

WORKSHOP TÉCNICO - RIBEIRÃO PRETO  
PREVENÇÃO DE ACIDENTES E DANOS  
EM CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

# Afinal, qual é a resistência do concreto para fins de verificação da segurança?



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**Paulo Helene**

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

Auditório FAAP

21 de novembro de 2017

Ribeirão Preto/SP

1



## Normalização Brasileira

**ABNT NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;

**ABNT NBR 6120:1980 Versão Corrigida:2000** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;

**ABNT NR 6122:2010** – Projeto e execução de fundações;

**ABNT NBR 6123:1988 Versão Corrigida 2:2013** – Forças devidas ao vento em edificações;

**ABNT NBR 7188:2013** – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;

**ABNT NBR 8681:2004 Versão Corrigida:2004** – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;

**ABNT NBR 9062:2017**– Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;

**ABNT NBR 15200:2012** – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;

**ABNT NBR 15421:2006** – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;

**ABNT NBR 15575:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho;

2

# Normalização Internacional

**ACI-318-14** – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary;

**EN 1991 EUROCODE 1** – Actions on structures:

- Part 1-1: General actions – Densities, self-weight and imposed loads;
- Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire;
- Part 1-3: General actions – Snow loads;
- Part 1-4: General actions – Wind actions;
- Part 1-5: General actions – Thermal actions;
- Part 1-6: General actions – Actions during execution;
- Part 1-7: General actions – Accidental actions;



**EN 1992 EUROCODE 2** – Design of concrete structures:

- Part 1-1: General – Common rules for building and civil engineering structures;
- Part 1-2: General – Structural fire design;
- Part 2: Bridges;
- Part 3: Liquid retaining and containment structures;



**fib** Model Code for Concrete Structures 2010;



**Bulletin fib n.º 63** – Design of precast concrete structures against accidental loads;

**Bulletin fib n.º 61** – Design examples for strut-and-tie models;

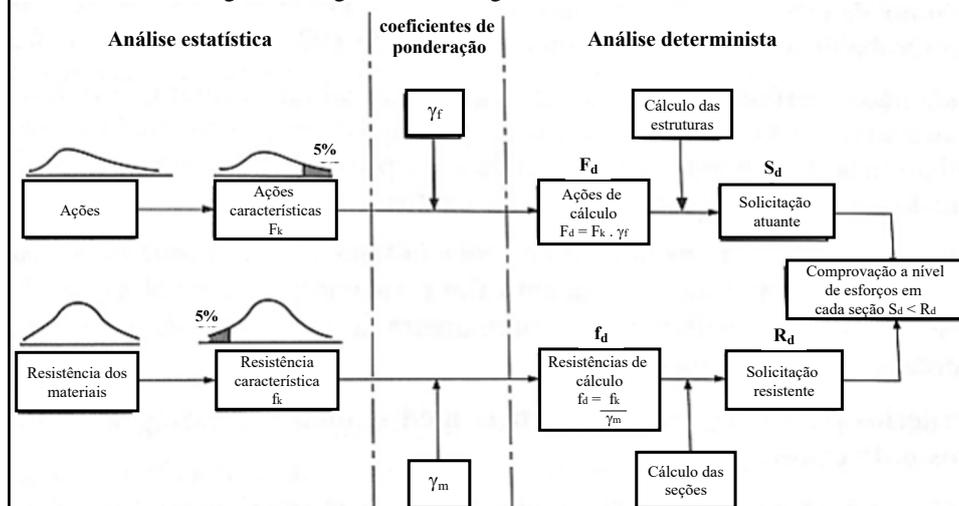
**Bulletin CEB n.º 223** – Ultimate limit state design models;

**ISO 2211:2007** – Basis for Design of Structures. General Requirements.



3

## Ações e segurança nas estruturas Método semi probabilista – ABNT NBR6118:2014 Partial factor format – fib Model Code 2010



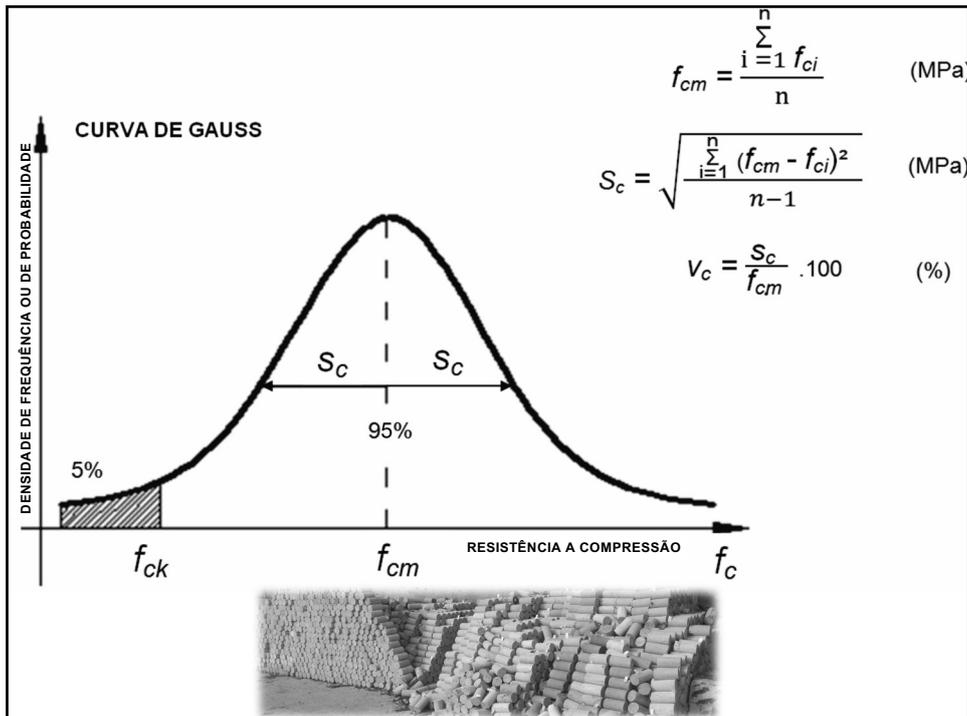
**Seqüência para dimensionamento de estruturas pelo método semi probabilista (NBR 6118:1978)**

