



Celebrando 30 anos do LEME

Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto

Eng. Paulo Helene

*Diretor Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED*

1

II Seminário Patologia das Estruturas



PROJETAR para DURABILIDADE

- 1. PERSPECTIVA HISTÓRICA**
- 2. DEFINIÇÃO de VIDA ÚTIL**
- 3. COMPARAÇÃO de NORMAS**
- 4. PROJETAR ESTRUTURAS DURÁVEIS**
- 5. CONCLUSÃO**

2

primeiros materiais duráveis e o reconhecimento da profissão

3

Arquiteto e médico Imhotep



Pirâmide escalonada de Djeser

4



5



6

Código de Leis de Hammurabi

artigos 229 a 233 → obras

229. Se uma casa ou parte dela colapsar e matar o proprietário, o construtor deve ser morto;

230. Se uma casa ou parte dela colapsar e matar o filho do proprietário, o filho do construtor deve ser morto;

231....

232.....

233....

7

As pontes romanas eram feitas em pedra (material mais durável) e com um sistema de drenagem para reduzir a degradação pela água



8



9



10

em 1900 Aparece um novo material: Concreto Armado

11



com o
aparecimento do
concreto
no séc. xx
pensou-se que o
problema da
corrosão do aço
estava resolvido.

o aço estaria bem
protegido
dentro do
concreto...
quicã
eternamente!!!

12



Edifício Martinelli

São Paulo

1926

25 andares

Altura 106 m

Rua Líbero Badaró

$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$

13

Infelizmente a história demonstrou que essa expectativa não é verdadeira

A deterioração precoce da armadura se apresenta frequentemente devido à elevada instabilidade do aço frente a ambientes agressivos



