

ESCOLA POLITÉCNICA UNISINOS
 Temos infinitas possibilidades

Especialização em Patologia e Perícia das Construções

Especificações do concreto: propriedades mecânicas, controle tecnológico e critérios de aceitação

Horário: Sexta-feira das 18h45 às 22h45

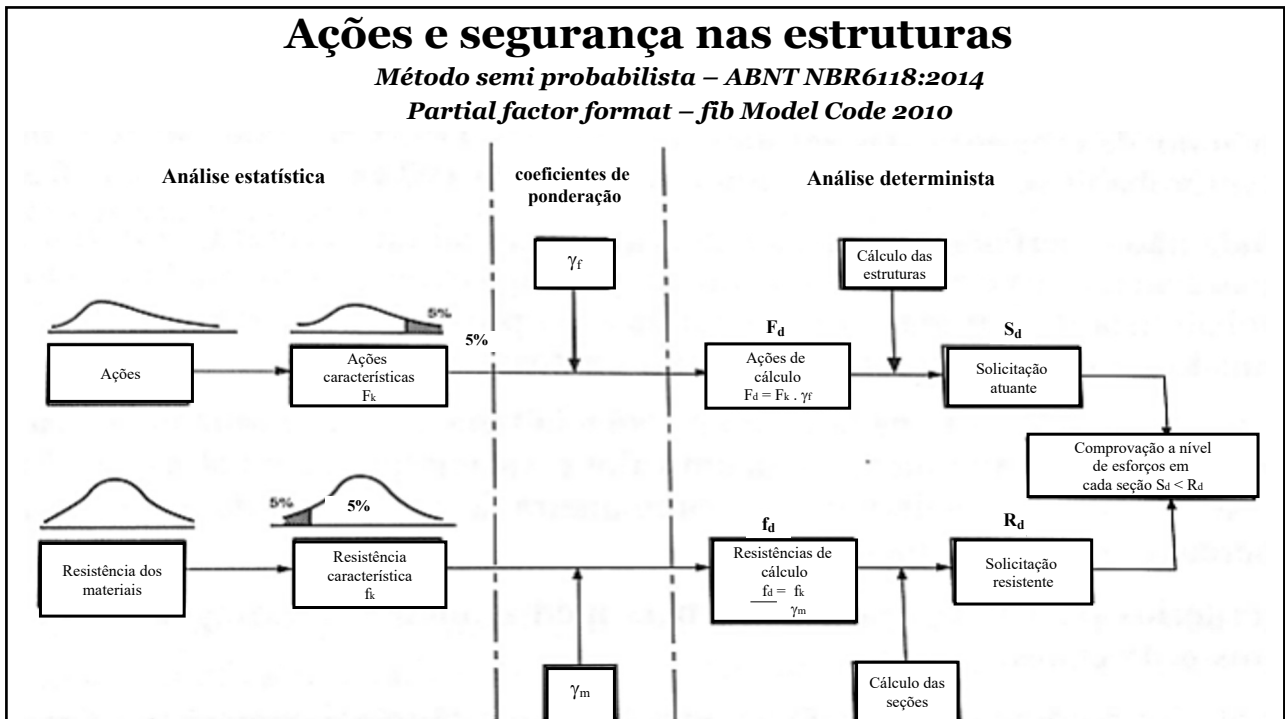


"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

UNISINOS
02 de dezembro de 2022
São Paulo/SP

1



2

ABNT NBR 6118:2014

8.2.4 Resistência à compressão

As prescrições desta Norma referem-se à resistência à compressão obtida em ensaios de corpos de prova cilíndricos, moldados segundo a ABNT NBR 5738 e rompidos como estabelece a ABNT NBR 5739.

Quando não for indicada a idade, as resistências referem-se à idade de 28 dias. A estimativa da resistência à compressão média, f_{cmj} , correspondente a uma resistência f_{ckj} especificada, deve ser feita conforme indicado na ABNT NBR 12655.

12 Resistências

12.2 Valores característicos

Para os efeitos desta Norma, a resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5 % de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

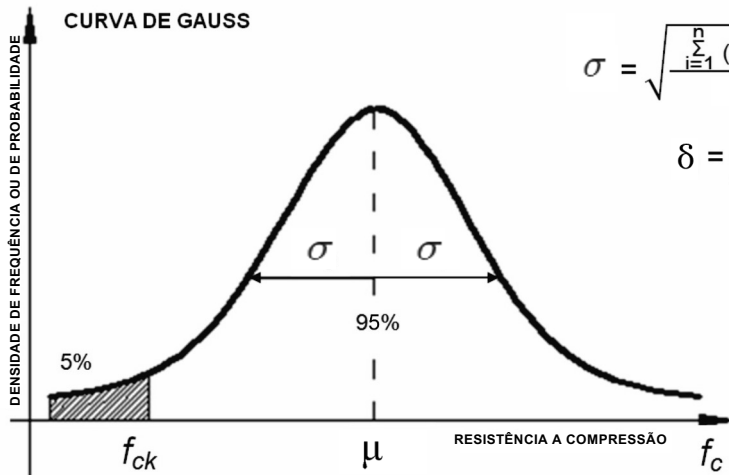
3

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



4

parâmetros da população
(amostragem total a 100%)



$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - f_{ci})^2}{n}} \quad (\text{MPa})$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad (\%)$$

5

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

6

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\$ 0,40
- preço 1 kg concreto C30 (posto obra) = R\$ 0,17

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

7

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

8



9

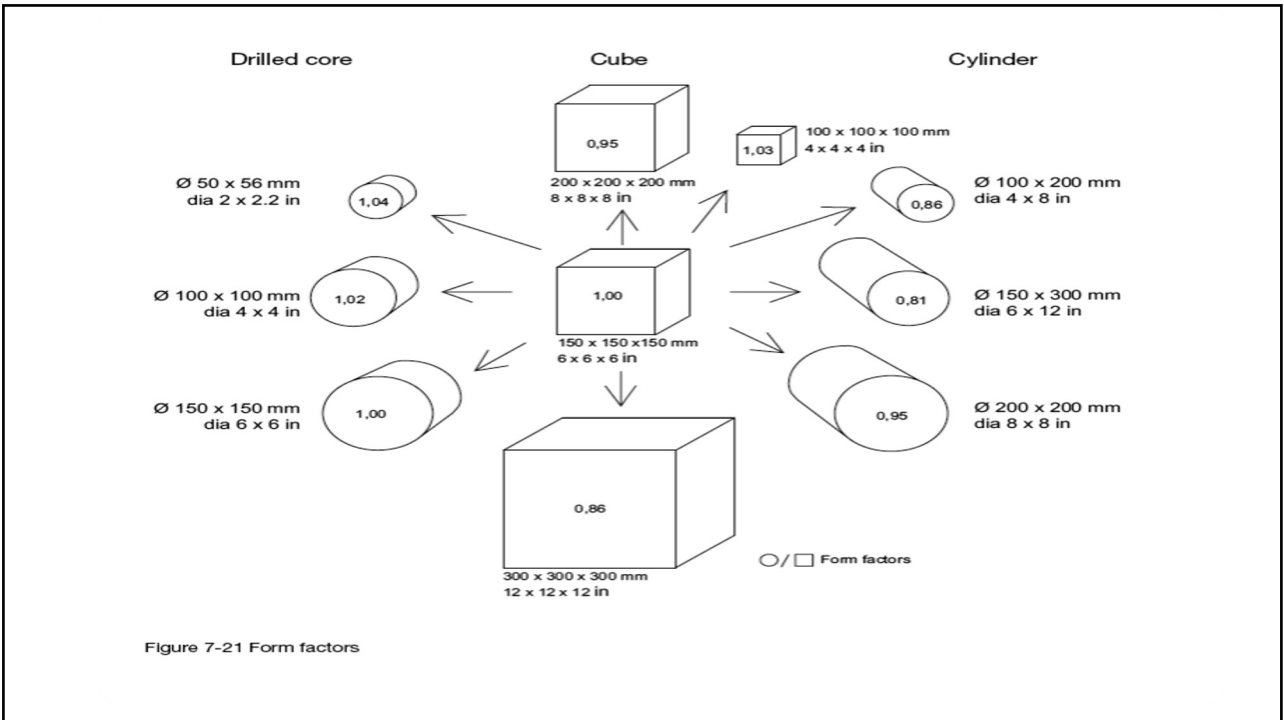


Figure 7-21 Form factors

10

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

- ✓ o cilindro 15cm ϕ * 30cm
- ✓ o cilindro 10cm ϕ * 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

11

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



Não !

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

12

**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 !**

13

**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 !**

14

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

15

**... 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?**

16

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

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

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

17

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

18

ABNT NBR 6118:2014

12.3 Valores de cálculo

12.3.3 Resistência de cálculo do concreto

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$$

12.4 Coeficientes de ponderação das resistências

As resistências devem ser minoradas pelo coeficiente:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$$

12.4.1 Coeficientes de ponderação das resistências no estado-limite último (ELU)

Os valores para verificação no estado-limite último estão indicados na Tabela 12.1:

19

ABNT NBR 6118:2014

Tabela 12.1 – Valores dos coeficientes γ_c e γ_s

Combinações	Concreto	Aço
	γ_c	γ_s
Normais	1,27 1,4 1,54	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

12.4.2 Coeficientes de ponderação das resistências no estado-limite de serviço (ELS)

Os limites estabelecidos para os estados-limites de serviço (ver Seções 17, 19 e 23) não necessitam de minoração, portanto, $\gamma_m = 1,0$.

