

UNISINOS

Especialização em Projeto de Estruturas de Aço e Concreto para Edifícios

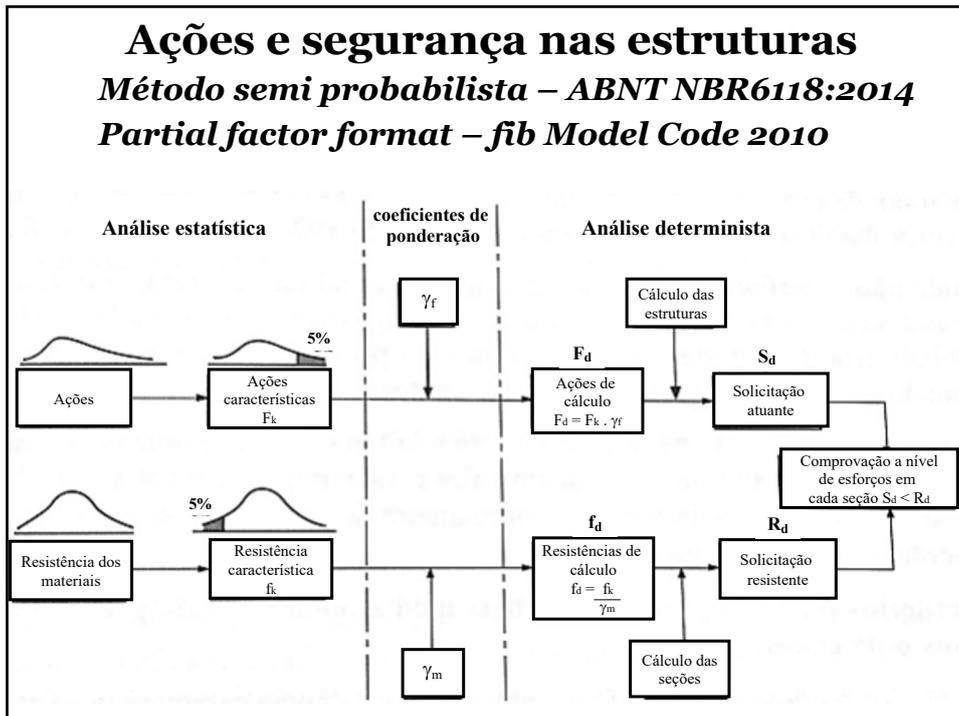
Conceitos de Concreto para Estruturas: Controvérsias & Concordâncias



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

UNISINOS. virtual 11 de julho de 2020 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

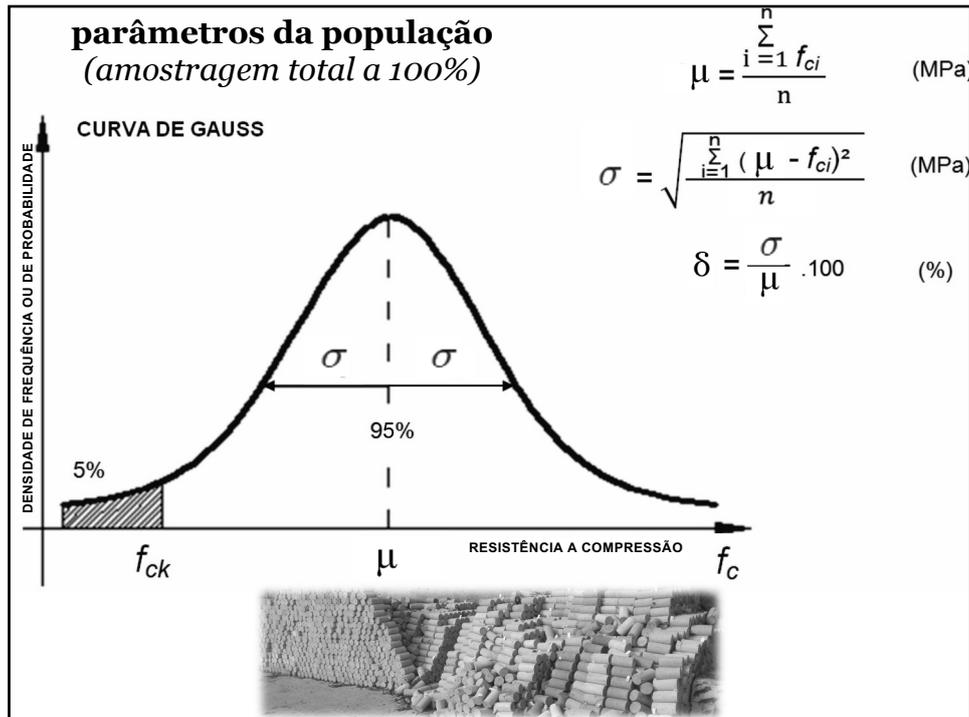
Para os efeitos desta Norma, a resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5 % de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

3

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



4



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\$ 0,35
- 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**

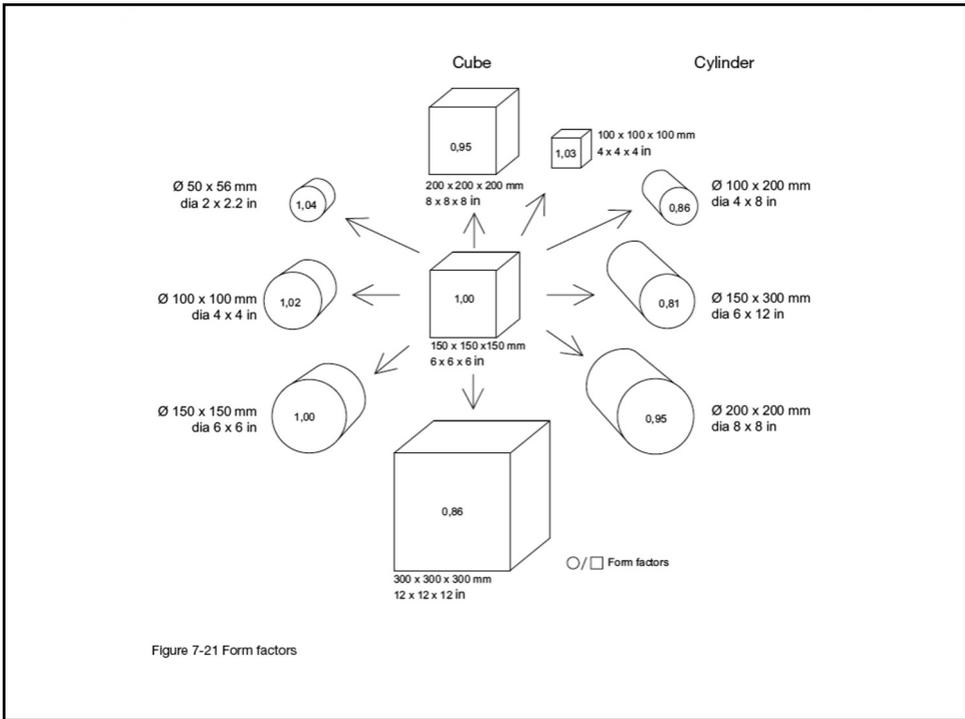
7

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

8



9



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, sazoados 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

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

16

... 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?

17

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

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

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

18

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

19

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:

20

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, $\gamma_m = 1,0$.

21

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

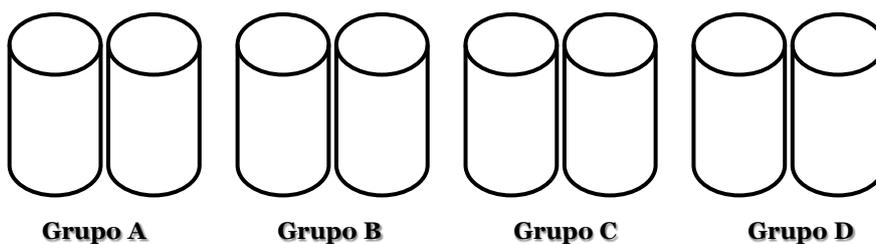
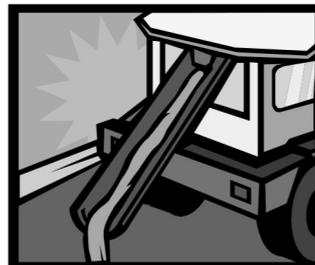
γ_{m3} – Parte do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das resistências

22

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



23

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



24

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.

25



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

26

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.

27

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

28

- 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);

29

- 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;

30

- 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.

31

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

32

...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.

33

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 !

34

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

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

35

variabilidade do material
versus
variabilidade do ensaio

36

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



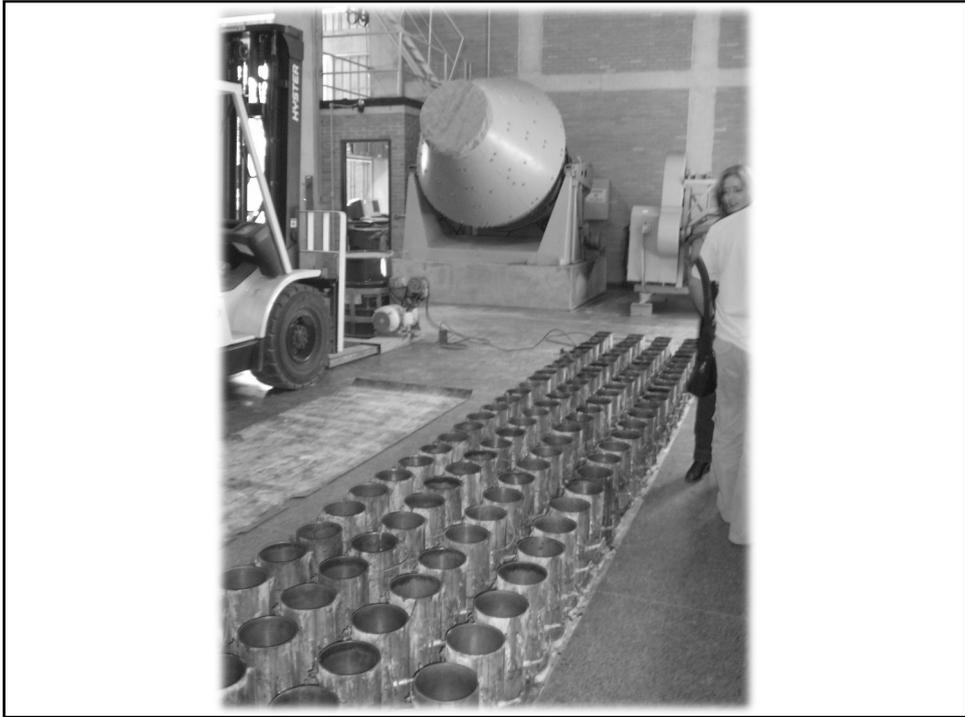
37

betoneira estacionária com volume
útil total de 1 m³

→ 163 cps “15x30”

→ 625 cps “10x20”

38



39



40

é possível obter resultados perfeitamente iguais??



