



Prácticas Efectivas para Extender la Vida de los Concretos



Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Presidente ALCONPAT Internacional
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Member fib (CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

Centro Banamex

30 de mayo de 2012

Ciudad de México

IMPORTÂNCIA

Gastos con manutenção e reparo em países desenvolvidos (UEDA, TAKEWAKA, 2007).

Pais	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

observação: ano de 2004, Itália → 2002

Durabilidad (Vida Útil) de las Estructuras de Concreto

1. Envejecimiento
2. Vida Útil
3. Clasificar Medio Ambiente
4. Clasificar el Concreto
5. Modelos de Previsión
6. Criterios de Diseño
7. Dosificación de los Materiales
8. Procedimientos de Ejecución
9. Manutención Preventiva

Durabilidad de las Estructuras de Concreto

1. Envejecimiento
2. Vida Útil
3. Clasificar Medio Ambiente
4. Clasificar el Concreto
5. Modelos de Previsión
6. Criterios de Diseño
7. Dosificación de los Materiales
8. Procedimientos de Ejecución
9. Manutención Preventiva

Mecanismos de Envejecimiento

Relativos al concreto:

- lixiviación (águas ácidas)
- expansão (álcalis, sulfato, AAR)
- intemperismo

Relativos a la armadura:

- carbonatación
- cloruros

Lixiviación



Cobertura do Prédio da FAU-USP

Lixiviación



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP



Lina Bo Bardi

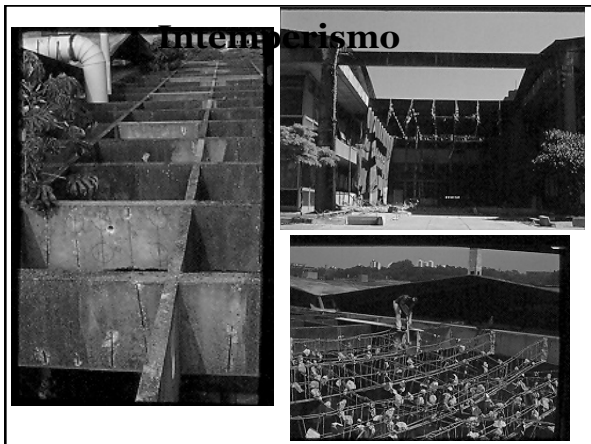
MASP Museu de Arte São Paulo 1968

Intemperismo



Intemperismo





Reações expansivas
Sulfatos, SO_4^{-2}

Mecanismo:

Clinker + gesso $\longrightarrow$ Etringita Primária
Composto expansivo sem problemas

Compostos hidratados + Na_2SO_4 ; $MgSO_4$ e outros $\longrightarrow$ Compostos expansivos secundários (problemas)

$\longrightarrow$ Presente em solo agressivo, esgotos e água do mar

Reação álcali – agregado
ARR

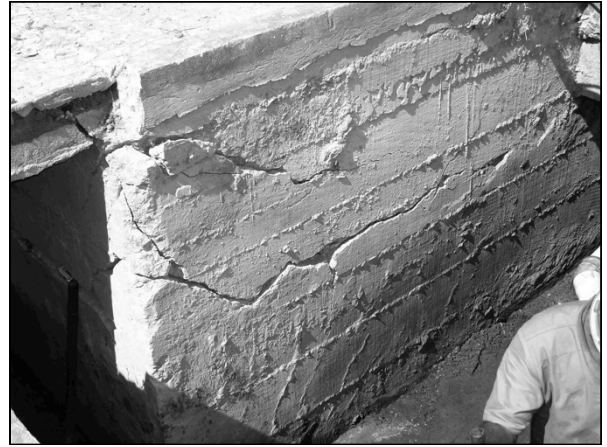
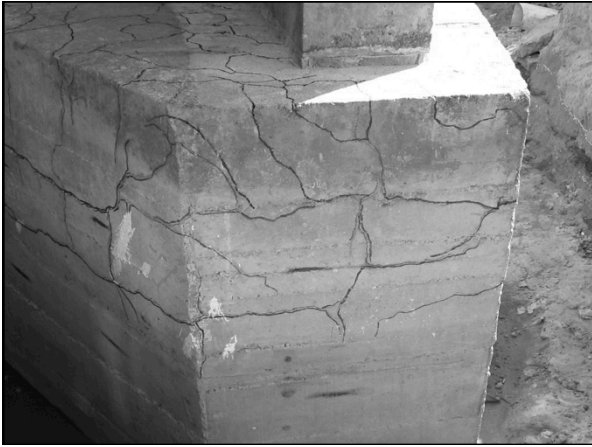
Mecanismo:

