



“Estruturas de Concreto. Desempenho (NBR 15575) versus Prescrição (NBR 6118). Mitos e Verdades”



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Carlos Brites
Jéssika Pacheco
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

Auditório Sede Rio Verde

18 de maio de 2012

Limeira, São Paulo.SP

1

NBR 6118:2007

Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento

225p.

- | | |
|---|--|
| Prefácio | 15. Instabilidade e efeitos de segunda ordem |
| Introdução | 16. Princípios gerais de dimensionamento, verificação e detalhamento |
| 1. Objetivo | 17. Dimensionamento e verificação de elementos lineares |
| 2. Referências normativas | 18. Detalhamento de elementos lineares |
| 3. Definições | 19. Dimensionamento e verificação de lajes |
| 4. Simbologia | 20. Detalhamento de lajes |
| 5. Requisitos gerais de qualidade da estrutura e avaliação da conformidade do projeto | 21. Regiões especiais |
| 6. Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto | 22. Elementos especiais |
| 7. Critérios de projeto que visam a durabilidade | 23. Ações dinâmicas e fadiga |
| 8. Propriedades dos materiais | 24. Concreto simples |
| 9. Comportamento conjunto dos materiais | 25. Interfaces do projeto com a construção, utilização e manutenção |
| 10. Segurança e estados limites | ANEXOS |
| 11. Ações | A Efeito do tempo no concreto estrutural |
| 12. Resistências | B Índice geral |
| 13. Limites para dimensões, deslocamentos e abertura de fissuras | C Índice de figuras e tabelas |
| 14. Análise estrutural | D Índice remissivo |

2

NBR 15575:2010

Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos. Desempenho

Parte 1 - Requisitos gerais . 60p.

Prefácio

Introdução

1. Escopo
 2. Referências normativas
 3. Termos e definições
 4. Exigências do usuário
 5. Incumbências dos intervenientes
 6. Avaliação de desempenho
 7. Desempenho estrutural
 8. Segurança contra incêndios
 9. Segurança no uso e na operação
 10. Estanqueidade
 11. Desempenho térmico
 12. Desempenho acústico
 13. Desempenho lumínico
 14. Durabilidade e manutenibilidade
 15. Saúde, higiene e qualidade do ar
 16. Funcionalidade e acessibilidade
 17. Conforto tátil e antropodinâmico
 18. Adequação ambiental
- ANEXOS

Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais. 35p.

Prefácio

Introdução

1. Escopo
 2. Referências normativas
 3. Termos e definições
 4. Exigências do usuário
 5. Incumbências dos intervenientes
 6. Avaliação de desempenho
 7. Segurança estrutural
 8. Segurança contra incêndios
 9. Segurança ao uso e operação
 10. Estanqueidade
 11. Desempenho térmico
 12. Desempenho acústico
 13. Desempenho lumínico
 14. Durabilidade e manutenibilidade
 15. Saúde, higiene e qualidade do ar
 16. Funcionalidade e acessibilidade
 17. Conforto tátil e antropodinâmico
 18. Adequação ambiental
- ANEXOS

3

Vida útil

NBR 6118:2007

6.2 Vida útil de projeto

6.2.1 Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

6.2.2 O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo.

6.2.3 A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo, como mínimo, ser seguido o que estabelece a ABNT NBR 12655, sendo também obedecidas as disposições de 25.4 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

7.8 Inspeção e manutenção preventiva

7.8.1 O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

7.8.2 O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme 25.4.

25.4 Manual de utilização, inspeção e manutenção

Dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Esse manual deve especificar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674.

4

Vida útil

NBR 6118:2007

6.2 Vida útil de projeto

6.2.1 Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

6.2.2 O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo.

6.2.3 A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo, como mínimo, ser seguido o que estabelece a ABNT NBR 12655, sendo também obedecidas as disposições de 25.4 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

7.8 Inspeção e manutenção preventiva

7.8.1 O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

7.8.2 O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme 25.4.

25.4 Manual de utilização, inspeção e manutenção

Dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Esse manual deve especificar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674.

