



## **Inspeção de Estruturas de Concreto Patologia e Diagnóstico**



**Paulo Helene**  
*Diretor PhD Engenharia  
Conselheiro Permanente IBRACON  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Gestor ALCONPAT Internacional  
Diretor Técnico IBRACON  
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
Conselheiro da CNTU e SEESP*

**REGIONAL BH**

**09 de agosto de 2018**

**Belo Horizonte**

1

## **Patologia**

**Manifestações patológicas**

**Acidentes**

**Danos**

**Falhas**

**Erros**

**Lesões**

**Má construção**

**Materiais inadequados**

**Manutenção inadequada**

**Uso inadequado**

2

**Robert Stephenson no discurso de posse na presidência do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha em 1856:**

**“...tenho esperança de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados.**

**Nada é tão instrutivo para jovens engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção.**

**O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos.**

**Também os engenheiros experientes aprendem desses ensinamentos e lições dos acidentes que até podem ocorrer nas suas próprias obras.**

**Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação desses problemas nos arquivos desta reconhecida Instituição”...**

3

## **Patologia de estruturas**

- Parte da engenharia que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos, falhas, erros do projeto, da construção e do uso e manutenção;
- Estudo multidisciplinar das partes visando o diagnóstico correto do problema;
- Tem o objetivo de ajudar a definir a melhor intervenção (restringir uso, reforçar, proteger, demolir, etc.) e evitar repetição de problemas

4

## **Patologia de estruturas**

Profissionais e entidades envolvidas na solução de problemas patológicos:

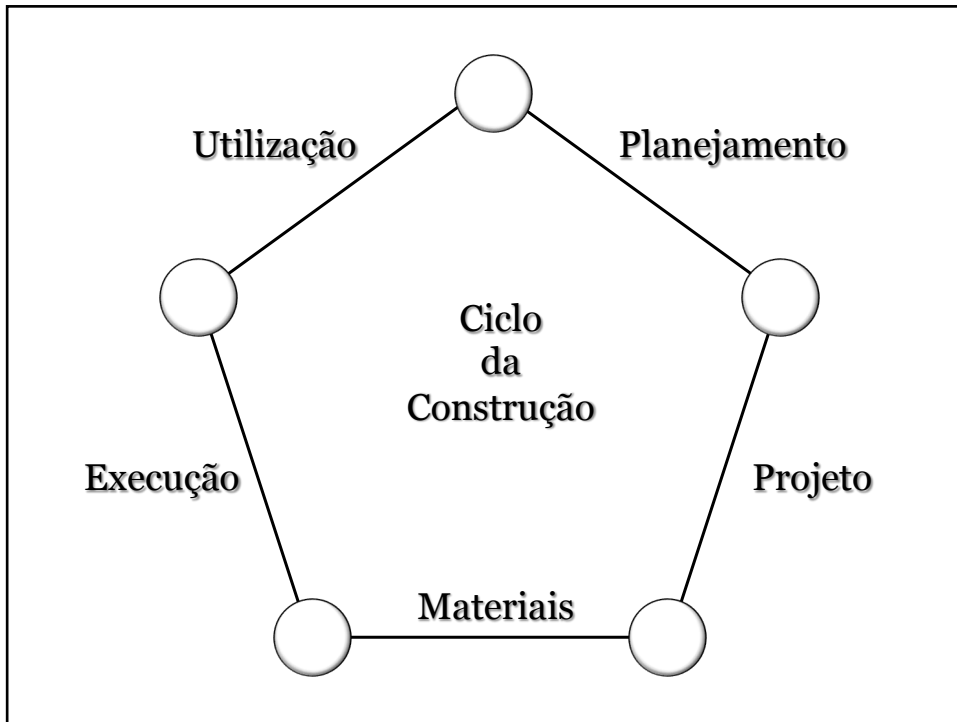
- Engenheiro civil;
- Engenheiro mecânico;
- Engenheiro químico;
- Geólogos;
- Físicos;
- Metalurgistas;
- Universidades;
- Institutos de Pesquisa;
- Laboratórios de controle tecnológico dos materiais;
- Órgãos Públicos, Prefeituras, Proprietário, arquitetos

5

## **Manifestações patológicas**

- Podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo;
- São normalmente provocadas por agentes agressivos, esforços internos e externos ou por procedimentos equivocados de projeto, execução ou utilização;
- Na apresentação das manifestações patológicas procura-se explicitar: origem do problema, agentes causadores mecanismos, formas de prevenção e alternativas de correção.

6



7

## **Patologia**

“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático dos defeitos, falhas, danos, lesões das construções, bem como seus sintomas, causas, origem e mecanismos.

8

## **Patologia**

pato → grego *páthos* = doença

logia → grego *lógos* = estudo, ciência

patologia → ramo da engenharia que se ocupa do estudo da natureza, origem, mecanismo e causa dos problemas e defeitos nas construções civis

9

## **Profilaxia**

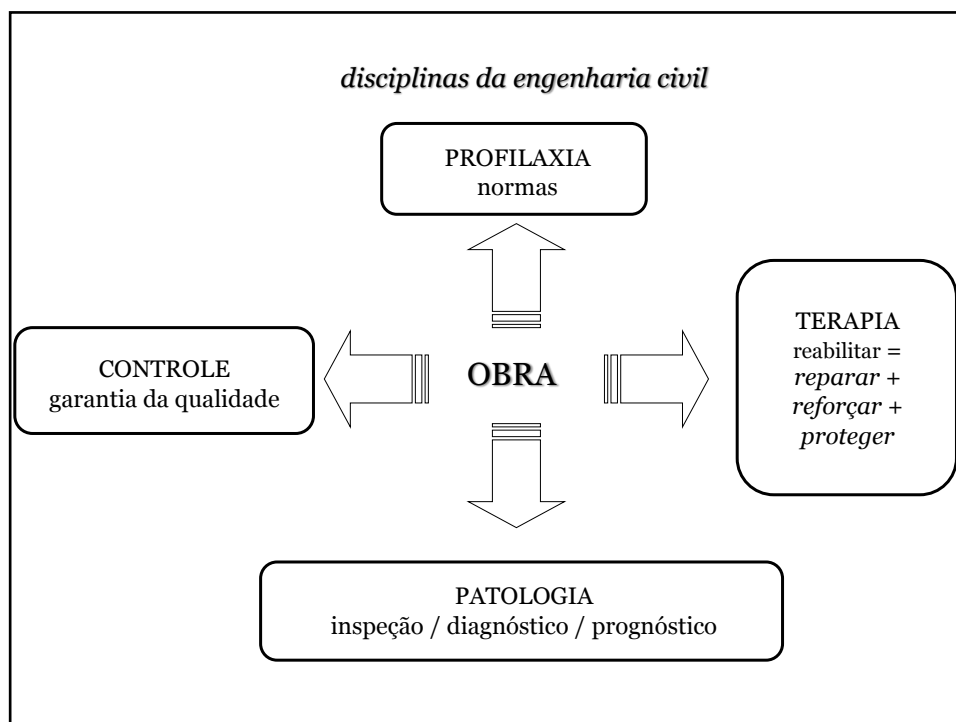
“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como evitar problemas patológicos nas construções, ou seja, como “bem projetar”, como “bem construir”, como “bem operar” e como “bem manter”

10

# Terapia

“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como intervir em construções que apresentam problemas patológicos

11



12

## **Conceitos**

- Inspeção, vistoria é o ato de observar visualmente e com instrumentos a estrutura com vistas a identificar e diagnosticar problemas patológicos ou de envelhecimento natural. Pode ser preliminar ou detalhada

13

## **Conceitos**

- Diagnóstico é o parecer conclusivo sobre um problema patológico que pressupõe a resposta a qual o sintoma típico, qual a origem do problema, quais os agentes causadores e como foi o mecanismo de deterioração

14

## **Conceitos**

- **Prognóstico é uma previsão sobre o desenvolvimento e consequências futuras de um problema patológico frente a diferentes cenários, no mínimo frente a um cenário de não intervenção.**

15

## **Conceitos**

- **Estudo de alternativas de intervenção**
- **Escolha da solução**
- **Projeto de intervenção**
- **Manual de manutenção**

16



## Terminologia

- Defeito, lesão, anomalia, dano, manifestação patológica, sintoma patológico – constatação de que uma ou mais partes da estrutura não cumprem, precocemente, o fim que lhes foi previsto.
- Envelhecimento natural – sintoma patológico que ocorre coincidentemente com o fim da vida útil prevista.
- Problema patológico – questão a ser resolvida.

