




UNISUL

Afinal... Qual é a Resistência Característica do Concreto à Compressão?

referencial para verificar a segurança ELS(SLS) e ELU(ULS)


"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene
*Diretor PhD Engenharia
Conselheiro 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*

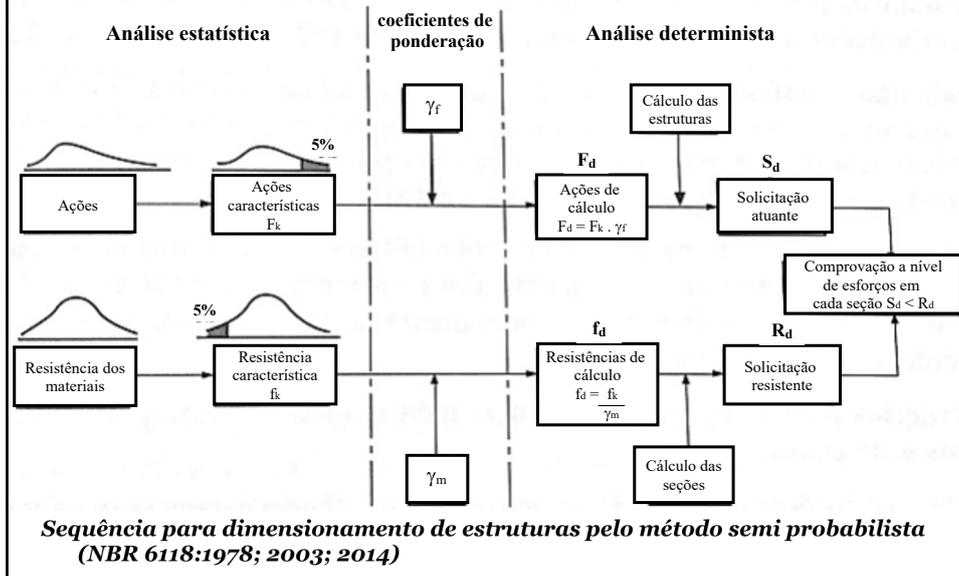
Auditório do CETTAL **06 de abril de 2019** **Tubarão/PR**

1



2

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

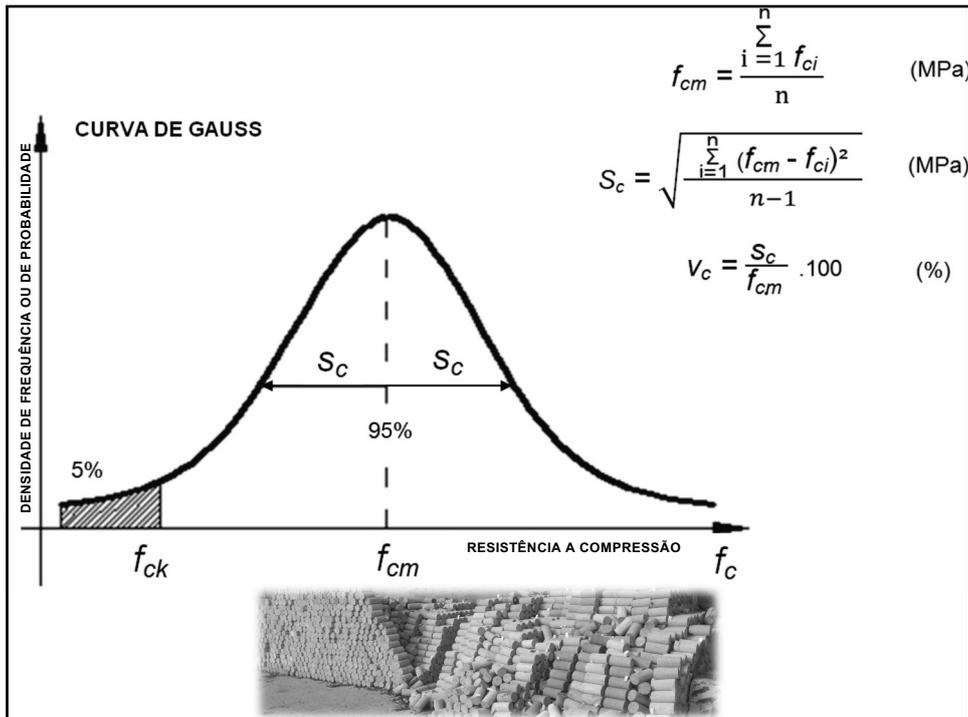


3

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



4



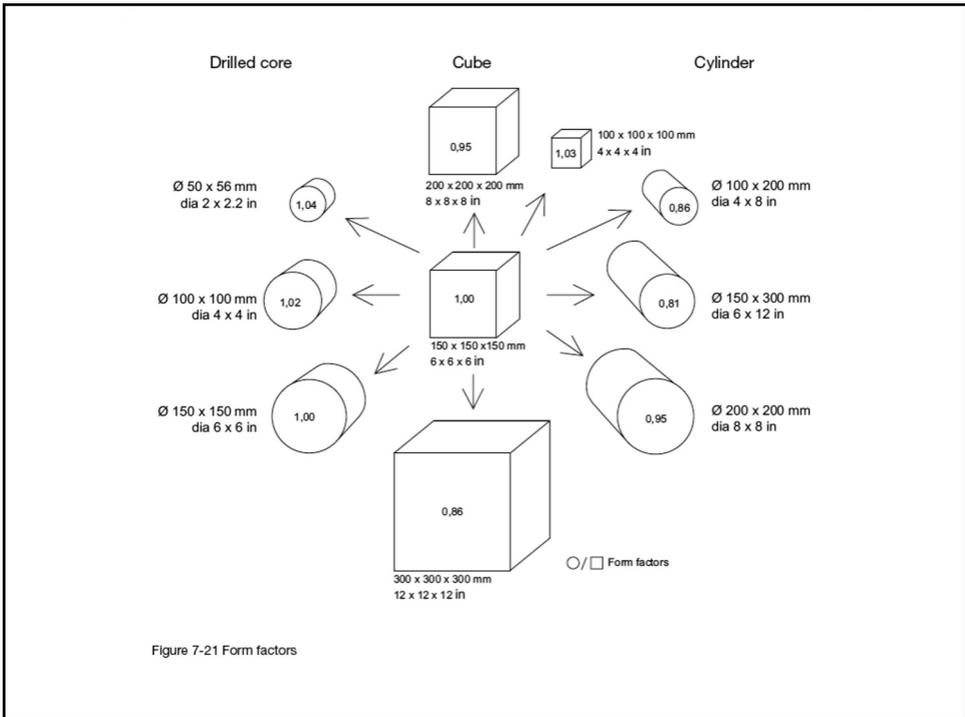
5

**qual é o referencial
de resistência à
compressão do
concreto, f_{ck} ?**

6



7



8

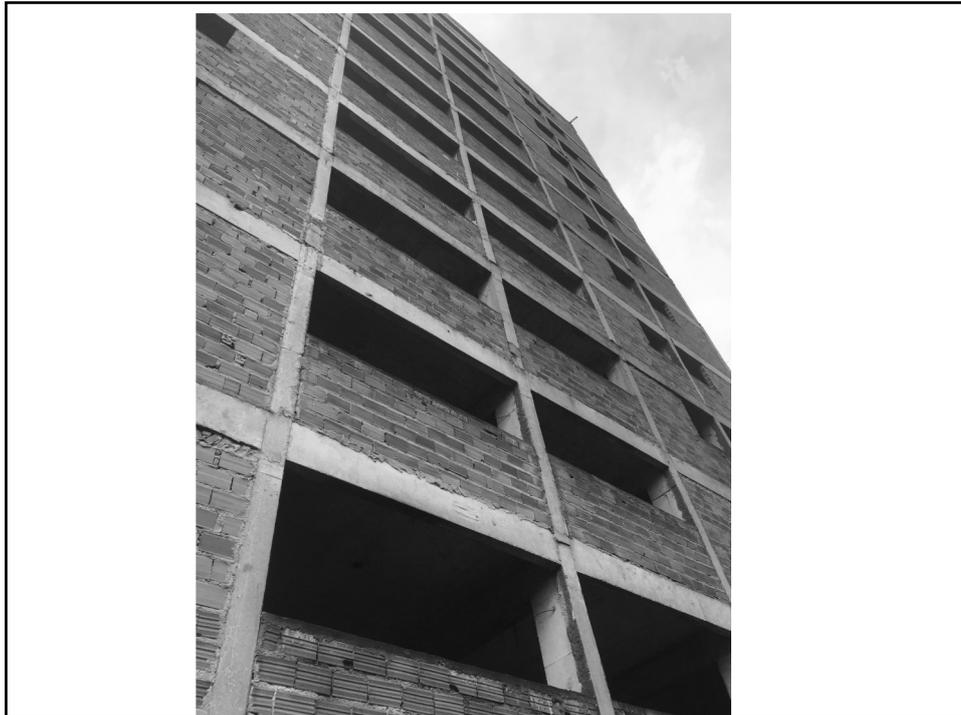
**qual é o referencial
de resistência à compressão do concreto, f_{ck} ?**

no Brasil é:

- ✓ o cilindro 15cm ϕ * 30cm
- ✓ o cilindro 10cm ϕ * 20cm
- ✓ planejado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ amostrado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ moldado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ transportado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ curado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ capeado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ 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

9



10



11

...na ciência básica e na pesquisa a gente
duvida de tudo e questiona tudo...

