



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP
Programa de Educação Continuada – PECE
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas
Estruturais – Edificações
**GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de
Estruturas de Concreto**

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) Service Life of Concrete Structures*

Escola Politécnica

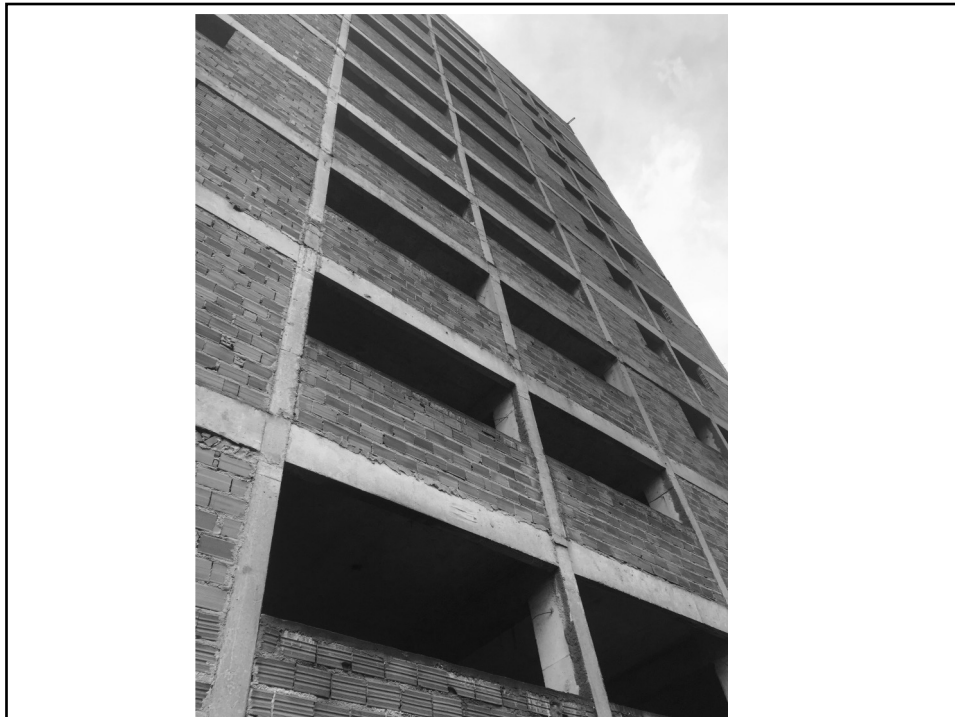
14 de março de 2018

São Paulo SP

1



2



3



Normalização Brasileira

- ABNT NBR 6118:2014*** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120:2000*** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NR 6122:2010*** – Projeto e execução de fundações;
- ABNT NBR 6123:2013*** – 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*** – 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;

4

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;

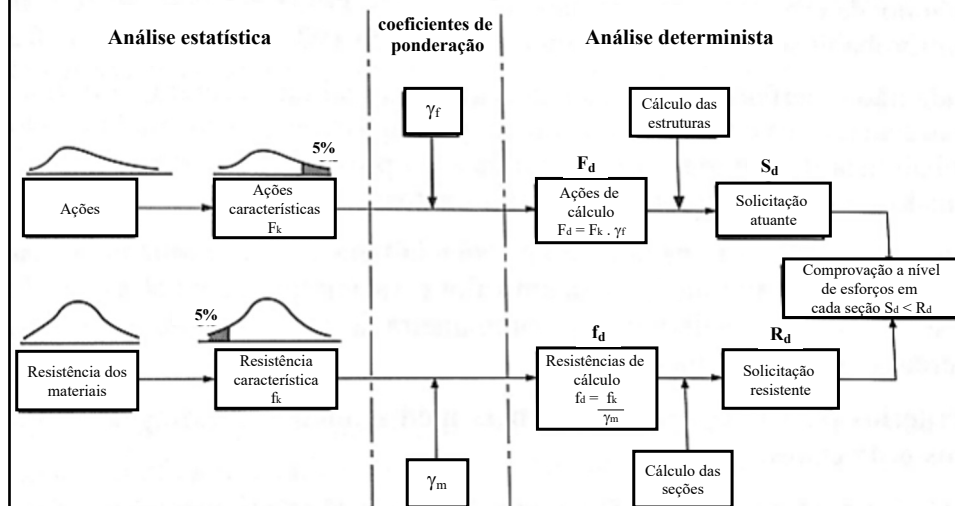


ISO 22111:2007 – Basis for Design of Structures. General Requirements



5

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



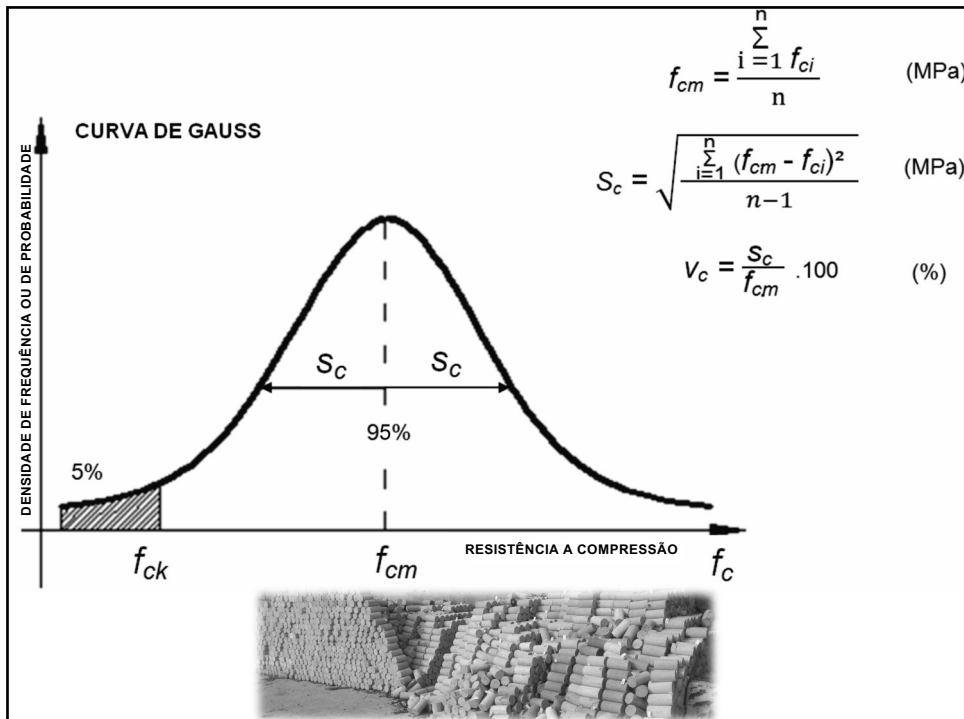
Seqüência para dimensionamento de estruturas pelo método semi probabilista (NBR 6118:1978) ou dos fatores parciais de segurança

6

O que é a resistência característica à compressão do concreto f_{ck} ?