17

## Terminologia (comum e judicial)

- **Vício** – erro de projeto ou executivo que compromete o bom desempenho da estrutura.
- **Vício oculto (erro redibitório)** – Vício que não pode ser identificado antes da manifestação de suas conseqüências e danos.
- **Vício de construção** – sintoma visível, relativo à execução

18

## **Tipos de intervenções nas estruturas**

- **Reabilitação:** é a recomposição da capacidade estrutural originária de um elemento danificado.
- **Reparo:** é uma intervenção específica
- **Reforço:** é o incremento de capacidade estrutural de um elemento.
- **Proteção**

19

## ***Inspeção e técnicas empregadas***

- Tecnologia dos materiais
- Métodos de ensaios destrutivos ou não destrutivos
- Sistemas de medida da geometria das estruturas
- Sistemas de medida de deformações
- Análises químicas e físicas dos materiais
- Todos os recursos da resistência dos materiais e do dimensionamento e verificação de estruturas

20

# Como Corrigir ?

## Inspeção e Diagnóstico:

- Origem
- Mecanismo
- Agentes causadores
- Prognóstico

## Intervenção Corretiva:

- Materiais
- Equipamentos
- Mão de obra
- Procedimentos

## Manutenção

21

# MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO

22

## **ABNT NBR 6118:2014**

*"mecanismos de deterioração e envelhecimento"*

### **6.3.2 Concreto**

- ✓ lixiviação;
- ✓ expansão → sulfatos
- ✓ expansão → AAR
- ✓ intemperismo → pirita/ferruginosos

### **6.3.3 Aço**

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

### **6.3.4 Estrutura**

ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos,  
ações cíclicas, retração, fluência e relaxação

23

## **6.3.2 Concreto → *Lixiviação***



**Cobertura do  
Prédio da FAU-USP**



**Edifício da  
Engenharia Civil  
POLI.USP**

24



25

### 6.3.2 Concreto → ***Lixiviação***

#### ***Mecanismo***

- **carreamento** de sais solúveis pela água,  $\text{Ca(OH)}_2$

#### ***Manifestação, Sintoma, Vício***

- Manchas esbranquiçadas na superfície  $\text{CaCO}_3$
- Eflorescência, pode até formar estalactites
- Aumento da porosidade interna do concreto
  - Redução do pH com risco de corrosão

26

### 6.3.2 Concreto → ***Lixiviação***

#### ***Como evitar, Prevenção, Profilaxia***

- Reduzir relação a/c, usar adições
- Melhorar condições de cura;
- Impermeabilizar evitando água.

27

### 6.3.2 Concreto → ***Lixiviação***

#### ***Como corrigir:***

- de onde vem a água?
- porque o concreto está poroso e permeável?
- porque fissurou?
- é fissura “viva” ou “morta”?
- é aparente, respeitar estética?
- é estrutural, precisa monolitismo?

#### ***Inspeção, Diagnóstico e Projeto de Intervenção Corretiva***

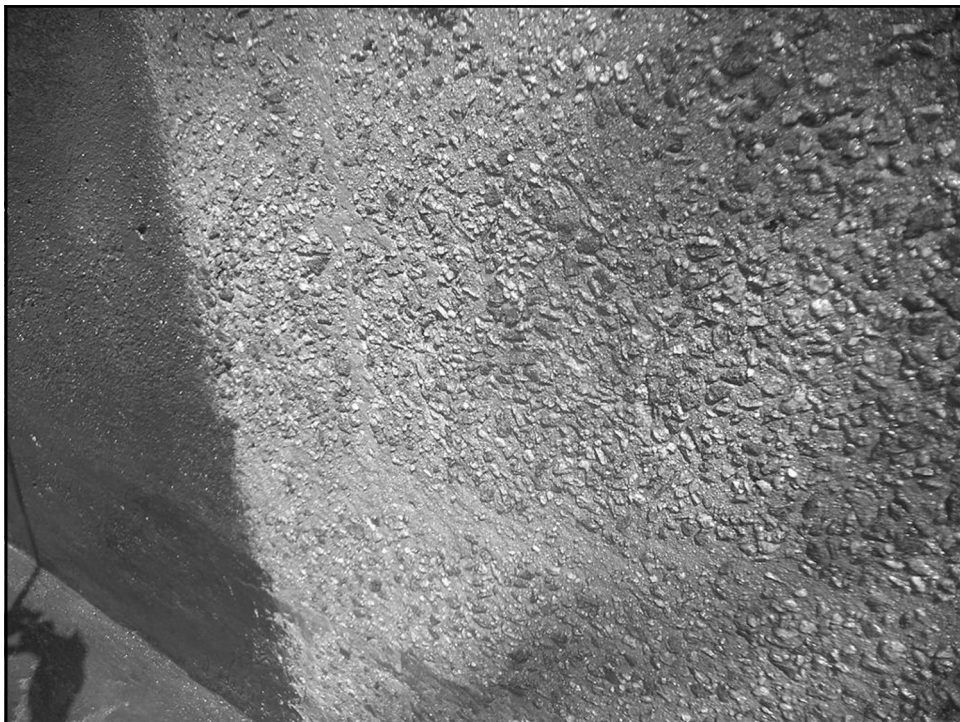
#### ***Procedimento de Manutenção***

28

## **Ataque ácido**

- Remoção da pasta e exposição dos agregados;
- Aumento da porosidade do concreto;
- Diminuição da resistência;
- Despassivação e posterior corrosão das armaduras.

