

# Segurança das Estruturas.

## Controle de Aceitação da Resistência à Compressão do Concreto.

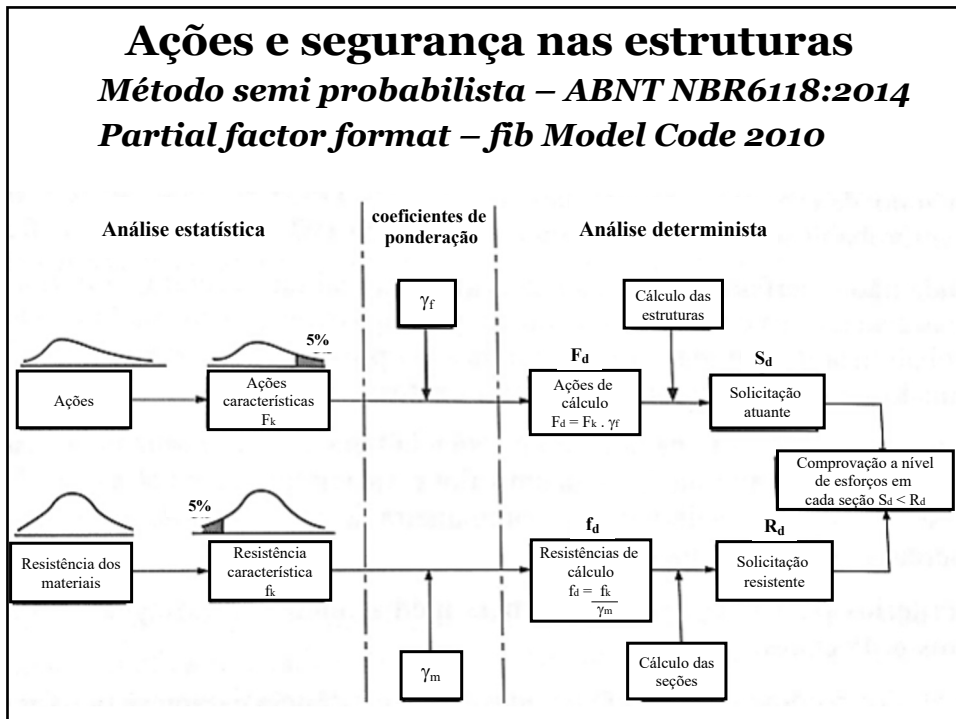
### Comparativo normas ABNT, ACI e EN

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

**Paulo Helene**  
 Diretor PhD Engenharia  
 Conselho Permanente IBRACON  
 Prof. Titular Universidade de São Paulo  
 Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional  
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto  
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
 Conselheiro da CNTU e SEESP

IE. Instituto de Engenharia
19 de setembro de 2019
São Paulo/SP

1

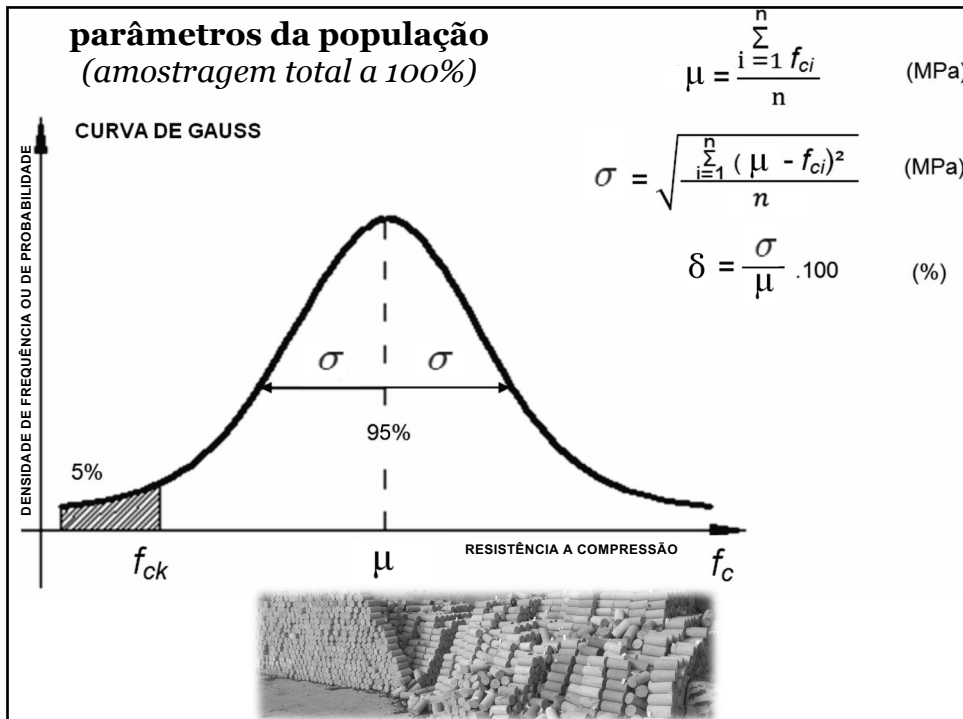


2

# o que é a resistência característica do concreto à compressão, $f_{ck}$ ?



3



4

# qual é o referencial de resistência à compressão do concreto, $f_{ck}$ no Brasil ?

5

Controle de aceitação de um produto acabado:  
torneira, fechadura, porta, pneu e aço!

Controle de recebimento e aceitação de um  
produto em elaboração:  
concreto!

- preço 1 litro concreto (posto obra) = R\$ 0,35
- preço 1 kg concreto C30 (posto obra) = R\$ 0,15

**correr risco e aguardar 28 dias, faz parte do proceso, ou seja,  
trata-se de aprender a conviver com esse inconveniente**

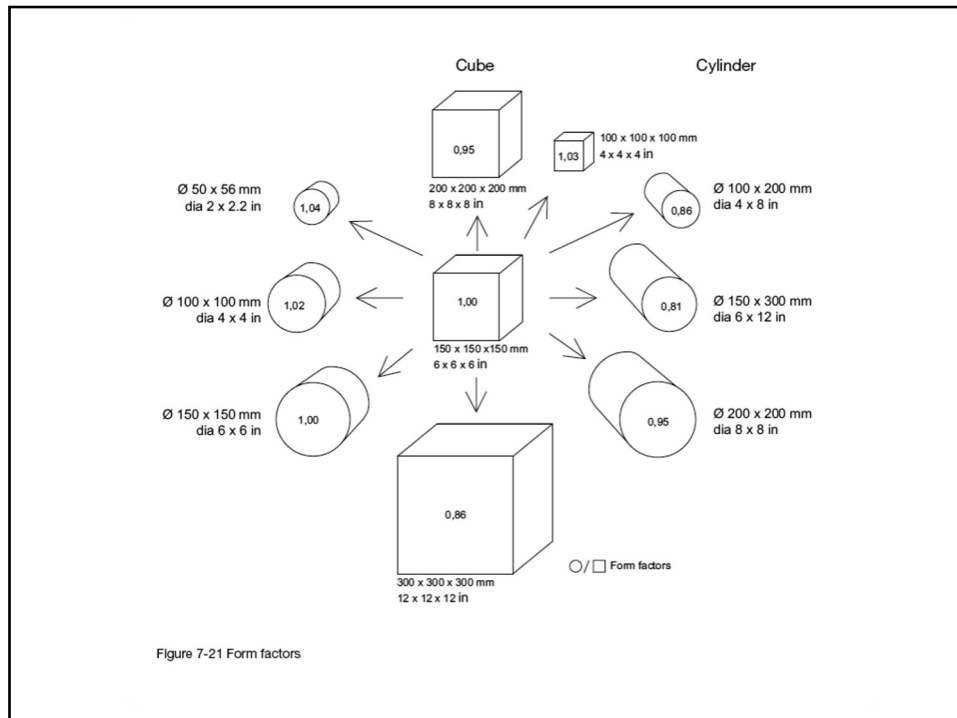
6

**qual é o referencial  
de resistência à  
compressão do  
concreto,  $f_{ck}$   
no Brasil ?**

7



8



9

**referencial BRASIL**  
**de resistência à compressão do concreto,  $f_{ck}$**

- ✓ **o cilindro 15cm  $\phi$  \* 30cm**
- ✓ **o cilindro 10cm  $\phi$  \* 20cm**
- ✓ **planejado (lotes) de acordo com a ABNT NBR 12655**
- ✓ **amostrado de acordo com a ABNT NM 33**
- ✓ **moldado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **transportado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **curado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **capeado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **ensaiado de acordo com a ABNT NBR 5739**
- ✓ **resultado analisado de acordo com a ABNT NBR 12655**

**em geral referido à idade de 28 dias de idade**

10

**$f_{ck}$  é a resistência do concreto na estrutura?**



**Não !  
 $f_{ck}$  é a resistência potencial do concreto na  
boca da betoneira !**

11

**$f_{ck}$   
é a  
resistência  
do  
concreto  
na  
fundação,  
pilares,  
vigas e  
lajes da  
estrutura?**



**Não !  
 $f_{ck}$  é a  
resistência  
potencial do  
concreto  
daquela  
amassada  
medida em  
corpos de  
prova  
moldados,  
sazonados e  
ensaiados em  
condições  
ideais !**

12

**$f_{ck}$**   
**é a resistência do concreto de partida que o projetista estrutural usa para verificar a segurança?**



**Sim !**  
 **$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão utilizada como valor de entrada nos programas de verificação da segurança numa análise ou processo usual, padrão !**

13

**... e esse é o grande problema porque alguns engenheiros e projetistas consideram que  $f_{ck}$  é a resistência do concreto lá na estrutura !..**

14

**... então qual é a resistência à compressão do concreto lá na estrutura que um engenheiro civil pode considerar como disponível para fins de dimensionamento, com segurança?**

15

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

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\therefore \sigma_{cd} \cong 0,6 \cdot f_{ck}$$

16



# 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

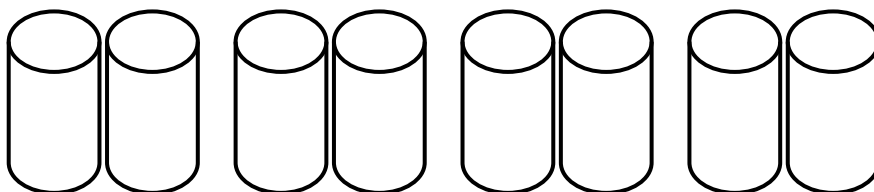
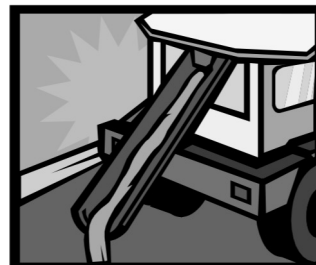
para  $f_{ck} = 50$  MPa  $\rightarrow f_{ck,ef}$  (estrutura)  $\approx 30,3$  MPa