7



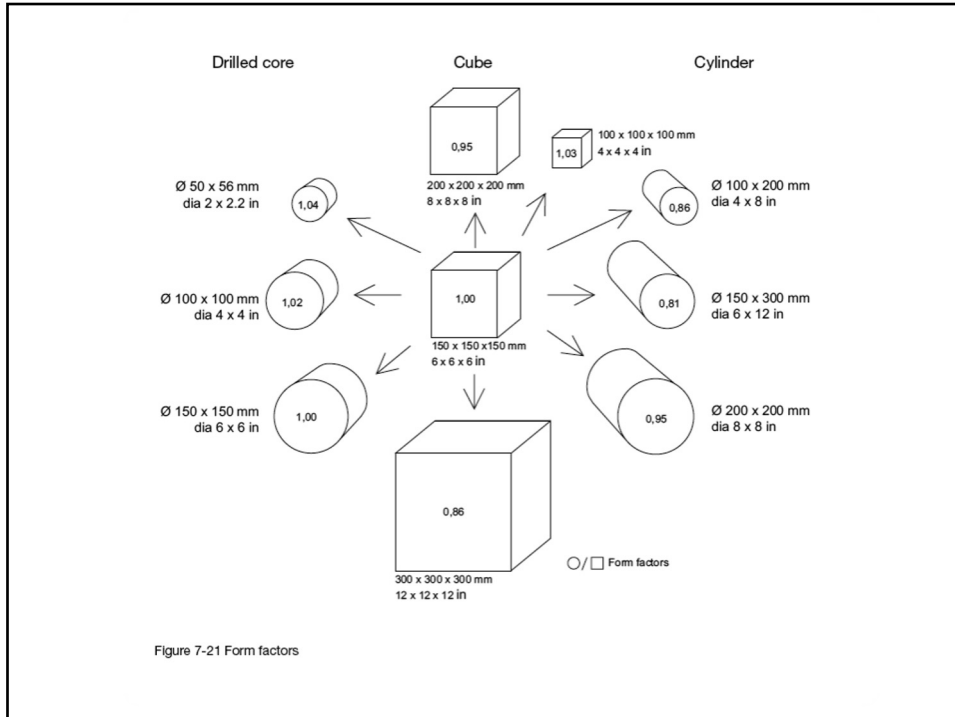
8

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

9



10



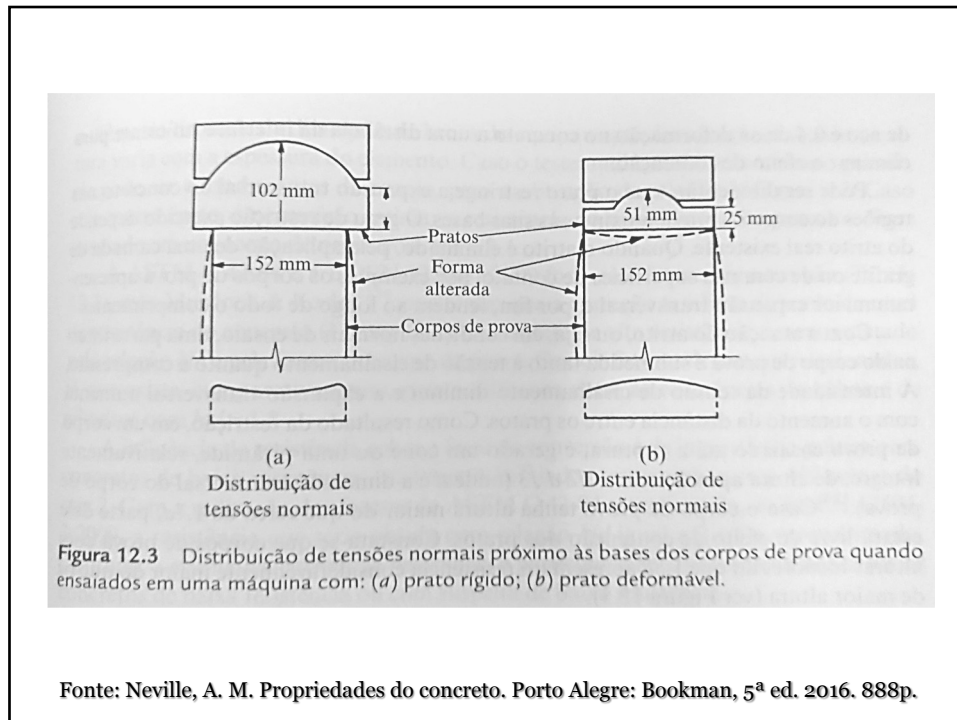
11

Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão em corpo de prova:

Retificado	100%
Capeamento c/ enxofre	≈ 100%
Capeamento c/ nata	≈ 100%
Neoprene (não aderente)	≈ 95%
Escova de aço*	≈ 80%

*Fonte: Neville, A. M. Propriedades do concreto. Porto Alegre: Bookman, 5ª ed. 2016. 888p.

12



13



14

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

Ações majoradas:

$$F_d = F_k * \gamma_f$$

Resistências minoradas:

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

15

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

Coefficiente de minoração das resistências

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

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

γ_{c1} → considera variabilidade da resistência efetiva na estrutura ($\gamma_m=1,23$ a $1,39$)

γ_{c2} → considera as diferenças entre a resistência efetiva do concreto na estrutura e a resistência potencial do CP. ($\gamma_{Rd2} = 1,00$ a $1,05$)

γ_{c3} → considera as incertezas na determinação das solicitações resistentes, devido ao método construtivo ou método/modelo de cálculo empregado ($\gamma_{Rd1} = 1,05$)

16

Coefficientes de minoração da resistência	ABNT NBR 6118:2014	CEB-<i>fib</i> Model Code 2010
$\gamma_c (\gamma_C)$	1,40	1,35 a 1,50
$\gamma_{c1} (\gamma_m)$	1,20	1,23 a 1,39
$\gamma_{c2} (\gamma_{Rd2})$	1,08	1,05
$\gamma_{c3} (\gamma_{Rd1})$	1,08	1,05

Bulletin *fib* 80 Pág. 35 item 4.1.4

- ✓ para coeficiente de variação de 15% → $\gamma_C = 1,50$
- ✓ para coeficiente de variação de 10% ou menos → $\gamma_C = 1,35$

20

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a ABNT NBR 6118:2014

1. Para fins de cálculo:

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

21

Ações e Segurança

ABNT NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

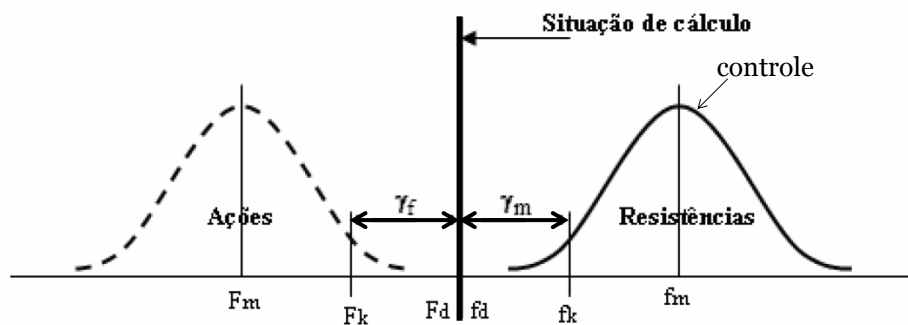
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