Álcali + Agregado reativo $\longrightarrow$ Produtos expansivos

Reação álcali – agregado
ARR

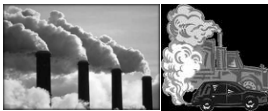
Manifestación:





Corrosão de armaduras

Na presença de água, ddp e O_2 :
- Despassivação por carbonatação;



- cloruros.



Despassivação por cloruros

- Penetração por difusão (lei de Fick)
- Atuam na condutividade do eletrólito
- Não são consumidos na reação de corrosão



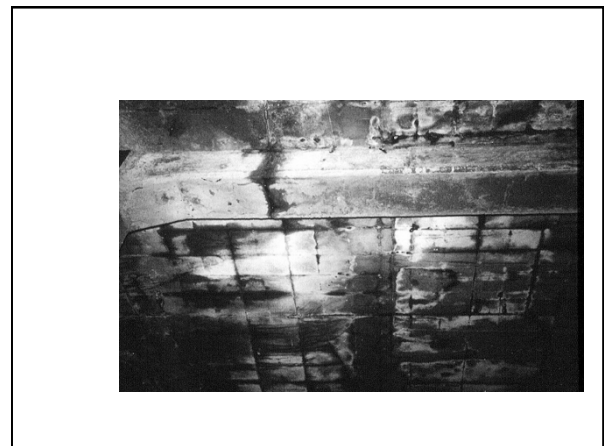
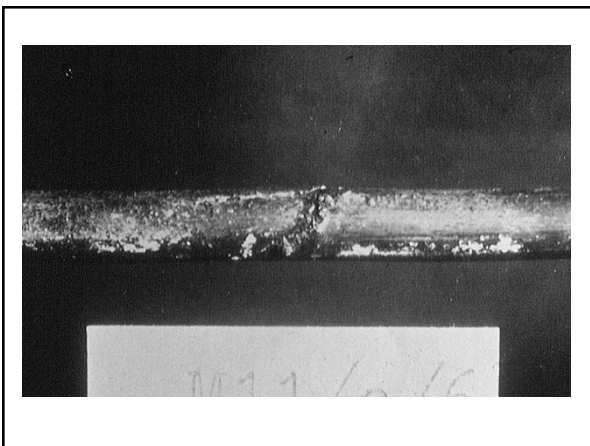
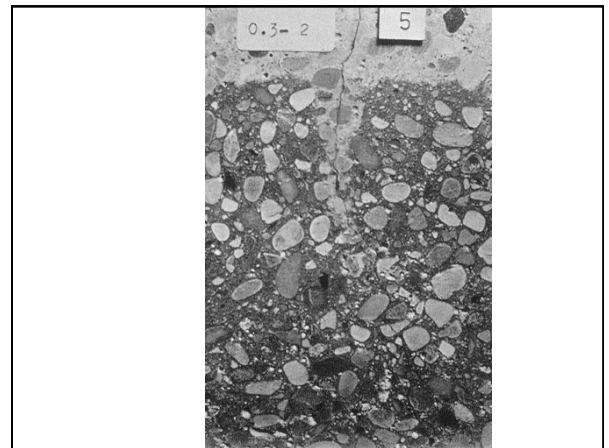
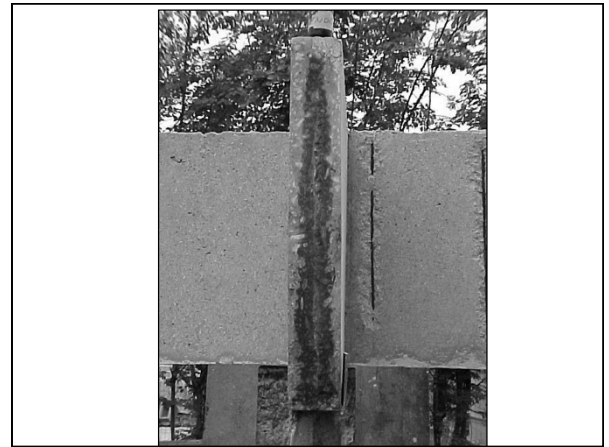
Despassivação por carbonatación