4

# O que é a Resistência Característica à Compressão $f_{ck}$ ?



5



6

# Qual é o referencial de resistência à compressão do concreto, $f_{ck}$ ?

7



8

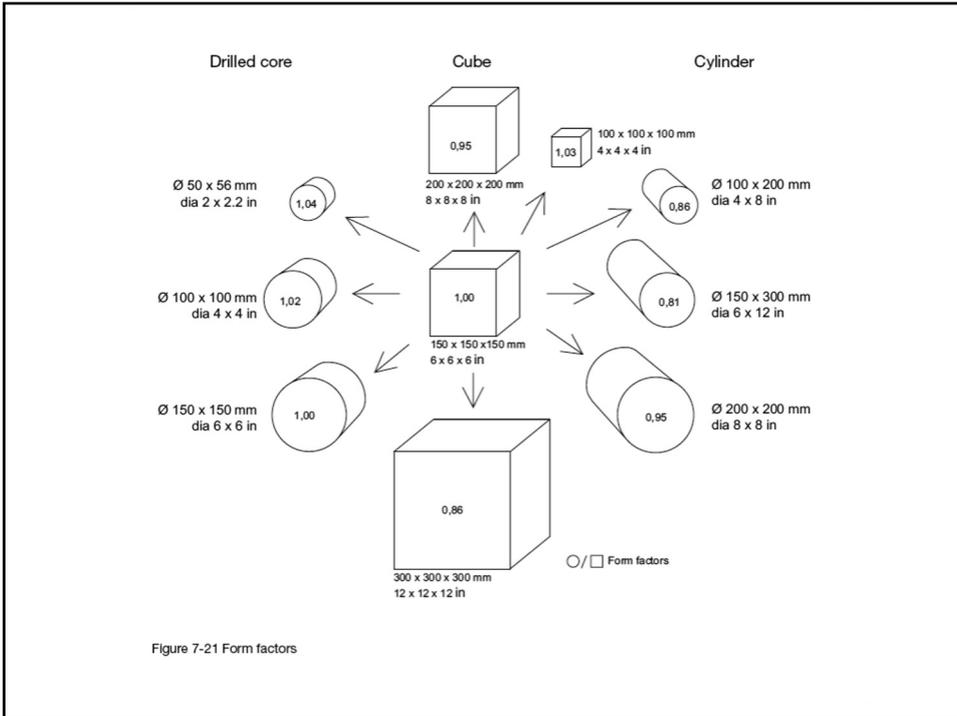


Figure 7-21 Form factors

9



10



11



12

## **Ações e segurança nas estruturas**

### **ABNT NBR 8681:2004**

**Ações majoradas:**

$$F_d = F_k * \gamma_f$$

**Resistências minoradas:**

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

13

## **Ações e segurança nas estruturas**

### **ABNT NBR 8681:2004**

**Coefficiente de minoração das resistências**

$$\gamma_m (\gamma_c \& \gamma_s)$$

$$\gamma_c = \gamma_{c1} * \gamma_{c2} * \gamma_{c3}$$

$\gamma_{c1}$  → considera variabilidade da resistência efetiva na estrutura

$\gamma_{c2}$  → considera as diferenças entre a resistência efetiva do concreto na estrutura e a resistência potencial do CP.

$\gamma_{c3}$  → considera as incertezas na determinação das solicitações resistentes, devido ao método construtivo ou método de cálculo empregado

14

# Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural  
segundo a NBR6118:2007

1. Para fins de cálculo:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{1,4} * 0,85 = 0,60 * f_{ck}$$

15

# Ações e Segurança

NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

para  $f_{ck} = 30$  MPa  $\rightarrow f_{ck,ef}$  (estrutura)  $\approx 18,2$  MPa

para  $f_{ck} = 50$  MPa  $\rightarrow f_{ck,ef}$  (estrutura)  $\approx 30,3$  MPa

16

## Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural  
segundo a NBR6118:2007

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,16 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1,16 \rightarrow$  crescimento relativo da resistência de  
28dias a 50anos

$\beta_2 = 0,73 \rightarrow$  decréscimo relativo da resistência à  
compressão do concreto devido à carga aplicada  
aos 28dias e mantida até 50anos

17

## Premissas

Como **crece** a  
resistência com o tempo  
a partir de 28dias ?

Direitos Reservados 2010

18

18

concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

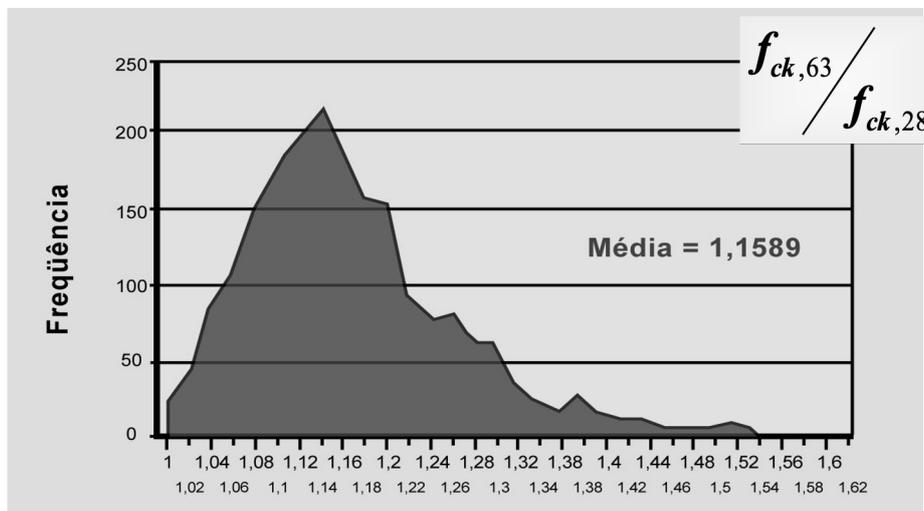
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s*(1-\sqrt{\frac{28}{j}})}$$

CPV ARI	s = 0,20	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	s = 0,25	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	s = 0,38	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	s = 0,1545	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