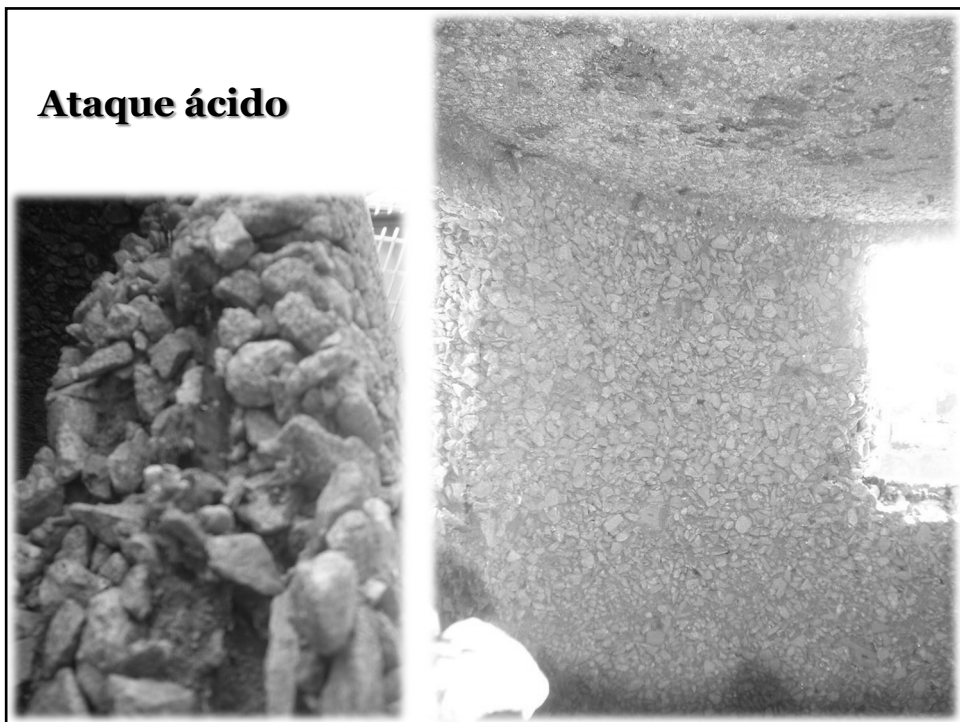
29



30



31



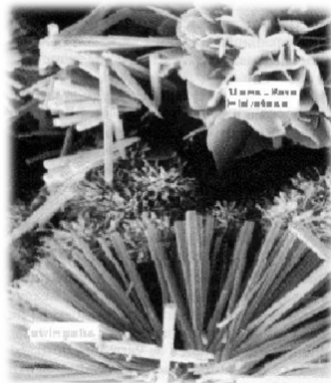
32



### 6.3.2 Concreto → *Expansão*

Reações expansivas

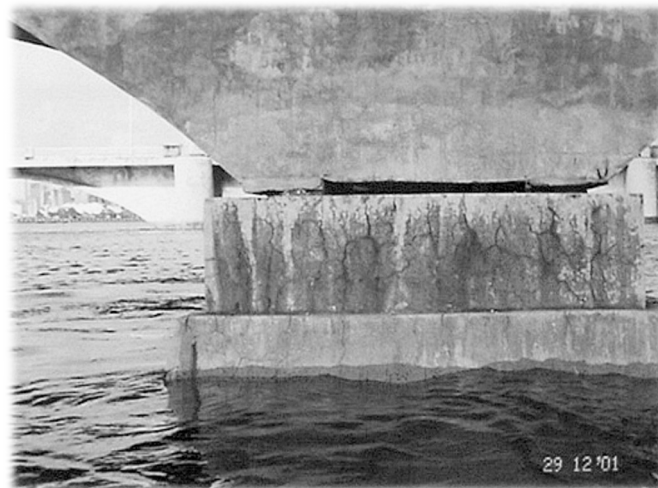
Sulfatos,  $\text{SO}_4^{-2}$



33

### 6.3.2 Concreto → *Expansão*

**Reação Álcali-Agregado AAR**



34

# **PONTE PAULO GUERRA**

**concreto armado**

**corrosão armaduras**

**reação álcali-agregado**

***Inspeção impede colapso***

35



36



37



38

## **Ponte Paulo Guerra**

**Recife PE → 2002**

**inaugurada 1980                      22 anos**  
**blocos de fundação               $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$**   
**Tabuleiro de concreto armado**  
 **$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$**   
**sobre rio, junto ao mar, fora de respingos**

39

## **Ponte Paulo Guerra**

**Diagnóstico:**

**análise da água**

**pH = 7,5                       $\text{Cl}^- = 14.000 \text{ mg/L}$**   
 **$\text{Mg}^{++} = 900 \text{ mg/L}$                        $\text{SO}_4^{++} = 1.900 \text{ mg/L}$**   
 **$\text{SO}_4^{++}$  no concreto = 0,35% a 0,62%**  
 **$\text{SO}_4^{++}$  max concreto = 0,59% p/ 3% gesso**

40

## Ponte Paulo Guerra

### Diagnóstico:

- Cobrimento            m 16mm   s 2,5mm
- carbonatação            < 12mm
- $E_{\text{corr}}$                     10 to - 450 mV
- $i_{\text{corr}}$                     0,07 to 0,31 mA/cm<sup>2</sup>
- ultra som                1600 to 3800 m/s

41

## Ponte Paulo Guerra

### Diagnóstico:

- testemunhos            m = 28 MPa
- módulo de elasticidade 5 to 30 GPa
- análise petrográfica  
    “evidência de reação alcali-agregado;  
    nenhuma evidência de etringita  
    secundária”

42



43



44

### 6.3.3 Aço → **Corrosão de Armaduras**

#### Despassivação por carbonatação

■  $\text{Ca(OH)}_2$  ---  $\text{pH} \geq 12$   
(aço passivado)

■  $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



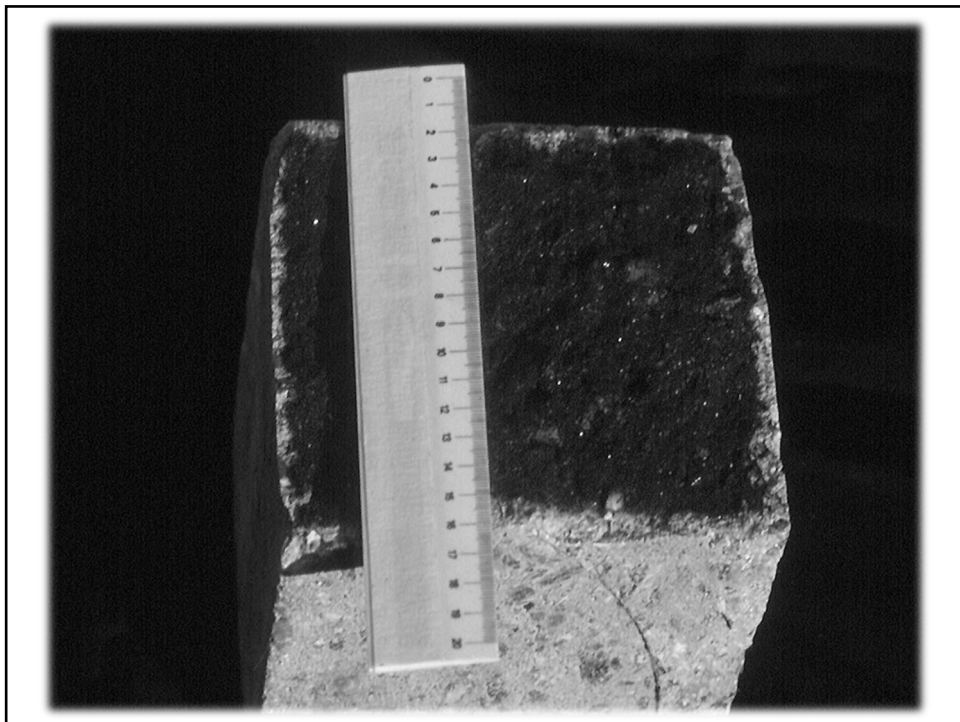
45



46



47



48





49

# Fissuras e Carbonatação

50



51



52

6.3.3 Aço →  
***Corrosão de  
Armaduras***

Despassivação  
por cloretos



53

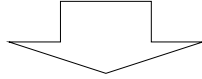


54

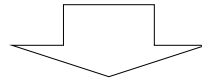


## **Corrosão de armaduras**

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



**Não há corrosão**



**Passivação**

57

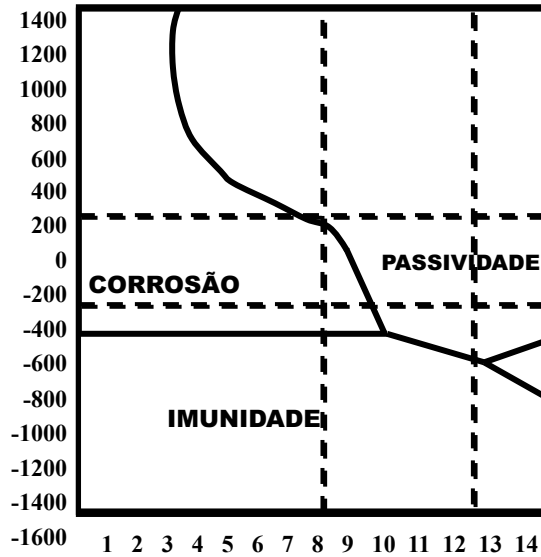
## **Passivação**

- Película fina de um filme de óxido estável e aderente formado na superfície do concreto
- Estado em que o aço se encontra no interior do concreto por ser um meio bastante alcalino (pH=12,6)