20

ABNT NBR 6118:2014

12 Resistências

12.1 Simbologia específica desta seção

γ_{m1} – Parte do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos

γ_{m2} – Parte do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura

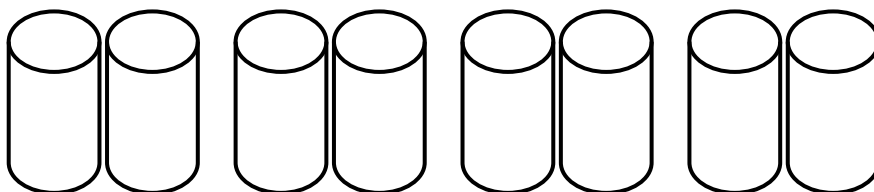
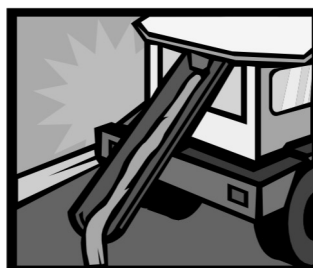
γ_{m3} – Parte do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das resistências

21

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

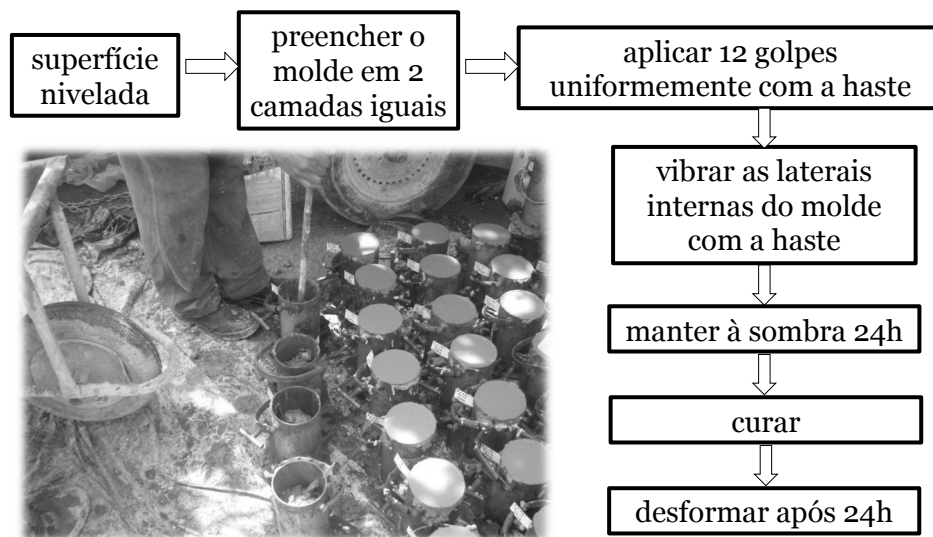
Grupo B

Grupo C

Grupo D

22

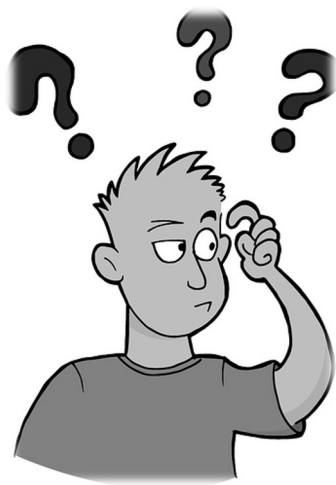
o concreto deve ser amostrado de acordo com a ABNT NM 33 e moldado de acordo com a ABNT NBR 5738:2015



23

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.

24



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

25

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.

26

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 _c (%)	f _{ckj,est} [MPa]	
		p/ f _{cmj} = 26 MPa f _{ck} = 20 MPa	p/ f _{cmj} = 62 MPa f _{ck} = 50 MPa
1	10,44	21,5	51,3
2	10,22	21,6	51,5
5	10,09	21,7	51,7

27

- 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);

28

- 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;

29

- 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: conclui pragmaticamente que o valor mais alto é o mais adequado a ser adotado.

30

quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?

31

...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.

32

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 !

33

**quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?**

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

34

variabilidade do material

versus

variabilidade do ensaio

35

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



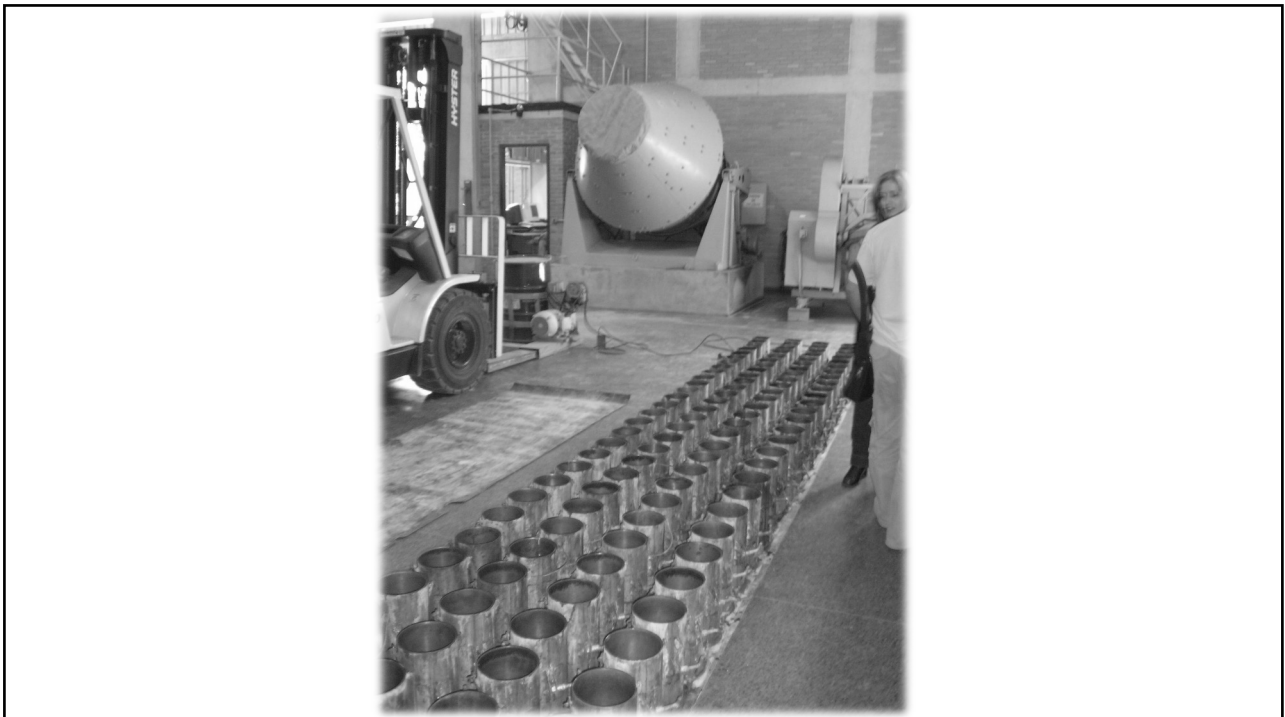
36

betoneira estacionária com volume
útil total de 1 m³

→ 163 cps “15x30”

→ 625 cps “10x20”

37



38



39

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



40

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
CEP 20063-900 - Caixa Postal 1690
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 219-3122
Fax: (021) 246-2092/20-1143
E-mail: vendas@abnt.org.br
NORMATECNICA

Copyright © 1996.
ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Printed in Brazil
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados.

DEZ 1996 NBR 7215

Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão

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 MB-1:1991 (NBR 7215)
Válida a partir de 31.01.1997
Incorpora a 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 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 7214:1982 - 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 0,46.

- 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;



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



43

- 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.



44

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.

45

ensaiando um CPM 40

46 53 49 52

média $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

(6% → 3MPa) → descarta 46

nova média **51,3 MPa**

46

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 !..*

47

como um engenheiro de concreto
interpretaria esses mesmos resultados ?

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

48

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

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

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

“potencial do concreto”

49

...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?

50

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

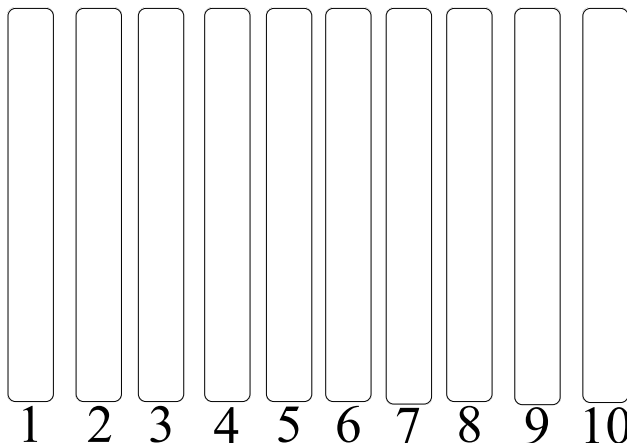
exemplar = mais alto ($f_{ck,est}$)

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

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

51

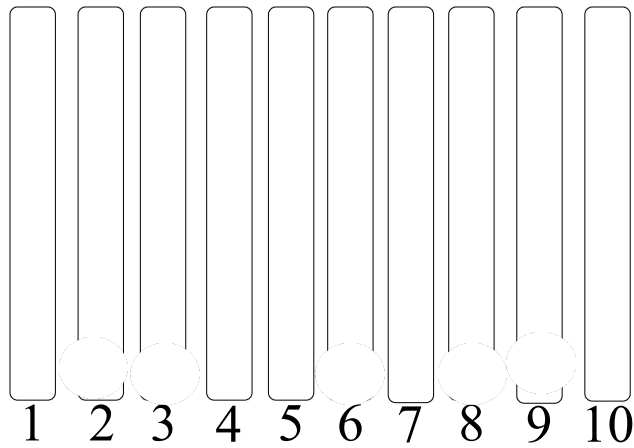
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência característica do concreto à
compressão nesses pilares para fins de
verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

52

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



53



54

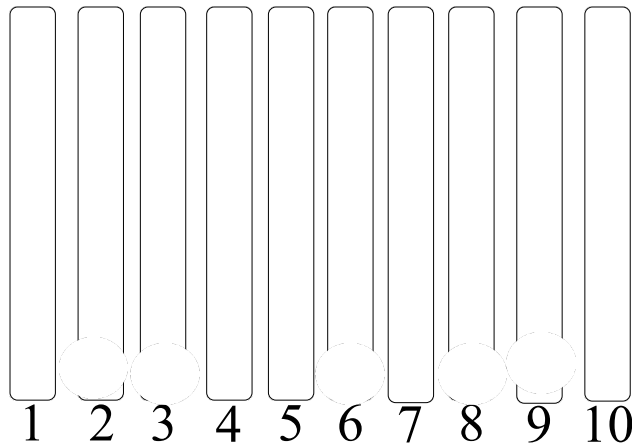


55



56

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

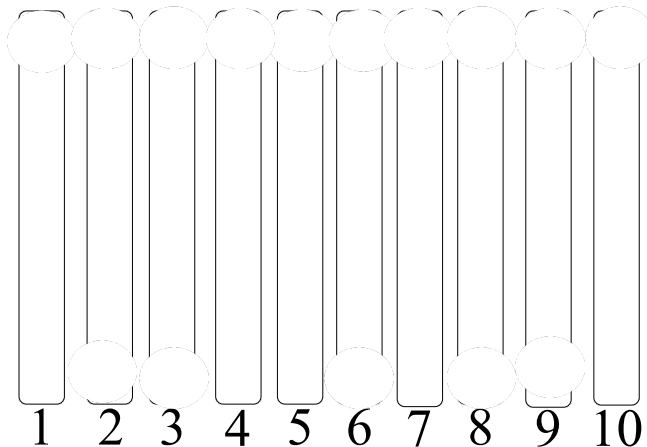


f_{ck}
45MPa

57

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

$f_{ck,est}$?