...na Engenharia a gente considera os
aspectos científicos mas assume
comportamentos dos materiais, da
estrutura e da natureza que permitam
tomar decisões, projetar, prever o futuro e
obter resultados...

12

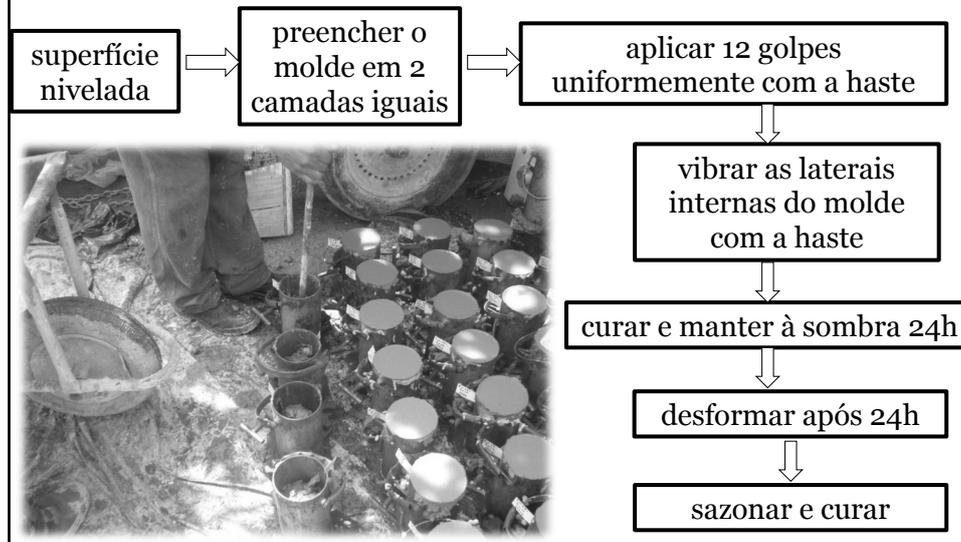
...essas simplificações para tomada de decisão são considerados conceitos básicos ou dogmas que só devem ser questionados no âmbito da pesquisa, mas uma vez assumidos (em geral por consenso numa norma), devem ser respeitados e praticados pela cadeia produtiva do concreto (materiais, produtos, execução, controles, projeto, ...)

13

...é incoerente discutir conceitos e dogmas assumidos, consensuados e praticados num método de introdução da segurança nas estruturas de concreto baseado e normalizado como método dos fatores parciais ou semi-probabilista como se tratasse de um método probabilista puro (confiabilidade) ou se tratasse de uma pesquisa...

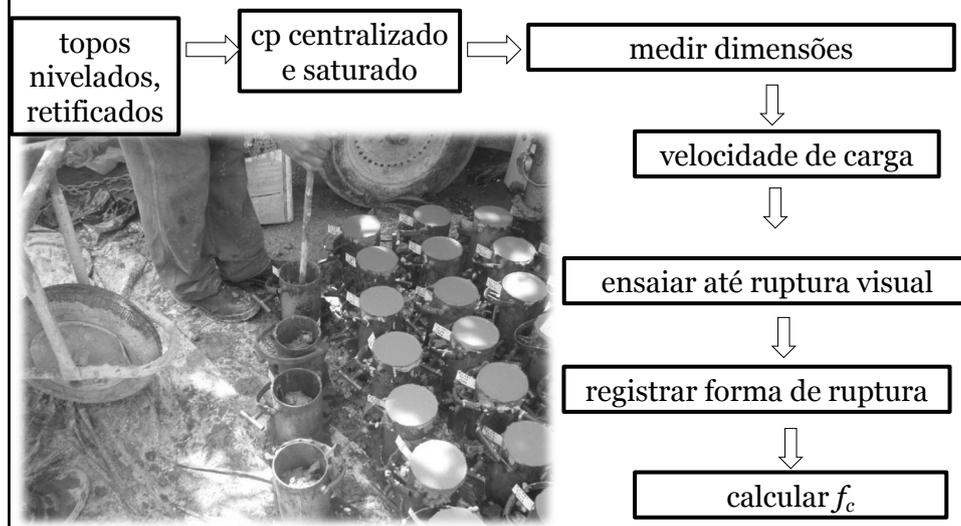
14

o concreto é coletado de acordo com ABNT NBR 5738



15

o concreto é ensaiado saturado de acordo com ABNT NBR 5739



16

Portanto a resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} é uma convenção:

1. ABNT NBR 6188 $\rightarrow f_{ck}$ adotada pelo projetista estrutural \rightarrow imaginária, desejada
2. ABNT NBR 5738 e NBR 5739 $\rightarrow f_{ck}$ corpo de prova cilíndrico ensaios \rightarrow procedimento
3. ABNT NBR 12655 $\rightarrow f_{ck}$ controlada na boca da betoneira \rightarrow convenção, procedimento

É um valor exato ?