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

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

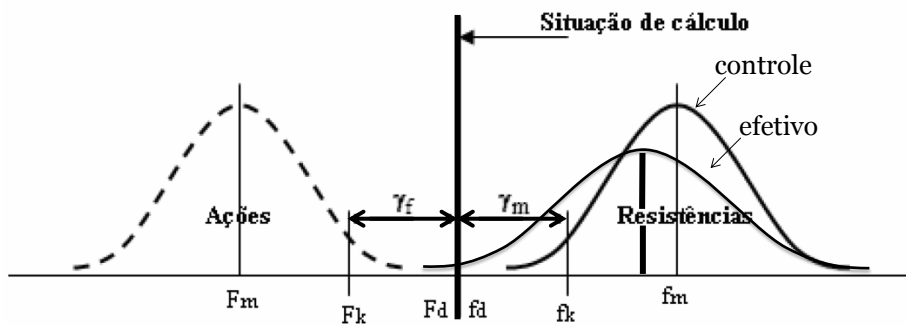
22

Análise Semi-probabilista



23

Análise Semi-probabilista



24

Premissas

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

26

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

*fib Model
Code 2010
Item 5.1.9*

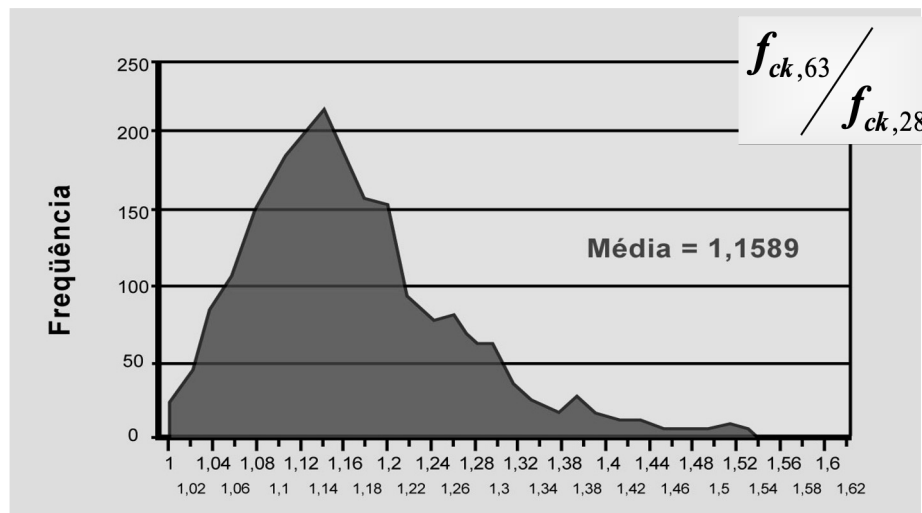
**ABNT NBR
6118:2014
Item 12.3.3**

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos
CPI / II	$s = 0,25$	1,28 → 50anos
CP III / IV	$s = 0,38$	1,45 → 50anos
NBR 6118	$s = 0,16$	1,16 → 50anos

27

Análise *(histórica, década 90)*

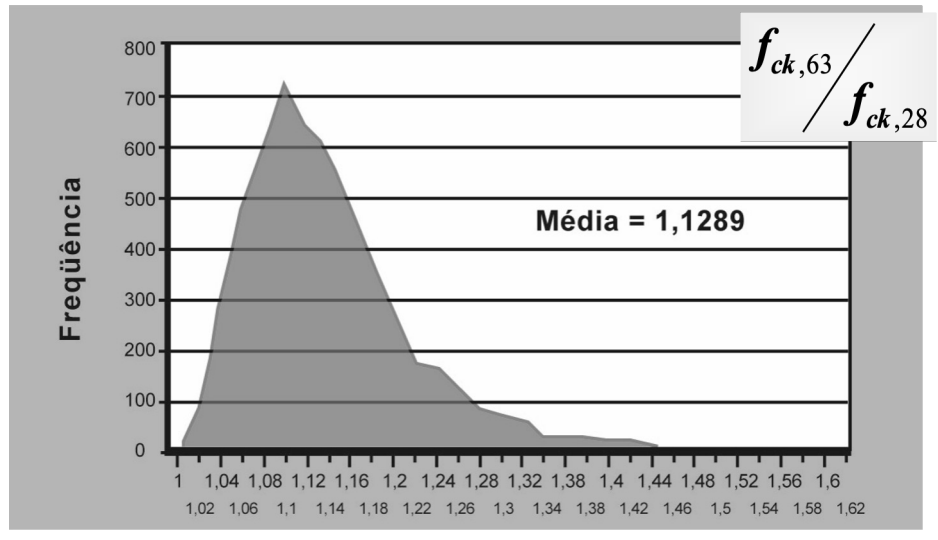
2.046 Registros Analisados, CP III



28

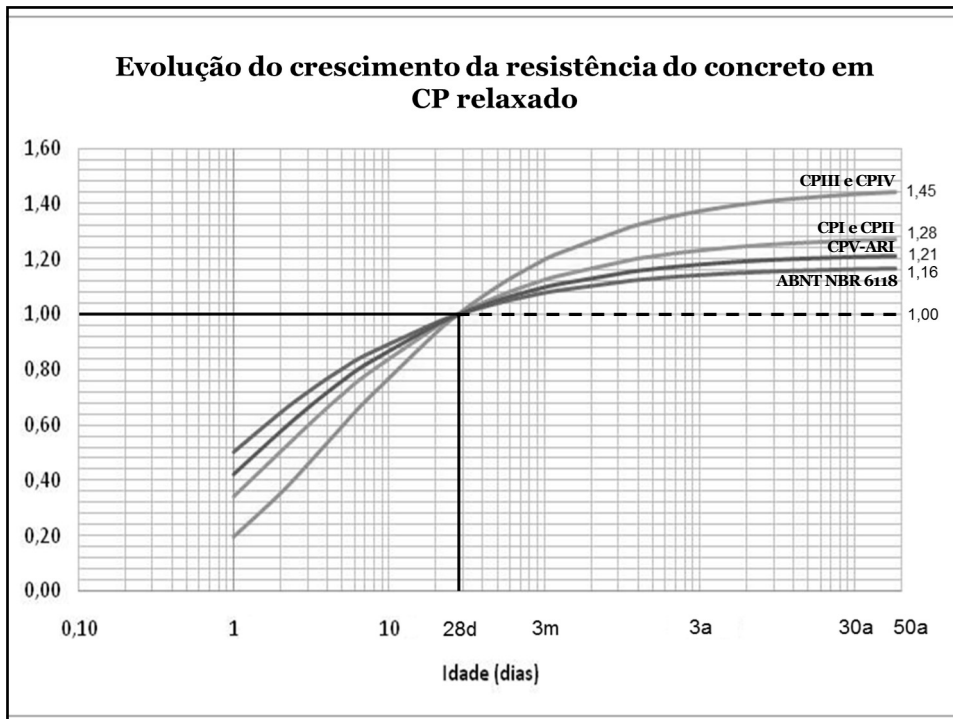
Análise Geral (histórica, década 90)

