

# ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Prof. Eliana Barreto Monteiro

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

## *Ensaio para Avaliação das Estruturas*

- Inspeção visual
- Ensaio não destrutivo
- Ensaio destrutivo

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

## *Ensaio para Avaliação das Estruturas*

- Avaliação da resistência e integridade do concreto
- Avaliação do processo de corrosão das armaduras
- Avaliação de fatores intervenientes na durabilidade
- Avaliação da segurança estrutural

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Inspeção Visual*

- Caracterização física da obra
- Registro fotográfico
- Identificação das manifestações patológicas aparentes
- Diagnóstico inicial
- Programação de ensaios

---

---

---

---

---

---

---


---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Inspeção Visual*

NIVEIS DE DANOS

Indicações Visuais	
Troca de cor	Manchas de corrosão
Fissuração	Não se observa
Destacamento do Cobrimento	Não se observa
Perdas de Seção do Aço	Não se observa



CEB, 1983

---

---

---

---

---

---

---

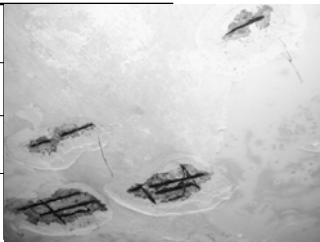
---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Inspeção Visual*

NIVEIS DE DANOS

Indicações Visuais	
Troca de cor	Manchas de umidade
Fissuração	Não se observa
Destacamento do Cobrimento	Em algumas áreas
Perdas de Seção do Aço	~ 15%



CEB, 1983

---

---

---

---

---

---

---

---

### Inspeção Visual

#### NIVEIS DE DANOS

##### Indicações Visuais

Troca de cor	Não se observa
Fissuração	Não se observa
Destacamento do Cobrimento	Não se observa
Perdas de Seção do Aço	Estribos Rompidos



CEB, 1983

---

---

---

---

---

---

---

---

### Inspeção Visual

#### Equipamentos de auxílio à inspeção visual

Fonte: HELENE, 1998



---

---

---

---

---

---

---

---

### Inspeção Visual

#### Equipamentos de auxílio à inspeção visual



---

---

---

---

---

---

---

---

*Ensaio Realizado em Laboratório*

- Absorção capilar
- Traço/composição
- Porosidade
- Agentes agressivos

---

---

---

---

---

---

---

---

*Ensaio Realizado em Laboratório*

**POROSIDADE**

O valor da porosidade de um concreto fornece indicações da qualidade desse concreto e pode ser considerado um indicador de permeabilidade

Metodologia

NBR 9778-87

---

---

---

---

---

---

---

---

*Ensaio Realizado em Laboratório*

POROSIDADE	AVALIAÇÃO
< 10%	Concreto de boa qualidade e bem compacto
Entre 10% e 15%	Concreto bom, porém permeável e não adequado para ambientes agressivos
> 15%	Concreto muito permeável e não adequado para proteger a armadura por longos períodos

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ensaio Mecânicos, Físicos e Químicos no Concreto*

Amostragem: "in loco", testemunhos, pó ou pedaços de concreto

Ensaio: **Esclerometria (IE), NBR 7584**

---

---

---

---

---

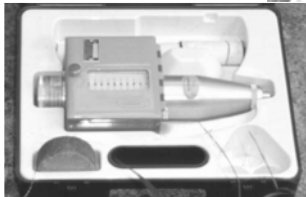
---

---

---

*Esclerometria de Reflexão*

Esclerômetro



Fonte: HELENE, 1998

---

---

---

---

---

---

---

---

*Esclerometria de Reflexão*

Preparação da Superfície



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

- NBR-7584, ASTM C 805, ACI 228.1R-95
- Medida da dureza superficial do concreto
- Ensaio qualitativo ou quantitativo



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

- Execução fácil e rápida
- Baixo custo
- Redução da quantidade de testemunhos extraídos
- Influência de muitos fatores:
  - Tipo de cimento, traço, tipo de agregado, textura superficial, teor de umidade, cura, carbonatação, geometria, presença de armaduras
- Avaliação apenas superficial do concreto
- Má correlação com a resistência à compressão

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

- Aplicação → Verificar a homogeneidade do concreto através da sua dureza superficial
- Equipamento → Esclerômetro
- Princípio → Reflexão de uma massa martelo, lançada contra a superfície através de uma mola