41

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 20020-900 - Caixa Postal 5400
Rio de Janeiro - RJ
Tel: (51) 2513-3100-3102
Fax: (51) 2513-3101
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	
<p>Origem: Projeto NBR 7215:1995 CB-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 Description: 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</p>	
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 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 àquelas 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 - 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.

42

- 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;



43

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



44

- 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.



45

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.

46

ensaiando um CII 40

46 53 49 52

média $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

(6% \rightarrow 3MPa) \rightarrow descarta 46

nova média **51,3** MPa

47

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 !..*

48

como um engenheiro de concreto
interpretaria esses resultados ?

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

49

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”

50

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

51

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

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

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

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

$f_{ck} = 45$ MPa

52

com esse concreto foram construídos 10 pilares.
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

f_{ck}
45MPa

53

“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

54



55



56



57

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

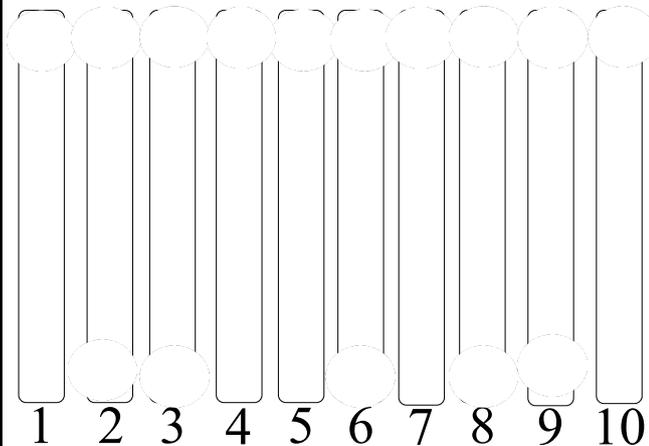
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