5

Vida útil

NBR 15575:2010. Parte I. Anexo C

1. Medida temporal da durabilidade
2. Expressão de caráter econômico
3. Melhor relação custo global VS benefício
4. A VUP é uma decisão de projeto
5. A VUP da estrutura é igual à do Edifício
6. Proprietário pode eleger entre VUP mínima ou superior
7. Cabe ao Projetista de comum acordo com o Proprietário fixar a VUP
8. Caso isso não esteja explícito vale VUP mínima da Tabela C.5, cujo mínimo é de 10 anos e pode chegar a 120 anos

Tabela C.5 – Categorias de VUP para edifícios

Categoria	Descrição	Vida útil de projeto (VUP) para a categoria	Exemplos
1	Temporária	Por acordo e até 10 anos	Abrigos não permanentes e edifícios de exposição temporários
2	Vida curta	Período mínimo de 10 anos	Edifícios educacionais temporários, lojas de varejo, escritórios (renovação interna)
3	Vida média	Período mínimo de 30 anos	Edifícios industriais e renovação de edifícios habitacionais
4	Vida Normal	Período mínimo de 60 anos	Escolas e hospitais novos; edifícios habitacionais novos; renovação de alta qualidade de edifícios públicos
5	Vida longa	Período mínimo de 120 anos	Edifícios públicos e outros edifícios de alta qualidade

NOTA Esta Tabela é válida também para componentes, elementos e sistemas.

6

Vida útil

NBR 15575:2010. Parte I. Anexo C

1. Medida temporal da durabilidade
2. Expressão de caráter econômico
3. Melhor relação custo global VS benefício
4. A VUP é uma decisão de projeto
5. A VUP da estrutura é igual à do Edifício
6. Proprietário pode eleger entre VUP mínima ou superior
7. Cabe ao Projetista de comum acordo com o Proprietário fixar a VUP
8. Caso isso não esteja explícito vale VUP mínima da Tabela C.5, cujo mínimo é de 10 anos e pode chegar a 120 anos

Tabela C.5 – Categorias de VUP para edifícios

Categoria	Descrição	Vida útil de projeto (VUP) para a categoria	Exemplos
1	Temporária	Por acordo e até 10 anos	Abrigos não permanentes e edifícios de exposição temporários
2	Vida curta	Período mínimo de 10 anos	Edifícios educacionais temporários, lojas de varejo, escritórios (renovação interna)
3	Vida média	Período mínimo de 30 anos	Edifícios industriais e renovação de edifícios habitacionais
4	Vida Normal	Período mínimo de 60 anos	Escolas e hospitais novos; edifícios habitacionais novos; renovação de alta qualidade de edifícios públicos
5	Vida longa	Período mínimo de 120 anos	Edifícios públicos e outros edifícios de alta qualidade

NOTA Esta Tabela é válida também para componentes, elementos e sistemas.

7

Comparação

Vida útil

NBR 15575:2010. Parte I. Anexo C

1. Medida temporal da durabilidade
2. Expressão de caráter econômico
3. Melhor relação custo global VS benefício
4. A VUP é uma decisão de projeto
5. A VUP da estrutura é igual à do Edifício
6. Proprietário pode eleger entre VUP mínima ou superior
7. Cabe ao Projetista de comum acordo com o Proprietário fixar a VUP
8. Caso isso não esteja explícito vale VUP mínima da Tabela C.5, cujo mínimo é de 10 anos e pode chegar a 120 anos

Tabela C.5 – Categorias de VUP para edifícios

Categoria	Descrição	Vida útil de projeto (VUP) para a categoria	Exemplos
1	Temporária	Por acordo e até 10 anos	Abrigos não permanentes e edifícios de exposição temporários
2	Vida curta	Período mínimo de 10 anos	Edifícios educacionais temporários, lojas de varejo, escritórios (renovação interna)
3	Vida média	Período mínimo de 30 anos	Edifícios industriais e renovação de edifícios habitacionais
4	Vida Normal	Período mínimo de 60 anos	Escolas e hospitais novos; edifícios habitacionais novos; renovação de alta qualidade de edifícios públicos
5	Vida longa	Período mínimo de 120 anos	Edifícios públicos e outros edifícios de alta qualidade

NOTA Esta Tabela é válida também para componentes, elementos e sistemas.

