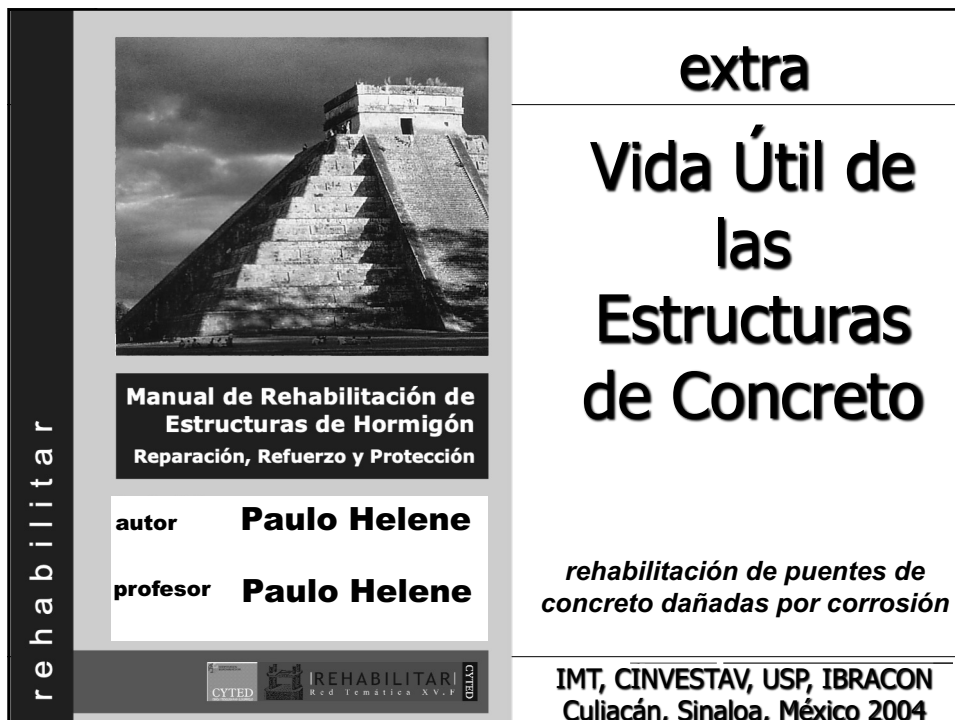




•1



•2

	<b>Vida Útil de las Estructuras de Concreto</b>
<b>C A P Í T U L O</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. INTRODUCCIÓN</li> <li>2. VIDA de una OBRA</li> <li>3. DISEÑAR ESTRUCTURAS NUEVAS</li> <li>4. DISEÑAR REHABILITACIÓN</li> <li>6. CONCLUSIONES</li> </ol>
<b>extra</b>	<b>Contenido</b>
	 

•3

	<b>Vida Útil de las Estructuras de Concreto</b>
	<b>HISTÓRIA</b>
	 

•4

**Vida Útil de las Estructuras de Concreto**

**DURABILIDADE**

**Como era introducida la durabilidad en las obras?**

CYTED IREHABILITARI CYTED  
Red Temática XV.F

•5

**O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE**

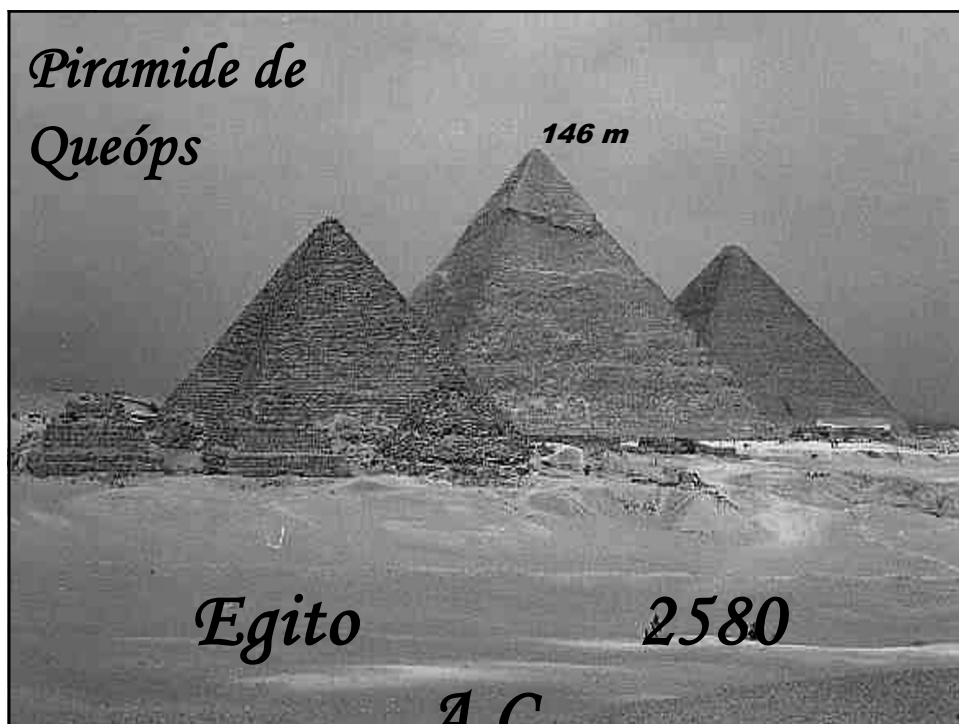


•6

## Arquiteto e médico Imhotep



•7



•8



**OS MAIAS  
PERCEBERAM  
QUE A  
DURABILIDADE  
DA PEDRA ERA  
MELHOR  
QUE A DA  
MADEIRA**



CYTED  
REHABILITARI  
Red Temática XV.F

•9



•10

**No século XVIII e XIX no auge das estruturas metálicas, o aço era pintado frequentemente para durar**



•11

**SÉCULO XX  
APARECE ENTÃO  
UM NOVO MATERIAL**

**Beton  
Hormigón  
Concreto  
Concrete**

•12

**CONCRETO: PENSOU-SE QUE O PROBLEMA DA CORROSÃO DO AÇO  
ESTAVA RESOLVIDO DEFINITIVAMENTE  
O AÇO SERIA PROTEGIDO ETERNAMENTE PELO CONCRETO...**

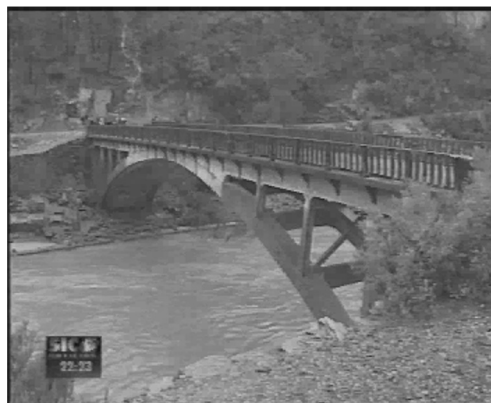


**Edifício  
Martinelli  
São Paulo  
1929  
25 andares  
Altura 106 m  
Rua Líbero  
Badaró  
 $f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$**