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

Procedimento de Ensaio

Aferição do aparelho

Remoção dos revestimentos

Superfície lisa

Distância entre os pontos de impacto = 30 mm

Número de pontos: 5, 9, 16 impactos por área

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

Precauções

Evitar impactos sobre agregados e armaduras

Deve ser aplicado na direção de maior inércia da peça

Umidade

Carbonatação

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Esclerometria de Reflexão*

Resultados

Desprezar o IE individual com valor 10% inferior ao valor médio

MEDIA (IE)	QUALIDADE DA COBERTURA DO CONCRETO
>40	Boa, superfície dura
30-40	Satisfatória
20-30	Ruim
<20	Fissuras / concreto solto junto à superfície

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ensaio Mecânicos, Físicos e Químicos no Concreto*

Amostragem: "in loco", testemunhos, pó ou pedaços de concreto

Ensaio: **Esclerometria (IE), NBR 7584**

**Ultra-sonografica (v) (m/s), NBR 8802**

---

---

---

---

---

---

---

---

*Ultra-sonografia*



Fonte: HELENE, 1998

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ultra-sonografia*

- NBR-8802, ASTM C 597, ACI 228.1R-95
- Medida da velocidade de propagação de ondas ultra-sonoras através do concreto
- Avaliação da homogeneidade e da compacidade do concreto
- Velocidade aumenta com aumento da compacidade do concreto

---

---

---

---

---

---

---

---



ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ultra-sonografia*

- Execução rápida e razoavelmente simples
- Baixo custo
- Eficiência para detectar ninhos de concretagem e alta porosidade do concreto
- Influência de muitos fatores:
  - teor de umidade, mau contato superficial, presença de armadura
- Erros frequentes de execução do ensaio
- Erros na determinação da profundidade de fissuras
- Má correlação com a resistência à compressão

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ultra-sonografia*

PRINCÍPIO

Vibrações próximas das do som, de pequenos comprimentos e freqüências superiores a 20 KHz, acima do limite da audição humana

MÉTODO

Velocidade de propagação do som e da ressonância

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ensaio Mecânicos, Físicos e Químicos no Concreto*

Amostragem: “in loco”, testemunhos, pó ou pedaços de concreto

Ensaio:

Esclerometria (IE), NBR 7584

Ultra-sonografica (v) (m/s), NBR 8802

Resistência à compressão (MPa), NBR 5739

---

---

---

---

---

---

---

---

*Resistência à Compressão de Testemunhos Extraídos*

**Etapa 1**

Máquina Extratora de Testemunhos



Diâmetro do testemunho  
Relação altura/diâmetro  
Homogeneidade  
Evitar cortar o aço  
Faces paralelas



---

---

---

---

---

---

---

---

*Resistência à Compressão de Testemunhos Extraídos*



**Etapa 2**

Ensaio no Laboratório

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Resistência à Compressão de Testemunhos Extraídos*

- Medida mais confiável da resistência do concreto
- Possibilidade de análise química
- Calibração dos ensaios não-destrutivos
- Avaliação da espessura e das camadas do pavimento
- Inviável em certos casos e regiões da estrutura
- Necessidade de execução de reparo
- Necessidade de locação das armaduras

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Resistência à Compressão de Testemunhos Extraídos*

**De onde extrair os testemunhos?**

Zonas expostas a atmosfera mais agressiva

Zonas aparentemente mais afetadas com presença visível de sinais de corrosão

Zonas de máximo trabalho mecânico

Zonas de ventos predominantes e expostas ao sol

**Amostragem:** Número de amostras variável - min 6  
Idade > 14 dias ou resistência > 5 Mpa

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ensaios Mecânicos, Físicos e Químicos no Concreto*

**Amostragem:** "in loco", testemunhos, pó ou pedaços de concreto

- Ensaios:**
- Esclerometria (IE), NBR 7584
  - Ultra-sonográfica (v) (m/s), NBR 8802
  - Resistência à compressão (MPa), NBR 5739
  - Profundidade de Carbonatação, RILEM CPC18

---

---

---

---

---

---

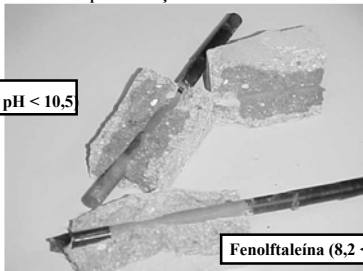
---

---

*Profundidade de Carbonatação*

- Medida da profundidade de carbonatação do concreto
- Concreto:  $12,6 < \text{pH} < 13,5$
- Despassivação das armaduras ( $\text{pH} < 9,0$ )
- Principal causa de despassivação das armaduras
- Indicadores:

Timolftaleína ( $9,3 < \text{pH} < 10,5$ )



