



FURG
Fundação Universidade
Federal do Rio Grande



Resistência do Concreto em Estruturas Existentes



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Diretor e Conselheiro Permanente IBRACON
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design*

Escola de Engenharia

11 de julho de 2016

Rio Grande / RS

1

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

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

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

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

Infelizmente ouço

- **As obras no Brasil são as piores do mundo!**
- **O concreto no Brasil é o pior do mundo!**
- **O Brasil é o mais ousado do mundo!**
- **Os projetos no Brasil são os piores do mundo!**
- **O cimento no Brasil é o pior do mundo!**

4

ABNT NBR 12655 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

5

**Universo
População
Lote**

***unidade de produto
unidade de controle***

amostra

corpo de prova

exemplares

6

controlar
 f_{ck}

7

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



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

8

Unidade de Produto Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

9

Unidade de Produto Unidade de Controle

Concreto



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

10

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

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

11

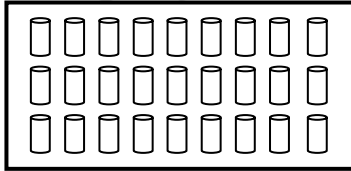
Amostragem ABNT NBR 12655

- ✓ **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.**

12

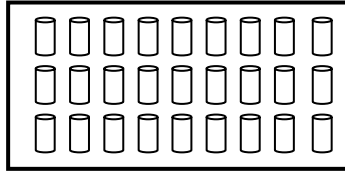
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



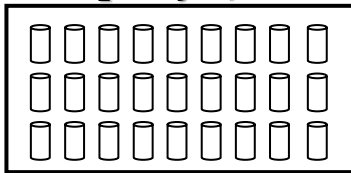
=

Amostra



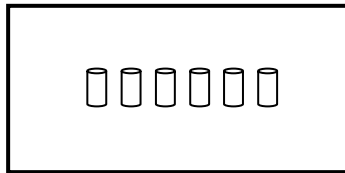
não há o
que
estimar

Universo,
População, Lote



≠

Amostra

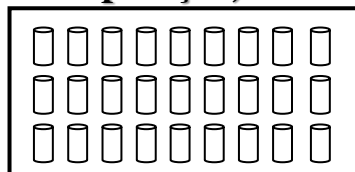


usar
estimador

13

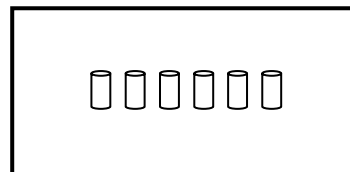
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



≠

Amostra



✓ $6 \leq n < 20$:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1} - f_m}{m-1}$$

onde

m é igual a n/2. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

✓ $n \geq 20$:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

onde:

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, em MPa;

S_d é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, em MPa.

14

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.*

15

Conformidade dos lotes

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

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

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

- 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.

17

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:

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

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

$$f_{ci} = f_{ck} - 3,5\text{MPa} \text{ para } f_{ck} < 35\text{MPa}$$

18

Exemplo: Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$

ACI 318-14:

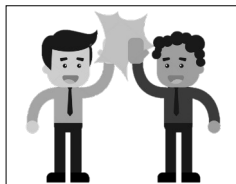
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



19

fib Model Code 2010

No *fib* Model Code 2010

não **constam**

procedimentos para controle da
resistência do concreto, remetendo à
ISO 22965 e à EN 206.

20

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

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

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

Re: [calculistas] resistência do concreto

1 mensagem

Em 20 de junho de 2016 15:47, Antonio Palmeira apeng_palmeira@yahoo.com [calculistas-ba] <calculistas-ba@yahoo.com.br> escreveu:

Breno,

Quando vai-se verificar o efeito de uma inconformidade do concreto em uma estrutura, não se faz a mesma coisa que é feita para dimensionar as peças, o que deve ser feito é uma verificação da estabilidade da peça. Por exemplo: seja uma viga de um vão, simplesmente apoiada e sem laje. (para não complicar), que foi dimensionada com armadura simples e que, no dimensionamento, encontrou-se um $A_s=2,25 \text{ cm}^2$, tendo-se usado 2 fi 12.5 = 2.46 cm^2 , note que já tem uma folga aí. Não era necessário armadura de compressão mas foi colocado um porta estribo de 2 fi 5.0 = $0,40 \text{ cm}^2$, essa armadura faz a linha neutra subir, então temos mais armadura de tração e mais braço de alavanca para ela, assim como uma ajuda extra para o concreto.

Tudo que dimensionamos sempre está levemente super dimensionado, por mais que sejamos preciosistas. Dessa forma muitas peças que foram calculadas para um concreto C30, (por exemplo), poderá passar com um de C25,

Agora, faça as contas direitinho mas tenha cuidado com os leigos proprietários das obra, pois já vi um colega perder um cliente por não explicar direito as coisas, disse simplesmente que tudo passava, e o cliente raciocinou: por que um concreto mais caro se com um mais barato não tinha problema?

