

**IBRACON** **CLUBE DE ENGENHARIA BRASIL** **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL ABECE**

# Resistência do Concreto em Estruturas Existentes para fins de Verificação da Segurança

**PhD Engenharia**

**Paulo Helene**  
 Diretor PhD Engenharia  
 Prof. Titular Engenharia, Universidade de São Paulo  
 Diretor e Consultoria Estrutural IBRACON  
 Presidente Honorífico ALCEPAR Internacional  
 Membro Titular do Conselho Brasileiro de Desastres

**Clube de Engenharia**      **12 de julho de 2016**      **Rio de Janeiro / RJ**

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

## ***comentários***

- **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/cm<sup>2</sup>, psi**  
**exemplar**

11

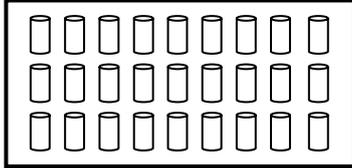
**Amostragem ABNT NBR 12655**

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

12

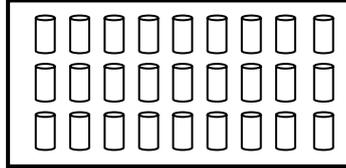
# Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,  
População, Lote



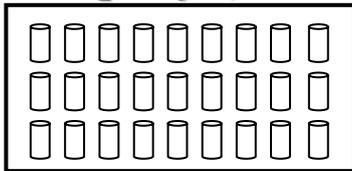
=

Amostra



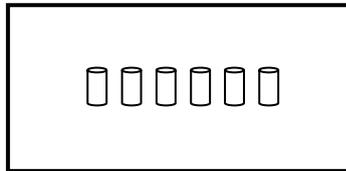
não há o  
que  
estimar

Universo,  
População, Lote



≠

Amostra

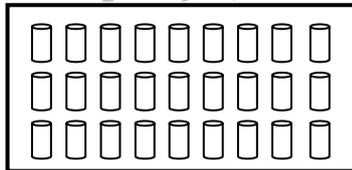


usar  
estimador

13

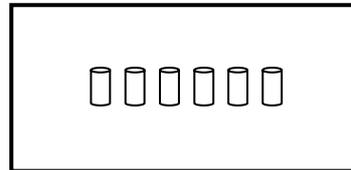
# Amostragem ABNT NBR 12655

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

## Conformidade dos lotes

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

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

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*

- Recomenda que a amostragem obedeça a:
  - $\geq 1$  exemplar por dia de concretagem;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $115\text{m}^3$  de concreto;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $465\text{m}^2$  de área superficial para lajes ou paredes;
  - Dispensado o controle para volumes inferiores a  $38\text{m}^3$ , 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.

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:

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

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

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

17

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

ACI 318-14:

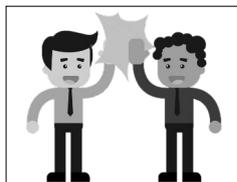
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



18

## ***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.

19

## **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*

20

# 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 <sup>3</sup> of production	Subsequent to first 50 m <sup>3</sup> of production <sup>a</sup> , 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 <sup>3</sup> or 1 per 3 production days <sup>d</sup>	1 per 150 m <sup>3</sup> or 1 per production day <sup>d</sup>
Continuous <sup>b</sup> (when at least 35 test results are available)	---	1 per 400 m <sup>3</sup> or 1 per 5 production days <sup>c, d</sup> or 1 per calendar month	

<sup>a</sup> Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

<sup>d</sup> The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

21

# 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:

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

22

## 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  $50\text{m}^3$  e de  $100\text{m}^3$  para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada  $8\text{m}^3$  ou a cada  $16\text{m}^3$  e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor  $f_{ci}$  abaixo de  $f_{ck}$  enquanto outros países aceitam  $3,5\text{MPa}$ ,  $4\text{MPa}$  ou mais (10%) abaixo de  $f_{ck}$

23

## Aceitação do concreto

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



**conformidade**

24

# Aceitação do concreto

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



**não conformidade**

25

**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@yahoogrupos.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  $\text{cm}^2$ , 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