19

## Análise

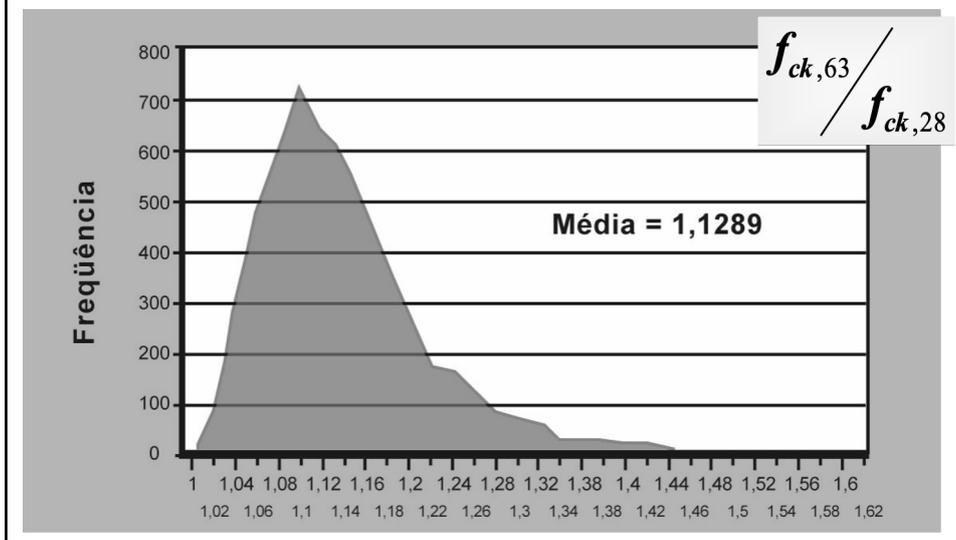
2.046 Registros Analisados, CP III



20

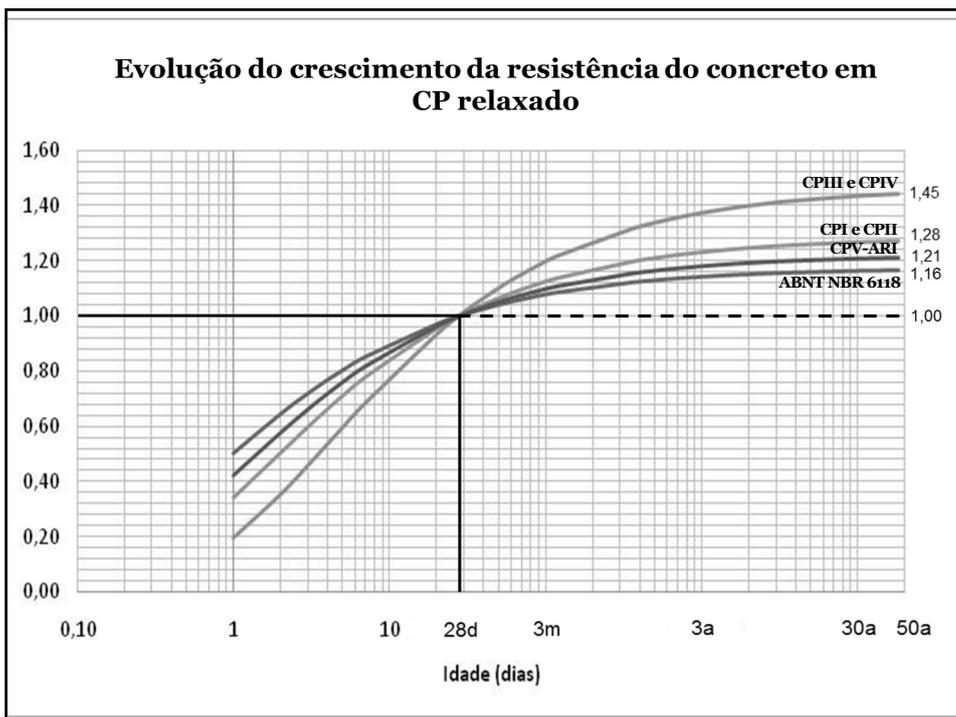
# Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



21

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



22

## Premissas

**Como decresce a  
resistência com o  
tempo a partir de  
28dias ?**

23

## Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - t_0)\}}$$

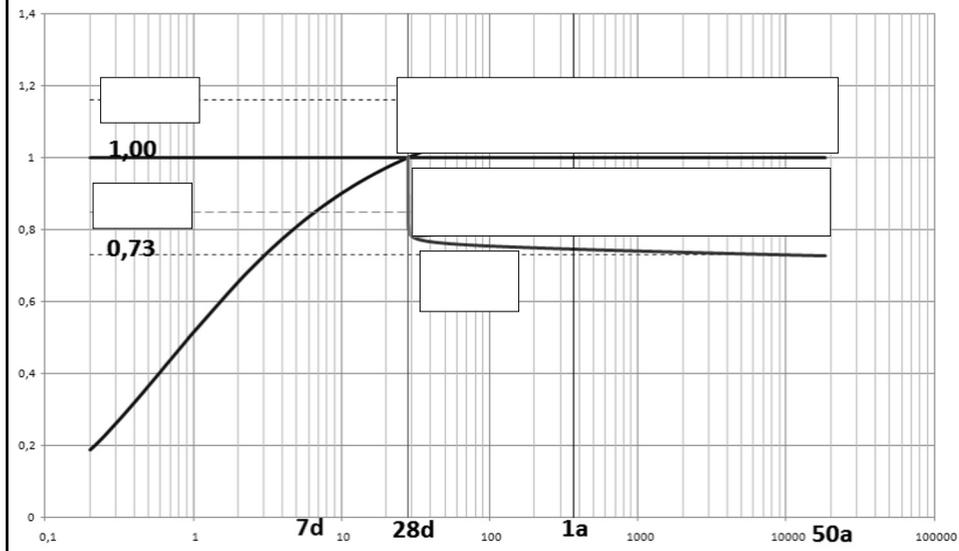
→  $j$  em dias

→  $t_0$  → idade de aplicação das cargas

→  $j - t_0 > 15$  minutos

24

## Decréscimo da Resistência



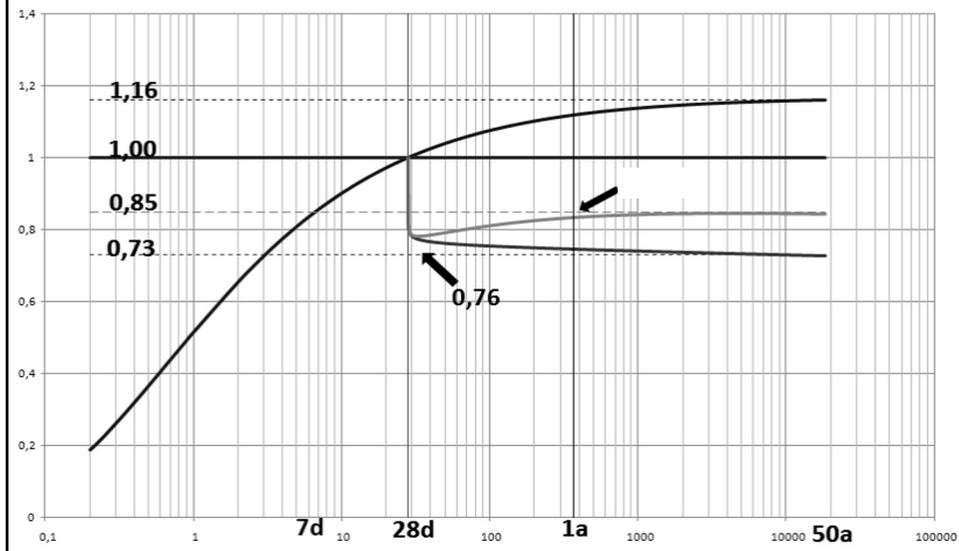
25

## Premissas

Combinando crescimento  
com decréscimo a partir  
de 28dias ?