f_{ck}
45MPa

58

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

$f_{ck,est}?$

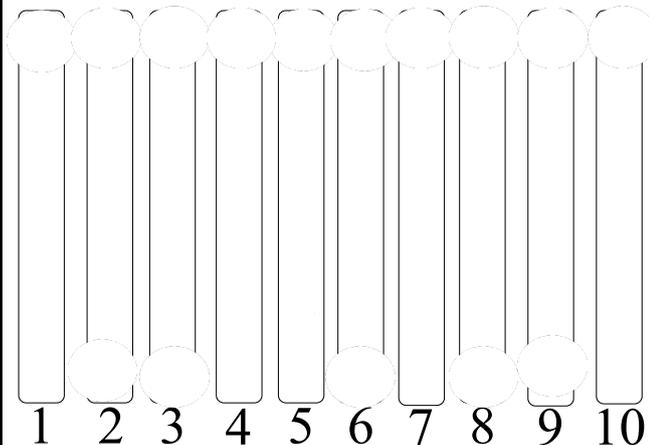


f_{ck}
45MPa

59

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

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

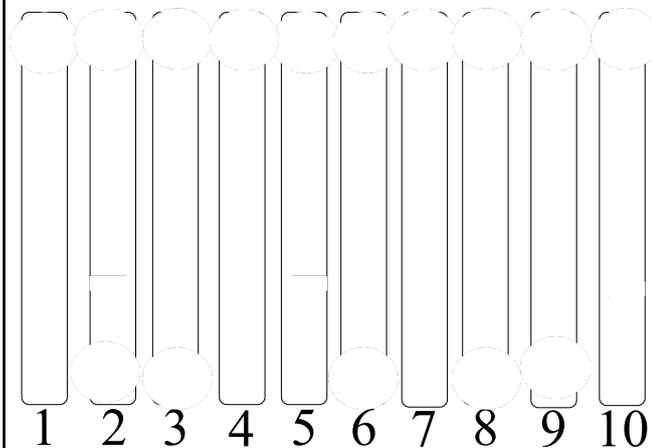


terço inferior

60

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

61

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

62

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

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

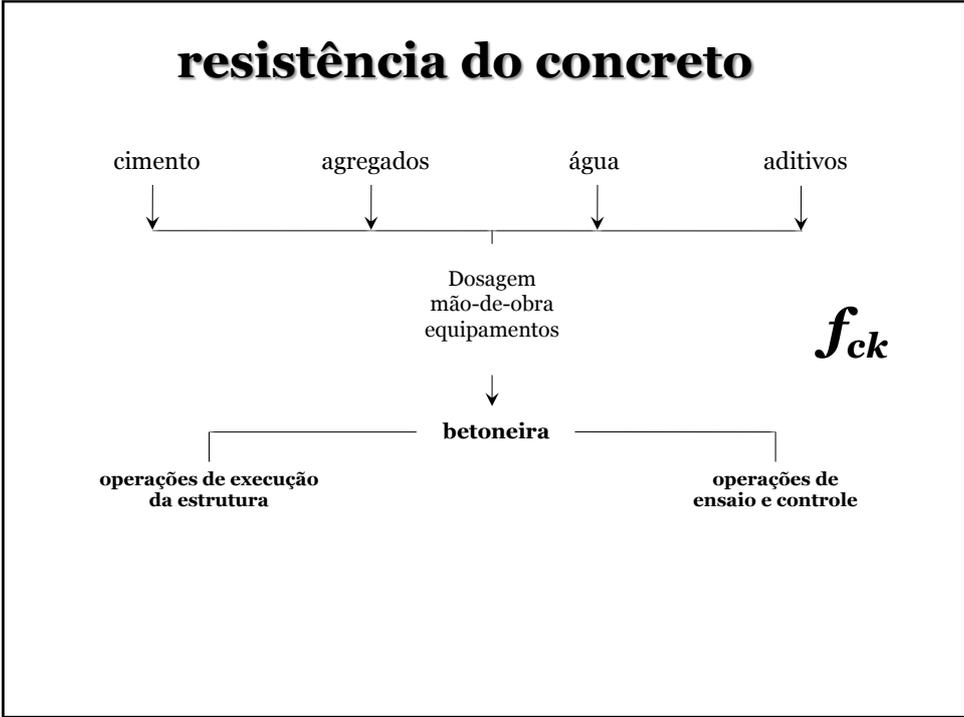
ABNT NBR 12655:2015 $f_{ck,est}$

**referencial de segurança
 f_{ck}**

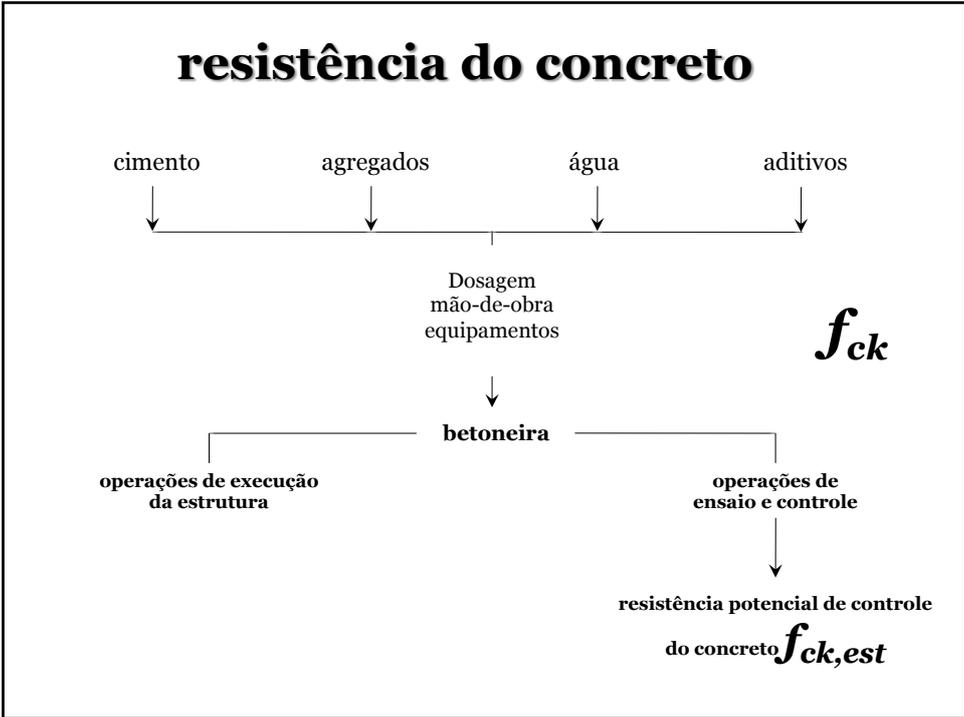
63



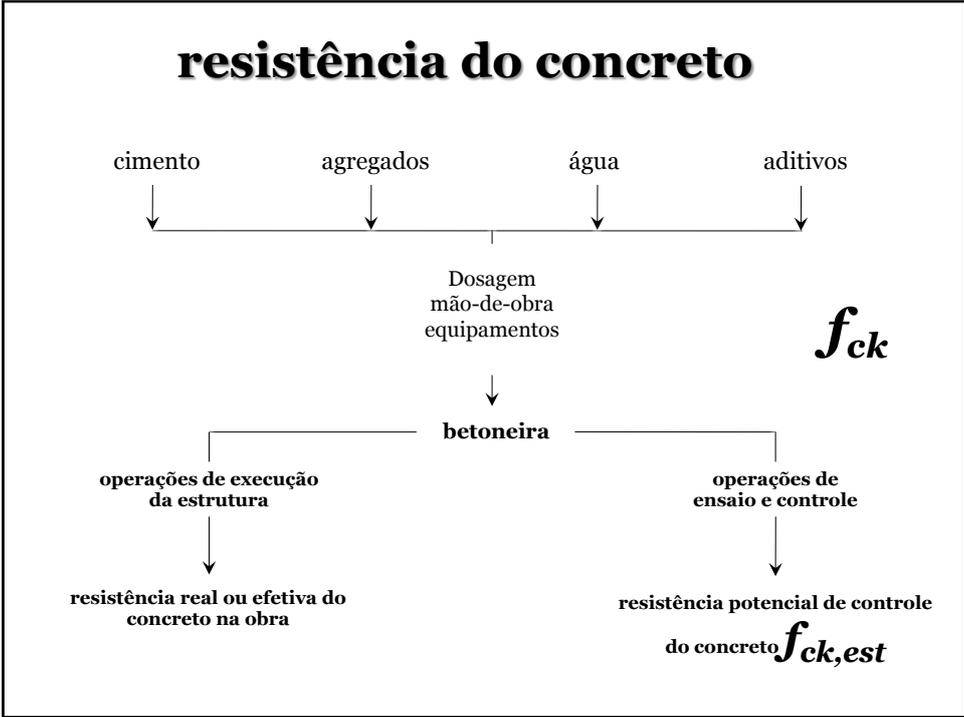
64



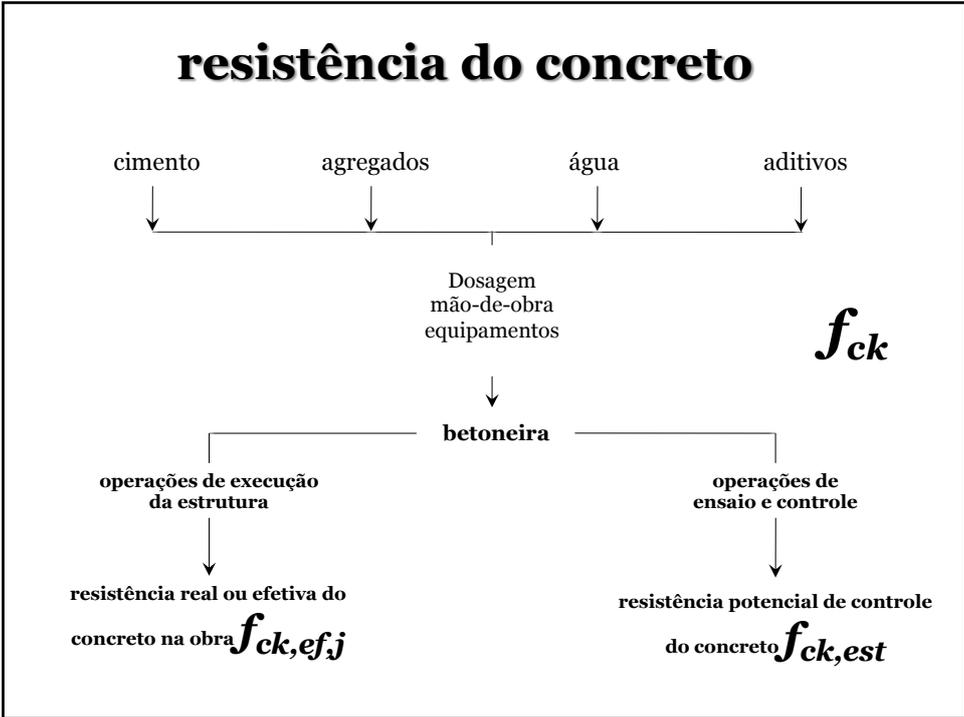
65



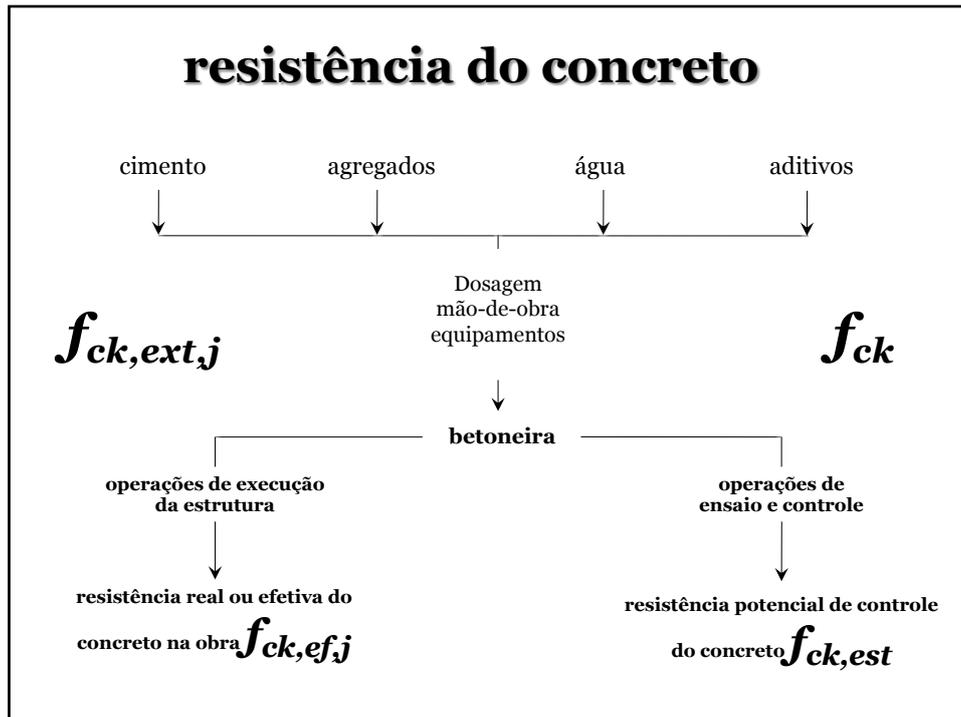
66



67



68



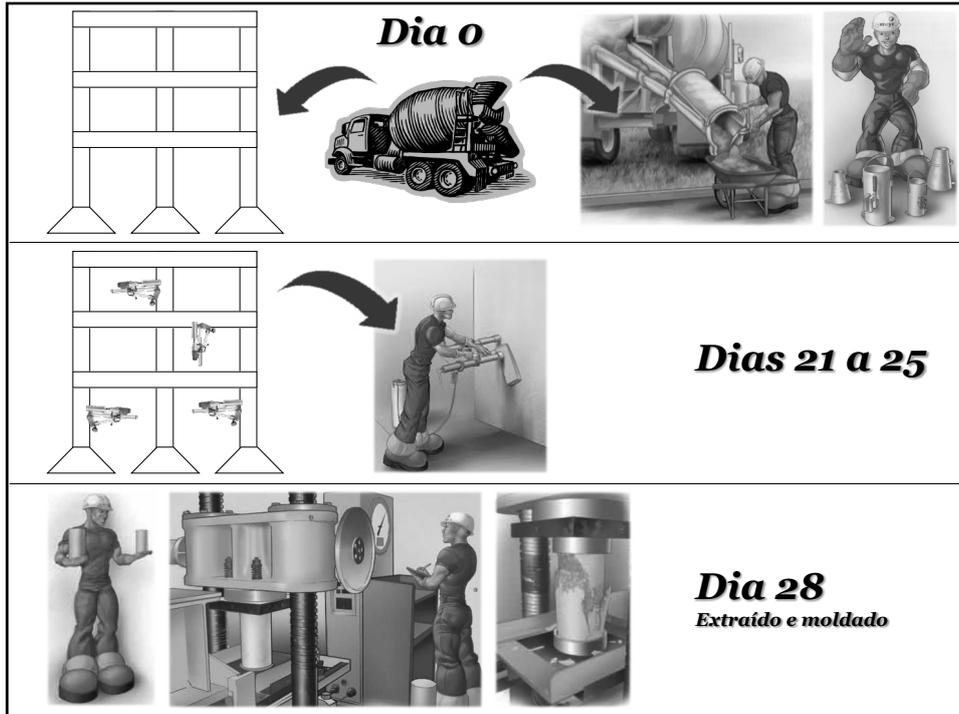
69

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

70



71

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

72

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

73

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

74

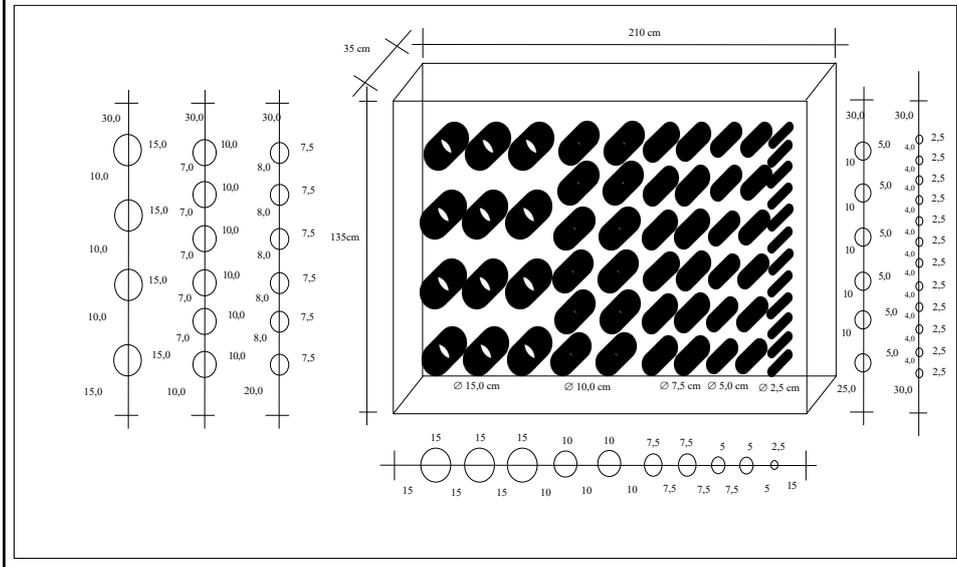


75



76

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



77



Parede/bloco perfurada

78

Conclusão

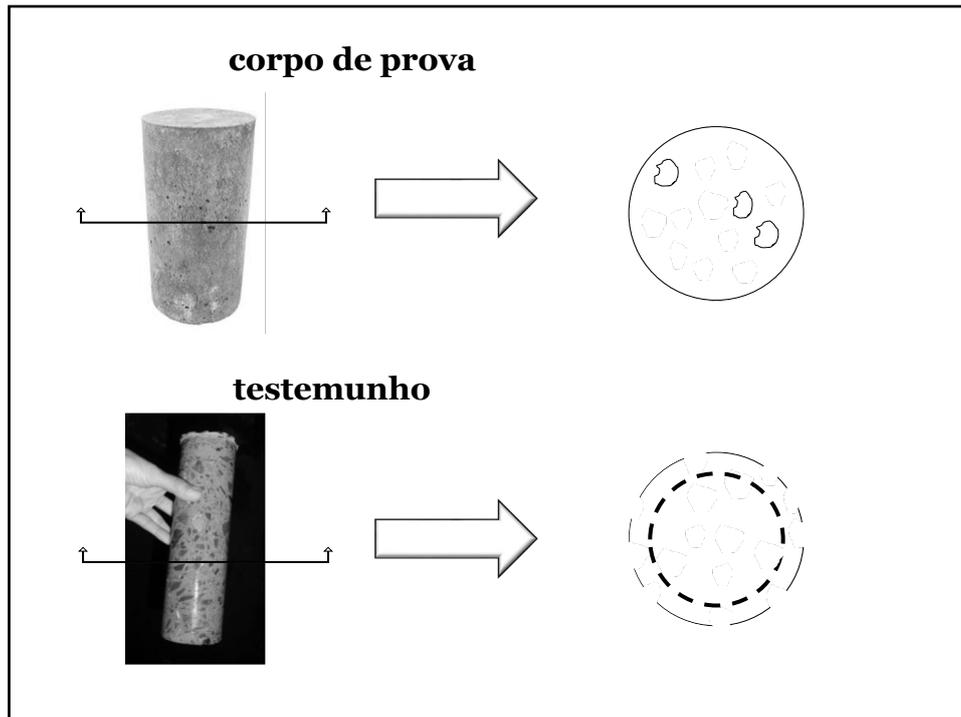
Média geral:

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

79



80



81

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;

82

como aceitar o concreto ?



83

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

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

84



85



86

Unidade de Produto Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