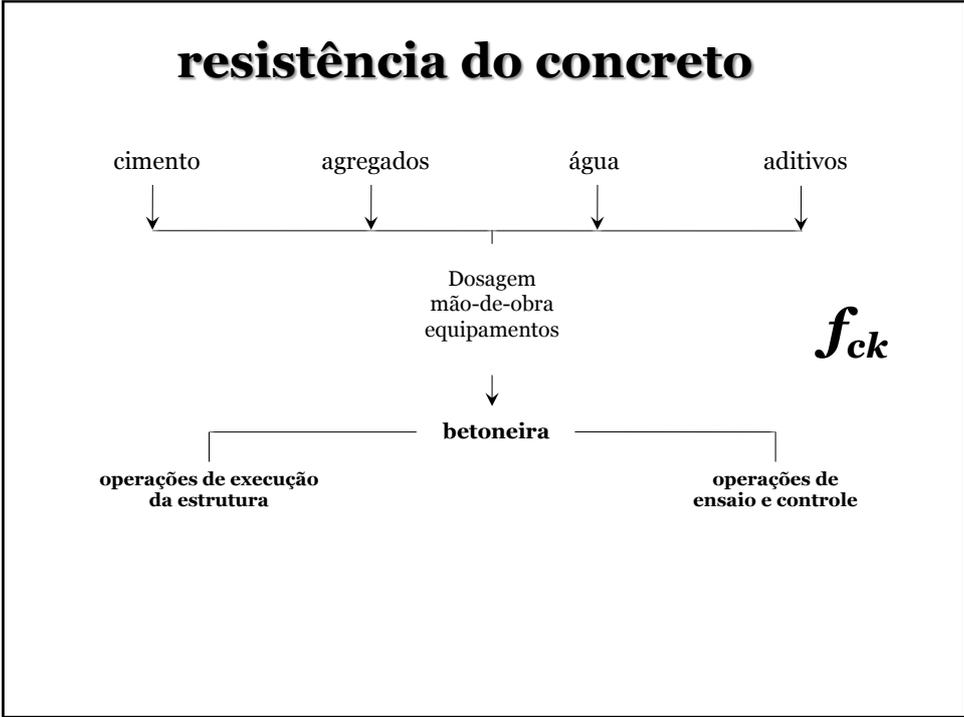
26



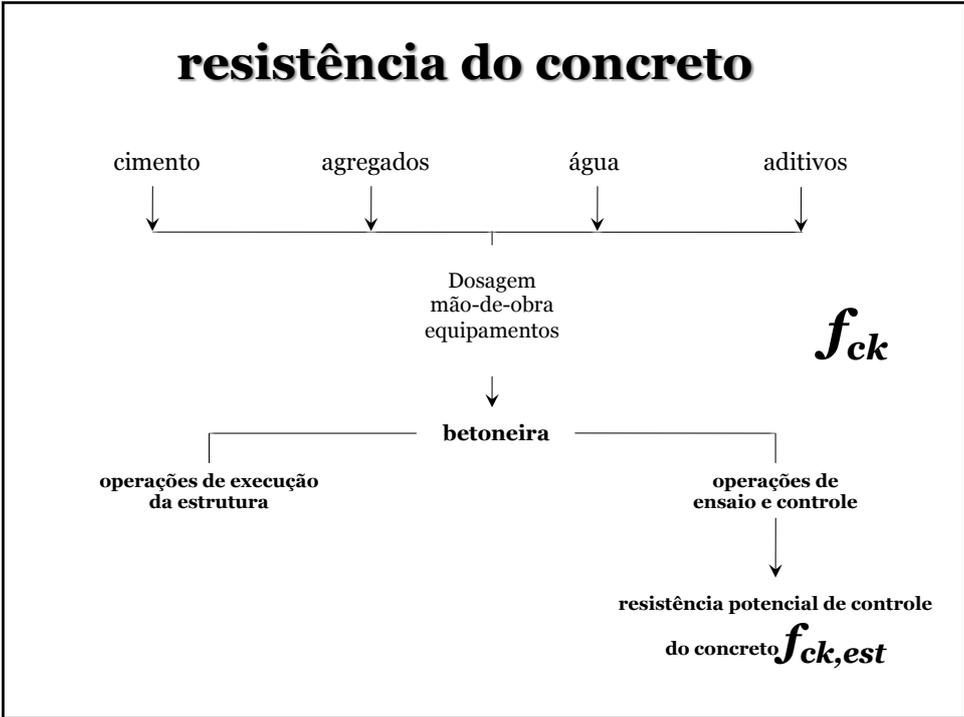
27



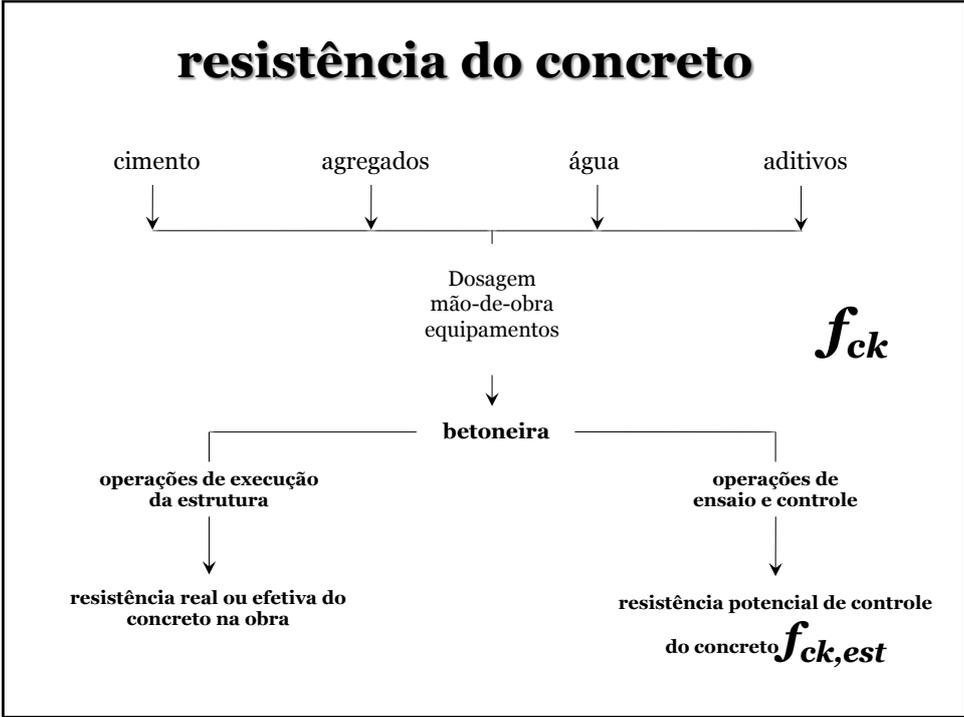
28



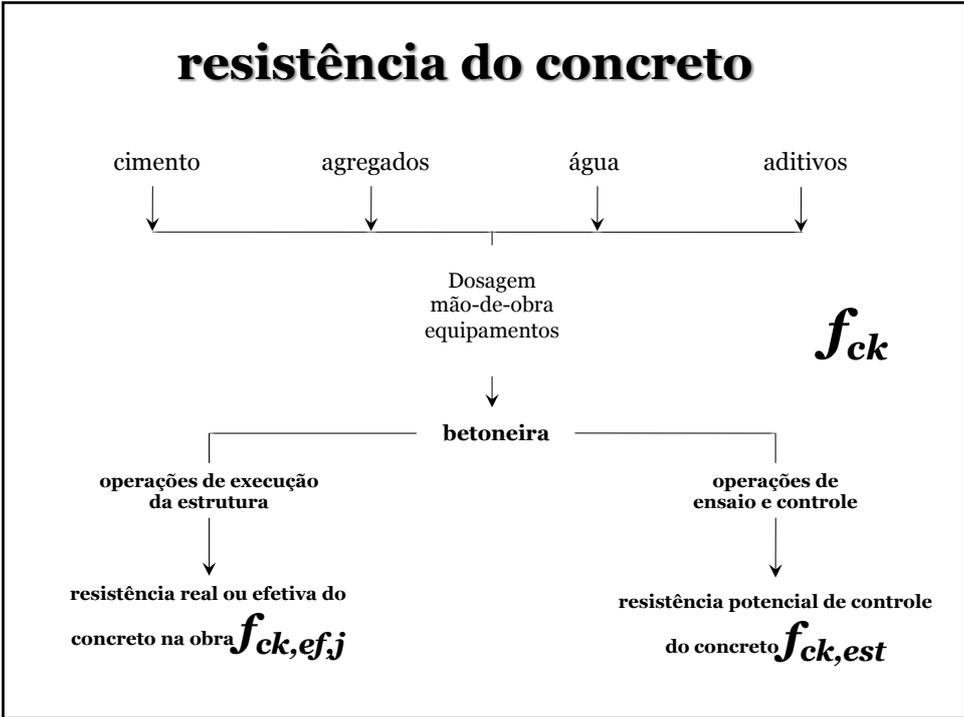
29



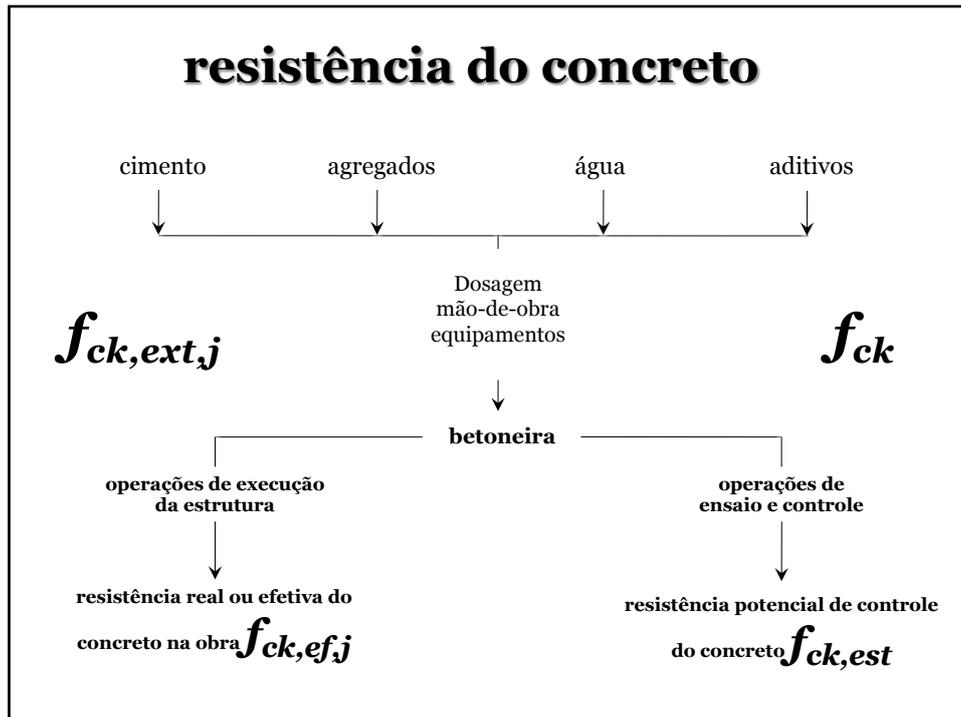
30



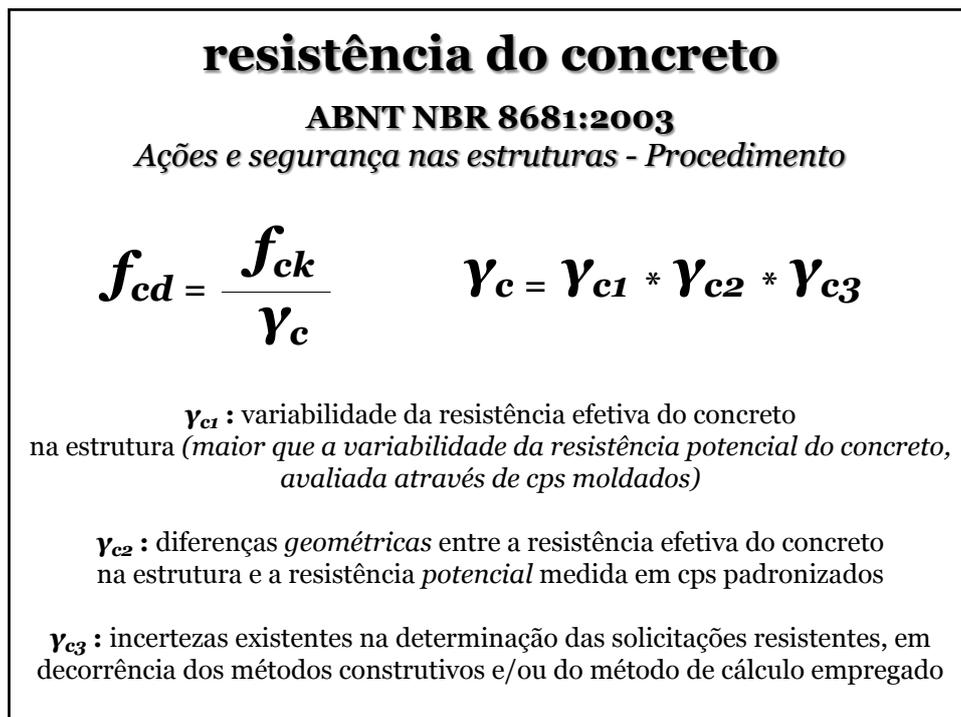
31



32



33



34

## resistência do concreto

**ABNT NBR  
6118:2014**

**fib Model  
Code 2010**

**ACI 318-14**

**$\gamma_c = 1,4$**

**$\gamma_c = 1,5$**

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

Fator	ABNT NBR 6118*	fib Model Code 2010
$\gamma_c$	1,4	1,5
$\gamma_{c1}$	1,2	1,39
$\gamma_{c2}$	1,08	1,05
$\gamma_{c3}$	1,08	1,05