17

## 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

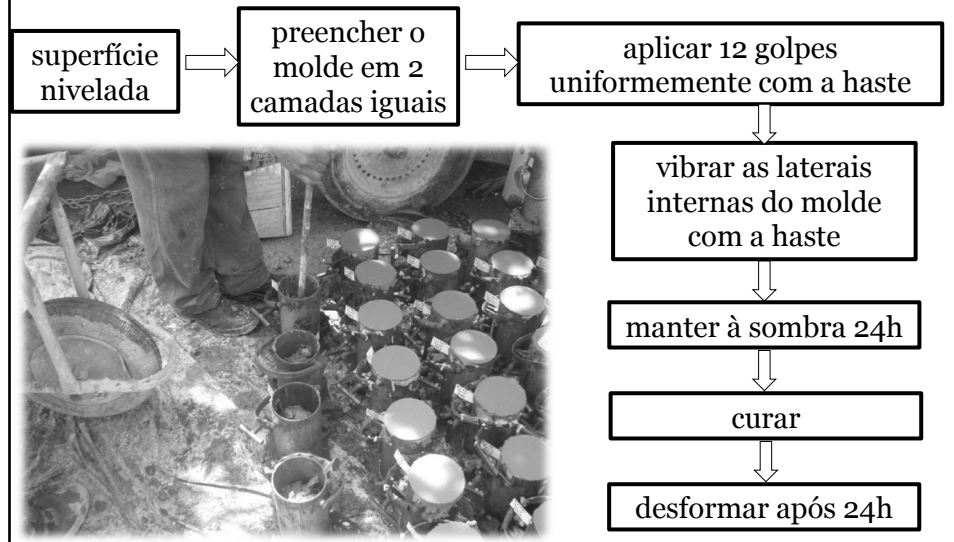
Grupo B

Grupo C

Grupo D

18


**o concreto deve ser amostrado de acordo com a ABNT NM 33 e moldado de acordo com a ABNT NBR 5738:2015**



19

Segundo a ABNT NBR 12.655 para representar cada betoneira (exemplar) devem ser moldados, no mínimo, 2 corpos de prova, mas podem ser 3, 4, 5, etc.

20



**Então, qual é o resultado que devemos considerar: a média ou o maior?**

21

### **Cálculo da variabilidade aparente dos resultados**

$$v_c^2 = v_{c,prod}^2 + \frac{v_e^2}{p}$$

Onde:

$v_c$  = coeficiente de variação ou variabilidade (aparente total) do processo de produção e ensaio avaliado a partir dos resultados de ensaio; (%)

$v_{c,prod}$  = coeficiente de variação ou variabilidade devida somente ao processo de produção do concreto; (%)

$v_e$  = coeficiente de variação ou variabilidade das operações de ensaio e controle; (%)

$p$  = número de corpos de prova de uma mesma amassada, correspondentes, portanto, a um exemplar.

22

### Exemplo

$$v_c^2 = v_{c,prod}^2 + \frac{v_e^2}{p} \quad f_{ckj,est} = f_{cmj} * (1 - 1,65 * v_c)$$

Eficiência nas operações de controle:  $v_e = 3\%$  ;  $v_{c,prod} = 10\%$

Nº de exemplares (p)	v <sub>c</sub> (%)	f <sub>ckj,est</sub> [MPa]	
		p/ f <sub>cmj</sub> = 26 MPa f <sub>ck</sub> = 20 MPa	p/ f <sub>cmj</sub> = 62 MPa f <sub>ck</sub> = 50 MPa
1	10,44	21,5	51,3
2	10,22	21,6	51,5
5	10,09	21,7	51,7

23

- 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);

24

- 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;

25

- A Engenharia observa que adotar apenas um resultado é desprezível do ponto de vista da precisão, e constata que os erros usuais de ensaio tendem a reduzir o valor, então: concluiu pragmaticamente que o valor mais alto é o mais adequado a ser adotado.

26

quantas resistências  
tem o concreto de um  
caminhão betoneira  
de 8 m<sup>3</sup> ?

27

...segundo as normas da ABNT, do ACI  
(50 países) e da Europa (30 países)  
cada amassada tem apenas UMA  
resistência e é chamada de resistência  
potencial do concreto na boca da  
betoneira.

28

### **argumentos usuais em contra !**

1. a resistência do concreto dentro do balão de uma betoneira, varia um pouco se comparar o começo, meio e fim;
2. se moldar corpos de prova de um concreto de uma amassada vai encontrar média, desvio padrão, variabilidade, ou seja, não é um único valor !

29

**quantas resistências  
tem o concreto de um  
caminhão betoneira  
de 8 m<sup>3</sup> ?**

**→ 1.300 cps “15x30”  
→ 5.000 cps “10x20”**

30

**variabilidade do material**

**versus**

**variabilidade do ensaio**

31

Moldagem de corpos de prova para programa interlaboratorial do INMETRO / FURNAS



32

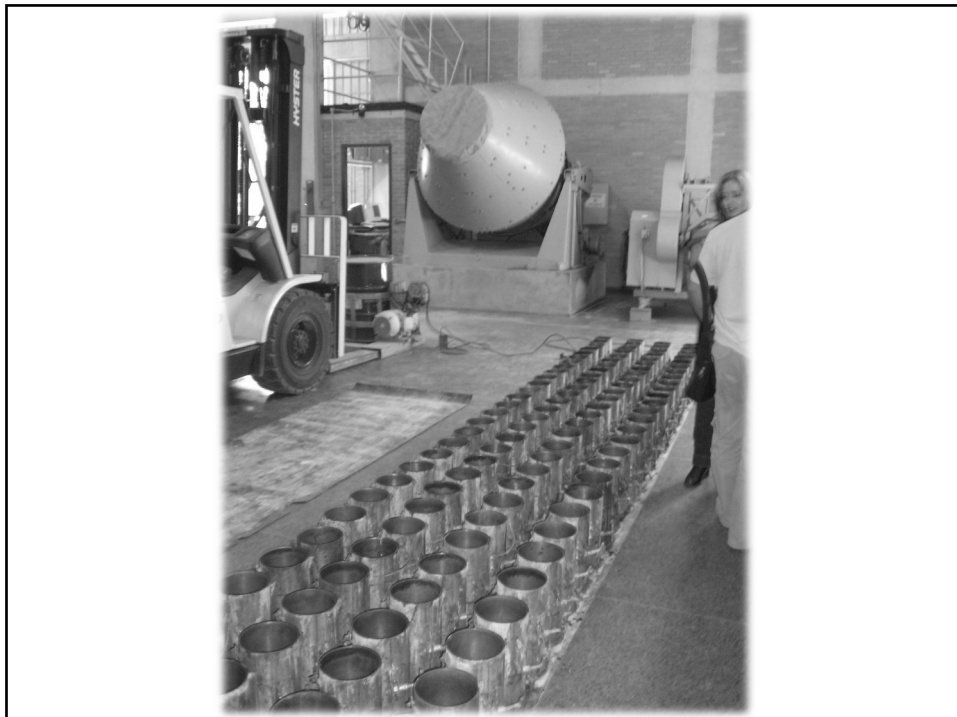


betoneira estacionária com volume  
útil total de 1 m<sup>3</sup>

→ 163 cps “15x30”

→ 625 cps “10x20”

33



34



35

**é possível obter  
resultados  
perfeitamente iguais??**



36

## Exemplo: ensaio de resistência à compressão do cimento

### ABNT NBR 7215

# "Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão"

DEZ 1996 | 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  
CEP 20030-000 - Caixa Postal 1600  
Rio de Janeiro - RJ  
Tel. (021) 251-2100  
Fax: (021) 250-6203/2143  
Internet: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)  
NORMATECNICA

---

Origem: Projeto NBR 7215-1995  
CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados  
CE-18-104.03 - 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 ABNT NBR 7215  
Válida a partir de 31.01.1997  
Incorporada à Estrutura nº 1 de ADO 1997

---

Palavra-chave: Cimento Portland 8 páginas

---

**Sumário**

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Método de ensaio

**ANEXOS**

A Figuras 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 Setorial (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 àqueles que realizam 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 - Anvia normal para ensaio de cimento - Especificação

NBR 6479:1994 - 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.

37

- Moldagem feita em bancada de laboratório, com temperatura e umidade padronizadas;
- Argamassa padrão, de traço em massa fixo 1:3, volume de cerca de **1,1 L**;
- 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;



38

- Agregados IPT tratados, lavados, peneirados em granulometrias determinadas, pesados em balança de precisão;
- Ruptura com hora marcada em ambiente climatizado
- Operador treinado;



39

- Operador treinado;
- Moldagem de 4 cp's cilíndricos 5cm x 10cm, que são curados por 28 dias na câmara úmida;
- Ensaio em prensa pequena apropriada e calibrada.



40

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.*

41

ensaiando um CPM 40

46      53      49      52

média       $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

(6% → 3MPa) → descarta 46

nova média      **51,3 MPa**

42

como um matemático singelo ou um leigo interpretaria esses resultados ?

*...impressionante como as argamassas de cimento Portland apresentam grande variabilidade na resistência à compressão...*

*...mesmo dentro de um volume pequeno de 1,1 L, aparentemente homogêneo, as resistências variam muito !..*

43

como um engenheiro de concreto interpretaria esses resultados ?

*...vai indo bem mas, assim que der um tempinho teremos de renovar o treinamento desse laboratorista...*

44

quem já conseguiu em laboratório num estudo de dosagem ou num experimento de pesquisa encontrar todos os resultados iguais dentro de uma mesma betoneira?

**como  
fazer  
o  
estudo?**



45

**adota um  
valor único e  
vai em frente**



46

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

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

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

**“potencial do concreto”**

47

...considerando que se  
trata de uma estrutura  
com  $f_{ck} = 45\text{ MPa}$ ,  
pergunta-se se está OK, ou  
seja, se esse caminhão tem  
um concreto conforme?