9. Definição da VUP
 - a) materiais
 - b) execução
 - c) manutenção
 - d) uso correto
 - e) não alterar funcionalidade

8

Comparação

Descrição	NBR 15575:2010	NBR 6118:2007
Nº de Pavimentos	edifícios habitacionais de até 5 pavimentos	todos os edifícios
Retração	Parte II. 7.2.1 Nota 1: podem ser desprezadas as solicitações devidas a retração por secagem, onde aplicável, caso os materiais apresentem índices de retração livre em corpos-de-prova de laboratório inferiores a 0,06 %.	8.2.11 Considera que a retração de secagem do concreto armado varia de 0,009% a 0,044%
Varição de temperatura	Parte II. 7.2.1 Nota 2: podem ser desprezadas as solicitações devidas a variação de temperatura, caso sejam empregados materiais com coeficientes de dilatação térmica linear $\leq 10^{-5}/^{\circ} \text{C}$.	8.2.3 para efeito de análise estrutural, o coeficiente de dilatação térmica do concreto pode ser admitido $= 10^{-5}/^{\circ} \text{C}$. 8.4.3 o coeficiente de dilatação térmica do aço pode ser admitido $= 10^{-5}/^{\circ} \text{C}$.

9

Comparação

Descrição	NBR 15575:2010	NBR 6118:2007
Umidade relativa do ar	Parte II. 7.2.1 Nota 3: podem ser desprezadas as solicitações devidas a variação da umidade relativa do ar, caso sejam empregados materiais que, no aumento da umidade relativa de 50 % para 100 %, estabilizam-se com expansão não superior a 0,1 %;	8.2.11 Considera que a expansão máxima do concreto armado de 50% a 100% de UR é da ordem de 0,08%
Combinações de serviço	Parte II. 7.3.2.1 $\Psi_s=1,0$ $\Psi_q=0,7$	11.8.2.4 Tabela 11.3 $\Psi_0=1,0$ $\Psi_1=0,7$ Ψ_2 =considera a ação do vento
Incêndio	Parte I. 8.1 Remete à NBR 14432 Portanto, estão isentas: <ul style="list-style-type: none"> > qualquer edificação com área <750m²; > qualquer edificação térrea; > qualquer sobrado com área <1500m² e carga de incêndio específica <1000MJ/m² 	10.3 Remete à NBR 15200, que por sua vez remete à NBR 14432

10

Comparação

Limites para deslocamentos NBR 15575:2010 NBR 6118:2007
Parte II. Item 7.3.1 Item 13.3

Coberturas e Varandas		L/320	L/250
Vibrações sentidas no piso		Não especifica	L/350
Paredes	alvenaria	L/400	L/500
	divisórias	L/330	L/250
Forros	rígido	L/300	H _i */500
	falso	L/260	L/175

*Pé-direito

11

DURABILIDADE

- Capacidade do concreto resistir às *condições de serviço previstas em projeto*.
- Capacidade de se manter íntegro, não se deteriorar ao longo do tempo.

Logo, o concreto é considerado durável quando conserva sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, estando exposto às condições de serviço.....

Portanto, abordar durabilidade em condições não explícitas de exposição... merece cautela. Descreve-se os mecanismos de deterioração e as medidas preventivas em projetos estruturais

12

Durabilidade

É uma das Necessidades do Usuário tal como definido no conceito de desempenho pela ISO 6241 “*Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered*”
Na década de 70...

13

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 ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes *funções de durabilidade versus tempo.*

14

Durabilidade “NBR 6118”

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.

15

Durabilidade “NBR 6118”

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.

16

IMPORTÂNCIA

Segundo a NBR 6118:2007, ao se projetar uma estrutura de concreto, a sua durabilidade é propriedade fundamental e deve ser considerada de forma simultânea aos aspectos de segurança.