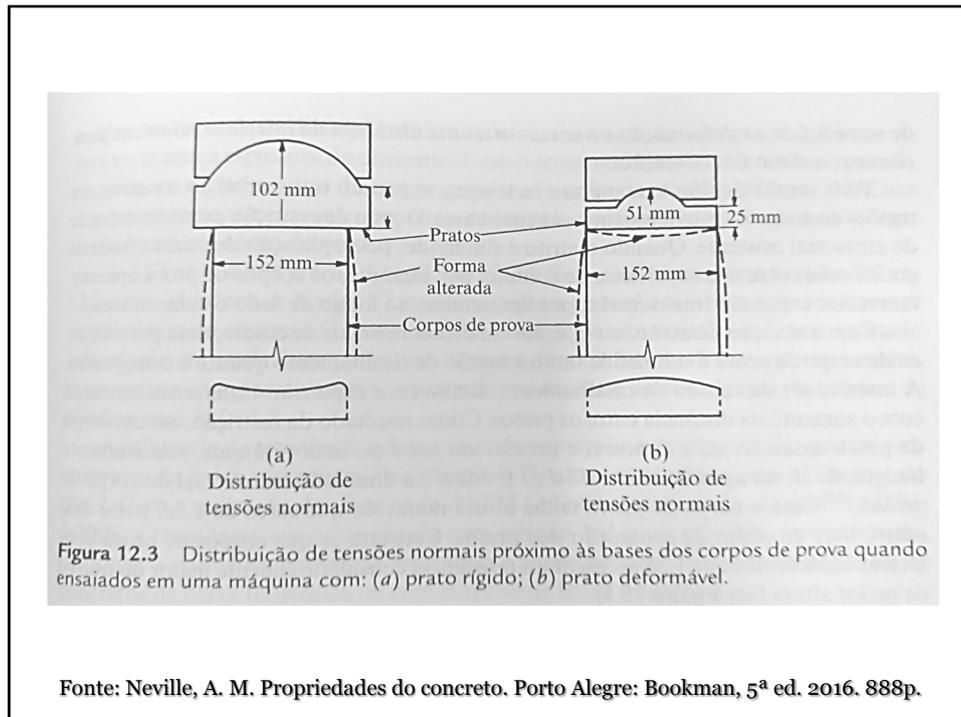
17

resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

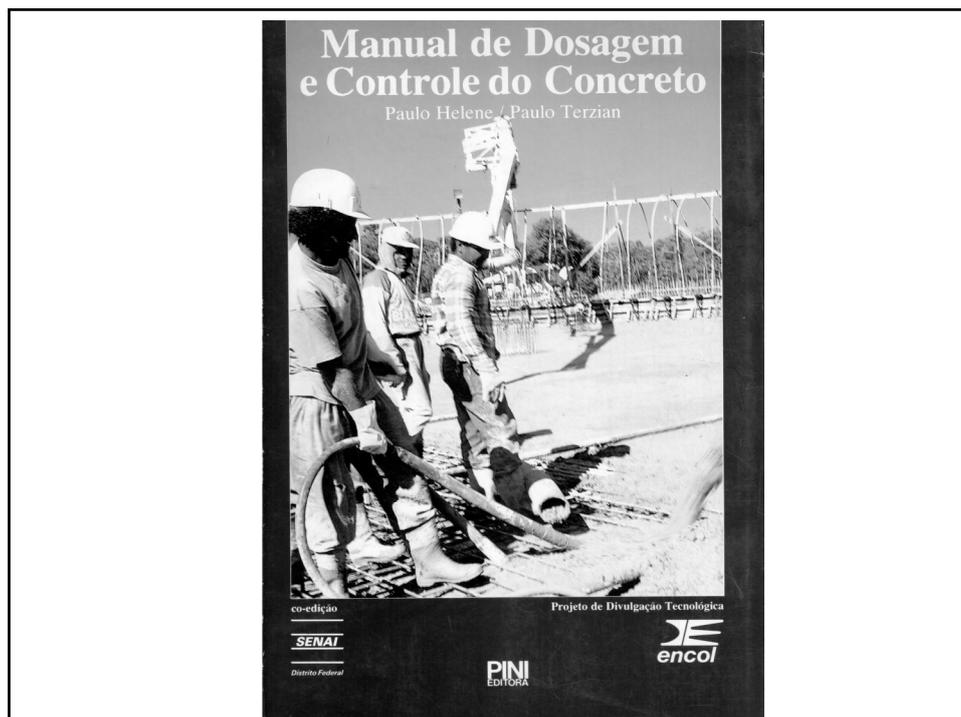
| | |
|-------------------------|-----------------|
| Retificado | 100% |
| Capeamento c/ enxofre | $\approx 100\%$ |
| Capeamento c/ nata | $\approx 100\%$ |
| Neoprene (não aderente) | $\approx 95\%$ |
| Escova de aço* | $\approx 80\%$ |

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

18



19



20

Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle

| Causas de variação | Efeito no resultado |
|--|--|
| A - Materiais • variabilidade da resistência do cimento • variabilidade da quantidade total de água • variabilidade dos agregados | ± 15% ±15% ± 8% |
| B - Mão-de-Obra • variabilidade do tempo e procedimento de mistura | - 10% |
| C - Equipamento • imprecisão de balanças e hidrometro, sobrecarregamento | - 30% |
| D - Procedimento de ensaio • coleta imprecisa • adensamento inadequado • cura (28 dias ou mais) • remate dos topos • ruptura seco (não saturado) | - 10% - 50% - 20% - 30% para concavidade - 50% para convexidade + 20% |

21

Conceitos Estatísticos

- ✓ **Universo ou população** em estatística representa o conjunto de elementos similares sobre o qual incide o estudo estatístico
- ✓ **Unidade de produto, indivíduo, unidade de controle, unidade estatística:** objeto individual de controle (exemplar) que compõem a população
- ✓ **Lote:** parte do universo ou população separada por conveniência para ser submetida a um julgamento
- ✓ **Amostra:** conjunto de unidades estatísticas ou indivíduos retirados do lote e “representativos” deste
- ✓ **Amostra parcial:** contem um número de indivíduos inferior ao lote. Necessita inferência estatística para julgar o lote
- ✓ **Amostra total ou a 100%:** coincide com o lote. Não requer inferência estatística

22



23

quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira

de 8 m³ ?

→ 1.300 cps “15x30”

→ 5.000 cps “10x20”

24

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



25

Betoneira estacionária (central
misturadora) com volume útil total
de 1 m³

→ 163 cps “15x30”

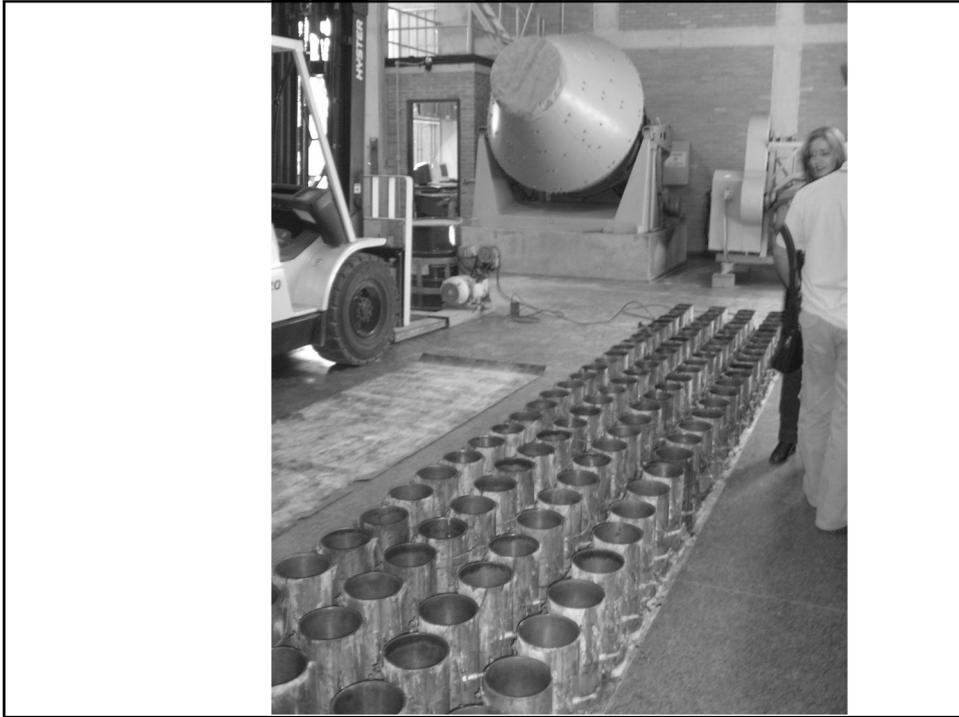
→ 625 cps “10x20”

média → μ_c

desvio padrão → σ_c

coeficiente de variação → ν_c

26



27

precisão das operações de ensaio e controle



28

desvio padrão das operações de ensaio e controle:

$$S_e = \frac{\Sigma (pmax - pmin)}{n * k}$$

| corpos de prova | k |
|-----------------|-------|
| 2 | 1,128 |
| 3 | 1,693 |
| 4 | 2,059 |
| 5 | 2,326 |

coeficiente de variação ou variabilidade das operações de ensaio e controle:

2% a 5%

29

É possível obter resultados perfeitamente iguais??



30

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. Trecho de São João, 13 - 20º andar
 CEP 20030-900 - Caixa Postal 1650
 Rio de Janeiro - RJ
 Tel. (51) 251-7111
 Fax: (51) 251-5405/52143
 Internet: 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
 Incorpora a Errata 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 a aqueles 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.

31

- 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;



32

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



33

- 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.



34

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.*

35

ensaiando um CII 40

46 53 49 52

média $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

descarta 46

nova média **51,3 MPa**

36

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 aparentemente homogêneo, as resistências variam muito !..

37

como um engenheiro de concreto interpretaria esses resultados ?

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

38

MORAL

**a matemática deve servir ao
Engenheiro...**

...jamais o Engenheiro deve ser refém da
matemática !

39

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

**como
fazer
o
estudo?**



40



41

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”

42

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

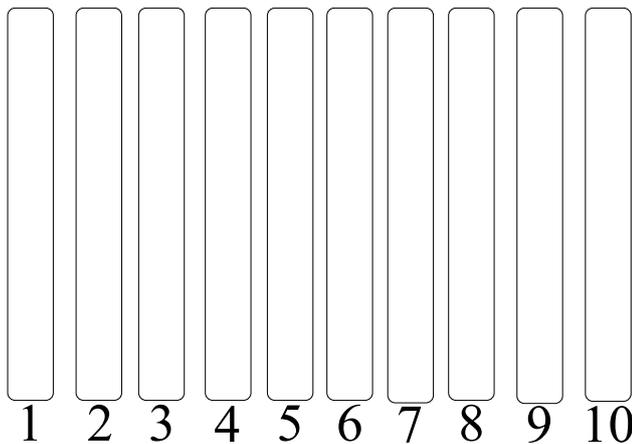
exemplar = mais alto ($f_{ck,est}$)

