



UNIVERSIDADE
FUMEC
DE MINAS GERAIS PARA O MUNDO

Resistência do concreto em estruturas existentes

Comentários e Conceitos



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

Conselheiro IBRACON

Diretor PhD Engenharia

Miembro Red PREVENIR CYTED

Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP

fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life

Presidente de honor Asociación Latino Americana de Control de Calidad,
Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.

FEA.FUMEC

20 de novembro de 2015

Belo Horizonte MG

1

C&C1:

ABNT NBR 7680:2015 $f_{ck,ext,j}$

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

ABNT NBR 12655:2015 $f_{ck,est}$

referencial de segurança

f_{ck}

2

Brasil: ABNT NBR 12655:2015

Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação

Europa: Eurocode II

EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity

USA: ACI 318-14

Building Code Requirements for Structural Concrete

Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

item 26.12. Concrete evaluation and acceptance

3

Escopo: *estabelece os requisitos para*

- 1. Controle** de materiais, dosagem e produção do concreto;
- 2. Segurança:** controle da resistência do concreto à compressão;
- 3. Durabilidade e vida útil:** teor máximo de agressivos, a/c, $D_{máx}$, consumo, cobrimentos;
- 4. Controle de recebimento:** concreto fresco;
- 5. Controle e critério de aceitação:** concreto fresco e endurecido;
- 6. Não conformidade da resistência (segurança):** ABNT NBR 7680:2015

4

Condições de preparo do concreto

Condição de preparo	Classe do concreto	Cimento	Agregados	Água	Correção da água em função da umidade dos agregados
A	todas	massa	massa	massa ou volume	sim
B	C10 a C20	massa	volume	volume	sim
C	C10 e C15	massa	volume	volume	estimada

5

C&C2:

**Universo
População
Lote**

amostra

**unidade de produto
unidade de controle**

exemplares

corpo de prova

6

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



- **massa de cada pneu**
- **pressão de cada pneu**

7

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Bolinha de gude



- **massa de cada bolinha**
- **diâmetro de cada bolinha**

8

**Unidade de Produto
Unidade de Controle
Concreto**



- metro cúbico
- corpo de prova
- metro quadrado
- pilar, viga, laje

9

**CONCRETO
Unidade de Produto**

**betonada
amassada
mistura-traço**

**CONCRETO
Unidade de Controle**

**resistência à compressão do cp
MPa, kgf/cm², psi
exemplar**

10

Amostragem ABNT NBR 12655

- ✓ **As amostras são compostas por exemplares;**
- ✓ **Cada exemplar constitui-se de, no mínimo, dois CPs irmãos (mesma amassada, moldados no mesmo ato) para cada idade de ruptura;**
- ✓ **Resistência do exemplar (betonada): o maior dos valores obtidos dos CPs no ensaio de resistência à compressão;**
- ✓ **A amostragem pode ser total ou parcial.**

11

Amostragem total ABNT NBR 12655

- ✓ **Todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada (unidade de produto):**

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

- ✓ ***Não há o que estimar porque todo o lote (população) é conhecido.***

12

Conformidade dos lotes

- ✓ O valor estimado da resistência característica dos lotes de concreto (amostragem parcial) ou dos exemplares (amostragem total) deve atender:

$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

13

ACI American Concrete Institute

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.
Concrete evaluation and acceptance

- Laboratório de Controle deve ser acreditado pela norma ASTM C1077 e laboratoristas sejam certificados pelo ACI;
- CPs sejam retirados em conformidade com a ASTM 172, moldados e sazoados em conformidade com a ASTM C31 e ensaiados em conformidade com a ASTM C39;

14

ACI American Concrete Institute

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.
Concrete evaluation and acceptance

- Recomenda que a amostragem obedeça a:
 - ≥ 1 exemplar por dia de concretagem;
 - ≥ 1 exemplar para cada 115m^3 de concreto;
 - ≥ 1 exemplar para cada 465m^2 de área superficial para lajes ou paredes;
 - Dispensado o controle para volumes inferiores a 38m^3 , desde que exista carta de traço aprovada;
 - Cada betonada fornece apenas um resultado;
 - Para representar um exemplar, obter a média de 2 corpos de prova cilíndricos de 15cm diâmetro por 30cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura.

15

ACI American Concrete Institute

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.
Concrete evaluation and acceptance

- Como **critério de aceitação** exige:
 1. A média móvel de três resultados consecutivos cronologicamente deve ser:

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck}$$

2. Nenhum resultado individual, f_{ci} deve ser inferior em 3,5MPa em relação ao valor característico (até $f_{ck} = 35\text{MPa}$);
3. Nenhum resultado individual, f_{ci} deve ser inferior a:

$$0,9 * f_{ck} \text{ para } f_{ck} > 35\text{MPa}$$

16

ACI American Concrete Institute

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection, item 26.12.
Concrete evaluation and acceptance

- Como critério de aceitação exige:

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck}$$

$$0,9 * f_{ck} \text{ para } f_{ck} > 35\text{MPa}$$

41,7 42,3 36 43,5 41,5

41,7 42,3 39 43,5 41,5

17

fib Model Code 2010

No *fib* Model Code 2010

não **constam**

procedimentos para controle da
resistência do concreto, salvo rápida
referência à ISO 22965 e à EN 206.