Abraço,

Palmeira
São Luís - MA

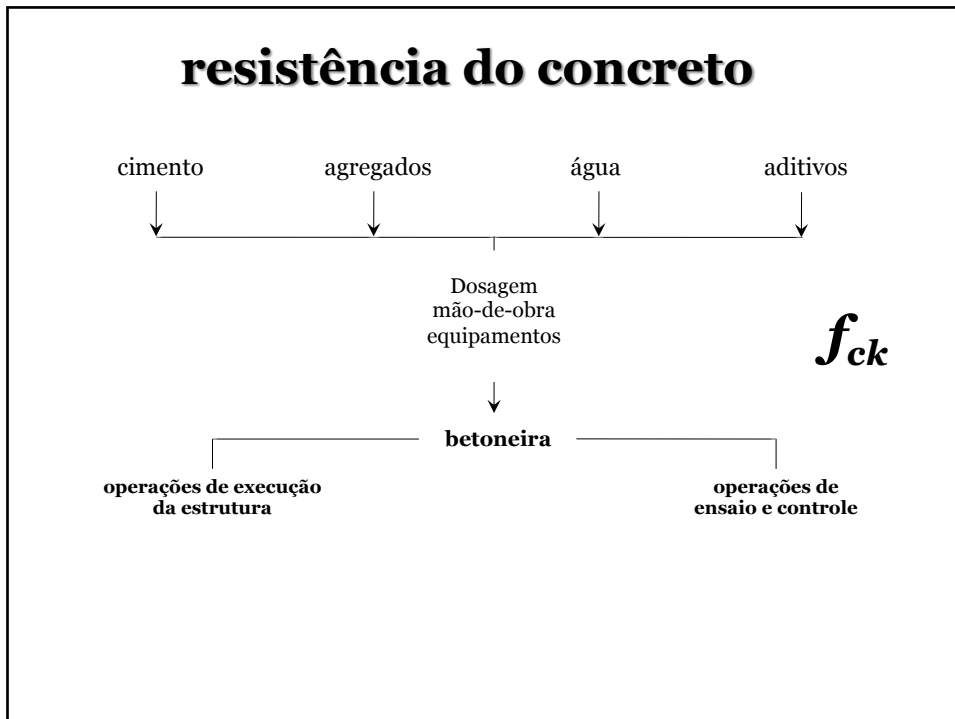
27



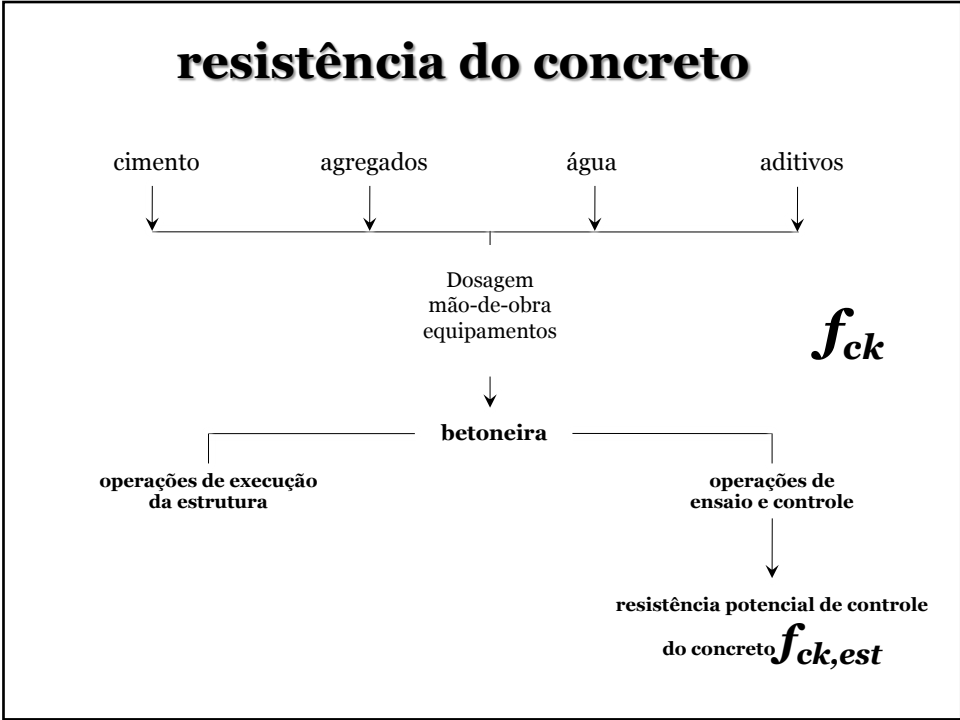
28



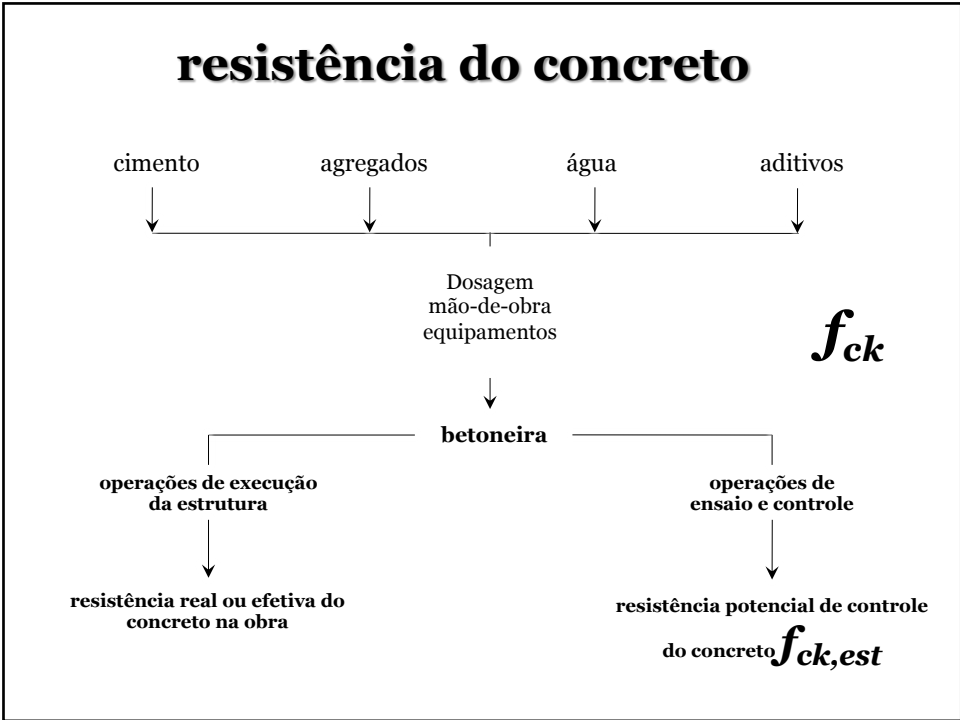
29



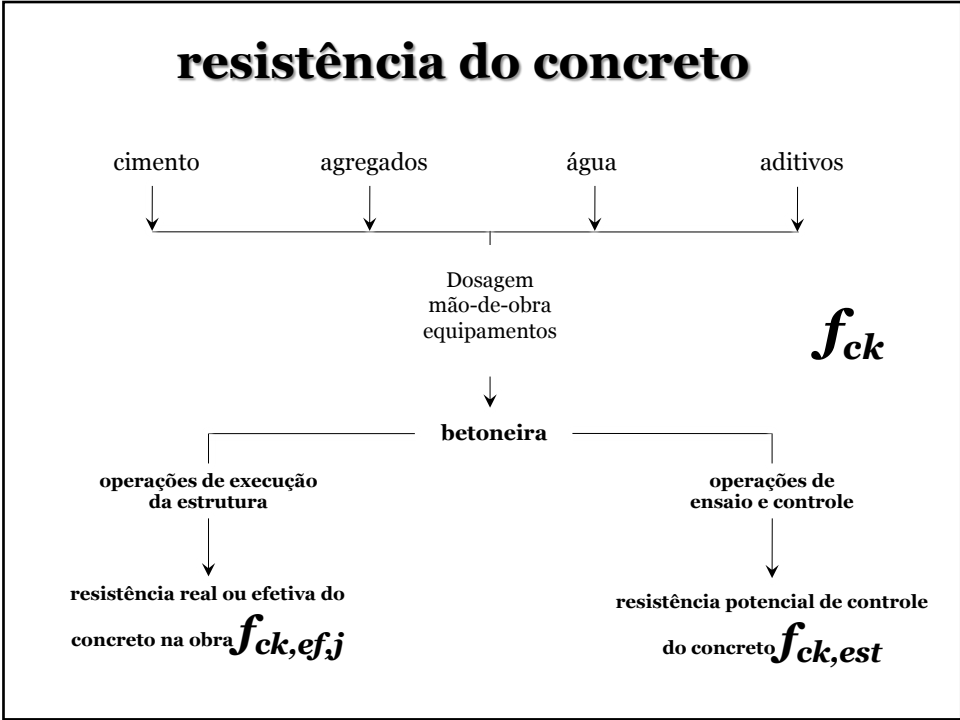
30



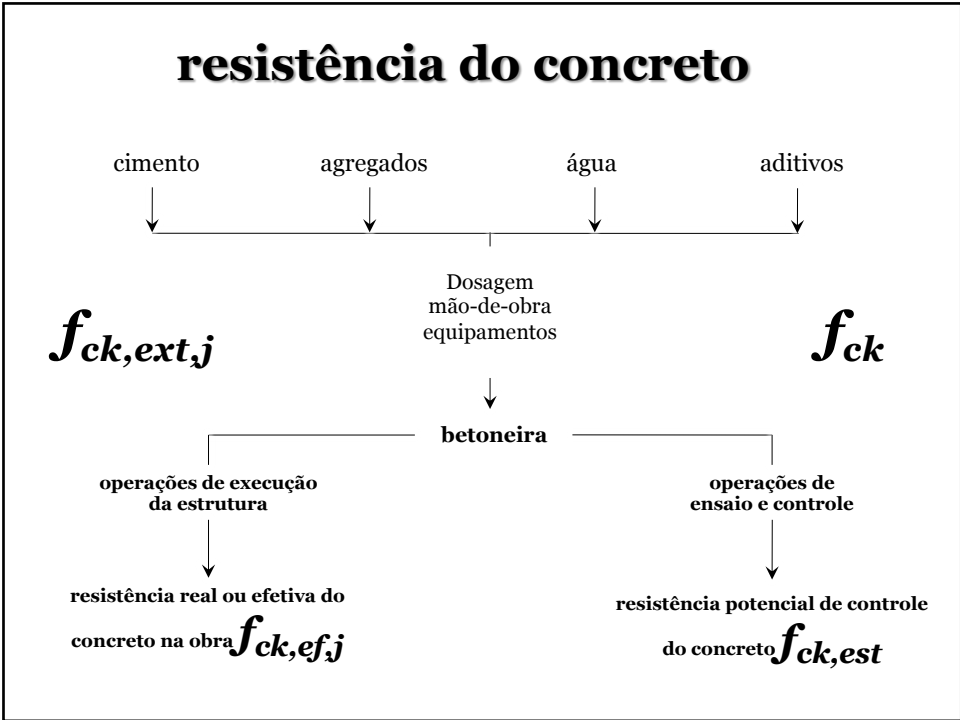
31



32



33



34

resistência do concreto

ABNT NBR 8681:2003

Ações e segurança nas estruturas - Procedimento

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = \gamma_{c1} * \gamma_{c2} * \gamma_{c3}$$

γ_{c1} : variabilidade da resistência efetiva do concreto na estrutura (*maior que a variabilidade da resistência potencial do concreto, avaliada através de cps moldados*)

γ_{c2} : diferenças *geométricas* entre a resistência efetiva do concreto na estrutura e a resistência *potencial* medida em cps padronizados

γ_{c3} : incertezas existentes na determinação das solicitações resistentes, em decorrência dos métodos construtivos e/ou do método de cálculo empregado

35

resistência do concreto

ABNT NBR
6118:2014

$$\gamma_c = 1,4$$

fib Model
Code 2010

$$\gamma_c = 1,5$$

ACI 318-14

O coeficiente redutor (ϕ) é aplicado uma única vez sobre a soma das parcelas resistentes do aço e do concreto.

Coefficientes de minoração da resistência do concreto utilizados no cálculo de estruturas

Fator	ABNT NBR 6118*	fib Model Code 2010
γ_c	1,4	1,5
γ_{c1}	1,2	1,39
γ_{c2}	1,08	1,05
γ_{c3}	1,08	1,05

*FUSCO, P. B. Controle da resistência do concreto. ABECE Informa, São Paulo, n. 89, p.12-19, Jan/Fev. 2012.

