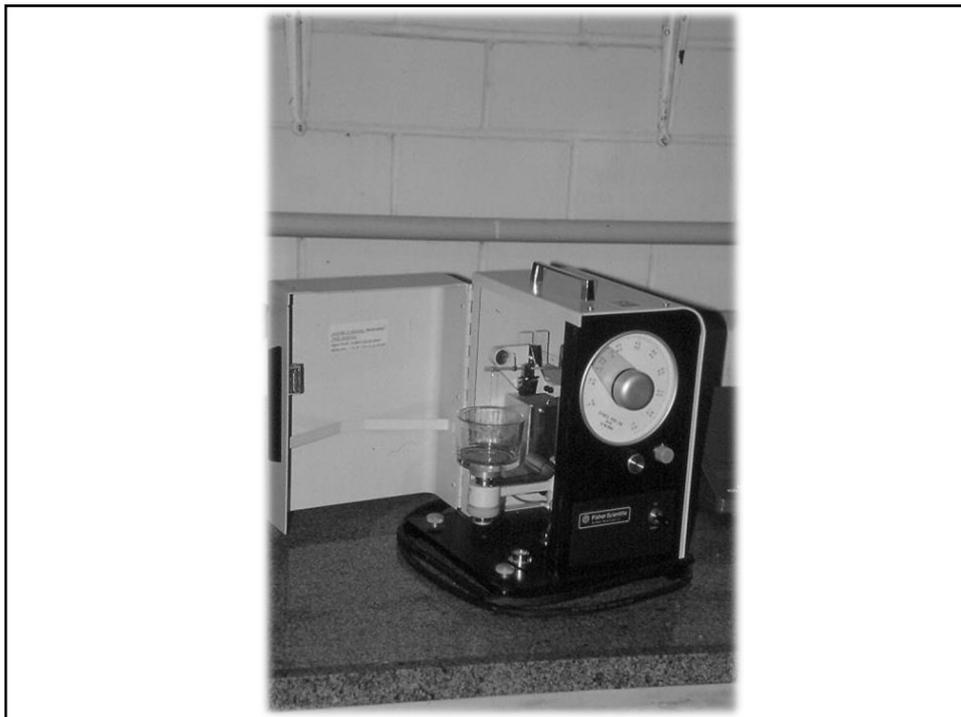
66

## Técnicas implantadas

### Medidas físicas, químicas e eletroquímicas

- Potencial de corrosão
- Corrente de corrosão (RP)
- Corrente corrosão (IE)
- Resistividade elétrica
- Permeabilidade ao ar “in loco”
- Carbonatação
- Migração de cloretos
- Difusão de cloretos