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

35

## resistência do concreto

**ABNT NBR  
6118:2014**

**ACI 318-14**

**$\gamma_c = 1,4$**

**coeficiente redutor ( $\phi$ )**

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: CONPAT 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.*

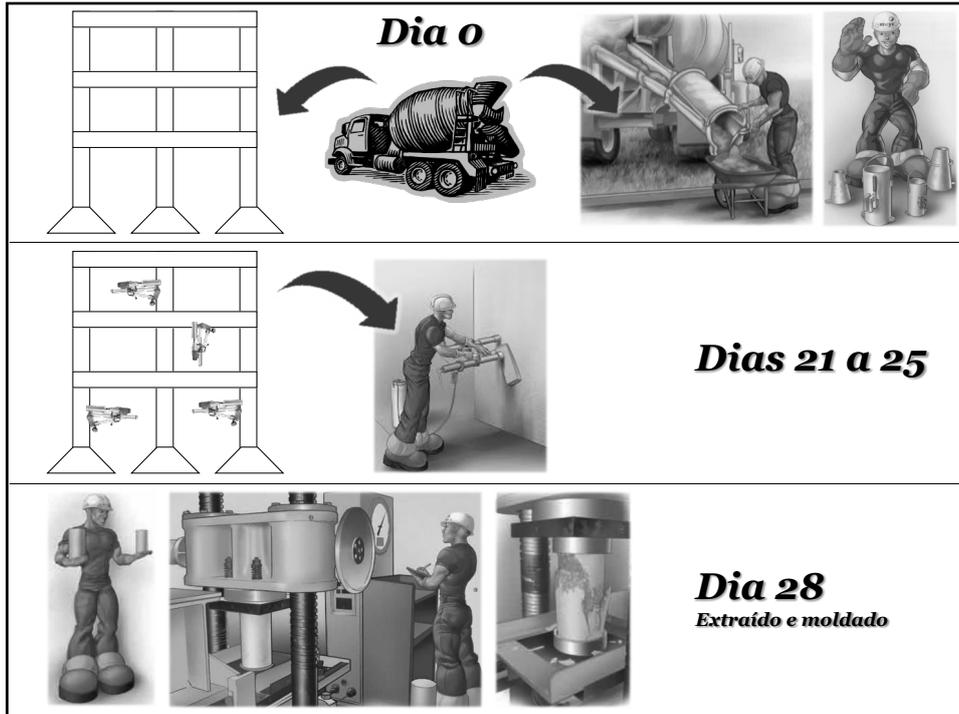
**Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS**

37

## **OBJETIVO**

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do  $\gamma_c$ .
- **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.

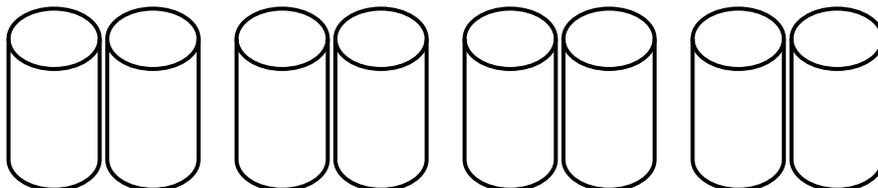
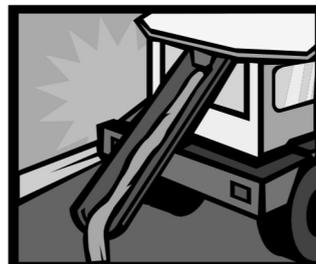
O resultado de ensaio de compressão de um  
testemunho fornece apenas o  $f_{c,ext,j}$  e, portanto,  
ainda não serve para calcular, revisar, verificar  
a segurança

43

## 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

44

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

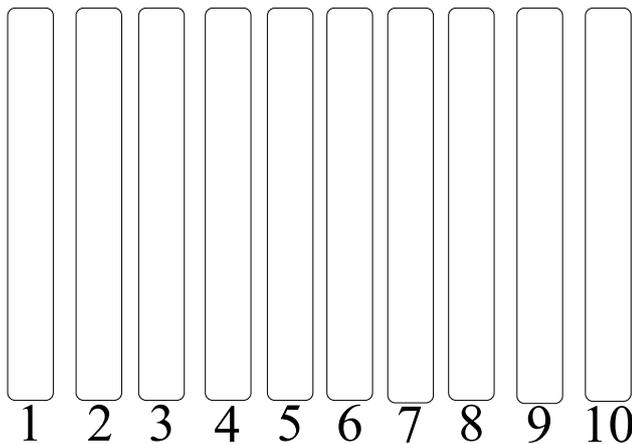
exemplar = mais alto ( $f_{ck}$ )

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

**“potencial do concreto”**

45

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



$f_{ck}$   
**45MPa**

46

**“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

47



48



49

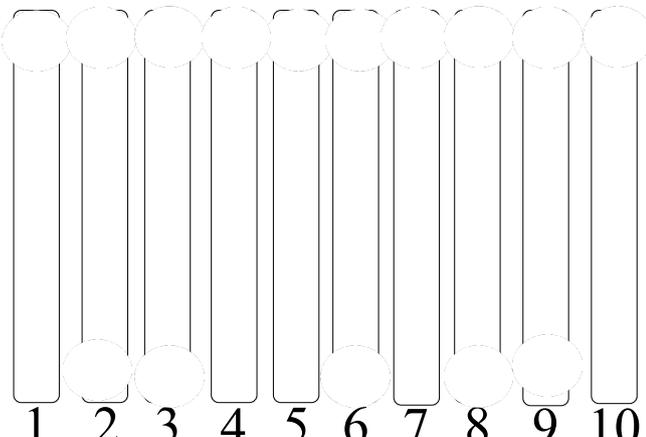
“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$f_{ck}$   
**45MPa**

