

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.



CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

- Douglas COUTO¹, Mariana CARVALHO¹, André CINTRA¹,
Paulo HELENE²

¹ PhD Engenharia, Brasil
² Universidade de São Paulo, Brasil

XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção
XV Congresso de Controlo de Qualidade na Construção
Construção 2015: Congresso Luso-Africano da Construção

1

1

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.



CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

Introdução

É inaceitável que estruturas existentes sejam analisadas segundo procedimentos adequados somente a estruturas novas, muitas vezes resultando em **intervenções e reforços desnecessários** que inviabilizam o negócio por **prazo ou custo excessivo**, devidos a um projeto inadequado

2

2

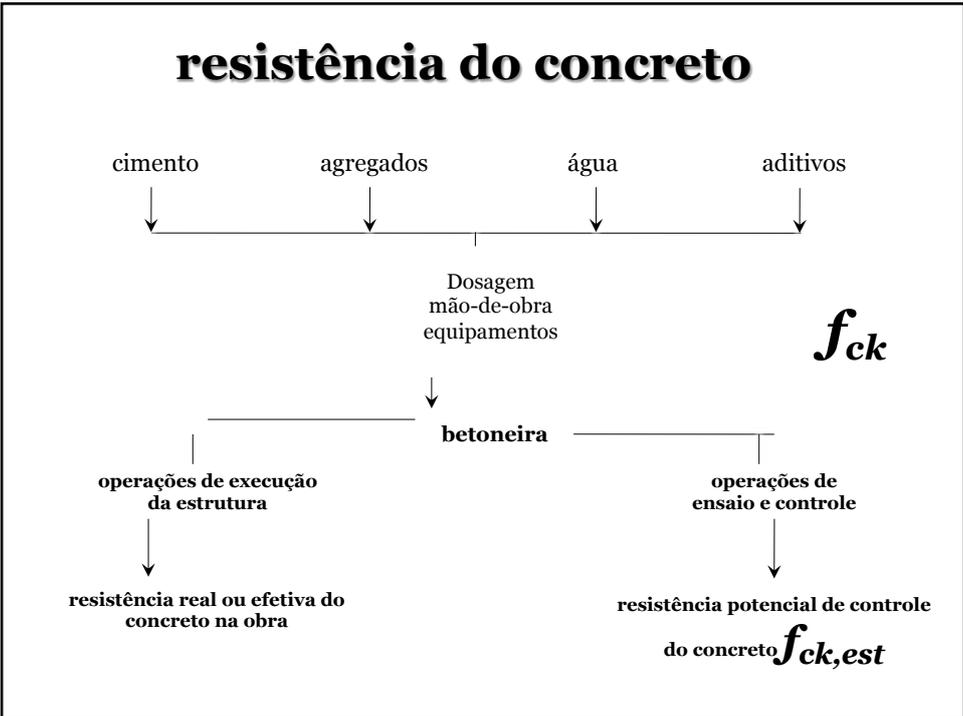


3

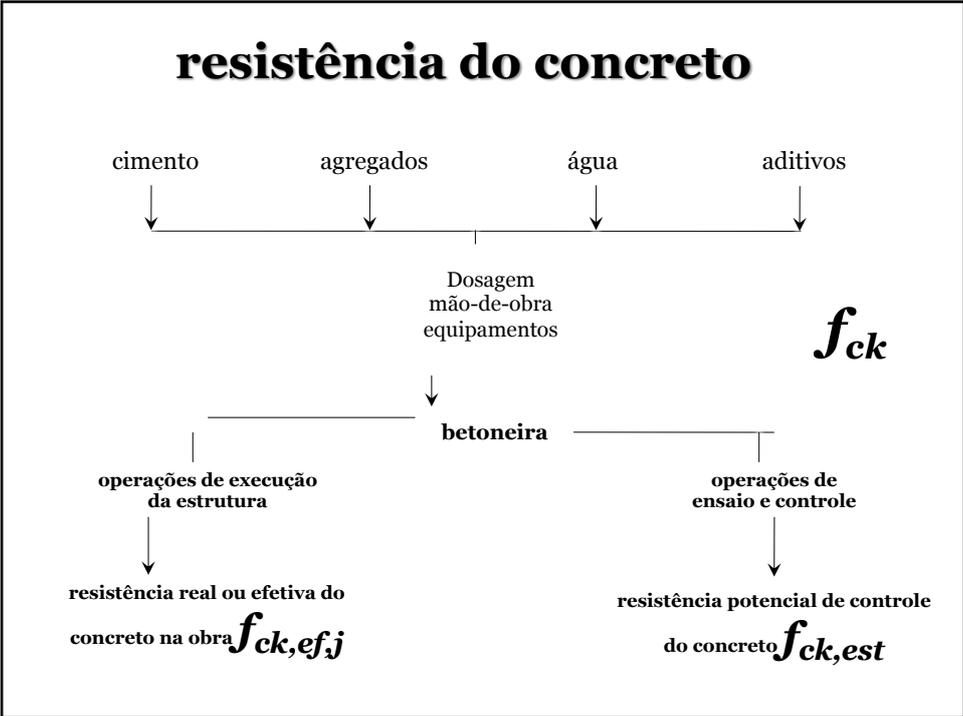


Créditos: Rafaela Bortolini

4



5



6

Preliminares

**encontrar um f_{ck} que viabilize revisar a
segurança, ou seja, verificar a
segurança conforme as convenções
universais de projeto estrutural de
ECAs**

9

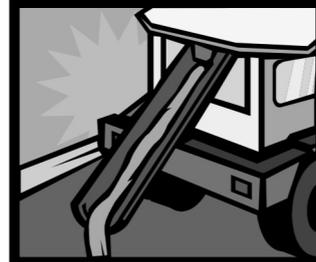
Preliminares