58

## Diagrama de Pourbaix

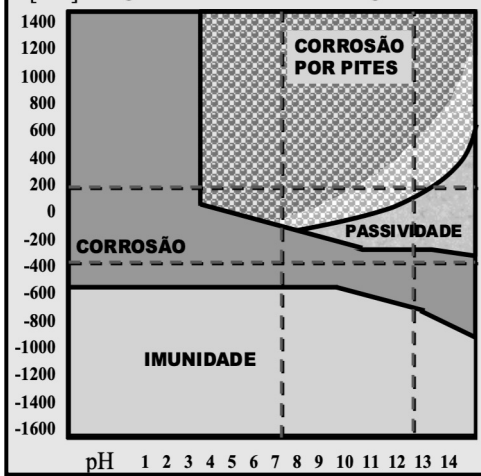
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



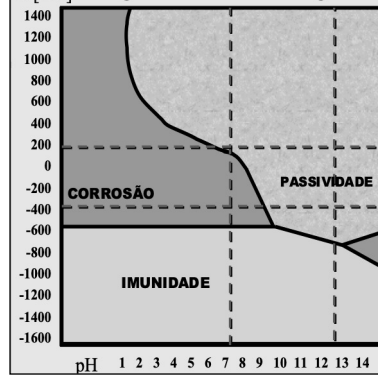
59

## Cloretos

E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água com Cl



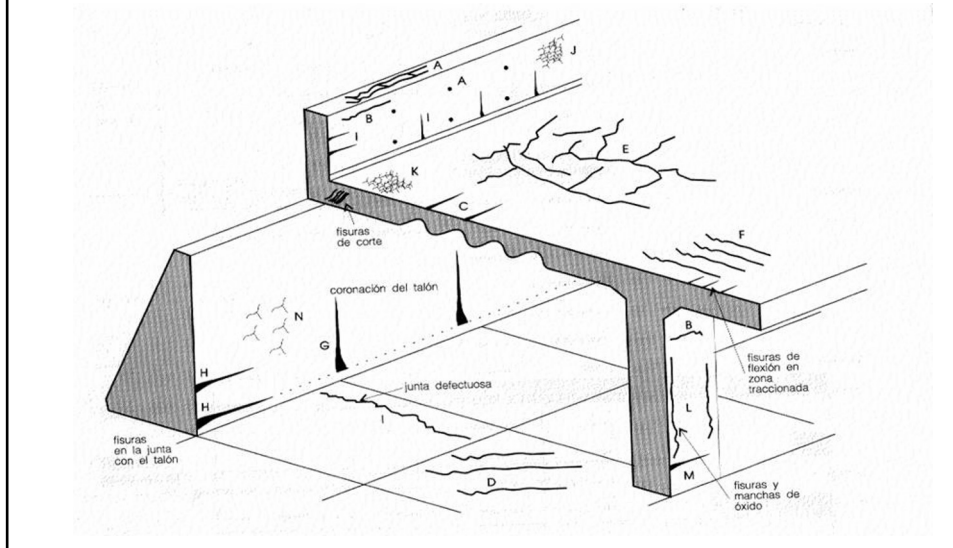
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



60

### 6.3.4 Estrutura

**fissuras:** térmicas, retração, ações, construtivas



61

### Deformações excessivas

- Ocorre quando a estrutura em serviço é mais deformável do que o previsto no projeto estrutural
- Erro de projeto
- Módulo de elasticidade do concreto inferior ao especificado

62

## Sobrecarga



63

## Ação do fogo



64



## **Ação do fogo**

- Escurecimento da superfície do concreto;
- Deposição de fuligem (material carbonizado);
- Deterioração de revestimentos e destacamento;
- Calcinação do concreto de cobrimento;
- Aparecimento de fissuras (400°C);
- Perda de resistência mecânica;
- Desagregação e posterior destacamento do concreto de cobrimento (600°C);
- Exposição e rápida perda de resistência do aço;

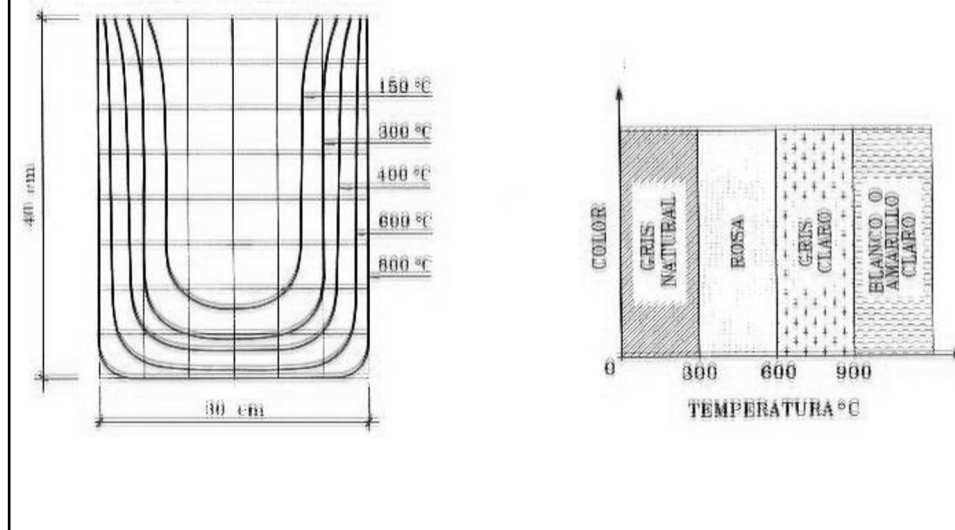
65

## **Ação do fogo**

- Perda de aderência entre aço e concreto (descaracteriza comportamento estrutural previsto no projeto);
- Aumento de flechas e deformações;
- Ruptura parcial ou total.

66

## Ação do fogo



67

## Incêndio Viaduto Santo Amaro São Paulo/SP

Acidente: 13/02/2016,  
madrugada de sábado

*Em uso*

68

MENU G1 SÃO PAULO

13/02/2016 07h30 - Atualizado em 13/02/2016 17h09

### Acidente entre caminhões causa fogo e fecha Avenida Bandeirantes, em SP

Uma das carretas estava carregada de gasolina e houve uma explosão. Motorista disse que tentou desviar de carro e passou por semáforo fechado.