Fenolftaleína ( $8,2 < \text{pH} < 9,8$ )

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Profundidade de Carbonatação*

- Ensaio simples
- Resultado imediato
- Baixo custo
- Ensaio essencial para o estudo da corrosão
- Bom indicador da possibilidade de ocorrência de corrosão
- Ensaio parcialmente destrutivo - ensaio sobre superfície fraturada
- Necessidade de execução de pequenos reparos
- Grande variabilidade conforme a qualidade do concreto e o regime de exposição

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Profundidade de Carbonatação*

Metodologia

„Aplicação da Fenolfetaleína numa porção do concreto que fique na superfície, realizando uma fratura recente e ortogonal à armadura

„Esperar alguns minutos o indicador alterar a sua cor

„Leitura da espessura carbonatada com a precisão de milímetro

pH	Coloração	Situação
< 8,2	Incolor	Carbonatada
9,8	Vermelho-carmim	Não Carbonatada

---

---

---

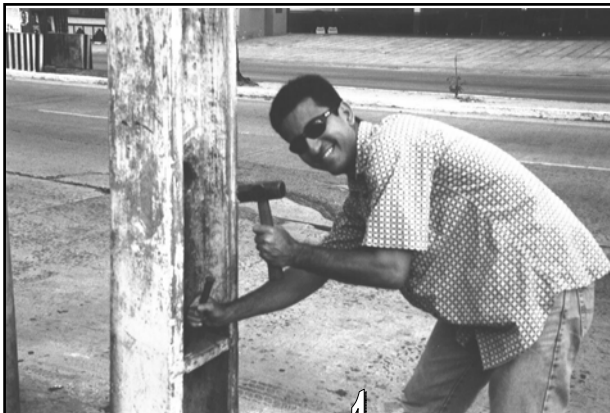
---

---

---

---

---



Etapa 1

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Ensaio Mecânicos, Físicos e Químicos no Concreto*

Amostragem: "in loco", testemunhos, pó ou pedaços de concreto

Ensaio:

Esclerometria (IE), NBR 7584

Ultra-sonografica (v) (m/s), NBR 8802

Resistência à compressão (MPa), NBR 5739

Profundidade de Carbonatação, RILEM CPC18

Teor de cloretos, ASTM C1152 e ASTM C1411

---

---

---

---

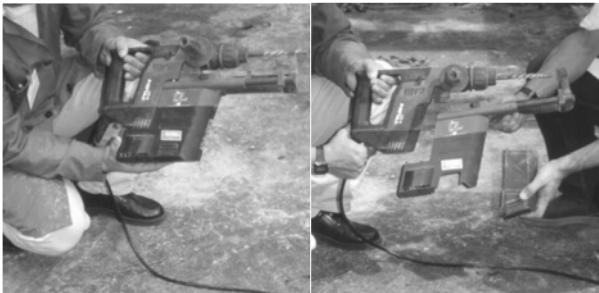
---

---

---

---

*Teor de Íons Cloreto*



Fonte: HELENE, 1998

---

---

---

---

---

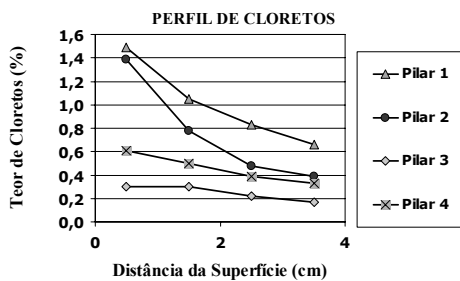
---

---

---

*Teor de Íons Cloreto*

- ASTM C 1152, Método do IPT
- Determinação do teor e do perfil de penetração de íons cloreto no concreto



---

---

---

---

---

---

---

---

### *Teor de Íons Cloreto*



- Extração de amostras de distintas profundidades

---

---

---

---

---

---

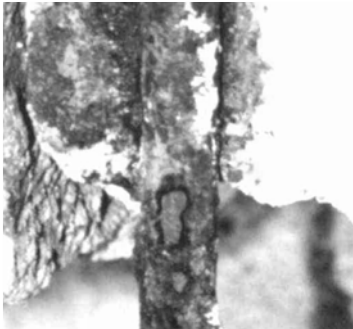
---

---

### ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

#### *Teor de Íons Cloreto*

- Corrosão por pites



---

---

---

---

---

---

---

---

### ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

#### *Teor de Íons Cloreto*

- Dado importante ao diagnóstico e projeto de reparo
- Grande incidência em regiões de névoa marinha
- Bom indicador da possibilidade de ocorrência de corrosão
- Necessidade de extração de amostras em pó a distintas profundidades
- Necessidade de execução de reparo superficial
- Imprecisão de alguns métodos de determinação de íons livres e totais

