•Vida Útil das
•Estruturas de Concreto

•Tecnologia das Estruturas de Concreto

•*visão atualizada e sucinta*

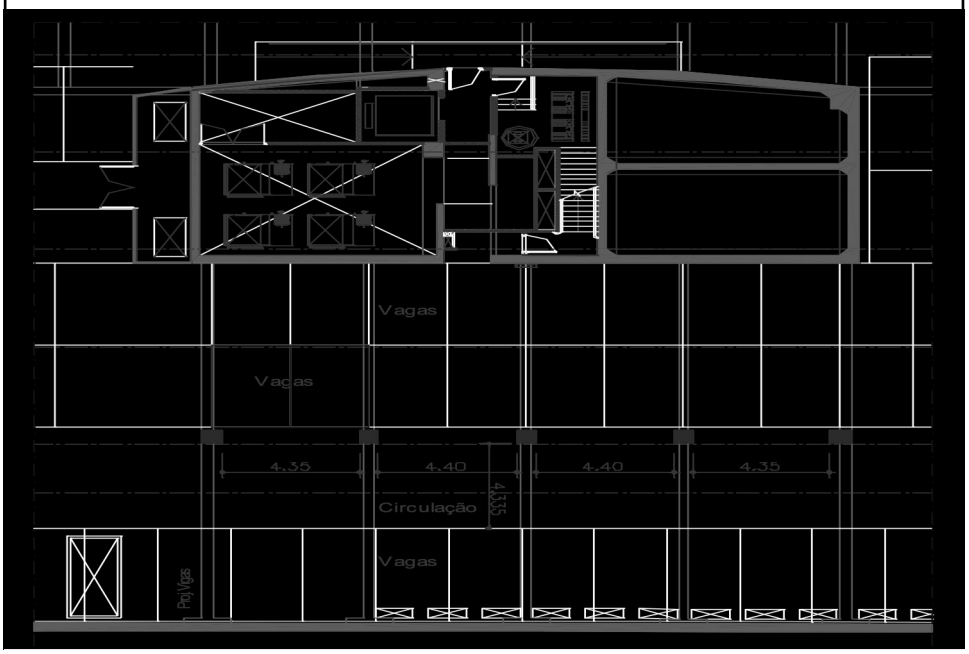
•São Paulo, 25 e 27 de novembro de 2008

1

- **Edifício e-Tower SP**
- **42 andares**
- **Heliponto**
- **Piscina semi-olímpica**
- **Academia de ginástica**
- **2 restaurantes**
- **Concreto colorido**
- **f_{ck} pilares = 80 MPa**

2

•Projeto *(e-Tower)*



3

•Projeto *(e-Tower)*

•4.40 m

•f_{ck} = 80 MPa

•60

•70

•60

•70

Carga nos Pilares

1500 t a 2000 t

•100

•100

•90

•90

•f_{ck} = 40 MPa

•4.10 m

4

•Dosagem do Concreto

•Materiais

•Dosagem em lab.

•Mistura em Caminhões

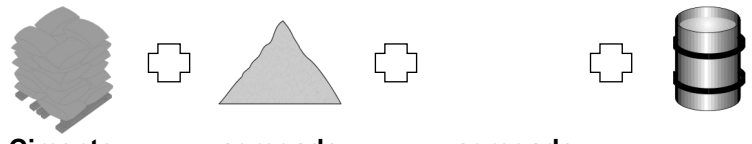
•Concretagem de pilares do estacionamento

•Por quê ??

•Resistências, cor,
• trabalhabilidade, temperatura

5

•HPC composição



•Cimento
•Portland

•agregado
•miúdo

•agregado
•graúdo

água

•Concreto comum

Aditivos

Adições + Pigmentos

HPCC

6

superplastificante

Cimento Portland + Água

⇩

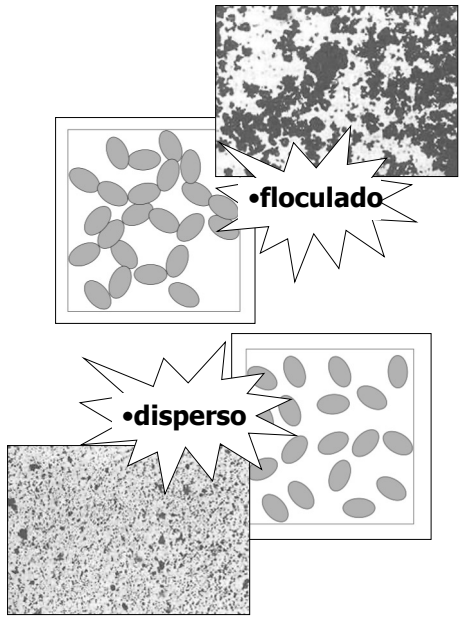
Floculação

⇩

aprisonamento de água entre os grãos de cimento

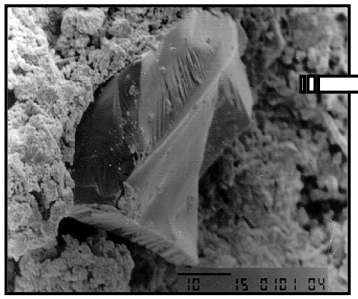
⇩

redução da fluidez e da área específica disponível para hidratação



7

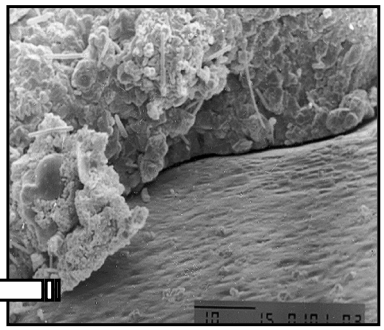
•ADIÇÕES MINERAIS



Concreto convencional

•Aumento 1500x

Concreto com Metacaulim & Silica Ativa



•Aumento 1500x

8

•PIGMENTOS VERMELHOS

- ✓ Oxido de ferro Fe_2O_3 > 98%
- ✓ grau 8 de solidez a luz solar
- ✓ 0,5% de sais solúveis
- ✓ 99,95% diâmetro de particula < 0,045mm (#325) 0,05% de retenção
- ✓ Densidade 4.500 kg/m^3
- ✓ Formato Partícula: Esférica
- ✓ EN 12878 y ASTM C 979

9

10

•Concretando os pilares experimentais na área de periferia

11

•Materiais

12

13

14

15

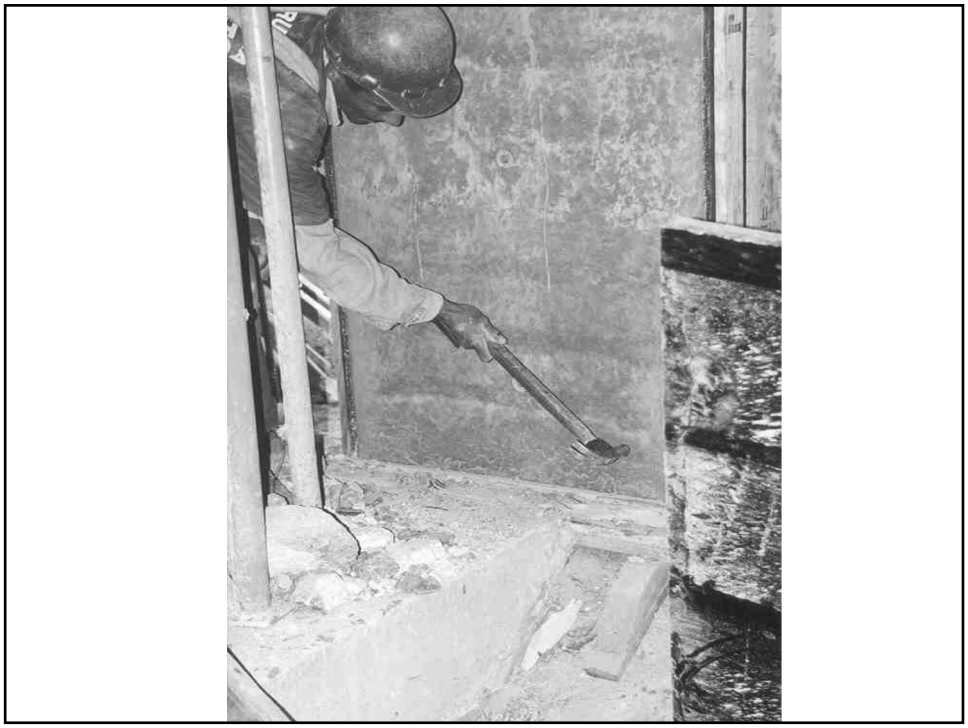
16

17

•Tempo e temperatura

Controle de tempo	
Horário de início da mistura	12:55
Horário da saída da central	13:35
Horário chegada obra	14:30
Horário término da concretagem	16:00
Temperatura concreto na chegada na obra	
37,5 ºC	