•13

**INFELIZMENTE O AÇO AINDA DETERIORA-SE  
MESMO DENTRO  
DO CONCRETO**



•14

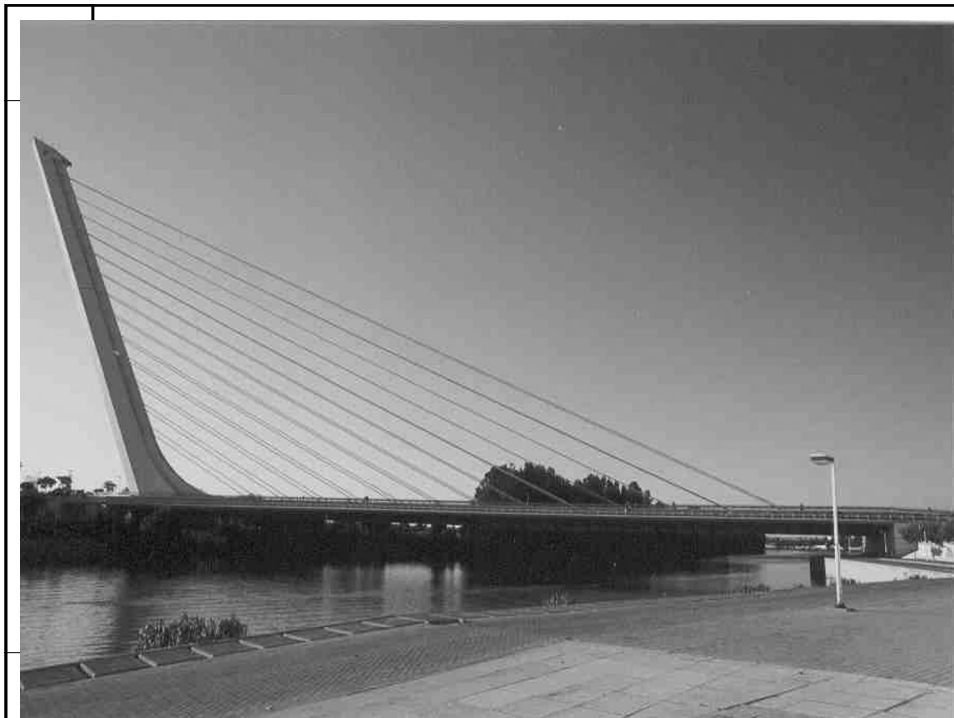
# IMPORTÂNCIA

**Em países desenvolvidos estima-se que 20 a 40% de todos os recursos investidos anualmente na indústria da construção civil sejam aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes.**