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



29

Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



30

Premissas

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

31

**Resistência sob Carga de
Longa Duração**
(efeito Rüsçh)

*fib Model
Code 2010
Item 5.1.9.2*

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

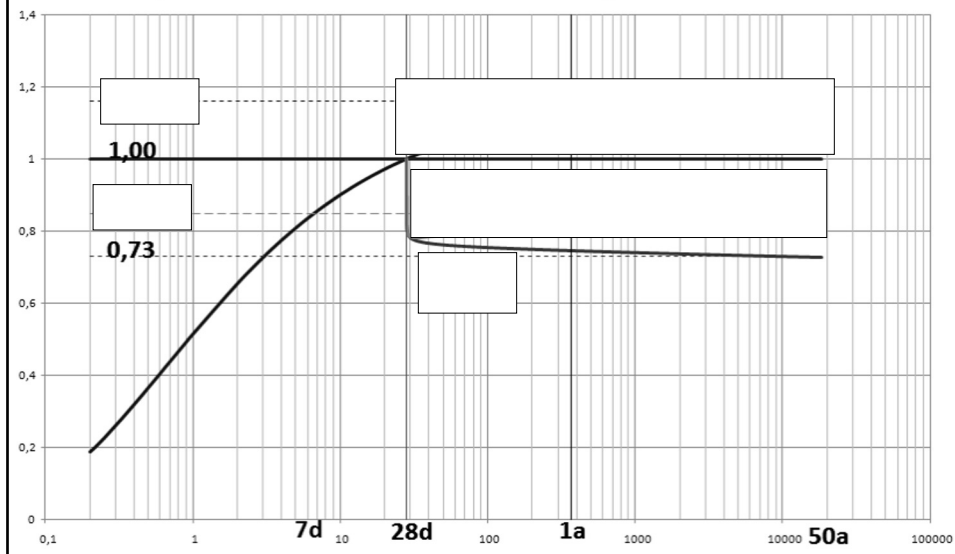
→ **j** em dias

→ **t₀** → idade de aplicação das cargas

→ **j - t₀** > 15 minutos

32

Decréscimo da Resistência



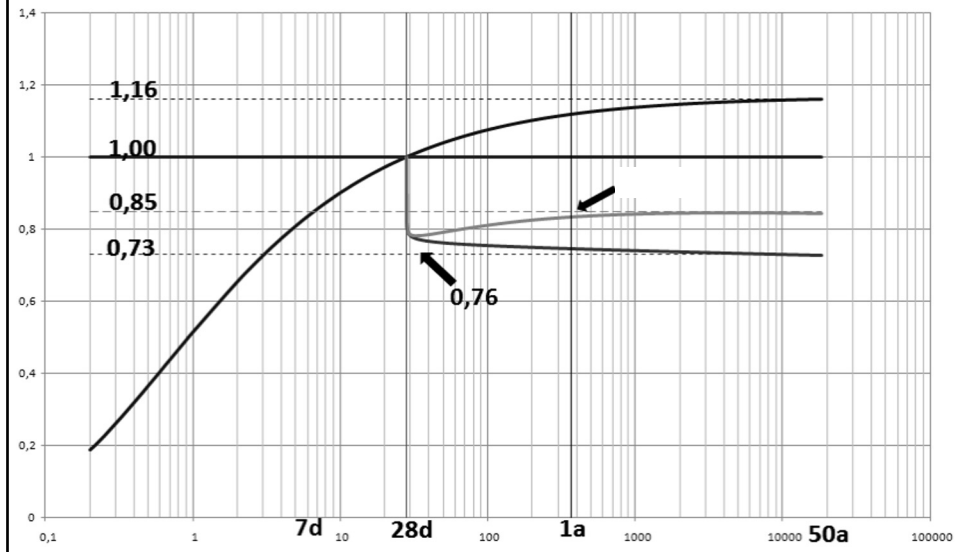
33

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

34

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



35

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