48



quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

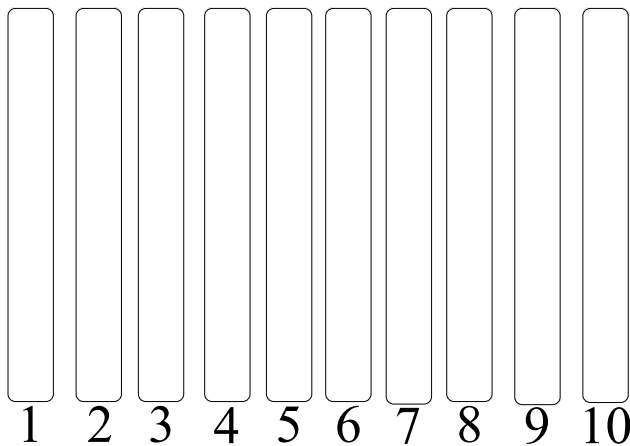
exemplar = mais alto ( $f_{ck,est}$ )

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

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

49

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



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

50

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

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

51



52

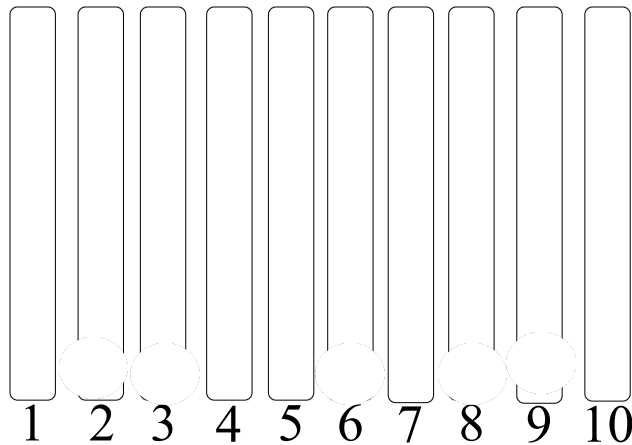


53



54

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

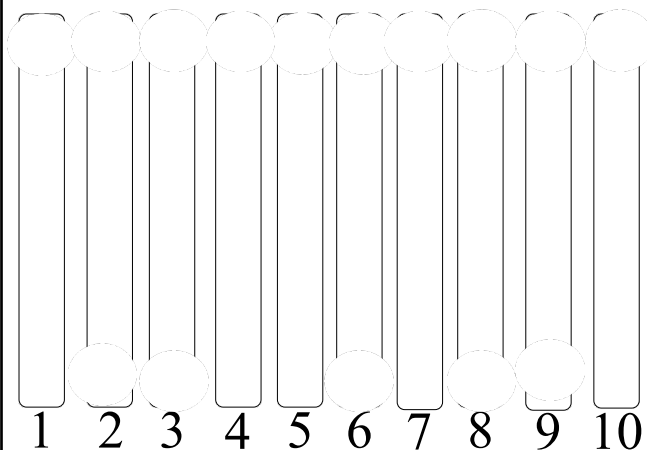


$f_{ck}$   
**45MPa**

55

qual a resistência do concreto nos pilares que  
estão mais próximas da resistência característica  
do concreto à compressão (controle, moldado)

$f_{ck,est}$ ?