18

Eurocode II:2004

Eurocode II também remete as diretrizes para controle e recebimento à *EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity.*

Chapter 8. *Conformity Control and Conformity Criteria.*

8.2.1 *Conformity control for compressive strength*

19

EN 206-1:2013

- Além da responsabilidade pela produção do concreto, caber à Empresa de Serviços de Concretagem também é necessário aferir a conformidade do concreto no recebimento e aceitação em obra;
- Recomenda que a amostragem siga a EN 12350-1 *Testing Fresh Concrete.*

20

EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan
 - O resultado do exemplar (betonada) pode ser de 1CP, ou a média de 2 ou 3 CP da mesma betonada. Caso um desses resultados individuais difira $\pm 15\%$ dessa média, o resultado pode ser descartado
 - *Produção inicial*: corresponde à situação de início de produção de concreto até que sejam disponíveis resultados de, pelo menos, 35 exemplares;
 - *Produção contínua*: corresponde à situação na qual já são conhecidos mais de 35 resultados num período inferior a 12 meses (em geral se aplica a Centrais de Concreto).

21

EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan

Table 17 — Minimum rate of sampling for assessing conformity

Production	Minimum rate of sampling		
	First 50 m ³ of production	Subsequent to first 50 m ³ of production ^a , the highest rate given by:	
		Concrete with production control certification	Concrete without production control certification
Initial (until at least 35 test results are obtained)	3 samples	1 per 200 m ³ or 1 per 3 production days ^d	1 per 150 m ³ or 1 per production day ^d
Continuous ^b (when at least 35 test results are available)	---	1 per 400 m ³ or 1 per 5 production days ^{c, d} or 1 per calendar month	

^a Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m³.

^b Where the standard deviation of the last 15 or more test results exceeds the upper limits for s_n according to Table 19, the sampling rate shall be increased to that required for initial production for the next 35 test results.

^c Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

^d The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

22

EN 206-1:2013

Como critério de aceitação, 8.2.1.3

- *Conformity criteria for compressive strength*

- *Critério para resultados individuais:*

- ✓ Qualquer valor individual deve ser

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- *Critério para resultados médios:*

- ✓ Produção inicial: a média de 3 resultados consecutivos deve ser

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck} + 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- ✓ Produção contínua: a média de, no mínimo, 15 resultados consecutivos deve ser:

$$f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

23

C&C3: Resumo

- ✓ O procedimento de controle adotado no Brasil é o mais rigoroso do mundo !
- ✓ Com amostragem total conhecemos toda a população em exame ! Mais segurança que isso impossível !
- ✓ Com amostragem parcial estamos limitados a lotes máximos de 50m³ e de 100m³ para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m³ ou a cada 16m³ e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor f_{ci} abaixo de f_{ck} enquanto outros países aceitam 3,5MPa, 4MPa ou mais (10%) abaixo de f_{ck}

24

Aceitação do concreto

- ✓ O concreto deve ser aceito se atendidas todas as especificações de norma e de projeto