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

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

43

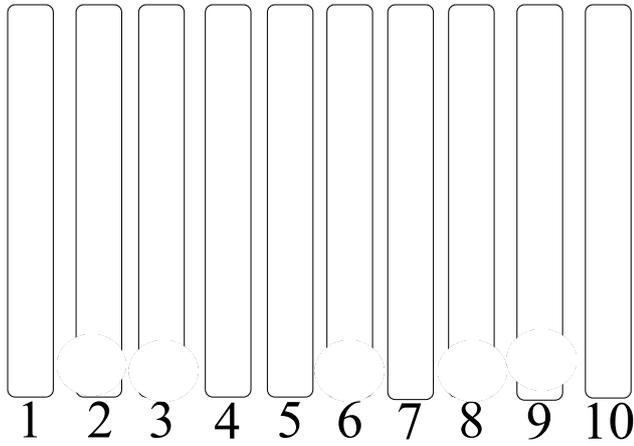
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

44

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



45



46



47

“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 |

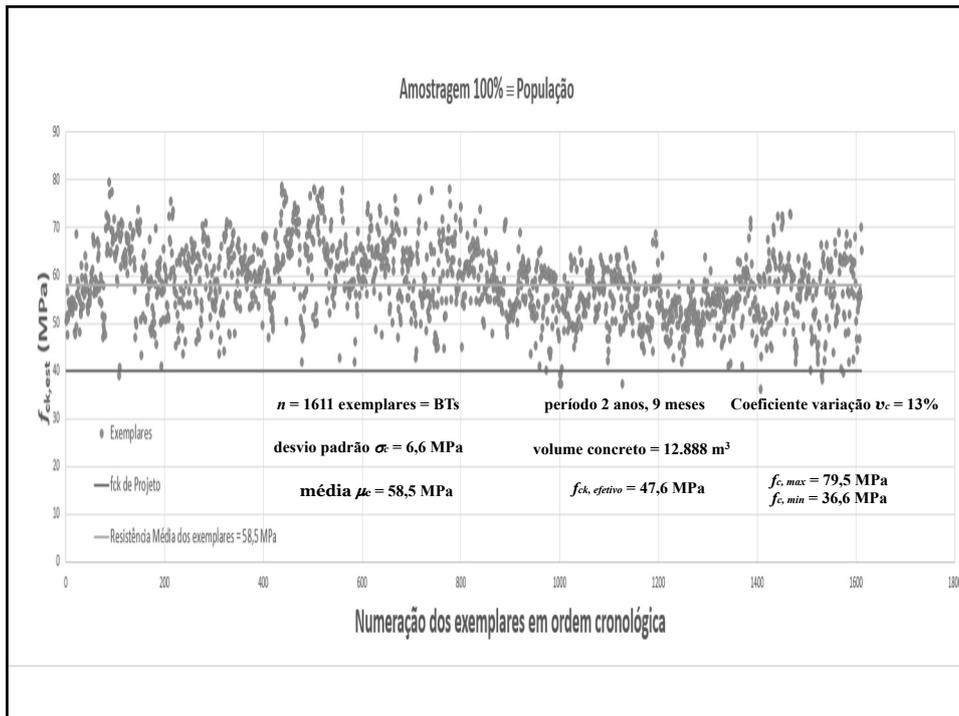
f_{ck}
45MPa

48

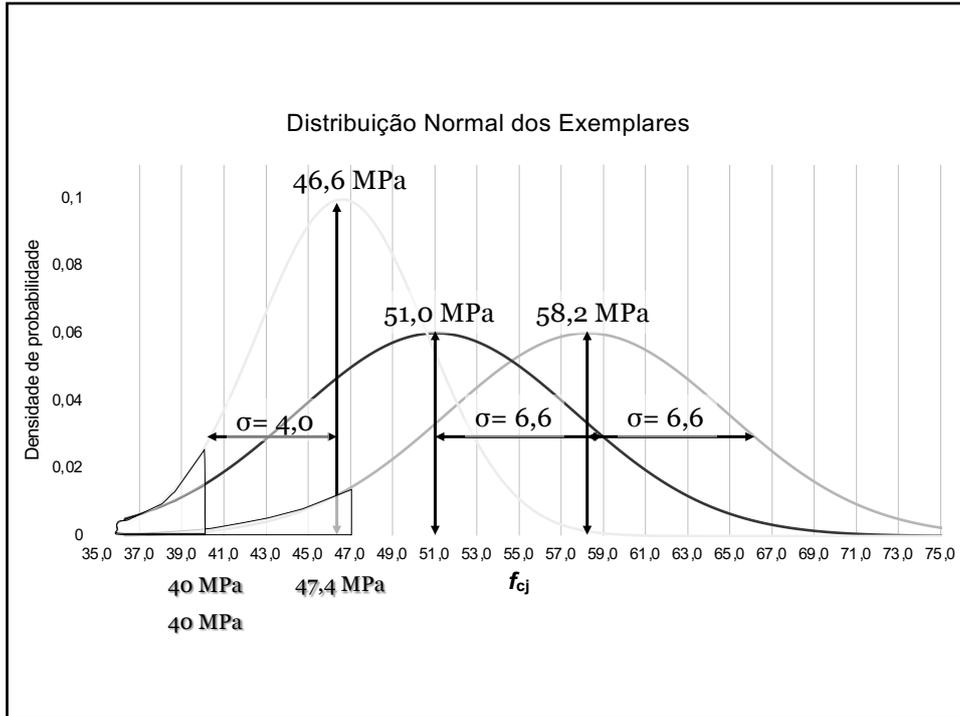
Parque da Cidade - SP



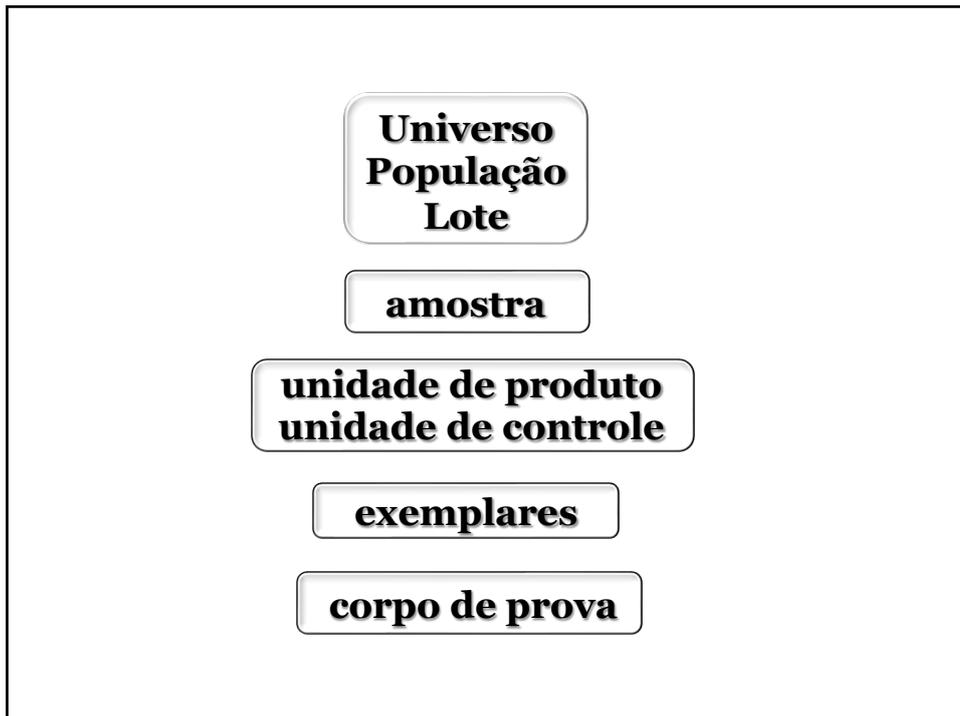
49



50



51



52

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



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

53

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

54

Unidade de Produto
Unidade de Controle
Concreto



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

55

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

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

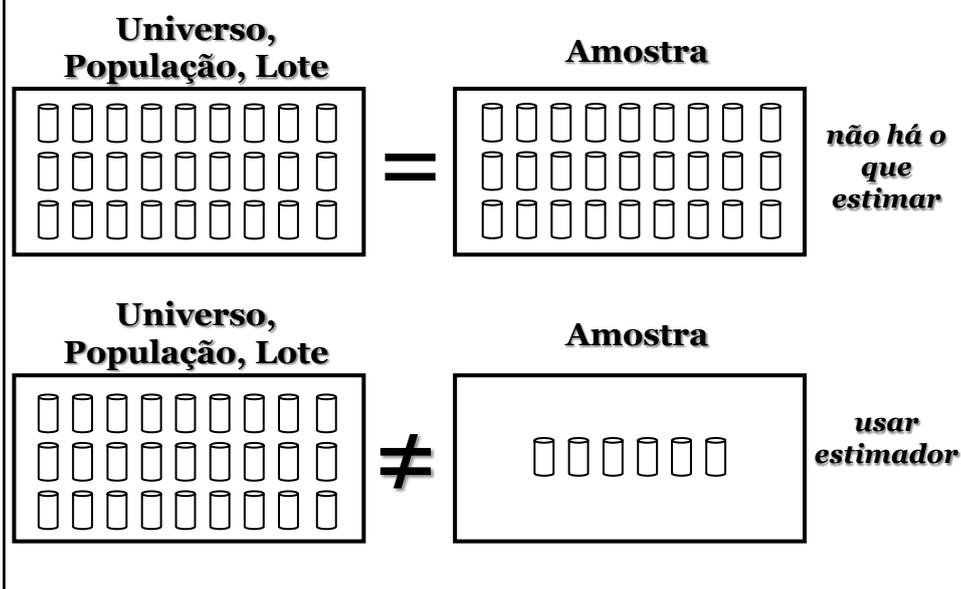
56

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.