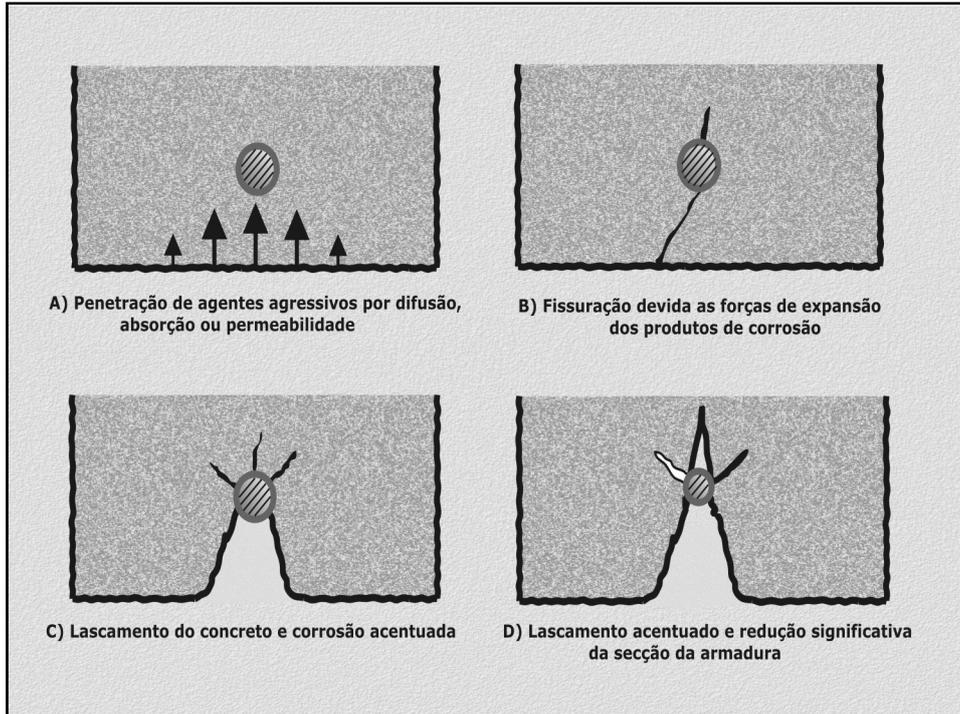
Portanto, as condições de serviço precisam ser previamente analisadas e definidas

17

NBR 6118:2007; NBR 12655:2006; NBR 14931:2004 Vida Útil

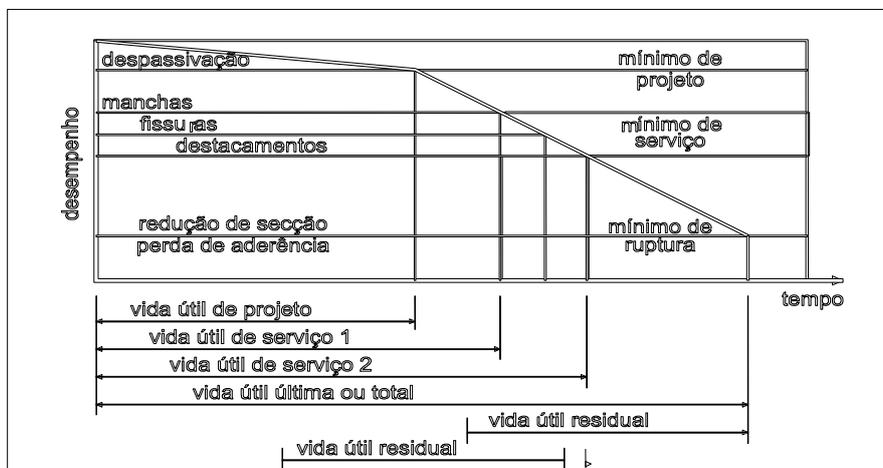
1. Define
2. Enumera os responsáveis
3. Classifica agressividade ambiental em 4 classes
4. Descreve 4 mecanismos de deterioração do concreto ; 2 das armaduras e 1 da estrutura
5. Recomenda detalhamento
6. Para cada classe recomenda qualidade do cobrimento
7. Para cada classe recomenda espessura mínima de cobrimento à armadura
8. Recomenda cura
9. Controla fissuração e flechas
10. Recomenda medidas especiais
11. Exige manutenção

18



19

Vida Útil das Estruturas de Concreto



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

20

NBR 6118:2007 ***“define”***

6.1 EXIGÊNCIAS de DURABILIDADE

“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 suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”

21

NBR 5674:1999 *Manutenção de Edificações. Procedimento*

3.4 MANUAL DE OPERAÇÃO, USO E MANUTENÇÃO

Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação.

Deve ser elaborado em conformidade com a NBR 14037 Manual de operação, uso e manutenção das edificações. Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.