26

## Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



27

## NÃO CONFORMIDADES

*ABNT NBR 7680:2015*

*“Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto”*

28

**ABNT NBR7680:2015  $f_{ck,ext,j}$**

**ABNT NBR 6118:2014  $f_{ck}$**

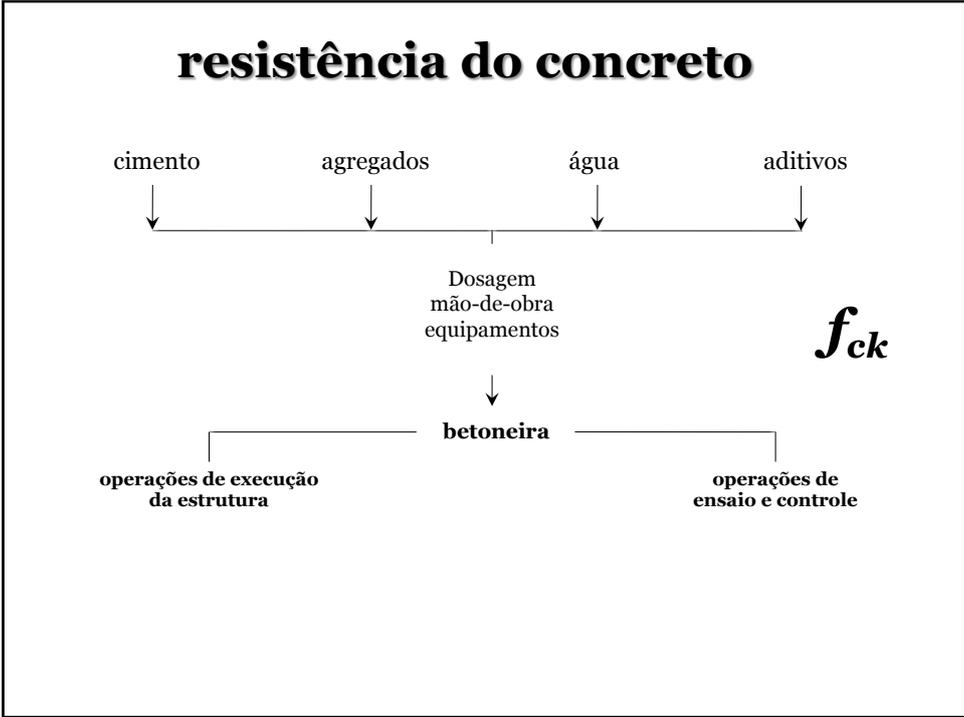
**ABNT NBR 12655:2015  $f_{ck,est}$**

**referencial de segurança  
 $f_{ck}$**

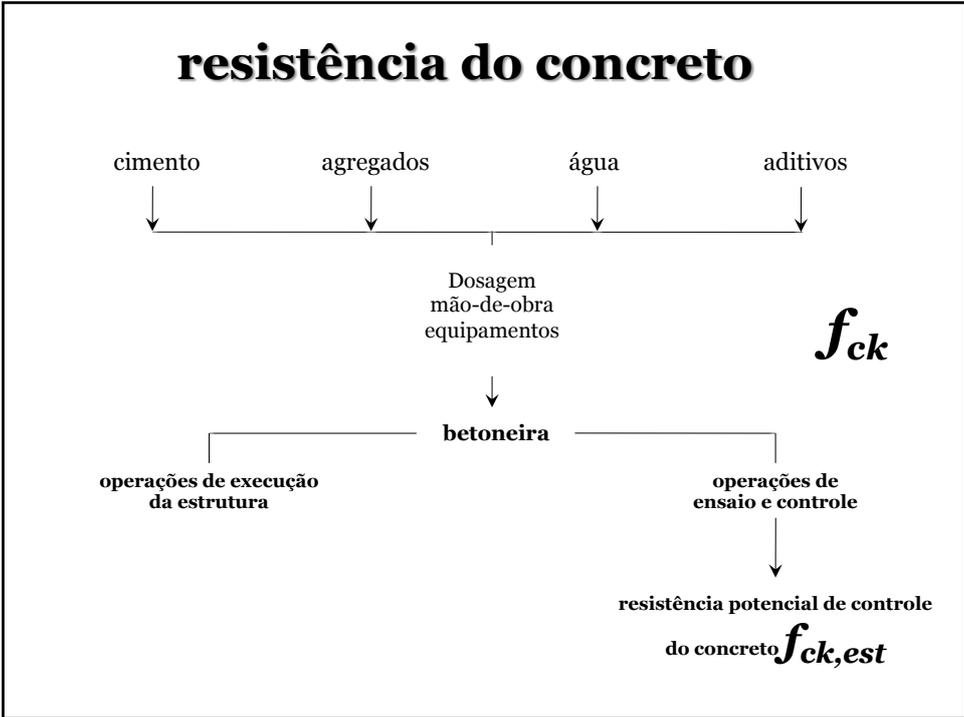
29



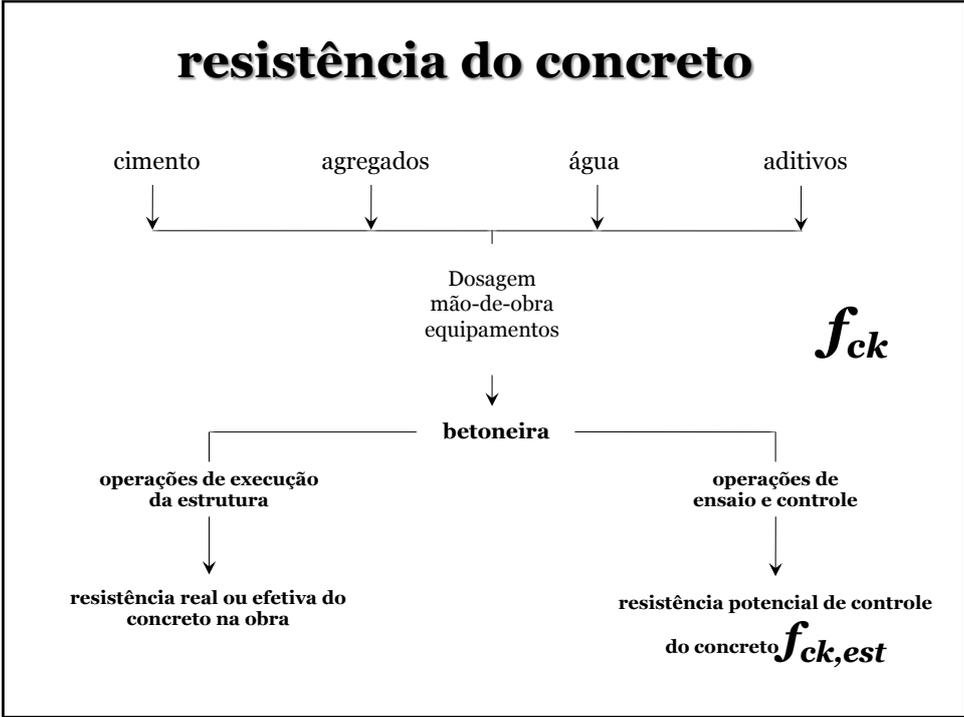
30



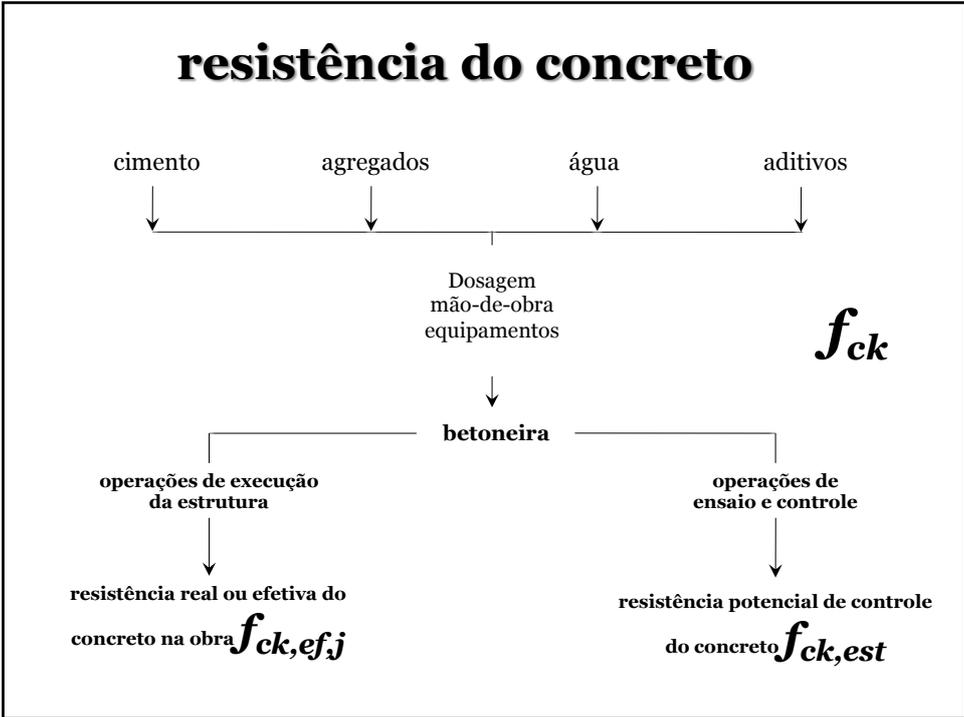
31



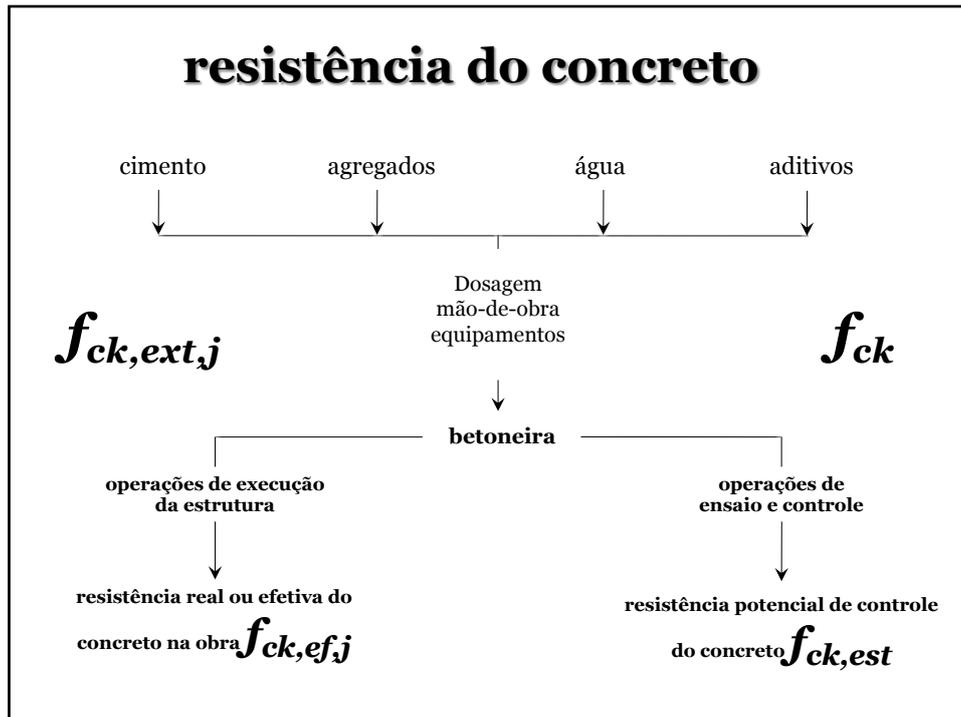
32



33



34



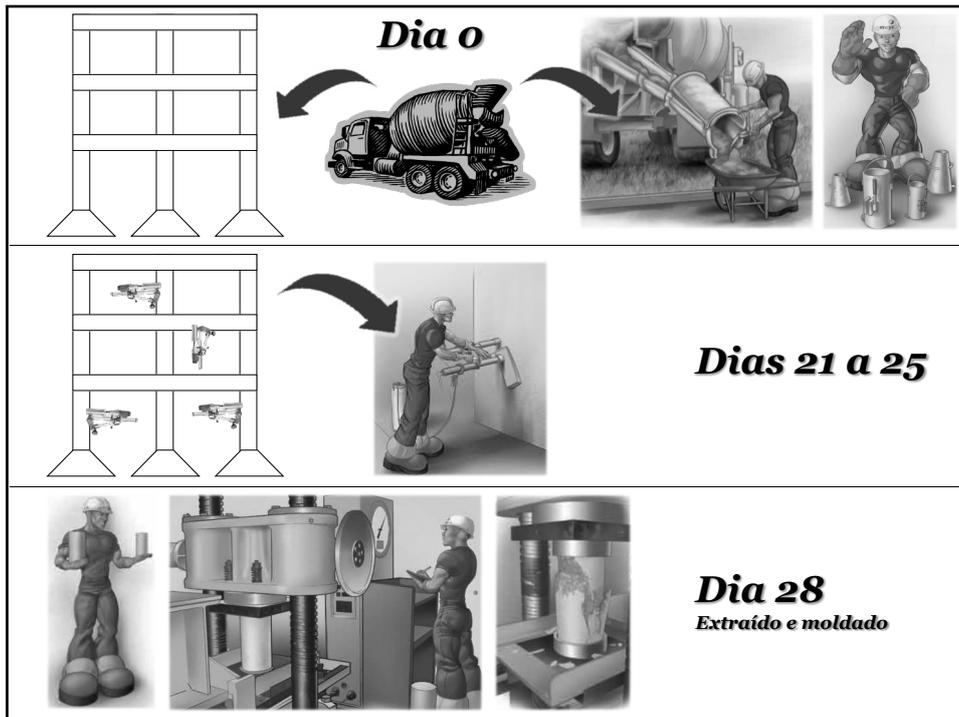
35

## 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**

36



37

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

38

# Preliminares

## Conceitos:

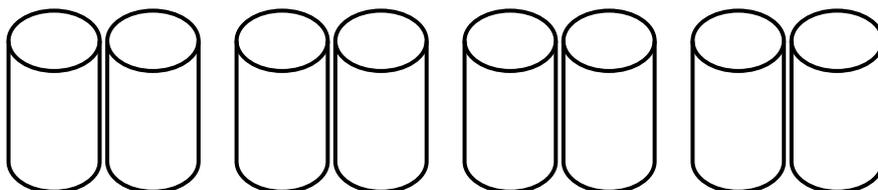