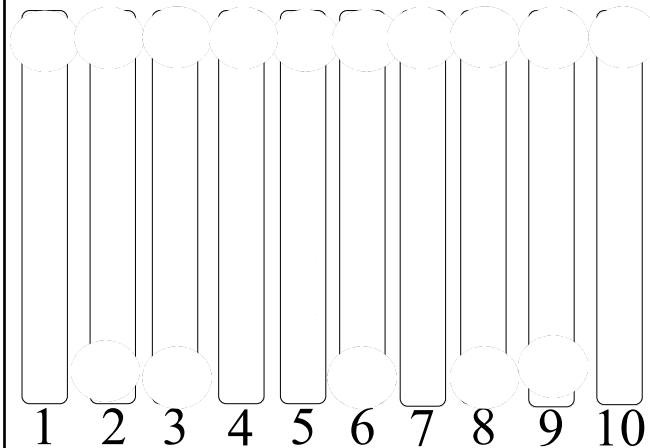


$f_{ck}$   
**45MPa**

56

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

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

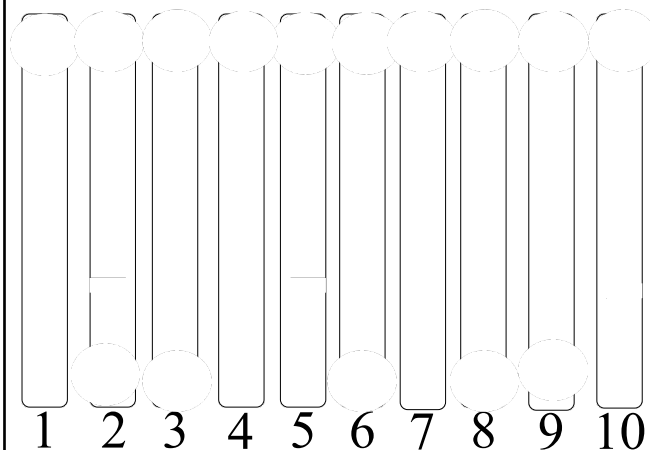


**terço inferior**

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

## **NÃO CONFORMIDADES**

*ABNT NBR 7680:2015*

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

59

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

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

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

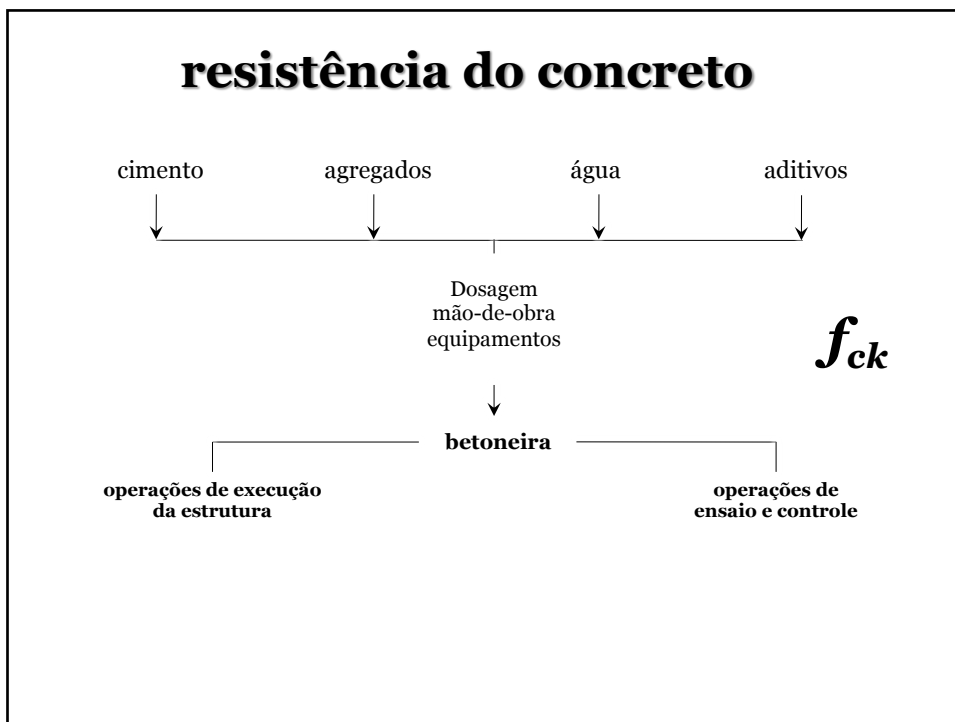
**referencial de segurança**

**$f_{ck}$**

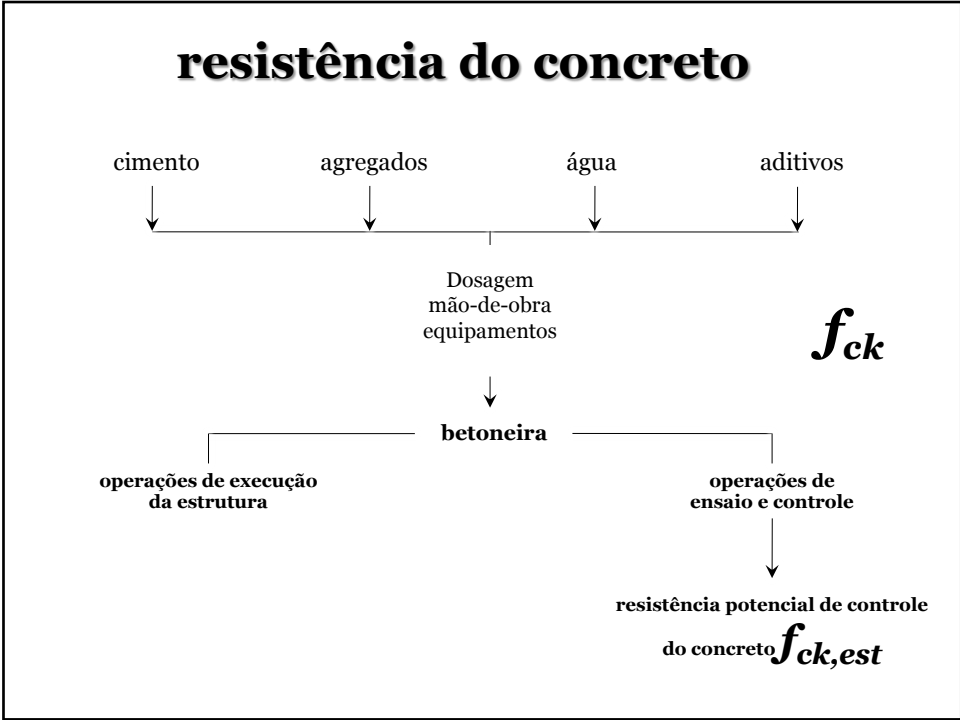
60



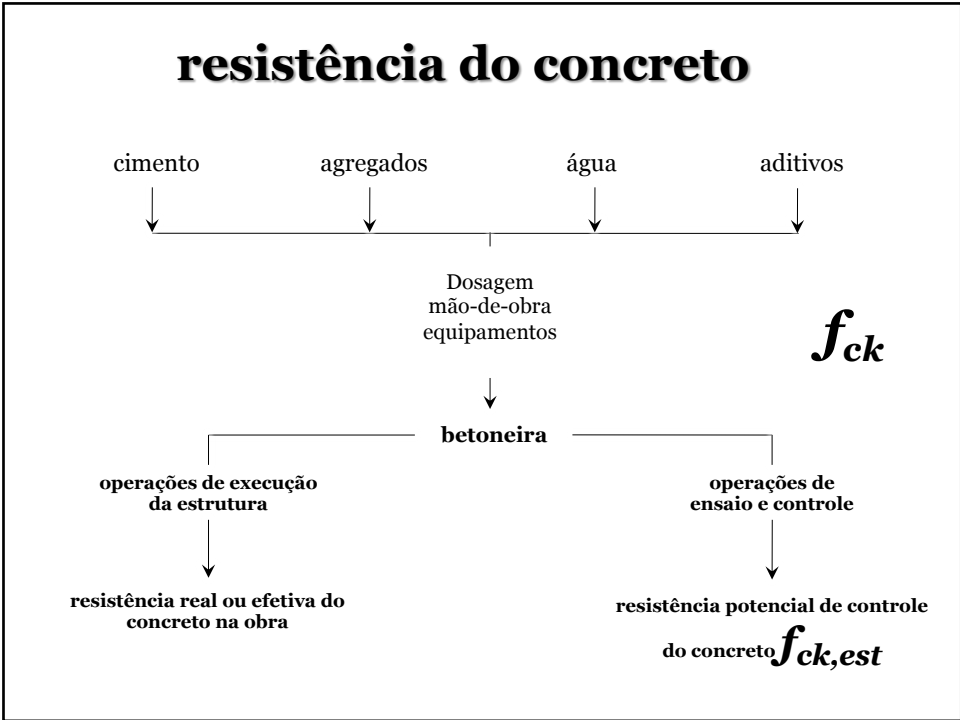
61



62

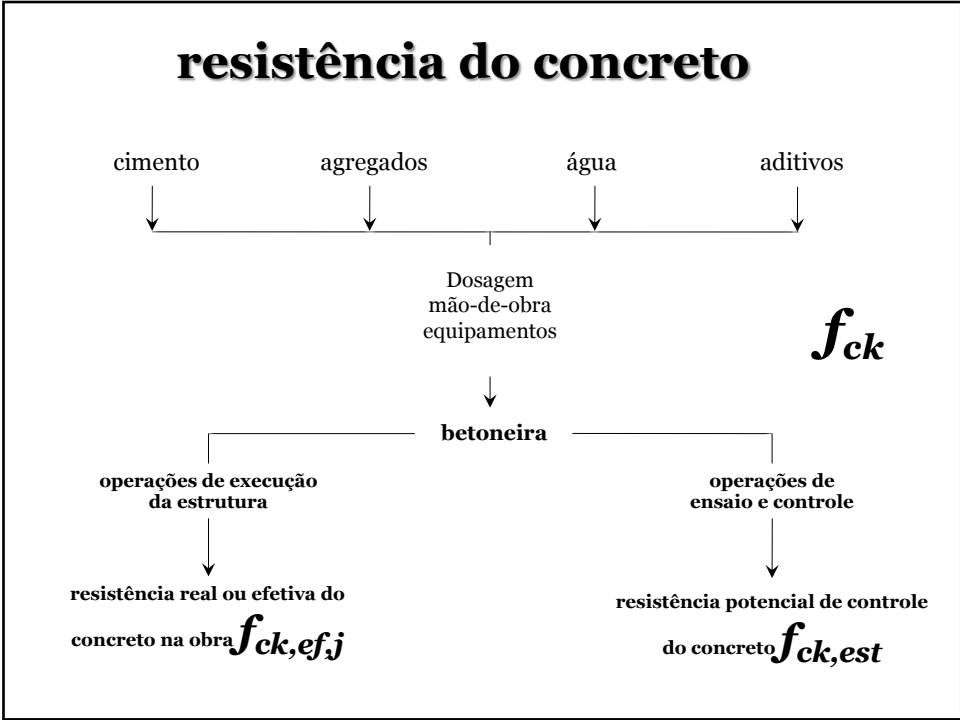


63

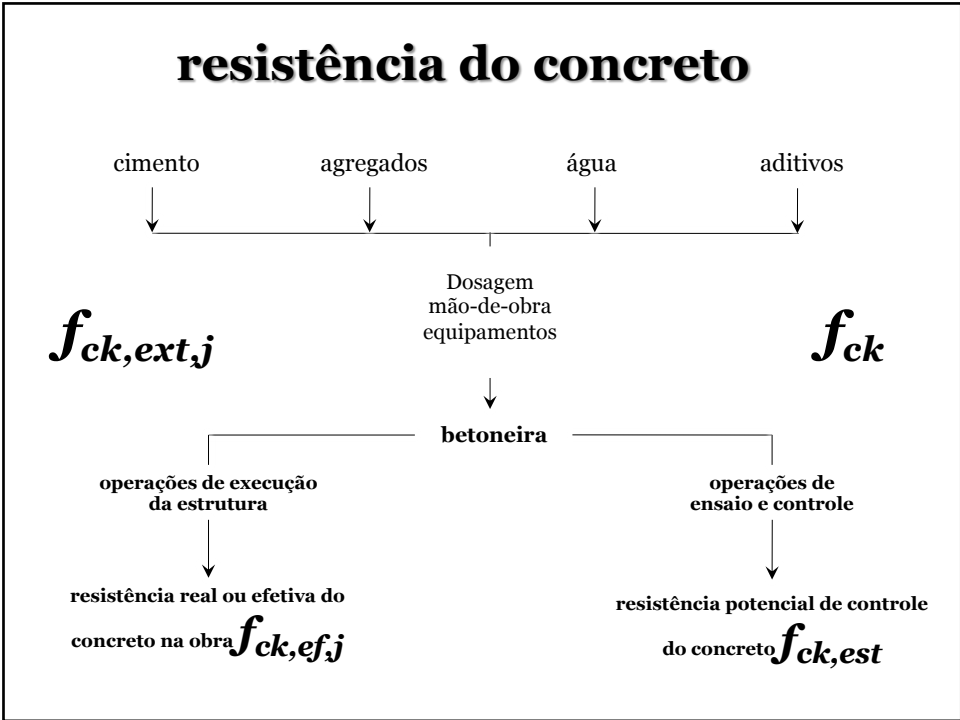


64





65



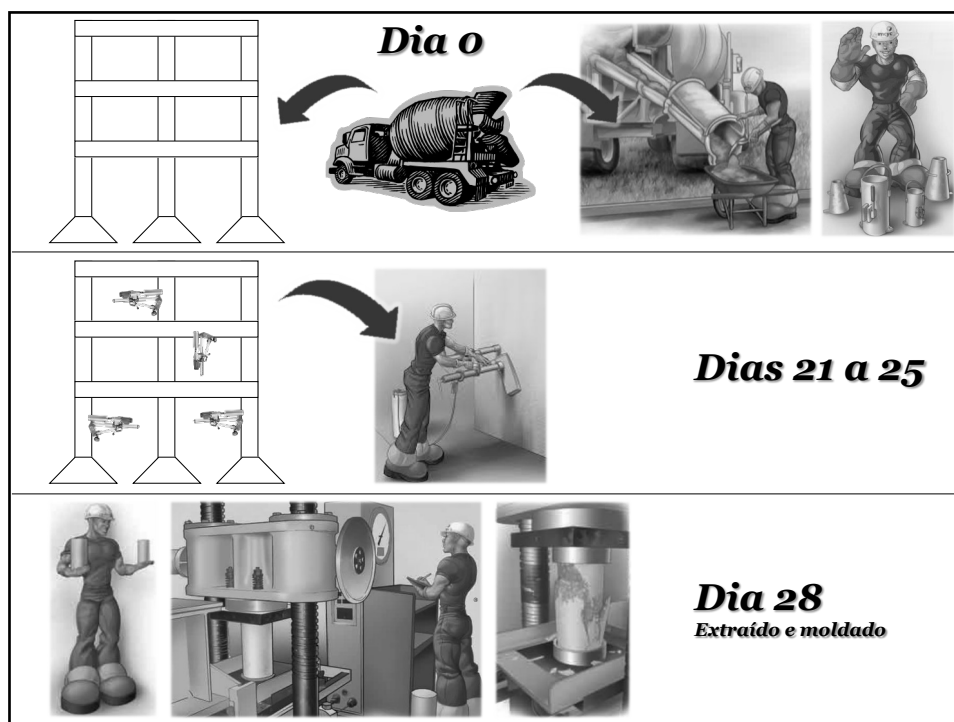
66

# 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

67



68

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

69

**... mas e só o efeito  
deletério do  
broqueamento,  
quanto é ?**

70

## **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**

71

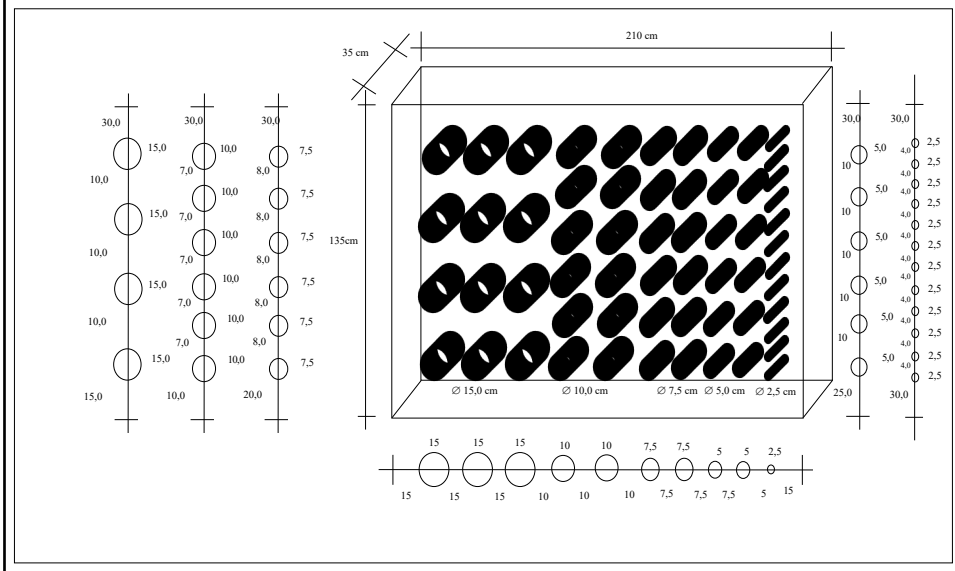


72



73

### BLOCO TIPO (210x135x35)cm



74



75

## Conclusão

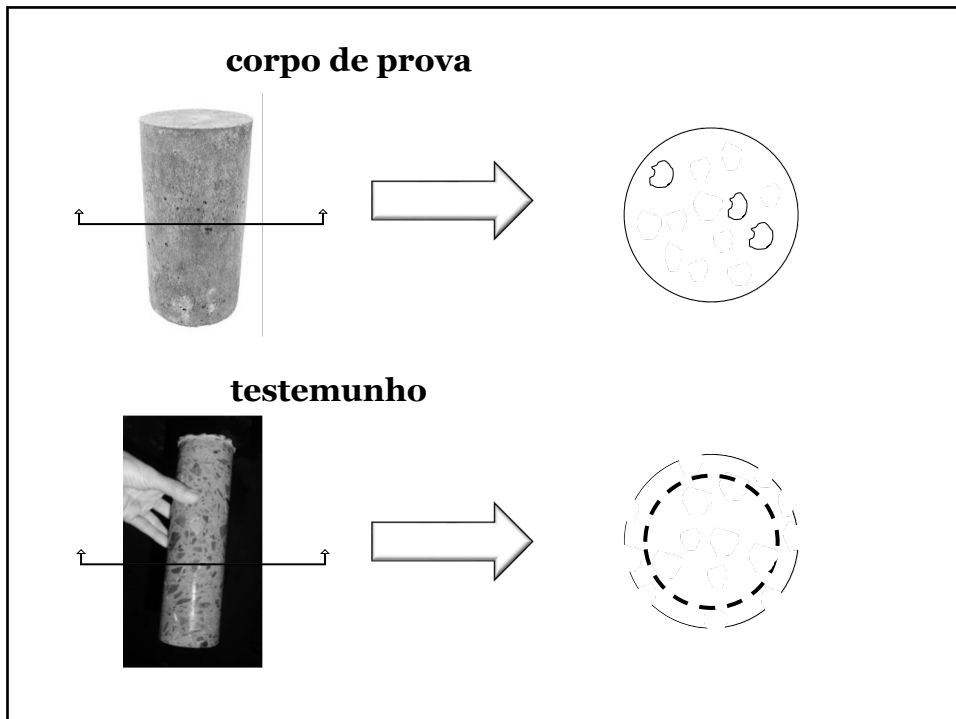
Média geral:

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

76



77



78

## **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;

79

## **como aceitar o concreto ?**



80



# **CONTROLE DE ACEITAÇÃO**

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

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**

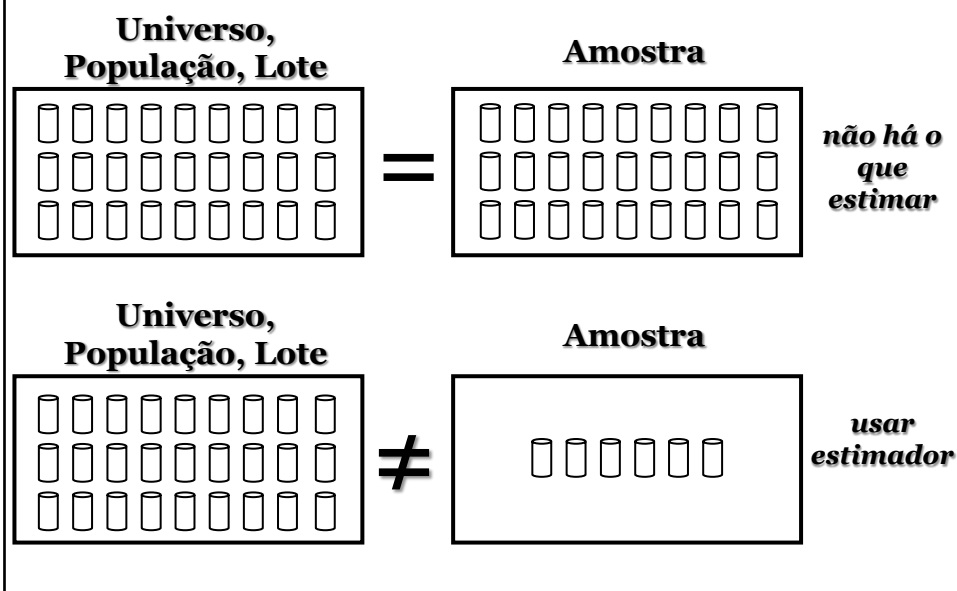