conformidade

25

Aceitação do concreto

- ✓ Em caso de não conformidade, consultar a ABNT NBR 7680:2015



não conformidade

26

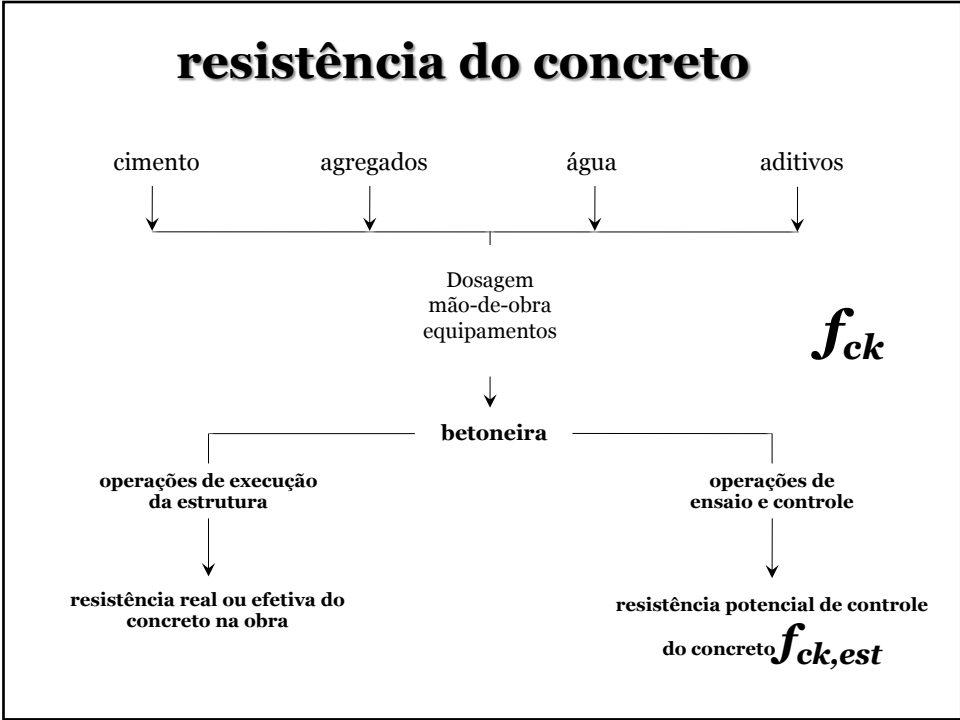


27

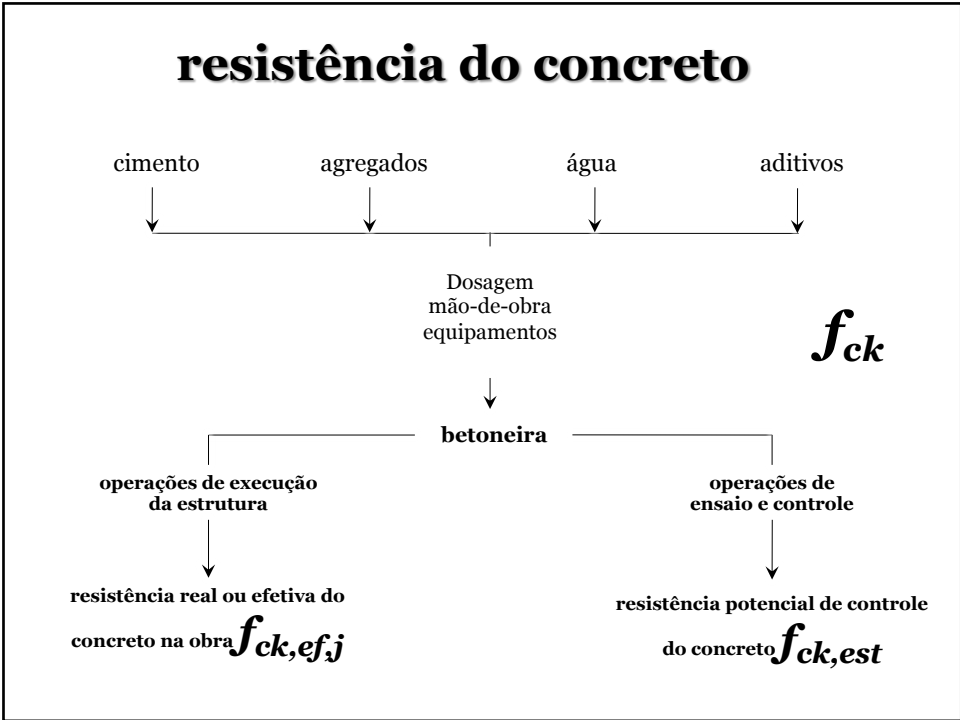


Créditos: Rafaela Bortolini

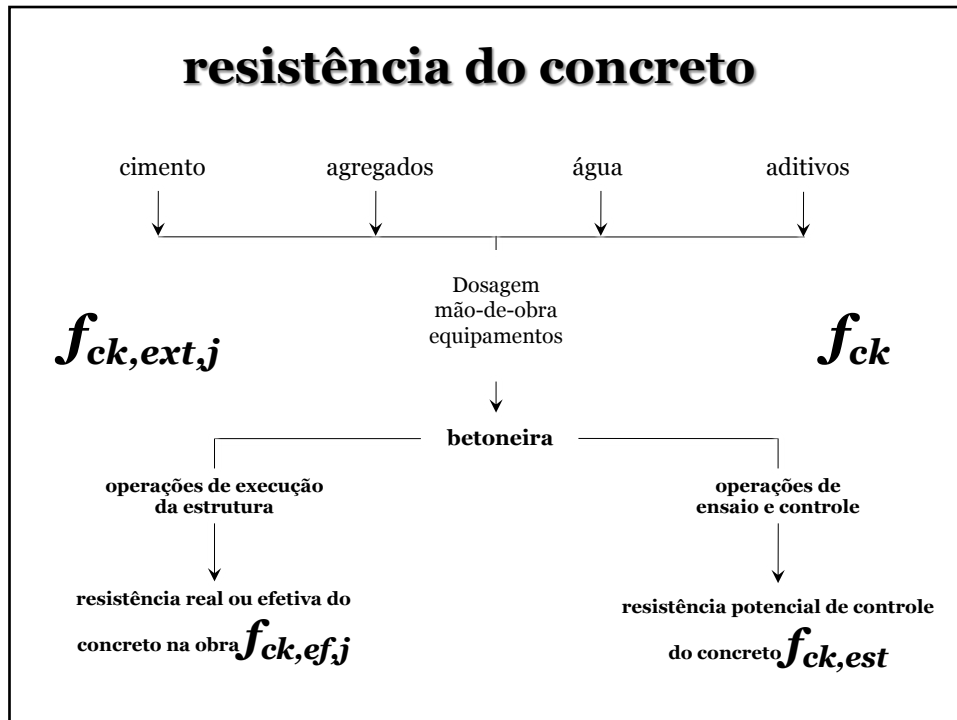
28



29



30



31

Preliminares

Conceitos:

→ **qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?**

32

Preliminares

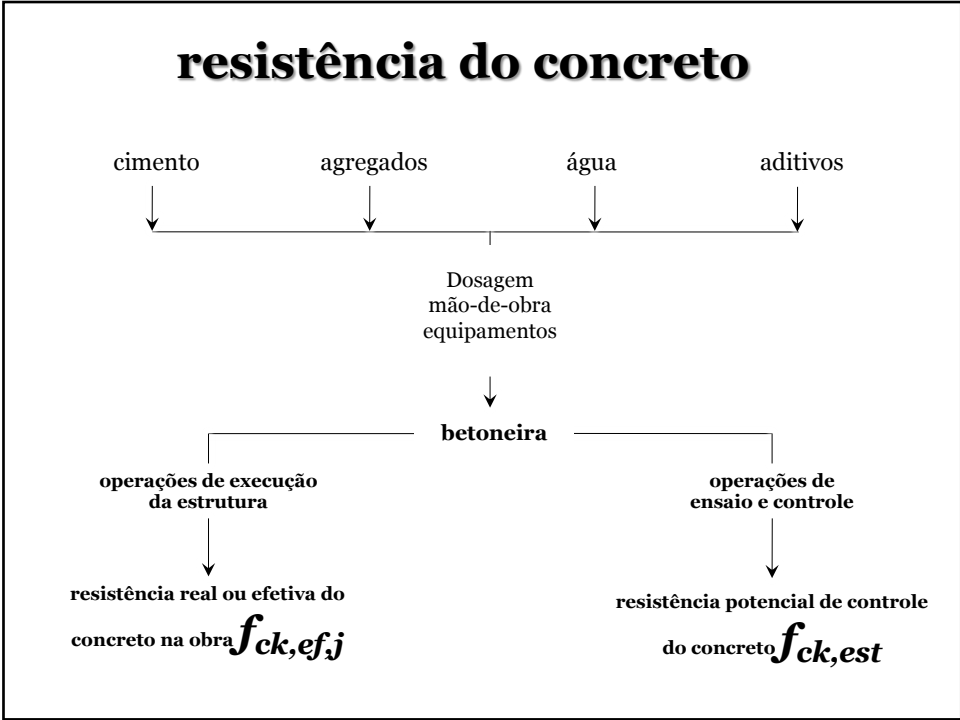
**encontrar um f_{ck} que viabilize revisar a
segurança, ou seja, verificar a
segurança conforme as convenções
universais de projeto estrutural de
ECAs**