**encontrar aquele f_{ck} padrão convencionado,
normalizado, muito bem definido.
O resultado de ensaio de compressão de um
testemunho fornece apenas o $f_{c,ext,j}$ e, portanto,
ainda não serve para calcular, revisar, verificar
a segurança**

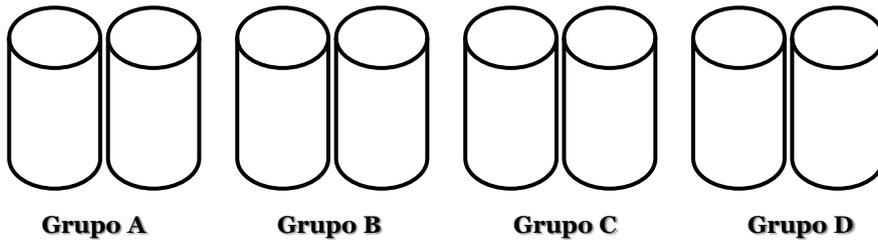
10

C&C4: Como obter a maior resistência à compressão aos 28 dias?

Concreto de uma betonada:
ABNT NBR 12655:2015
ABNT NBR 5738:2015



Moldagem de corpos de prova cilíndricos irmãos, por grupo de pesquisadores



11

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

$f_{c1} \quad f_{c2} \quad f_{c3} \quad f_{c4} \quad f_{c5}$

exemplar = mais alto (f_{ck})

$f_{ck} = 45\text{MPa}$

“potencial do concreto”

12

com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

13

com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

f_{ck}
45MPa

14

“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

15



16



17

“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

f_{ck}
45MPa

18

“exsudação”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

f_{ck}
45MPa

19

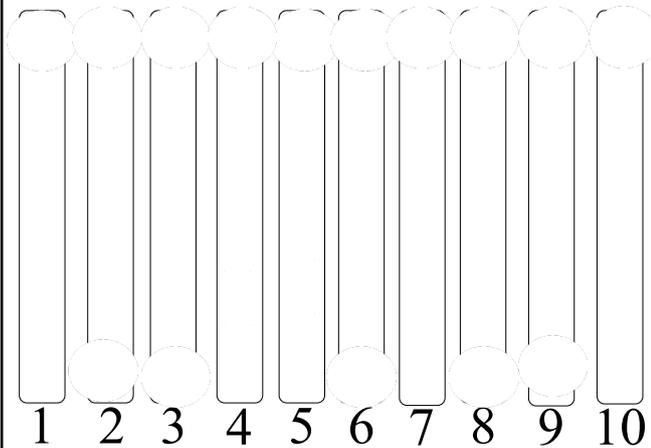
qual a resistência do concreto nos pilares que
estão mais próximas da resistência de controle
(moldado) **$f_{ck,est}$** ?