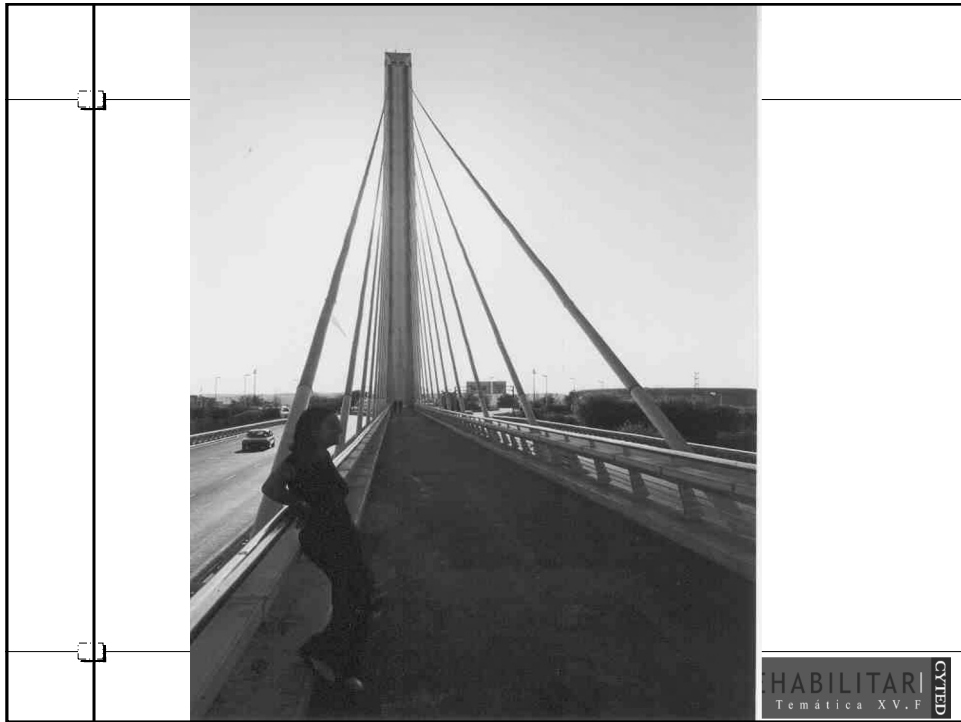
***“Patrimônio Construído”***



•15



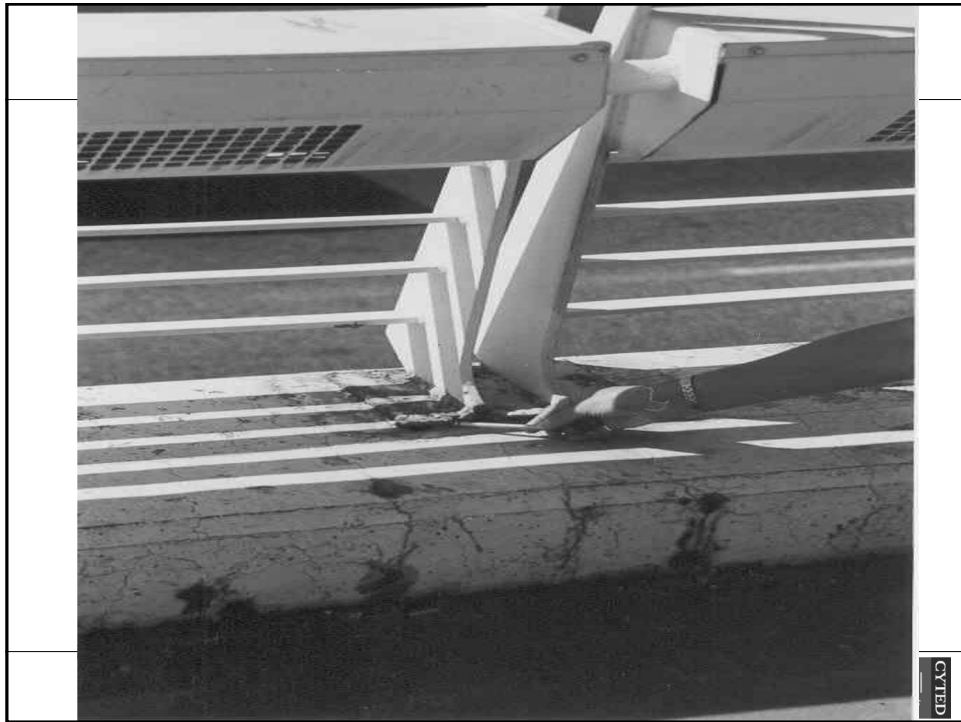
•16



•17



•18



•19



•20



•21



•22



•23



•24





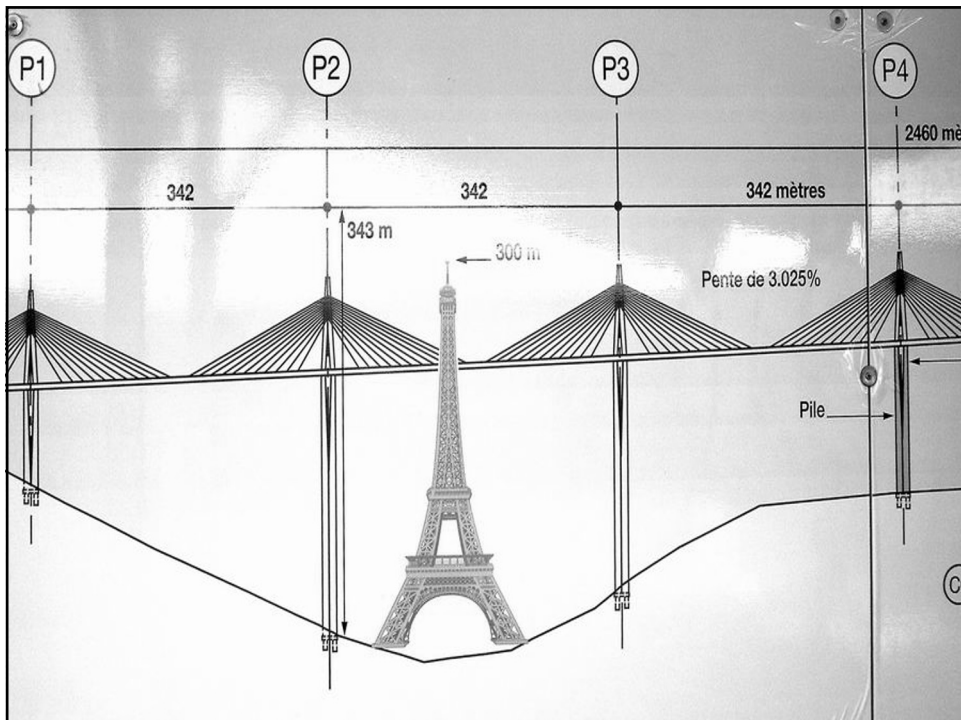
•25



•26



•27



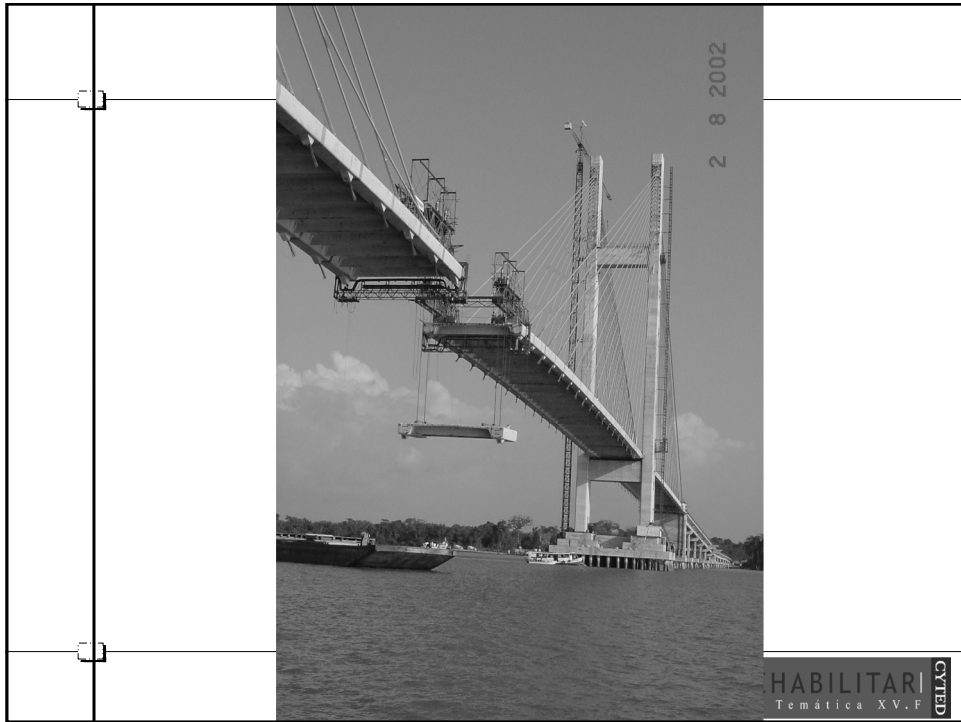
•28



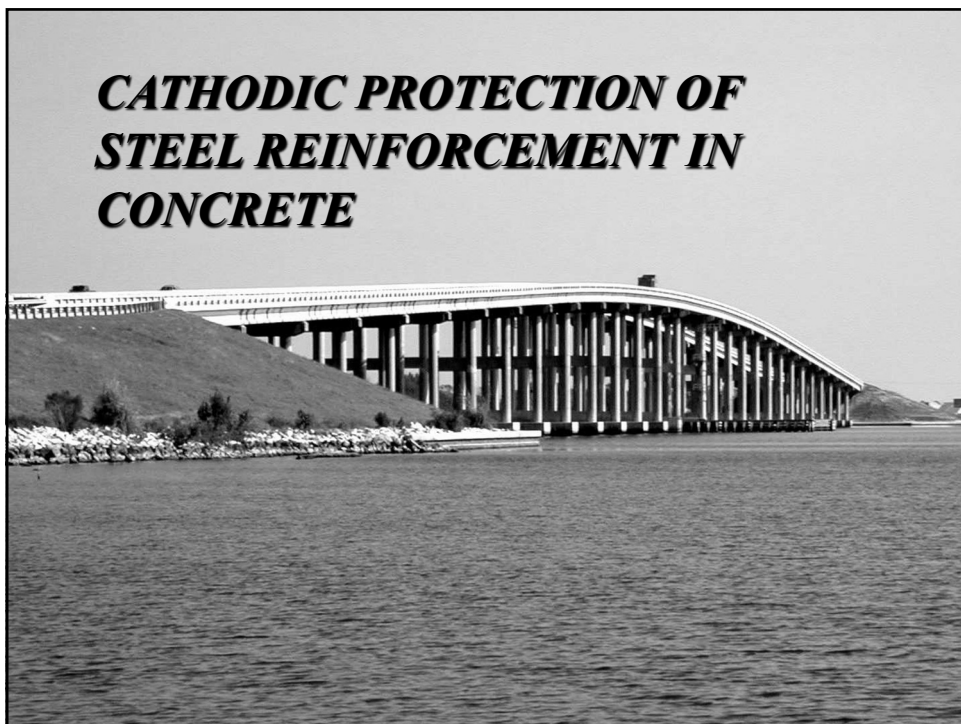
•29



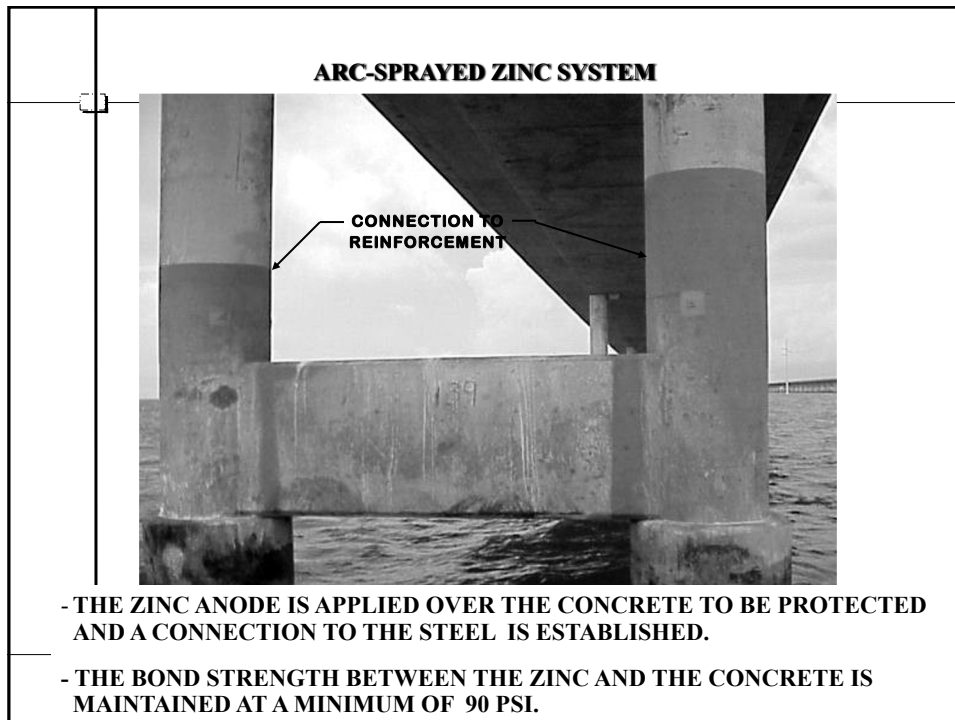
•30



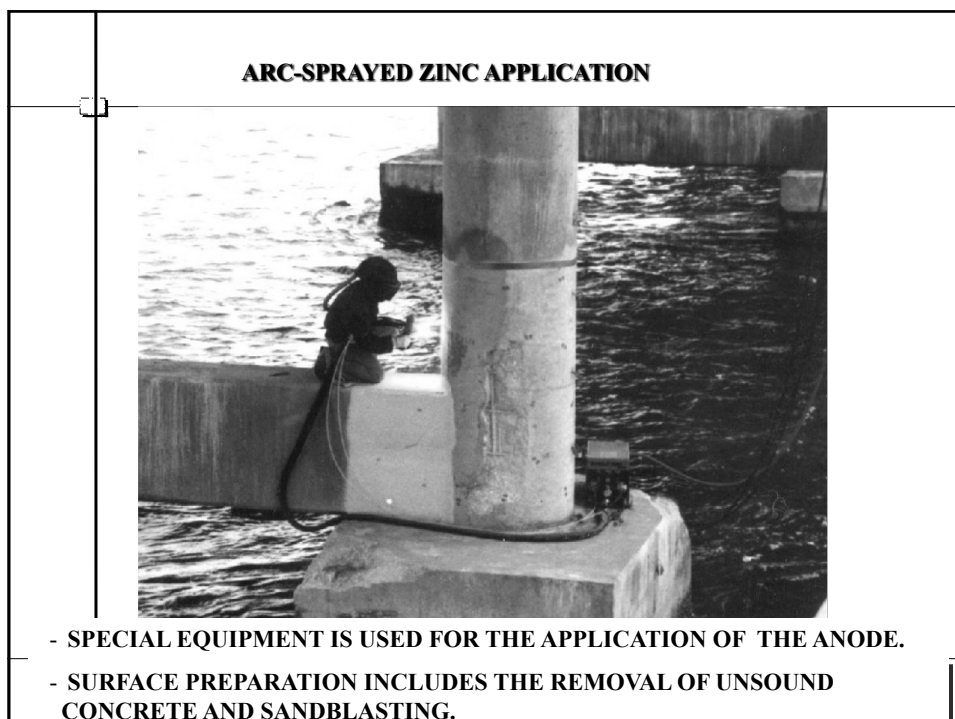
•31



•32



•33



•34

**Vida Útil de las Estructuras de Concreto**

# Que es vida útil?

CYTED IREHABILITARI CYTED  
Red Temática XV.F

•35