33

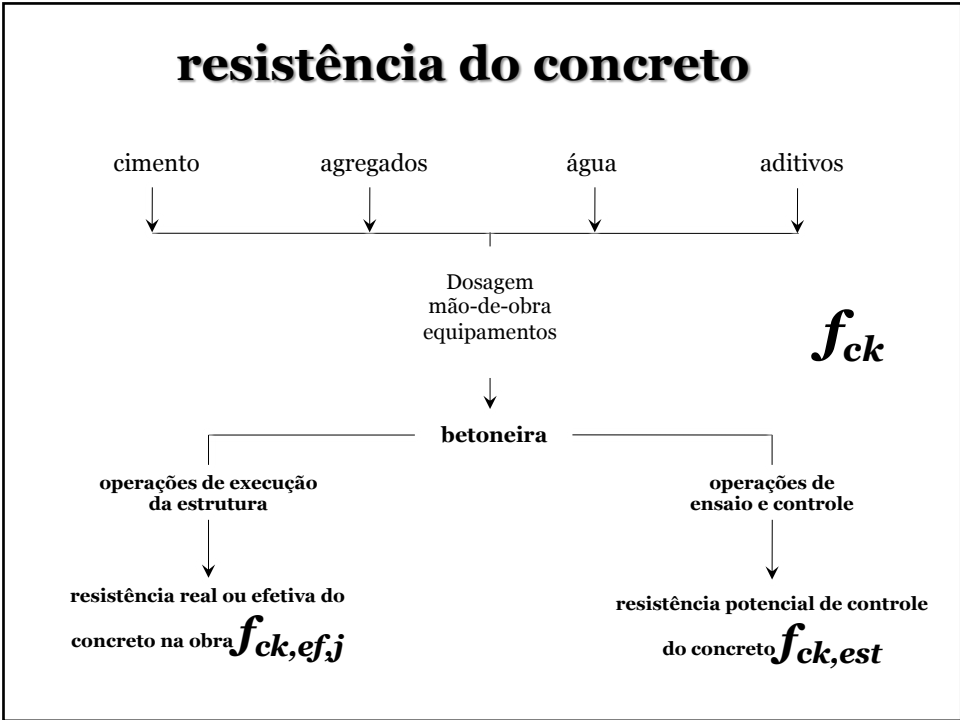
Preliminares

**encontrar aquele f_{ck} padrão convencional,
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**

34



35

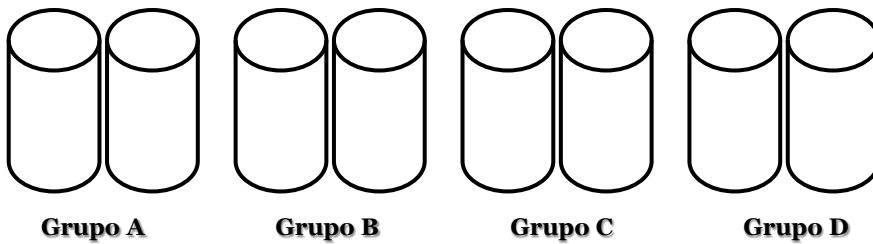
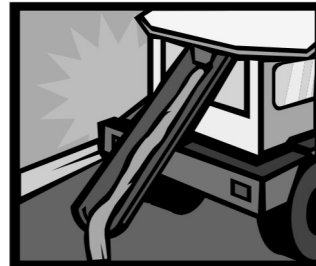


36

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



37

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

f_{c1} f_{c2} f_{c3} f_{c4} f_{c5}

exemplar = mais alto (f_{ck})

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

“potencial do concreto”

38

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

39

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

40

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

A diagram showing ten vertical concrete columns, numbered 1 through 10 from left to right. Each column has a circular base. The circles are located at the bottom of columns 2, 3, 6, 8, and 9, representing the 'ninhos de concretagem' (concrete cores) mentioned in the text. The columns are represented by simple outlines with rounded ends.

41



42



43

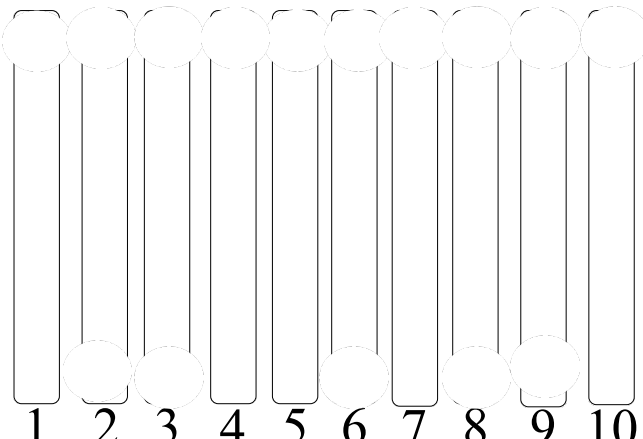
“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