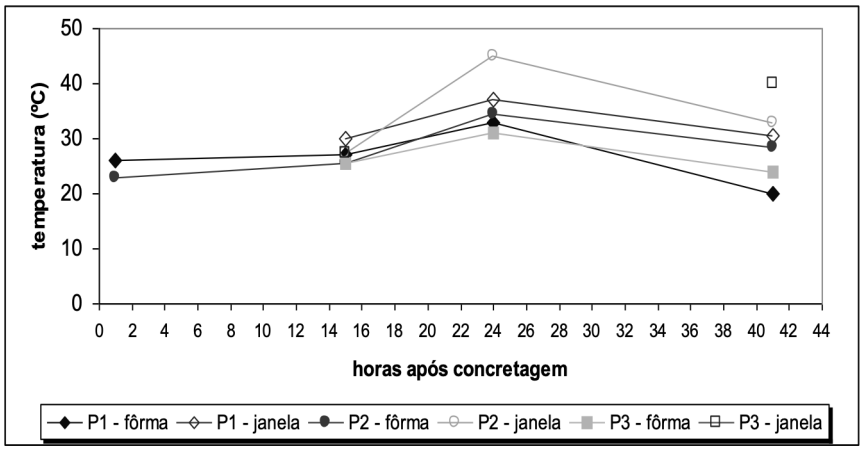
18



19

20

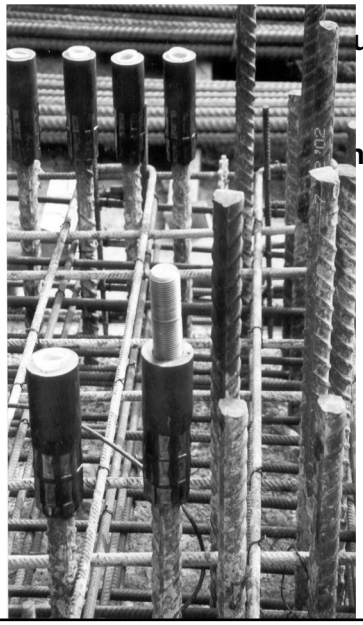
•Temperatura



•P1 = 133 P2 = 134 P3 = 135

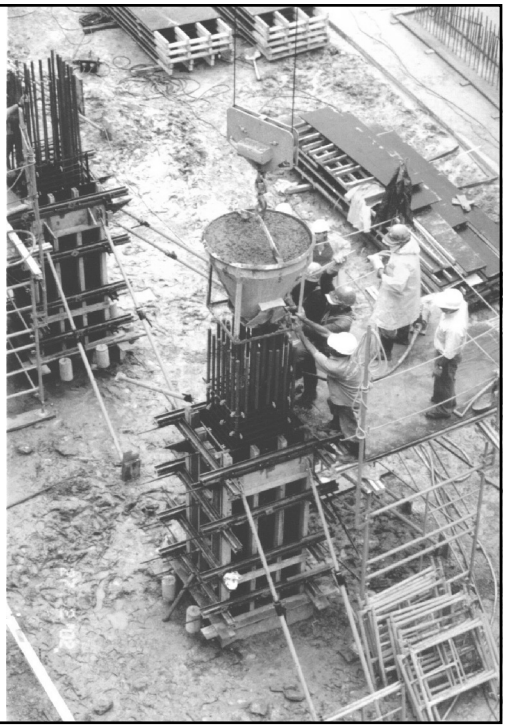
21

•ARMADURA



22

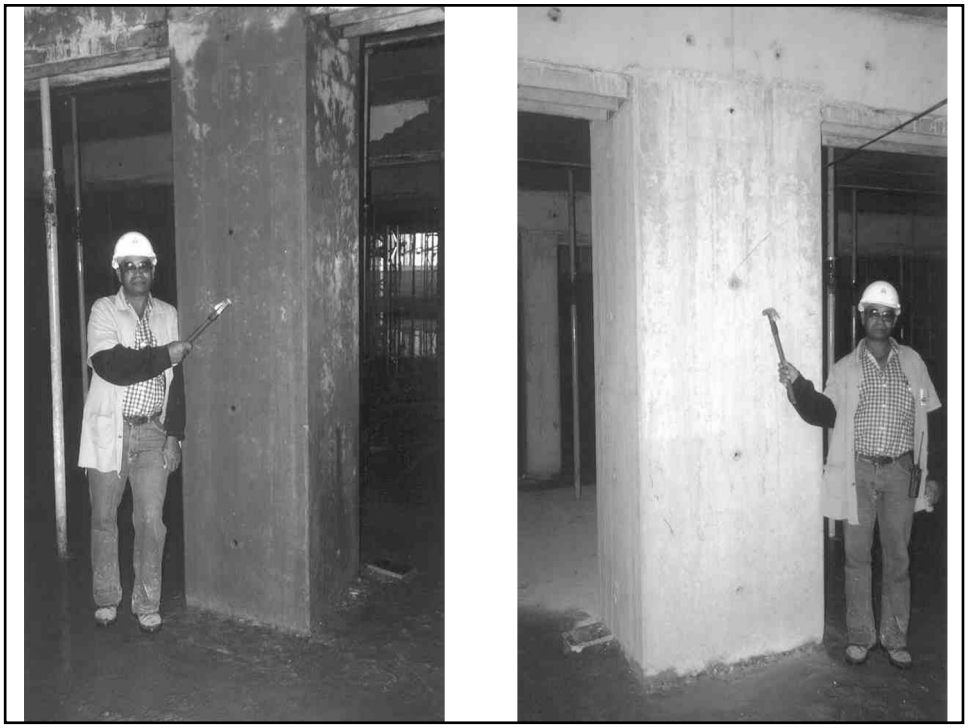
- **produtividade**
  - ✓ **5.5 m**
  - ✓ **zero bicheiras**
  - ✓ **rapidez**
  - ✓ **acabamento**



23

- **Pilares de concreto de alto desempenho**

24



25

•Dosagem

materiais	teor	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m^3	460 cim. + 163 escória
adição	0,15	93 kg/m^3	silica & metacaulim
Agregado graúdo	1,65	1.027 kg/m^3	basalto, 19mm, MF 6,9, 3.020 kg/m^3
agregado miúdo	0,88	550 kg/m^3	quartzo, 2,4mm, MF 2,0, 2.670 kg/m^3
pigmento	0,04	25 kg/m^3	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m^3	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m^3	acido hydrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m^3	W / Cm = 0,19

26

•Two Union Square
•Seattle 1998

•f'_{ca}	119 MPa
•Cement	513 kg/m^3
•Microssilica	41 kg/m^3
•Coarse aggregate	1,195 kg/m^3
•Fine aggregate	682 kg/m^3
•Superplasticizer	16 kg
•Retarder	nihil
•Water	130 kg/m^3

27

28

•CONTROLE

•Módulo
•de Elasticidade

•Resistência
•a compressão

29

30

Resistencia a Compressão

•Lote	•Local	•f_{ck} (MPa)	•exemplar	•Média	•Desvio padrão	•Coef. Variação	•$f_{ck\ est}$
•1	•4º SS	•80	•4	•142,6	•7,0	•5%	•133
•2	•3º SS	•80	•4	•127,0	•5,0	•4%	•122
•3	•2º SS	•80	•4	•124,6	•7,5	•6%	•119
•4	•1º SS	•80	•4	•126,6	•5,5	•5%	•120
•5	•Térreo	•80	•8	•128,4	•7,5	•6%	•123
•6	•1º pavimento	•80	•7	•127,4	•7,9	•6%	•110
•7	•2º pavimento	•80	•4	•125,4	•7,1	•6%	•118
•Desvio padrão y coef. de variação media • ponderado					•7,0	•5,5	•112

31

IPT
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/1

Cliente: Construtora Tecnum
Obra: Edifício ETower – São Paulo - SP
A/C Prof. Dr. Paulo Helene

Determinação da resistência à compressão –NBR-5739/94

RESULTADOS

C. P. nº	Data da concretagem	Resistência à compressão (MPa)
33	24/05/2.002	***149,9***
35		***151,8***

Data do ensaio : 18/10/05.