86

## 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

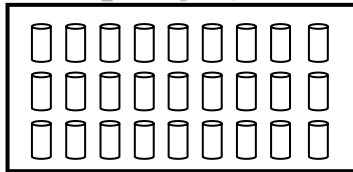
## Amostragem ABNT NBR 12655



88

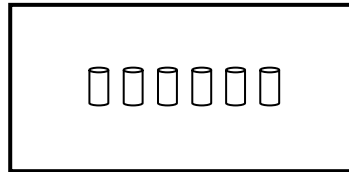
## Amostragem ABNT NBR 12655

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

## Conformidade dos lotes

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

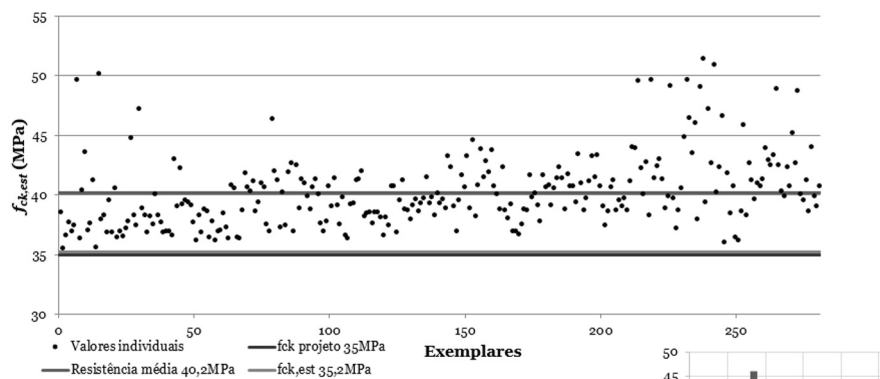
$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

90

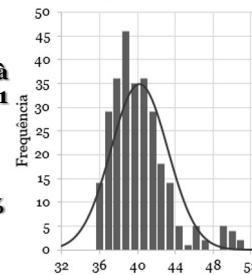
variabilidade da resistência à  
compressão do concreto num  
processo “industrial” de produção  
em centrais dosadoras  
(“concreteiras”)  
*aceitação é por lotes*

91

### Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=35$ MPa Obra A

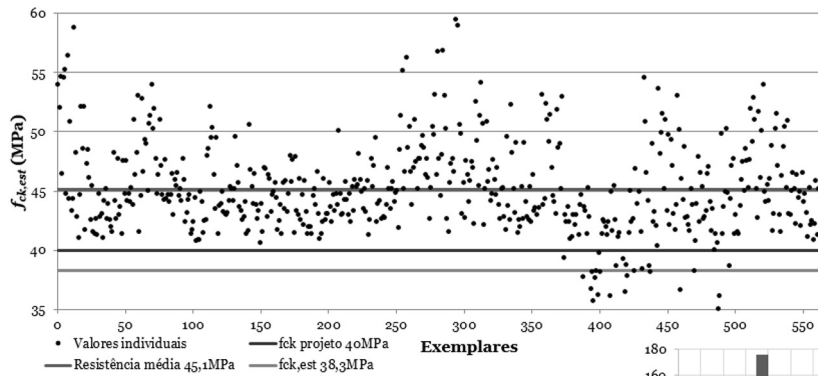


- ✓ Total de 281 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 281 caminhões betoneira em 13 meses (cerca de 2.248 m<sup>3</sup>)
- ✓ Zero resultados não conformes (abaixo de 35MPa)
- ✓  $Slump=100\pm 20$  ;  $f_{cm} = 40,2$ MPa ;  $s_c = 3,0$ MPa ;  $v_c = 7,49\%$
- ✓  $f_{c,min} = 35,5$ MPa ;  $f_{c,max} = 51,4$ MPa ;  $f_{ck,est} = 35,2$ MPa

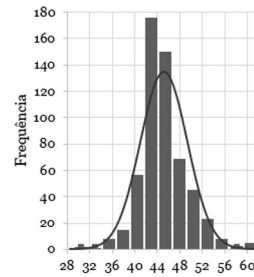


92

## Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=40$ MPa Obra B

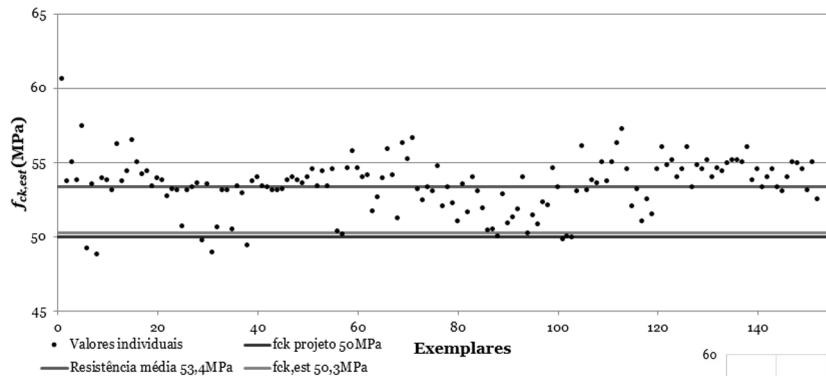


- ✓ Total de 562 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 562 caminhões betoneira em 19 meses (cerca de 4.496 m<sup>3</sup>)
- ✓ 29 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja 5,16%
- ✓ Autoadensavel ;  $f_{cm} = 45,1\text{MPa}$  ;  $s_e = 4,2\text{MPa}$  ;  $v_e = 9,24\%$
- ✓  $f_{c,min} = 29,1\text{MPa}$  ;  $f_{c,max} = 61,8\text{MPa}$  ;  $f_{ck,est} = 38,3\text{MPa}$