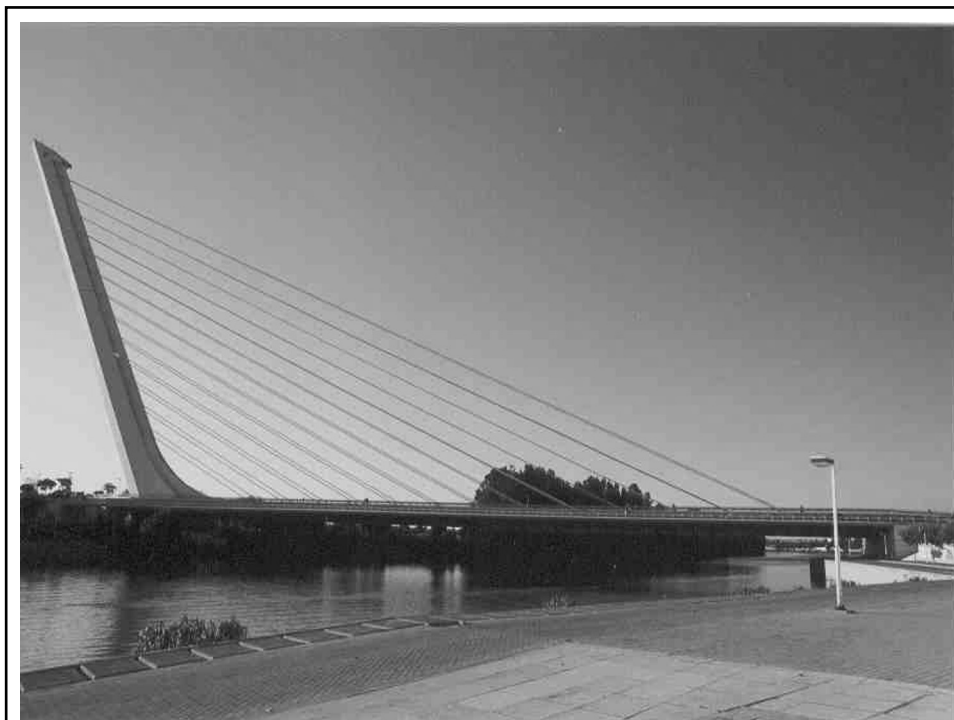
14

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



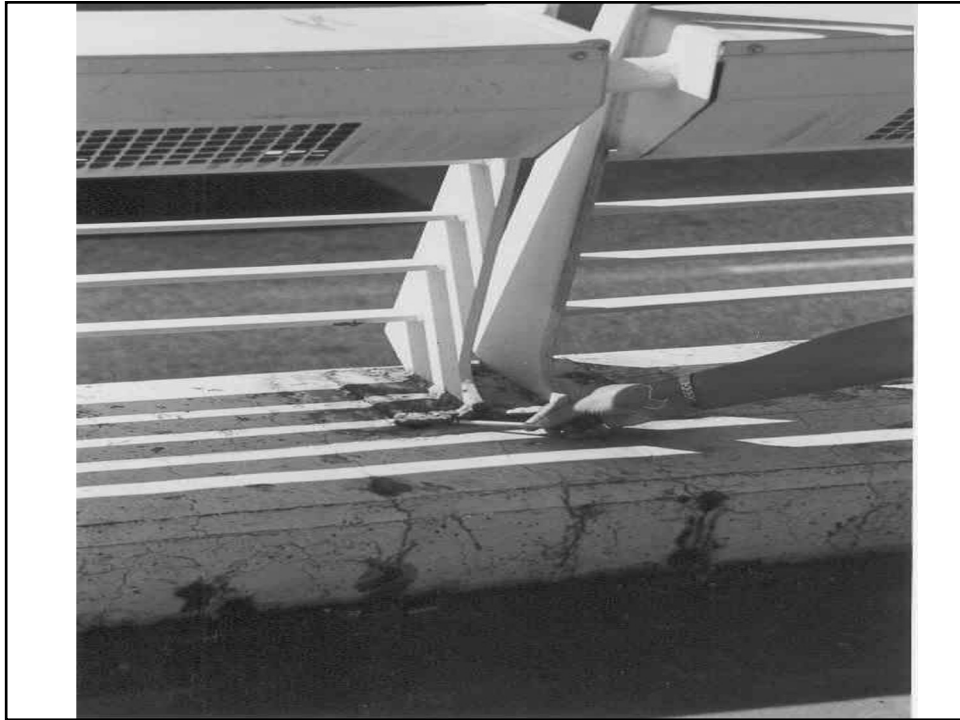
16



17



18



19



20



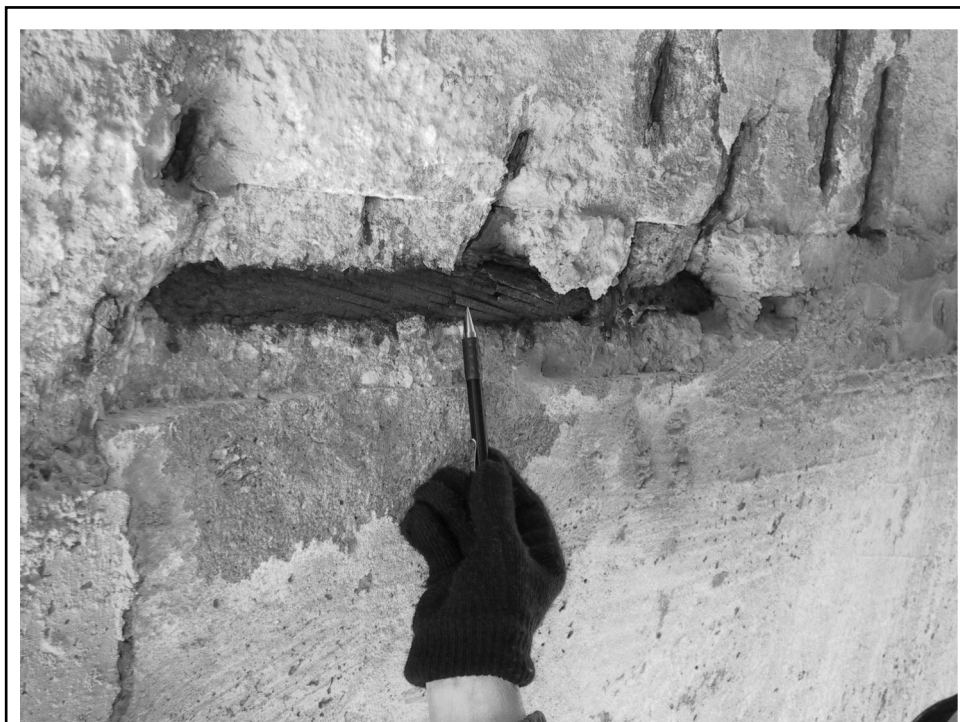
21



22



23



24



25



26



27



28



29



30

CATHODIC PROTECTION OF STEEL REINFORCEMENT IN CONCRETE



31

ARC-SPRAYED ZINC SYSTEM



- THE ZINC ANODE IS APPLIED OVER THE CONCRETE TO BE PROTECTED AND A CONNECTION TO THE STEEL IS ESTABLISHED.
- THE BOND STRENGTH BETWEEN THE ZINC AND THE CONCRETE IS MAINTAINED AT A MINIMUM OF 90 PSI.

32

ARC-SPRAYED ZINC APPLICATION



- SPECIAL EQUIPMENT IS USED FOR THE APPLICATION OF THE ANODE.
- SURFACE PREPARATION INCLUDES THE REMOVAL OF UNSOUND CONCRETE AND SANDBLASTING.

33

Durabilidade das Estruturas de Concreto

- 1. Envelhecimento**
- 2. Vida Útil**
- 3. Classificar Meio Ambiente**
- 4. Classificar os Concretos**
- 5. Modelos de Previsão**
- 6. Critérios de Projeto**
- 7. Proporcionamento dos Materiais**
- 8. Procedimentos de Execução**
- 9. Manutenção Preventiva**

34



ENVELHECIMENTO

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- << pH
- Corrosão
- Fissuração
- Destacamento

35



ENVELHECIMENTO

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- << pH
- Corrosão
- Fissuração
- Destacamento

mecanismo / agente

36



37



38



39



40



41

diretrizes

**mecanismos de
envelhecimento**

Relativos ao concreto:

- **lixiviação**
- **expansão**
- **intemperismo**

Relativos à armadura:

- **carbonatação**
- **cloretos**

42

Durabilidade das Estruturas de Concreto

- 1. Envelhecimento**
- 2. Vida Útil**
- 3. Classificar Meio Ambiente**
- 4. Classificar os Concretos**
- 5. Modelos de Previsão**
- 6. Critérios de Projeto**
- 7. Proporcionamento dos Materiais**
- 8. Procedimentos de Execução**
- 9. Manutenção Preventiva**

43



44

DEBATE TÉCNICO IBRACON

“Lições de Areia Branca”

Segurança, Responsabilidades e Manutenção Preventiva

Eng. Prof. Raúl Husni; Eng. Prof. Luiz Carlos Silva Filho; Eng. Prof. Romilde A. de Oliveira; Eng. Leonardo Garzon; Eng. Antonio Carlos Laranjeiras; Eng. Arnaldo Jardim; Eng. Julio Timermann; Eng. Valdir Silva da Cruz – Presidente ABECE; Eng. Alcides Ferrari Neto – Presidente IBAPE-SP

Leonel Tula 11-3727-1810

tula@onsite.eng.br; onsite@onsite.eng.br

***8 de dezembro de 2004, das 9h às 17h, no Novotel – Center Norte.
Almoço e coffee-breaks incluídos.***

Sócios R\$ 50,00. Não sócios R\$ 100,00

www.ibracon.org.br

thais@ibracon.org.br

45

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

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.