São Paulo, 18 de outubro de 2.005

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL
Agrupamento de Materiais
de Construção Civil
Laboratório de Concreto

DOCUMENTO EMITIDO ELETRÔNICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA

Técnico em Edificações Pedro Carlos Bilesky
Encarregado do Laboratório de Concreto
RE. nº 4376.0

•3a 4m 18d

•1233 dias

32

33

Propriedades mecânicas

- f_{ck} = 115 MPa
- f_{ck} = 25 MPa
- f'_c = 17,000 psi
- f'_c = 3,600 ps

f_c	7 days	111	18
f_c	28 days	125	32
f_c	63 days	139	37
f_c	91 days	155	39
E_{ci}	28 days	50	30
f_{ct}	28 days	10	3,1
Ultrassom	m/s	4950	3250
esclerometria		52	23

34

Durabilidade

- f_{ck} = 115 MPa
- f_{ck} = 25 MPa
- f'_c = 17,000 psi
- f'_c = 3,600 psi

Carbonatação 28+63d 25ºC 65% 5%	zero	29mm
Absorção H_2O	0,40%	7,5%
Volume de vazios	1%	17,5%
Densidade	2530 kg/m³	2310 kg/m³
absorção capilar	0,1 g/cm²	2,7 g/cm²
Ascensão capilar	0 cm	30 cm
Cloretos	43 C	8.400 C

35

- *Vida Útil*
- *de 980 anos!*

36

BIBLIOGRAFIA

- **ISAIA, Geraldo C. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. IBRACON, 2005.**
- **Cap. 26 "Mecanismos de Transporte de Fluidos no Concreto" *Antonio Alberto Nepomuceno. p. 793-827***
- **Cap. 31 "Vida Útil das Estruturas de Concreto", *Jairo José de Oliveira Andrade. p. 923-951***

37

IMPORTÂNCIA

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

"Patrimônio Construído"

38

Desempenho

Alcançar o adequado <u>Desempenho</u> das estruturas de concreto, ou seja, obter a satisfação do usuário com aquele produto, assim como conseguir que a estrutura atenda às funções para a qual foi projetada, construída, operada e mantida deve ser o OBJETIVO MAIOR da atuação do arquiteto e do engenheiro.

39

Durabilidade

A durabilidade das estruturas de concreto é uma das <u>Necessidades do Usuário</u> tal como definido no conceito de desempenho pela ISO 6241 ***"Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered"***

40

Durabilidade

Durabilidade é a capacidade da estrutura de concreto manter ao longo do tempo o desempenho especificado (esperado, desejado), quando exposta às condições de uso, operação e manutenção definidas no projeto. Para medir e acompanhar o desempenho são escolhidos indicadores de variação de desempenho (espessura de carbonatação, cor, textura, flechas, fissuras, desprendimentos, expansões, retrações, etc.).

41

Durabilidade

Durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, *funções de durabilidade versus tempo.*

42

Durabilidade "NBR 6118"

Durabilidade
Capacidade de uma estrutura, componente, produto ou construção de manter sua aptidão funcional para aquilo que haja sido projetada ou construída, durante um tempo mínimo especificado. Segundo este conceito, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

43

Vida Útil

É o período de tempo durante o qual a estrutura de concreto apresenta um desempenho igual ou superior ao mínimo especificado (requerido, desejado). Portanto é o período de tempo durante o qual o usuário mantém sua satisfação com o desempenho da estrutura, desde que esta esteja sendo utilizada, operada e mantida de acordo com as condições especificadas no projeto. Qualquer intervenção não prevista pode ser considerada perda da vida útil.

44

Vida Útil

O conceito de Vida Útil pode ter diferentes interpretações:

1. ***Vida útil FUNCIONAL***
2. ***Vida útil ECONÔMICA***
3. ***Vida útil COLAPSO***
4. ***Vida útil DURABILIDADE***

45

Exemplos de perda da Vida Útil sob o ponto de vista da Durabilidade, ou seja não são estruturas que estejam em situação de colapso iminente

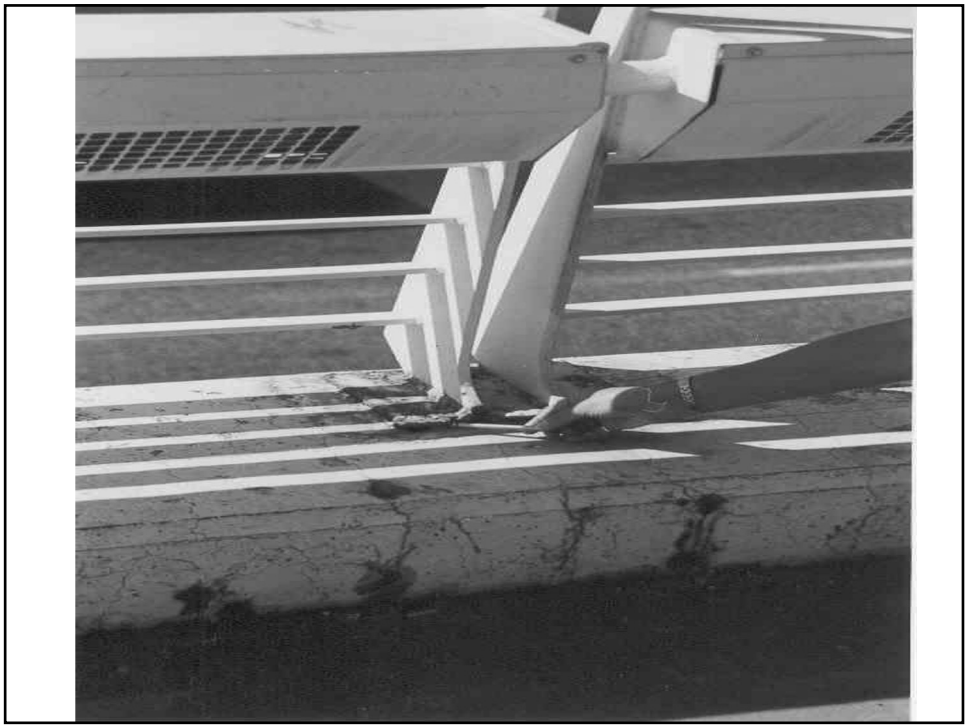
46

Ponte do Aramillo
Santiago Calatrava
Sevilha, Feira Mundial, 1972

47

48

49



50

51

52

Janela para acesso ao interior do caixão perdido

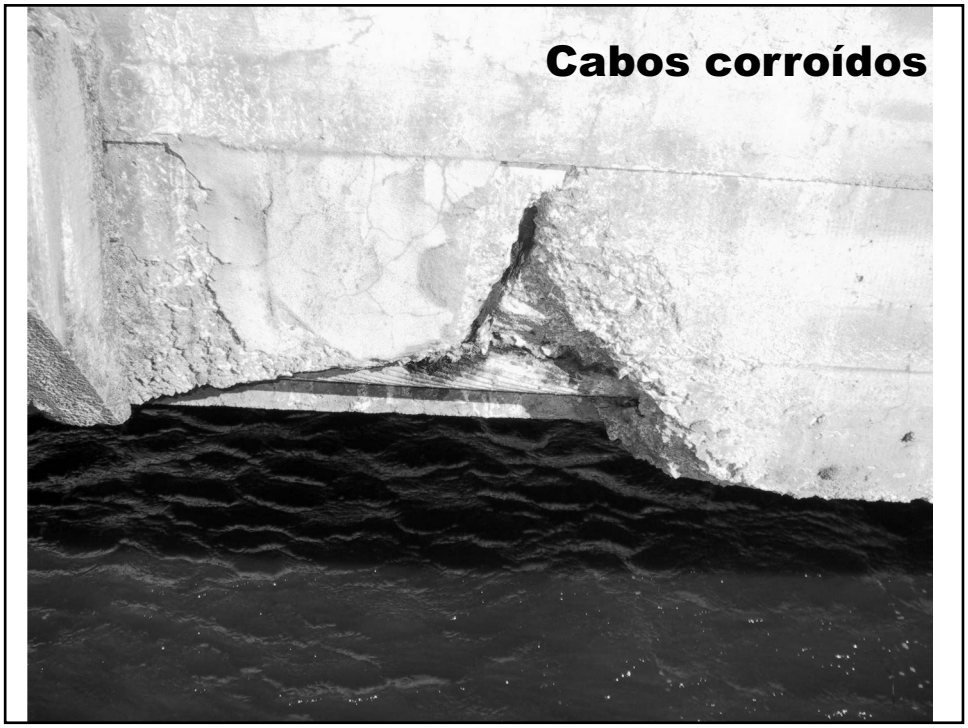
53

Ninhos de
concretagem

54

55

56



57

58

59

60

Corrosão de armaduras

61

Fissuração dos blocos por
reações expansivas ácali-agregado
Granito com "quartzo tensionado"