87

Unidade de Produto Unidade de Controle

Concreto



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

88

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

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

89

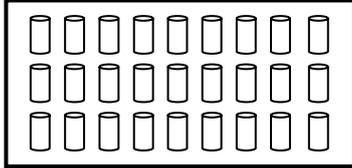
Amostragem ABNT NBR 12655:2015

- ✓ **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.**

90

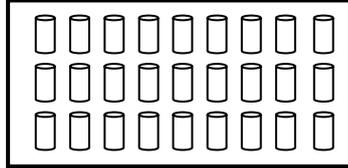
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



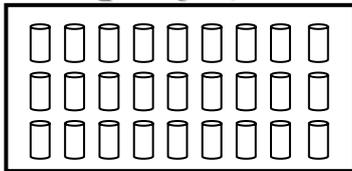
=

Amostra



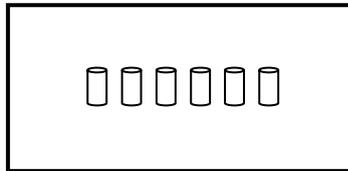
não há o
que
estimar

Universo,
População, Lote



≠

Amostra

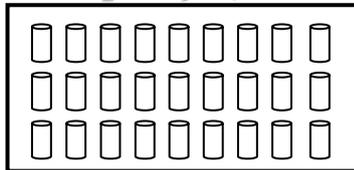


usar
estimador

91

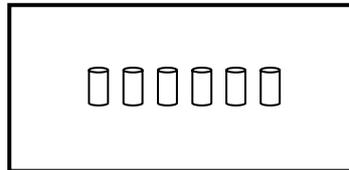
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

92

Conformidade dos lotes

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

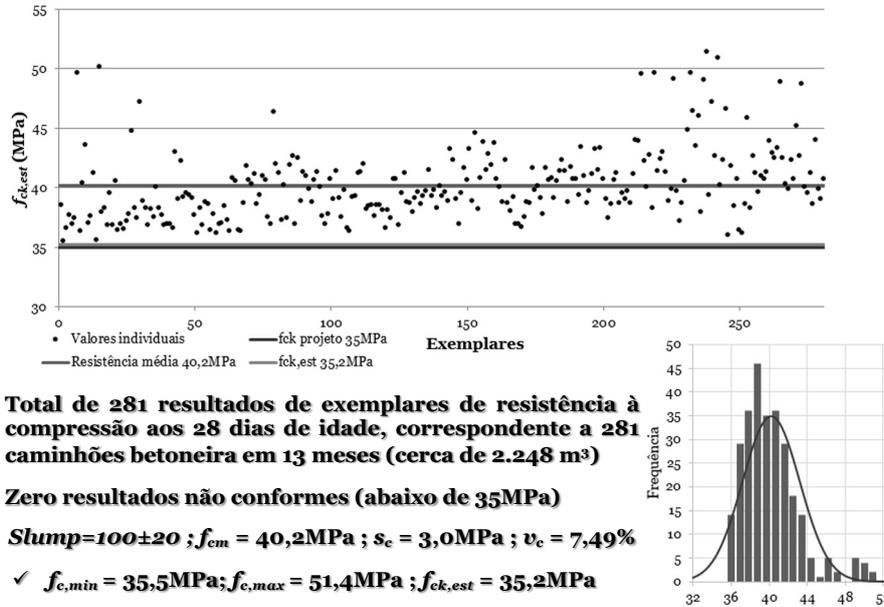
$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

93

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

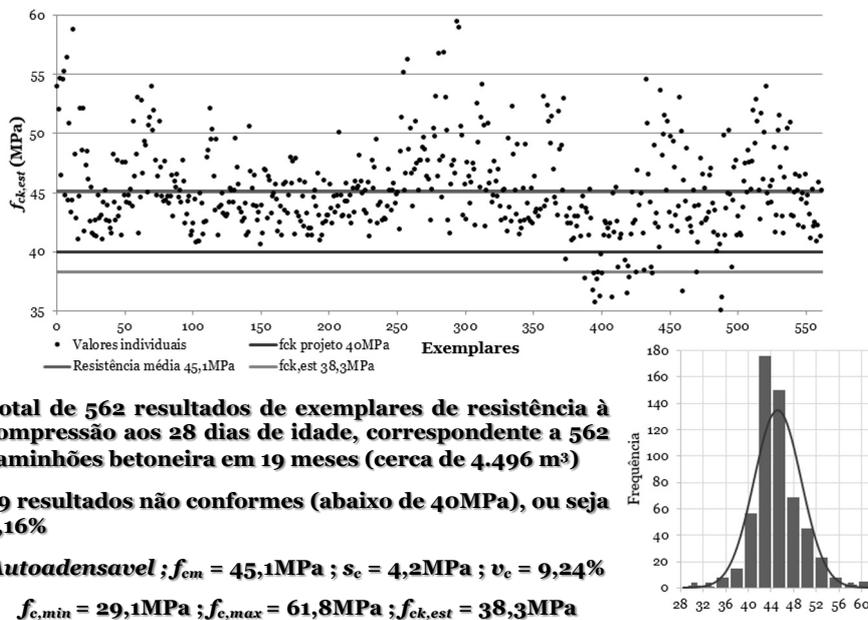
94

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



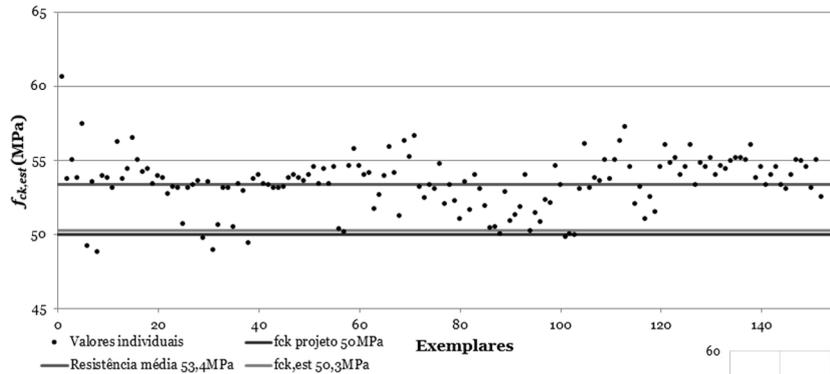
95

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

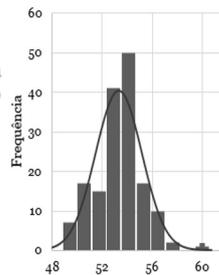


96

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

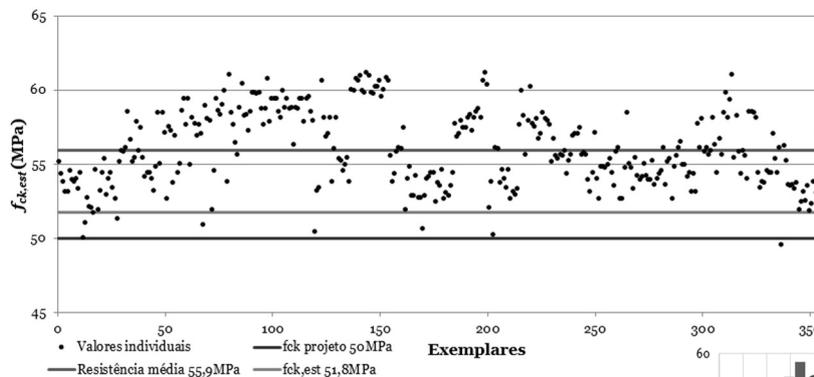


- ✓ Total de 160 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 160 caminhões betoneira em 3 meses (cerca de 1.280 m³)
- ✓ 7 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 4,97%
- ✓ $Slump=110\pm 10$; $f_{cm} = 53,4$ MPa; $s_c = 1,9$ MPa; $v_c = 3,48\%$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