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Teor de Íons Cloreto*

Metodologia

Cloretos Livres

A amostra moída e seca e tratada com nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>)

Cloretos Totais

A amostra moída e seca e tratada com ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)

*Obs: O teor de cloretos obtido pode ser referido ao peso total da mostra ou ao consumo de cimento por volume de concreto*

(Andrade, 1992)

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Mapeamento de Fissuras*

- Investigação dos padrões de fissuração em cada elemento da estrutura
- Locação das fissuras
- Medida de abertura, comprimento, profundidade, direção e atividade
- Quantificação
- Correlação com os demais fatores: estado de tensões do elemento na região fissurada, regime de exposição da face fissurada, posição da fissura em relação às armaduras, presença de umidade, sulfatos, etc.

---

---

---

---

---

---

---

---

*Mapeamento de Fissuras*



Fonte: HELENE, 1998

---

---

---

---

---

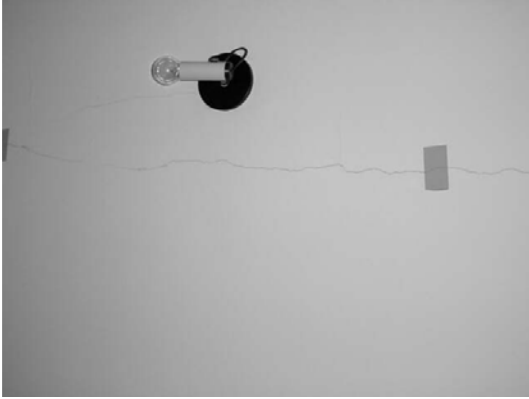
---

---

---



## *Verificação de Fissuras Ativas ou Passivas*



Fonte: DEFESA CIVIL, 2003

---

---

---

---

---

---

---

---

### ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

#### *Mapeamento de Fissuras*

- Exigência de equipamentos simples
- Baixo custo
- Acusam problemas estruturais
- Regiões preferenciais de ingresso de agentes agressivos
- Dificuldade de estimativa da profundidade (ensaios imprecisos)
- Diagnóstico por vezes difícil - origem em diversos fatores
- Dificuldade de acesso a toda a superfície de concreto da estrutura

---

---

---

---

---

---

---

---

### ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

#### *Resistividade Elétrica do Concreto*

- NBR 9204, ASTM G57
- Medida da resistividade elétrica do concreto frente à aplicação de um campo elétrico
- Mapeamento da qualidade do concreto quanto à proteção das armaduras

---

---

---

---

---

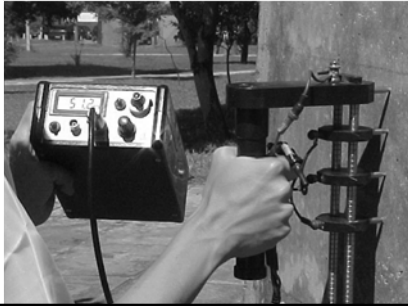
---

---

---

*Resistividade  
Elétrica  
do Concreto*

Método de Wenner (4 Eletrodos)



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Resistividade Elétrica do Concreto*

- Dado importante ao diagnóstico e projeto de reparo
- Propriedade que afeta a cinética da corrosão
- Bom indicador da possibilidade de ocorrência de corrosão
- Grande influência do teor de umidade do concreto
- Interferência das condições geométricas de ensaio, presença de armaduras, não-homogeneidade do concreto e temperatura
- Sozinho o ensaio não é conclusivo

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Resistividade Elétrica do Concreto*

**Tabela 3** - Probabilidade de corrosão em função da resistividade elétrica do concreto segundo o CEB Bulletin D'Information n° 192.