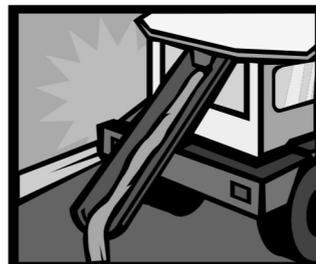
→ qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?

39

## 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

40

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 ( $f_{ck,est}$ )

$$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$$

**“potencial do concreto”**

41

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

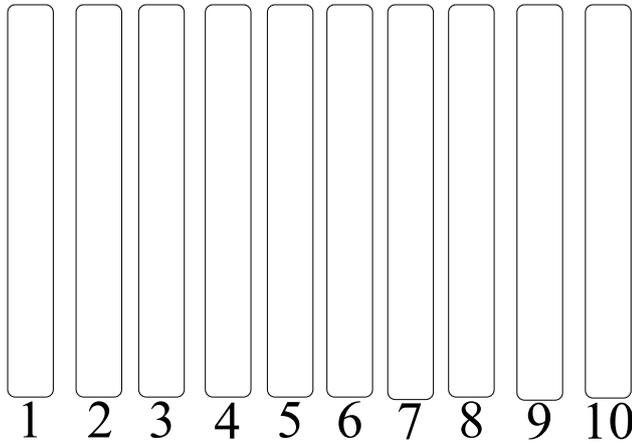
exemplar = mais alto ( $f_{ck,est}$ )

$$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$$

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

42

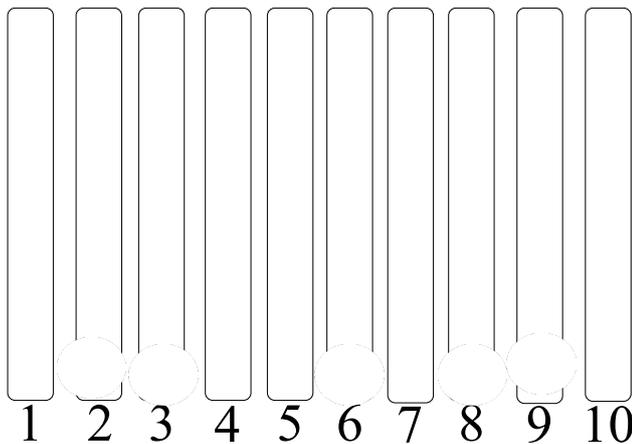
com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



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

43