Do G1 São Paulo

FACEBOOK TWITTER G+ PINTEREST

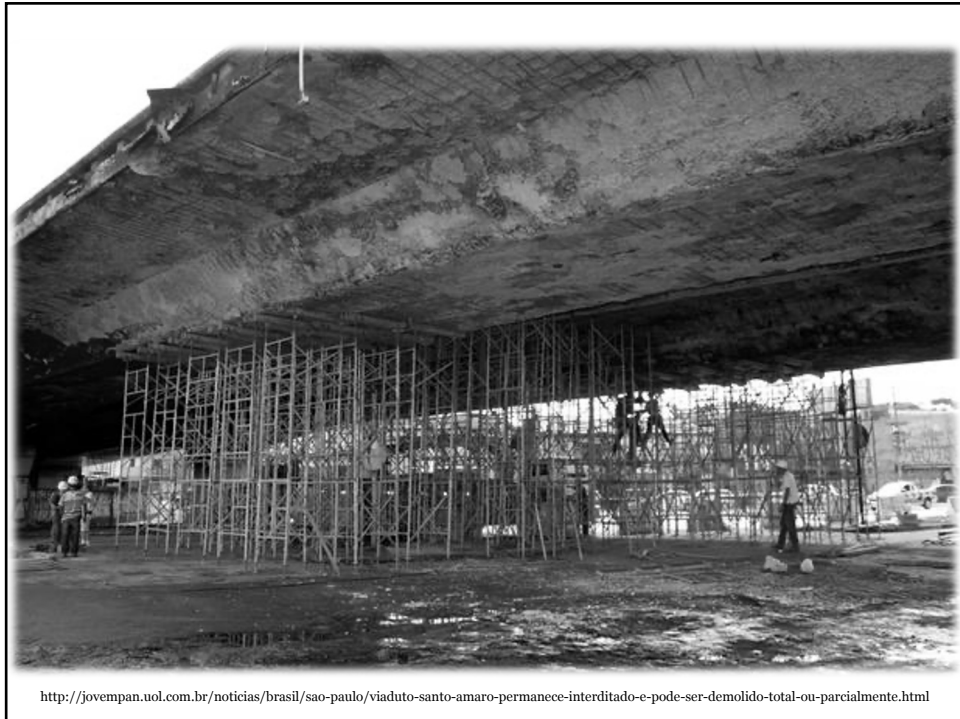
Um acidente envolvendo um caminhão bi trem e um caminhão-tanque carregado com gasolina na Avenida dos Bandeirantes, Zona Sul de São Paulo, causou explosão na madrugada deste sábado (13). A colisão traseira ocorreu embaixo do Viaduto Santo Amaro, sentido Imigrantes, e a estrutura pode ter sido abalada, segundo o Corpo de Bombeiros. O incêndio foi controlado por volta das 6h20.

<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/02/acidente-entre-caminhoes-causa-fogo-e-fecha-avenida-bandeirantes-em-sp.html>

69



70



<http://jovempan.uol.com.br/noticias/brasil/sao-paulo/viaduto-santo-amaro-permanece-interditado-e-pode-ser-demolido-total-ou-parcialmente.html>

71

► inspeção e manutenção

## Recuperação e reabilitação estrutural do Viaduto Santo Amaro

MAURO LEMOS DE FARIA – GERENTE DE PROJETOS  
 CATÃO F. RIBEIRO – DIRETOR TÉCNICO E COMERCIAL  
 ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS

SOLUÇÕES PARA RECUPERAÇÃO DE PONTES, VIADUTOS, EDIFICAÇÕES E FACHADAS

RECONSTRUÇÃO DE INTERIORES  
 ANTONIO CARVALHO FILHO  
 LUCAS SOARES PEREIRA  
 REABILITAÇÃO DE OBRAS

RECONSTRUÇÃO DE INTERIORES  
 UNIDADE PARA INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

RECONSTRUÇÃO DE INTERIORES  
 RECUPERAÇÃO DO VIADUTO SANTO AMARO

72



► **Figura 1**  
Vista inferior do vão central do Viaduto Santo Amaro, após ser atingido por incêndio

73

- **Ensaaios em testemunhos de concreto extraídos da estrutura mostraram que o concreto remanescente ainda possui resistência à compressão satisfatória, inclusive em diversos casos acima da resistência característica especificada em projeto**

até 70,2 MPa,  
para  
 $f_{ck} = 30\text{MPa}$



► **Figura 9**  
Imagem de uma das regiões do viaduto onde foram retirados os corpos de prova

74

- Amostras de armaduras CA-50 na região atingida pelo fogo também foram ensaiadas com resultados satisfatórios.
- Em média, o limite de escoamento ficou em 484 MPa (-3,2%), com menor resultado igual a 442 MPa

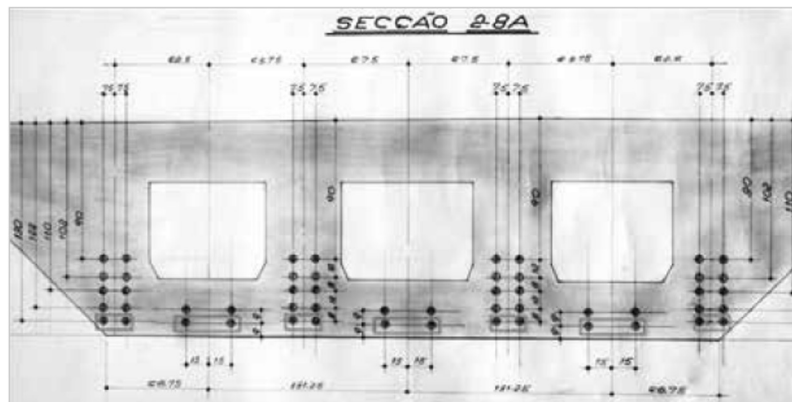


► **Figura 8**  
 Detalhes da região do viaduto mais afetada pelo incêndio, onde é possível ver as bainhas de protensão

para  $f_{sk} = 500$  MPa

75

- Não foram realizados ensaios nas armaduras ativas devido à impossibilidade de acesso aos cabos.




► **Figura 10**  
 Seção mostrando a localização das protensões

76

# Robustez & Redundância

## Pontes Integrais

77



**Prof. Laranjeiras:**

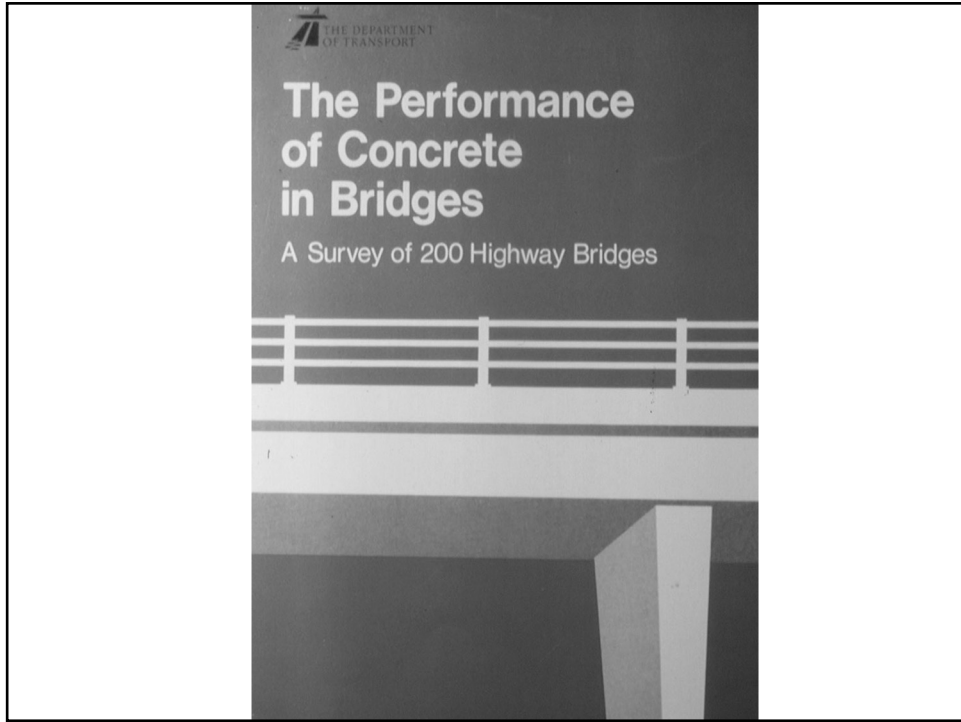
Vantagem é ter estruturas de pontes contínuas e hiperestáticas.