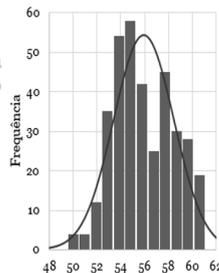


97

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



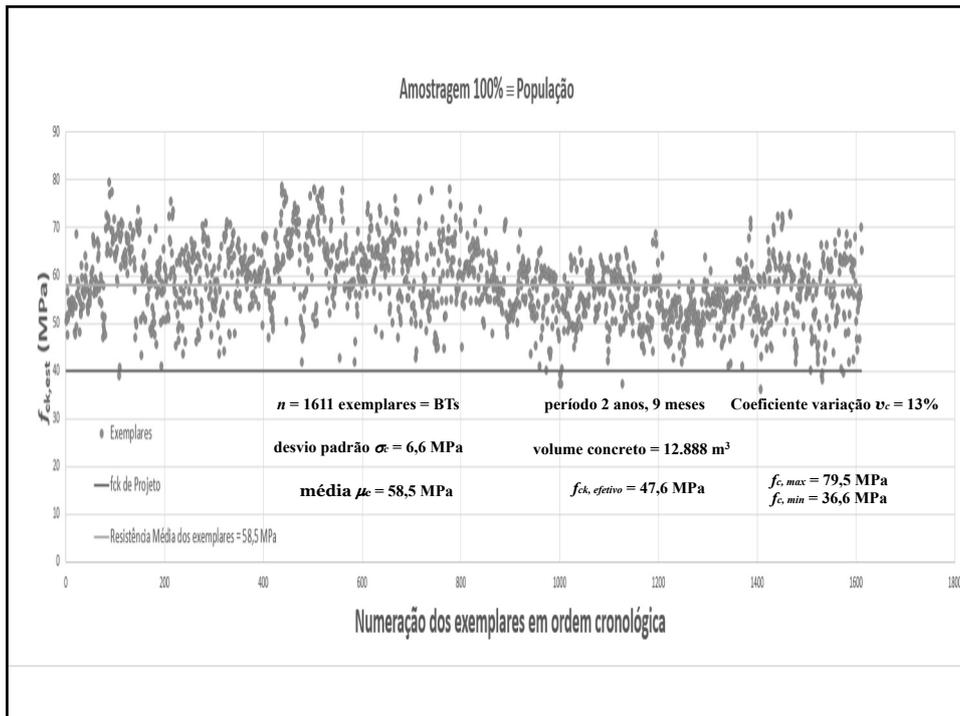
- ✓ Total de 356 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 356 caminhões betoneira em 5 meses (cerca de 2.848 m³)
- ✓ 1 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 0,28%
- ✓ $Slump=150\pm 20$; $f_{cm} = 55,9$ MPa; $s_c = 2,5$ MPa; $v_c = 4,52\%$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



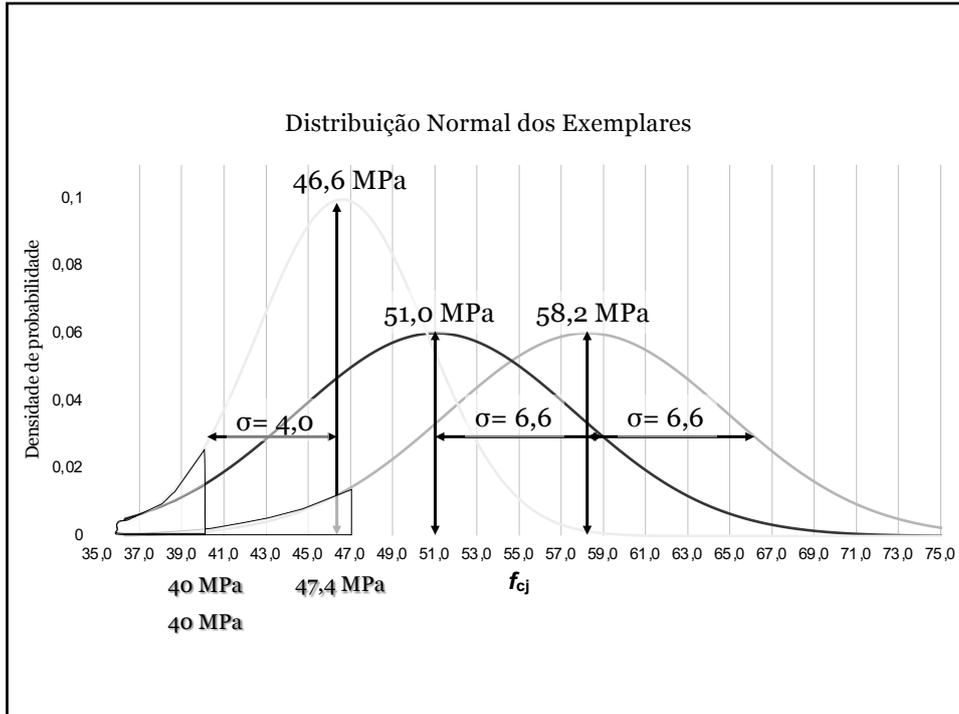
98



99



100



101

Brasil: ABNT NBR 12655:2015
Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação

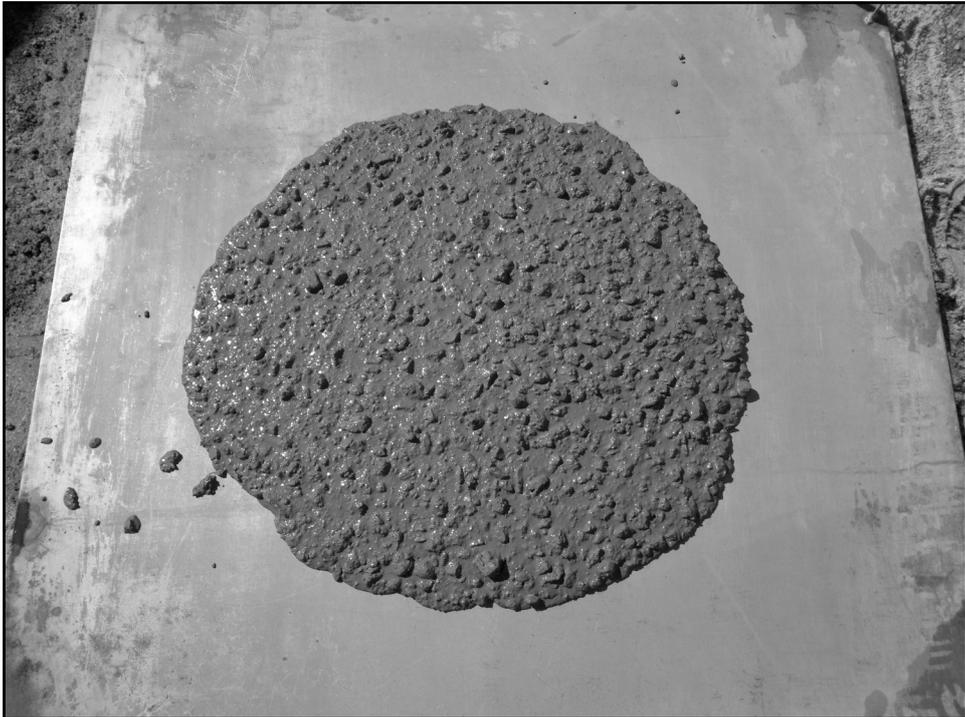
Europa: Eurocode II
EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity

USA: ACI 318-14
Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection.
item 26.12. Concrete evaluation and acceptance

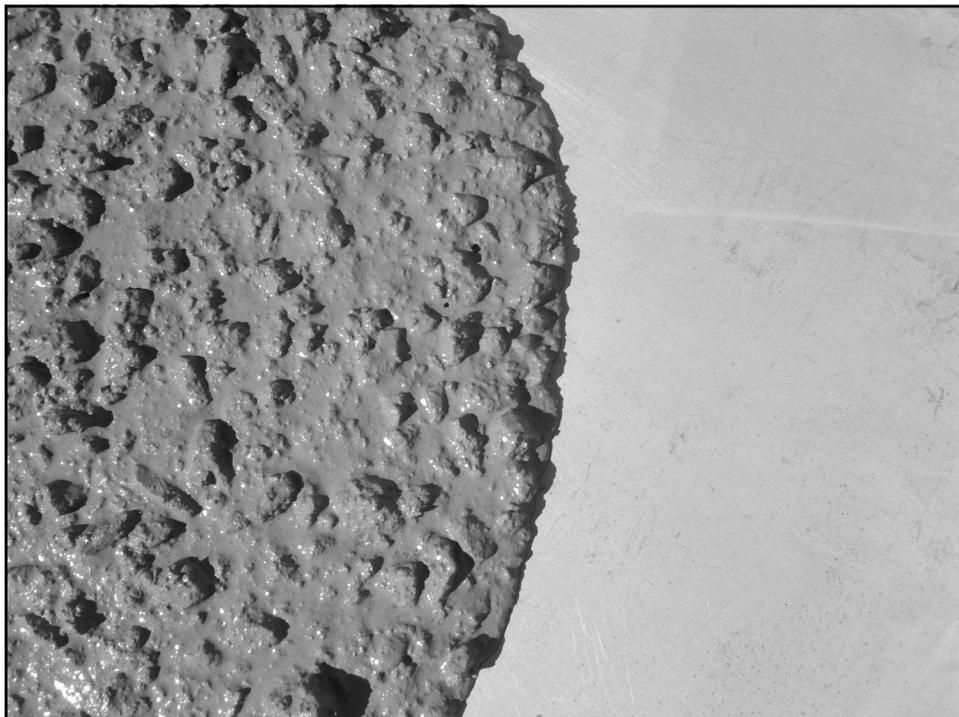
102



103



104



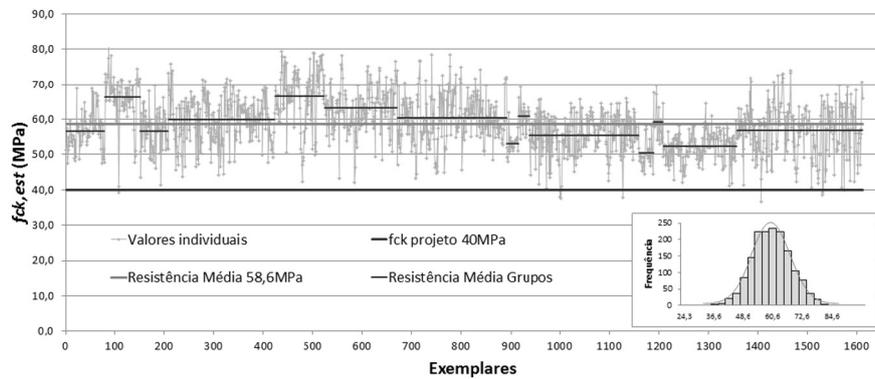
105

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);**
- ✓ **Laboratoristas qualificados e certificados pelo IBRACON através do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal.**

106

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%;

107

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.