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



44

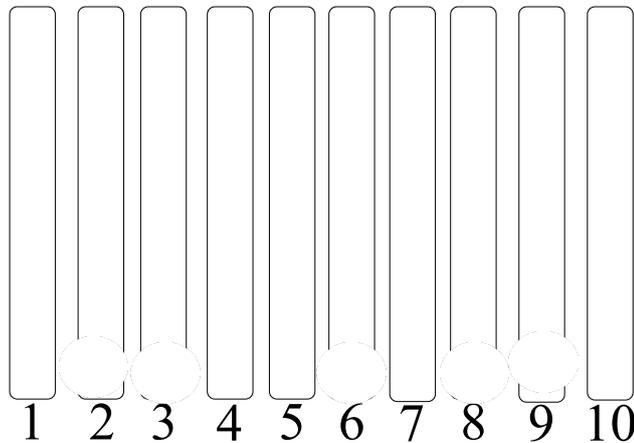


45



46

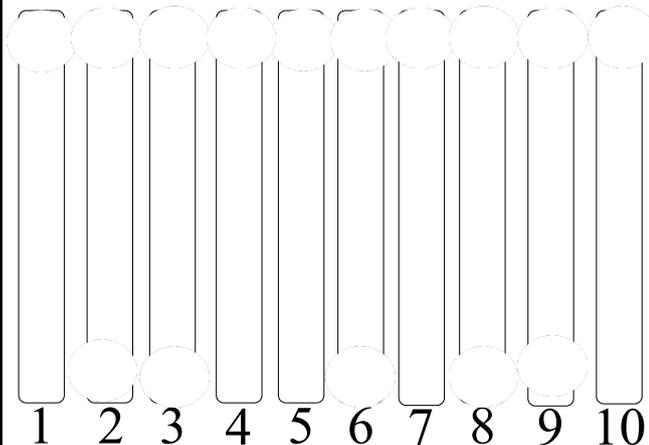
“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



$f_{ck}$   
45MPa

47

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

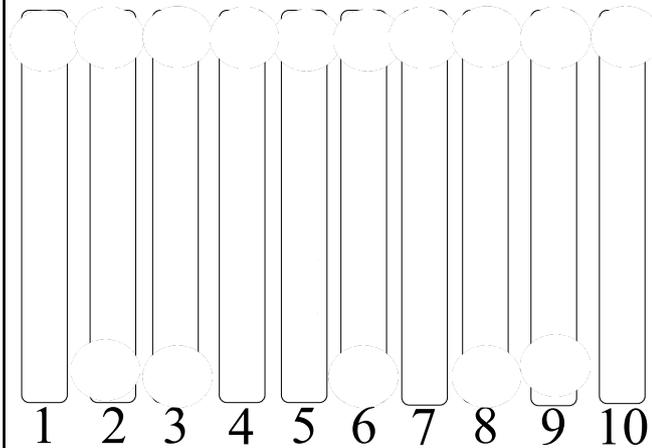


$f_{ck}$   
45MPa

48

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

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

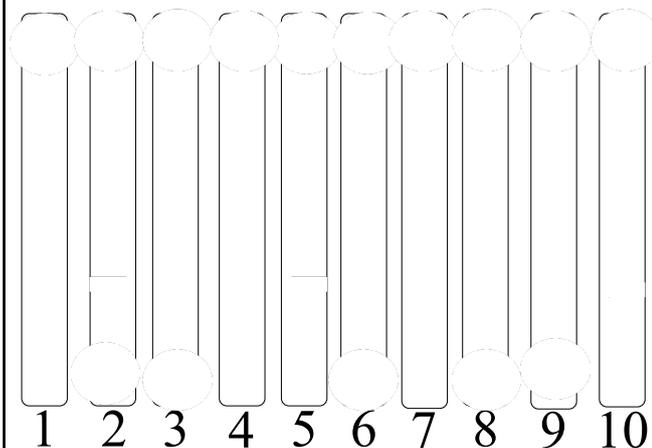


**terço inferior**

49

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

50

## Problema

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

51

## 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;

52

## **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;

$k_3$  = ...