67



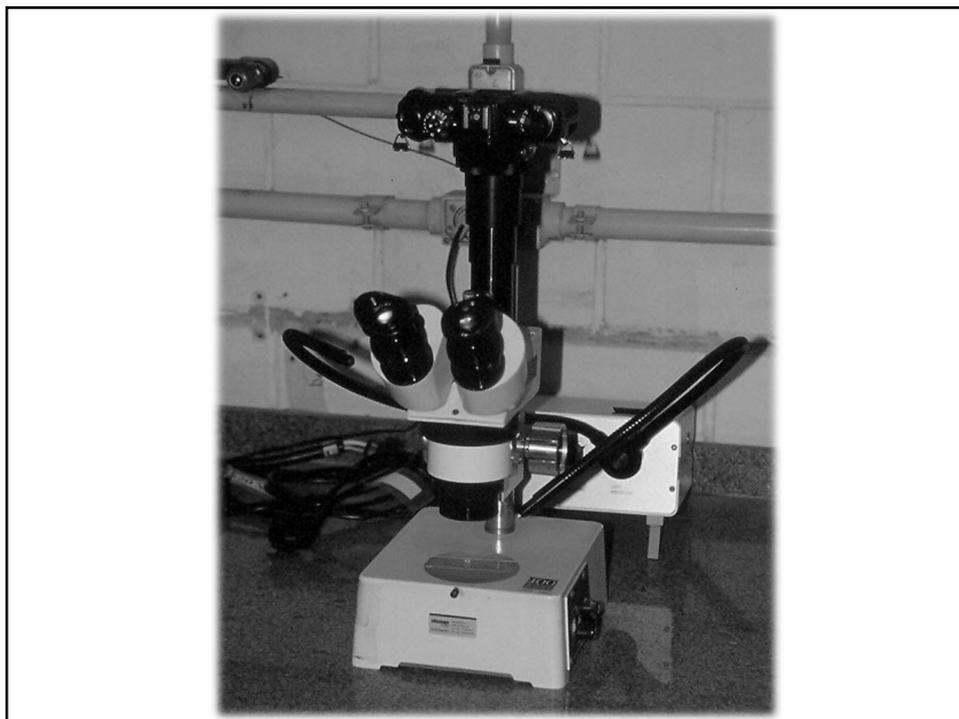
68



69



70



71



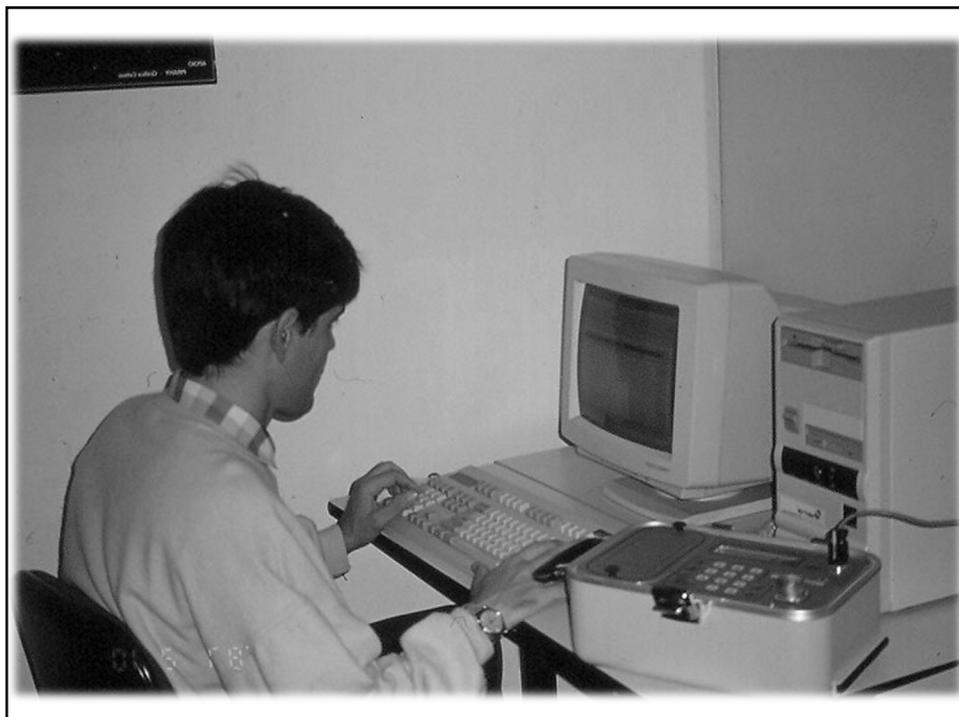
72



73



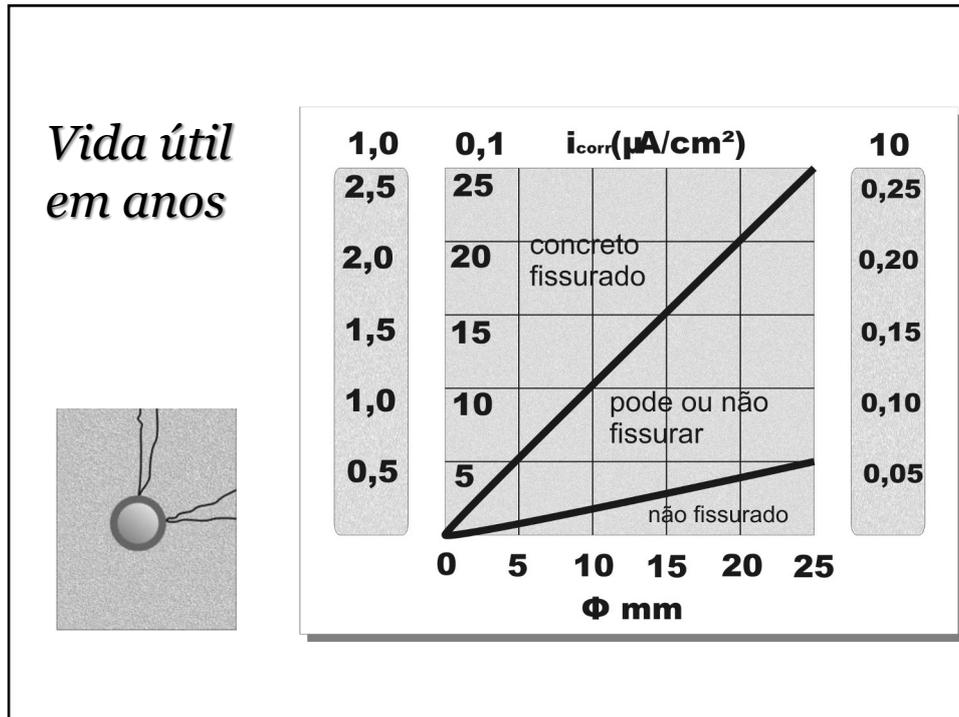
74



75

*VIDA ÚTIL  
RESIDUAL*

76



77

**Obra executada e em bom aspecto**



78

### 1. A obra por fazer

- Parâmetros desconhecidos