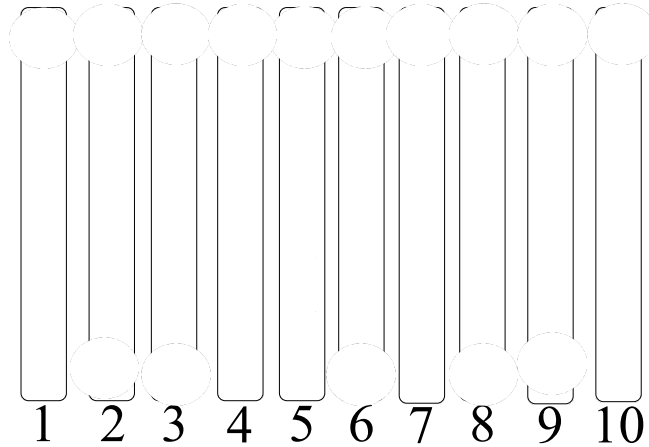


f_{ck}
45MPa

58

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

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

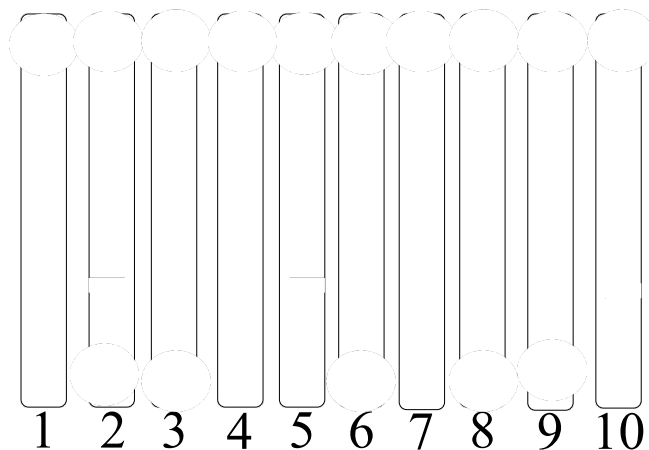


terço inferior

59

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

60

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

61

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

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

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

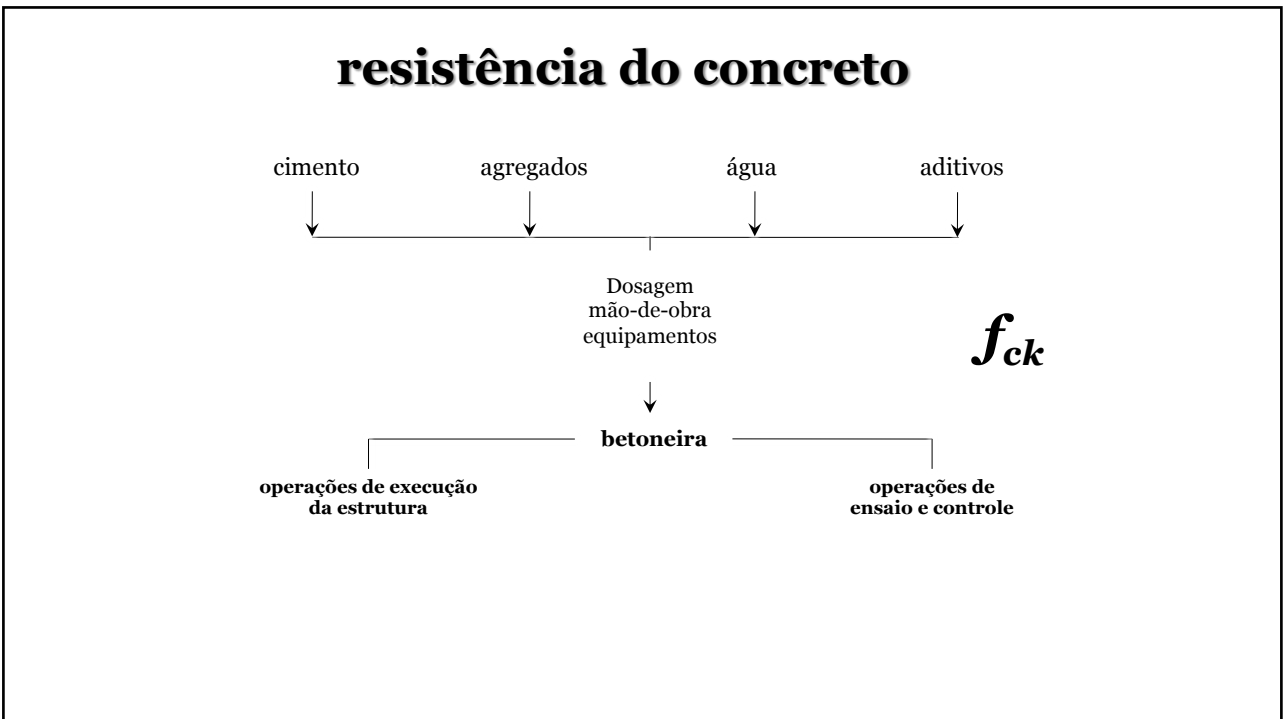
referencial de segurança

f_{ck}

62

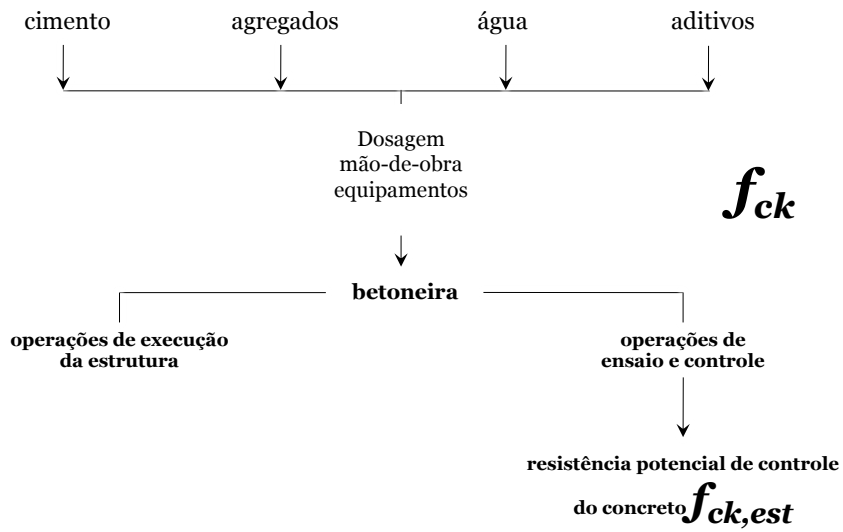


63



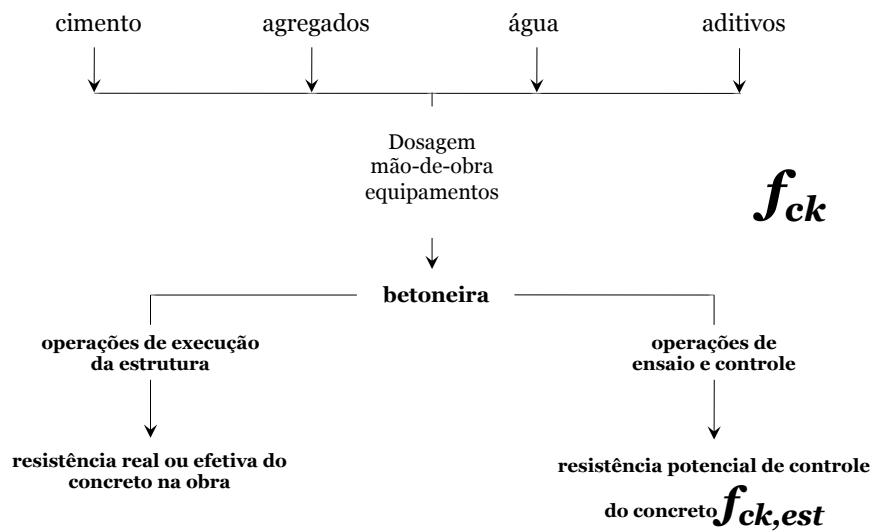
64

resistência do concreto

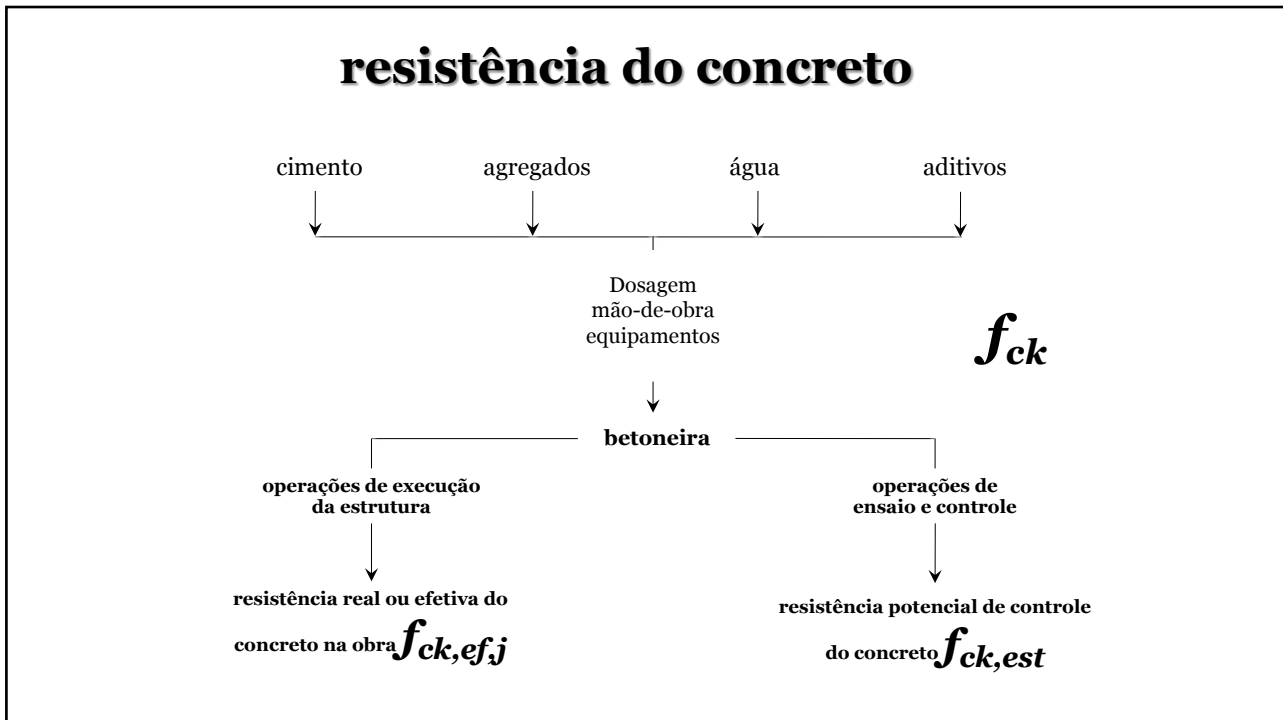


65

resistência do concreto



66



67



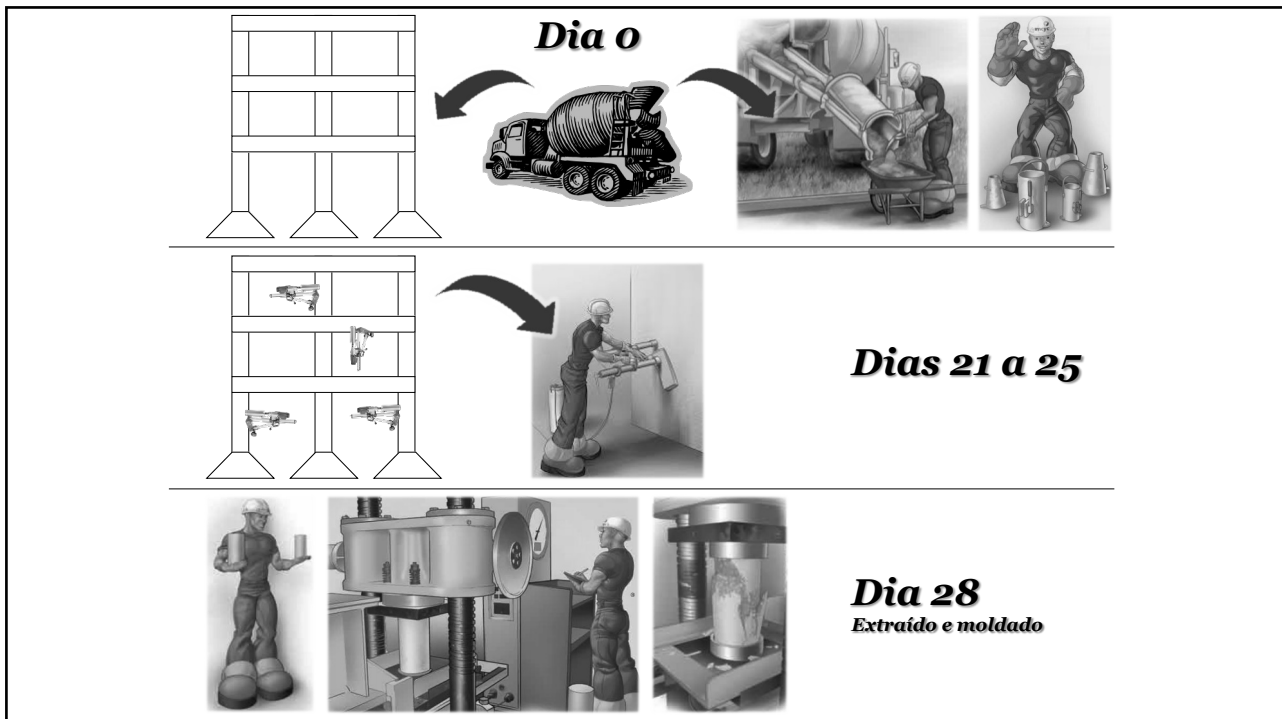
68

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

69



70

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

71

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

72

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

73