f_{ck}
45MPa

20

qual a resistência do concreto nos pilares que estão mais próximas da resistência de controle

(moldado) $f_{ck,est}$?

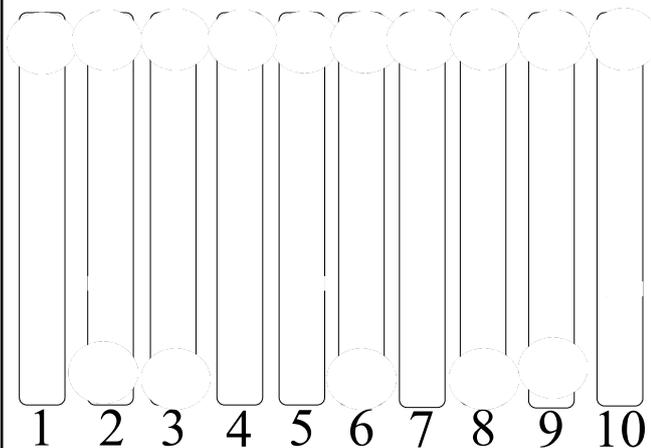


terço inferior

21

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



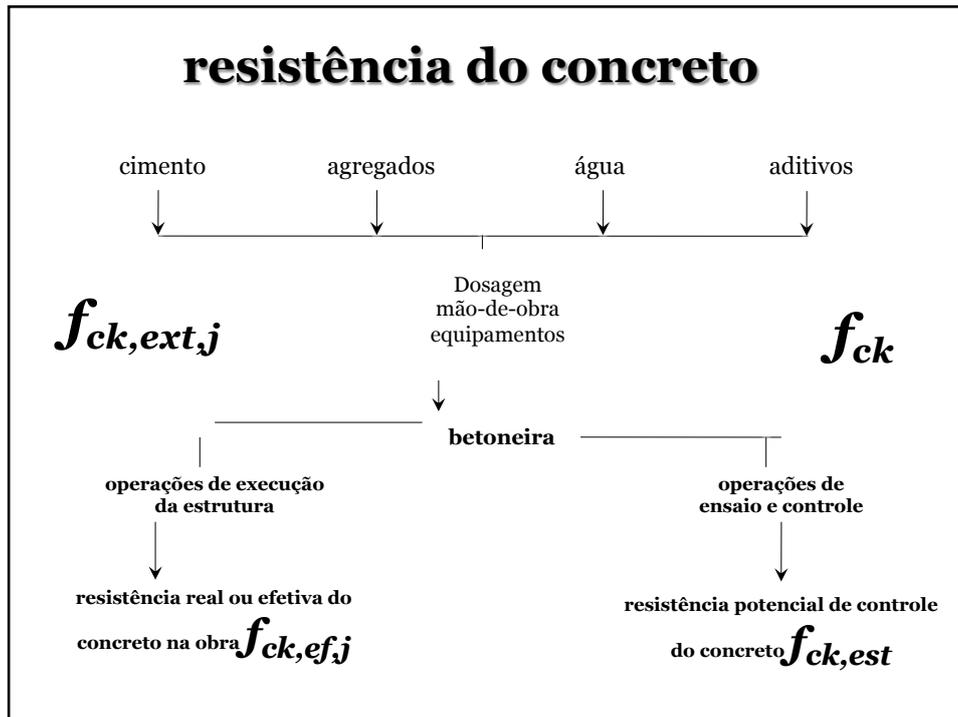
terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

22



23

Resumo Normas Internacionais

Duas partes bem distintas:

1. Uma primeira relativa a ensaio, ou seja, passar de $f_{c,ext}$ a f_c equivalente, para a qual algumas normas chegam até a recomendar explicitamente um especialista em tecnologia de concreto.