57

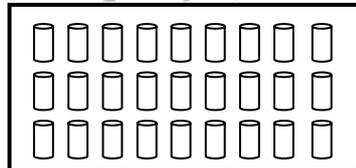
Amostragem ABNT NBR 12655



58

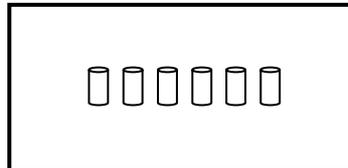
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

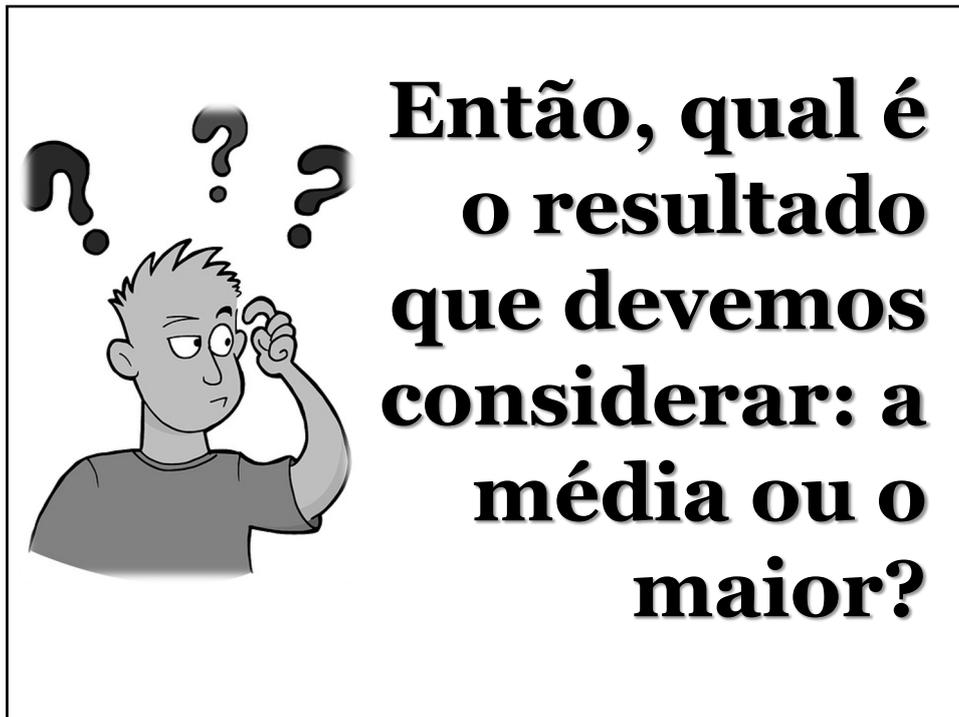
59

ACI American Concrete Institute

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

- Recomenda que a amostragem obedeça a:
 - ≥ 1 exemplar por dia de concretagem;
 - ≥ 1 exemplar para cada $115m^3$ de concreto;
 - ≥ 1 exemplar para cada $465m^2$ de área superficial para lajes ou paredes;
 - Dispensado o controle para volumes inferiores a $38m^3$, desde que exista carta de traço aprovada;
 - Cada betonada fornece apenas um resultado;
 - Para representar um exemplar, obter a média de 2 corpos de prova cilíndricos de 15cm diâmetro por 30cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura.

60



61

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

62

Estudo de dosagem comparativo

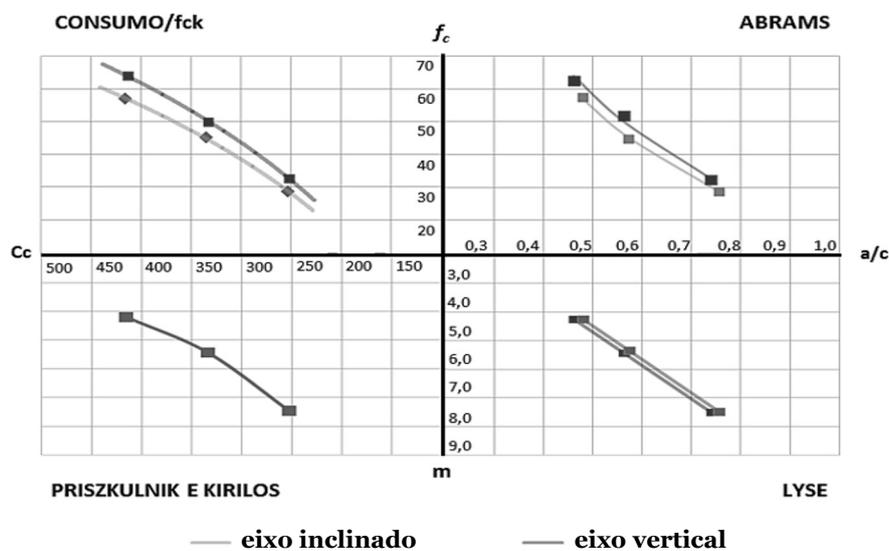
betoneira eixo inclinado *versus* eixo vertical contra corrente

| tipo de betoneira | Cimento | Areia natural | Areia artificial | Brita 0 | Brita 1 | a/c | $f_{c,28}$ MPa |
|---------------------------|---------|---------------|------------------|---------|---------|-------|----------------|
| dosadora eixo inclinado | 1 | 1,144 | 0,617 | 0,488 | 1,949 | 0,479 | 57,4 |
| | 1 | 1,564 | 0,842 | 0,606 | 2,421 | 0,573 | 44,7 |
| | 1 | 2,252 | 1,212 | 0,800 | 3,196 | 0,756 | 28,8 |
| misturadora eixo vertical | 1 | 1,168 | 0,629 | 0,488 | 1,949 | 0,461 | 62,5 |
| | 1 | 1,588 | 0,855 | 0,606 | 2,421 | 0,563 | 51,9 |
| | 1 | 2,276 | 1,228 | 0,800 | 3,196 | 0,740 | 32,2 |

63

Estudo de dosagem comparativo

Diagrama de dosagem



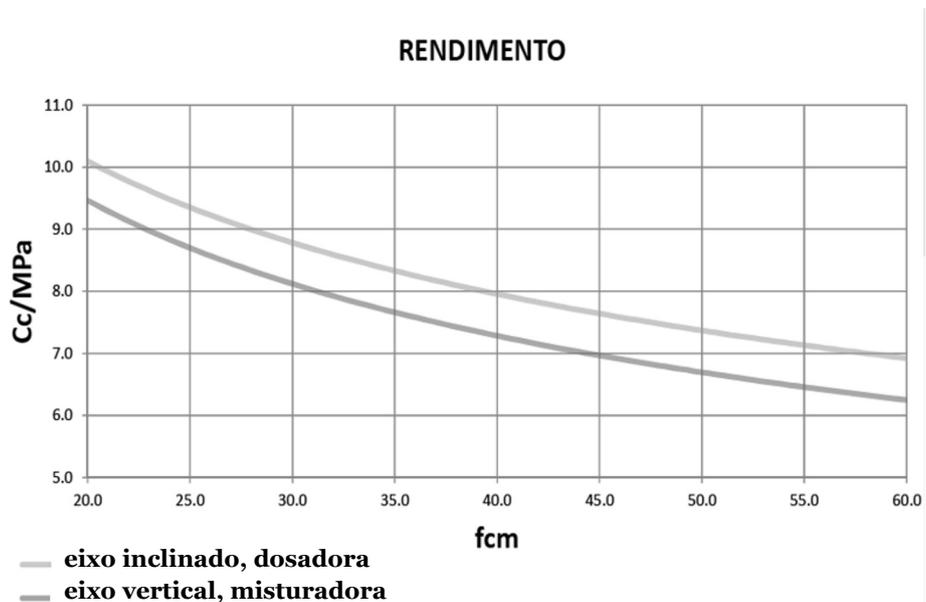
64

Estudo de dosagem comparativo

| betoneira | f_{ck} | f_{cm} | a/c | m | Cc | kg / % |
|----------------|----------|----------|------|-----|-------|--------|
| eixo vertical | 35 | 41,6 | 0,64 | 6,3 | 292,2 | 26,7 |
| eixo inclinado | 35 | 41,6 | 0,61 | 5,7 | 318,9 | 9,1% |
| eixo vertical | 50 | 56,6 | 0,51 | 4,8 | 368,7 | 39,7 |
| eixo inclinado | 50 | 56,6 | 0,48 | 4,3 | 408,4 | 10,7% |