f_{ck}
45MPa

44

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

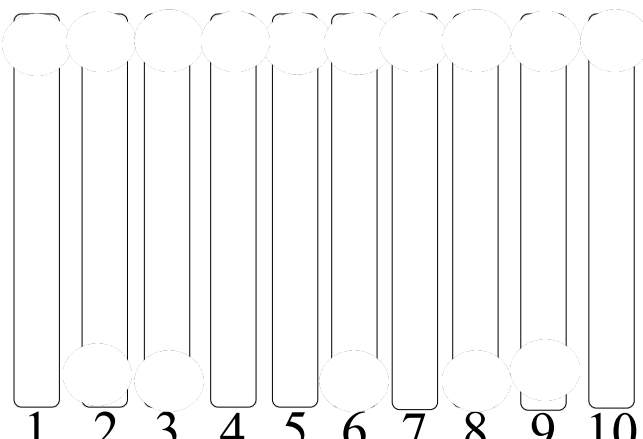


The diagram shows 10 vertical concrete pillars, numbered 1 to 10 at the bottom. Each pillar has a circular cap at the top. A pattern of circles is drawn on the pillars to represent water bleed: circles are present at the top of all pillars, and at the bottom of pillars 2, 3, 6, 8, and 9. Pillars 1, 4, 5, 7, and 10 have no circles at the bottom.

f_{ck}
45MPa

45

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



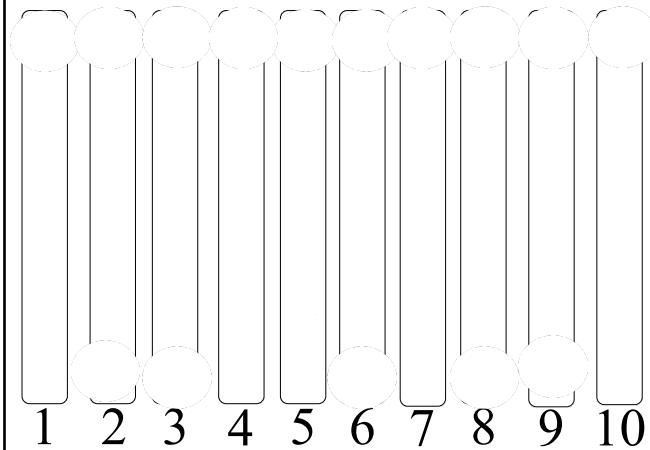
The diagram shows 10 vertical concrete pillars, numbered 1 to 10 at the bottom. Each pillar has a circular cap at the top. A pattern of circles is drawn on the pillars to represent water bleed: circles are present at the top of all pillars, and at the bottom of pillars 2, 3, 6, 8, and 9. Pillars 1, 4, 5, 7, and 10 have no circles at the bottom.

f_{ck}
45MPa

46

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

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

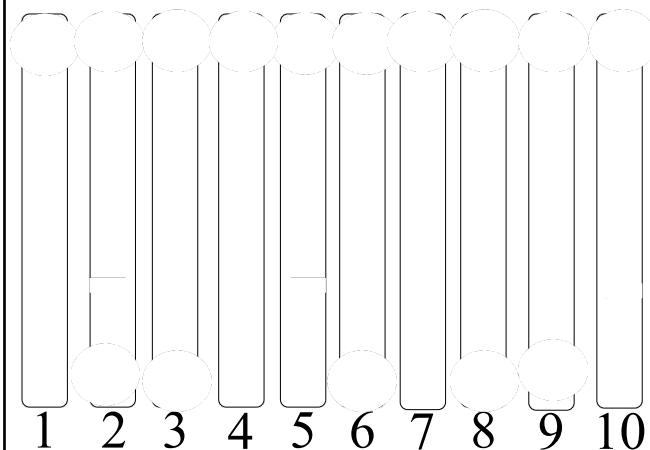


terço inferior

47

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



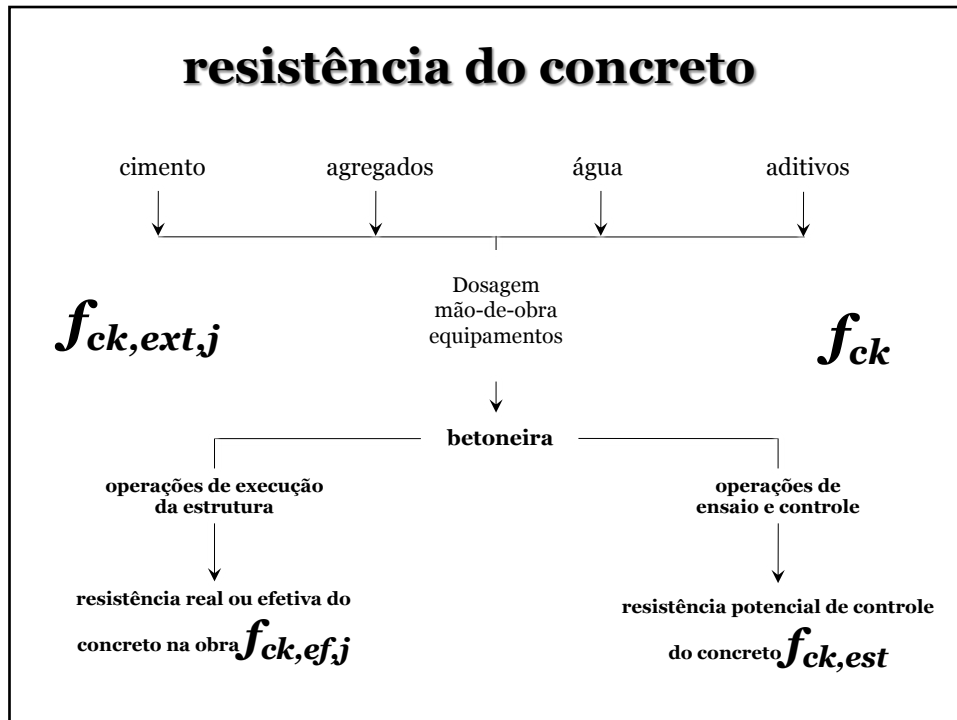
terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

48



49

Normalização Internacional

EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.

ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.

ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2015. 520p.

50

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

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:

(d) Concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if (1) and (2) are satisfied:

(1) The average of three cores is equal to at least 85 percent of f'_c .

(2) No single core is less than 75 percent of f'_c . (corresponde a $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$)

R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent of the specified strength is realistic. It is not realistic, however, to expect the average core strength to be equal to f'_c , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....

(f) If criteria for evaluating structural adequacy based on core strength results are not met, and if the structural adequacy remains in doubt, the responsible authority shall be permitted to order a strength evaluation in accordance with Chapter 27 for the questionable portion of the structure or take other appropriate action.

51

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

27.3.1.4 The method for obtaining and testing cores shall be in accordance with ASTM C42.

27.3.2.1 ...it is permitted to increase ϕ from the design values elsewhere in this Code; however, ϕ shall not exceed the limits in Table 27.3.2.1.

Fatores de redução das resistências ($1/\phi$) segundo o ACI 318:2014

sections	item 21.2.1	item 27.3.2.1	redução
tension controlled sections	1,11	1,00	10%
compression controlled sections			
members with spiral reinforcement	1,33	1,11	17%
other reinforced members	1,54	1,25	19%
shear and/or torsion	1,33	1,25	6%
bearing on concrete (engastar)	1,54	1,25	19%

52

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, sazonalidade, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter

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

53

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.

54

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

55

OBJETIVO

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do γ_c .
- **Resistência potencial** = corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm
- **Resistência efetiva** = testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm

56

EXPERIMENTO

- 10 obras correntes de edifícios habitacionais em fase de execução das estruturas de concreto.
Resistência à compressão $20\text{MPa} < f_{ck} < 35\text{MPa}$.
- **Pilares**
 - 06 obras → concreto produzido na obra (500L)
 - 17 lotes → 17 andares
 - volume total de concreto 129 m^3
 - média de 6 cps moldados por lote → 28dias
 - média de 6 cps extraídos por lote → 28dias
 - extração no terço inferior (arranque)
 - 102 cps → 102 testemunhos

57

RESULTADOS $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$

estatística	pilares	lajes e (vigas)
mínimo	1.05	0.96
máximo	1.51	1.62
média	1.24	1.20
S_c	0.14	0.19
v_c	11%	16%
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	h/d=2	h/d≠2
	cp_{ext} ortogonal lanç.	cp_{ext} paralelo lanç.

58

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

59

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.

60

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

61

OBJETIVO

- Comparação entre a resistência potencial e a efetiva do concreto em paredes/blocos moldados especificamente para esse propósito (lab.). Contribuição ao estudo do efeito deletério de “**broqueamento**”.
- **Resistência potencial** → 480 corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm & 15cm x 30cm
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

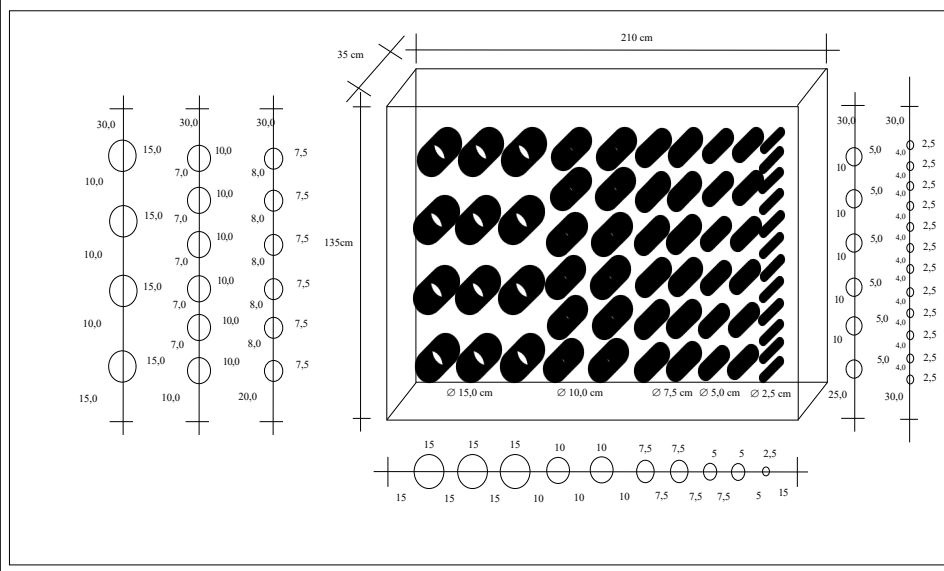
62

EXPERIMENTO

- 56 blocos/paredes de espessura de 35cm x 2.10m altura x 1.45 m construídos no canteiro de uma Central de concreto e em subsolo de obra. Situação ideal!
- Resistências à compressão de: 20MPa; 40MPa; 50MPa e 70MPa.
- Consistência / slump = (100±10)mm;
- Idade de 28dias;
- Direção de extração ortogonal à concretagem.

63

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



64



65



66



Parede/bloco perfurada

67

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...

68

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 ?

69

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;

70

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

71

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;

72

Comentários nas Comunidades TQS e Bahia:

1. Crescimento vale para CP relaxado na câmara úmida, sem carga, temperatura ideal de 23°C, UR de 100%;
2. Crescimento depende muito do tipo de cimento e das adições;
3. Crescimento depende muito da relação a/c;
4. Crescimento depende da cura, do adensamento, da temperatura, da UR, do sazonalamento, ...