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.



Corpo de Maria Borges coberto em frente ao prédio

46

VIDA ÚTIL

Período de tempo durante o qual a estrutura mantém certas características mínimas de segurança, estética, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção não prevista

47

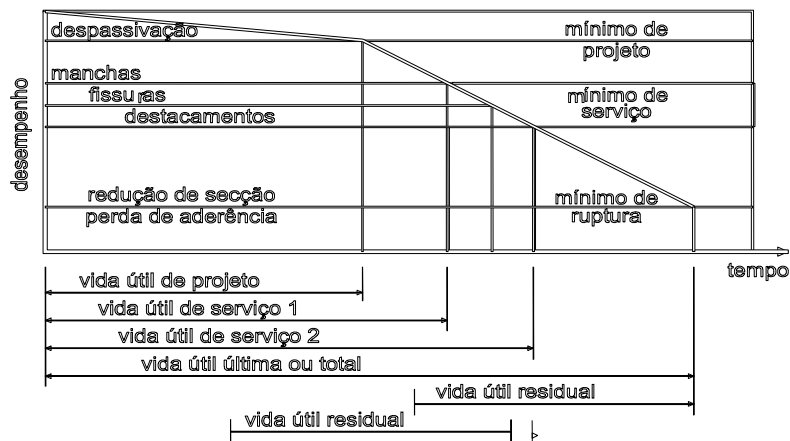
**BS 7543, 1992 Guide to
Durability of Buildings and Building Elements,
Products and Components**

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

48

comentários

Vida Útil



Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

49

Durabilidade das Estruturas de Concreto

1. Envelhecimento
2. Vida Útil
3. Classificar Meio Ambiente
4. Classificar os Concretos
5. Modelos de Previsão
6. Critérios de Projeto
7. Proporcionamento dos Materiais
8. Procedimentos de Execução
9. Manutenção Preventiva

50

DETERIORAÇÃO e ENVELHECIMENTO das ESTRUTURAS de CONCRETO

➤ **do CONCRETO**

➤ **da ARMADURA**

51

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

52

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 maré	-	-	-	IV
submersa $\geq 3m$	-	-	-	I
solo	-	-	I	II, III, IV

53

Durabilidade das Estruturas de Concreto

1. Envelhecimento
2. Vida Útil
3. Classificar Meio Ambiente
4. Classificar os Concretos
5. Modelos de Previsão
6. Critérios de Projeto
7. Proporcionamento dos Materiais
8. Procedimentos de Execução
9. Manutenção Preventiva

54

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 $a/c < 0,40$

55

Correspondência entre agressividade do ambiente e durabilidade do concreto

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

56

Durabilidade das Estruturas de Concreto

- 1. Envelhecimento**
- 2. Vida Útil**
- 3. Classificar Meio Ambiente**
- 4. Classificar os Concretos**
- 5. Modelos de Previsão**
- 6. Critérios de Projeto**
- 7. Proporcionamento dos Materiais**
- 8. Procedimentos de Execução**
- 9. Manutenção Preventiva**

57

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

58

durabilidade da estrutura de concreto regra dos 4C

- **Compactação ou adensamento**
- **Cura efetiva**
- **Composição ou traço do concreto**
- **Cobrimento**

59

critérios generalidades

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas; e
- h) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

60

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

61

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).”

62

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

$c > 38\text{mm}$

63

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 $\geq 1\text{cm}$ p/lajes interiores e $\geq 1.5\text{cm}$ p/exterior
- ✓ Cobrimento $\geq 1.5\text{cm}$ p/pilares e vigas $\geq 2\text{ cm}$ p/exterior

64

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

65

ASTM E 632, USA 1988

Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials

-  Ensaaios exploratorios
-  Ensaaios acelerados e de envelhecimento natural
-  Envelhecimento acelerado corresponde ao natural
-  Modelos matemáticos
-  Critérios de desempenho
-  Estimar a vida útil em condições de operação

66

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

67

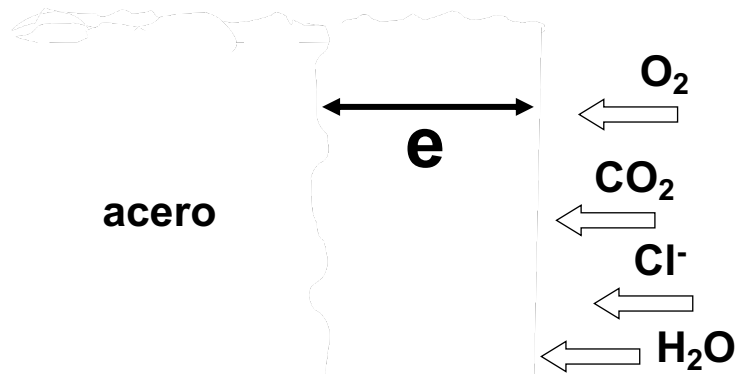
Ingresso de gases e fluidos

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migración**
- **Convección**

68

Generalização

$$e = k \bullet \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



69

Carbonatação

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

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

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

70

Carbonatação

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

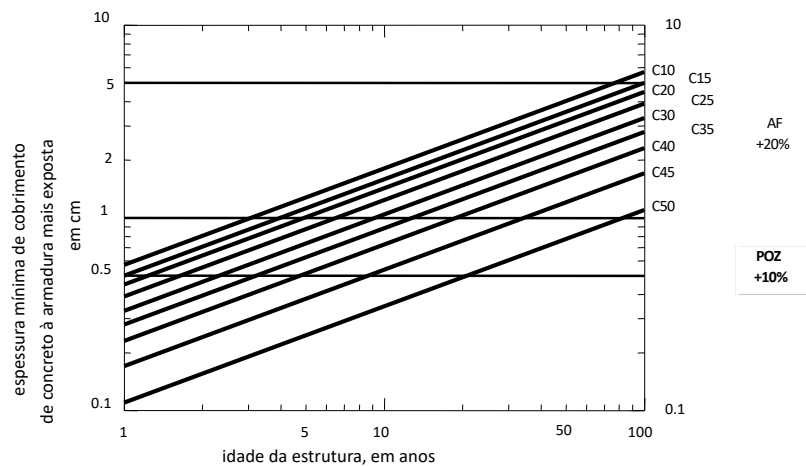
$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ años}$$