**Vida Útil de las Estructuras de Concreto**

**VIDA DE UMA OBRA**

```
graph TD; A[VIDA DE UMA OBRA] --> B[VIDA FUNCIONAL]; A --> C[VIDA ESTRUTURAL];
```

**VIDA FUNCIONAL** **VIDA ESTRUTURAL**

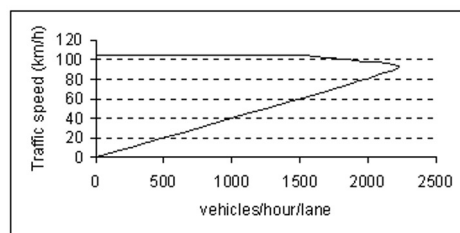
CYTED IREHABILITARI CYTED  
Red Temática XV.F

•36

## Vida Útil de las Estructuras de Concreto

### VIDA FUNCIONAL

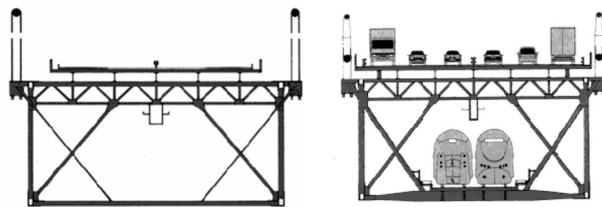
Termina quando há custos funcionais



•37

## Vida Útil de las Estructuras de Concreto

### REHABILITAÇÃO DA VIDA FUNCIONAL



•38

## Vida Útil de las Estructuras de Concreto

### VIDA ESTRUTURAL

#### QUANTO VALE:

- 50 ANOS ?