75

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*

76



Exemplo

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

Extração: $f_{cm} = 17,7\text{MPa}$; $s_c = 1,8\text{MPa}$; $v_c = 10,2\%$

n	1	2	3	4	...
$f_{c,ext,j}$	15,4	15,4	17,6	18,1	...

77

Exemplo

aplicando primeiro os coeficientes de ensaio e depois os de segurança

ACI 318	ACI 214.4R	ACI 214.4R	ACI 562	ABNT NBR 7680 & 6118	EN 1992 Eurocode II	EN 1992 Eurocode II
	Tolerance Factor Method	Alternative Method			A.2.2(2) $\gamma_{c,Red3} = 1,35$	A.2.3(1) $\gamma_{c,Red4} = 1,19$
20,4	19,4	19,4	21,0	19,7	19,3	22,7

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

78

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 28 dias !

ACI, Eurocode

verificar a segurança com o novo f_{ck}

ABNT NBR 6118:2014

ABNT NBR 6118:2014

79

NÃO Voltar a 28 dias !

$$f_{ck,j} = f_{ck,28} * \beta_{cc,28 \rightarrow j} * \beta_{c,sus,28 \rightarrow j}$$

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = e^{\left\{ s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right] \right\}}$$

$s=0,38$ para CP III e CP IV; $s=0,25$ para CP I e CP II; e $s=0,20$ para CP VARI

$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = 0,96 - 0,12 \sqrt{\ln[72(j - 28)]}$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = \beta_{cc,50anos} * \beta_{c,sus(28 \text{ a } 50anos)} * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = \beta_{cc,50anos} * 0,73 * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = 1,16 * 0,73 * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = e^{\left\{ 0,16 \left[1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right] \right\}}$$

80

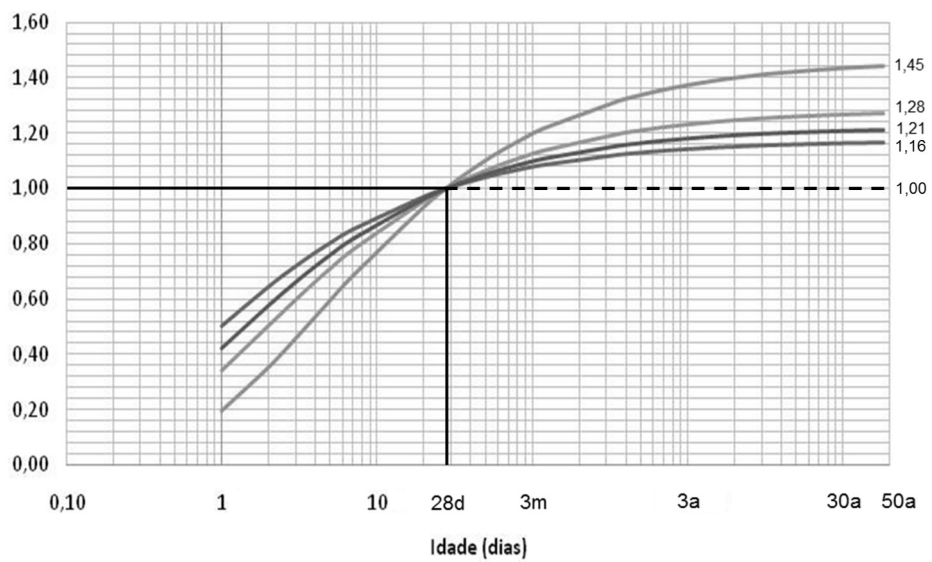
onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{\left\{0,16 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right]\right\}}$$

81

Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



82

Problema

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

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

83

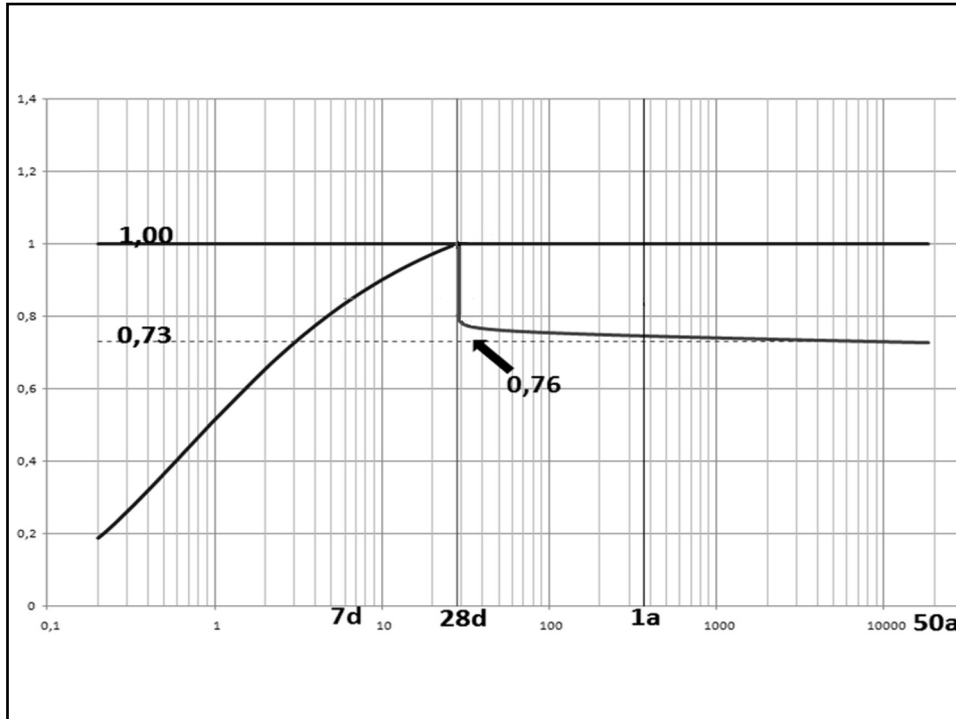
Decréscimo da Resistência (efeito Rüsçh)