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

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

Mais
alcalino

Menos
alcalino





Durabilidad de las Estructuras de Concreto

- 1. Envejecimiento
- 2. Vida Útil
- 3. Clasificar Medio Ambiente
- 4. Clasificar el Concreto
- 5. Modelos de Previsión
- 6. Criterios de Diseño
- 7. Dosificación de los Materiales
- 8. Procedimientos de Ejecución
- 9. Manutención Preventiva



3-4 Sexta-Feira, 26 de fevereiro de 1993

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 de 11" 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, revelou a margem do prédio e acionou 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 andar 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 o serviço.

A Defesa Civil municipal interdiu 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 Fernando Oberlander, o local só será liberado após o condomínio contratar uma firma para retirar as partes da fachada que oferecem risco de desabamento.

Na área férrea 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

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

Oberlander 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.

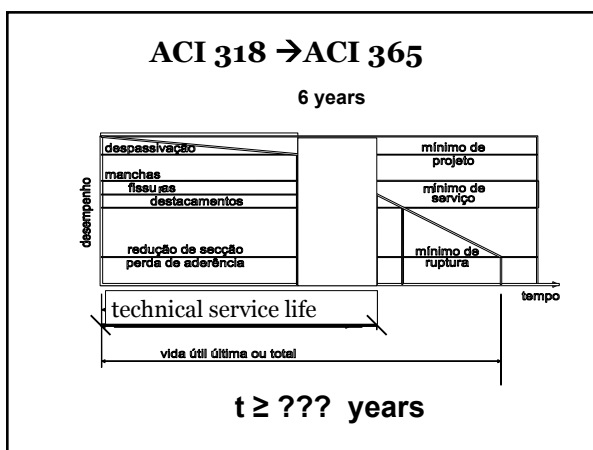
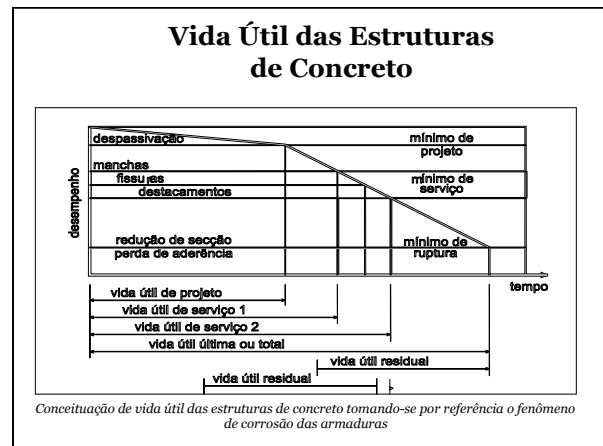
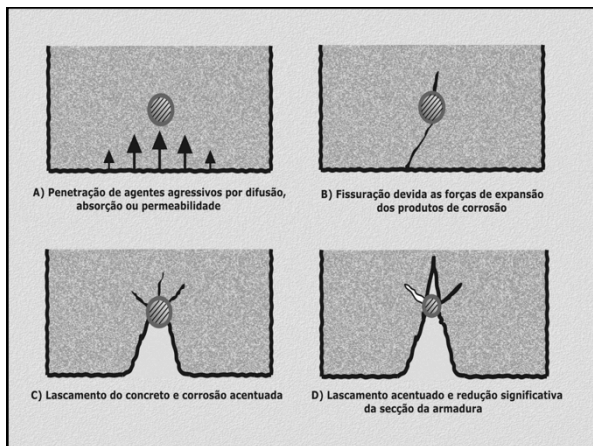
Segundo ele, as proprietárias são obrigadas a realizar obras de recuperação, mas a fiscalização não cabe à Defesa Civil.

Vida Útil de Diseño

BS 7543, 1992

Vida Útil	Tipos	Exemplos
< 10 anos	Temporárias	obras temporárias, divisórias, tapumes etc.
10 anos	Pequena Vida útil	construções usadas para processos industriais de curta duração
30 anos	Média Vida útil	a maiorias das construções industriais
60 anos	Vida útil normal	obras públicas, escolas, hospitais, casas, edificios
120 anos	Vida útil longa	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...

Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components



- ### Durabilidad de las Estructuras de Concreto
1. Envejecimiento
 2. Vida Útil
 3. Clasificar Medio Ambiente
 4. Clasificar el Concreto
 5. Modelos de Previsión
 6. Criterios de Diseño
 7. Dosificación de los Materiales
 8. Procedimientos de Ejecución
 9. Manutención Preventiva

NBR 6118:2007

“classifica agressividade ambiental”

Tabela 6.1 Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré ^{1), 2)}	

- ### Durabilidad de las Estructuras de Concreto
1. Envejecimiento
 2. Vida Útil
 3. Clasificar Medio Ambiente
 4. Clasificar el Concreto
 5. Modelos de Previsión
 6. Criterios de Diseño
 7. Dosificación de los Materiales
 8. Procedimientos de Ejecución
 9. Manutención Preventiva

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 $a/c < 0,40$

Durabilidad de las Estructuras de Concreto

1. Envejecimiento
2. Vida Útil
3. Clasificar Medio Ambiente
4. Clasificar el Concreto
5. Modelos de Previsión
6. Criterios de Diseño
7. Dosificación de los Materiales
8. Procedimientos de Ejecución
9. Manutención Preventiva

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- Experiência
- Ensaio Acelerados
- Mecanismos de Transporte
- Estocásticos

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

- 1903 ➡ Suíça
- 1904 ➡ Alemanha
- 1906 ➡ França
- 1907 ➡ Inglaterra

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).”

Recubrimiento Concrete cover

ACI 318 design criteria concrete cover sections 7.7.1, 7.7.5			
Member	Environmental conditions		
	Not exposed to earth or weather	Exposed to earth or weather	Severe environments
	Nominal concrete cover (mm)		
Slabs	20	40	50
Beams Columns	40	50	60

NBR 6118 critérios de projeto cobrimento seção 7.4				
Tabela 7.2				
Elemento	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50

Concreto
Concreto

ACI 318 design criteria concrete		
Table 4.2.2 Requirements for Special Exposure Conditions		
Exposure Condition	Maximum w/c	Minimum f'_c (MPa)
Concrete intended to have low permeability when exposed to water	0,50	28
freezing and thawing or deicing chemicals	0,45	31
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources	0,50	35

NBR 6118 critérios de projeto concreto seção 7.4				
Tabela 7.1				
Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV
Relação a/c	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

**Modelos de Previsão de
Vida Útil**

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerado

“risco de alterar o mecanismo que ocorre ao natural”

1. *acelerada*
2. *Migração de Cl^- acelerada*
3. *Difusão de Cl^- acelerada*
4. *Permeabilidade acelerada*
5. *Outros mecanismos*

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaaios Acelerados

Carbonatação acelerada



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerado

Migração de Cl- acelerada



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados

Difusão de Cl^- acelerada



Imersão em solução de NaCl por um determinado tempo

Coeficiente de difusão de Cl^-

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerado

Permeabilidade acelerada



Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

Principais mecanismos de transporte que atuam no concreto

- Permeabilidade (gradiente de pressão A&G);
- Sucção capilar (forças capilares de A);
- Difusão (gradiente de concentração salina, temperatura ou densidade AI&G);
- Migração (diferença de potencial AI&G).

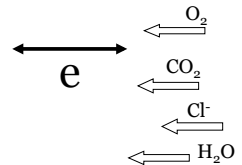
Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (determinísticos)

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$

aço



Carbonatação

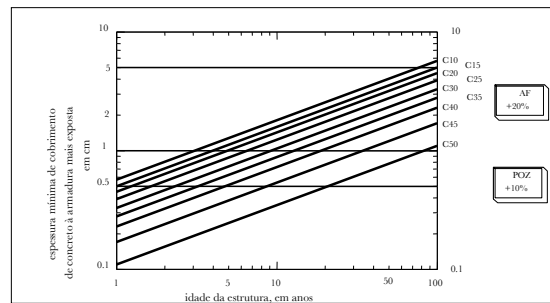
$$t = \frac{e_{CO_2}^2}{k_{CO_2}^2} \text{ (anos)}$$