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

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

71

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



72

Cloretos - difusão

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

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

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

75

Cloretos - difusão

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

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

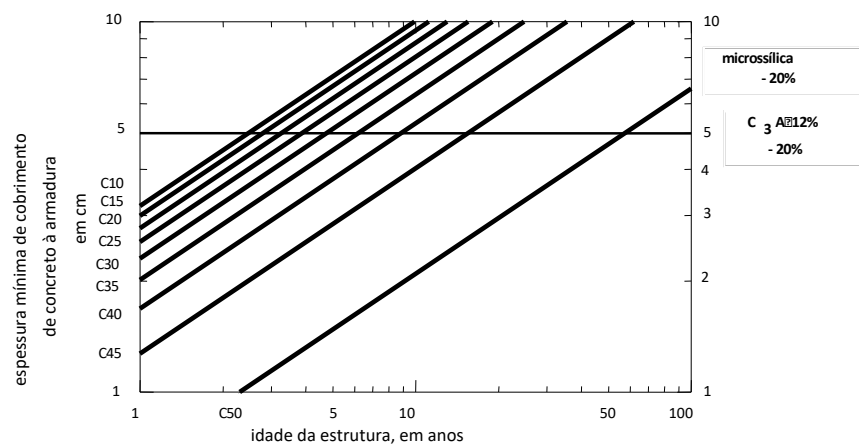
$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

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

76

referência

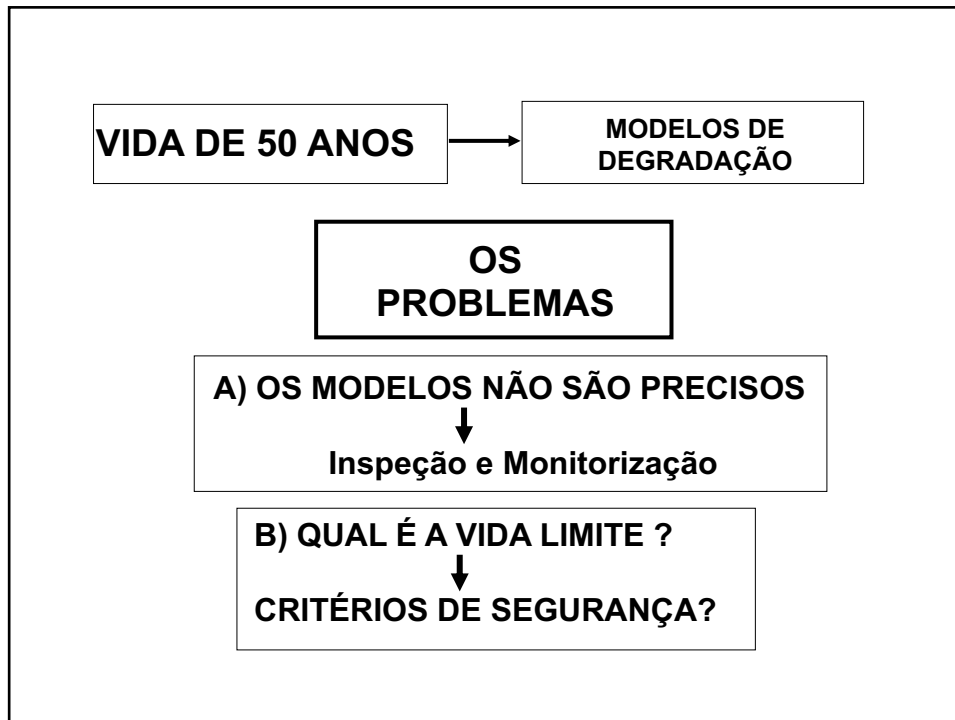
Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