65

Estudo de dosagem comparativo



66

Estudo comparativo de produção

volume da ordem de 500 m³, com 62 e 125 exemplares,
 $f_{ck} = 50$ MPa, materiais equivalentes (*não é mesmo traço*)

$$\mu_c = 62,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 5,6 \text{ MPa}$$

$$\nu_c = 9,0 \%$$

**eixo
inclinado
dosadora**

$$\mu_c = 58,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 5,5 \text{ MPa}$$

$$\nu_c = 9,3 \%$$

**eixo
vertical
misturadora**

67



Normalização Brasileira

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

ABNT NBR 6120:2000 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;

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

ABNT NBR 6123:2013 – Forças devidas ao vento em edificações;

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

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

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

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

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

ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho;

68

Normalização Internacional

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

EN 1991 EUROCODE 1 – Actions on structures:

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



EN 1992 EUROCODE 2 – Design of concrete structures:

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



fib Model Code for Concrete Structures 2010;

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



69



70

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

Ações majoradas:

$$F_d = F_k * \gamma_f$$

Resistências minoradas:

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

71

Premissas

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

1. Para fins de cálculo:

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

77

Ações e Segurança

ABNT NBR 6118:2014

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

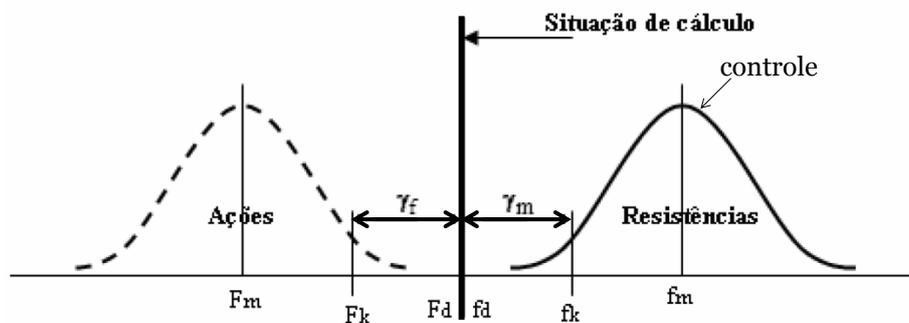
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