108

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.

109

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}).

110

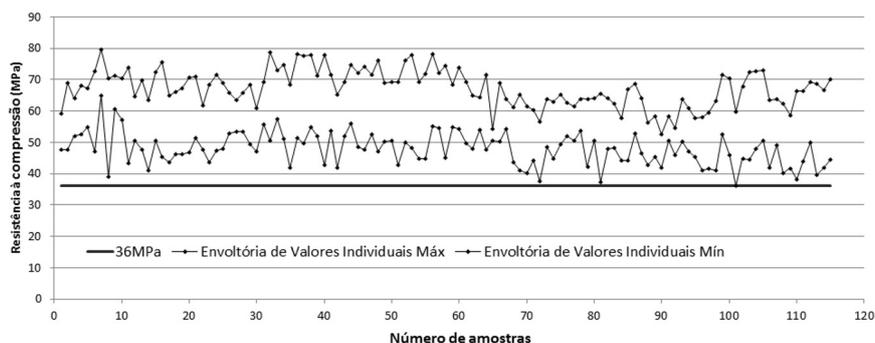
Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

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.

111

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

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

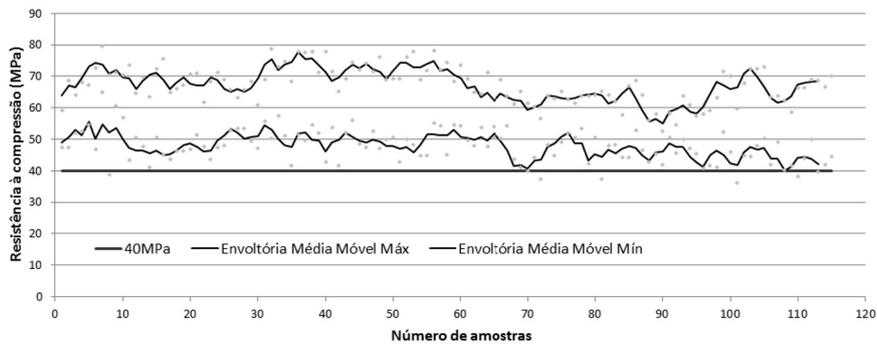


Critério de aceitação: $\geq 0,9 * f_{ck} = 36\text{MPa}$

112

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

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



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

113



114

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)

115

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

116

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}

117

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

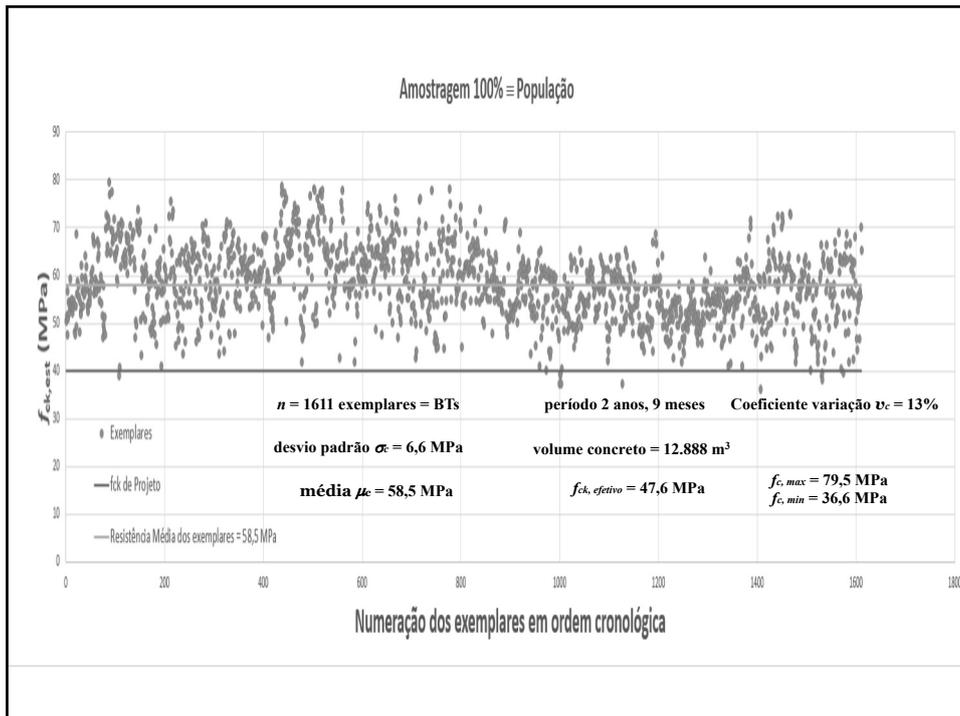
justificativa para poder aceitar um valor individual esporádico de $f_{ck,est}$ (um caminhão betoneira) abaixo de f_{ck}