36

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

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

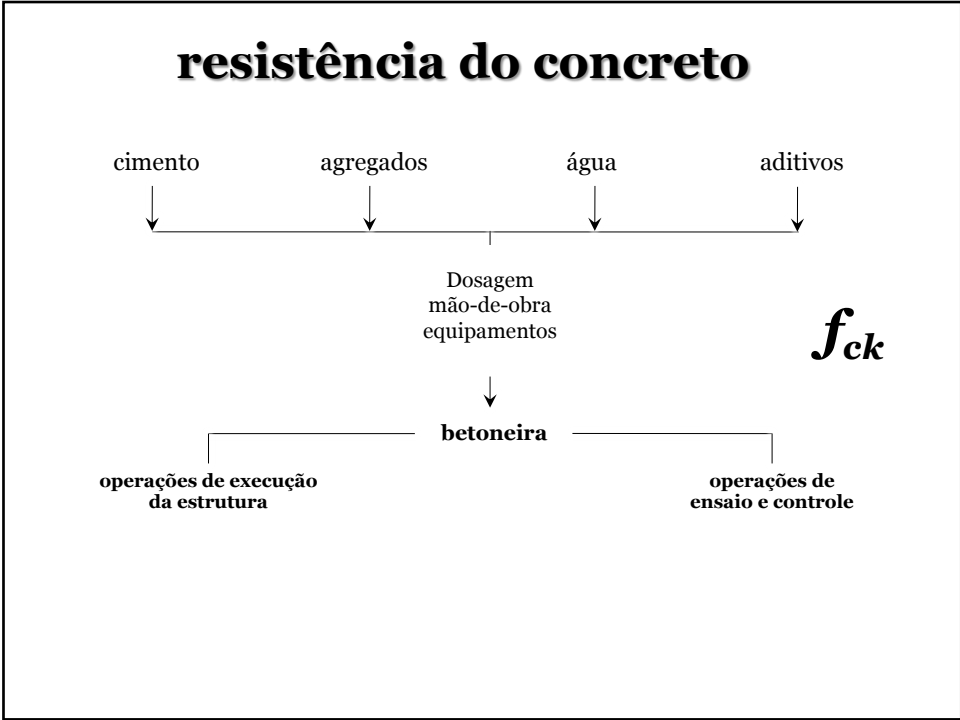
ABNT NBR 12655:2015 $f_{ck,est}$

**referencial de segurança
 f_{ck}**

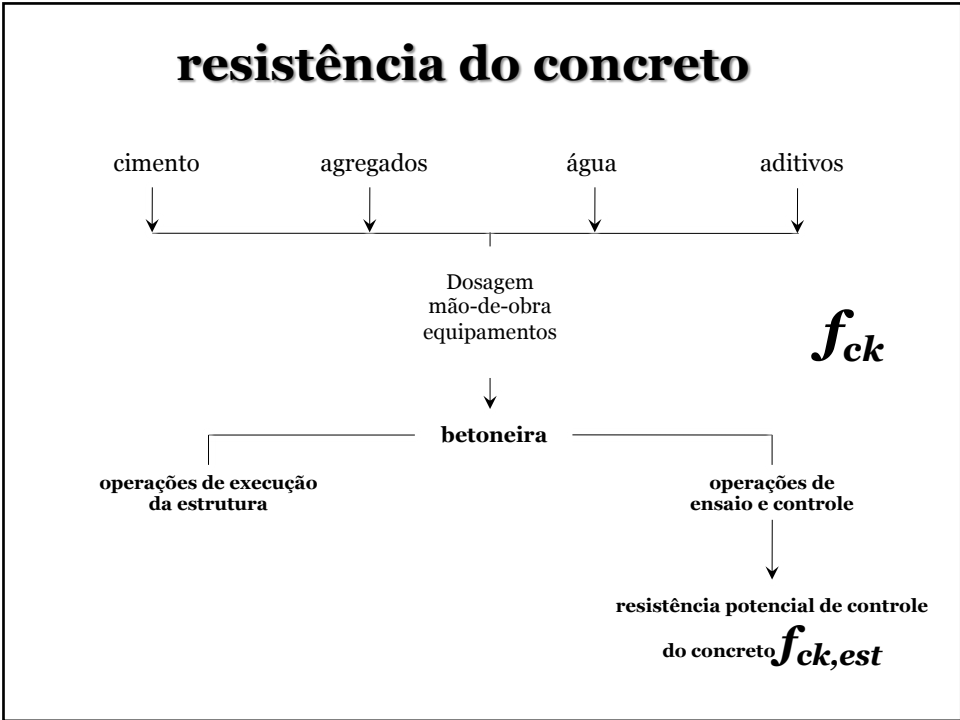
37



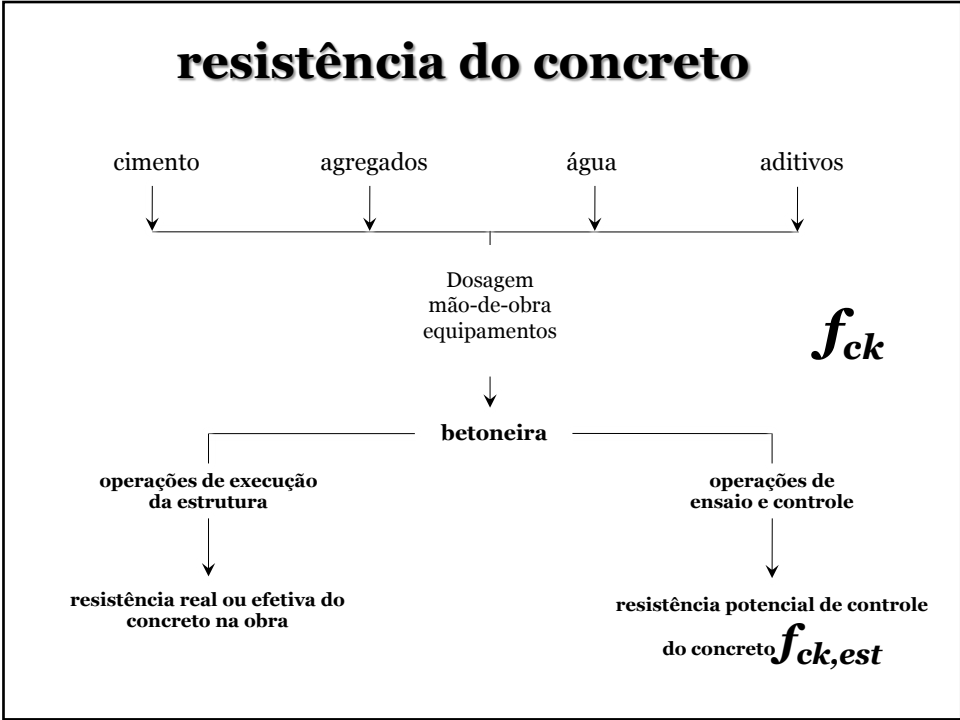
38



39



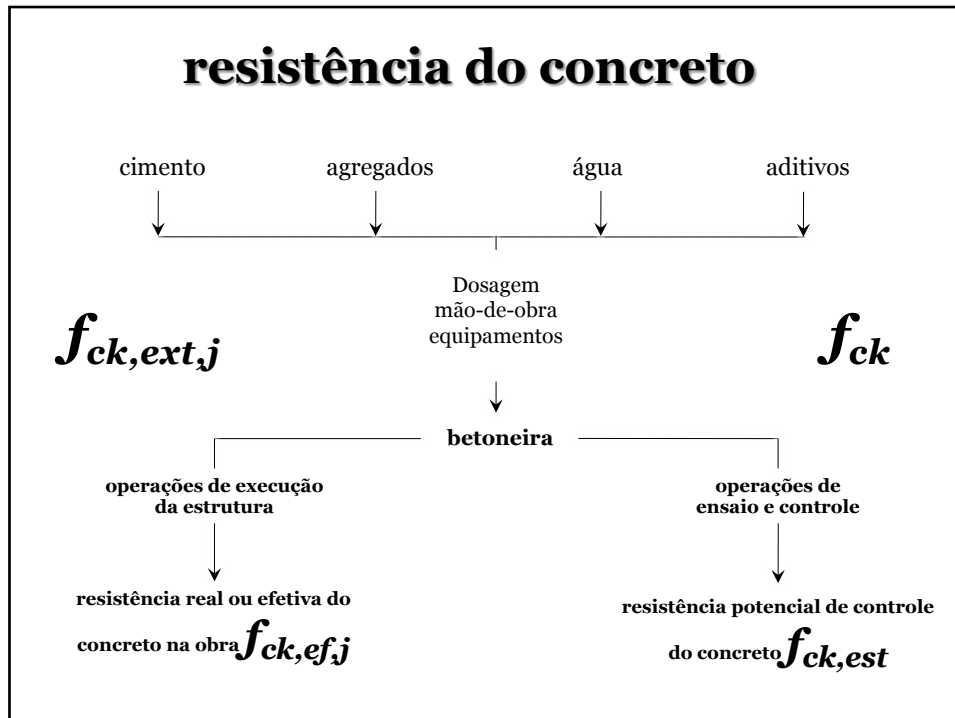
40



41



42



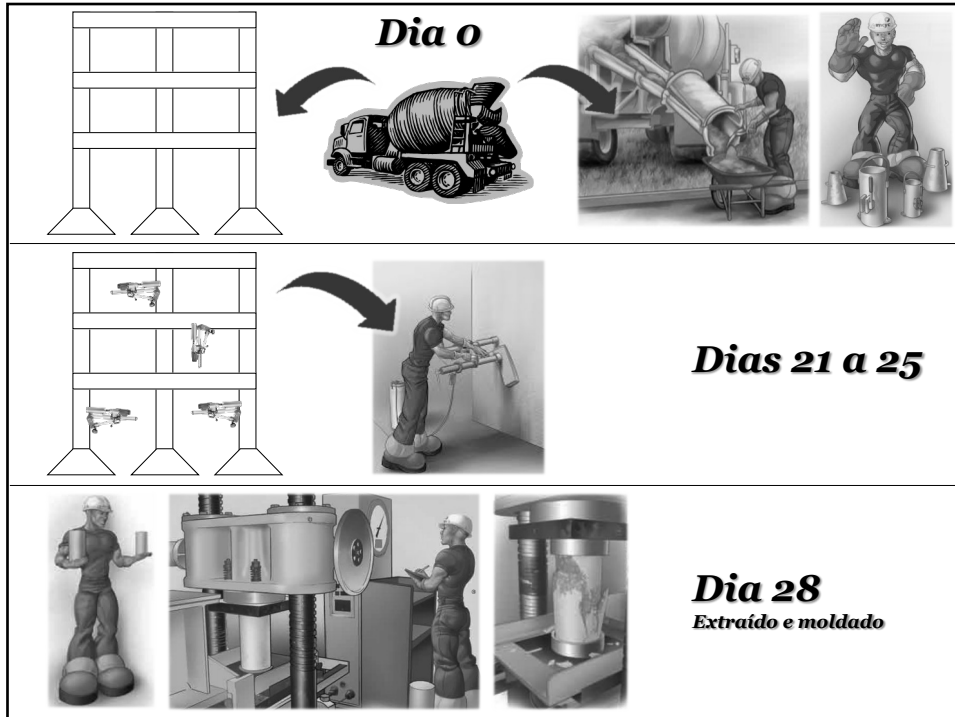
43

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

44



45

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

46

Preliminares

Conceitos:

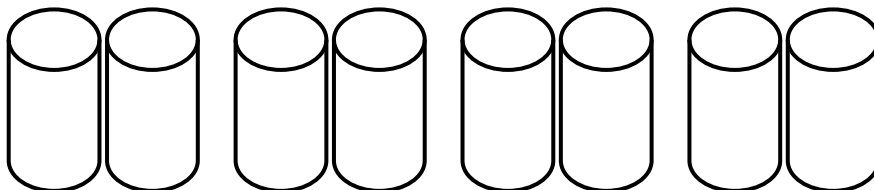
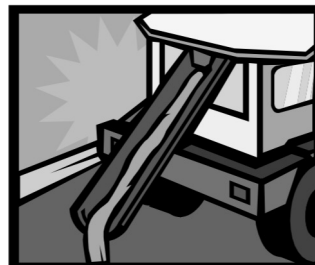
→ qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?