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

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

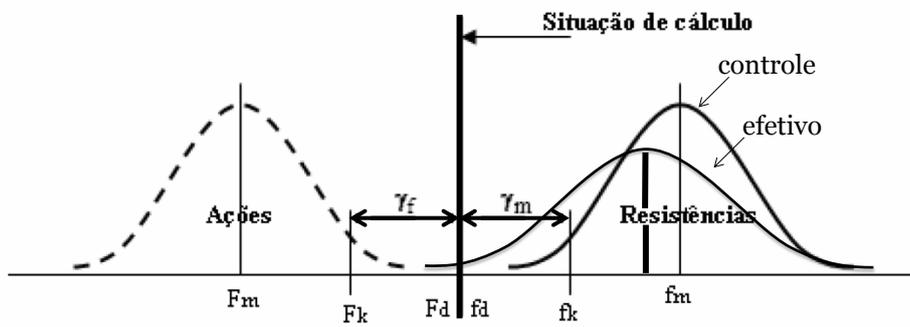
78

Análise Semi-probabilista

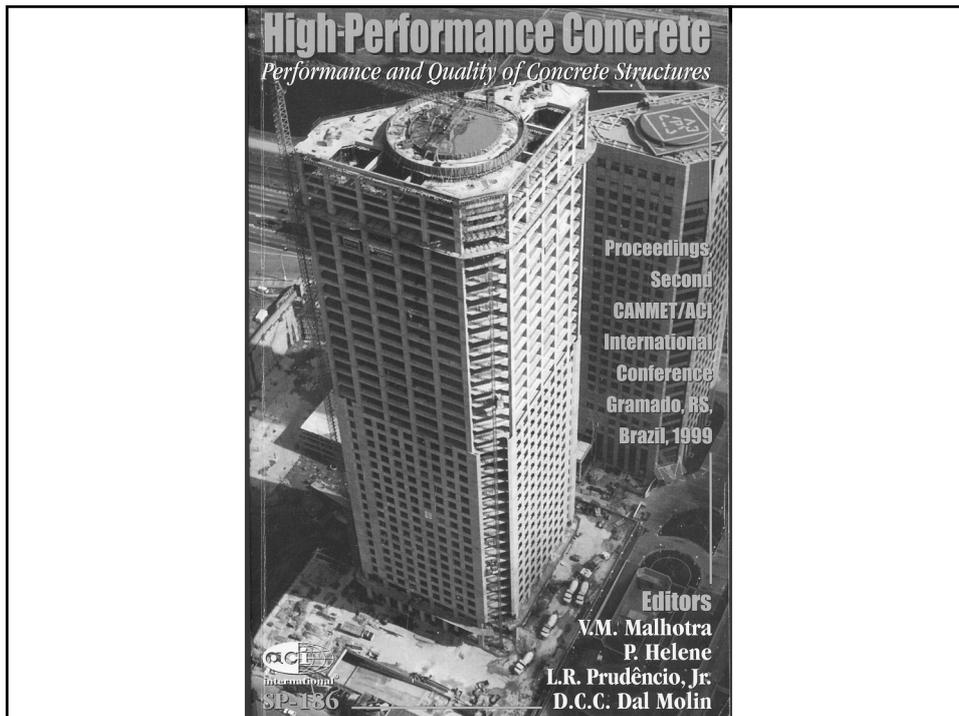


79

Análise Semi-probabilista



80



82

Premissas

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

83

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

*fib Model
Code 2010
Item 5.1.9*

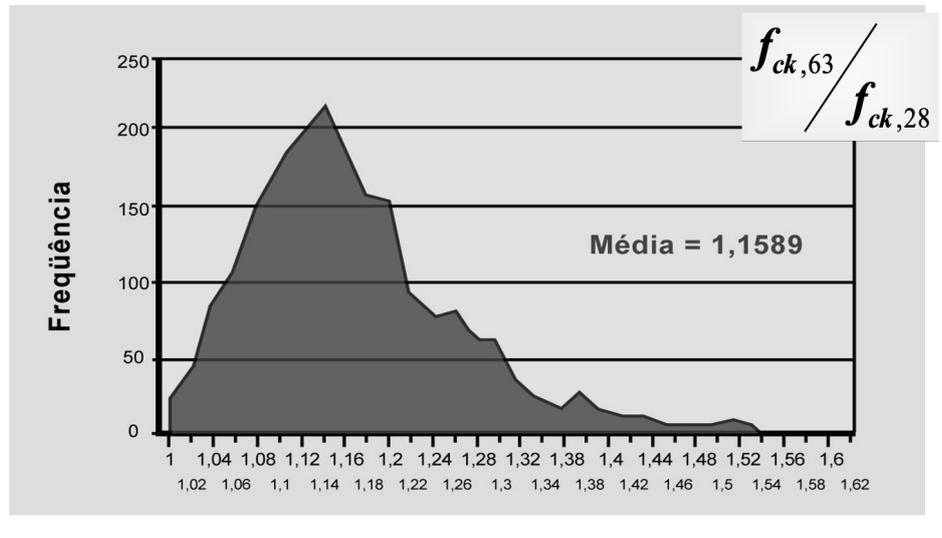
*ABNT NBR
6118:2014
Item 12.3.3*

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

84

Análise *(histórica, década 90)*

2.046 Registros Analisados, CP III



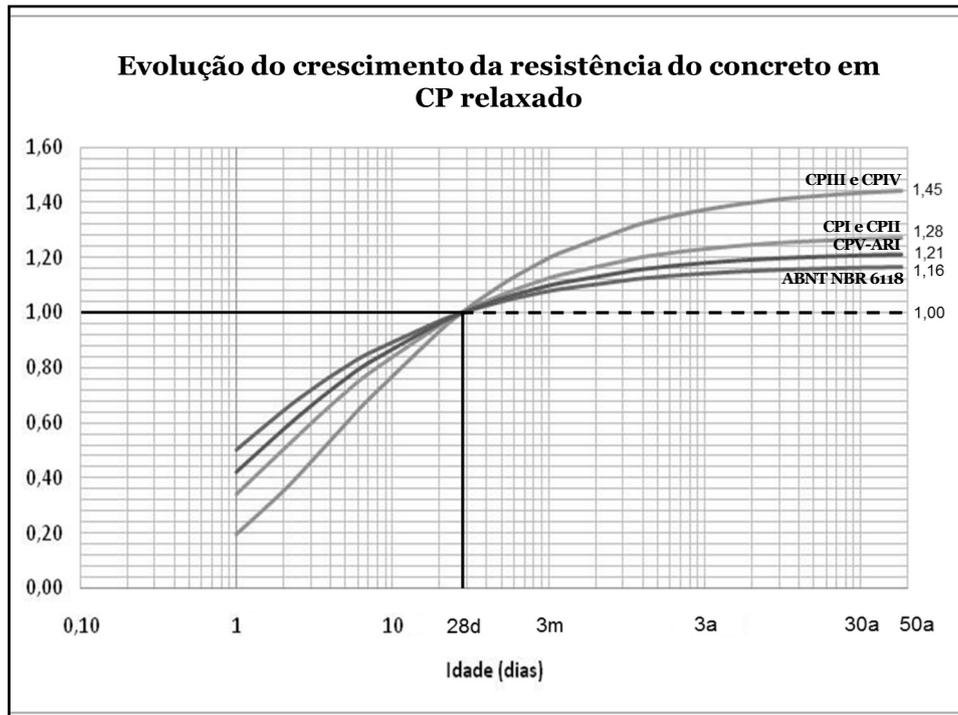
85

Análise Geral *(histórica, década 90)*

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



86



87

Premissas

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

88

Resistência sob Carga de Longa Duração (efeito Rüsçh)

fib Model
Code 2010
Item 5.1.9.2

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

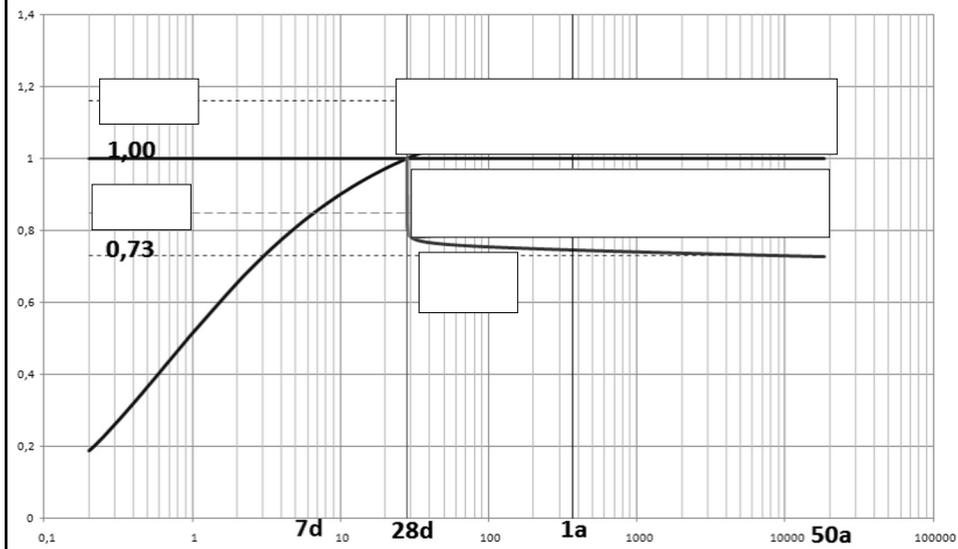
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

89

Decréscimo da Resistência



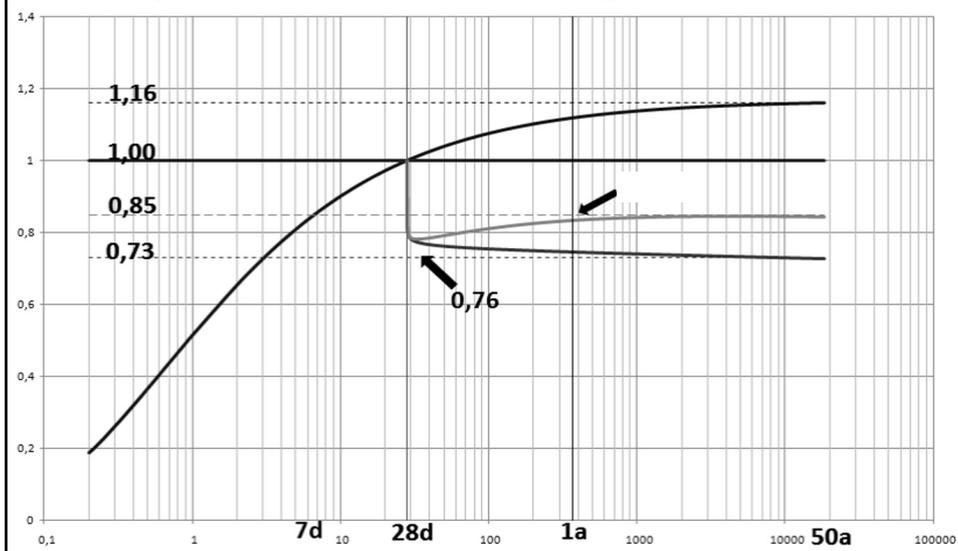
90

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

91

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



92

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

93

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

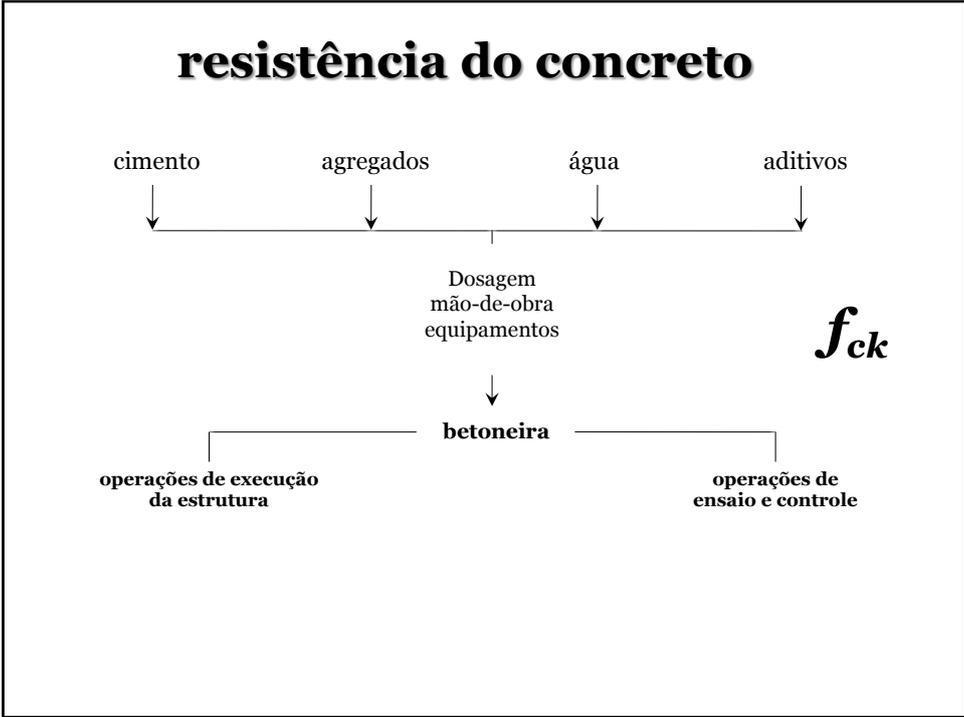
ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