O fato da superestrutura ser contínua, a faz redundante e dúctil, tornando-a capaz de redistribuir as cargas não muito elevadas (pedestres, carros pequenos) sobre os apoios, após a perda de um deles, como se vê na foto.

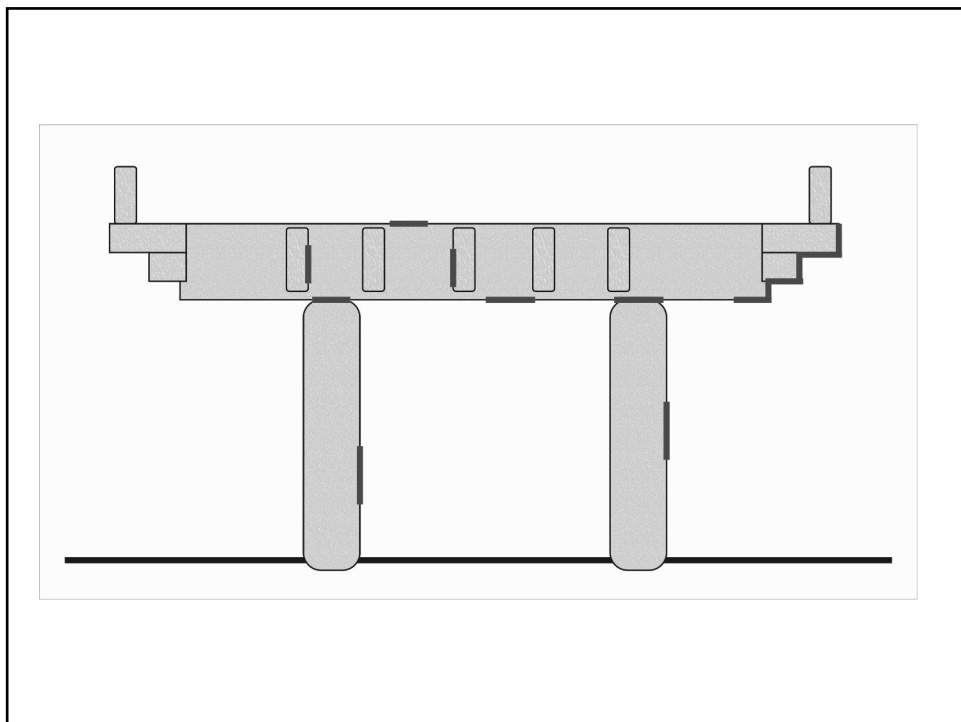
Caso essa estrutura fosse constituída de vãos isostáticos com vigas pré-moldadas, já teria havido, certamente, um colapso progressivo com ruína dos vãos adjacentes ao pilar sem fundações, e, possivelmente, dos demais vãos.

É tendo como justificativa casos como esse que hoje se busca direcionar o paradigma de projetos de pontes para estruturas integrais.

78



79



80



## Partes a serem observadas

1. Fundações
2. Pilares
3. Encontros
4. Tabuleiro
5. Aparelhos de apoio
6. Juntas de dilatação
7. Drenagem
8. Complementos
9. Pavimento
10. Guarda corpo

81

## *Vistoria de 200 pontes Rodoviárias (média/ponte)*

The Department  
of Transport UK

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>1m x 1m área de ensaio</b>             | <b>10 áreas</b>  |
| <b>potencial de corrosão</b>              | <b>8 áreas</b>   |
| <b>espessura de cobrimento</b>            | <b>20 pontos</b> |
| <b>carbonatação</b>                       | <b>8 pontos</b>  |
| <b>concentração de cloretos</b>           | <b>2 pontos</b>  |
| <b>concentração de sulfatos</b>           | <b>2 pontos</b>  |
| <b>consumo de cimento/ reconstituição</b> | <b>2 pontos</b>  |
| <b>análise petrográfica</b>               | <b>1 ponto</b>   |

82



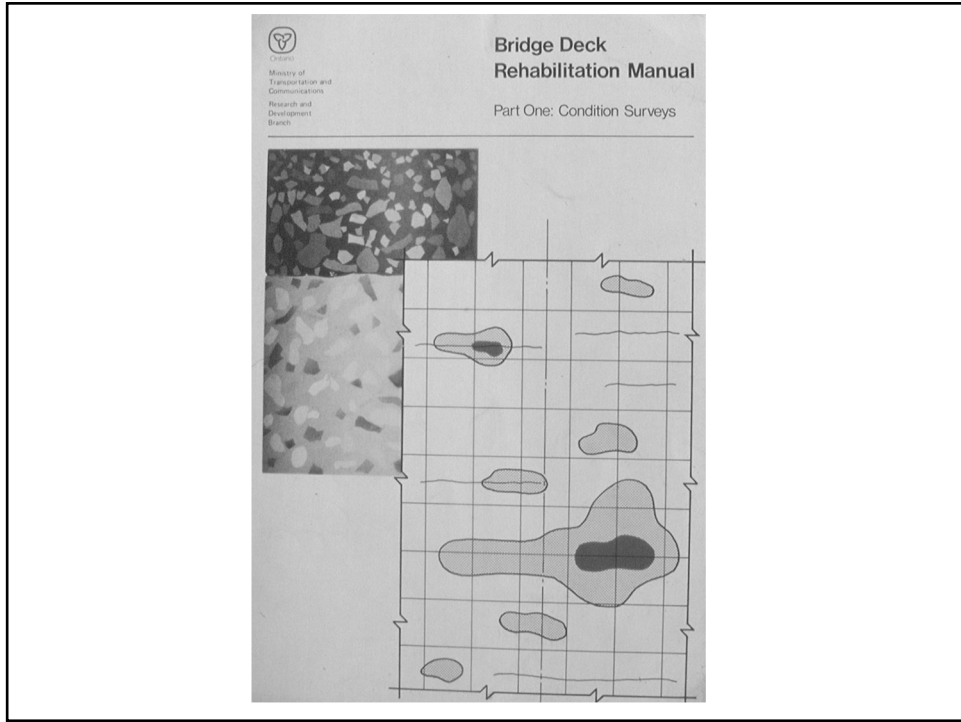
83

***CUSTOS DE VISTORIA***

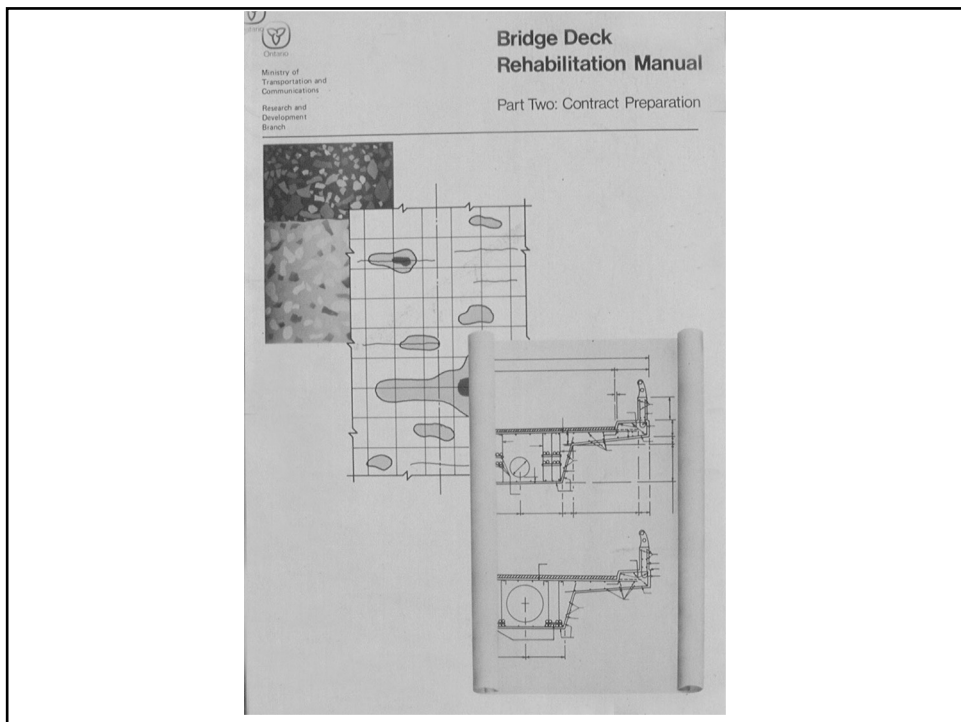
***(Somente durabilidade, sem cadastro)***

| Ponte             | Custo US\$ |
|-------------------|------------|
| Conservada .....  | 5.000      |
| Normal .....      | 30.000     |
| Deteriorada ..... | 40.000     |