62

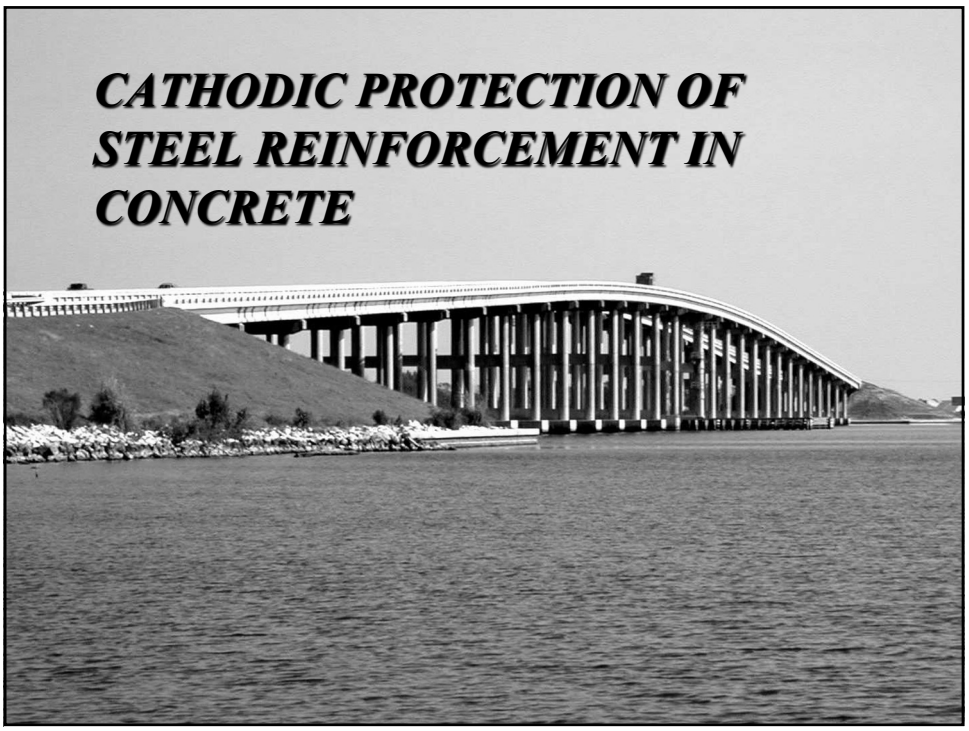
63

64

Importância

Elevados investimentos em soluções para corrigir ou minimizar a consequência (efeito) dos problemas. Em casos de reação álcali-agregado, sulfatos e mesmo corrosão de armaduras por cloretos ainda não existe solução definitiva, nem consensuada o suficiente para fazer parte de um texto de norma de reabilitação de estruturas.

65



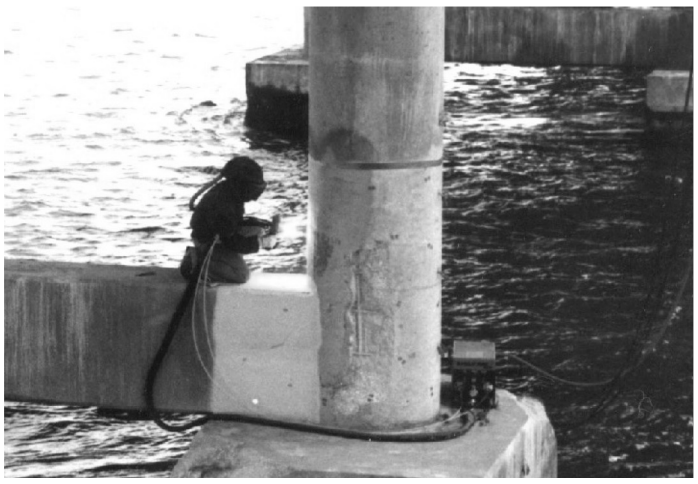
66

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.

67

ARC-SPRAYED ZINC APPLICATION



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

68

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

69

Mecanismos de Envelhecimento

resumo pois o tema já foi visto nas aulas de durabilidade

70

ENVELHECIMENTO

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- Álcali-agregado

- << pH
- Corrosão
- Fissuração
- Destacamento

mecanismo / agente

71

MASP Museu de Arte São Paulo 1968
f_{ck} = 35 MPa Vida útil de 20 anos!

72

Fungos (verde); fuligem ácida (preto), chuva ácida (lixiviação e eflorescência) → Corrosão de armaduras
Edifício emblemático de São Paulo, porém projetado e construído num período que ainda não havia consciência nem conhecimento dos mecanismos fortes de envelhecimento e deterioração precoce das estruturas de concreto

73

74

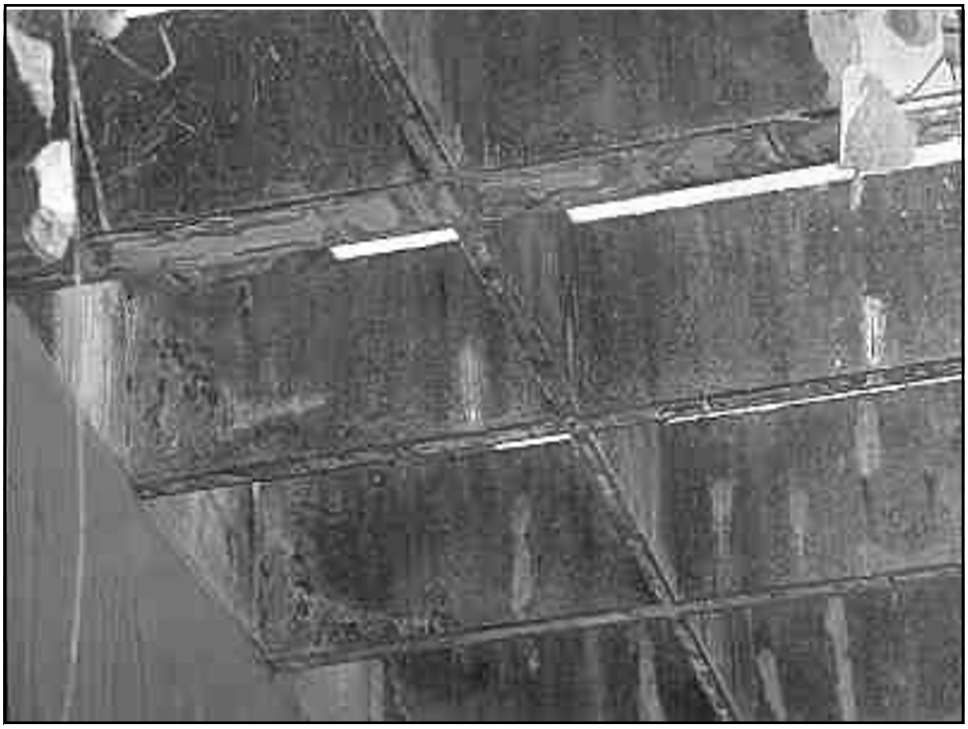
75

A consciência de que há problemas de durabilidade por perda PRECOCE da Vida Útil das Estruturas de Concreto só aconteceu na DÉCADA de 90!!!!

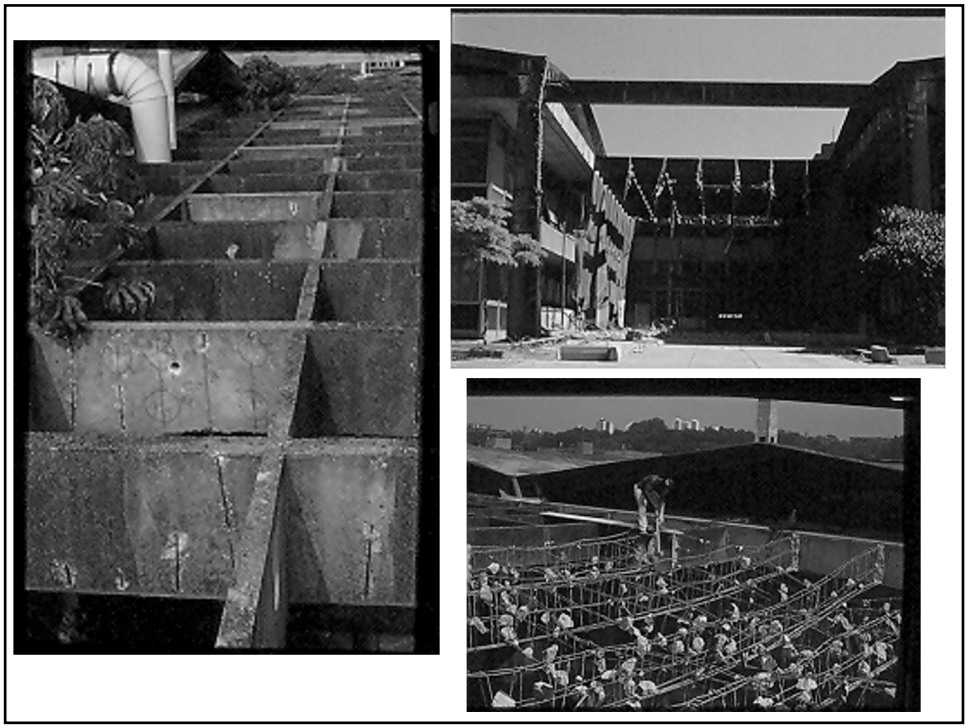
76

77

78



79



80

diretrizes

mecanismos de envelhecimento

Relativos ao concreto:
- lixiviação
- expansão
- intemperismo

Relativos à armadura:
- carbonatação
- cloretos

81

Os conceitos e critérios indiretos e insuficientes de durabilidade constantes das primeiras normas sobre Estruturas de Concreto vigoraram até

DÉCADA de 90!!

ou melhor, até HOJE, 2006??