➤ $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

Carbonatación

em faces dos componentes estruturais de concreto expostos à intempérie externas



Cloruros - difusión

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

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

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

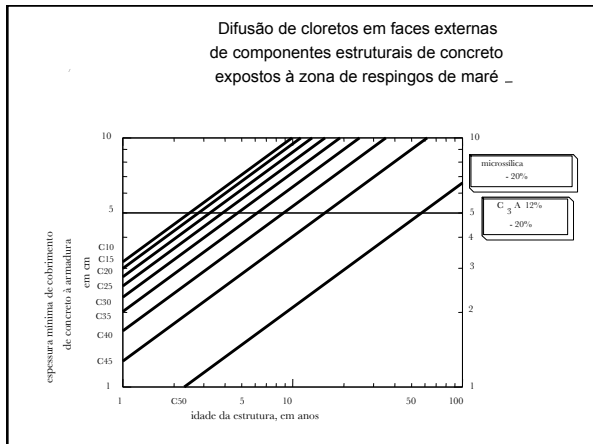
Cloruros - difusión

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

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

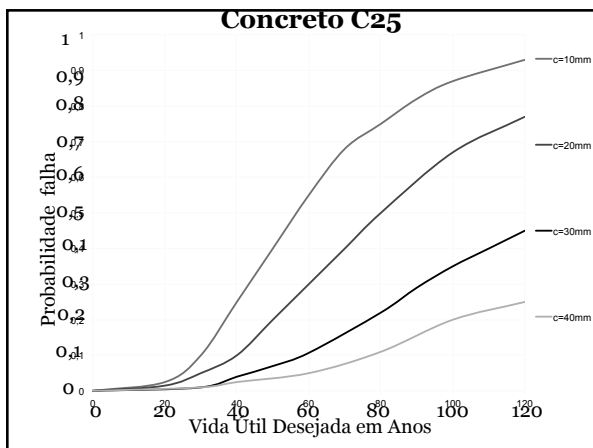
$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$

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



Modelos de Previsión de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

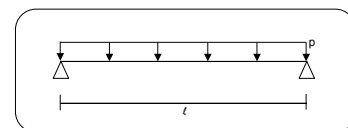


Parâmetros de Durabilidade para Resistir "Splash Zone"			
a/cm	kg / kg	NBR 6118 ≤ 0,45	ACI 318 ≤ 0,50
W/Cm			
Consumo cimento Cement content	kg / m³	no	no
f_{ck} f'_c	MPa	≥ 40	≥ 35
Cobrimento Concrete cover	mm	laje 45 viga/pilar 50	laje 50 viga/pilar 60
Cloretos Chlorides	kg / kg _c	no	0,15%

Aplicação

Comparação de duas vigas de concreto armado situadas num ambiente marinho, correspondente à Classe de Agressividade Ambiental 4 da NBR-6118, e à região com risco de corrosão segundo o ACI 318.

Cenário



- Trata-se de uma viga simplesmente apoiada situada em ambiente marinho submetida ao seguinte carregamento:
 - Carregamento permanente: 5 kN/m (DL)
 - Carregamento acidental: 4,5 kN/m (LL)

Parâmetros iniciais

$b = 25,4 \text{ cm}$ (adotado)
 Momento = 173 kN.m
 $h = ???$
 Armadura = ????

Aço CA-50 para NBR 6118
Aço CA-42 para ACI 318

Exigência das Normas

ACI 318 – 02

Para splash zone

- Cobrimento*: $R_{7.7.5}$
- 60 mm
- Classe de concreto: $f'_c = 35 \text{ MPa}$ 4.2.2

NBR 6118 – 03

Para maré

- Cobrimento:
- 50 mm
- Classe de concreto: $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

Dimensionamento Vida Útil

35 MPa



6 cm

ACI 318

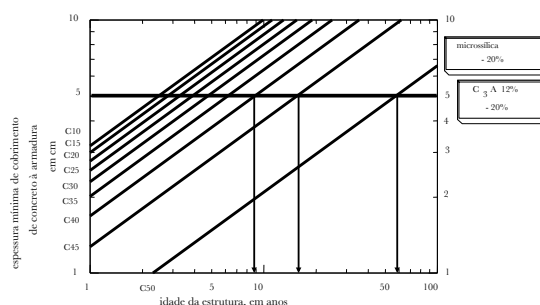
40 MPa



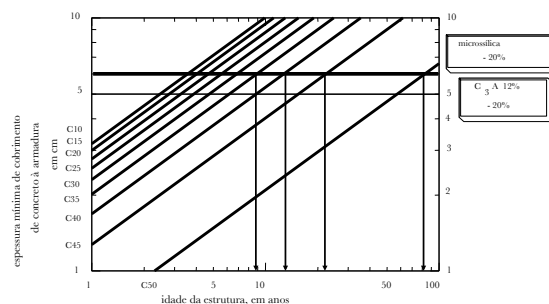
5 cm

NBR 6118

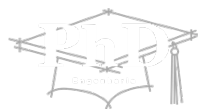
Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