47

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

48

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”

49

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

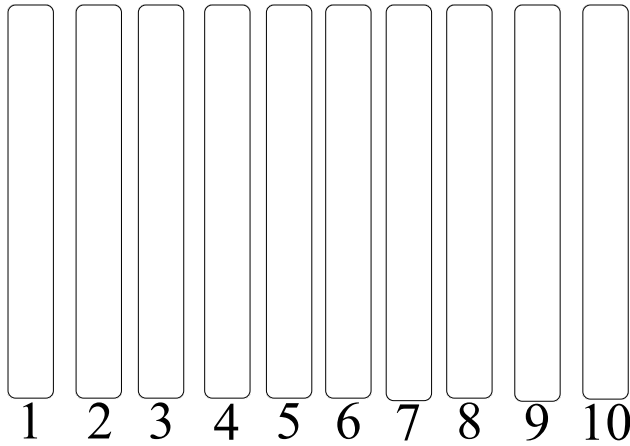
exemplar = mais alto ($f_{ck,est}$)

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

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

50

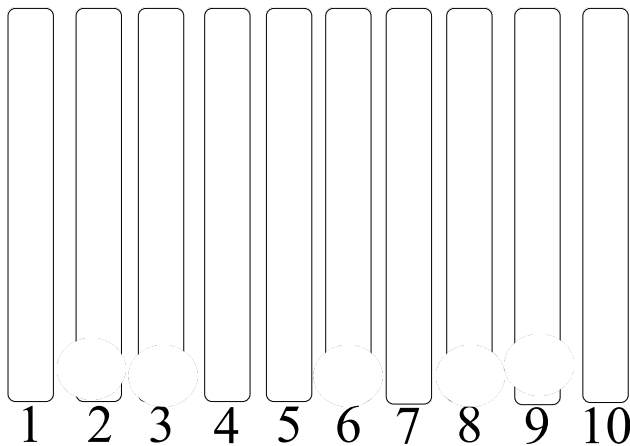
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

51

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



52

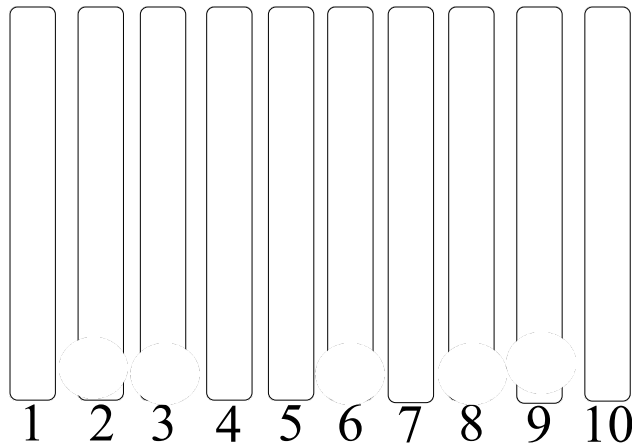


53



54

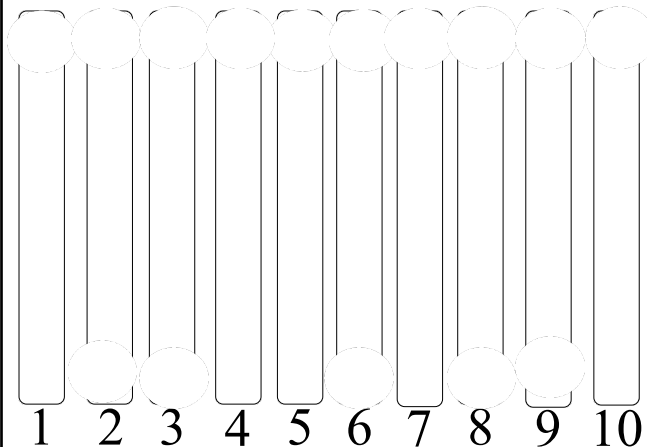
“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

55

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

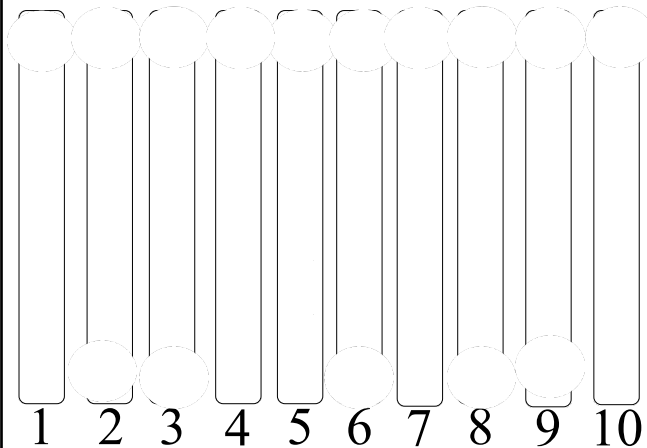


f_{ck}
45MPa

56

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

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

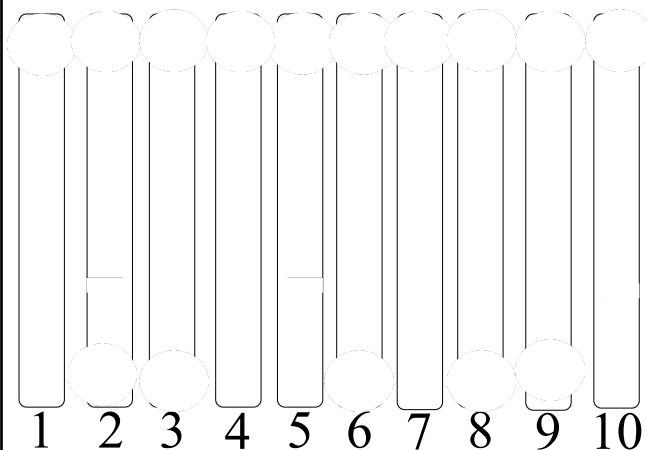


terço inferior

57

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

58

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 ?

59

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;

60

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 = ...

61

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

62

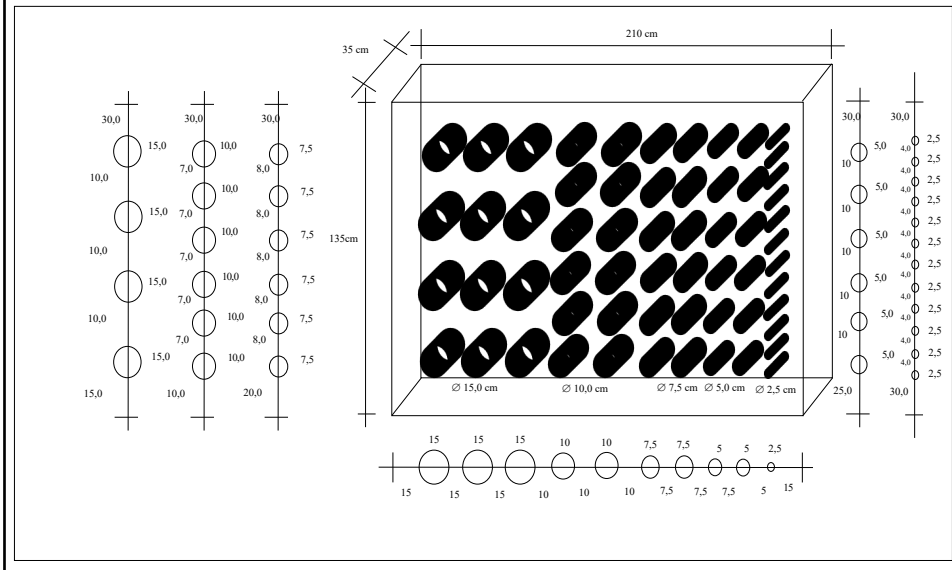


63



64

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



65



Parede/bloco perfurada

66

Conclusão

Média geral:

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

67

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

68

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;

69

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....