82

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

83

No Brasil o conceito de Vida Útil só foi introduzido TIMIDAMENTE no texto da NBR 6118 (NB1) de 2003, obrigatório somente a partir de abril de 2004!!!

84

Vida Útil das Estruturas de Concreto

Nasce no Projeto de Arquitetura e Estrutural

85

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

86

Colapso de metade do Edifício Palace II Barra da Tijuca, RJ 1974

Diagnóstico: um dos pilares foi projetado e construído para 270t e na realidade deveria suportar 420t

Vida Útil não resolve problemas de erros grosseiros, ganância, omissões, falta de ética, desonestidade, etc.

87

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

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.

O Dia Press

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.

88

BS 7543, 1992 Guide to

Durability of Buildings and Building Elements, Products and Conponents

Vida Útil	Tipo de estructura
< 10 anos	temporárias
> 10 anos	subtituíves
>30 anos	ed.industriais e reformas
> 60 anos	ref. públicas e ed. novos
>120 anos	obras públicas e edificios

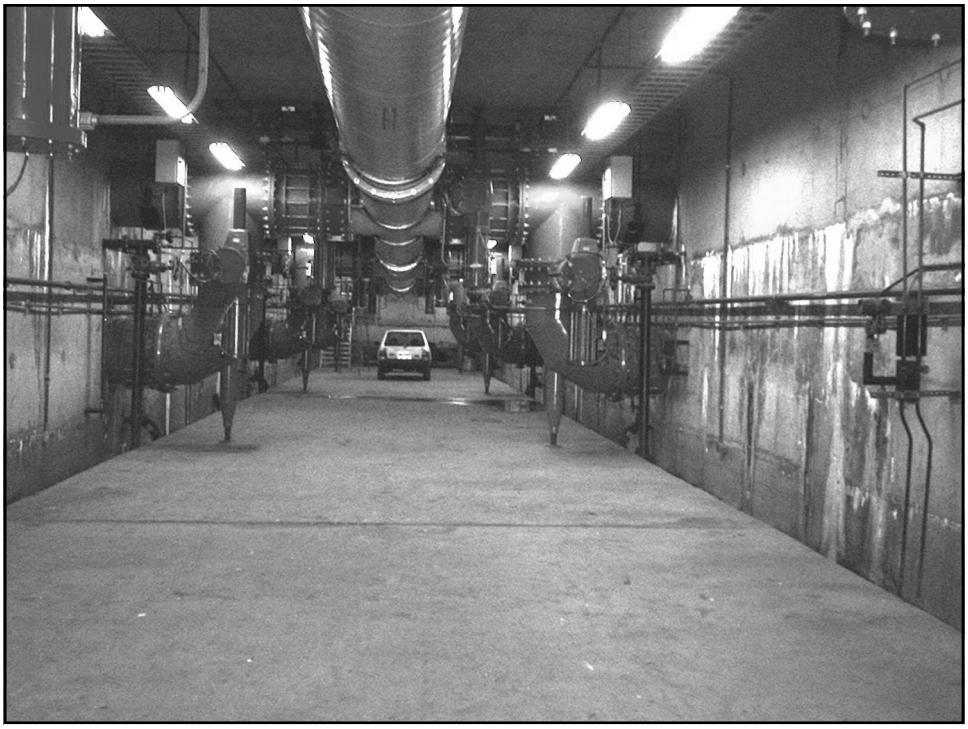
89

Vida Útil NBR 6118

Vida útil
Período de tempo depois da construção durante o qual todas as propriedades essenciais alcançam ou superam o valor mínimo aceitável, com uma manutenção rotineira.
Os parâmetros que limitam a vida útil podem ser técnicos, funcionais ou econômicos.

Vida útil residual
Tempo de vida, contado a partir de uma inspeção, referido a uma vida útil.

90



91

Qual é o Problema?

Atende ou não à norma?

92

ELU – Estado Limite Último

(NBR 6118 itens 3.2.1)

Estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.

93

ELU – Estado Limite Último

(NBR 6118 itens 10.3/16.2.3)

Deve-se verificar:

- **Perda de equilíbrio da estrutura admitida como corpo rígido;**
- **Ruptura dos elementos estruturais.**

94

ELS – Estado limite de Serviço
(NBR 6118 item 10.4)

Estados limites de serviço são aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e à boa utilização funcional das mesmas, seja em relação às máquinas e equipamentos utilizados.

95

ELS – Estado limite de Serviço
(NBR 6118 itens 10.4/16.2.4)

Devem ser verificados:

- **Deformações excessivas (item 13.3); (1/250 a 1/750)**
- **Fissuração (item 13.4); w_k (0,4mm; 0,2mm)**
- **Vibração excessiva;**
- **Outros ????????.**

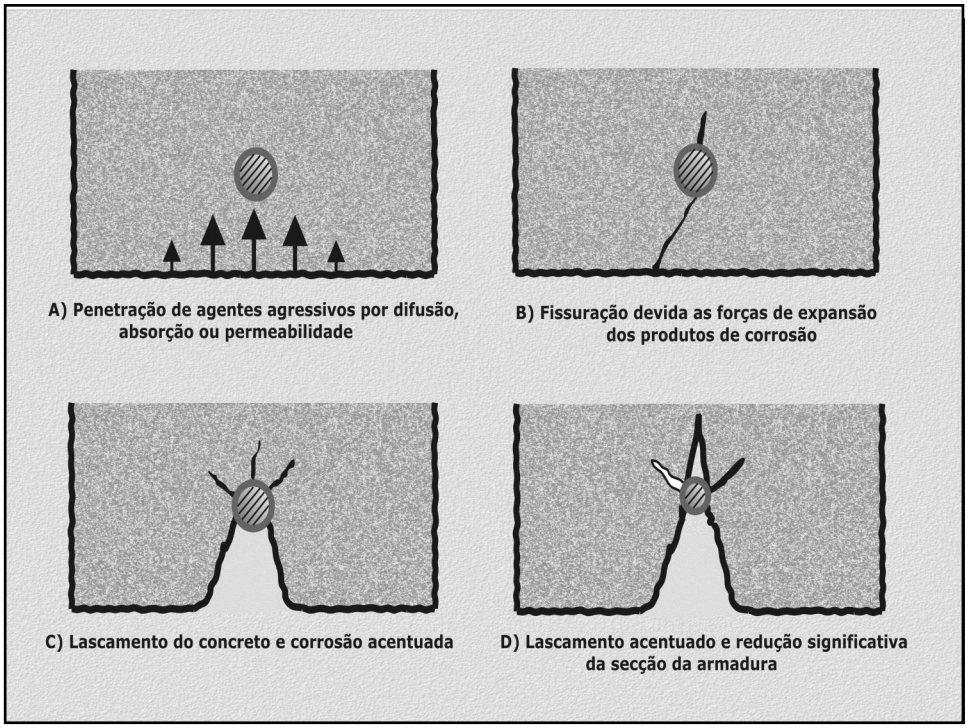
97

“Portanto o conceito de vida útil introduzido na NBR 6118 ainda é insuficiente”

98

“Como poderia ser definida a vida útil?”