22

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

23

Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

24

Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

STANDARD BUILDING REGULATIONS for the USE of REINFORCED CONCRETE

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

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

25

Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Norma Brasileira de 1931

- ✓ Água não pode conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica
- ✓ Cobrimento $\geq 1,0\text{cm}$ p/lajes
- ✓ Cobrimento $\geq 1,5\text{cm}$ p/vigas
- ✓ Cobrimento $\geq 2,0\text{cm}$ p/pilares

26

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

27

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaios Acelerados

“risco de alterar o mecanismo que ocorre ao natural”

1. *Carbonatação acelerada*
2. *Migração de Cl⁻ acelerada*
3. *Difusão de Cl⁻ acelerada*
4. *Permeabilidade acelerada*
5. *Outros mecanismos*

28

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Carbonatação acelerada



29

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Migração de Cl- acelerada



30

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Difusão de Cl⁻ acelerada



Imersão em solução de NaCl por um determinado tempo

Coefficiente de difusão de Cl⁻

31

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Permeabilidade acelerada



32

Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaio Acelerado
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

33

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).*

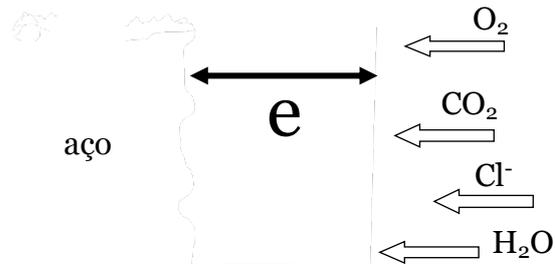
34

Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (determinísticos)

Generalização

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



35

Carbonatação

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

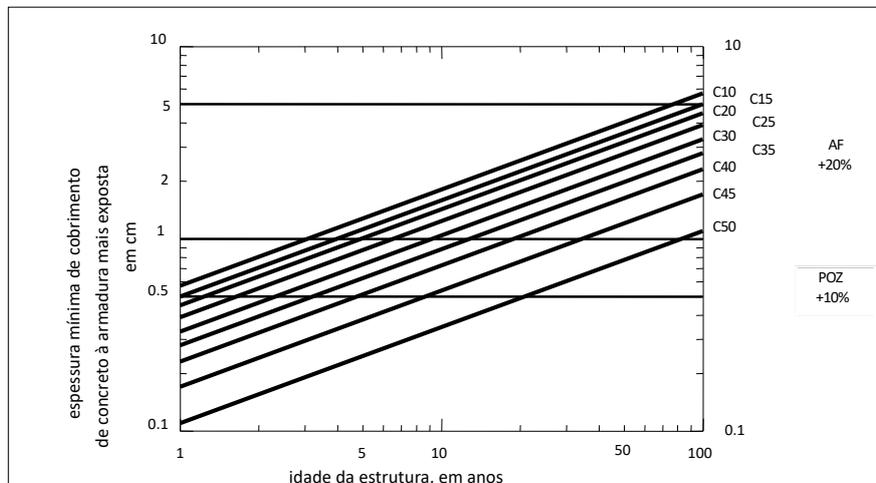
- $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

36

referência

Carbonatação

em faces dos componentes estruturais de concreto expostos à intempérie externas



37

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

38

Modelos de Previsão de Vida Útil

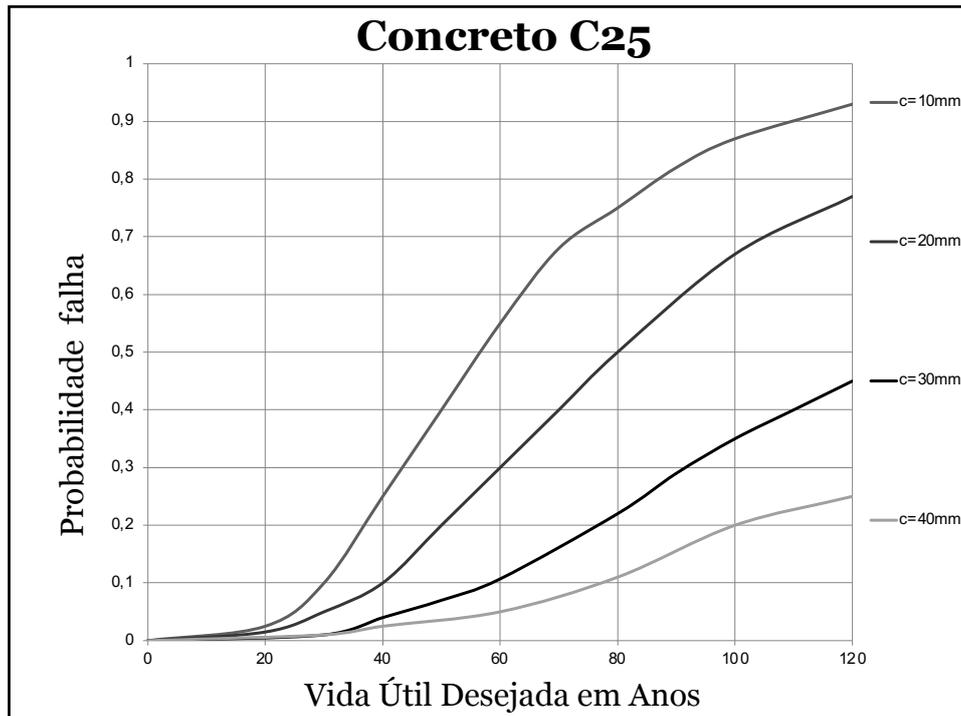
Estocásticos (probabilistas)