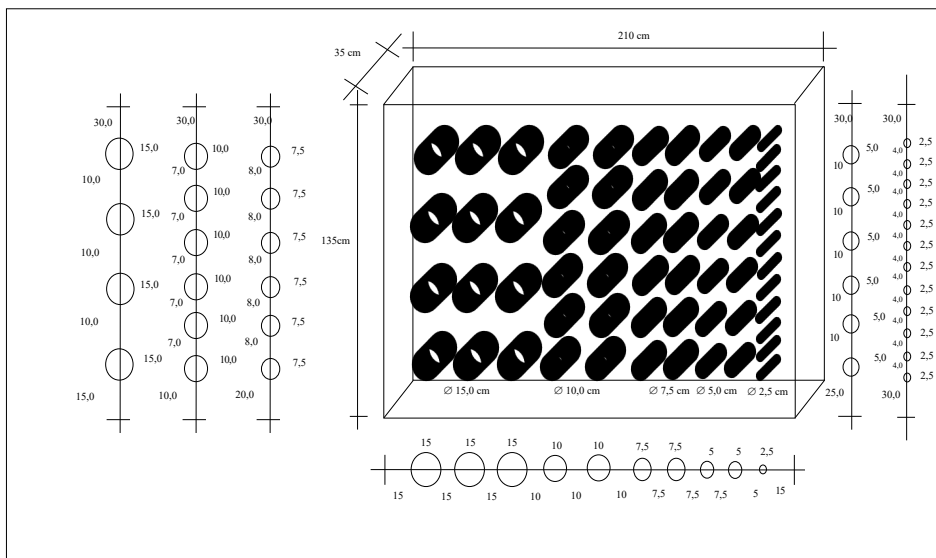


74



75

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



76



Parede/bloco perfurada

77

Conclusão

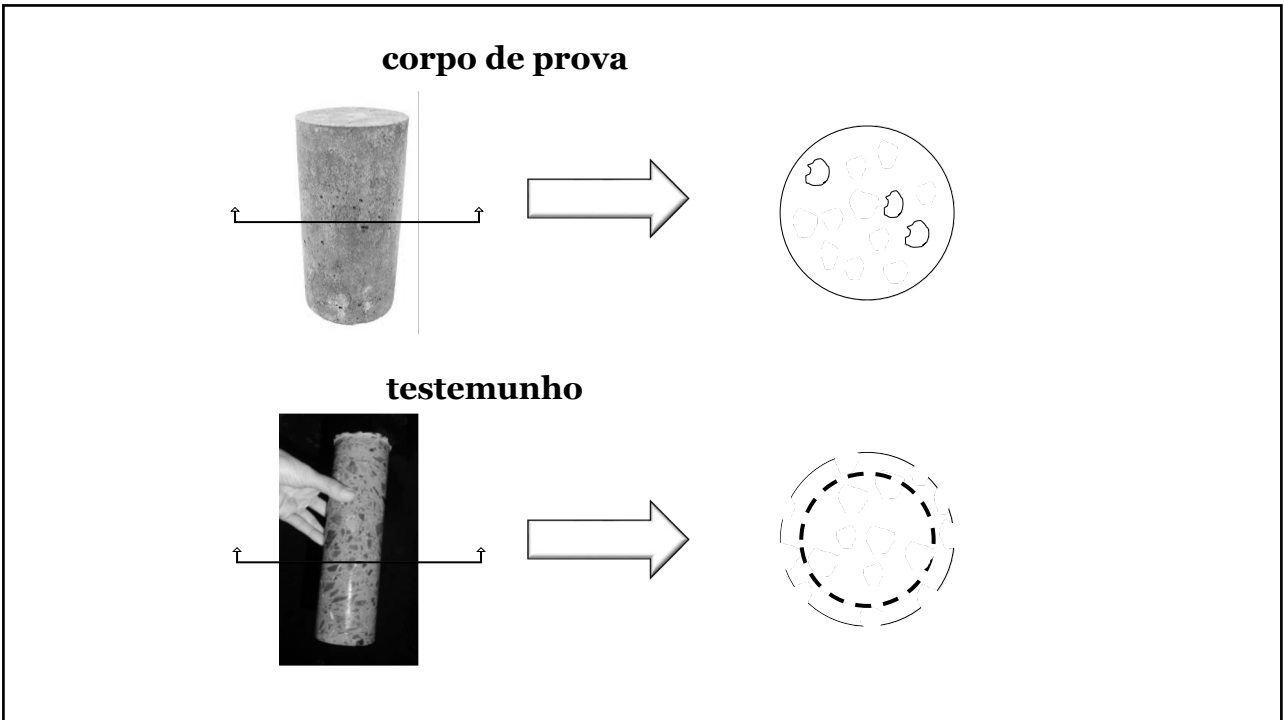
Média geral:

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

78



79



80

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;

81

como aceitar o concreto ?



82

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

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

83

Universo
População
Lote

amostra

unidade de produto
unidade de controle

exemplares

corpo de prova

84

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



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

85

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

86

Unidade de Produto
Unidade de Controle
Concreto



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

87

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

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

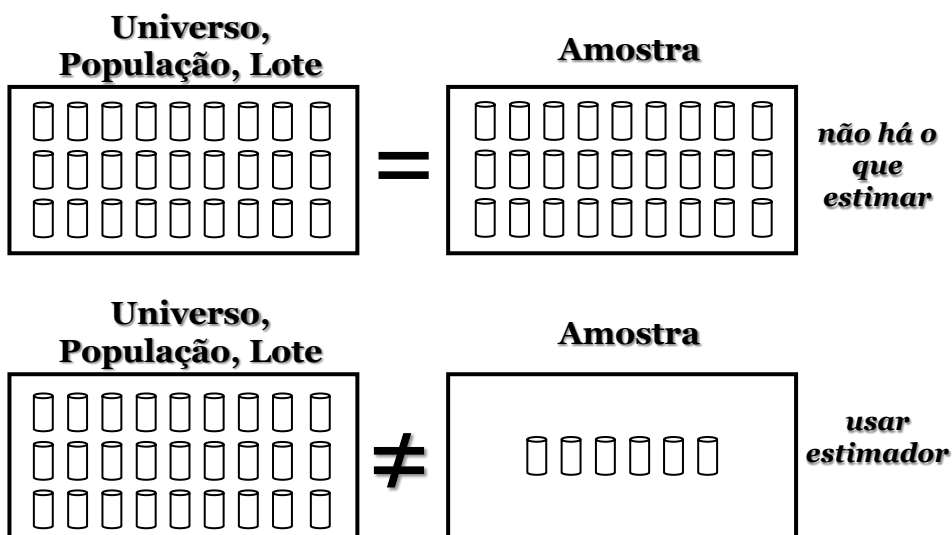
88

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.