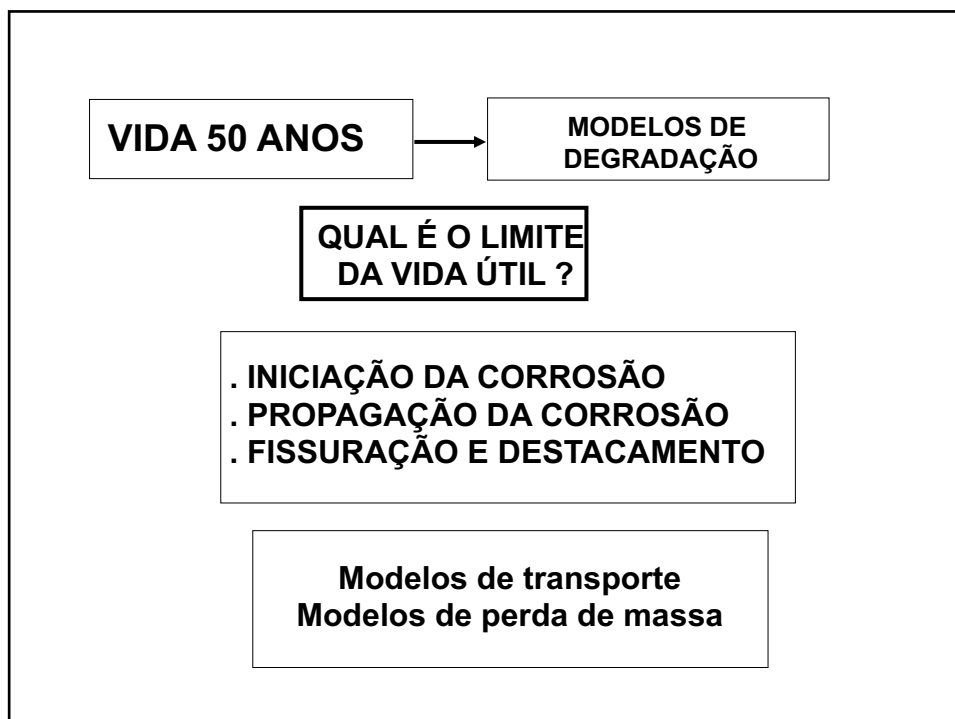
77

OS PROBLEMAS DOS MODELOS DE DEGRADAÇÃO

78



79



80

Cloretos

$$e_{Cl} = 7,35 \frac{UR^{0,7} \bullet T^{0,2} \bullet Cl^{0,7}}{k_1 \bullet f_{ck}^1 \bullet k_2 \bullet A^{0,2}} \bullet \sqrt{t}$$

Jairo Andrade
Denise dal Molin
José Luis Ribeiro

81

Cloretos

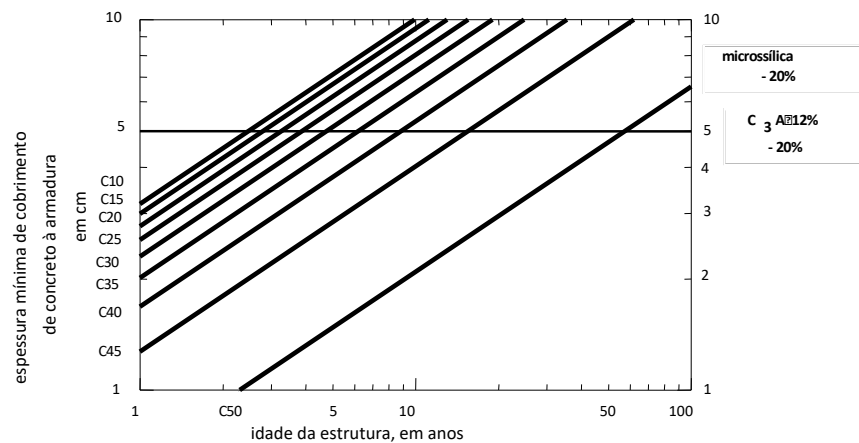
$$t = \frac{e_{Cl}^2 \bullet f_{ck}^2 \bullet A^{0,4}}{7,35^2 \bullet UR^{1,4} \bullet T^{0,2} \bullet Cl^{1,4}} = \frac{e_{Cl}^2}{k_{Cl}^2} \text{ (ano)}$$

$$k_{Cl} = \frac{7,35 \bullet UR^{0,7} \bullet T^{0,1} \bullet Cl^{0,7}}{f_{ck}^1 \bullet A^{0,2}} \text{ (cm/ano}^{1/2}\text{)}$$

82

referência

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



83

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- Experiência
- Ensaios Acelerados
- Mecanismos de Transporte
- Estocásticos

84

VIDA DE UMA OBRA

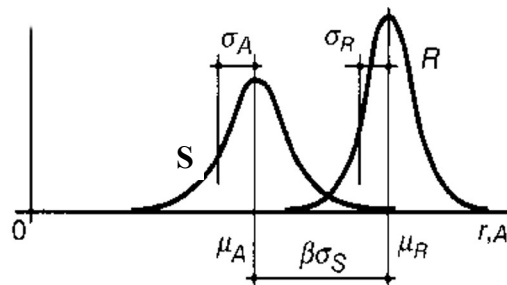
O QUE SIGNIFICA UMA
VIDA ESTRUTURAL DE 50 ANOS?

NORMAS (MATERIAIS E AÇÕES) → PROJETO

SIGNIFICADO:

$$P(S > R) < 10^{-6}$$

$$\beta = 3.8$$



SE NÃO OCORRER DEGRADAÇÃO !!

85

**Equivalente à segurança
estrutural tem de ser
realizado um...**

**PROJETO DE
DURABILIDADE**

86

Métodos Estocásticos

- Estatístico comb. Determinístico
- teoria das falhas → distribuição de Weibull
- conceito de risco (probabilidade de falha x prejuízo causado)

87

Métodos Estocásticos

probabilidade de falha:

$$\beta(t) = \frac{\mu(R,t) - \mu(S,t)}{\{\sigma^2(R,t) + \sigma^2(S,t)\}^{0,5}}$$

88

Carbonatação

$$S \rightarrow c_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot t^{0,5} \rightarrow v = 0,6$$