50

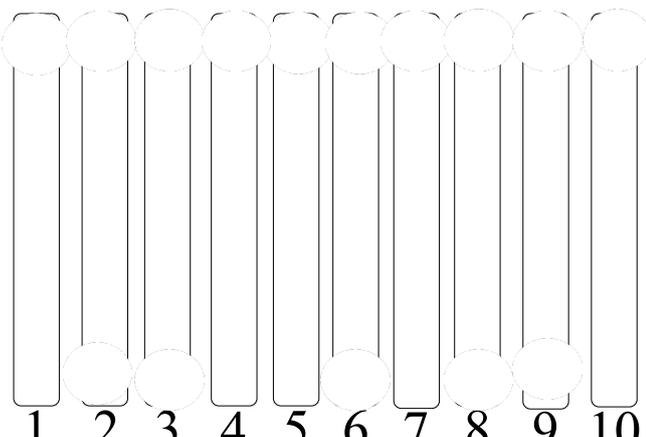
“exsudação”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



$f_{ck}$   
**45MPa**

51

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

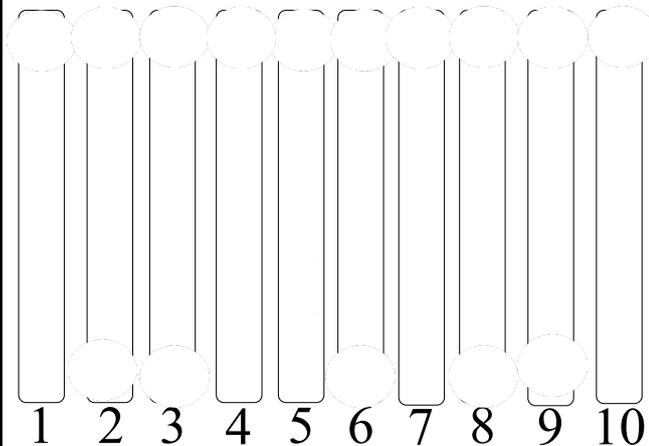


$f_{ck}$   
**45MPa**

52

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

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

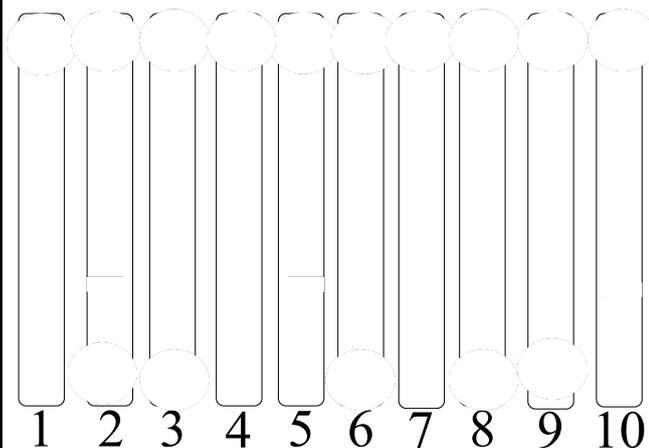


**terço inferior**

53

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



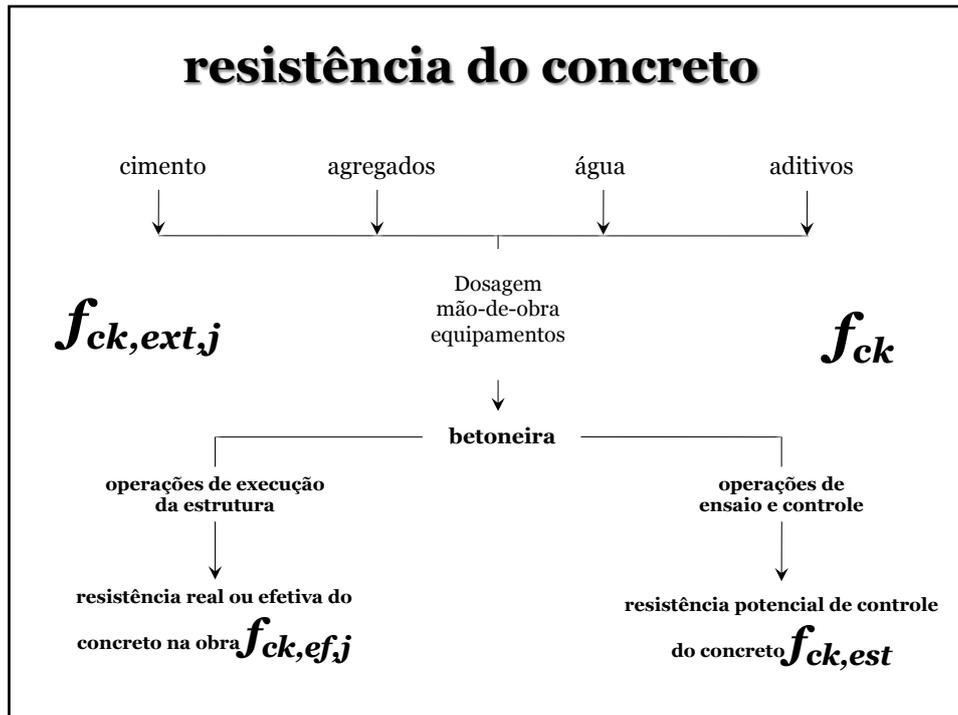
**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

54



55

## 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.**

56

**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....*

57

**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%

58

## 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

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

59

## Resumo Normas Internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança
  - ✓ novo coeficiente de minoração da resistência do concreto,
  - ✓ novo coeficiente  $\beta$  de confiabilidade

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

60

## Problema

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

61

## 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;

62

## ***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;

$k_3$  = ...

$k_4$  = ...