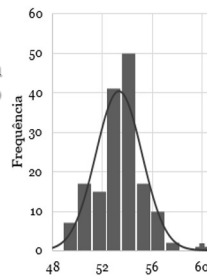


93

## Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=50$ MPa Obra D

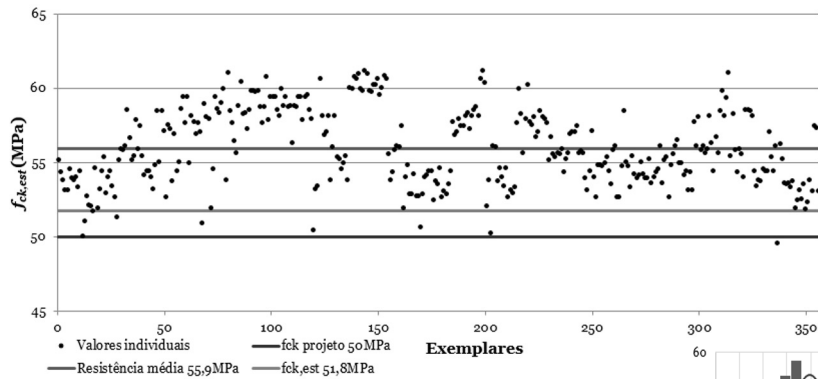


- ✓ Total de 160 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 160 caminhões betoneira em 3 meses (cerca de 1.280 m<sup>3</sup>)
- ✓ 7 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 4,97%
- ✓  $Slump=110\pm 10$  ;  $f_{cm} = 53,4\text{MPa}$  ;  $s_e = 1,9\text{MPa}$  ;  $v_e = 3,48\%$
- ✓  $f_{c,min} = 48,8\text{MPa}$  ;  $f_{c,max} = 60,6\text{MPa}$  ;  $f_{ck,est} = 50,3\text{MPa}$

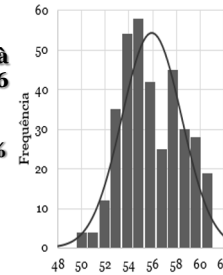


94

## Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=50$ MPa Obra E



- ✓ Total de 356 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 356 caminhões betoneira em 5 meses (cerca de 2.848 m<sup>3</sup>)
- ✓ 1 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 0,28%
- ✓  $Slump=150\pm 20$  ;  $f_{cm} = 55,9\text{MPa}$  ;  $s_c = 2,5\text{MPa}$  ;  $v_c = 4,52\%$
- ✓  $f_{c,min} = 49,5\text{MPa}$  ;  $f_{c,max} = 61,1\text{MPa}$  ;  $f_{ck,est} = 51,8\text{MPa}$

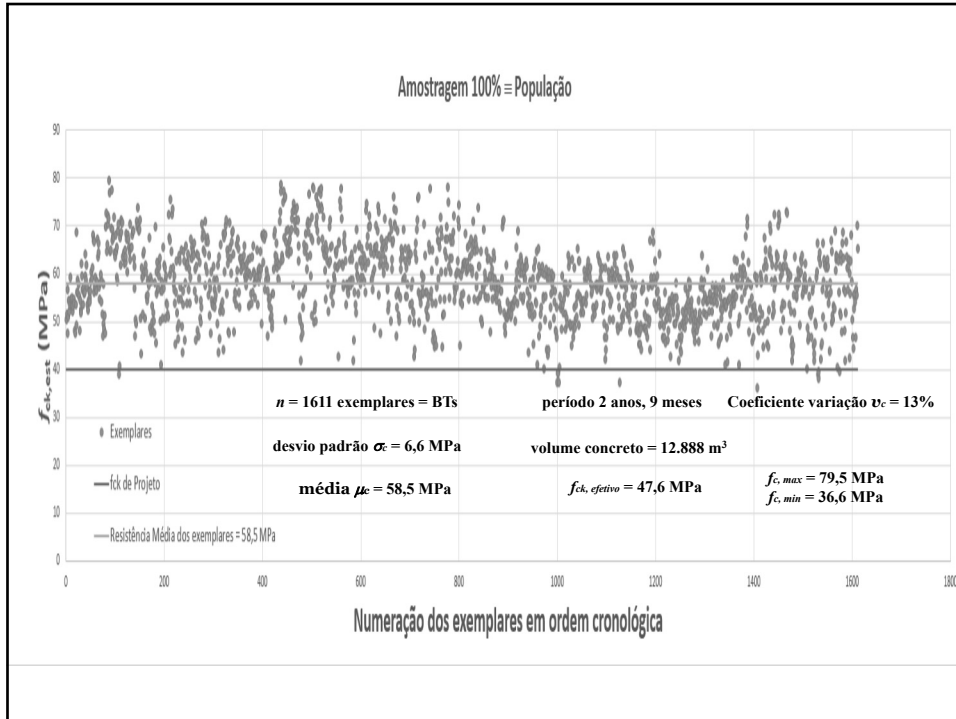


95

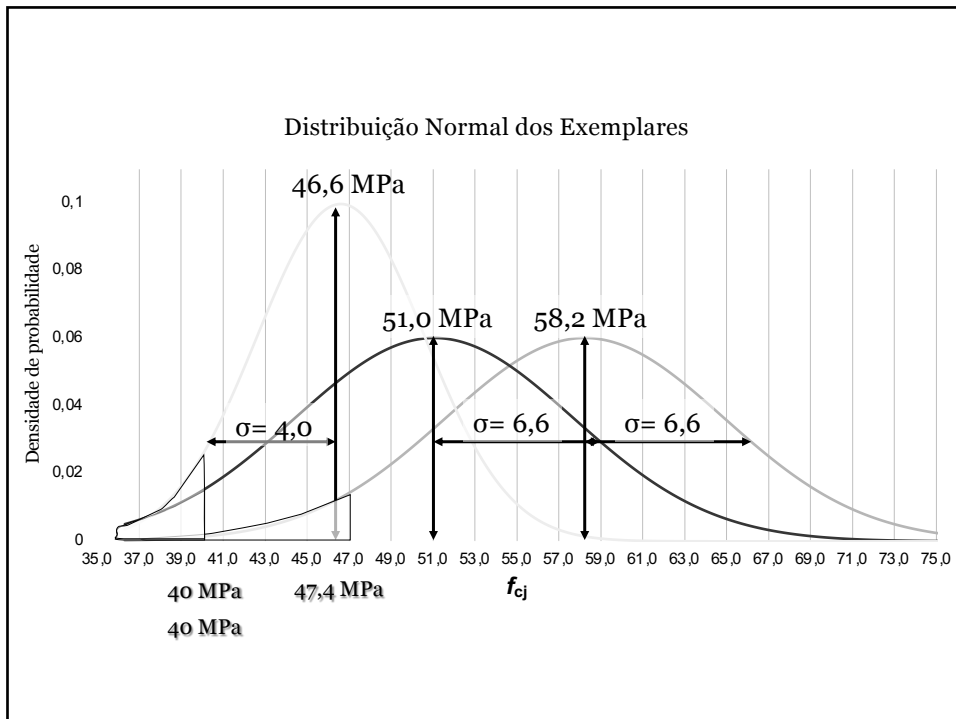


96





97



98

**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.*

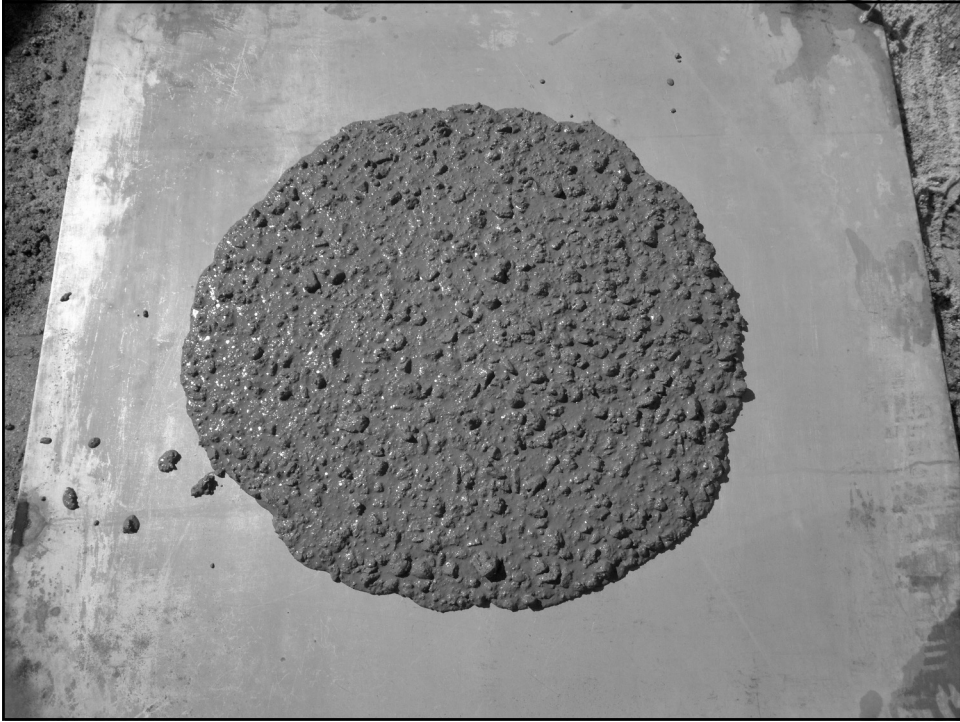
*item 26.12. Concrete evaluation and acceptance*