$$R \rightarrow c \rightarrow v = 0,2$$

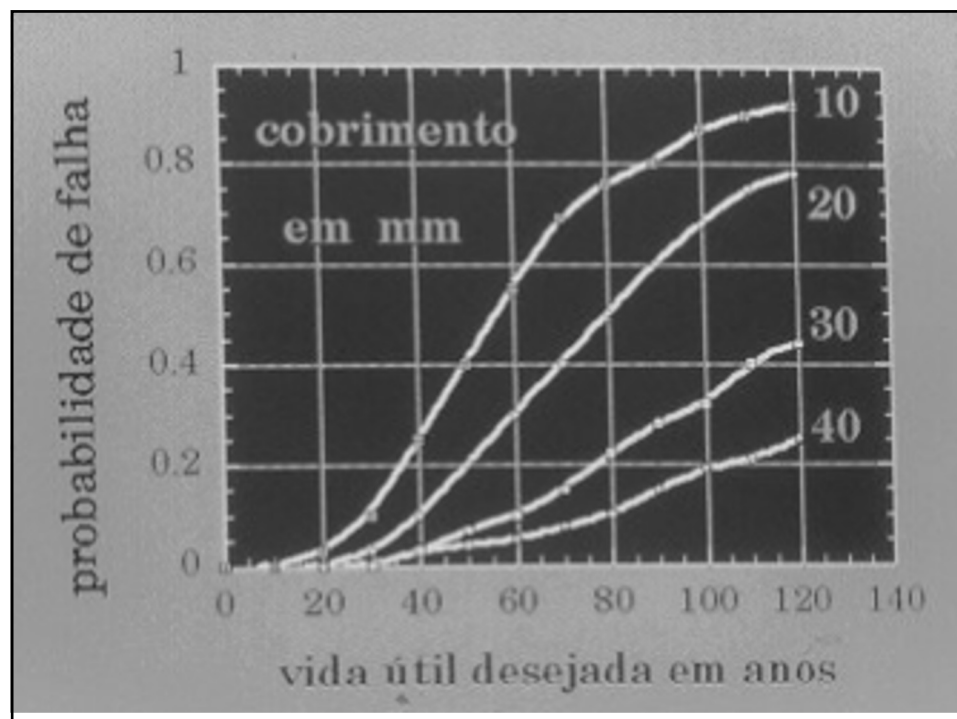
qual é o c p/ 50 anos c/ quantil de 10%?

$$\beta = 1,28$$

$$p/ 15 \text{ MPa} \rightarrow c = 55 \text{ mm}$$

$$p/ 40 \text{ MPa} \rightarrow c = 15 \text{ mm}$$

89



90

Vida útil

Service life

91

Vida Útil das Estruturas de Concreto

Service Life of Concrete Structures

NBR 6118 versus ACI 318

Definição de vida útil

Mecanismos de envelhecimento

Agressividade ambiental

Critérios de projeto

Módulo de elasticidade

Fissuração

Flechas

Aplicação

Service life

Aging

Aggressiveness

Design criteria

Modulus of elasticity

Cracking

Deflection

Example

92

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.

93

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.

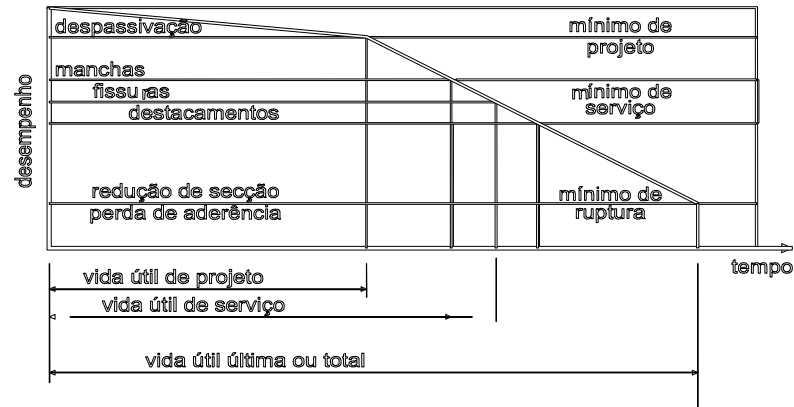
Three types of service life have been defined;

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.

94

NBR 6118

ACI 318



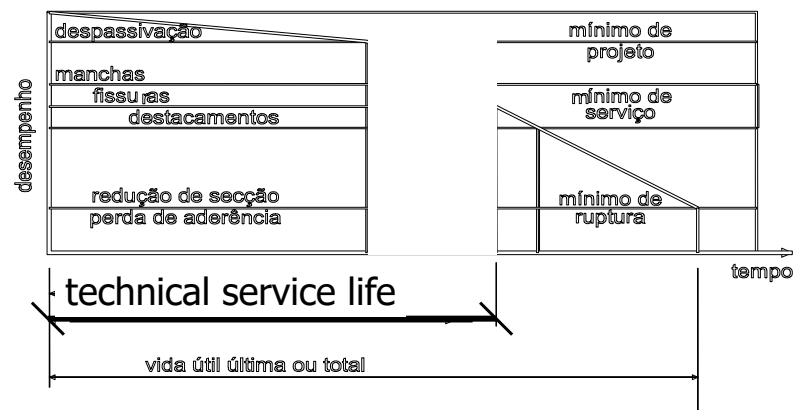
$t \geq ???$ anos

95

NBR 6118

ACI 318
ACI 365-1R

6 years



$t \geq ???$ years

96

Envelhecimento *Aging*

97

NBR 6118

**envelhecimento
secção 6.3**

Relativos ao concreto

- **lixiviação** (ácidos, poluição, chuvas)
- **expansão** (álcali-agregado, sulfatos, óxidos)
- **contaminantes** (pirita, óxidos ferrosos)

Relativos à armadura

- **carbonatação**
- **cloretos**

98

ACI 318

aging
chapter 4 Durability Requirements

Related to concrete

- **sulfate**
- **freezing and thawing**

Related to reinforcement

- **chlorides**

99

NBR 6118

ACI 318

1. Ácidos
2. Poluição
3. Chuvas ácidas
4. Sulfatos
5. Álcali-agregado
6. Óxidos
7. Pírita
8. Óxidos ferrosos
9. Carbonatação
10. Cloretos

1. Freezing

2. Sulfates

3. Chlorides

100

Classes de Agressividade

Aggressiveness

101

NBR 6118		agressividade secção 6.4		
macro clima				
Norma	Classe de Agressividade*			
	<i>Fraca</i>	<i>Moderada</i>	<i>Forte</i>	<i>Muito forte</i>
NBR 6118	I	II	III	IV
	Rural / Submerso	Urbana	Marinha / Industrial	Industrial / Respingos de Maré
micro clima	ambiente externo úmido	ambiente interno seco	ambiente interno seco	ambiente interno seco