$k_4$  = ...

53

## **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**

54

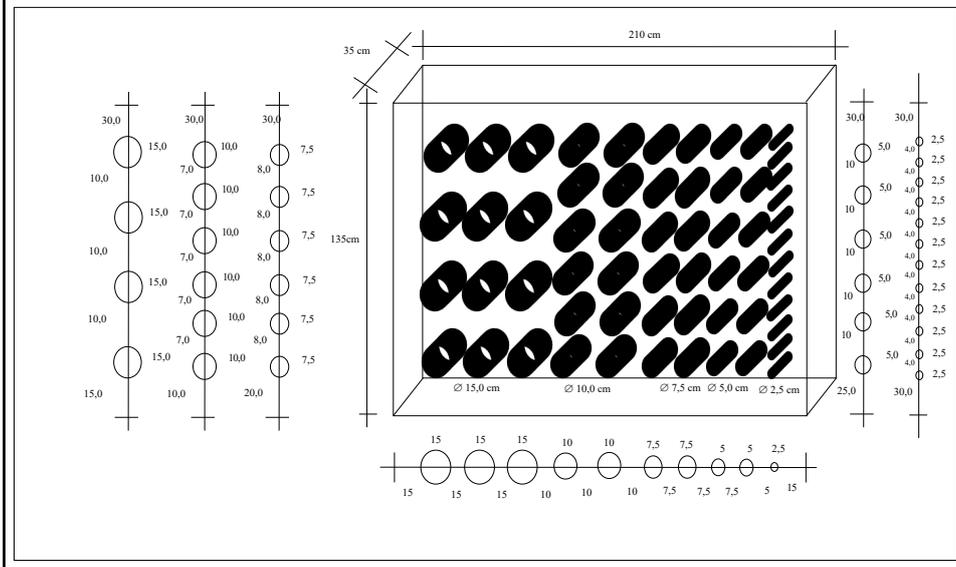


55



56

## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



57



**Parede/bloco perfurada**

58

## Conclusão

Média geral:

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

59

## 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***

60

## **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;

61

**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*

62

**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 test results, consolidation, 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.

63

**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....*

64

## **Considerações**

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, ...

65

## **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

66

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

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

NÃO

voltar a 28dias !

**COMO ???**

67

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

## Crescimento da Resistência

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

68

## 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

69

## Considerações

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, carbonatação,...

70

# **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

71

### **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;

72

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

## **Retorno a 28 dias**

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

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

73

## **PROJETO**

*ABNT NBR 6118:2014*  
*“Projeto de estruturas de concreto –*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,*  
*controle, recebimento e aceitação -*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 15575-1:2013*  
*“Edificações habitacionais – Desempenho*  
*Parte 1: Requisitos gerais”*

74

## Parque da Cidade - SP



75

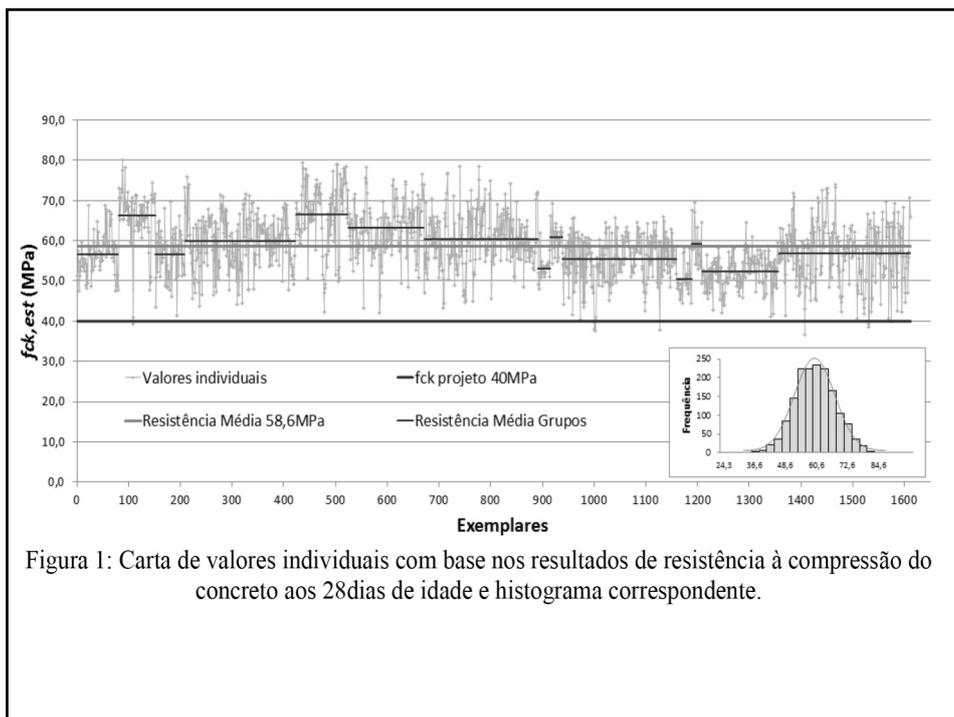


Figura 1: Carta de valores individuais com base nos resultados de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade e histograma correspondente.

76

A carta apresenta 1.611 resultados de resistência à compressão, obtidos ao longo de 2anos e 9meses. Estes resultados variaram de 36,6MPa a 80,1MPa, com média de 58,6MPa. Foram constatados 11(onze) resultados abaixo da resistência especificada em projeto ( $f_{ck} = 40\text{MPa}$ ), ou seja, cerca de 0,7% do total de caminhões, sendo o menor valor obtido equivalente a  $0,91*f_{ck}$ .

O desvio padrão das operações de produção e ensaio obtido foi  $s_c = 6,6\text{MPa}$  e o coeficiente de variação  $V_c = 11,2\%$ . De acordo com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 12655, esse desvio padrão da produção é elevado e não compatível com produção de concreto em usina, classe A. Entretanto, segundo o ACI 214 subitem 4.5 “Standards of control”, para concretos de  $f_{ck} \geq 35\text{MPa}$  (caso em questão), o coeficiente de variação ( $V_c$ ) é o parâmetro que deve ser usado para qualificar ou classificar o rigor de produção do concreto, conforme apresentado na Tabela 4, e nesse caso a produção pode ser classificada com rigor bom/razoável.