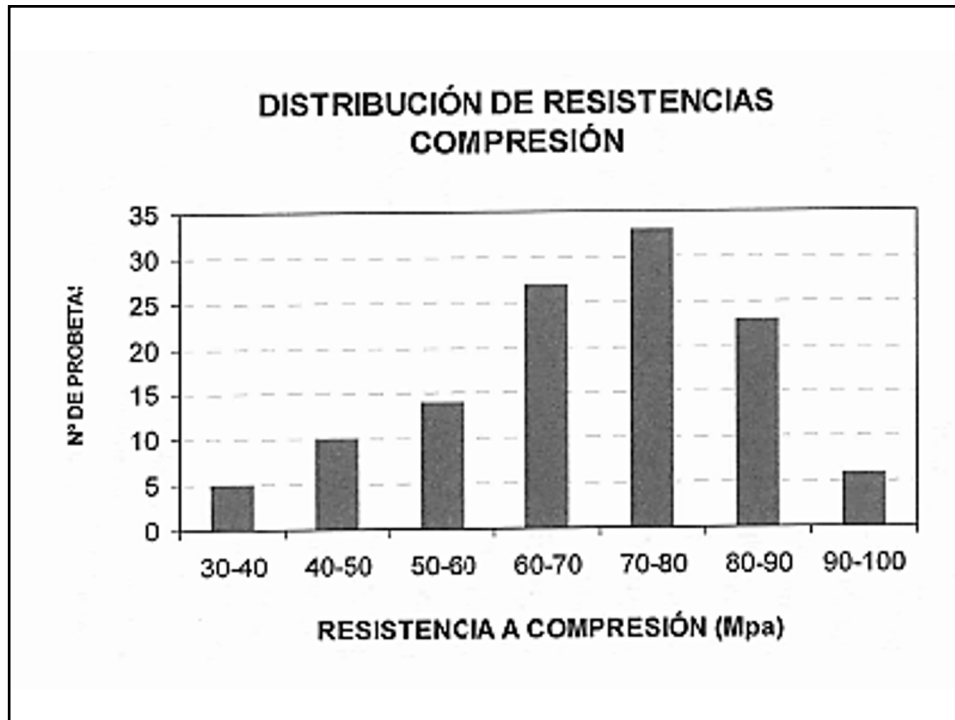
84



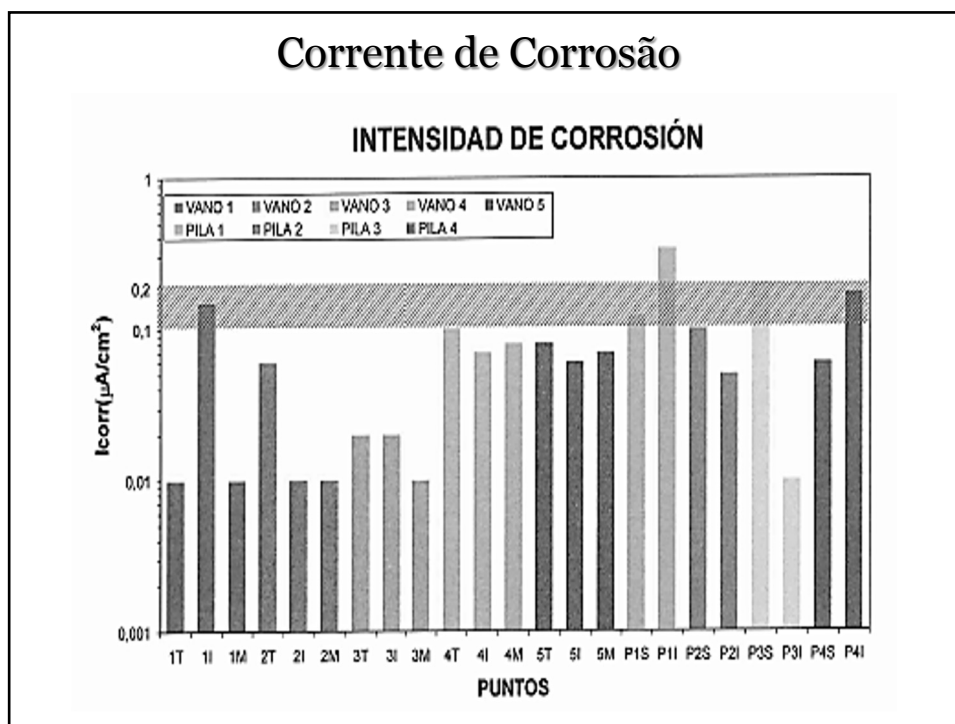
85



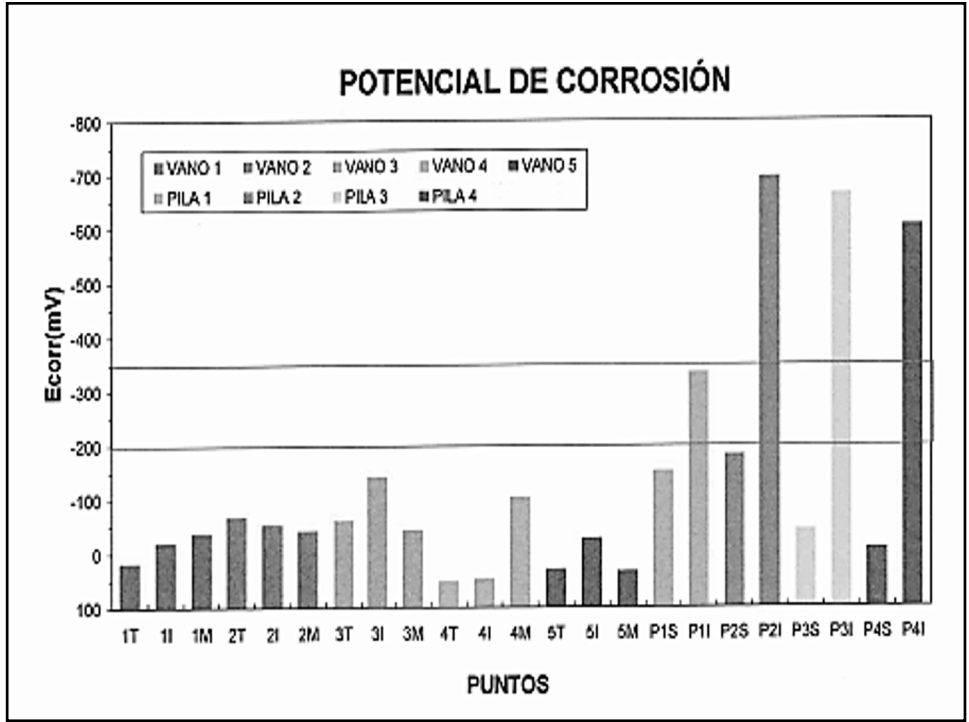
86



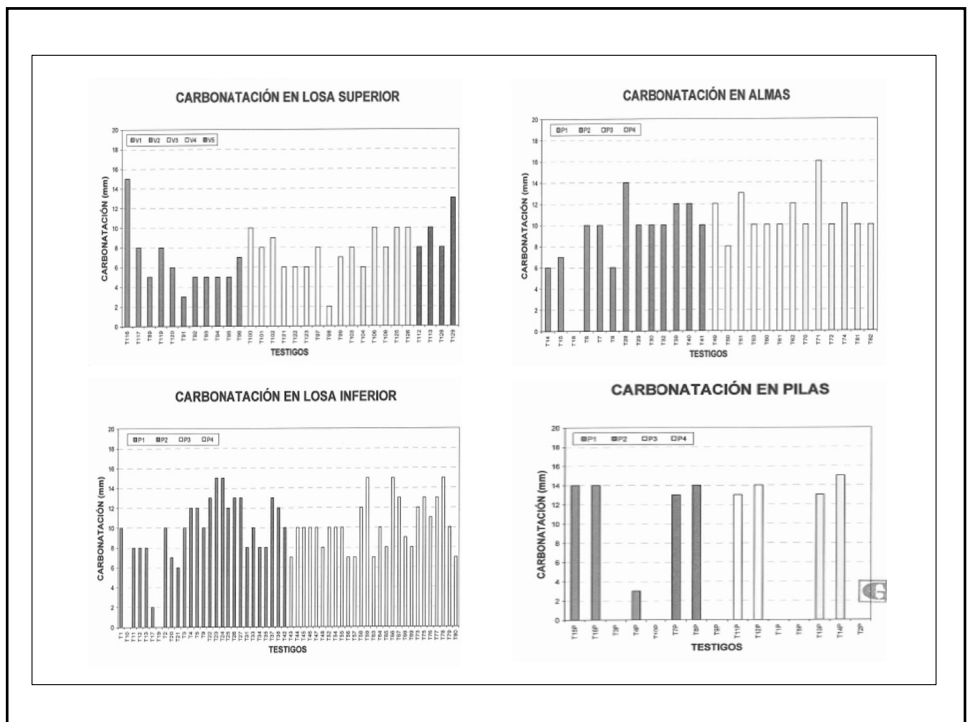
87



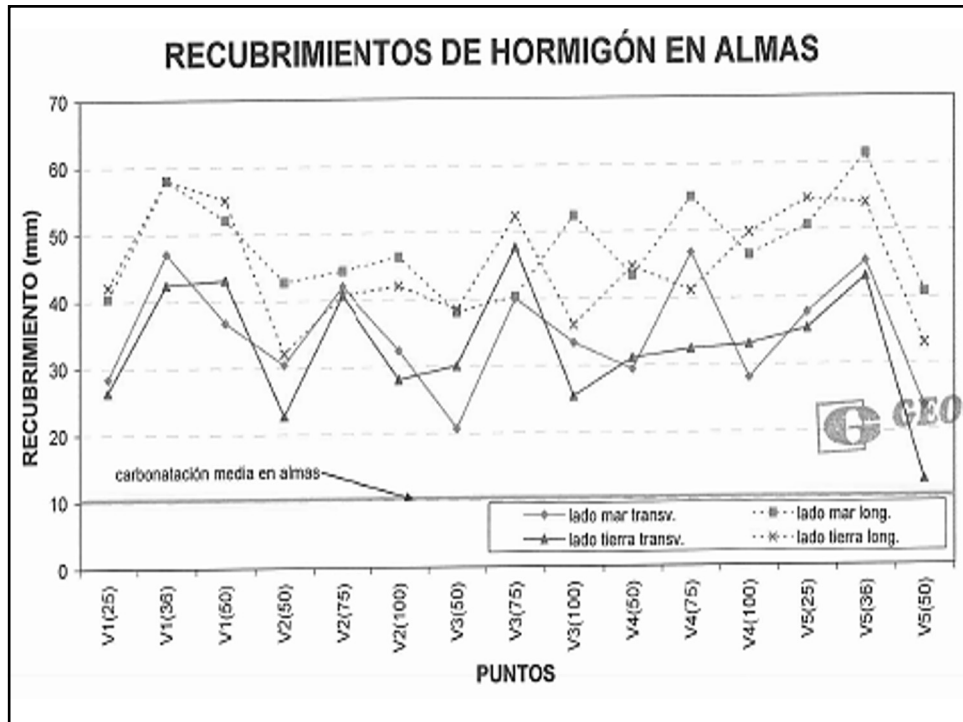
88



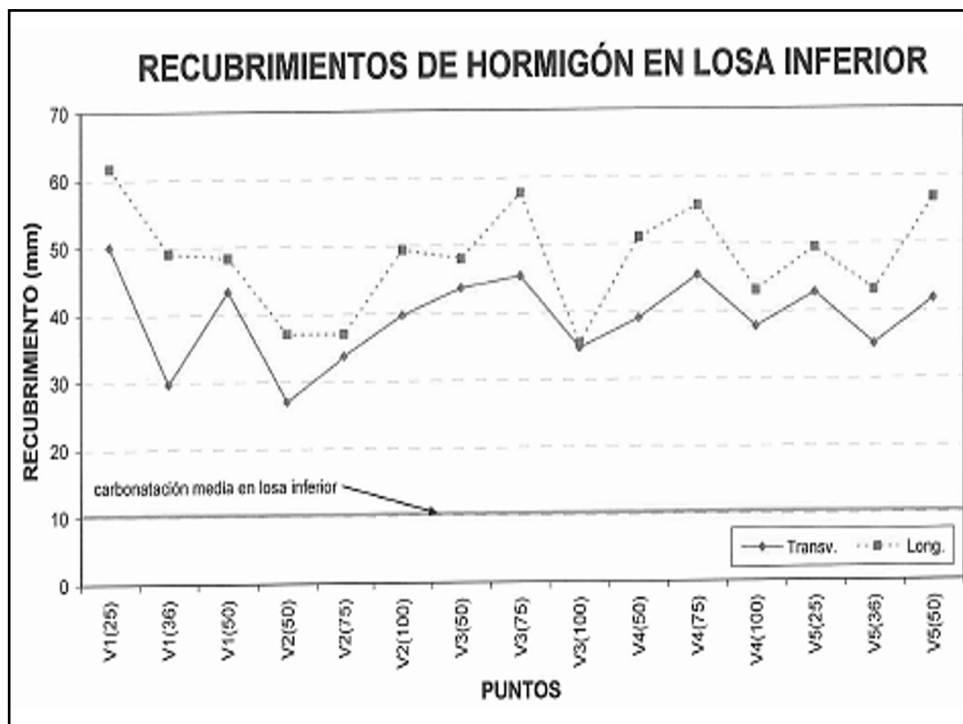
89



90



91



92

## *CUSTO DA INTERVENÇÃO (200 pontes)*

| US\$ x 100              | conservada<br>(59) | normal<br>(100) | deteriorada<br>(41) |
|-------------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| vistoria                | 214                | 2.340           | 2.360               |
| proteção superficial    | 1.432              | 4.316           | 1.064               |
| reparo de juntas        | 262                | 4.148           | 1.500               |
| reparos                 | -                  | -               | 7.856               |
| proteção catódica       | -                  | -               | 2.388               |
| substituição            | -                  | -               | 8.188               |
| adaptações              | -                  | -               | 244                 |
| monitoramento           | -                  | 3.026           | 2.226               |
| <b>média/ponte US\$</b> | <b>5.200</b>       | <b>31.980</b>   | <b>57.680</b>       |

93



94



95

***OBRIGADO***

paulo.helene@concretophd.com.br

96