102

ACI 318

aggressiveness

Chapter 4

SPECIAL EXPOSURE CONDITIONS

Exposure Condition
concrete intended to have low permeability when exposed to water
freezing and thawing or deicing chemicals
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources
sulfate exposure

103

***Concreto
Concrete***

104

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	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

105

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

106

Cobrimento

Concrete cover

107

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

108

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

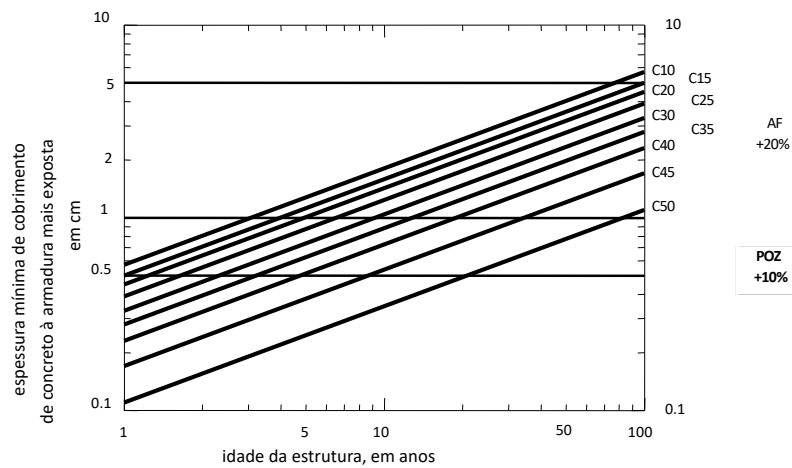
109

<i>Parâmetros de Durabilidade para Resistir “Splash Zone”</i>			
a/cm W/Cm		NBR 6118 ≤ 0,45	ACI 318 ≤ 0,50
Consumo cimento Cement content		no	no
f _{ck} f' _c		≥ 40	≥ 35
Cobrimento Concrete cover		laje 45 viga/pilar 50	laje 50 viga/pilar 60
Cloretos Chlorides		no	0,15%

110

comentários

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



111

Fissuração
Cracking

112

NBR 6118

critérios de projeto abertura de fissura seção 7.6+13.4.2

Tabela 13.3

Classe de Agressividade Ambiental	I	II	III	IV
Abertura máxima w_k (mm)	0,4	0,3	0,3	0,2

113

ACI 318

design criteria maximum crack width

O código não apresenta nenhuma informação a respeito do cálculo das aberturas estimadas de fissuras

114

NBR 6118

critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$w_k = \min(w_1, w_2)$$

$$w_1 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

"

$$w_2 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

A_{cri} é a área da região de envolvimento protegida pela barra ϕ_i

E_{si} é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro ϕ_i

ϕ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada

ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região de envolvimento (A_{cri})

σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II

115

NBR 6118

critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

8.2.5 resistência à tração

"

➤ Para tensões baixas no aço $\sigma_{si} < 130 \text{ MPa}$ w_k é diretamente proporcional a ϕ e ao quadrado de σ_{si} e inversamente proporcional a f_{ck}

➤ Para tensões altas no aço $\sigma_{si} > 130 \text{ MPa}$ w_k é diretamente proporcional a ϕ , σ_{si} e distância entre barras

116

ACI 318

design criteria cracking control section 10.6.4

Equation 10.6.4 results on acceptable crack widths

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2.5C_c$$

S=spacing of the reinforcement closest to a surface in tension (mm)

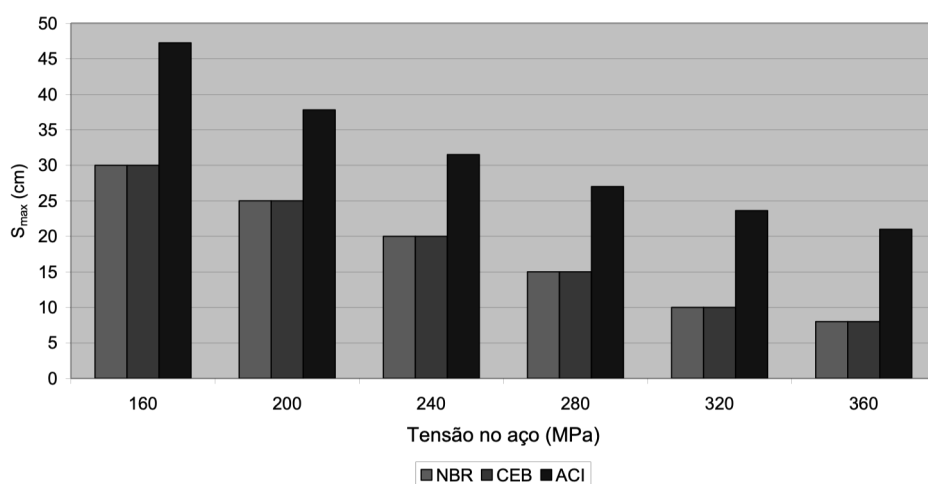
fs=steel stress (MPa)

Cc=concrete cover (mm)

Obs.: very aggressive environments shall need special considerations

117

Espaçamento limite das armaduras p/ controle de fissuração



118

Flechas máximas

Deflections

119

Flechas

- **NBR 6118/03:**
 - Caso geral: $l/250$
 - Caso especial: $l/350$

- **ACI 318-02:**
 - Caso geral: $l/240$
 - Caso específico: $l/480$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural

120

ACI 318

Relação vão/altura

TABLE 9.5(a)—MINIMUM THICKNESS OF NONPRESTRESSED BEAMS OR ONE-WAY SLABS UNLESS DEFLECTIONS ARE COMPUTED

	Minimum thickness, h			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
Member	Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.			
Solid one-way slabs	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

* Span length l is in millimeters.
 Values given shall be used directly for members with normal weight concrete ($w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$) and Grade 420 reinforcement. For other conditions, the values shall be modified as follows:
 a) For structural lightweight concrete having unit weight in the range 1500-2000 kg/m^3 , the values shall be multiplied by $(1.65 - 0.0003 w_c)$ but not less than 1.09, where w_c is the unit weight in kg/m^3 .
 b) For f_y other than 420 MPa, the values shall be multiplied by $(0.4 + f_y/700)$.