Corresponde à amostragem, extração, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalamento, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter

$$f_c = k * f_{c,ext}$$

24

Resumo Normas Internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança

- ✓ novo coeficiente de minoração da resistência do concreto,
- ✓ novo coeficiente β de confiabilidade

Em todos os casos, é recomendado aceitar coeficientes γ_M de minoração da resistência dos materiais ou β de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.

25

TESE de DOUTORADO

CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.

Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS

26

Conclusões

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

27

fib Model Code 2010

Tabela 1.1 Coeficientes de minoração da resistência do concreto utilizados no cálculo de novas estruturas.

Fator	ACI 318 (1/φ)			ABNT NBR 6118 (Fusco [03])	fib Model Code 2010
	tension	compression	Shear and Torsion	Caso Geral	Caso Geral
γ_c	1,1	1,33 & 1,54	1,33	1,4	1,5
γ_{c1} ou γ_c		-		1,2	1,39
γ_{c2} ou $\gamma_{Rd1,c}$		-		1,08	1,05
γ_{c3} ou $\gamma_{Rd2,c}$		-		1,08	1,05

Douglas COUTO; Mariana CARVALHO; André CINTRA & Paulo HELENE. Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes – Aspectos Normativos. Lisboa: CONPAT 2015, Setembro de 2015. 8p.

28

TESE de DOUTORADO

VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.

José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP

29



30

Conclusões

1. os valores de $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$ entre 1,01 e 1,40 corresponderam a 100% dos resultados obtidos

2. Média geral:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

3. os testemunhos de diâmetro 5cm e 2.5cm tendem a uma maior variabilidade. Refletem melhor quando f_c é igual ou superior a 50MPa.

4. vale a pena consultar as demais conclusões...

31

Problema

Qual o f_{ck} a ser adotado para revisão da segurança estrutural, uma vez conhecido o $f_{c,ext,j}$ a qualquer idade j ?

32

Problema (ABNT NBR 7680:32015)

$$f_{ck,est,j} = [1+(k_1+k_2+k_3+k_4)]*k_5*k_6*f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$ = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a j dias de idade;

33

Coeficientes de correção

ABNT NBR 7680:2015

k_1 = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d → varia de 0,00 a -0,14;

k_2 = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho → varia de 0,12 a 0,04;

k_3 = correção em função da direção da extração em relação ao lançamento do concreto → varia de 0 a 0,05;

k_4 = correção em função da umidade do testemunho → varia de 0 a -0,04.

adensamento e cura

34

Cálculos ABNT NBR 7680:2015

$$f_{ck,est,j} = 1,17 \text{ a } 0,86 * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$ = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a j dias de idade;

35

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar $f_{c,ext,j}$ em f_{ck} ?

SIM

NÃO

*verificar a
segurança com o
novo f_{ck}*

voltar a 28dias !

ACI, Eurocode

*verificar a
segurança com o
novo f_{ck}*

*ABNT NBR
6118:2014*

*ABNT NBR
6118:2014*

36

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2015. 520p.
 Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent

of the specified strength, f'_c , shall be achieved, taking into account the curing conditions, and curing conditions. The acceptance criteria for core strengths have been established with consideration that cores for investigating low strength-test results will typically be extracted at an age later than specified for f'_c . For the purpose of satisfying 26.12.4.1(d), this Code does not intend that core strengths be adjusted for the age of the cores.

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.