- 100 ANOS ?

#### A PONTE COLAPSA AO FIM DE 50 ANOS ?

CYTED

REHABILITARI  
Red Temática XV.F

•39

5-4 Sexta-Feira, 26 de fevereiro de 1993

cotid

### Dona-de-casa morre atingida por pedaço de reboco de prédio no Rio

Da Sucursal do Rio

A dona-de-casa Maria Borges Nascimento, 49, morreu ao ser atingida na cabeça por um pedaço de reboco do 12º andar de um prédio de apartamentos no centro da cidade, na av. Gomes Freire nº 740. A mulher morreu na hora, e teve a face desfigurada. O pedaço de reboco caiu, resvalou na marquise do prédio e acertou a dona-de-casa.

Maria estava voltando para casa com as compras feitas num supermercado da região. Ela morava sozinha com o filho, o estudante Nino André Borges Nascimento, 27. O síndico do prédio em que aconteceu o acidente, João Salvador, afirmou que a obra de recuperação da fachada já havia sido aprovada pelo condomínio, mas faltava orçar o serviço.

A Defesa Civil municipal interditou a área em torno do prédio, o que deve causar prejuízo aos estabelecimentos comerciais que funcionam no local. Segundo o diretor do Departamento de Engenharia do órgão municipal, Roberto Formiga Oberlaender, o local só será liberado após o condomínio contratar uma firma para retirar as partes da fachada que ofereçam risco de desabamento.

Na área térrea interditada funcionam uma padaria, uma distribuidora de bebidas. No prédio ao lado, em área também interditada, funcionam um pequeno hotel e um restaurante.



Corpo de Maria Borges coberto em frente ao prédio

Oberlaender afirmou que será dado ao condomínio um prazo para recuperação da fachada. Caso o prazo não seja cumprido, o condomínio terá que pagar multa. Muito abalado, o filho da dona-de-casa não quis comentar que providências legais tomará em relação ao caso.

Oberlaender disse que um dos

problemas do centro são os prédios antigos em mau estado de conservação. Além da má conservação do reboco, as marquises velhas são problemas apontados pelo diretor da Defesa Civil.

Segundo ele, os proprietários são obrigados a realizar obras de recuperação, mas a fiscalização não cabe à Defesa Civil.

LITARI  
Red Temática XV.F

•40



## Vida Útil de las Estructuras de Concreto

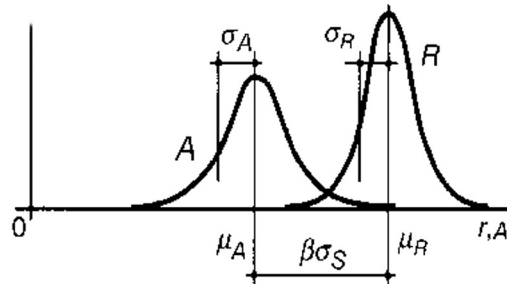
O QUE SIGNIFICA UMA  
VIDA ESTRUTURAL DE 50 ANOS?

NORMAS (MATERIAIS E AÇÕES) → PROJETO

SIGNIFICADO:

$$P(A > R) < 7 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta = 3.8$$



CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•41

## Vida Útil de las Estructuras de Concreto

QUE FAZER PARA  
DISEÑAR PARA 120 ANOS ?

MODIFICAR  
NORMAS (AÇÕES) → PROJETO

MANTER O  
CRITÉRIO

$$P(A > R) < 7 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta = 3.8$$

CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•42






•43



•44

**BS 7543, 1992 Guide to  
Durability of Buildings and Building Elements,  
Products and Components**

Vida Útil	Tipo de estrutura
< 10 anos	temporárias
> 10 anos	substituíveis
>30 anos	ed.industriais e reformas
> 60 anos	ref. públicas e ed. novos
>120 anos	obras públicas e edifícios

•45

**EVOLUÇÃO DA CORROSÃO  
DO AÇO NO CONCRETO ARMADO**







•46

**NBR 6118**      **definição da vida útil**  
**seção 6.2+comentários**

Vida útil de projeto é o período de tempo durante o qual são mantidas as características adotadas para projeto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção especificados no projeto.

•47

**ACI 318**  
ACI365.1R

**service life**  
**ACI 365.1R Chapter 1**

**Service life** is the period of time after concrete placement during which all the properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained.

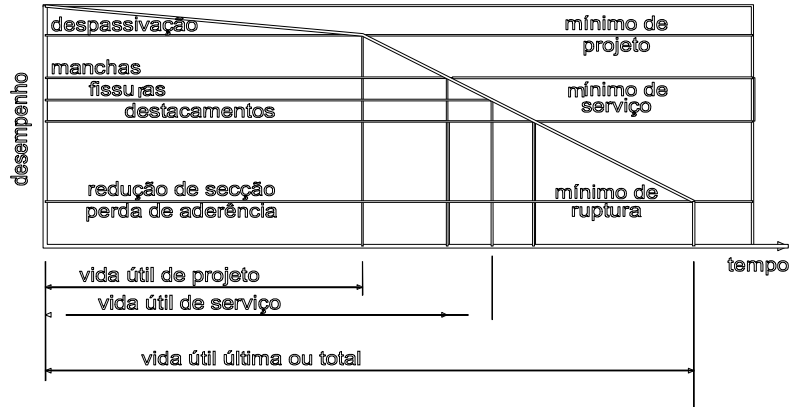
Three types of service life have been defined;

1. Technical service life is the time in service until a defined unacceptable state is reached, such as spalling of concrete;
2. Functional service life is the time in service until the structure needs change in functional requirements;
3. Economic service life is the time in service until replacement of the structure (or part of it) is economically more advantageous than keeping it in service.