89

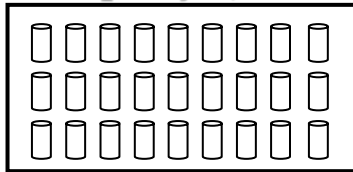
Amostragem ABNT NBR 12655



90

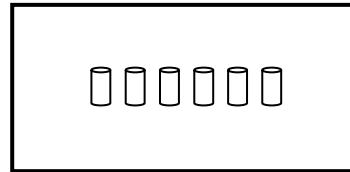
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

91

Conformidade dos lotes

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

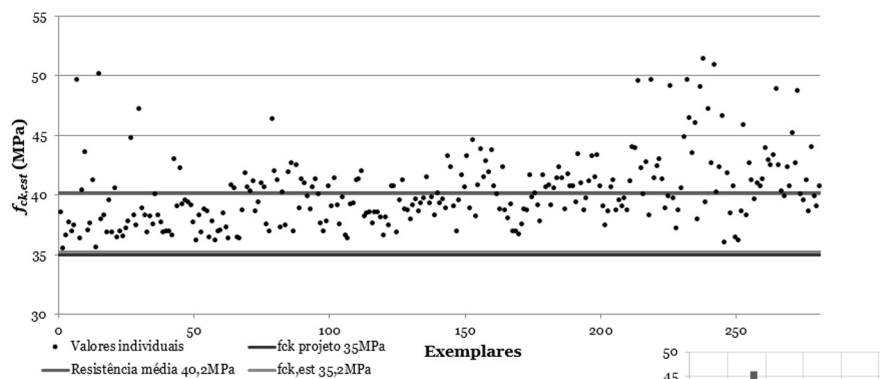
$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

92

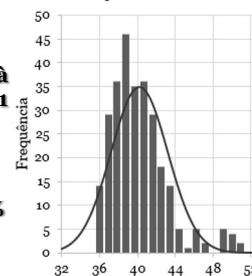
variabilidade da resistência à
compressão do concreto num
processo “industrial” de produção
em centrais dosadoras
(“concreteiras”)
aceitação é por lotes

93

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

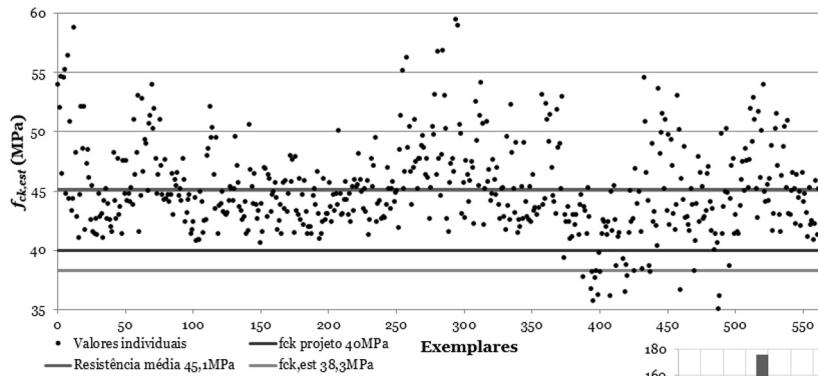


- ✓ Total de 281 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 281 caminhões betoneira em 13 meses (cerca de 2.248 m³)
- ✓ Zero resultados não conformes (abaixo de 35MPa)
- ✓ $Slump=100\pm 20$; $f_{cm} = 40,2$ MPa ; $s_c = 3,0$ MPa ; $v_c = 7,49\%$
- ✓ $f_{c,min} = 35,5$ MPa ; $f_{c,max} = 51,4$ MPa ; $f_{ck,est} = 35,2$ MPa

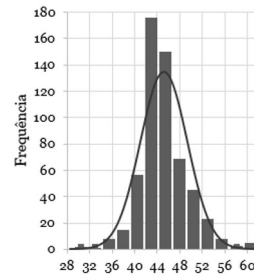


94

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

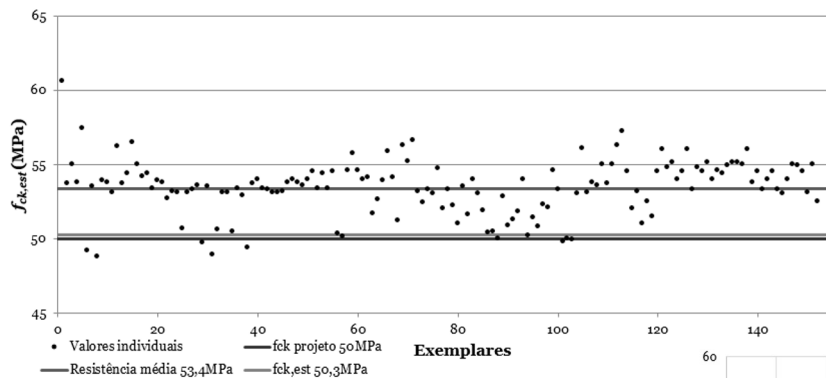


- ✓ Total de 562 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 562 caminhões betoneira em 19 meses (cerca de 4.496 m³)
- ✓ 29 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja 5,16%
- ✓ Autoadensável ; $f_{cm} = 45,1\text{MPa}$; $s_e = 4,2\text{MPa}$; $v_e = 9,24\%$
- ✓ $f_{c,min} = 29,1\text{MPa}$; $f_{c,max} = 61,8\text{MPa}$; $f_{ck,est} = 38,3\text{MPa}$

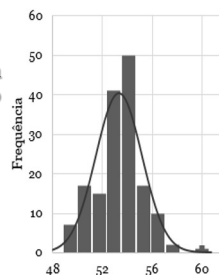


95

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

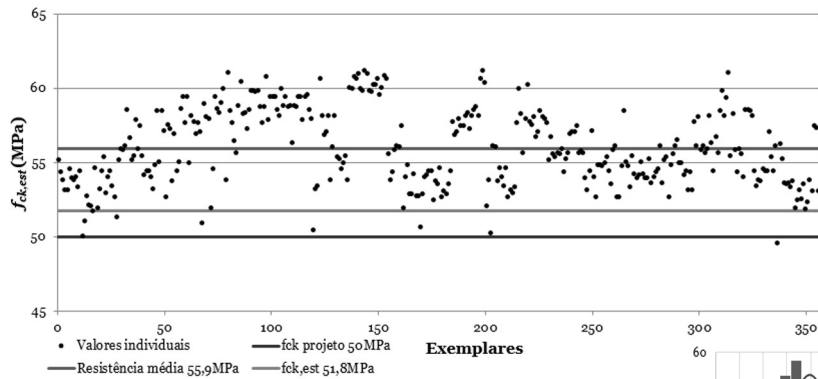


- ✓ Total de 160 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 160 caminhões betoneira em 3 meses (cerca de 1.280 m³)
- ✓ 7 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 4,97%
- ✓ $Slump=110\pm 10$; $f_{cm} = 53,4\text{MPa}$; $s_e = 1,9\text{MPa}$; $v_e = 3,48\%$
- ✓ $f_{c,min} = 48,8\text{MPa}$; $f_{c,max} = 60,6\text{MPa}$; $f_{ck,est} = 50,3\text{MPa}$

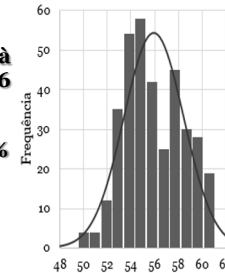


96

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



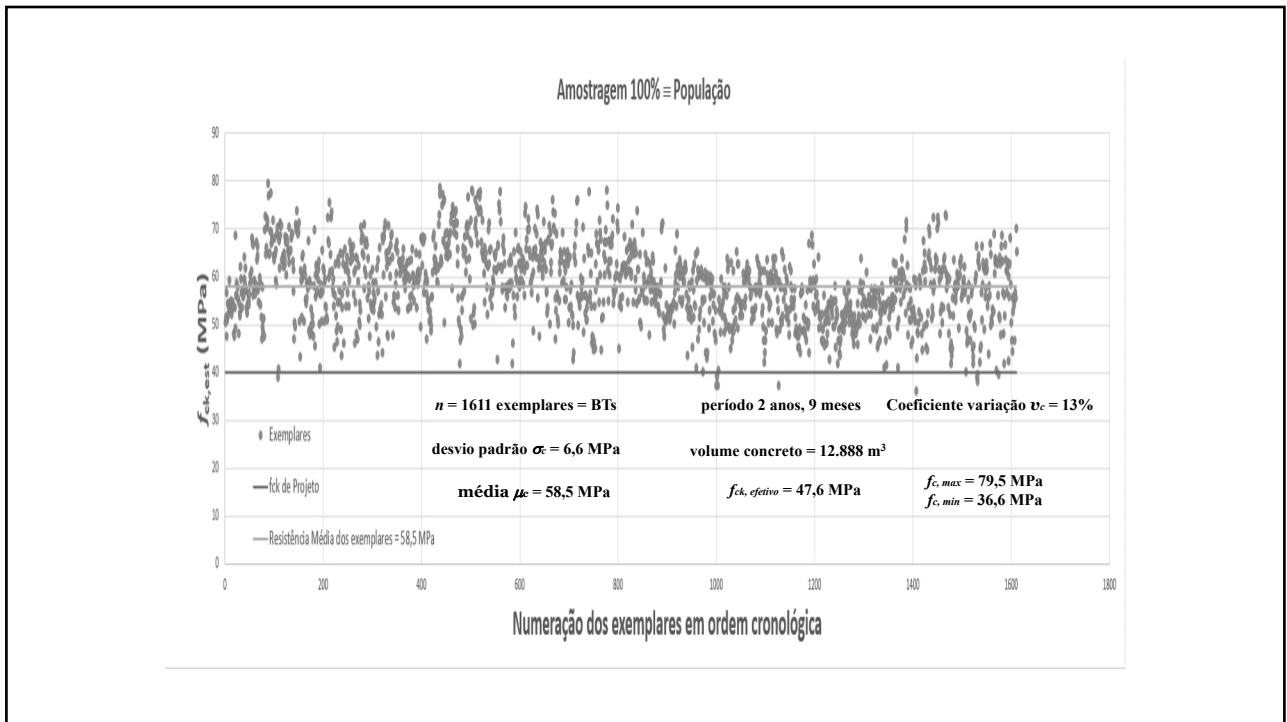
- ✓ Total de 356 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 356 caminhões betoneira em 5 meses (cerca de 2.848 m³)
- ✓ 1 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 0,28%
- ✓ $Slump=150\pm 20$; $f_{cm} = 55,9\text{MPa}$; $s_e = 2,5\text{MPa}$; $v_e = 4,52\%$
- ✓ $f_{c,min} = 49,5\text{MPa}$; $f_{c,max} = 61,1\text{MPa}$; $f_{ck,est} = 51,8\text{MPa}$