63

## **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***

64

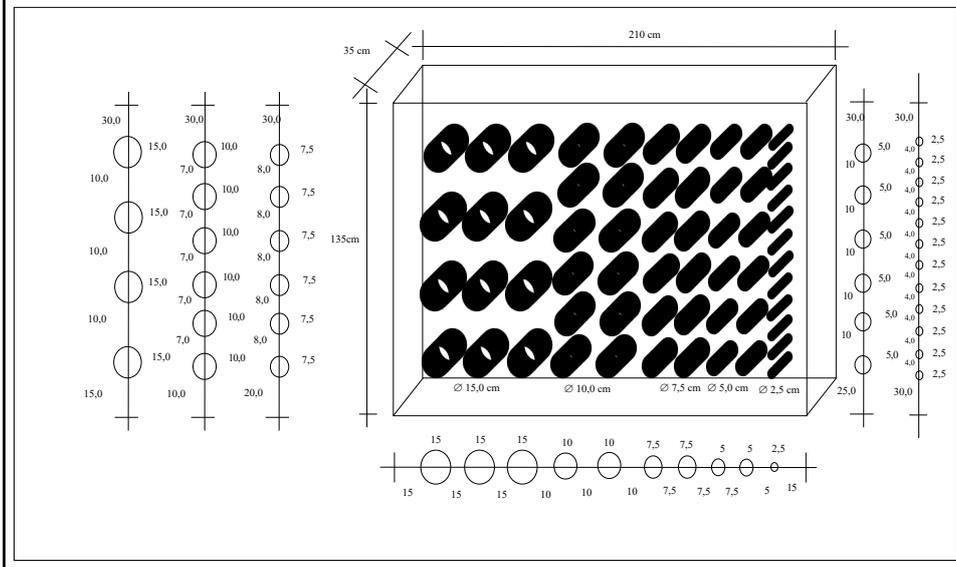


65



66

## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



67



68

## Conclusão

Média geral:

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

69

## ***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***

70

## **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;

71

**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*

72

**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.

73

**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, ...

74

# Incertezas ...

# Desconhecimentos ...

75



## 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	...

76

## 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) $\gamma_{c,Red4} = 1,19$
<b>20,4</b>	<b>19,4</b>	<b>19,4</b>	<b>21,0</b>	<b>19,7</b>	<b>19,3</b>	<b>22,7</b>

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

77

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

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

**NÃO**

**voltar a 28dias !**

**COMO ???**

78

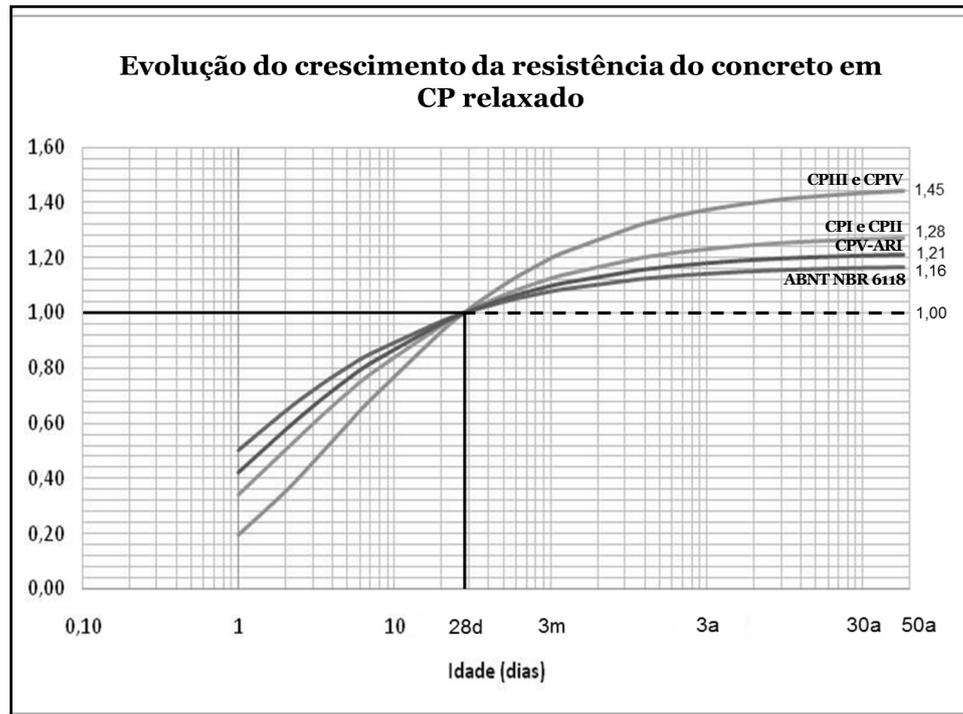
onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

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

79

### Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



80

## 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

81

## Considerações *(Comunidades TQS e Bahia)*

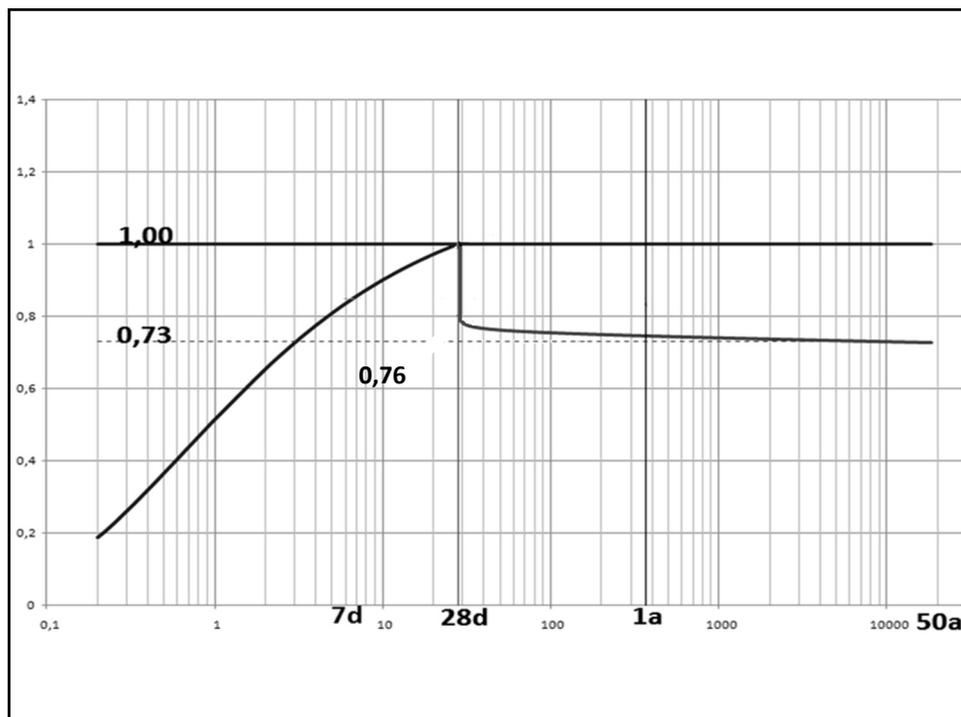
1. Qual a carga que realmente começa a reduzir a resistência?
2. Modelo para uma condição idealizada de laboratório?
3. Qual a história efetiva de carregamento?
4. Teria influência a cura, adensamento, temperatura, UR, cargas cíclicas, ...