•48

**NBR 6118**

**ACI 318**



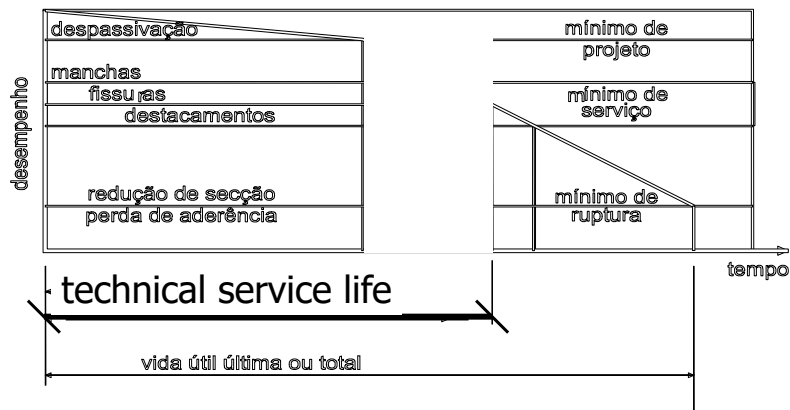
**$t \geq ???$  anos**

•49

**NBR 6118**

**ACI 318**  
**ACI 365-1R**

**6 years**





**$t \geq ???$  years**

•50

Vida Útil de las Estructuras de Concreto

**PROJETAR  
ESTRUTURAS NOVAS  
PARA  
DURABILIDADE**

•51



Vida Útil de las Estructuras de Concreto

**METODOLOGIA PARA O PROJETO:**

**1. CLASSIFICAÇÃO da AGRESSIVIDADE AMBIENTAL**

**2. ADOÇÃO DE**

- a) Propriedades dos materiais
- b) Geometria dos elementos

•52

# DETERIORAÇÃO e ENVELHECIMENTO das ESTRUTURAS de CONCRETO

➤ do CONCRETO

➤ da ARMADURA

•53

## NORMA NBR 6118/2003

TABELA 1: Classes de agressividade ambiental.

Classe de Agressividade	Agressividade	Risco de Deterioração da Estrutura
I	Fraca	Insignificante
II	Média	Pequeno
III	Forte	Grande
IV	Muito forte	Elevado

•54

## NORMA NBR 6118/2003

TABELA 2: Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição.

macro-clima	micro-clima			
	interior das edificações		exterior das edificações	
	seco	úmido	seco	úmido
rural	I	I	I	II
urbana	I	II	I	II
marinha	II	III	-	III
industrial	II	III	II	III
específico	II	III ou IV	III	III ou IV
respingo de m	-	-	-	IV
submersa $\geq 31$	-	-	-	I
solo	-	-	I	II, III, IV

CYTED IREHABILITARI Red Temática XV.F

•55

## Classificação da Resistência dos Concretos ao Meio Ambiente

- efêmeros  $0,65 > a/c > 0,60$
- normais  $0,60 > a/c > 0,55$
- resistentes  $0,55 > a/c > 0,50$
- duráveis  $0,50 > a/c > 0,45$
- excepcionais  $a/c < 0,40$

CYTED IREHABILITARI Red Temática XV.F

•56



## **Correspondencia entre agressividade do ambiente e durabilidade do concreto**

Classe de agressividade	Classe recomendável de concreto
I fraca	efémero, normal resistente e durável
II média	normal, resistente e durável
III forte	resistente e durável
IV muito forte	durável

•57

## **Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto**

<b>1903</b>	<b>Suiça</b>
<b>1903</b>	<b>Alemanha</b>
<b>1906</b>	<b>França</b>
<b>1907</b>	<b>Inglaterra</b>

•58

**National Association of Cement Users  
Philadelphia, USA, Feb.1910**

**STANDARD BUILDING  
REGULATIONS for the USE  
of REINFORCED CONCRETE**

“the main reinforcement in column shall be protect by a minimum of two inches (> 5cm) of concrete cover, reinforcement in girders and beams by one and one-half inches (>3,8cm) and floor slabs by one inch (>2,5 cm).”

•59

**ACI 318 / 2002**

**No solo**  $c > 76\text{mm}$

**À intempérie**

$c > 51\text{mm}$  p/  $d > 19\text{mm}$

$c > 38\text{mm}$  p/  $d < 16\text{mm}$

**interiores**

**lajes/paredes**

$c > 38\text{mm}$  p/  $d > 19\text{mm}$

$c > 19\text{mm}$  p/  $d < 16\text{mm}$

**vigas/pilares**

$c > 38\text{mm}$

•60

**Associação Brasileira de Concreto**  
**São Paulo, Brasil. Jul. 1931**  
**REGULAMENTO para**  
**as CONSTRUÇÕES em CONCRETO ARMADO**

- ✓ Água não conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica
- ✓ Cobrimento  $\geq 1$ cm p/lajes interiores e  $\geq 1.5$ cm p/exterior
- ✓ Cobrimento  $\geq 1.5$ cm p/pilares e vigas  $\geq 2$  cm p/exterior

•61

**MODELOS de PREVISÃO de**  
**VIDA ÚTIL**

- **Experiência**
- **Ensaio Acelerados**
- **Mecanismos de Transporte**
- **Estocásticos**

•62

## Carbonatação

$$t = \frac{e_{\text{CO}_2}^2}{k_{\text{CO}_2}^2} \quad (\text{ano})$$

➤  $e_{\text{CO}_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤  $k_{\text{CO}_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

•63

## Carbonatação

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

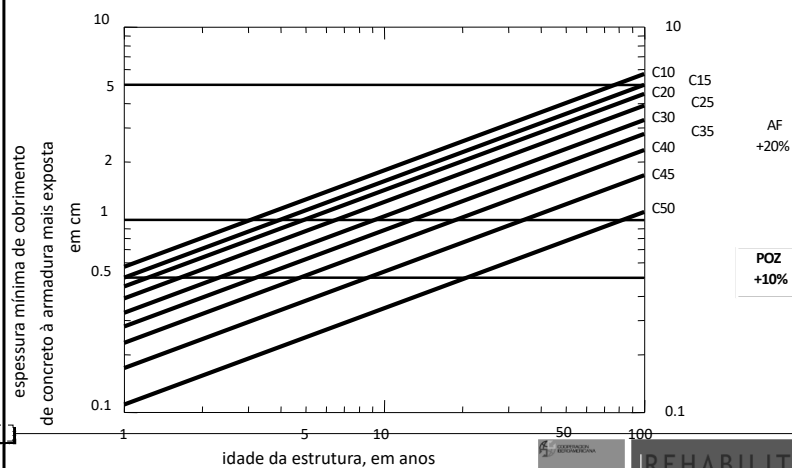
$f_{\text{ck}} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$