Strength reduction factors utilized for design of new structures

ACI 318-14 ($1/\phi$)

Tension-controlled sections	Compression-controlled sections		Shear and Torsion	Bearing on concrete
	Members with spiral reinforcement	Other reinforced members		
1.11	1.33	1.54	1.33	1.54

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

36

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.

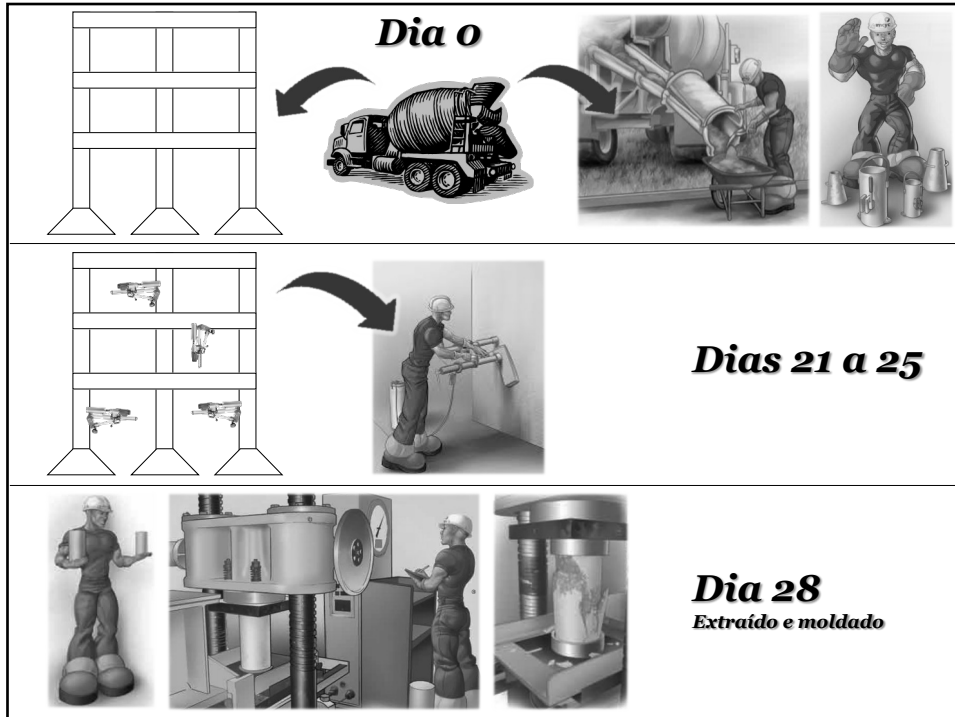
Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS

37

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

38



39

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

40

Preliminares

Conceitos:

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

41

Preliminares

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

42

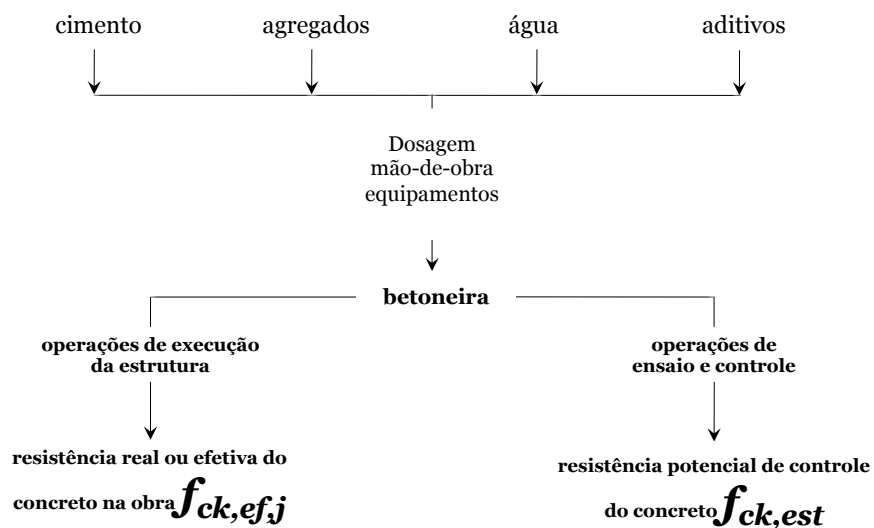
Preliminares

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

43

resistência do concreto



44


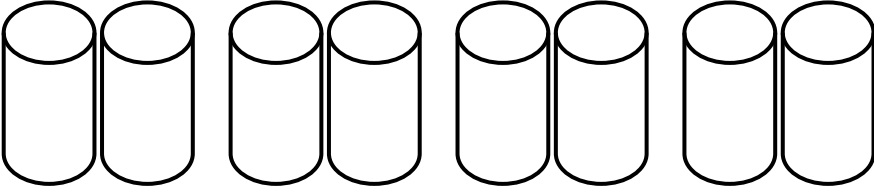


45

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

Grupo A Grupo B Grupo C Grupo D

46

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

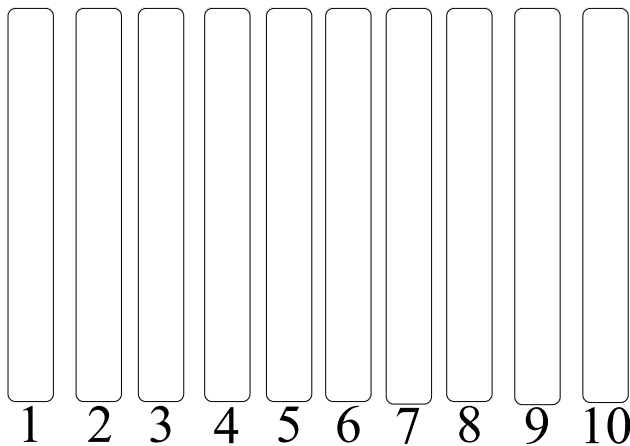
exemplar = mais alto (f_{ck})

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

“potencial do concreto”