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

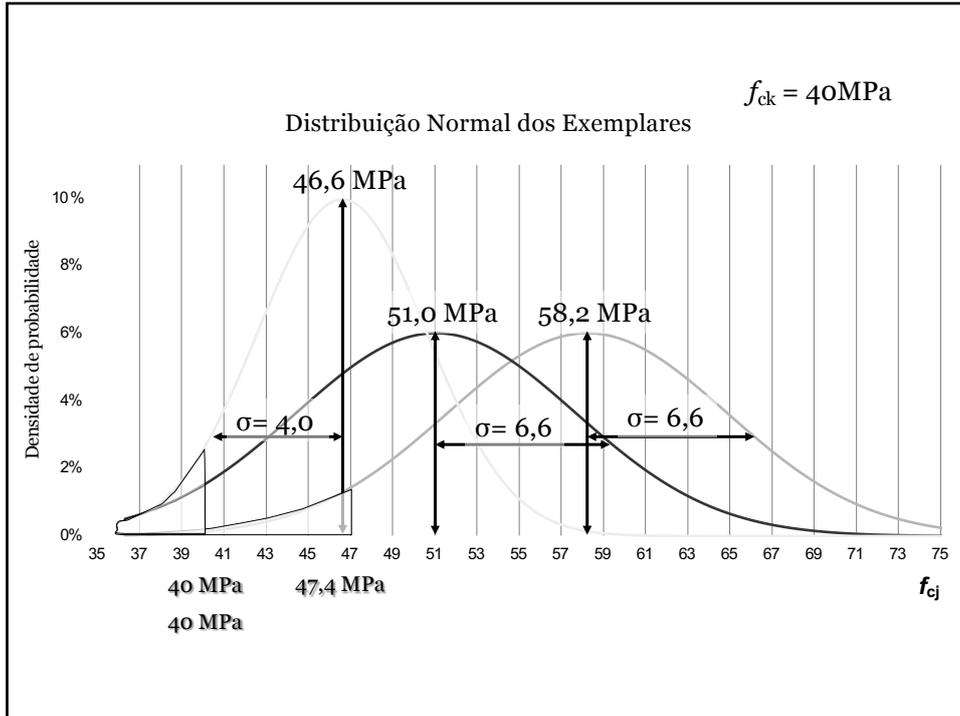
118



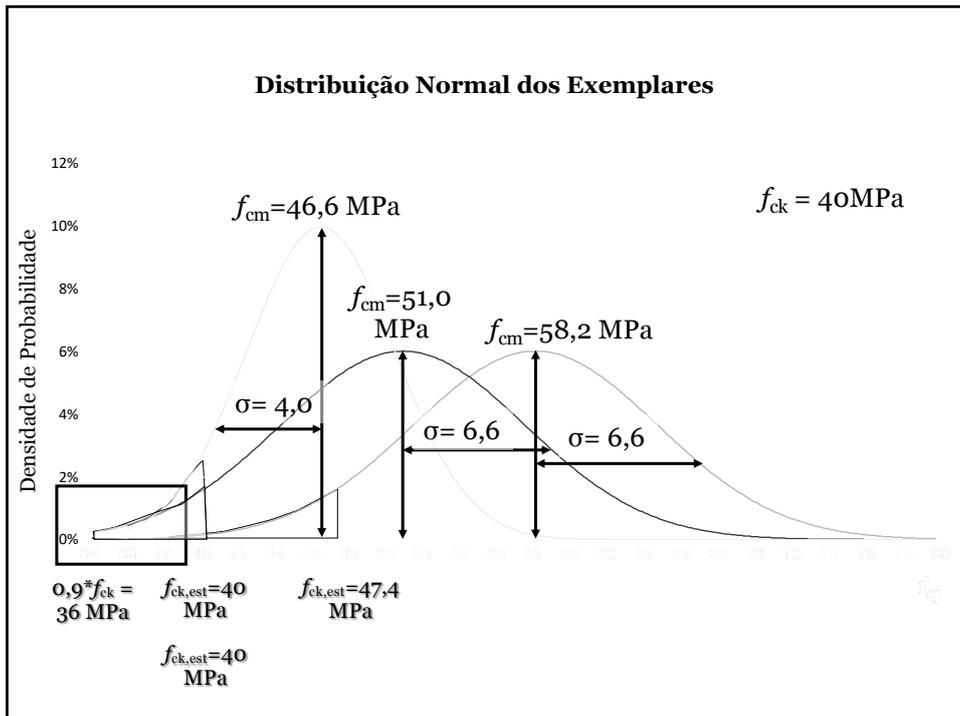
119



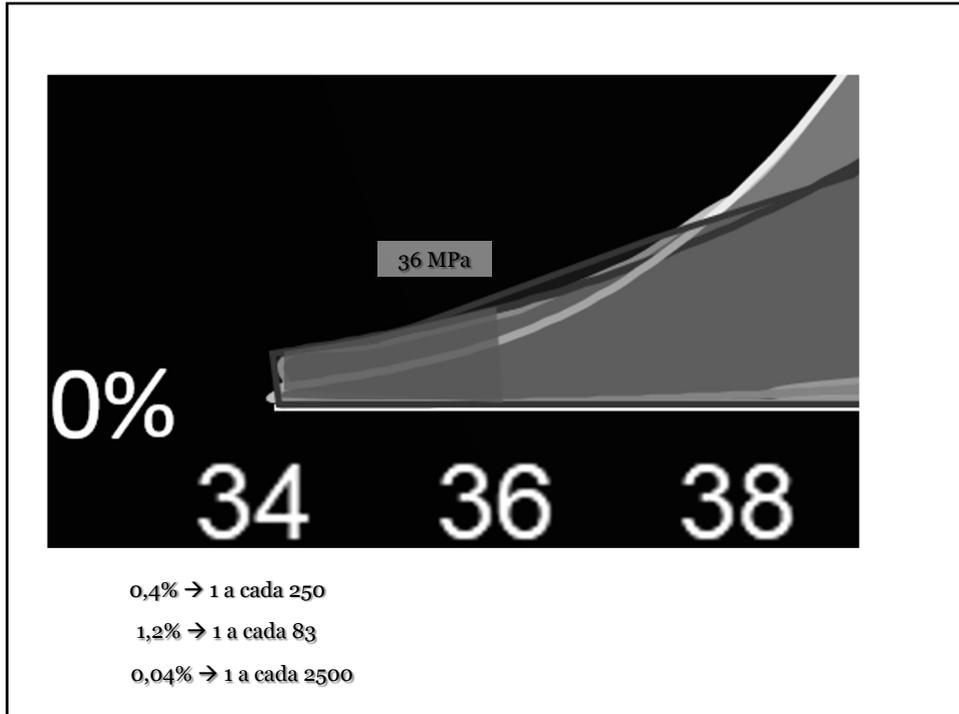
120



121



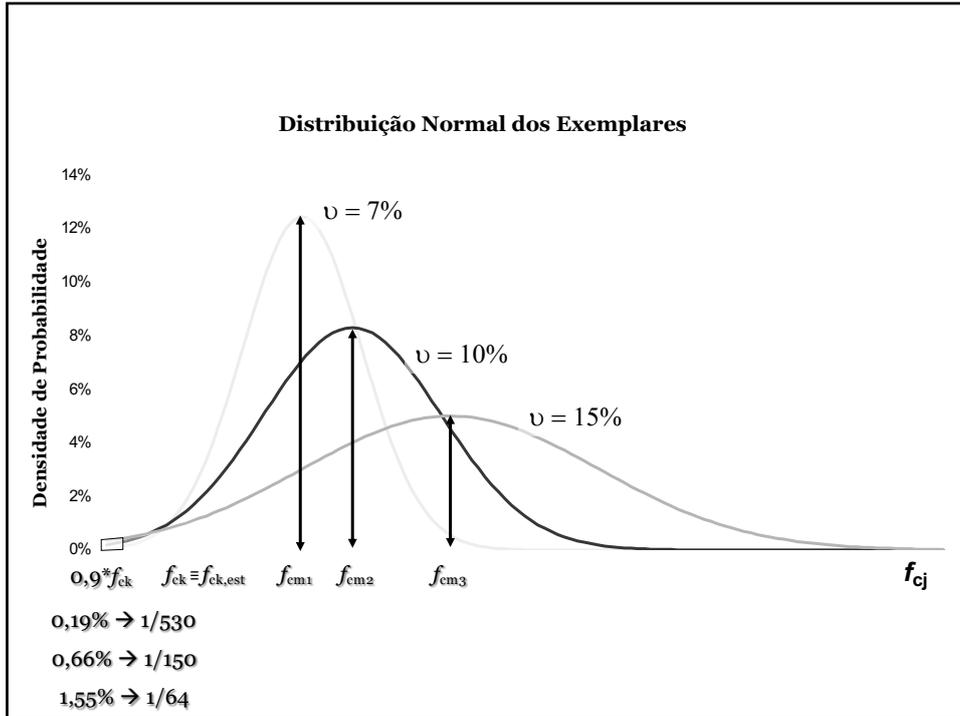
122



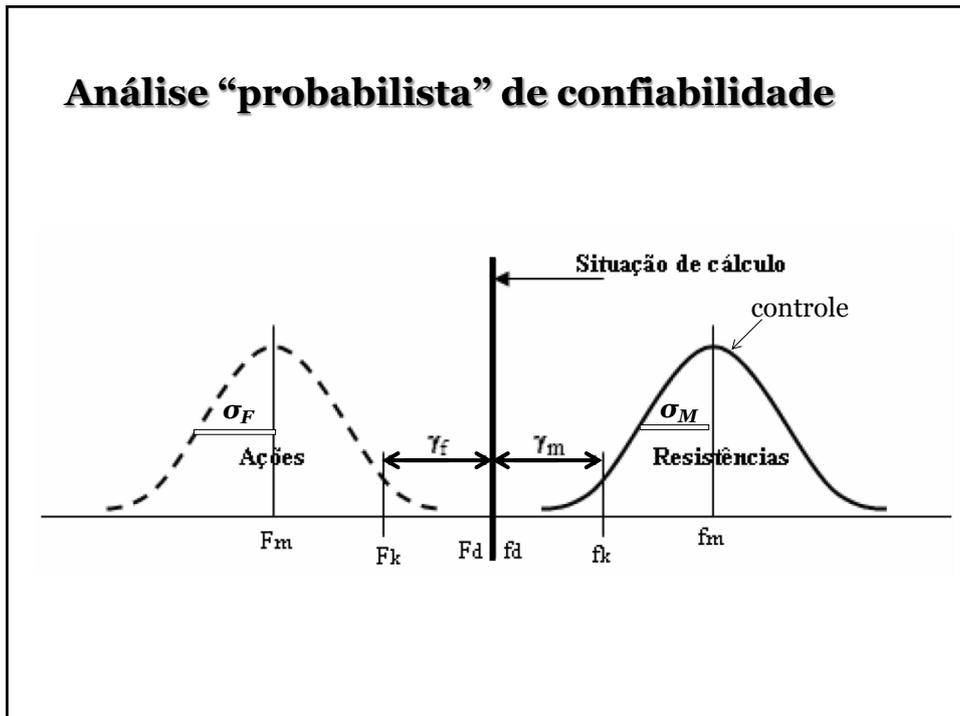
123

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%

124

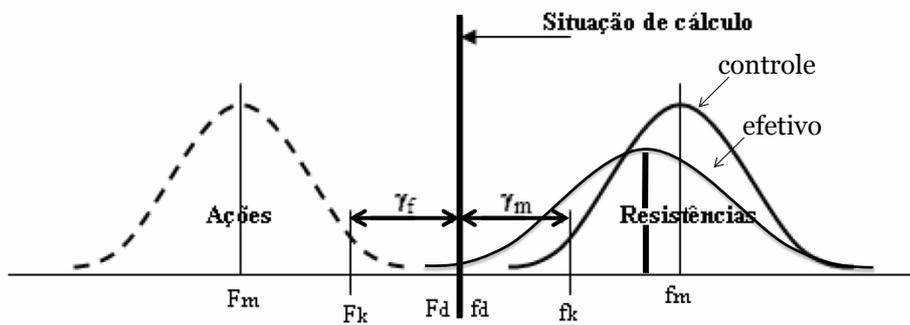


125



126

Análise Semi-probabilista



127

Premissas

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

128

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:

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

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.

129

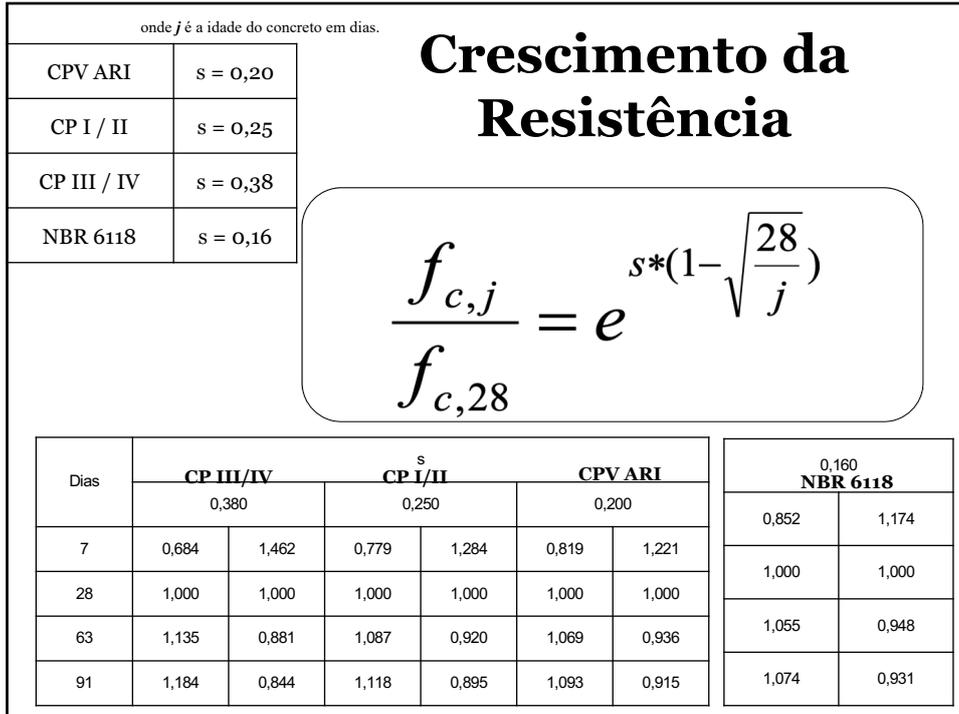
concreto em dias.