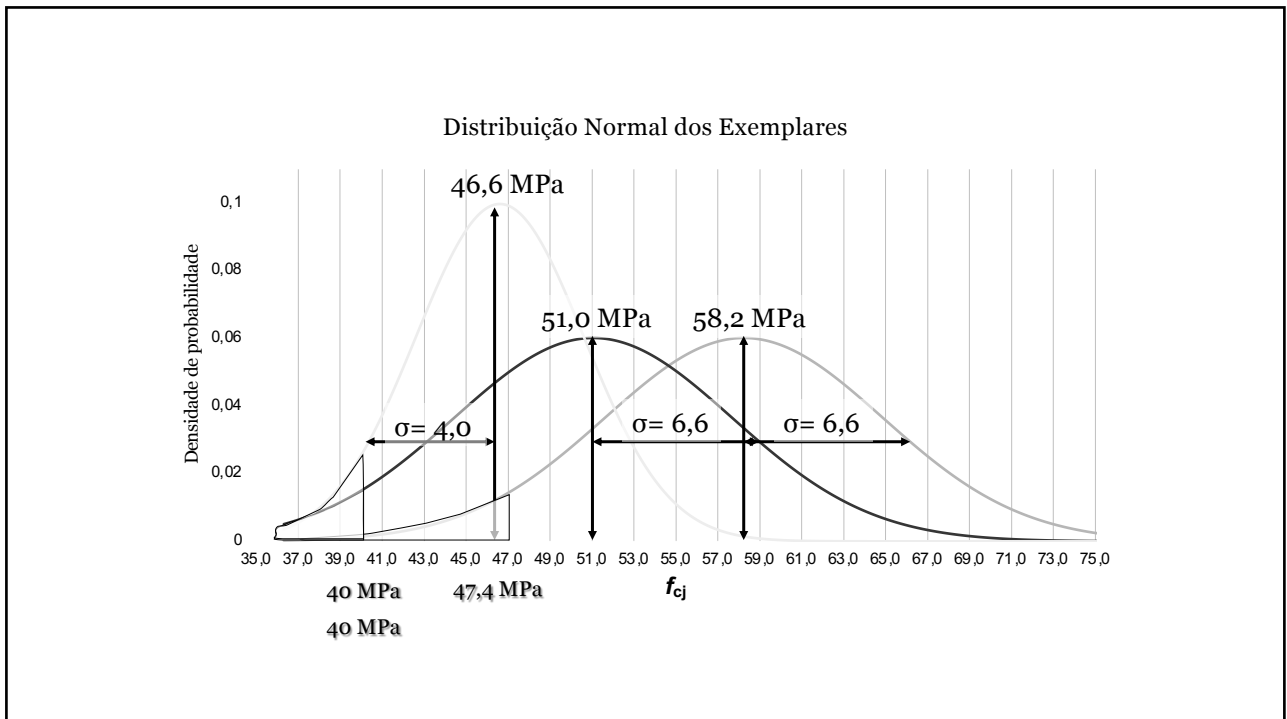
97



98



99



100

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

101

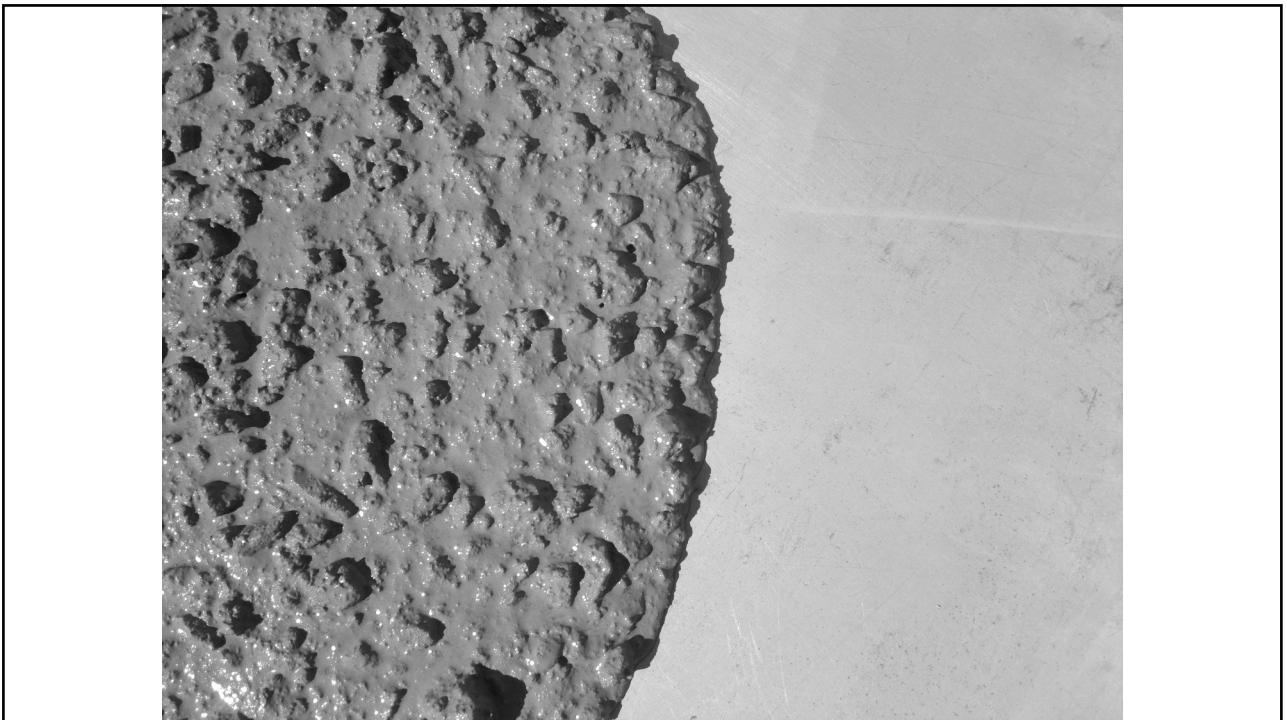


Central dosadora de concreto

102



103



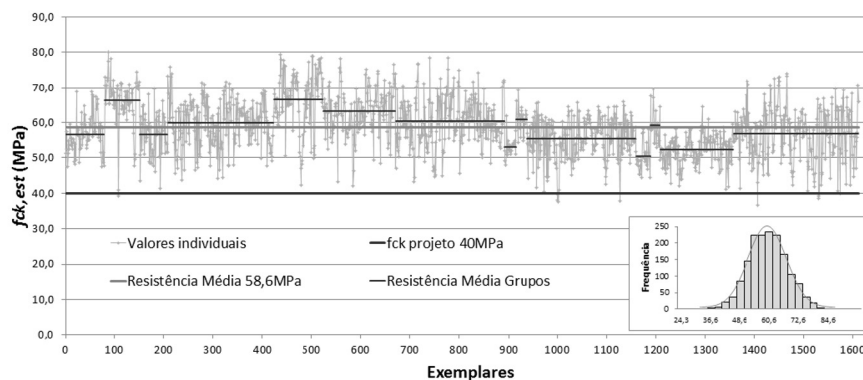
104

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.

105

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%;

106

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 115m³ de concreto produzido;
- ✓ um exemplar para cada 465m² de área superficial para lajes ou paredes;
- ✓ o controle para volumes inferiores a 38m³ é dispensado, desde que exista carta de traço aprovada.

107

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.

108

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 $0,9 \cdot f_{ck}$;
- ✓ a média móvel de quaisquer 3(três) resultados consecutivos deve ser igual ou superior a resistência característica definida em projeto (f_{ck}).

109

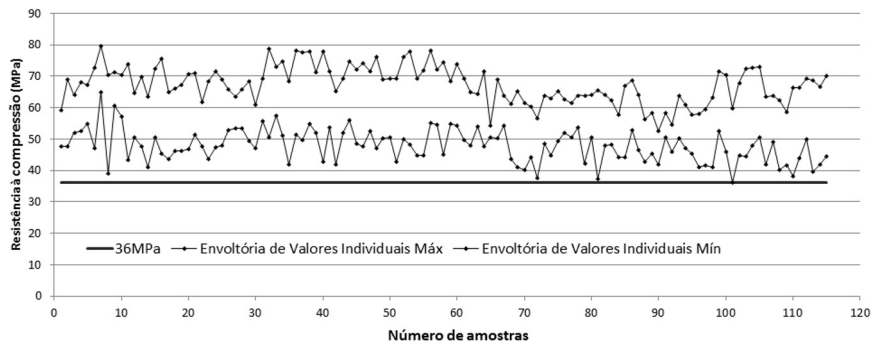
Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

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

110

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

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

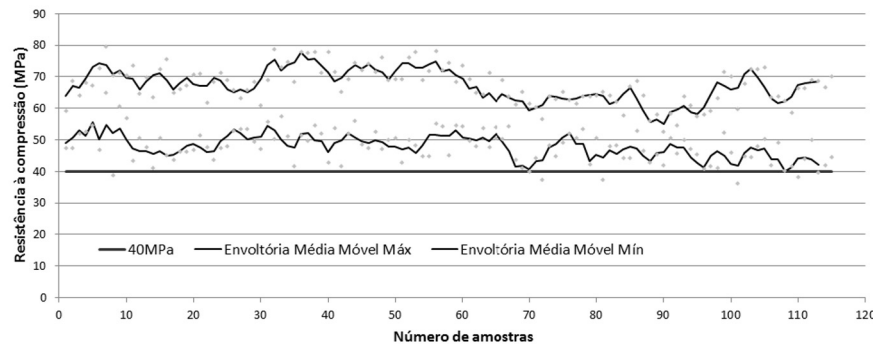


Critério de aceitação: $\geq 0,9 \cdot f_{ck} = 36\text{MPa}$

111

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

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



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

112

Reflexão



113

Resumo - frequência dos ensaios

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

114

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"> • $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$; • $f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4$ • $f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma$

115

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 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}

116

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

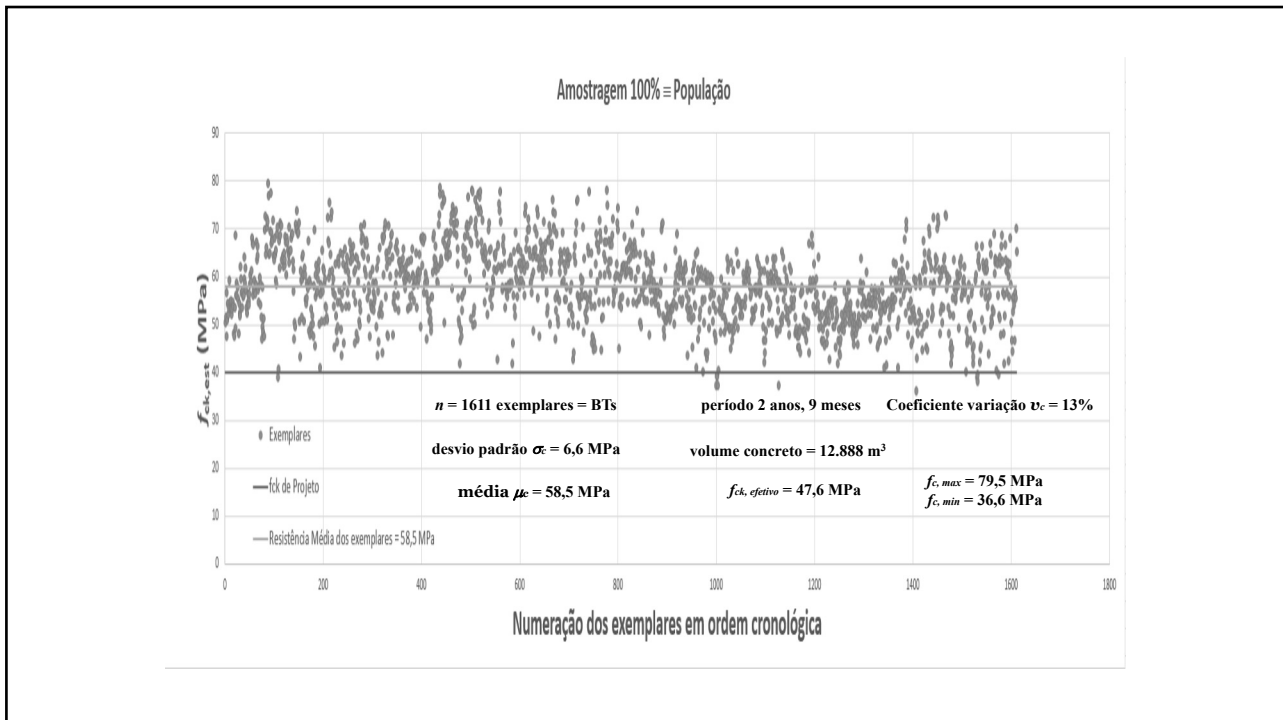
justificativa para poder aceitar um valor individual esporádico de $f_{ck,est}$ (um caminhão betoneira) abaixo de f_{ck}