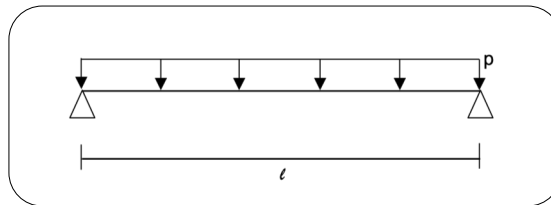
121

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 318-02.

122

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)

123

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

124

Exigência das Normas

ACI 318 – 02

Para splash zone

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

NBR 6118 – 03

Para maré

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

125

Exigência das Normas

ACI 318 – 02

$$(f'_c):$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,34s$$

$$f_{cr} = f'_c + 2,33s - 3,45$$

(5.3.2.1)

Módulo de elasticidade

$$E = 4700 * f'_c^{1/2}$$

$$E = 27,8 \text{ GPa}$$

NBR 6118 – 03

$$f_{ck}:$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65s$$

(NBR-12655 5.5.3.2.1)

Módulo de elasticidade

$$E = 4760 * f_{ck}^{1/2}$$

$$E = 26,1 \text{ GPa}$$

126

Dimensionamento	
	Aço = + 12%
	C1 = 0%
	C2 = - 10%
ACI 318-02	NBR 6118/04
h = 36 cm	h = 36 cm
armadura	h = 40 cm (utilidade)
5 ϕ 20mm + 1 ϕ 16mm	armadura
Satisfaz flecha / fluência	5 ϕ 20mm
	Satisfaz flecha / fluência

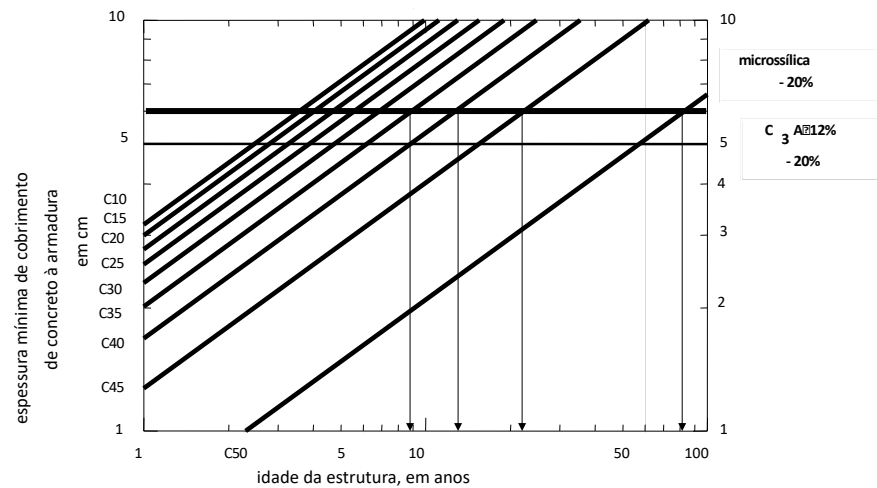
127

Dimensionamento Vida Útil	
35 MPa	ACI 318
6 cm	
40 MPa	NBR 6118
5 cm	

128

comentários

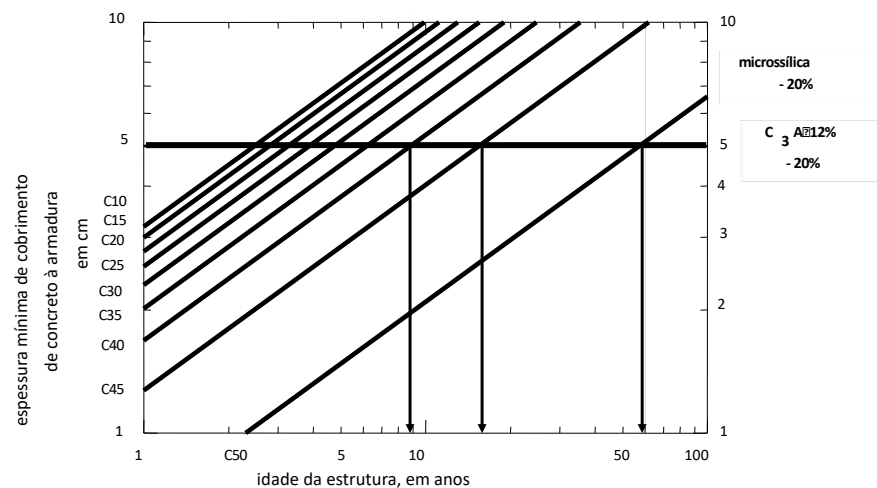
Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



129

comentários

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



130

Sustanaible 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

131

CONCLUINDO projetar e construir obras duráveis é:

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

132

METODOLOGIA PARA O PROJETO:

- 1. Classificação da Agressividade Ambiental**
- 2. Adoção de Condições de Trabalho**
- 3. ADOÇÃO DE**
 - a) Propriedades dos materiais**
 - b) Geometria dos elementos**
- 4. Adoção de Manutenção Preventiva**

133

Vida Útil das Estruturas de Concreto

**Nasce no
Projeto de
Arquitetura e
Estrutural**

134

PROJETO DE DURABILIDADE



**DEPENDE de um
PLANO DE
MANUTENÇÃO
E INSPEÇÃO**