47

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



f_{ck}
45MPa

48

**“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

49



50



51

“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

52

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

f_{ck}
45MPa

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

53

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

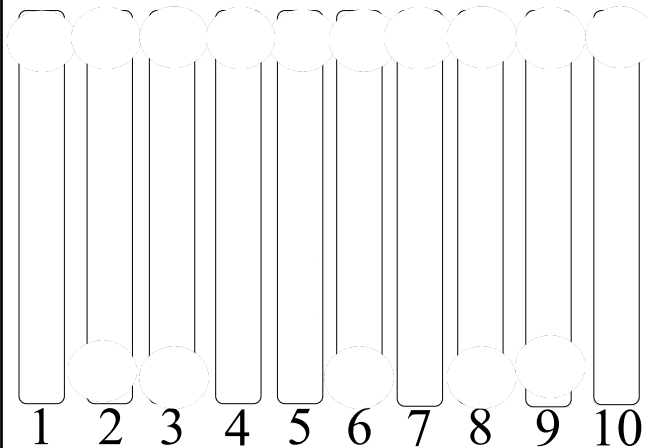
f_{ck}
45MPa

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

54

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

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

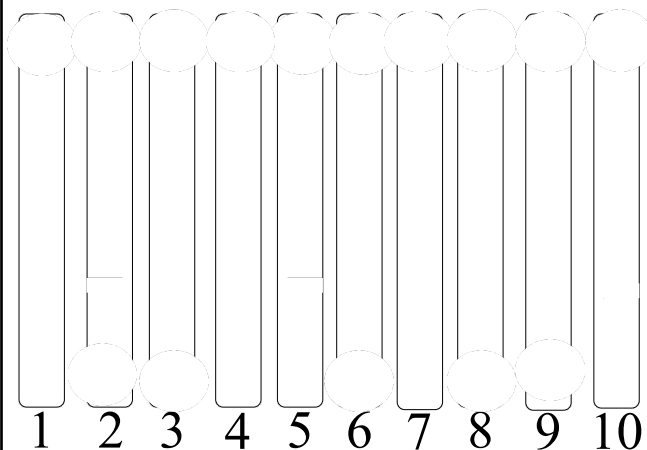


terço inferior

55

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



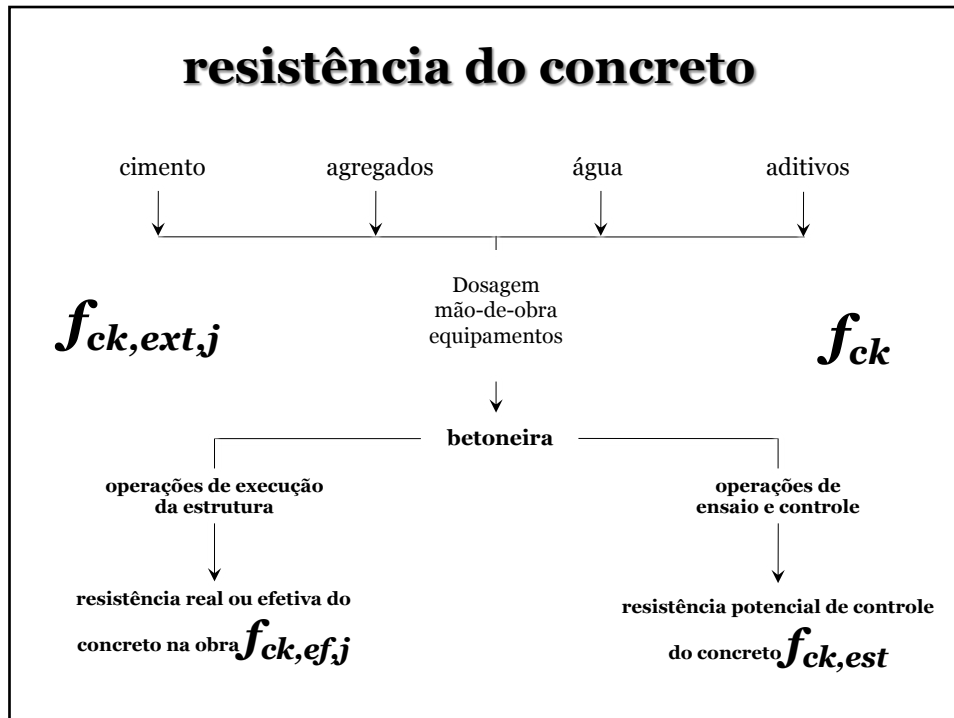
terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

56



57

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.

ACI 562-16 Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary. 2016. 88p.

58

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:

$$(1) \quad \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3} \geq 0.85 * f_{ck}$$

*(corresponde a $f_{ck} = 1,18 * f_{ext,m}$ ou $f_{ck} = 1,33 * f_{ext,min}$)*

$$(2) \quad f_{ci} \geq 0.75 * f_{ck}$$

*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_{ck}** , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....*

59

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

(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.

Fatores de minoração das resistências ($\gamma_c = 1/\phi$) segundo o ACI 318:2014 (Chapter 27)

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%

60

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

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

61

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.

62

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 ?

63

ABNT NBR 7680:2015

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

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

64

Coefficientes 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 = ...

k_4 = ...