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

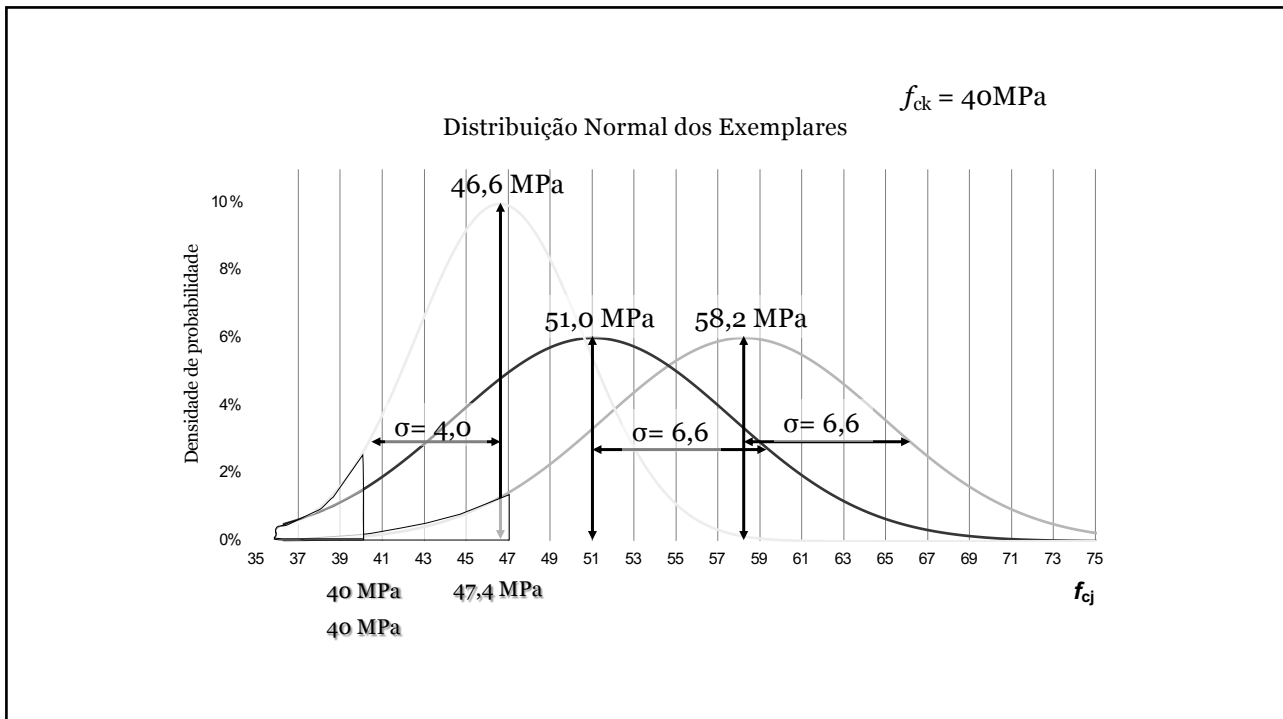
117



118

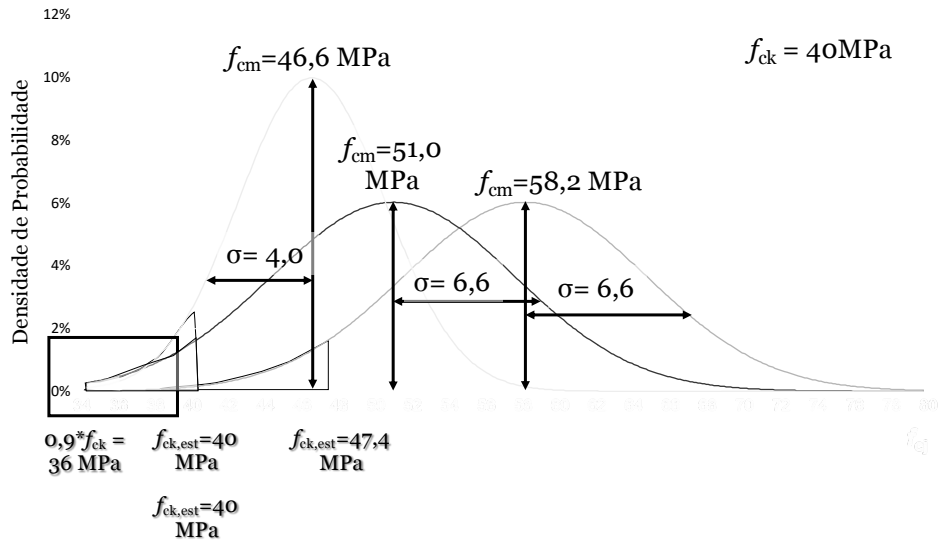


119

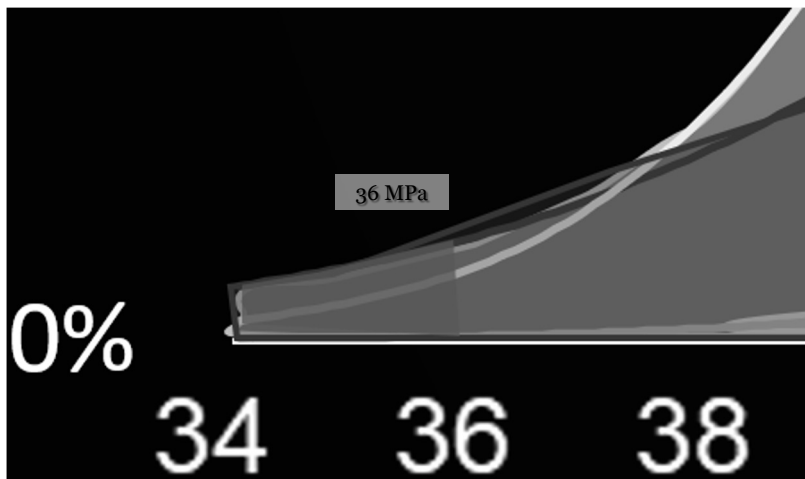


120

Distribuição Normal dos Exemplos



121



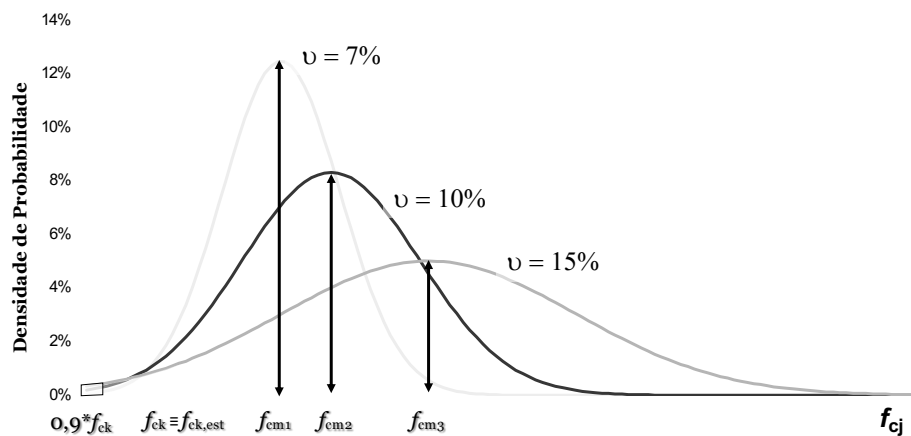
- 0,4% → 1 a cada 250
- 1,2% → 1 a cada 83
- 0,04% → 1 a cada 2500

122

f_{ck}	média	σ_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%

123

Distribuição Normal dos Exemplos



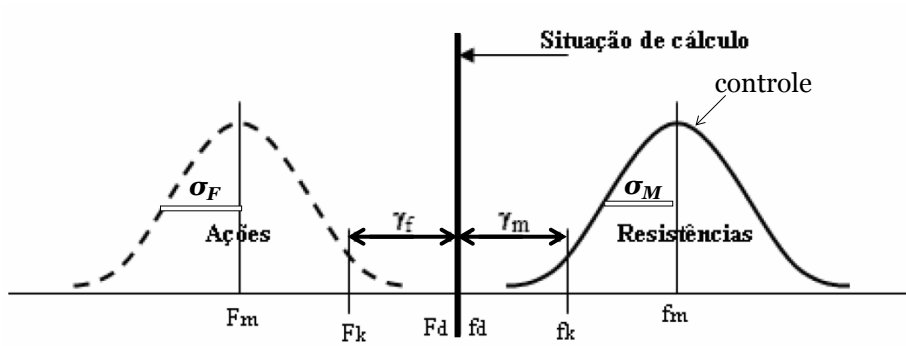
0,19% \rightarrow 1/530

0,66% \rightarrow 1/150

1,55% \rightarrow 1/64

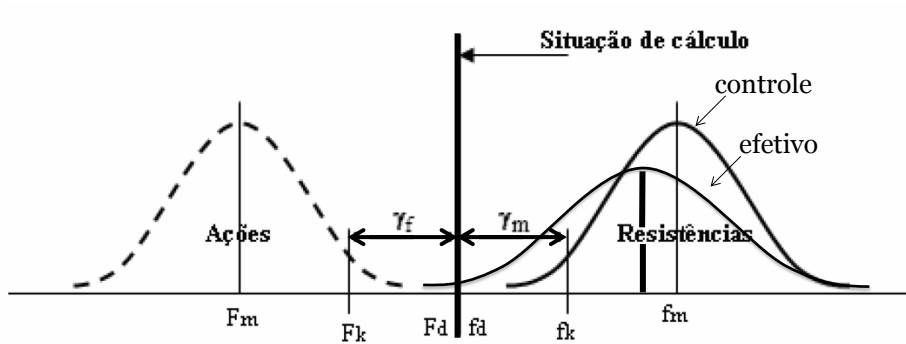
124

Análise “probabilista” de confiabilidade



125

Análise Semi-probabilista



126

Premissas

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

127

ABNT NBR 6118:2014

12.3 Valores de cálculo

12.3.3 Resistência de cálculo do concreto

sendo β_1 a relação f_{ckj}/f_{ck} dada por:

$$\beta_1 = \exp \{s [1 - (28/t)^{1/2}] \}$$

onde

$s = 0,38$ para concreto de cimento CPIII e IV;