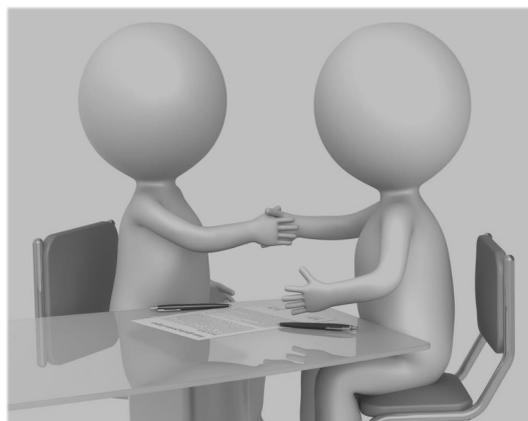
Tabela 4. Coeficiente de variação das operações de produção e ensaio ( $V_c$ ), ACI 214.

Tipo de Serviço	Padrão de Controle				
	Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Deficiente
Controle em canteiro de obras	< 7,0%	7,0% a 9,0%	9,0% a 11,0%	11,0% a 14,0%	> 14,0%
Pesquisas em laboratório	< 3,5%	3,5% a 4,5%	4,5% a 5,0%	5,0% a 7,0%	> 7,0%

Ainda, considerando o conceito de resistência característica do concreto descrito no subitem 12.2 da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”, o valor da resistência à compressão desse concreto, obtido diretamente da população, seria de  $f_{ck,5\%} = 46,5\text{MPa}$ . A resistência característica desse concreto adaptado do critério de amostragem parcial da ABNT NBR 12655, seria de  $f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65*s_c = 47,7\text{MPa}$ , apesar que, neste caso, trata-se apenas de uma especulação matemática, pois o critério efetivo a ser utilizado deve ser o de amostragem total a 100%.

77

## como aceitar o concreto ?



78

- ✓ 2 cps para 28 dias (3cps para 28 dias);
- ✓ 1 cp para 7 dias ( $> 0,8 * f_{ck}$  ou  $f_{ck} = 1,25 * f_{c7}$ )
- ✓ 1 cp para 63 dias ( $1,1 f_{ck}$ )

- ✓ Módulo ?
- ✓ Resistividade ?
- ✓ Carbonatação ?
- ✓ Cloretos ?
- ✓ Cor ?

79

## **CONTROLE DE ACEITAÇÃO**

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,  
controle, recebimento e aceitação -  
Procedimento”*

80

**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*

81

**Universo  
População  
Lote**

**amostra**

**unidade de produto  
unidade de controle**

**exemplares**

**corpo de prova**

82

**Unidade de Produto**  
**Unidade de Controle**

**Pneu**



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

83

**Unidade de Produto**  
**Unidade de Controle**

**Bolinha de gude**



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

84

**Unidade de Produto**  
**Unidade de Controle**  
**Concreto**



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

85

**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**

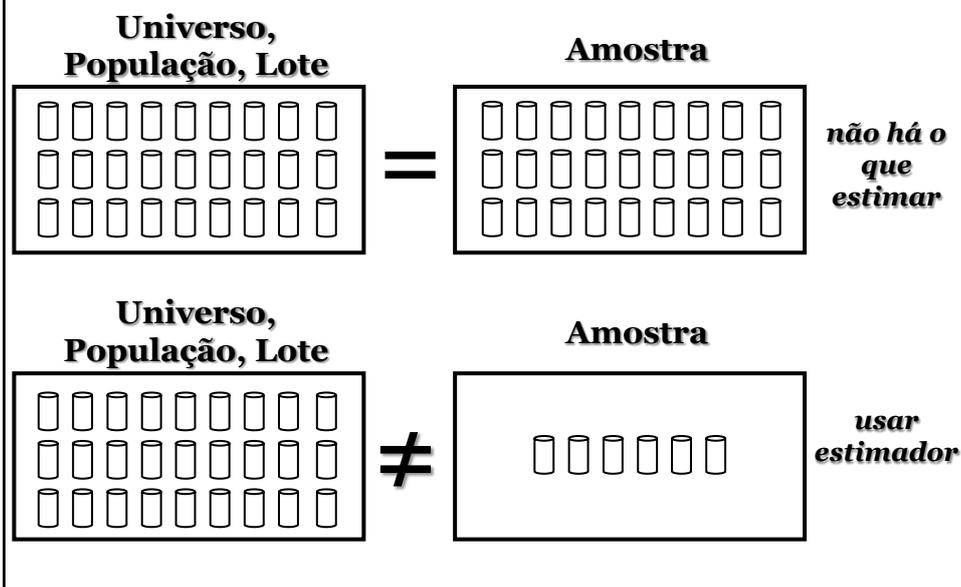
86

## Amostragem ABNT NBR 12655:2015

- ✓ 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.

87

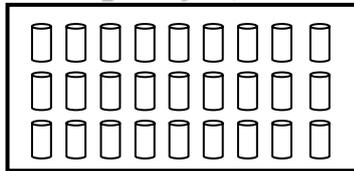
## Amostragem ABNT NBR 12655



88

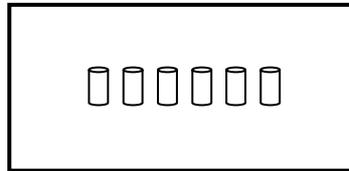
## Amostragem ABNT NBR 12655

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.

89

## Amostragem total ABNT NBR 12655:2015

✓ **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.**

90

## Conformidade dos lotes

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

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

91

## 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;

92

## 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.

93

## 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:

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

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

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

94

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

ACI 318-14:

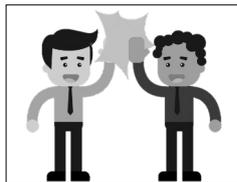
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



95

## *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.**

96

## **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*

97

## **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*.

98

# 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.

99

# 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:

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

100

## Resumo - frequência dos ensaios

<b>ABNT NBR 12655</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a cada 8m³!!</li> </ul>	
<b>ACI 318-14</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ uma vez por dia de concretagem;</li> <li>• ≥ uma vez por cada 115m³ de concreto;</li> <li>• ≥ uma vez por cada 465m² de superfície de lajes ou muros;</li> <li>• dispensado o controle para volumes &lt;38m³</li> </ul>	
<b>EN 206-1:2013</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 3 amostras nos primeiros 50m³;</li> </ul>	
	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 200m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>
	Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 400m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>

101

## Resumo – critérios de aceitação

<b>ABNT NBR 12655</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
<b>ACI 318-14</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}</math> para <math>f_{ck} &lt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}</math> para <math>f_{ck} &gt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{cm3,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
<b>EN 206-1:2013</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 4</math>;</li> <li>• <math>f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4</math></li> <li>• <math>f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma</math></li> </ul>

102

## 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 50m<sup>3</sup> e de 100m<sup>3</sup> para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m<sup>3</sup> ou a cada 16m<sup>3</sup> 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  $f_{ck}$

103

# OBRIGADO!



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)**  
**[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)**

11.2501.4822 / 23  
11.9.5045.4940

104