Estatística aplicada aos modelos deterministas

Conceito de risco (Probabilidade de falha)
Conceito de confiabilidade

Ainda pouco utilizado

39



40

NBR 12655:2006 ***“enumera responsáveis”***

4. ATRIBUIÇÕES de RESPONSABILIDADES

A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforço coordenados de pelo menos seis responsáveis:

- ✓ *proprietário,*
- ✓ *responsável pelo projeto arquitetônico,*
- ✓ *responsável pelo projeto estrutural,*
- ✓ *responsável pela tecnologia do concreto,*
- ✓ *responsável pela execução da estrutura/obra,*
- ✓ *proprietário/usuário da estrutura/obra.*

41

NBR 6118:2007

“descreve mecanismos de deterioração e envelhecimento”

6.3.2 Concreto

- ✓ *lixiviação;*
- ✓ *expansão → sulfatos*
- ✓ *expansão → AAR*
- ✓ *intemperismo → piritas/ferruginosos*

6.3.3 Aço

- ✓ *corrosão por carbonatação*
- ✓ *corrosão por cloretos*

6.3.4 Estrutura

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

42

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), 3)}	

43

NBR 6118:2007 **“classifica agressividade ambiental”**

-
- 1) uma classe de agressividade mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
 - 2) uma classe de agressividade mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65% partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
 - 3) Ambientes quimicamente agressivos tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.
-

44

NBR 6118:2007 **“recomenda detalhamentos”**

7.1 Simbologia

c_{min} → *cobrimento mínimo de concreto à armadura, referido à distância entre a superfície do componente estrutural e a face mais externa da armadura (em geral estribo)*

c_{nom} → *cobrimento nominal ($c_{min} + \Delta_c$)*

UR → *umidade relativa do ar em %*

Δ_c → *tolerância da espessura de cobrimento*

7.2 Drenagem

Limpeza, lavagem, águas pluviais, condutores, ralos, rufos, chapins, pingadeiras, juntas de movimentação, juntas de construção, selantes, troca de aparelhos de apoio, acessos a caixões “perdidos”, insertos, renovação da impermeabilização (estanqueidade), etc.

45

NBR 6118:2007 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

7.4.1 *Devem existir estudos experimentais. Na falta adotar Tabela 7.1. (Tabela 2)*

Tabela 7.1 (2) Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		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
consumo de cimento kg/m ³	CA /CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

46

NBR 6118:2007 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

Tabela 3 Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição

Concreto	Concreto de baixa permeabilidade à água	Concreto sujeito a gelo e degelo	Concreto sujeito a sais de degelo; água salgada; água de mar; zona de respingos de maré
relação a/c em massa	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$
classe de concreto (NBR 8953)	$\geq C35$	$\geq C40$	$\geq C45$

47

NBR 6118:2007 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

classe de agressividade	teor de sulfato solúvel na água do solo (SO ₄), % em massa	teor de sulfato solúvel na água (SO ₄), % em massa	relação a/c	classe de concreto (NBR 8953)
água de mar	0,10 a 0,20	0,015 a 0,15 150ppm a 1500ppm	$< 0,50$	$> C35$
esgotos, indústrias	$> 0,20$	$\text{>} 0,15$ $\text{>} 1500\text{ppm}$	$< 0,45$	$> C40$

Obs.: sempre dar preferência a cimentos resistentes a sulfatos conforme NBR 5737

48

NBR 6118:2007 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

Tabela 5 Teor máximo de cloretos no concreto para proteção às armaduras

classe de agressividade e tipo de estrutura	teor total de íons cloreto Cl ⁻ , % em massa de cimento
concreto protendido	< 0,05
concreto armado exposto a cloretos	< 0,15
concreto armado em ambiente seco	< 0,40
outras situações	< 0,30

Obs.: proibido o uso de aditivos contendo cloretos.