Segurança no projeto de estruturas de concreto

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

f_c (valor) $f_c = f_{pk} \cdot \gamma_f$
 $f_{pk} = f_{pk} \cdot \gamma_{p1} \cdot \gamma_{p2}$
 γ_{p1} : variabilidade dos efeitos
 γ_{p2} : coeficiente de esbelteamento
 γ_{p3} : incertezas na avaliação dos efeitos dos efeitos devido ao método experimental ou modelo de efeito

f_c (valor) $f_c = f_{pk} / \gamma_m$
 $f_{pk} = f_{pk} \cdot \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$
 γ_{m1} : variabilidade de profundidade efetiva do concreto
 γ_{m2} : diferenças entre a variabilidade de estatística dos GPs
 γ_{m3} : incertezas no dimensionamento das colunas e vigas devido ao método experimental ou modelo de efeito

38

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Segurança no projeto de estruturas de concreto

• **Resistências:**

Tabela 2 - Coeficientes de minoração da resistência do concreto utilizados no cálculo de novas estruturas

Fator	ABNT NBR 6118 (Fusco (12))	fib Model Code 2010 (10)
γ_c	1,4	1,5
γ_{c1}	1,2	1,39
γ_{c2}	1,08	1,05
γ_{c3}	1,08	1,05

39

39

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Avaliação de estruturas existentes

- **Primeiro passo: Obter um $f_{ck,equivalente}$ a partir de um $f_{c,ext}$**
 - Se $f_{ck,equivalente} > f_{ck} \rightarrow$ OK
 - Se $f_{ck,equivalente} < f_{ck} \rightarrow$ Segundo passo
- **Segundo passo: Verificar a segurança com o novo f_{ck} encontrado**
 - Se passar \rightarrow OK
 - Se não passar \rightarrow terceiro passo

40

40

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Avaliação de estruturas existentes

Terceiro passo: Caracterização e identificação da estrutura (conferência, medições, sondagem e prova de compressão, relações de consistência, etc.); escolha das condições dos materiais, variabilidade de resistência e coeficiente de variação da resistência, para a obtenção de f_{ck} e coeficiente de variação v , por exemplo, a partir de ensaios e estatística

$f_{ck} = \mu - 1,64 \sigma$

$\sigma = v \cdot f_{ck}$

Quarto passo:

- Verificação de uso
- Reforços
- Determinação da vida útil da estrutura

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

41

41

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Normalização brasileira
ABNT NBR 6118:2014

1º Passo: $f_{c,ext} \rightarrow f_{ck,equivalente}$ ABNT NBR 7680:2015

2º Passo: Verificar a segurança com o novo f_{ck} encontrado

$\gamma_c = \frac{f_{c,ext}}{f_{ck,equivalente}}$

3º passo: Caracterização e identificação da estrutura com o intuito de permitir a escolha de coeficientes para o novo estado da estrutura

4º passo: Determinação do “futuro” da estrutura → decisão do *calculista*

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

42

42

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Normalização internacional
ACI 318-11 e ACI 214.4R-10

1º Passo: estruturas em construção
ACI 318-11, Cap. 5, item 5.6.5
Extração de 3 testemunhos da região afetada

resistência média > $0,85 \cdot f'_c$ ($= f_{cm,ext} \cdot 1,18$)
 nenhum testemunho com resistência < $0,75 \cdot f'_c$ ($= f_{c,min} \cdot 1,33$)

OK

1º Passo: estruturas existentes
ACI 214.4R-10

$f_c = F_{1/d} \cdot F_{dia} \cdot F_{mc} \cdot F_d \cdot f_{core}$

$f'_{c,eq} = \bar{f}_c - \sqrt{(K \cdot s_c)^2 + (Z \cdot s_a)^2}$

$(\bar{f}_c)_{CL} = \bar{f}_c - \sqrt{\frac{(T \cdot s_c)^2}{n} + (Z \cdot s_a)^2}$

$f'_{c,eq} = C \cdot (\bar{f}_c)_{CL}$

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

43

43

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Normalização internacional
ACI 318-11 e ACI 214.4R-10

2º Passo: estruturas novas em construção ou existentes
ACI 318-11, Cap. 20
Diminuição dos coeficientes de minoração das resistências