70

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

(expectativa da ABNT NBR 6118)

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

73

Ponderações

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

Decréscimo da Resistência *(efeito Rüschi)*

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

→ **j** em dias
→ **j - 28** > 15 minutos

76

Ponderações

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,...

77

Incertezas ...

Desconhecimentos ...

78

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;

79

onde j é a idade do concreto em dias.

Retorno a 28 dias

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

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

80

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”

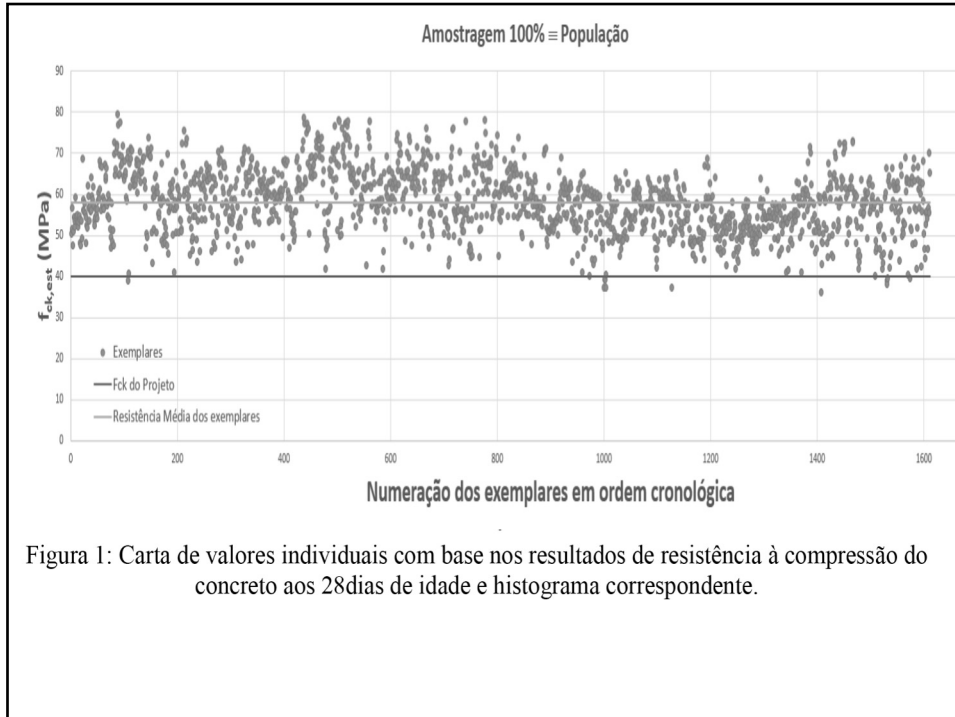
ABNT NBR 15575-1:2013
“Edificações habitacionais — Desempenho
Parte 1: Requisitos gerais”

81

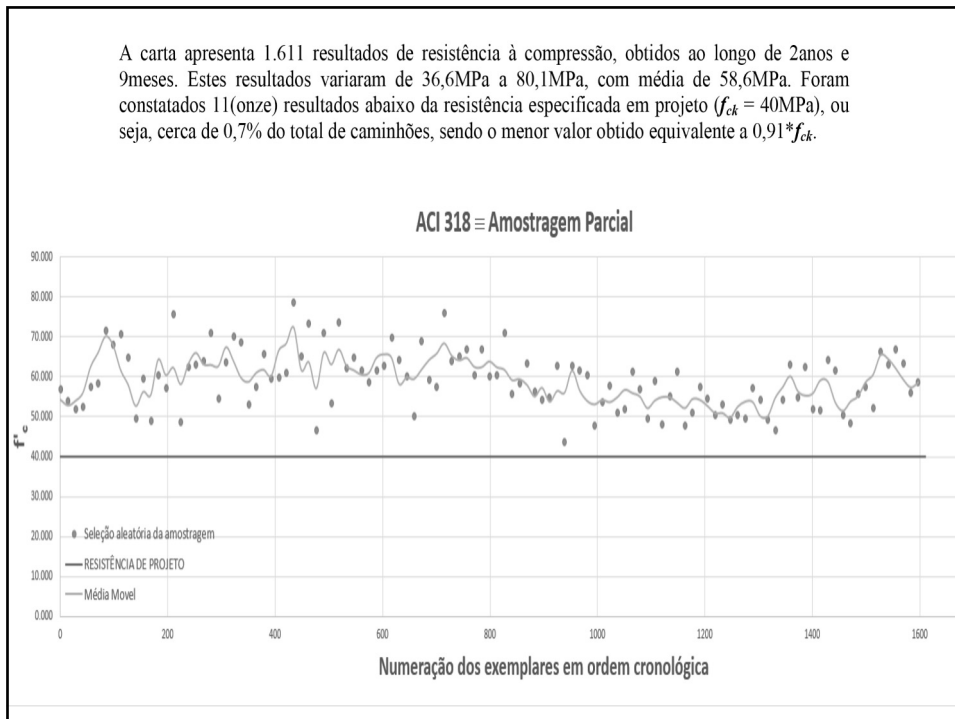
Parque da Cidade – SP (estudo de caso)



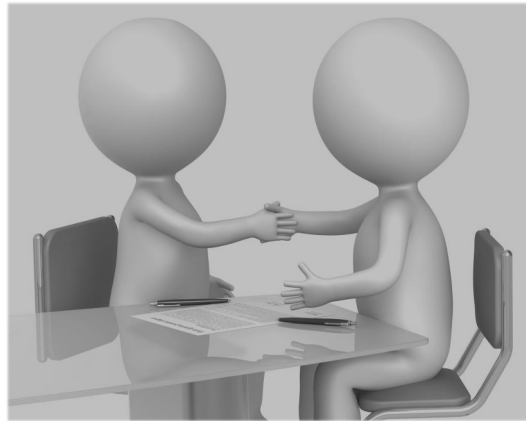
82



83



como aceitar o concreto?



85

- ✓ 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 ?

86

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

ABNT NBR 12655:2015

*“Concreto de cimento Portland - Preparo,
controle, recebimento e aceitação -
Procedimento”*

87

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

88



89



90

Unidade de Produto Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

91

Unidade de Produto Unidade de Controle Concreto



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

92

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

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

93

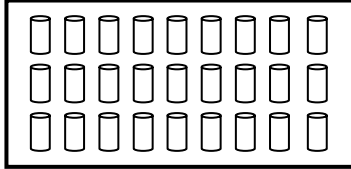
Amostragem ABNT NBR 12655:2015

- ✓ 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.