65

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

66

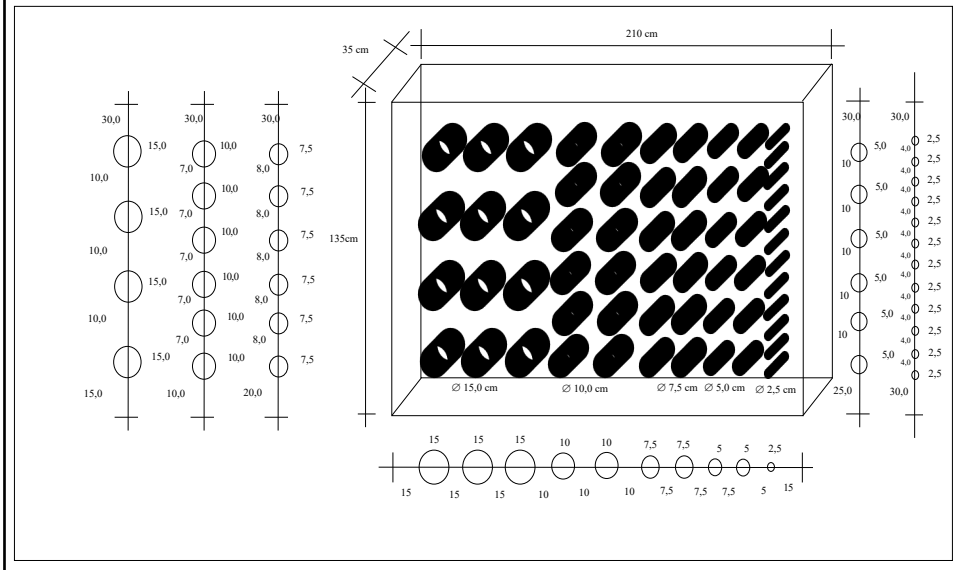


67



68

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



69



Parede/bloco perfurada

70

Conclusão

Média geral:

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

71

Coefficientes 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

72

Cálculos ABNT NBR 7680:2015

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

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

73

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*

74

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, based on 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.

75

Considerações *(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, ...

76

Incertezas ...

Desconhecimentos ...

77



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	...

78

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

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

79

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

transformar $f_{c,ext,j}$ em f_{ck} ?

NÃO

voltar a 28dias !

COMO ???

80

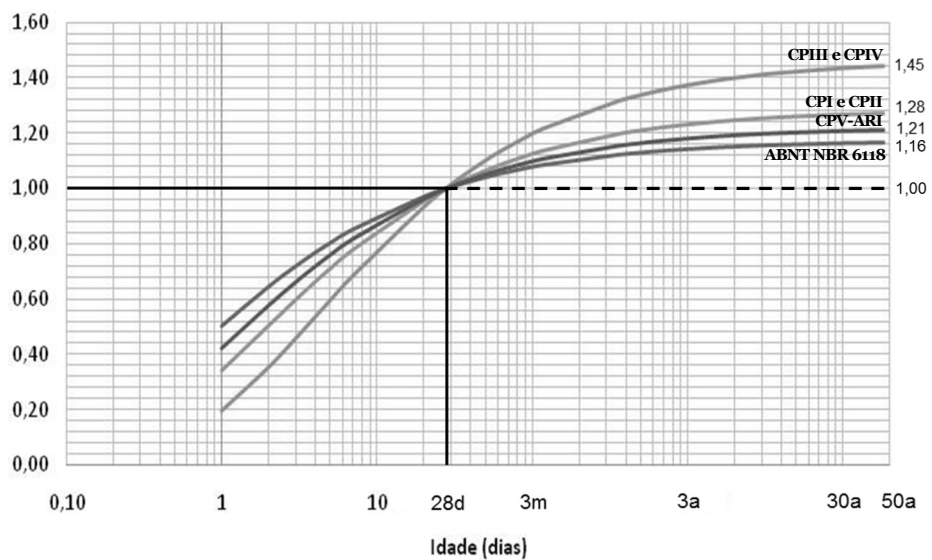
onde j é a idade do concreto em dias.

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

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

83

Considerações *(Comunidades TQS e Bahia)*

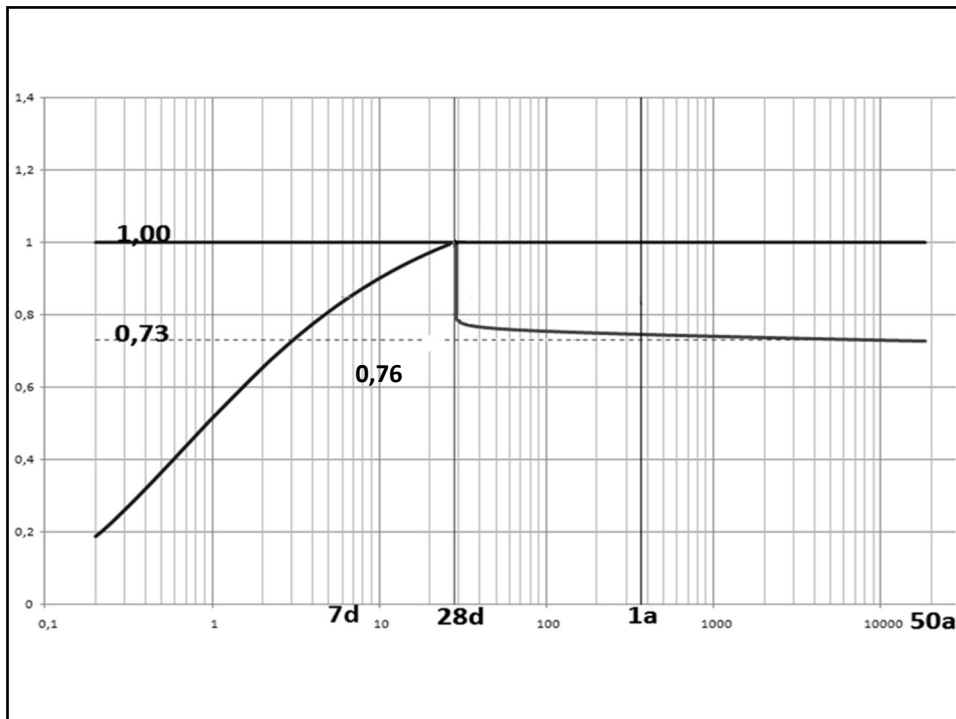
1. Qual a carga que realmente começa a reduzir a resistência?
2. Modelo para uma condição idealizada de laboratório?
3. Qual a história efetiva de carregamento?
4. Teria influência a cura, adensamento, temperatura, UR, cargas cíclicas, ...

84

Incertezas ...

Desconhecimentos ...