82

# Incertezas ...

## Desconhecimentos ...

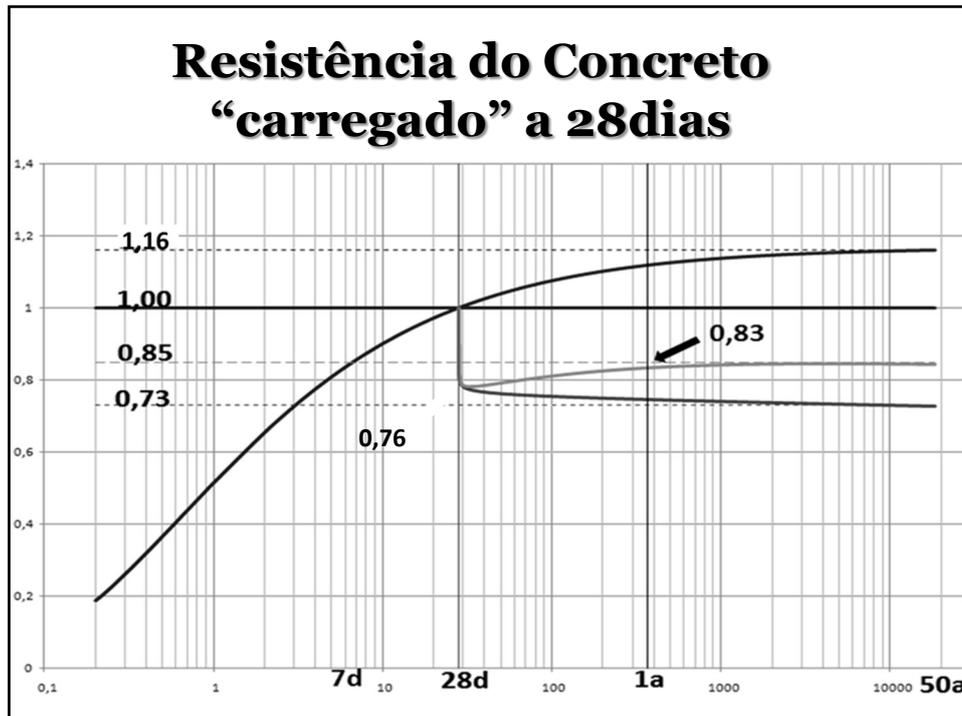
83



84

# Combinando crescimento com decréscimo a partir de 28dias ?

85



86

## 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;

87

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Retorno a 28 dias

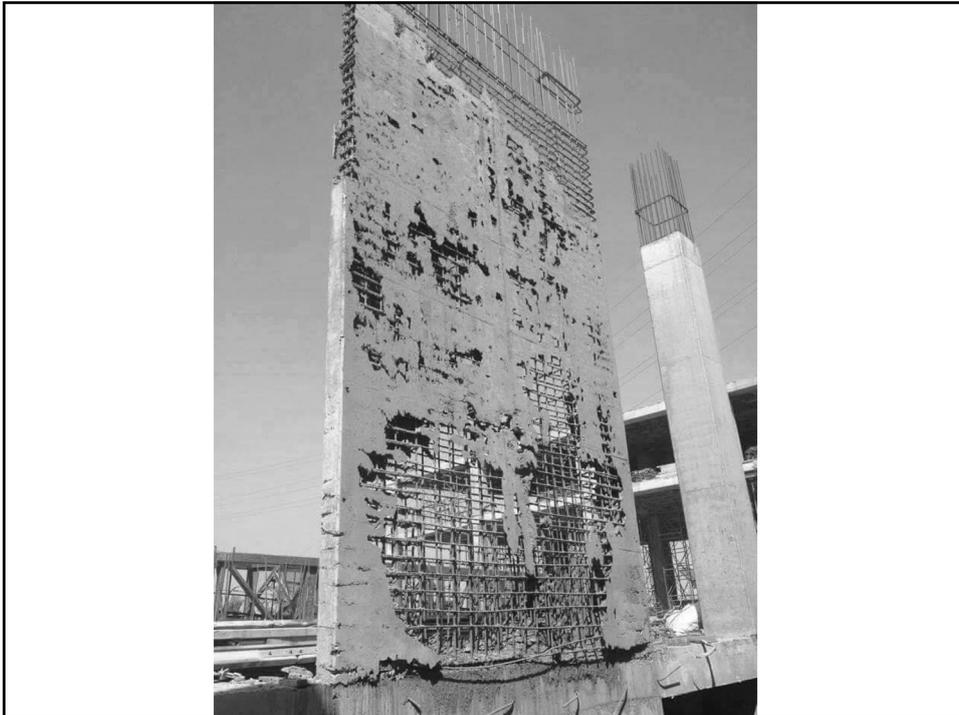
$$k_5 = \left\{ e^{0.16 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)} \right\}^{-1}$$