99

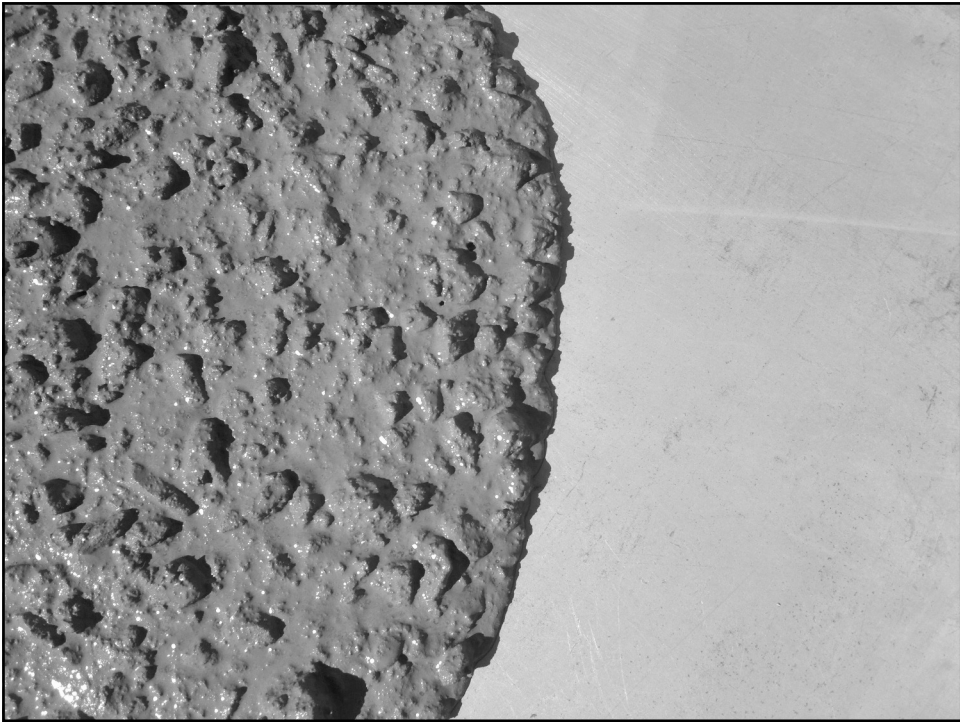


**Central dosadora de concreto**

100



101



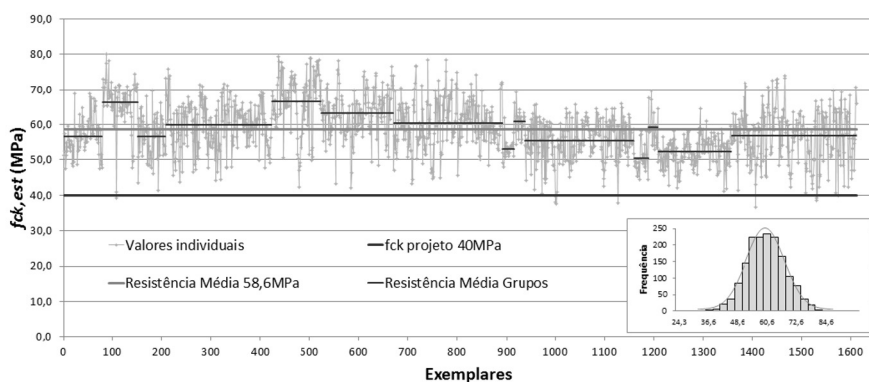
102

## Plano de Controle Tecnológico

- ✓ Controle de resistência à compressão aos 28 dias de idade por amostragem total de acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015 “*Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*”;
- ✓ Realizado durante 2 anos e 9 meses por laboratório acreditado pelo INMETRO pertencente à rede Brasileira de laboratório de Ensaio (RBLE);
- ✓ Laboraristas qualificados e certificados pelo IBRACON através do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal.

103

## Controle da resistência do concreto obra à luz da ABNT 12.655



- ✓ Total de 1.611 resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade;
  - ✓ 11 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja, 0,7%;
  - ✓ Média = 58,6MPa; Desvio Padrão = 6,6MPa, Coef. de variação = 11,2%;

104

## **ACI 318-14** “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”

Quanto à amostragem, o ACI 318 no item 26.12 “*Concrete evaluation and acceptance*” recomenda como critérios mínimos:

- ✓ um exemplar por dia de concretagem;
- ✓ um exemplar para cada 115m<sup>3</sup> de concreto produzido;
- ✓ um exemplar para cada 465m<sup>2</sup> de área superficial para lajes ou paredes;
- ✓ o controle para volumes inferiores a 38m<sup>3</sup> é dispensado, desde que exista carta de traço aprovada.

105

## **ACI 318**

O valor da resistência à compressão de cada um dos exemplares é determinado pela média aritmética simples dos resultados obtidos

Caso os valores individuais dos corpos de prova irmãos difiram de mais de 8%, os resultados são considerados inadequados e devem ser desconsiderados (ASTM C39-16b “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”)

O ACI 318, assim como a ABNT NBR 12655 e a norma europeia EN-206:2013 consideram que de cada betonada moldada é obtido apenas 1(um) valor de resistência à compressão.

106

## **ACI 318**

O ACI 318 prescreve os seguintes critérios de aceitação e conformidade:

- ✓ para  $f_{ck} \leq 35\text{MPa}$ , nenhum resultado individual deve ser inferior a  $f_{ck} - 3,5\text{MPa}$ ;
- ✓ para  $f_{ck} > 35\text{MPa}$  (caso em questão), nenhum resultado individual pode ser inferior a  $0,9 * f_{ck}$ ;
- ✓ a média móvel de quaisquer 3(três) resultados consecutivos deve ser igual ou superior a resistência característica definida em projeto ( $f_{ck}$ ).

107

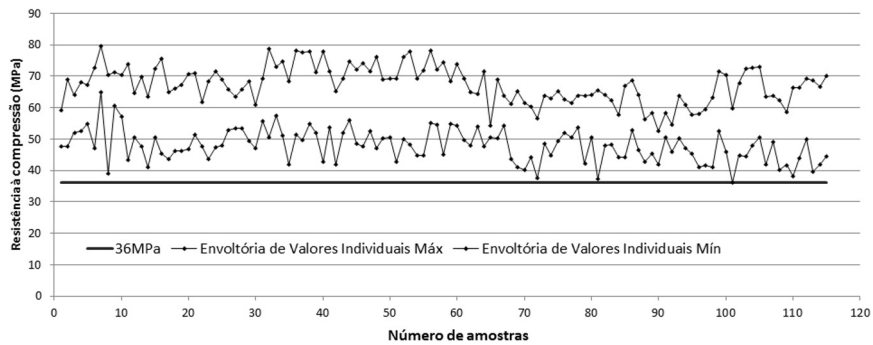
## **Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI**

Considerando o critério mínimo de amostragem proposto pelo ACI de um exemplar a cada  $115\text{m}^3$  de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 14 caminhões betoneira de  $8\text{m}^3$ ) foram determinadas as envoltórias dos valores individuais e da média móvel de 3(três) resultados consecutivos.

108

## Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

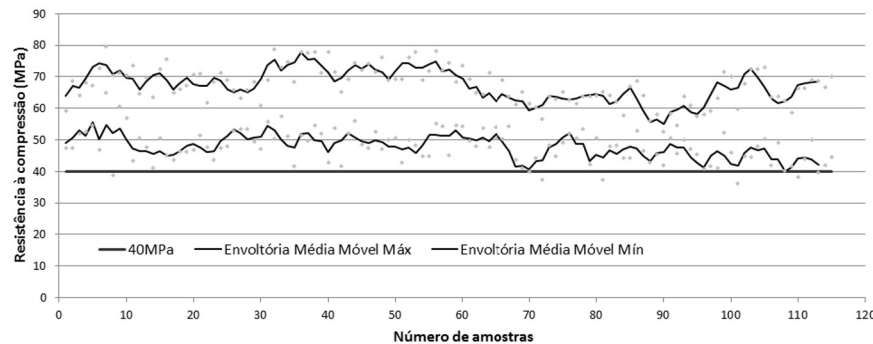


Critério de aceitação:  $\geq 0,9 \cdot f_{ck} = 36\text{MPa}$

109

## Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



Critério de aceitação:  $\geq f_{ck} = 40\text{MPa}$

110



111

## Resumo - frequência dos ensaios

<b>ABNT NBR 12655</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a cada 8 m<sup>3</sup>!!</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 115 m<sup>3</sup> de concreto;</li> <li>• ≥ uma vez por cada 465 m<sup>2</sup> de superfície de lajes ou muros;</li> <li>• dispensado o controle para volumes &lt; 38 m<sup>3</sup></li> </ul>	
<b>EN 206-1:2013</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 3 amostras nos primeiros 50 m<sup>3</sup>;</li> </ul>	
	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 200 m<sup>3</sup> ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150 m<sup>3</sup> 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 400 m<sup>3</sup> ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150 m<sup>3</sup> ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>

112



## Resumo – critérios de aceitação

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
ACI 318-14	<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>
EN 206-1:2013	<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>

113

## Conclusão

- ✓ 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  $f_{ck}$

114

$$f_{ck,est} > 0,9 * f_{ck}$$

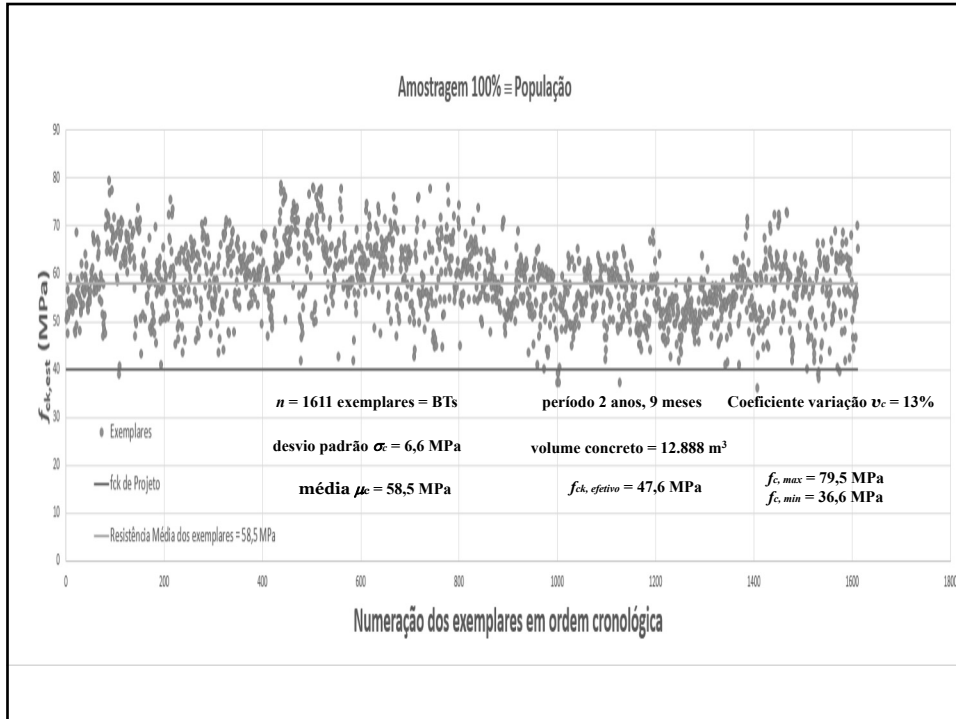
justificativa para poder aceitar um valor individual esporádico de  $f_{ck,est}$  (um caminhão betoneira) abaixo de  $f_{ck}$