Crescimento da Resistência

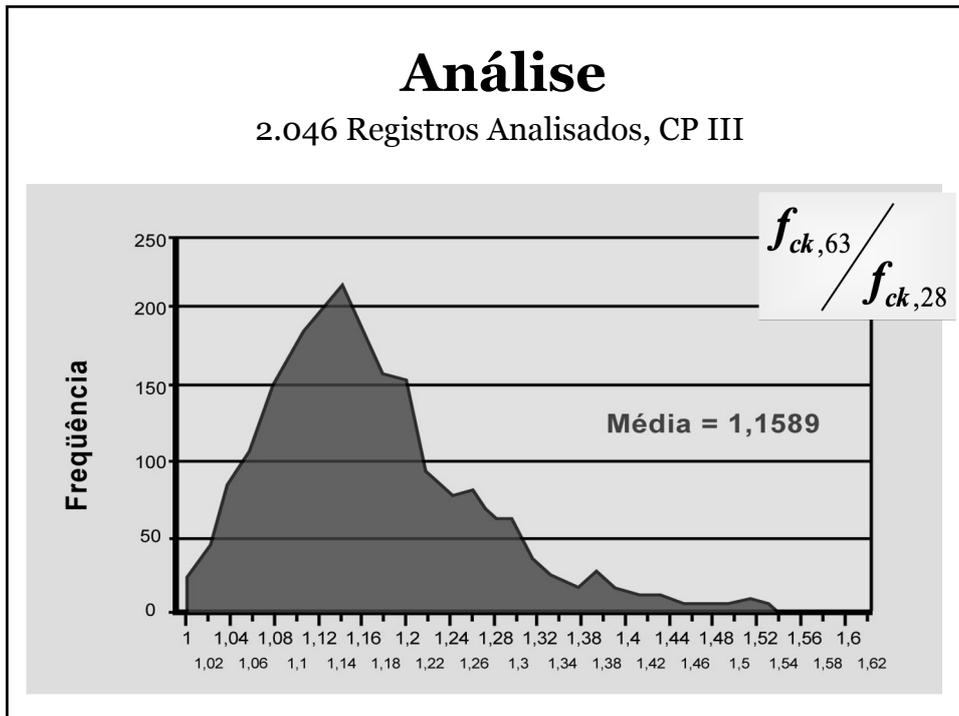
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)}$$

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CPI / 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

130



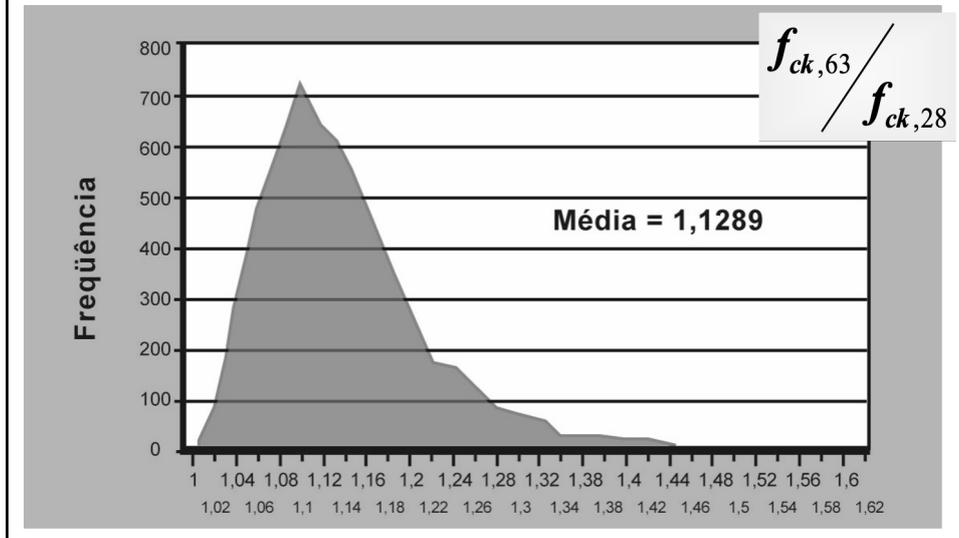
131



132

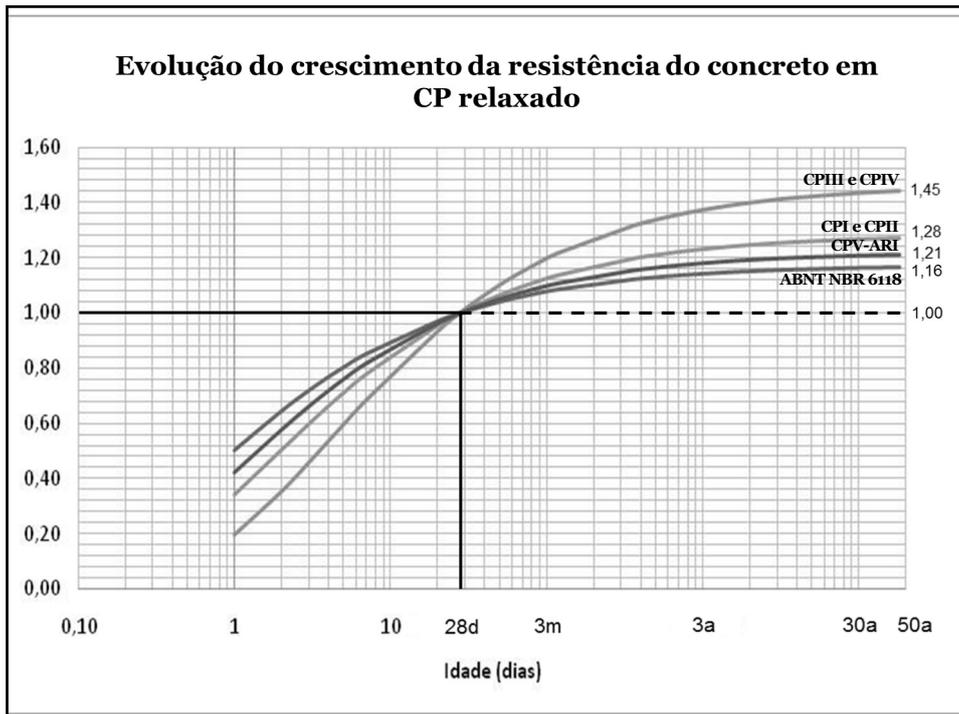
Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



133

Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



134

Premissas

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

135

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

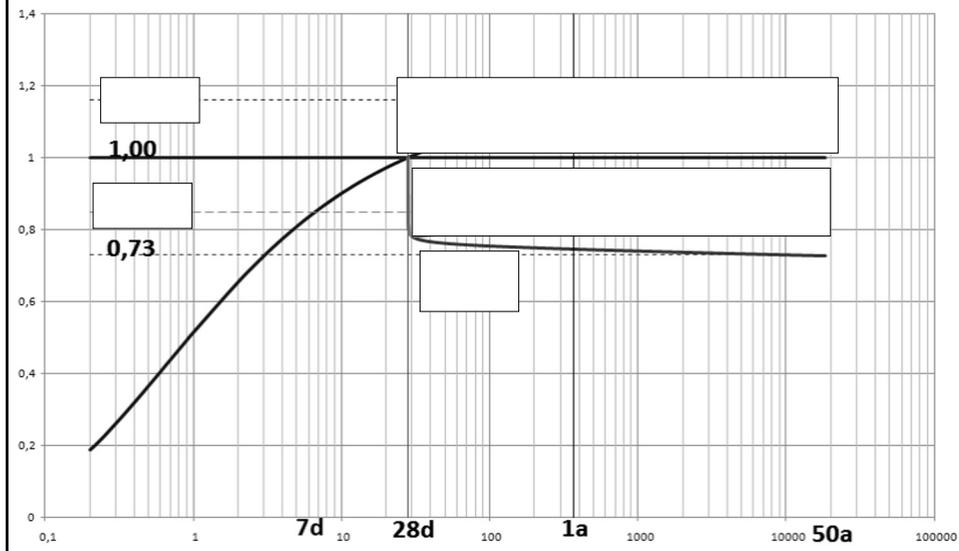
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

136

Decréscimo da Resistência



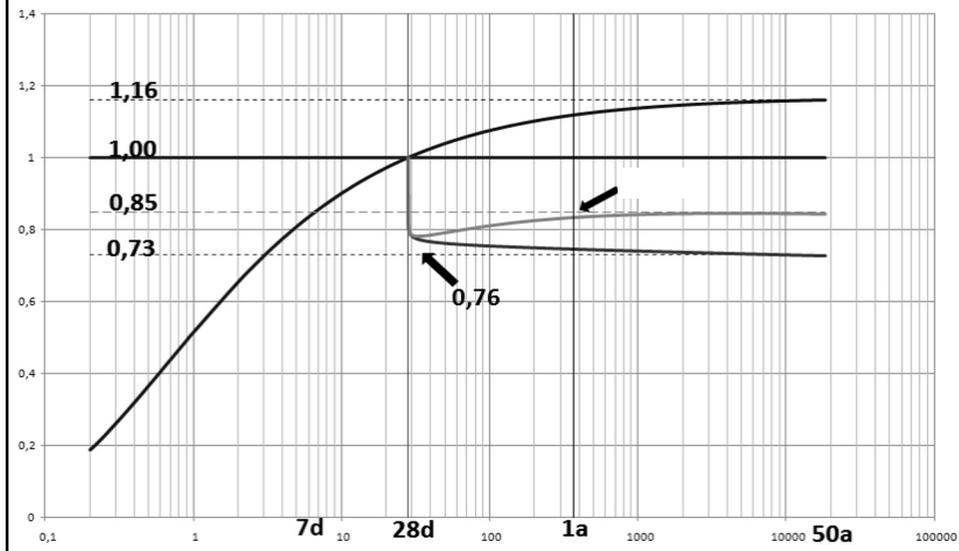
137

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

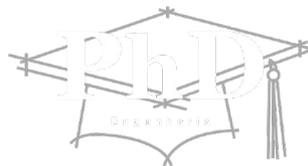
138

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



139

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

140