$f_{\text{ck}} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$

$f_{\text{ck}} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$

•64

## Carbonatação em faces externas referência dos componentes estruturais de concreto expostos à intempérie



•65

## Cloretos - difusão

$$t = \frac{c_{Cl}^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}^{1/2}} \text{ (anos)}$$

$$c_{Cl} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$$

$$D_{ef,Cl} \rightarrow 0,15 \text{ a } 2,7 \text{ cm}^2/\text{ano}$$

•66

# Cloretos - difusão

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$$

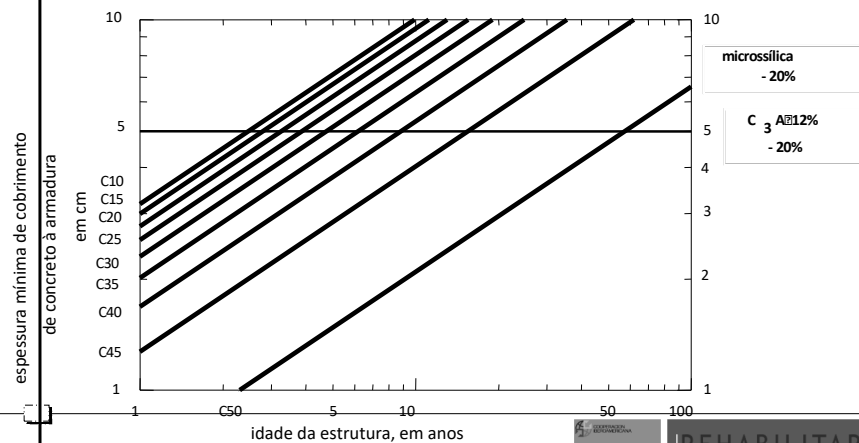
$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$$

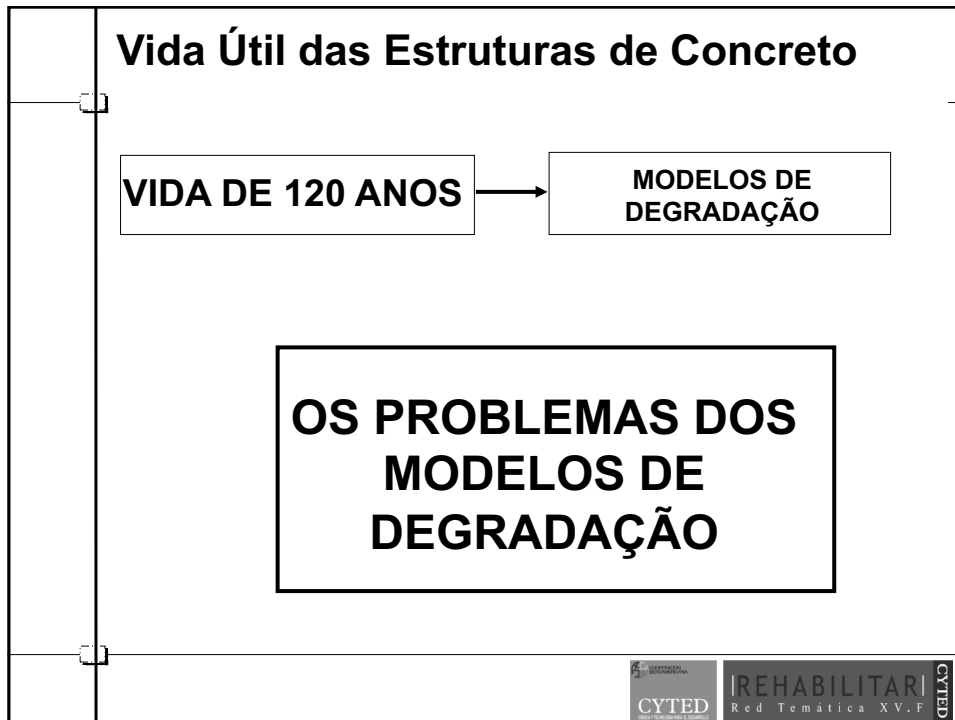
•67

referência

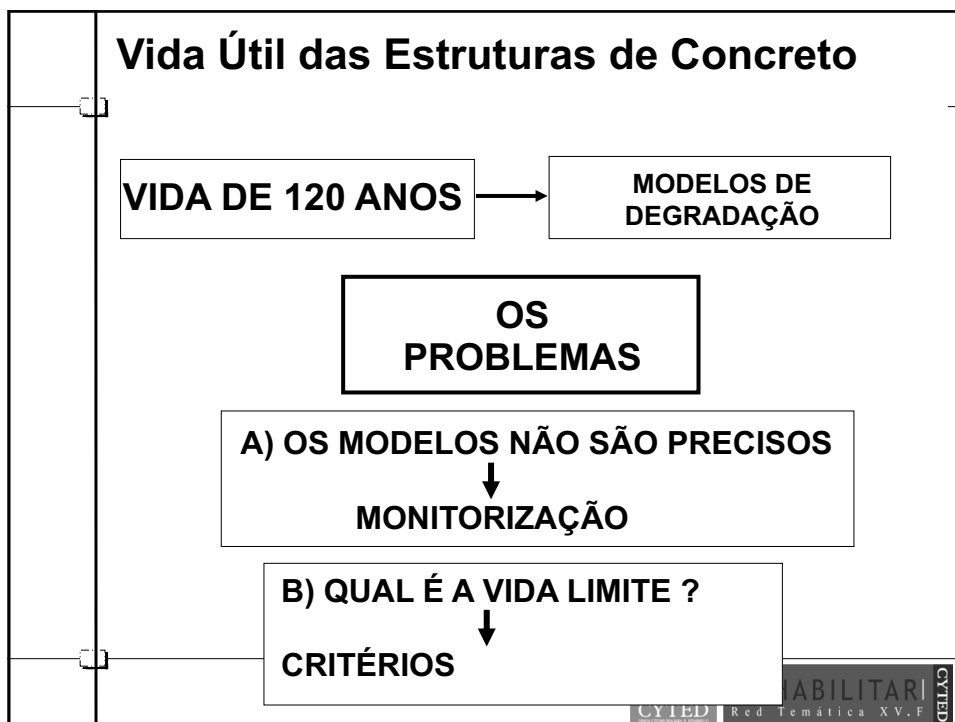
Difusão de cloretos em faces externas  
de componentes estruturais de concreto  
expostos à zona de respingos de maré