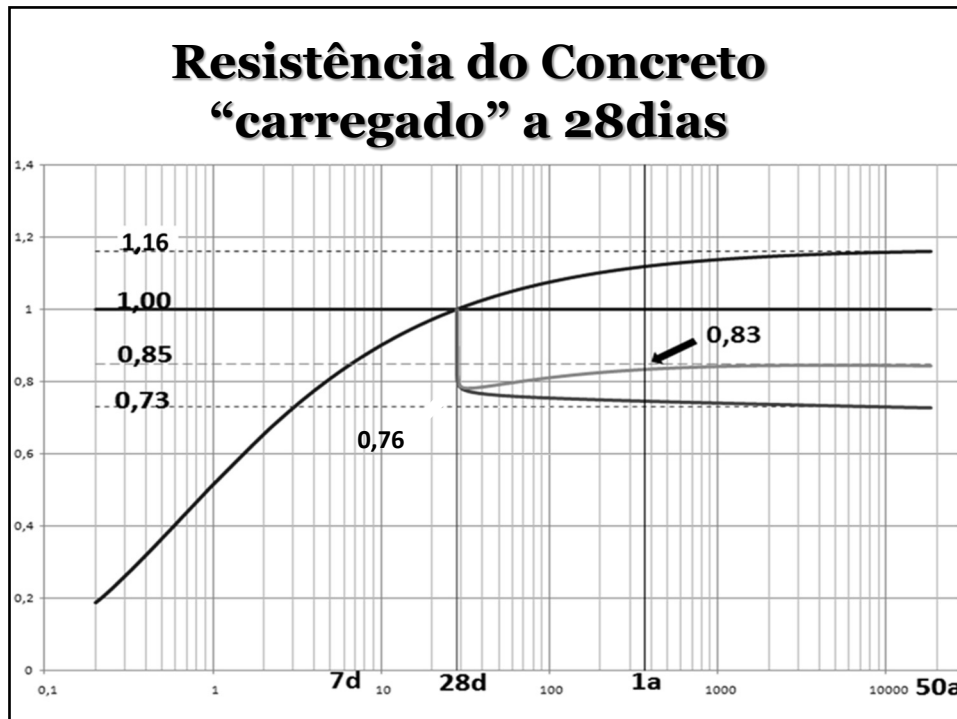
85



86

Combinando crescimento com decréscimo a partir de 28dias ?

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 a 28 dias

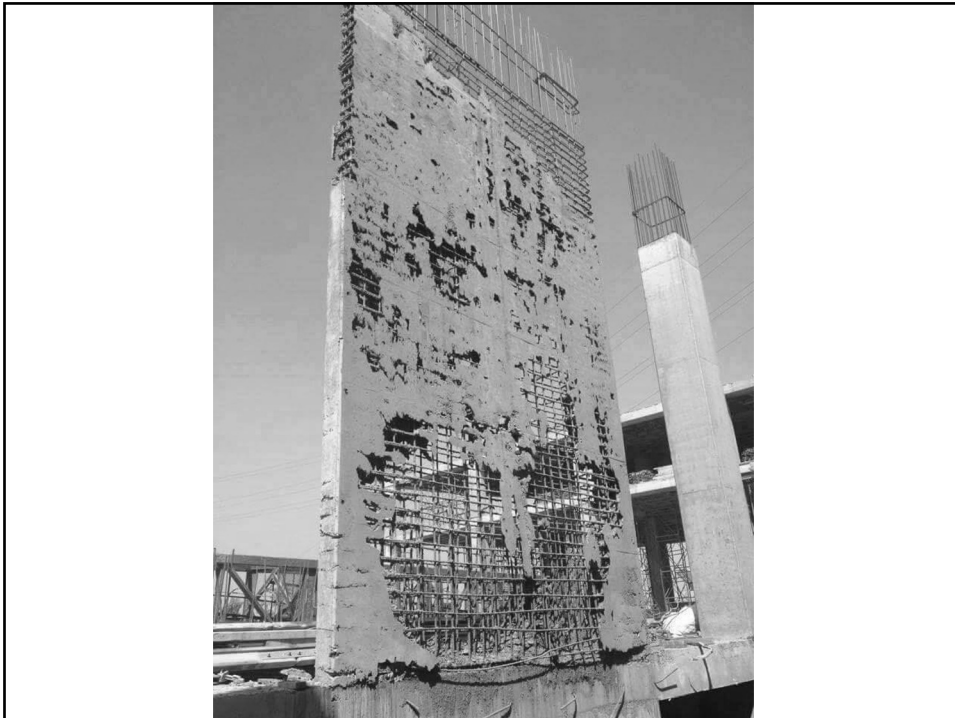
$$k_5 = \left\{ e^{0.16 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)} \right\}^{-1}$$

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

90

qualidade e segurança da obra...