94

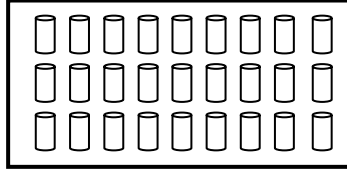
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



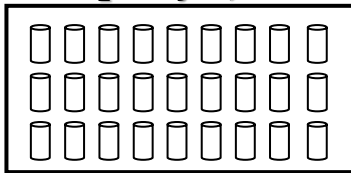
=

Amostra



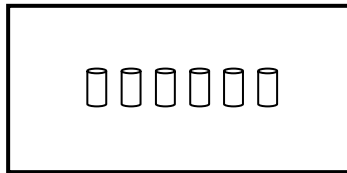
não há o
que
estimar

Universo,
População, Lote



≠

Amostra

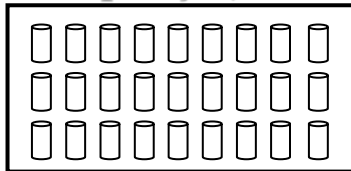


usar
estimador

95

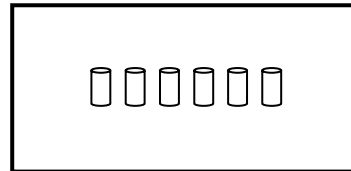
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

96

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.*

97

Conformidade dos lotes

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

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

98

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;

99

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.

100

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:

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

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

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

101

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

ACI 318-14:

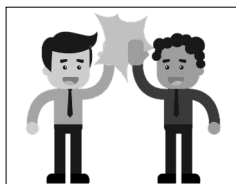
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



102

***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.**

103

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*

104

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*.

105

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.

106

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:

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

107

Resumo - frequência dos ensaios

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

108

Resumo – critérios de aceitação

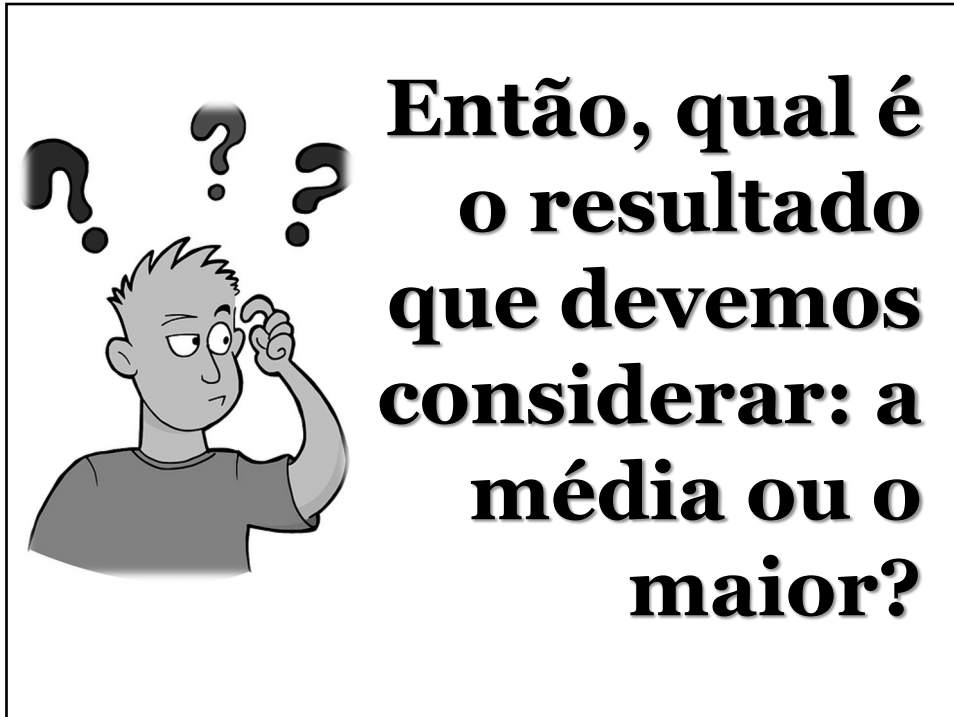
ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{ck,est} \geq f_{ck}$
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}$ para $f_{ck} < 35\text{MPa}$ • $f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}$ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ • $f_{cm3,est} \geq f_{ck}$
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: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

109

Resumo

- ✓ O procedimento de amostragem 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}

110



111

- A diferença entre adotar como exemplar o valor mais alto ou a média, é sutil e tem a ver com a eterna dicotomia entre ciência aplicada (engenharia) e ciência básica (matemática);
- A Matemática explica e demonstra que a média é sempre mais precisa que um valor individual e que a média de 3, 4, 5... corpos de prova é, ainda, sempre mais precisa que a média de 2;
- A Engenharia analisa o método de ensaio (de medição) e constata que erros de ensaio só reduzem o valor, nunca o aumentam: então concluiu pragmaticamente que o valor mais alto é o correto e melhor representa aquilo que se busca, ou seja, a resistência potencial do concreto daquela amassada.

112

É possível obter resultados perfeitamente iguais??



113

Exemplo: ensaio de resistência à compressão do cimento

ABNT NBR 7215

"Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão"



ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
COP 20030-900 - Caixa Postal 1400
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: (021) 2515-3100-3102
Fax: (021) 2515-3101
E-mail: atendimento@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Copyright © 1996
ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Todos os direitos reservados.

DEZ 1996 | NBR 7215

Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão

Origem: Projeto NBR 7215:1995
CE-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados
CE-15:104.03 - Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio de Cimento Portland
NBR 7215 - Portland cement - Determination of compressive strength
Descriptor: Portland cement
Esta Norma substitui a MB-1:1991 (NBR 7215)
Válida a partir de 31.01.1997
Incorporação à Errata nº 1 de AGO 1997

Palavra-chave: Cimento Portland | 8 páginas

Sumário

- Prefácio
- 1 Objetivo
- 2 Referências normativas
- 3 Método de ensaio
- ANEXOS
- A Figura e tabelas
- B Determinação do índice de consistência normal

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setoriais (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma inclui o anexo A, de caráter normativo, e o anexo B, de caráter informativo.

1 Objetivo

Esta Norma especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se às partes que realizem acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6156:1983 - Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio

NBR 7214:1962 - Areia normal para ensaio de cimento - Especificação

NBR 9479:1994 - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto - Especificação

3 Método de ensaio

3.1 Princípio

O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Os corpos-de-prova são elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48.

114

- Moldagem feita em bancada de laboratório, com temperatura e umidade padronizadas;
- Argamassa padrão, de traço em massa fixo;
- Aregados especialmente pré-tratados, lavados, peneirados em granulometrias determinadas, pesados em balança de precisão;
- Relação a/c fixa de 0,4;
- Misturado numa misturadora pequena de eixo vertical, sistema forçado, com controle de tempo de mistura com cronômetro;
- Operador treinado;
- Moldagem de 4 Cp's, que são curados por 28 dias na câmara úmida;
- Ensaio em prensa pequena apropriada e calibrada.



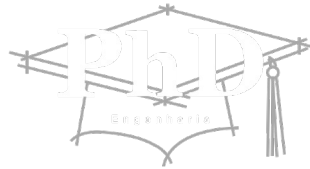
115

No item 3.6 desse método encontra-se: *calcular o desvio relativo máximo da série de quatro resultados, dividindo o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média e multiplicando este quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo. Quando o desvio relativo máximo for superior a 6%, calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato com os 3 restantes, o ensaio deve ser totalmente refeito.*

Como um matemático singelo ou um leigo leria esse método: **impressionante como as argamassas de cimento apresentam grande variabilidade na resistência à compressão... mesmo dentro de um volume pequeno e aparentemente homogêneo, as resistências variam muito !**

116

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23
11.9.5045-4940