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



**EJEMPLOS de
PRACTICAS EFECTIVAS**



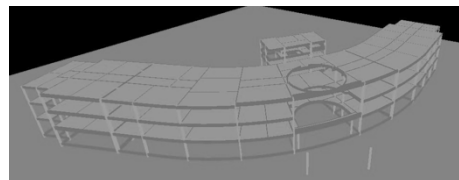
Consultoria Especializada para Inspeção, reforço, reparo e proteção da Estrutura de Concreto com 20anos de edad



Eng. Paulo Helene
Eng. Douglas Couto
PhD Engenharia

Data: 21/09/2011

Conhecimento do Problema



Inspeção detalhada da Estrutura de concreto

Conhecimento do Problema

Inspeção visual:



Fachada Principal



Estrutura Interna

Conhecimento do Problema



**Viga com altura insuficiente
para o vão.**

Inspeções



**Pacometria de pilares para
locação de armaduras**

Inspeções



**Medição da dureza superficial através de
Esclerometria**

Inspeções



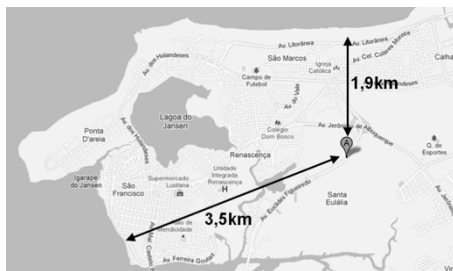
Medida da profundidade de carbonatação e Penetração de cloretos

Inspeções



Medida de propagação de ondas ultrassônicas e do potencial de corrosão

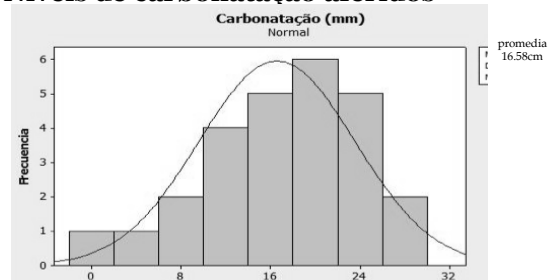
Inspeções



site

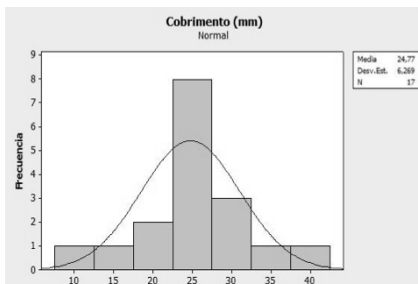
Recuperação

Níveis de carbonatação aferidos



Recuperação

Cobrimento verificado



Recubrimiento promedio (c): 24.7cm

Carbonatación promedio (e_{CO_2}): 16.6cm

Edad de la estructura: 20años

$$e_{CO_2} = k_{CO_2} * \sqrt{t}$$

$$16.6 = k_{CO_2} * \sqrt{20}$$

$$k_{CO_2} = 3.7 \text{ cm}/\sqrt{\text{año}}$$

Cuando va a despasivar?

$$e_{CO_2} = k_{CO_2} * \sqrt{t}$$

$$c_{CO_2} = 3.7 * \sqrt{t}$$

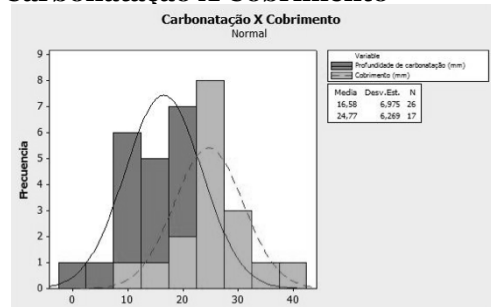
$$24.7 = 3.7 * \sqrt{t}$$

$$t = 44.5 \text{ años}$$

La estructura todavia tiene 24.5 años de vida residual

Recuperação

Carbonatação X Cobrimento



**OTRO EJEMPLO de
PRACTICAS EFECTIVAS**