$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]}$$

→ j em dias

→ $j - 28 > 15$ minutos

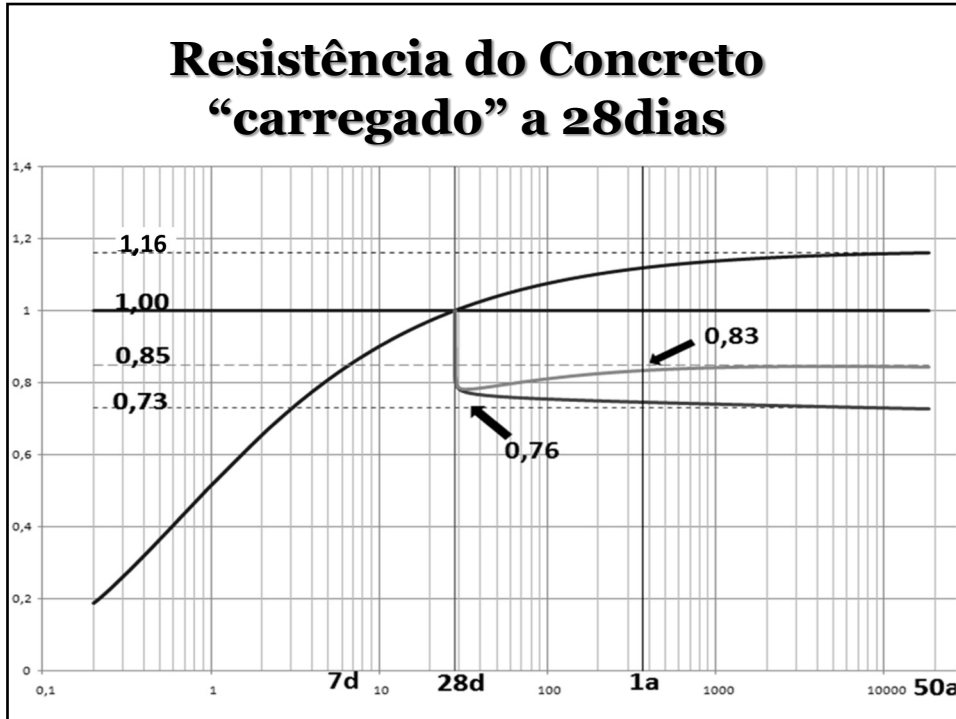
84



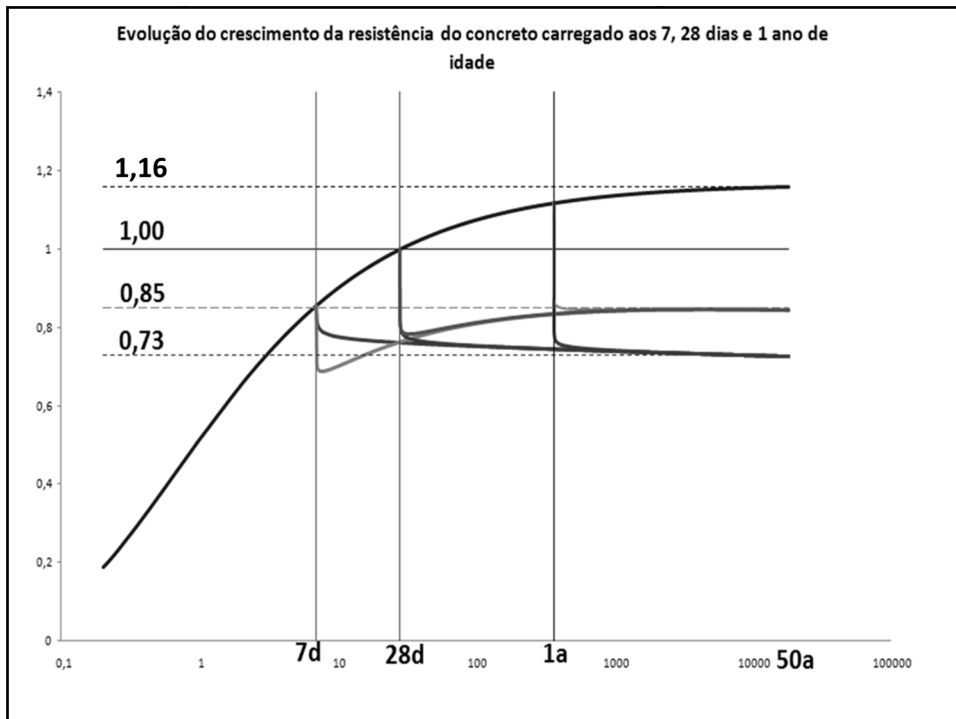
85

**Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?**

86



87



88

Problema

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

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

89

onde j é a idade do concreto em dias.

Retorno à 28 dias

$$k_5 = \left\{ e^{0.16 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)} \right\}^{-1}$$

$$k_6 = \left\{ 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]} \right\}^{-1}$$

90

Conformidade do Concreto

***Consultores, Projetistas,
Controladores, Gerenciadores,
Construtores, Fiscais***

***Falta de ética
Atuação venal
Mezquinhez
Avareza
Corrupção
Onipotência
Ignorância
(omissão e despreparo)***

91

Conformidade do Concreto

***Consultores, Projetistas, Controladores,
Gerenciadores, Construtores, Fiscais***

***Falta de ética
Atuação venal
Mezquinhez
Avareza
Corrupção
Onipotência
Ignorância
(omissão e despreparo)***

***“não há tecnologia
que resolva...”***

92



93