49

NBR 6118:2007 **“espessura do cobrimento”**

- 7.4.7.5 $c_{nom} \geq \phi$ barra ou fio;
 $c_{nom} \geq \phi$ feixe = $\phi_n = \phi$ raiz (ng)
 $c_{nom} \geq 0,50 \phi$ bainha
 $c_{nom} \geq 0,83 \phi d_{max}$
 $c_{nom} \geq 15\text{mm}$ sempre!

50

NBR 6118:2007

“espessura do cobrimento”

Tabela 7.2 Correspondência entre classe de agressividade ambiental e espessura de cobrimento nominal para $\Delta_c = 10\text{mm}$

tipo de estrutura	componente	classe de agressividade			
		I	II	III	IV
concreto armado	laje	≥ 20	≥ 25	≥ 35	≥ 45
	viga / pilar	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
concreto protendido	todos	≥ 30	≥ 35	≥ 45	≥ 55

7.4.7.4 Para controle de qualidade rigoroso e rígidos limites de tolerância da execução, permite-se adotar $\Delta_c = 5\text{mm}$ e portanto reduzir em 5mm os limites da Tabela 7.2 (cuidado com anti-ética!)

7.4.7.7 Para pré-moldados seguir NBR 9062.

51

NBR 6118:2007

“controle da fissuração”

Tabela 13.3 Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

tipo de estrutura	combinações de ações em serviço a utilizar	classe de agressividade		
		I	II & III	IV
concreto simples	--	qq	qq	qq
concreto armado	combinação frequente	$W_k \leq 0,4\text{mm}$	$W_k \leq 0,3\text{mm}$	$W_k \leq 0,2\text{mm}$
concreto protendido, nível 1, protensão parcial	combinação frequente	$W_k \leq 0,4\text{mm}$	$W_k \leq 0,2\text{mm}$	nihil

52

NBR 6118:2007

“controle da fissuração”

1. Só vale para componentes fletidos e nas condições de serviço. E.L.S.;
2. Só vale para a abertura de fissura na superfície do componente e na direção transversal à armadura principal;
3. Como controlar fissuras decorrentes de efeitos térmicos, retração, expansão, corrosão do aço?
4. As consequências de uma fissura são somente corrosão do aço/armadura, ou seja, durabilidade?
5. Conta efeito psicológico?
6. E mecânico de comportamento global?

53

NBR 14931:2004

“controle da execução”

10.1 Cura e cuidados especiais

- ✓ Para fins de assegurar eficiente hidratação do cimento é necessário curar com água potável ou alcalina as superfícies expostas do concreto até que este atinja 15MPa;
- ✓ Para fins de assegurar qualidade da superfície do ponto de vista da abrasão e acabamento deve-se curar até atingir 0,85 de f_{ck} ;
- ✓ Para evitar fissuração deve-se curar até que a resistência do concreto à tração supere as tensões de tração decorrentes dos esforços de retração restringida;
- ✓ Vale para retração hidráulica e para retração térmica.

54

NBR 6118:2007 ***“medidas especiais”***

7.7 “Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais do tipo:

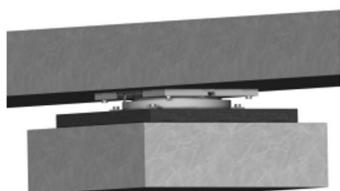
- ✓ aplicação de revestimento hidrofugantes;
- ✓ pinturas impermeabilizantes;
- ✓ revestimentos de argamassas e cerâmicas ou outros;
- ✓ galvanização da armadura;
- ✓ proteção catódica da armadura;
- ✓ outros.

55

Considerações Finais

Toda estrutura de concreto pode conter elementos com vida útil inferior à da estrutura ou edifício.

Exemplos:



Aparelhos de apoio



Proteção superficial de concreto

56

Qualidade da Construção



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

Moral da História

O conceito de Vida Útil não resolve
problemas de erros grosseiros,
ganância, omissões, falta de ética,
desonestidade, malandragem.

57

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014

58