Resistividade do concreto $\rho$ ( $k\Omega cm$ )	Taxa de corrosão provável
> 20	desprezível
Entre 10 e 20	baixa
Entre 5 e 10	alta
< 5	muito alta

---

---

---

---

---

---

---

---

*Avaliação do Estado da Armadura*

Ensaio: **Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento**  
BS 1881: Part 204

---

---

---

---

---

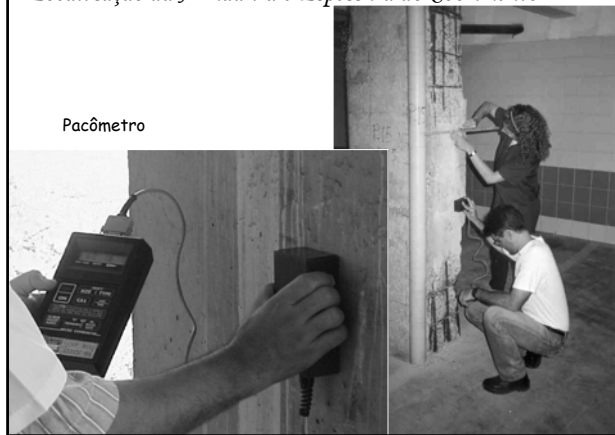
---

---

---

*Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento*

Pacômetro



---

---

---

---

---

---

---

---

*Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento*

- Detecção eletromagnética da posição, bitola e cobrimento das armaduras
- Auxílio à realização dos demais ensaios

---

---

---

---

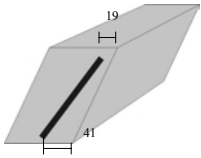
---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO  
*Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento*



•Verificação da conformidade com o projeto

---

---

---

---

---

---

---

---

*Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento*



Corrosão das Armaduras devido a influência do cobrimento

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Avaliação do Estado da Armadura*

Ensaio: 

Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento BS 1881: Part 204
--

Potencial Eletroquímico (Ecorr) (mV), ASTM C876
---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Potencial Eletroquímico



---

---

---

---

---

---

---

---

## Potencial Eletroquímico



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

## Potencial Eletroquímico

- ASTM C 876/87
- Procedimento mais utilizado em campo para monitoramento da corrosão
- Magnitude dos potenciais dá indício do risco de corrosão
- Utiliza eletrodo de referência em relação ao qual os potenciais são tomados

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Potencial Eletroquímico*

- Ensaio não-destrutivo
- Facilidade de deslocamento do eletrodo de referência
- Identificação de zonas comprometidas antes dos sintomas externos
- Rapidez e facilidade das medidas, simplicidade e baixo custo
- Dependem da umidade, tipo de cimento, aditivos, idade, etc.
- Não fornecem velocidade de corrosão da armadura

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Potencial Eletroquímico*

**Tabela 1** - Probabilidade de corrosão em função do potencial de corrosão segundo a ASTM C 876/92.

Ecorr (mV)	Probabilidade de Corrosão
> - 200	menor que 10%
entre -200 e - 350	incerta
< - 350	maior que 90%

---

---

---

---

---

---

---

---

*Procedimento para Detectar a Corrosão*

**Preparação dos pontos de medida**

•Localização das armaduras



---

---

---

---

---

---

---

---

*Procedimento para Detectar a Corrosão*

**Preparação dos pontos de medida**

•Umdecimento da estrutura



---

---

---

---

---

---

---

---

*Procedimento para Detectar a Corrosão*

**Preparação dos pontos de medida**

•Preparação do contato



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

*Avaliação do Estado da Armadura*

- Ensaios:
- Localização da Armadura e Espessura do Cobrimento  
BS 1881: Part 204
  - Potencial Eletroquímico ( $E_{corr}$ ) (mV), ASTM C876
  - Velocidade de Corrosão ( $i_{corr}$ ) ( $\mu A/cm^2$ )

---

---

---

---

---

---

---

---

## Velocidade de Corrosão



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

## Velocidade de Corrosão

- Informações quantitativas
- Permite a estimativa da velocidade de corrosão no momento do ensaio
- Elevado custo inicial
- Sofre influência da umidade, geometria da peça etc.

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

## Velocidade de Corrosão

Tabela 2 - Classificação da taxa de corrosão em função da  $i_{corr}$

$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Grau de corrosão
< 0,1	Desprezível
0,1 – 0,5	Baixo
0,5 – 1,0	Moderado
> 1	Alto

ANDRADE & ALONSO (2000)

---

---

---

---

---

---

---

---



## Velocidade de Corrosão



---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

### *Procedimento para Detectar a Corrosão*

- **Localização da armadura e espessura de cobrimento**
  - ❖ Posição, bitola, cobrimento
- **Levantamento da profundidade de carbonatação**
- **Levantamento do teor e do perfil de penetração de íons cloreto**

ACI 222 R-85

---

---

---

---

---

---

---

---

ENSAIOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

### *Procedimento para Detectar a Corrosão*

- **Mapeamento do potencial de corrosão**
  - ❖ Preparação da estrutura
- **Mapeamento da resistividade elétrica do concreto**

ACI 222 R-85

---

---

---

---

---

---

---

---