- Período de iniciação
- Critério subjetivo
- Estado limite de serviço

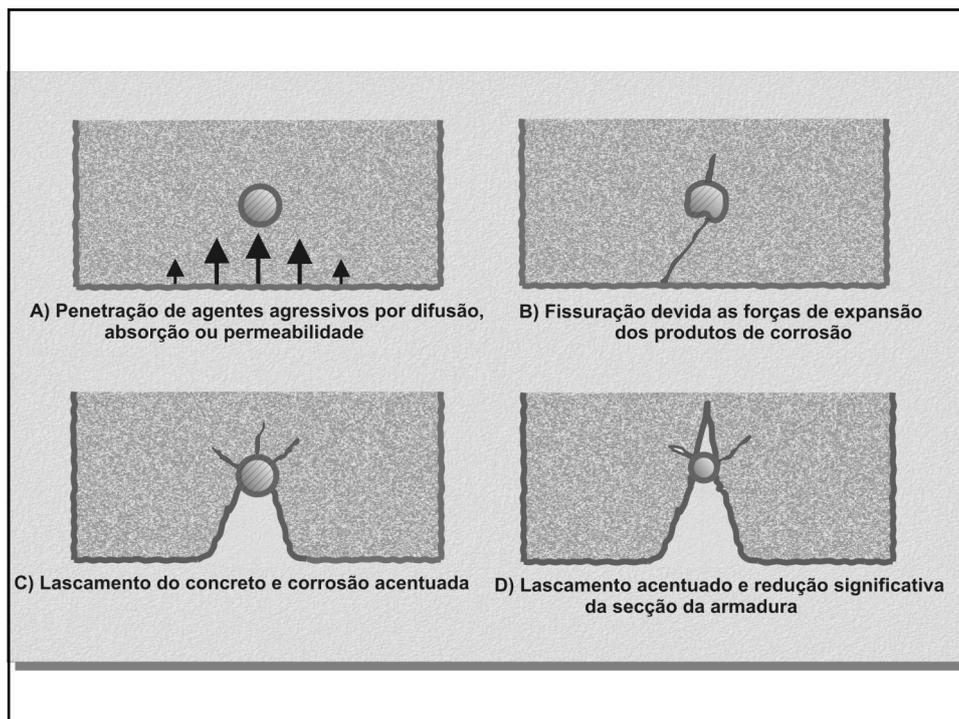
### 2. A obra executada em bom aspecto

- Parâmetros conhecidos /efetivos
- Período de iniciação
- Critério objetivo
- Estado limite de serviço