$s = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

128

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

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	$s = 0,16$	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

129

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

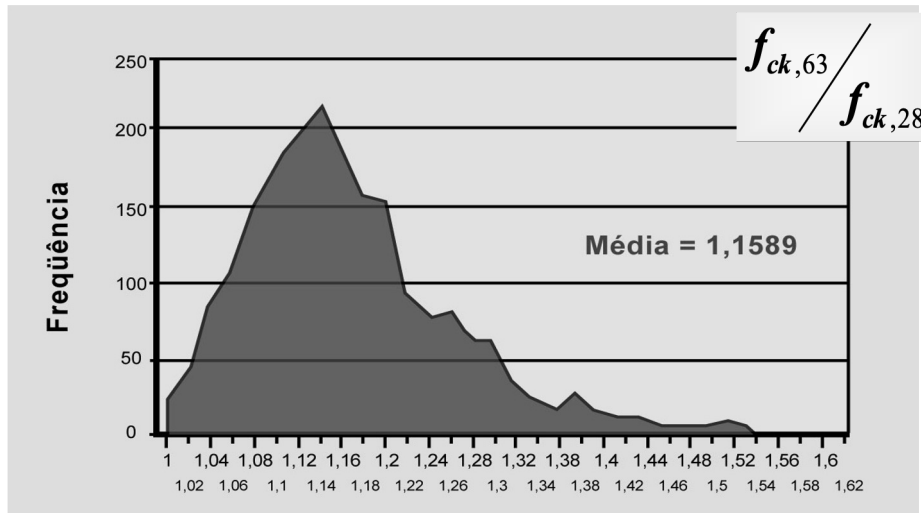
CPV ARI	$s = 0,20$
CP I / II	$s = 0,25$
CP III / IV	$s = 0,38$
NBR 6118	$s = 0,16$

Dias	CP III/IV		CP I/II		CPV ARI		0,160 NBR 6118	
	0,380	0,250	0,200					
7	0,684	1,462	0,779	1,284	0,819	1,221	0,852	1,174
28	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
63	1,135	0,881	1,087	0,920	1,069	0,936	1,055	0,948
91	1,184	0,844	1,118	0,895	1,093	0,915	1,074	0,931

130

Análise

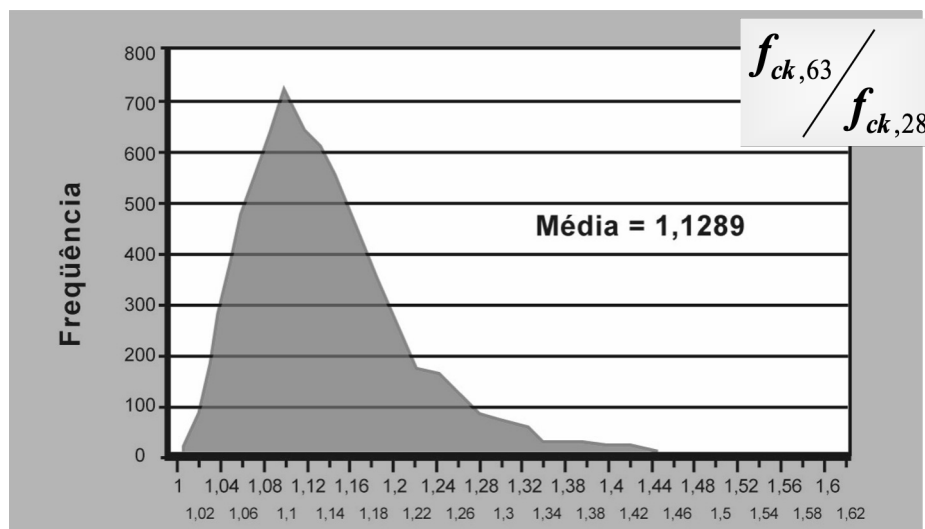
2.046 Registros Analisados, CP III



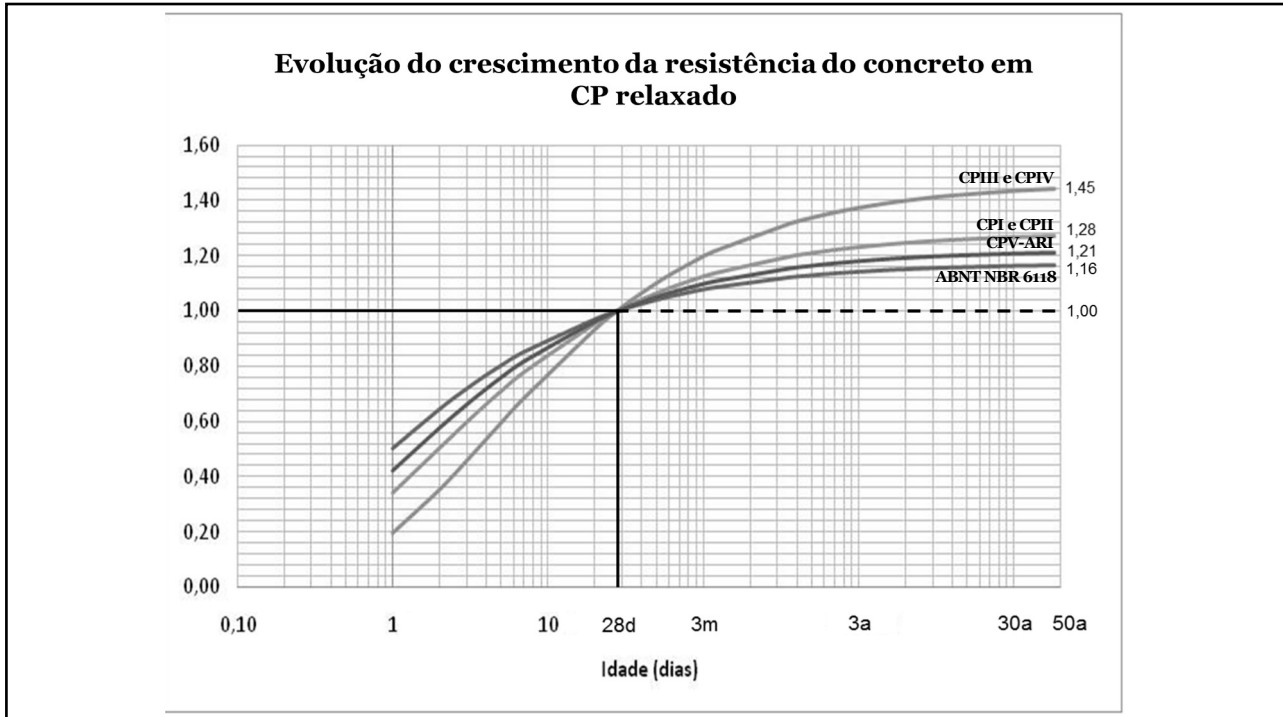
131

Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



132



133

Premissas

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

134

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

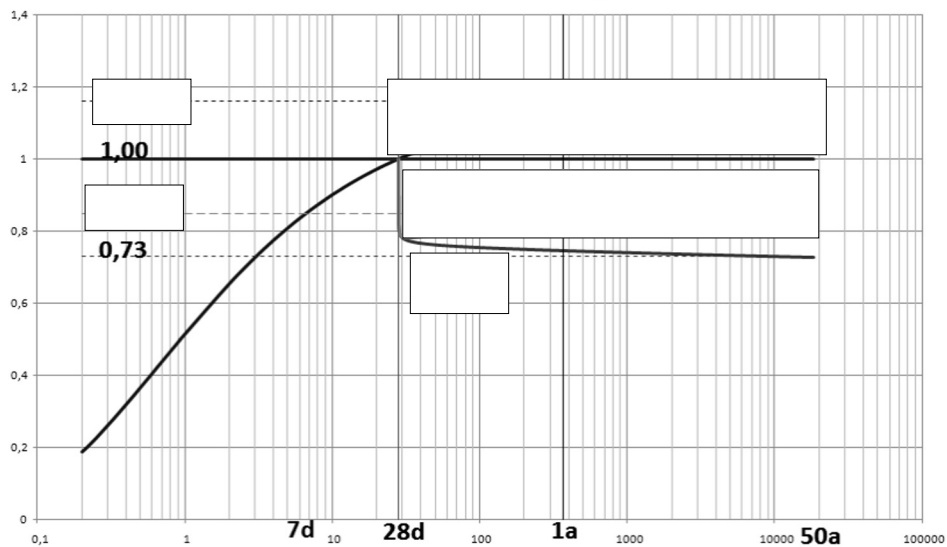
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

135

Decréscimo da Resistência



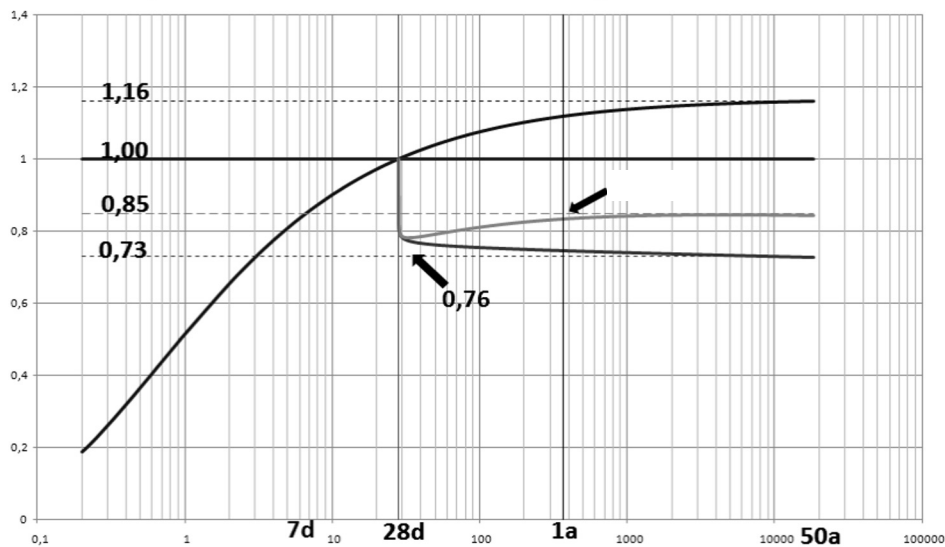
136

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

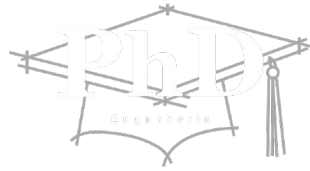
137

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



138

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