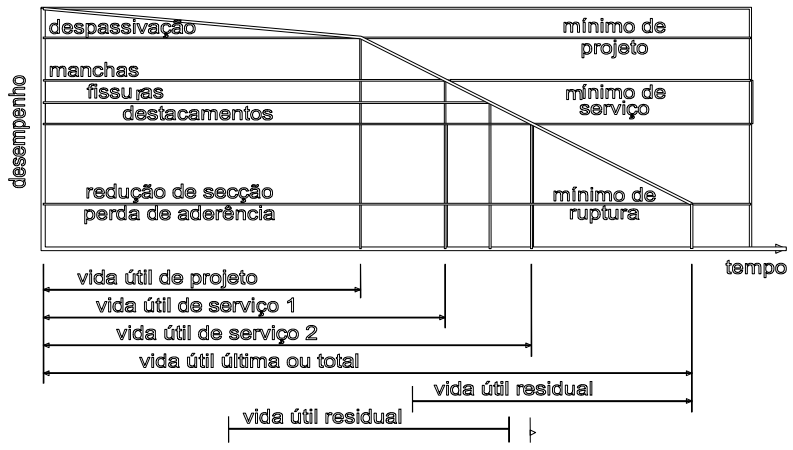
99



100

comentários

Vida Útil



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

101

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

102

Conceitos

1. **Agentes de degradação →** uso + atmosféricos + físicos + mecânicos
2. **Agentes agressivos →** em geral só atmosféricos; chuvas, gases, poluentes
3. **Atmosfera ou macro-clima →** urbana, industrial, marinha, rural
4. **Micro-clima →** piscina, térreo, garagem, reservatório, pé de pilar, vestiário, cozinha, sala

103

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

104

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 ≥ 3m	-	-	-	I
solo	-	-	I	II, III, IV

105

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

106

Classificação da Resistência dos Concretos ao Meio Ambiente

- **Cimento** ***I, II, III, IV, V***
- **Adições** ***Metacaolin, Sílica Ativa, Filler***
- **Agregados** ***Granitos, Calcários, Diabásios***
- **Aditivos** ***Inibidores de corrosão***
- **Traço**
- **Relação água / cimento**

107

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

108

durabilidade da estrutura de concreto regra dos 4**C**

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

109

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 a 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.

110

"Agresividade do meio" *versus* "Durabilidade do Concreto"

111

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 muíto forte	durável

112

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

113

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- Experiência
- Ensaios Acelerados
- Mecanismos de Transporte
- Estocásticos

114

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

115

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

116

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)."

117

ACI 318 / 2005

No solo c > 76mm

À intempérie

c > 51mm p/ d > 19mm
c > 38mm p/ d < 16mm

interiores
lajes/paredes/vigas

c > 38mm p/ d > 19mm
c > 19mm p/ d < 16mm

pilares

c > 50mm

118

Associação Brasileira de Concreto
São Paulo, Brasil. Jul. 1931

REGULAMENTO para
as CONSTRUÇÕES em CONCRETO ARMADO

- ✓ **Água não pode conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica**
- ✓ **Cobrimento ≥ 1,0cm p/lajes**
- ✓ **Cobrimento ≥ 1.5cm p/vigas**
- ✓ **Cobrimento ≥ 2.0cm p/vigas**

119

“Critério da NBR 6118 de 2003” → *experiência anterior!?*

120

Critérios
NBR 6118

- **qualidade do concreto**

Concreto		Classe de agressividade (ver tabela 11)			
	Tipo	I	II	III	IV
relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS
1 CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado
2 CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido

121

Critérios • cobrimento

NBR 6118

c_{nom} mm	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 11)			
		I	II	III	IV[3]
Concreto armado	Laje[2]	20	25	35	45
	Viga / pilar	25	30	40	55
Concreto protendido[1]	Todos	30	35	45	55

[1] Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

[2] Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo item 10.4.6, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm.

[3] As faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos devem ter cobrimento nominal ≥ 45mm.

122

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

123

ASTM E 632, USA 1988

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

- Agentes e mecanismos
- Ensaios exploratórios
- Ensaios acelerados e de envelhecimento natural
- Modelos matemáticos
- Critérios de desempenho
- Estimar a vida útil em condições de operação

124

ISO 15686, 1988

Buildings and constructed assets. Service life planning

- Definição do problema
- Identificação agentes agressivos e mecanismos
- Ensaios exploratorios ou prévios
- Ensaios acelerados e de envelhecimento natural
- Modelos matemáticos para previsão
- Estimar a vida útil em condições de operação

125

Ensaios Acelerados

1. *Carbonatação acelerada*
2. *Migração de cloretos acelerada*
3. *Permeabilidade acelerada*
4. *Difusão acelerada*

"risco de alterar o mecanismo que ocorre ao natural"