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

88

# qualidade e segurança da obra...

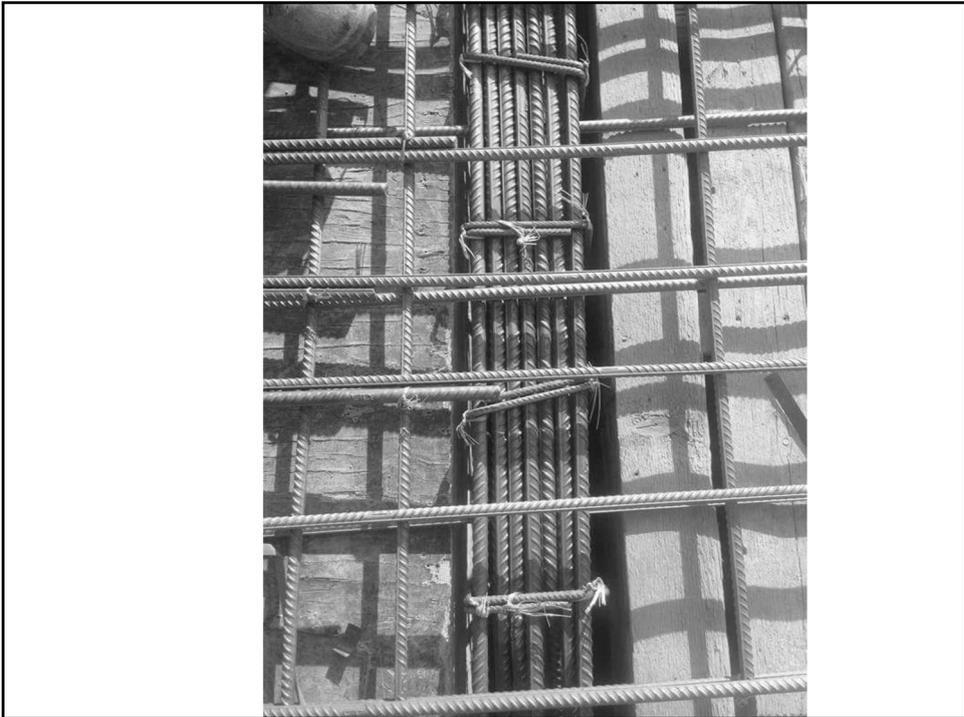
89



90



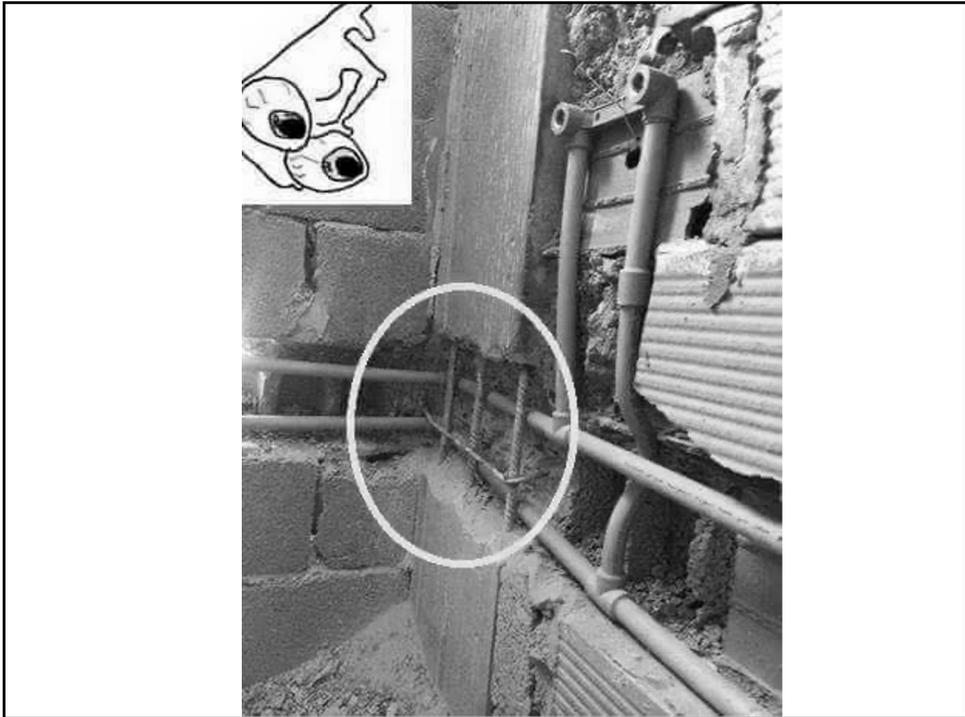
91



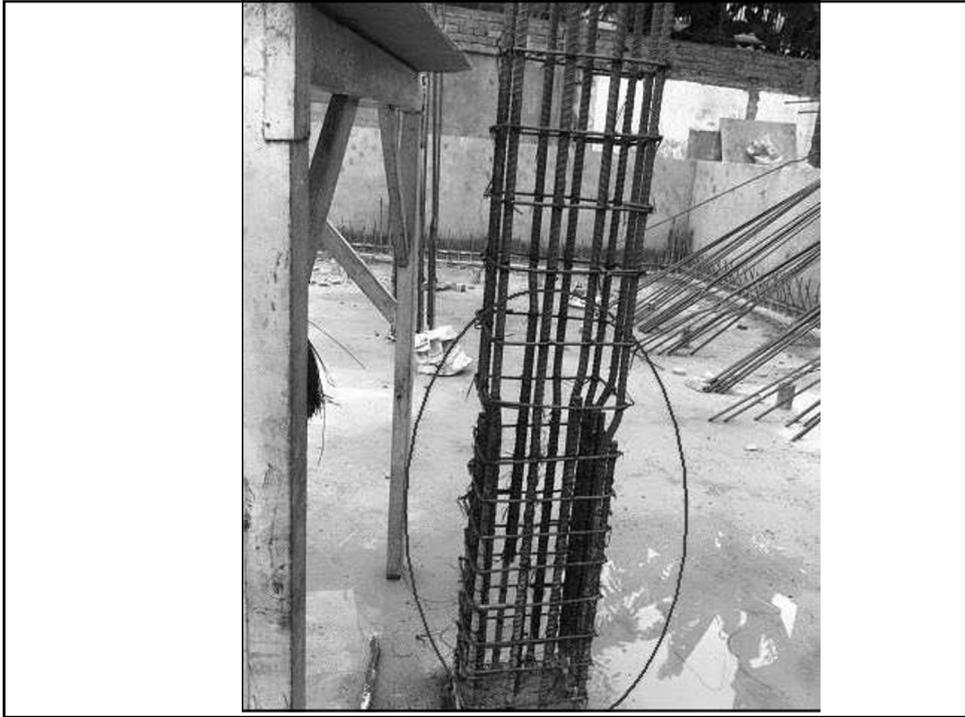
92



93



94



95



96



97

## **Conformidade do Concreto**

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

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

98

## 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...”***

99



100