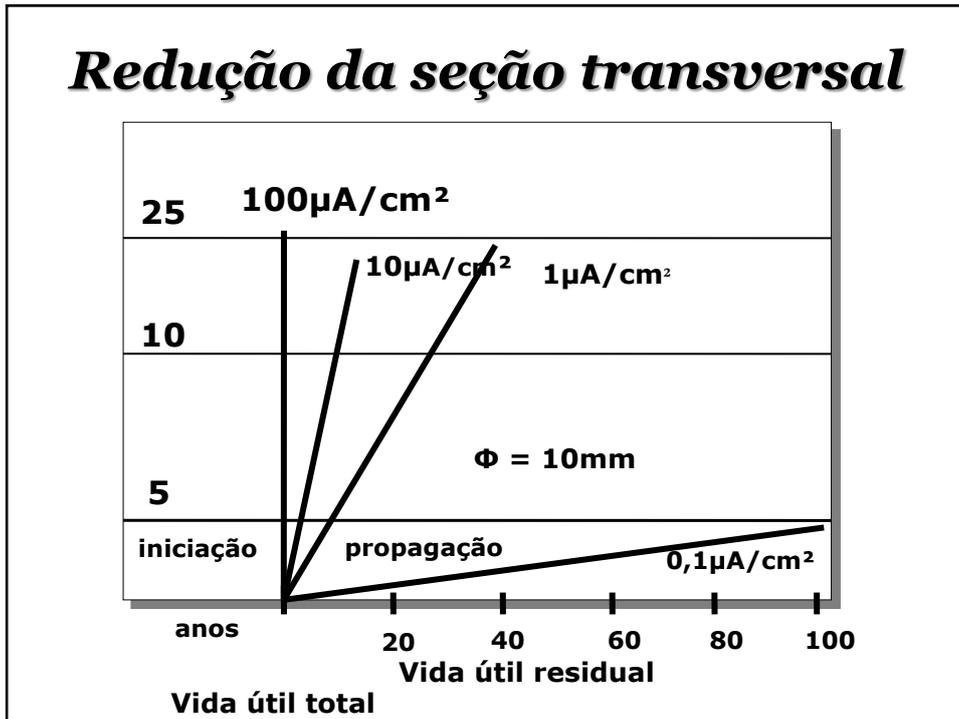
### 3. A obra deteriorada

- Parâmetros conhecidos?
- Período de propagação
- Critério objetivo?
- Estado limite de ruptura

79



80



81



82



83

### ***RESULTADOS TÍPICOS***

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Região corroída</b>	<b>Região não corroída</b>
<b><math>f_c</math></b>	<b>MPa</b>	<b>18</b>	<b>18,1</b>
<b>Massa específica</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2380</b>	<b>2380</b>
<b>Absorção d' água</b>	<b>%</b>	<b>6,0</b>	<b>5,9</b>
<b>Volume de vazios</b>	<b>%</b>	<b>11,6</b>	<b>11,8</b>
<b>Resistividade</b>	<b>Ambiente</b>	<b><math>\Omega</math> m</b>	<b>355</b>
	<b>Saturado</b>	<b><math>\Omega</math> m</b>	<b>173</b>
	<b>Seco</b>	<b><math>\Omega</math> m</b>	<b>1840</b>
<b>Cloretos</b>	<b>%</b>	<b>0,53</b>	<b>0,07</b>

84

**PROCEDIMENTOS PARA DETECTAR  
PROCESSOS CORROSIVOS**

**COMMITTEE REPORT ACI 222 R - 85**

- **Pacômetro**    **posição**  
                  **bitola**  
                  **cobrimento**
  
- **Medida do potencial elétrico ( ASTM C876)**  
  < - 0,35 V → alta probabilidade de corrosão  
  > - 0,20 V → alta probabilidade de não corrosão  
  Entre - 0,20V e - 0,35 V → incerteza
  
- **Teor de cloretos ( ASTM C114 )**
- **Resistividade**

85



86