Tabela 3 – Fatores de redução das resistências (ϕ) segundo o ACI 318-11

Fator de redução das resistências	Capítulo 9 (projeto de novas estruturas)	Capítulo 20 (avaliação de estruturas existentes)	Diferença %	
Seções submetidas à tração	0,9	1,0	11,1	
Seções submetidas à compressão	Membros com armadura em espiral	0,75	0,9	20,0
	Outros membros armados	0,65	0,8	23,1
Cisalhamento e torção	0,75	0,8	6,7	
Regiões sujeitas à fendilhamento (exceto regiões de ancoragens)	0,65	0,8	23,1	

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

44

44

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

**Normalização internacional
fib Model Code 2010**

Permite adotar valores reduzidos de γ_m (2º passo) e, para uma análise probabilística pura, permite a adoção de diferentes índices de confiabilidade para estruturas existentes

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

Tabela 4 - Índices de confiabilidade (β) segundo o fib Model Code 2010 (p. 31 e 32) (10)

Estado limite	Modelo de verificação da segurança	Período de referência	Novas estruturas	Estruturas existentes	Comentário
Serviço (ELS)	Método probabilístico de segurança	50 anos	$\beta = 1,5$	-	Considera o mesmo critério de avaliação da segurança para estruturas novas e existentes
	Método dos coeficientes parciais de segurança	Vida útil residual	-	$\beta = 1,5$	
Último (ELU)	Método probabilístico de segurança	50 anos	$3,1 \leq \beta \leq 4,3$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	Permite reduzir a confiabilidade para estruturas existentes
	Método dos coeficientes parciais de segurança	50 anos	$\beta = 3,8$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	

45

45

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

**Normalização internacional
EUROCODE 2**

→ Não é desenvolvida a função de distribuição probabilística (2º passo), utilizando a EN 1992-1-1, recomenda-se manter a função original de segurança:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad \text{or} \quad f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad \rightarrow \text{3 a 14 testemunhos}$$

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s \quad \text{or} \quad f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad \rightarrow \text{15 testemunhos ou mais}$$

→ Permite adotar valores reduzidos de γ_c (2º passo)

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

Tabela 5 - Fatores γ_c utilizados na análise de estruturas existentes (EUROCODE 2)

γ_c original	γ_c reduzido	Diferença (%)
1,5	1,4	7,1
1,5	1,45	3,4
1,5	1,35	11,1
1,5	1,3	15,4

→ Rigoroso controle de qualidade → Dados críticos e variação da resistência do concreto < 10%

→ Dados geométricos críticos → Avaliação baseada em extração de testemunhos

46

46

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Exemplo de aplicação

**Estrutura existente, $f_{ck} = 25\text{MPa}$
8 testemunhos 10x20cm com $h/d = 2$**

Tabela 6 - Conjunto de dados de testemunhos extraídos

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{ci,ext}$	15,4	15,4	17,6	19,1	19,5	19,9	16,6	17,6

Tabela 11 - Valores da resistência do concreto a serem adotados na verificação da segurança (MPa)

ACI 318-11	ACI 214.4R-10		ACI 562-13	ABNT NBR 7680:2015	EN 1992-1-1 EUROCODE 2	
	Tolerance factor method	Alternate method			A.2.2 (2) $\gamma_{c,Redc} = 1,35$	A.2.3 (1) $\gamma_{c,Redc} = 1,19$
18,6	18,4	19,0	21,0	19,6	16,0	18,8

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

47

47

Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes. Aspectos Normativos.

Considerações finais

Necessidade de sempre se utilizar o **bom senso** na tomada de decisões e buscar considerar o problema com uma **visão holística** que vise abarcar todas as variáveis, sem se prender a um número obtido matematicamente, que pode ter **significado relativo e não absoluto**

CONPAT 2015 – Lisboa, 8-10 Setembro 2015

48

48



Considerações finais

A verificação de estruturas existentes é uma análise **complexa e diferenciada**, que depende do conhecimento profundo da *estrutura* e da *tecnologia do concreto*, assim como dos *conceitos de segurança*

A missão do profissional responsável pela análise da segurança é a de **conhecer as variáveis envolvidas no processo e saber desprezar as que já atuaram**, garantindo uma avaliação confiável e que resulte em decisões seguras e econômicas