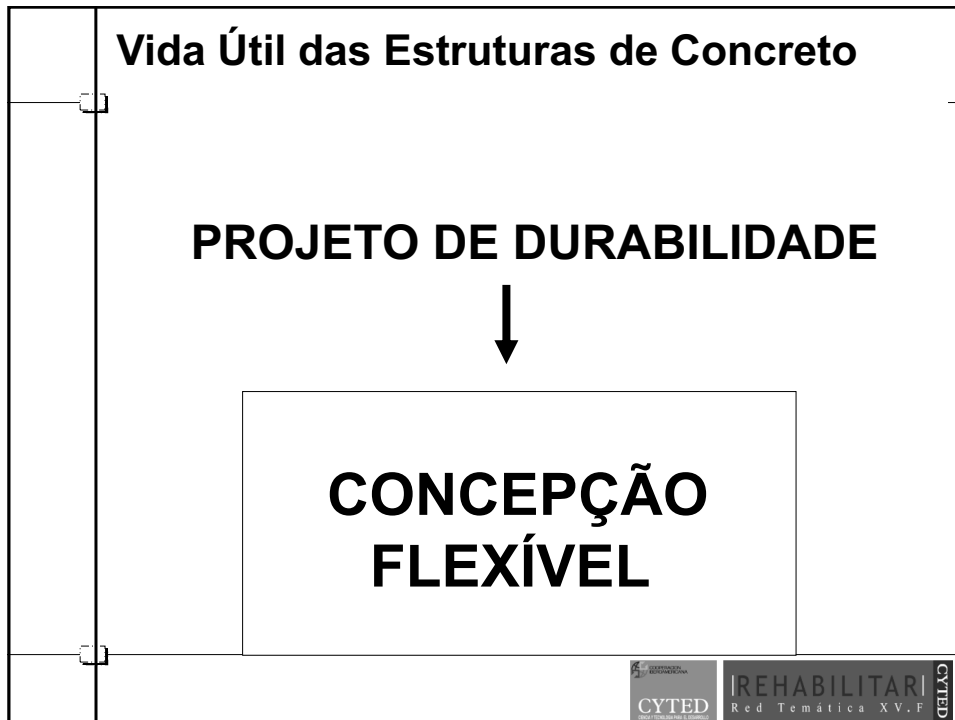
•68



•69



•70



•71



•72



## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### VIDA DE EQUIPAMENTOS EM PONTES

- Pavimento	15 - 20 years;
- Impermeabilização asfáltica	5 - 10 years;
- Impermeabilização com concreto	25 - 30 years;
- Juntas de dilatação	15 - 20 years;
- Selantes de juntas	5 - 10 years;
- Aparelhos de apoio	15 - 20 years.

CYTED **IREHABILITARI** CYTED  
Red Temática XV.F

•73

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

**PROJETAR COM FLEXIBILIDADE**

↓

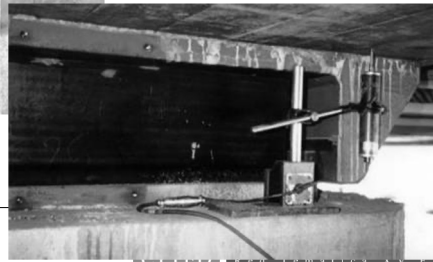
**DETALHES PARA PERMITIR SUBSTITUIÇÃO FÁCIL**

CYTED **IREHABILITARI** CYTED  
Red Temática XV.F

•74

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### SUBSTITUIÇÃO DE APOIOS



•75

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### DUTOS PARA PRÉ-ESFORÇO ADICIONAL



CYTED  
Red Temática XV.F

•76

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### SUBSTITUIÇÃO DE JUNTAS



CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•77

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### PROJETO DE DURABILIDADE

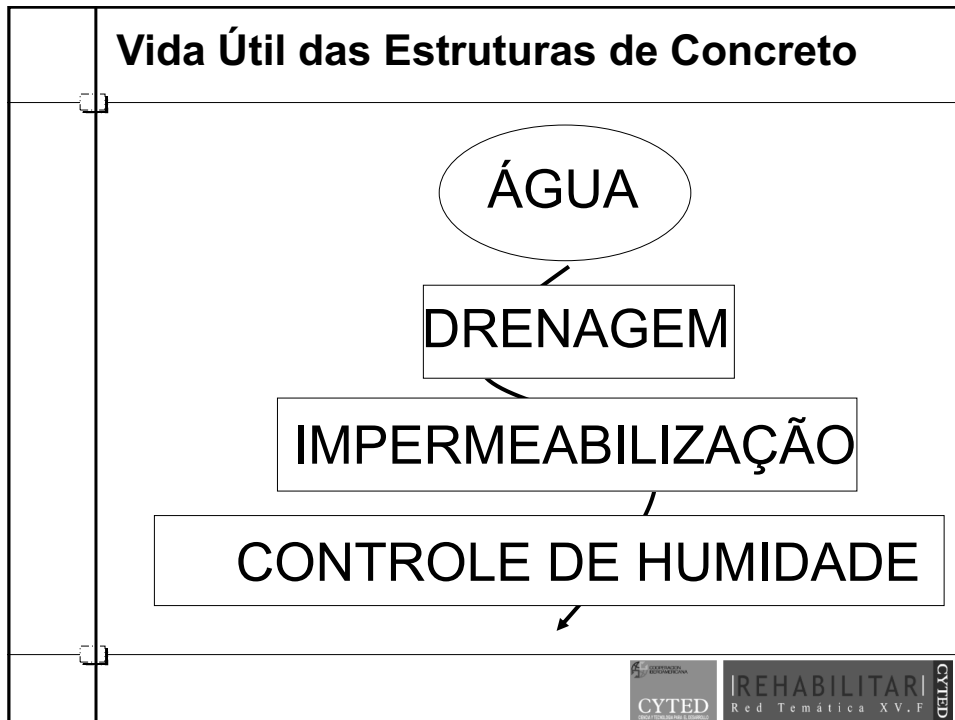


O INIMIGO  
ÁGUA

CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•78



•79



•80

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### INSPEÇÃO DE TABULEIROS



CYTED Red Temática XV.F

CYTED

•81

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

### ACESSO A:

- . ENCONTROS
- . APOIOS
- . JUNTAS
- . SISTEMA DE DRENAGEM



CYTED

REHABILITARI Red Temática XV.F

CYTED

•82

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

**Acesso ao INTERIOR DOS CAIXÕES**

**Proteção contra INTRUSÃO HUMANA**



CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•83

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

**PROJETO DE DURABILIDADE**



**PLANO DE  
MANUTENÇÃO  
E INSPEÇÃO PERIÓDICA**

CYTED

IREHABILITARI  
Red Temática XV.F

•84

Vida Útil das Estruturas de Concreto

# PROJETOS DE REABILITAÇÃO

CYTED  
Red Temática XV.F

•85

# Sustainable Development

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with **500 years** service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

**Kumar Mehta**  
Reducing the Environmental Impact of Concrete  
*Concrete International*. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

CYTED  
Red Temática XV.F

•86

## **Projetar e construir obras duráveis é:**

- **contribuir para a valorização profissional**
- **defender os reduzidos recursos de nossos países**