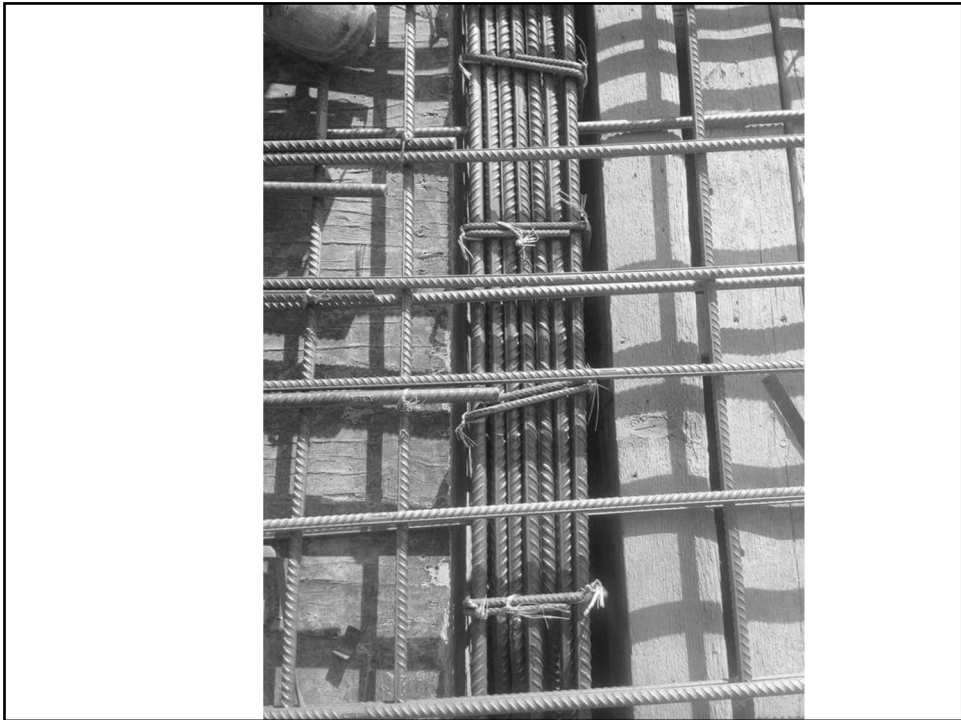
91



92



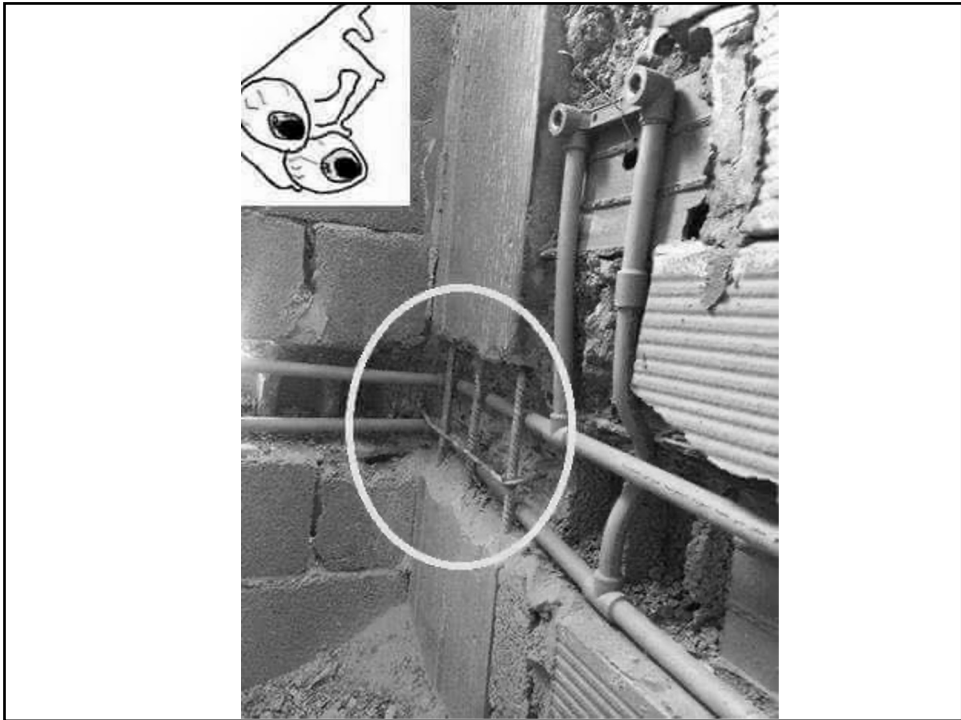
93



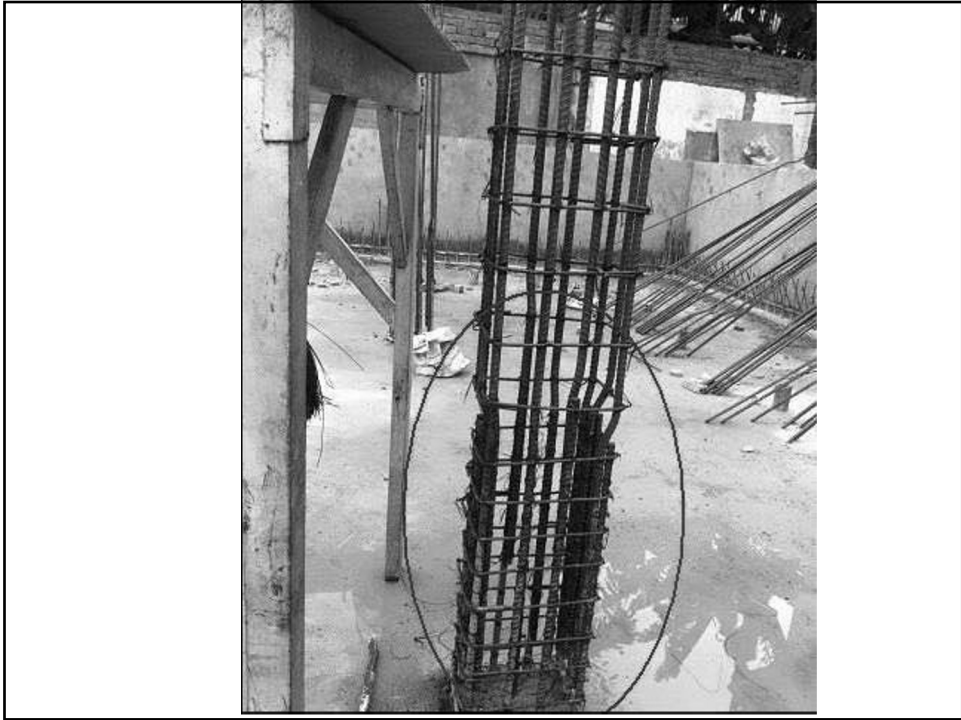
94



95



96



97



98



99

Conformidade do Concreto

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

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

100

Conformidade do Concreto

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

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

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

101



OBRIGADO

PhD
Engenharia

do Laboratório de Pesquisa do Caminho de Osmo

11-2501-4822 / 11-2501-4823
11-9 5045-4940

102