$$f_{ck,est} \text{ até } 0,9 * f_{ck}$$

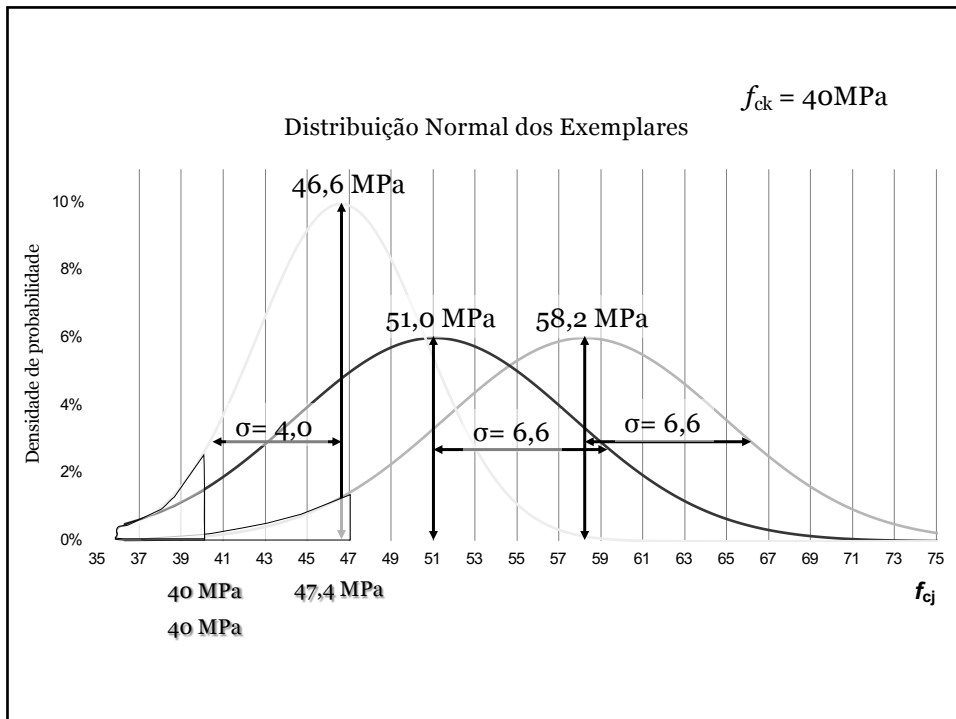
115



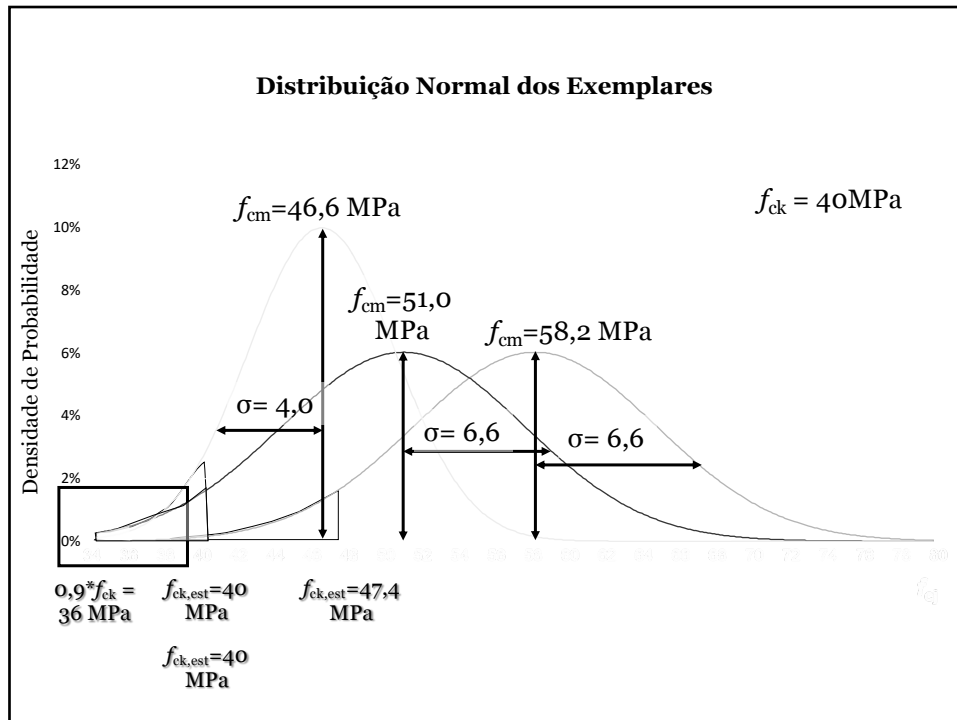
116



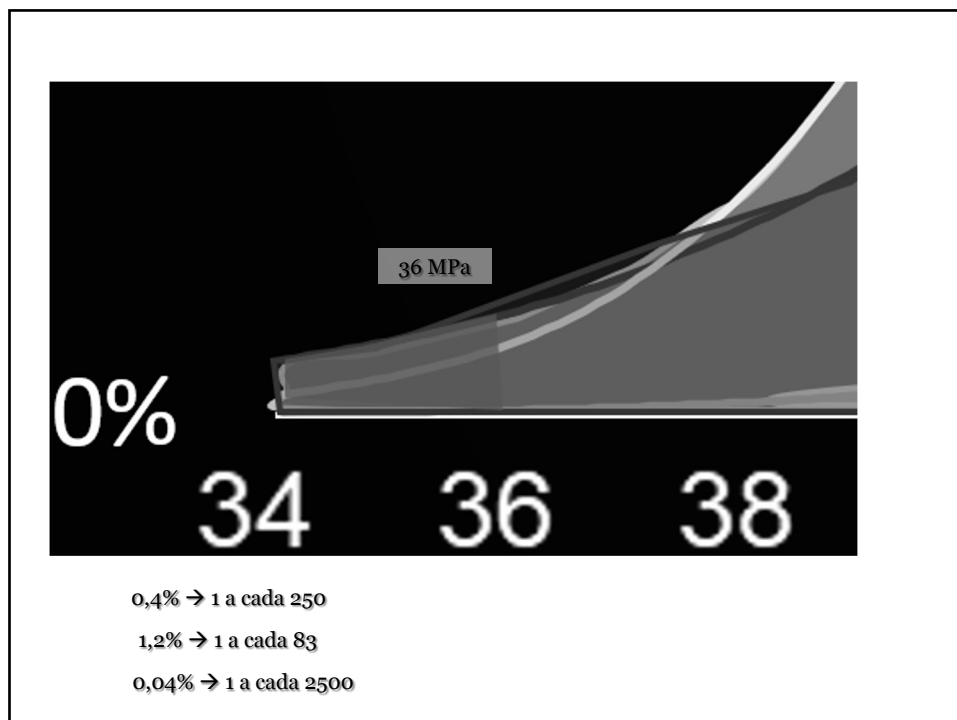
117



118



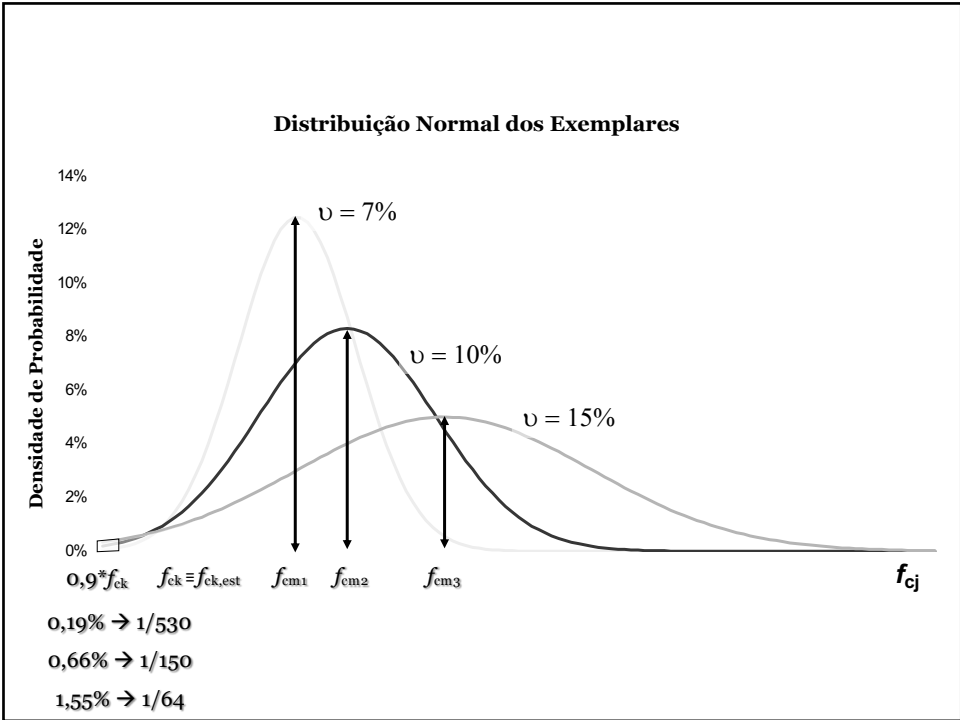
119



120

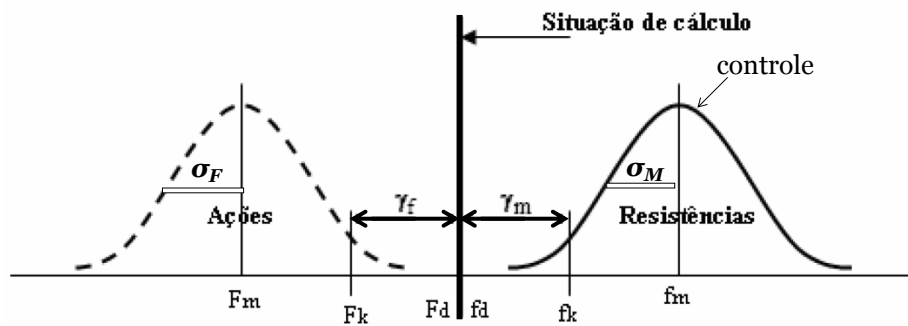
$f_{ck}$	média	$\sigma_c$	$0,9*f_{ck}$	Quantil	1 a cada	$v_c$
40	46,6	4	36	0,4%	250	8,6%
40	51	6,6	36	1,2%	83	12,9%
47,8	58,2	6,6	36	0,04%	2500	11,3%
20	26,6	3,99	18	1,56%	64	15,0%
30	39,9	5,98	27	1,55%	64	15,0%
40	47,9	4,8	36	0,66%	150	10,0%
112	126,6	8,9	100,8	0,19%	530	7,0%

121



122

## Análise “probabilista” de confiabilidade



123

# 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

124