126

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

127

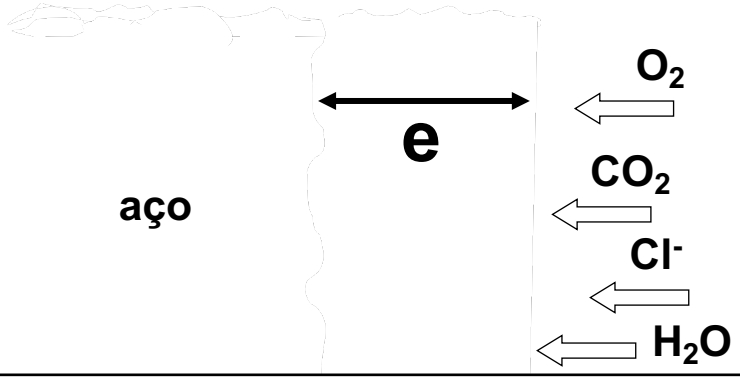
Ingresso de gases e fluidos

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migração**
- **Convecção**

128

Generalização

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



129

Carbonatação

$$t = \frac{e_{CO2}^2}{k_{CO2}^2} \quad \text{(anos)}$$

- e_{co2} → 1 a 5cm
- k_{co2} → 0.1 a 1.0 cm/ano$^{1/2}$

130

Carbonatação

e = 2,0 cm

f_{ck}= 15 MPa → t = 8 anos

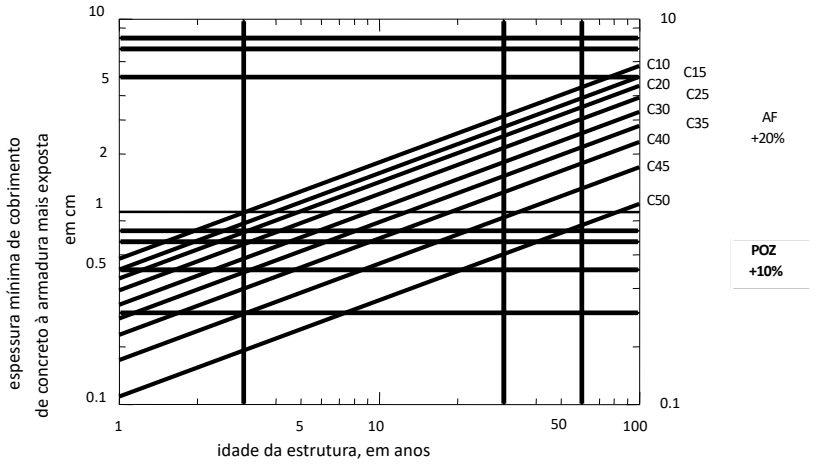
f_{ck}= 50 MPa → t = 350 anos

f_{ck}= 25 MPa → t = 38 anos

131

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

referência



132

Cloretos - difusão

$$t = \frac{c^2_{Cl}}{4 \cdot z^2 \cdot D^{½}_{ef,Cl}} \text{ (anos)}$$

c_{Cl} → 1 a 5 cm

$D_{ef,Cl}$ → 0,15 a 2,7 cm²/ano

133

Dimensionamento
Vida Útil
ambiente de agressividade forte grau IV

35 MPa

⬭

6 cm

ACI 318

40 MPa

⬭

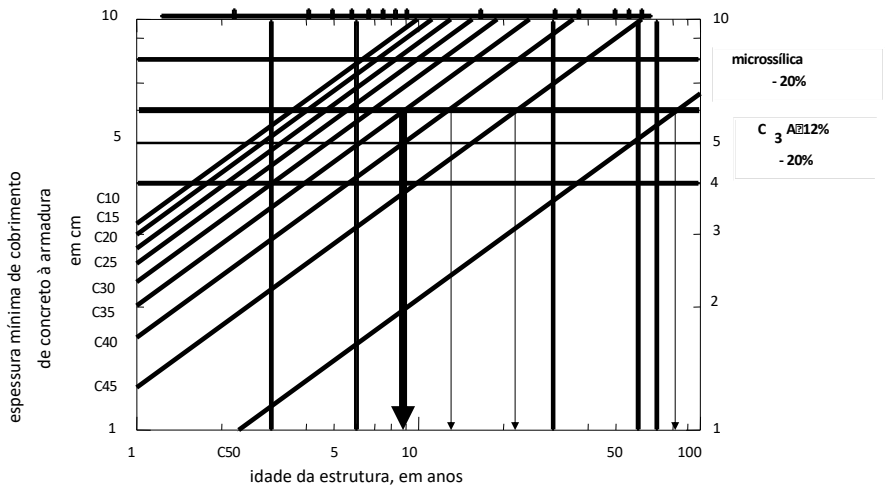
5 cm

NBR 6118

134

comentários

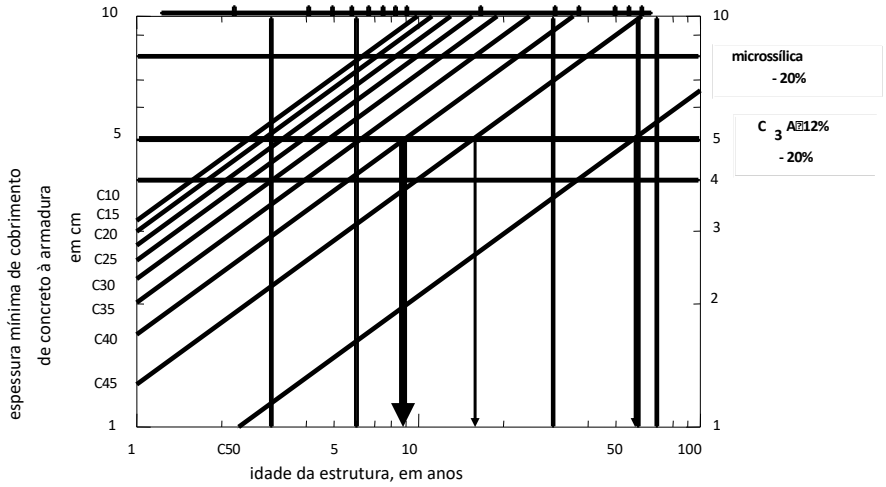
Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré



135

comentários

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



136

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

137

Métodos Estocásticos

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

138

Métodos Estocásticos

probabilidade de falha:

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

139

Carbonatação

$S \rightarrow c_{CO2} = k_{CO2} \cdot t^{0,5} \rightarrow v = 0,6$

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

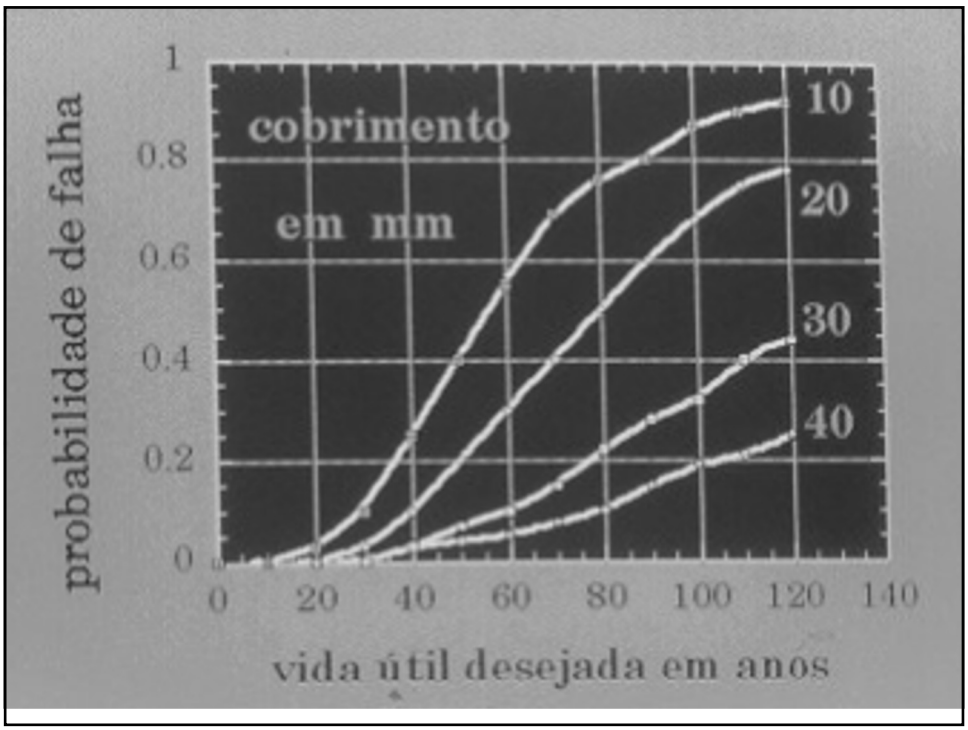
qual é o c p/ 50 anos c/ quantil de 10%?

$\beta = 1,28$

p/ 15 MPa $\rightarrow$ c = 55 mm

p/ 40 MPa $\rightarrow$ c = 15 mm

140



141

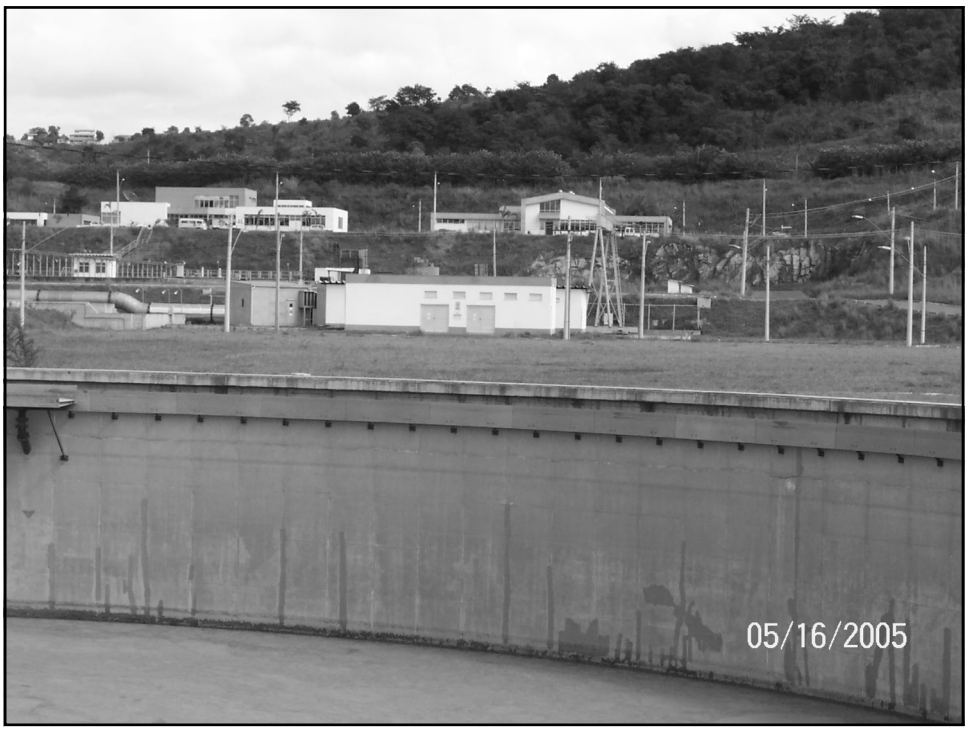
conceitos

mecanismos de transporte

Confusão frequente entre:

Permeabilidade & Estanqueidade

142



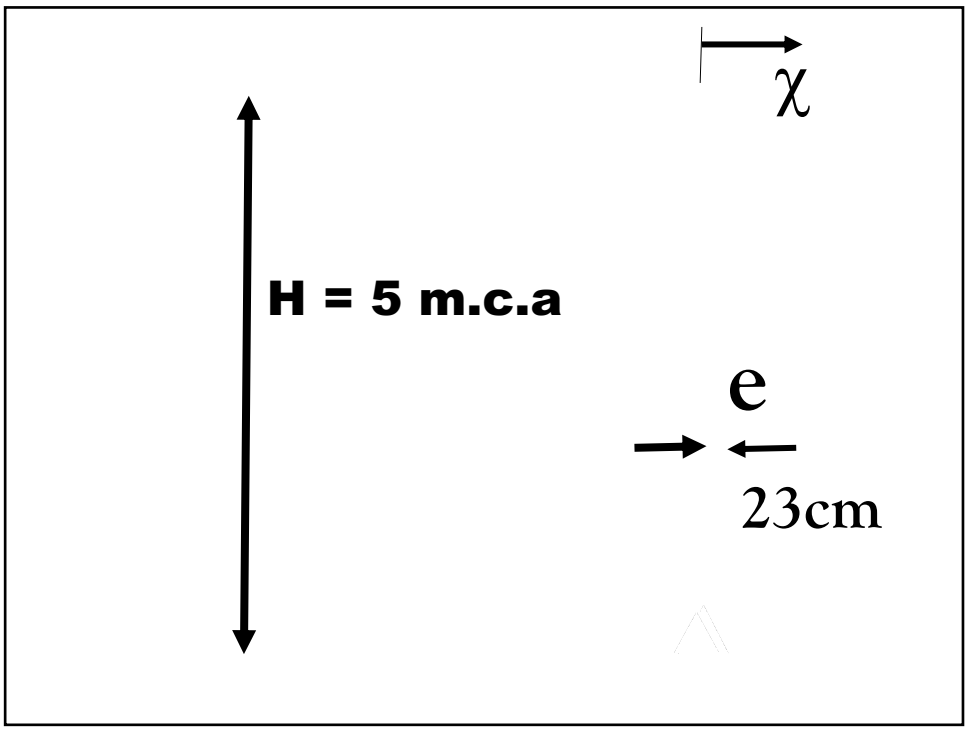
143

144

145

Permeabilidade ou Estanqueidade?

146



147

Lei de Darcy
permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$V = \frac{Q}{S} = k \bullet \frac{H}{x}$$

V → velocidade de percolação de água em cm/s
Q → vazão de água em cm^3/s
S → área da superfície confinada por onde percola a água em cm^2
H → pressão da água de contacto em cm.c.a
x → espessura de concreto percolada pela água em cm
k → coeficiente de pemeabilidade do concreto em cm/s

148

Lei de Darcy
permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$V = \frac{Q}{S} = k \bullet \frac{H}{x} \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \frac{k \bullet H}{x}$$

$$\Rightarrow \quad x dx = H \bullet k \bullet dt$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^e x dx = \int_0^t H \bullet k \bullet dt$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{e^2}{2 \bullet H \bullet k}$$

149

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20\,MPa \Rightarrow {}^{a}\!/_{c} = 0{,}75 \Rightarrow k = 10^{-7}\ cm/s$$

$$f_{ck} = 40\,MPa \Rightarrow {}^{a}\!/_{c} = 0{,}45 \Rightarrow k = 10^{-10}\ cm/s$$

$$f_{ck} = 60\,MPa \Rightarrow {}^{a}\!/_{c} = 0{,}35 \Rightarrow k = 10^{-13}\ cm/s$$

150

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$t = \frac{e^2}{2 \bullet H \bullet k}$$

H → 500 cm.c.a
e → 23 cm
k → 10^{-7} ; 10^{-10} ; 10^{-13} cm/s

151

Concreto

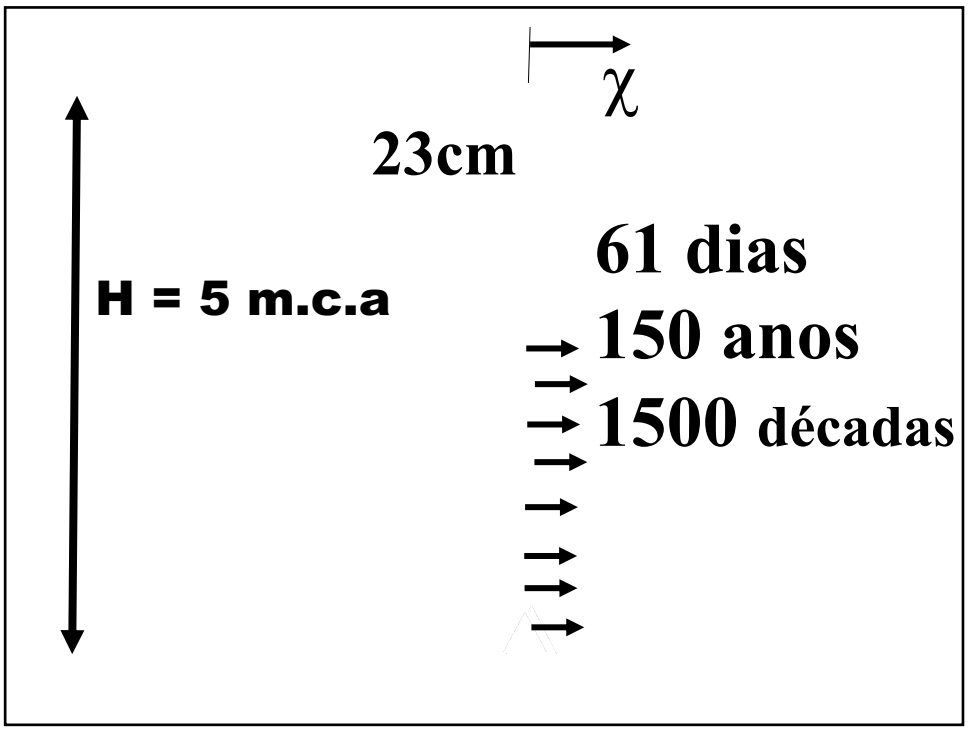
(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

f_{ck} = 20MPa → t = 61 dias

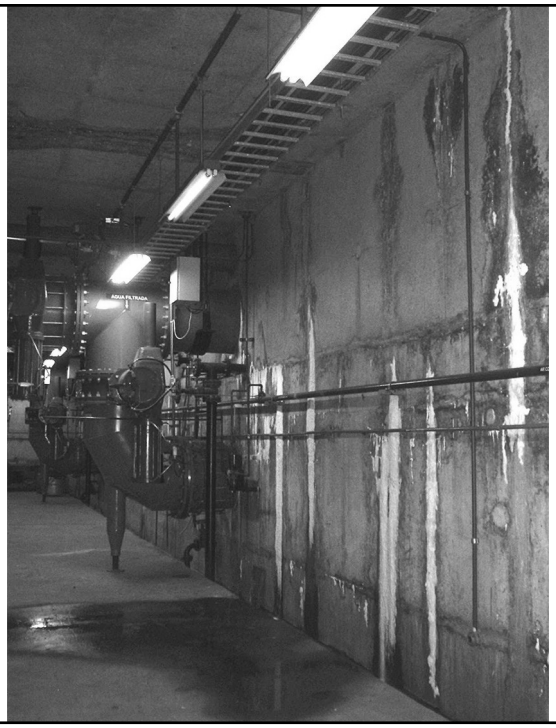
f_{ck} = 40MPa → t = 150 anos

f_{ck} = 60MPa → t = 1500 décadas

152



153



154

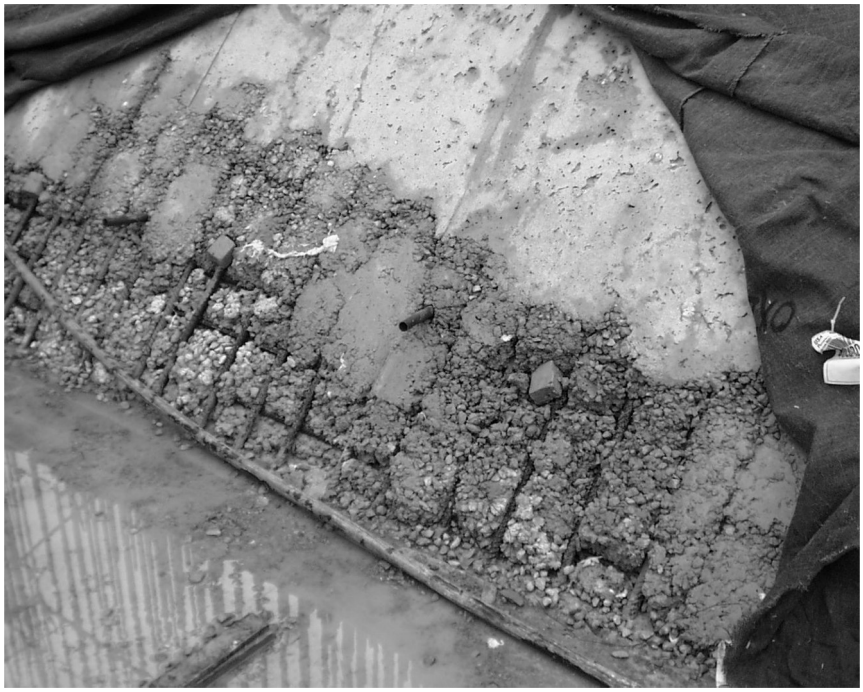
CONCRETO é “impermeável”

difícil → estanqueidade

pois depende do projetista estrutural e da CONSTRUTORA

155

156



157

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

158

CONCLUINDO projetar e construir obras duráveis é:

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

159

160