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

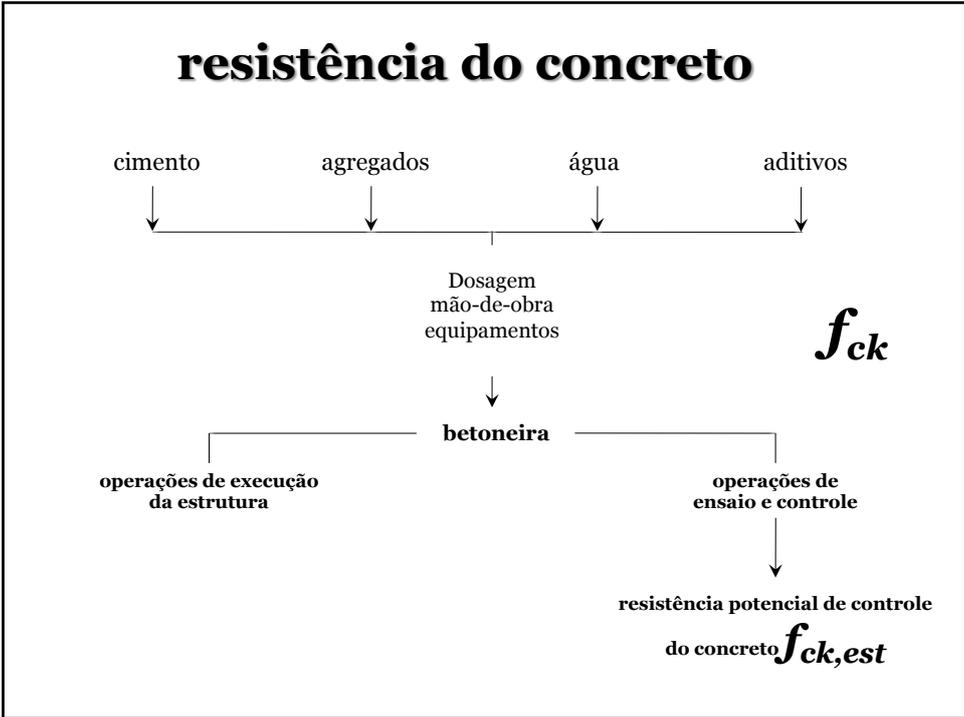
referencial de segurança

f_{ck}

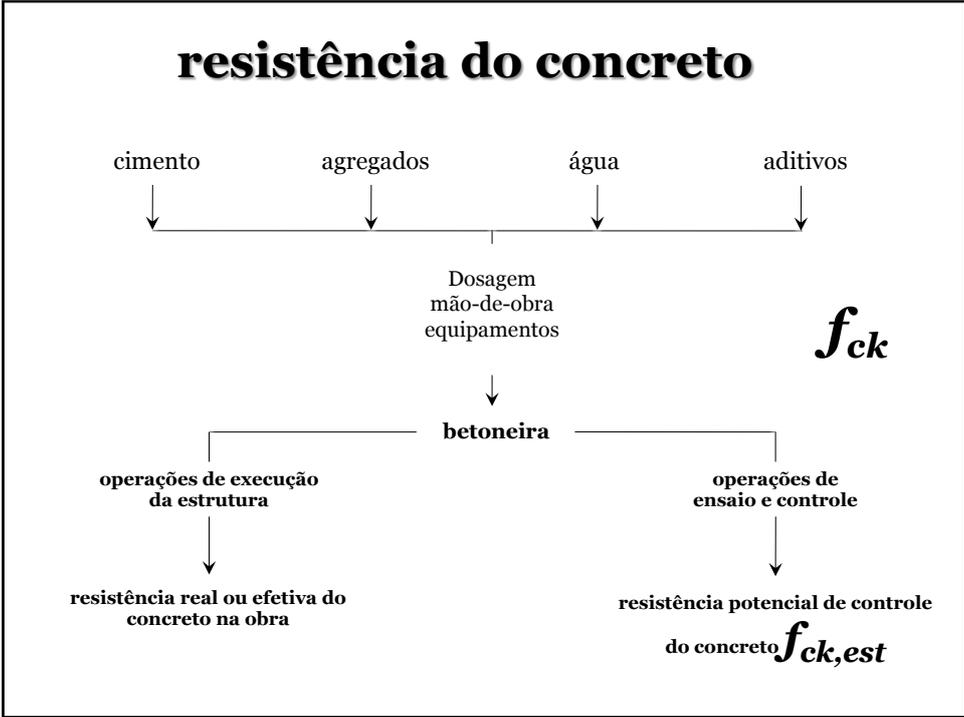
94



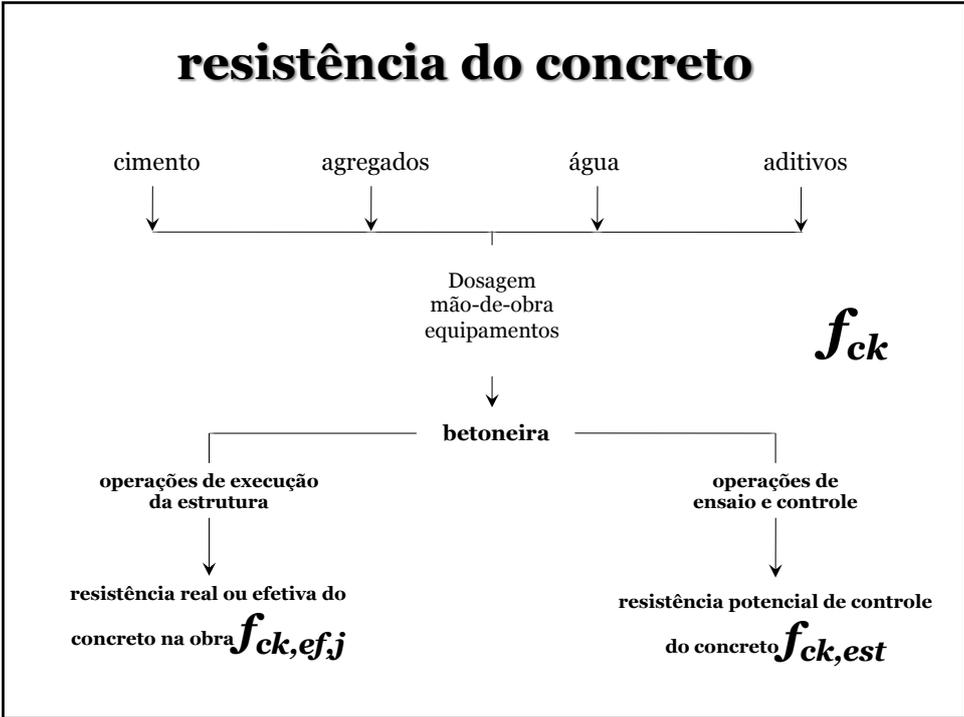
95



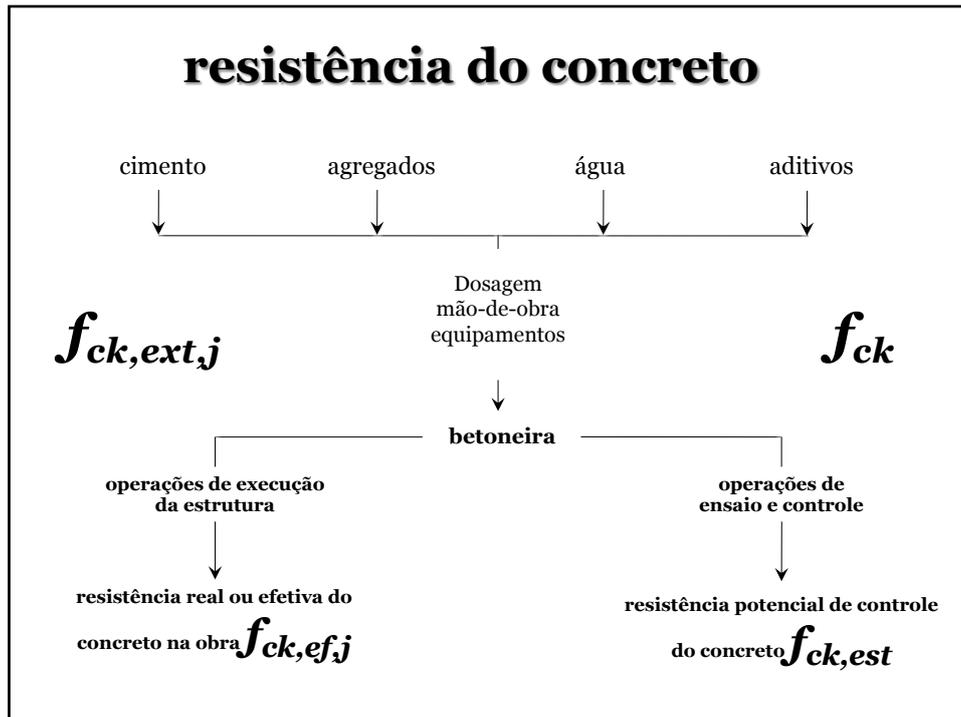
96



97



98



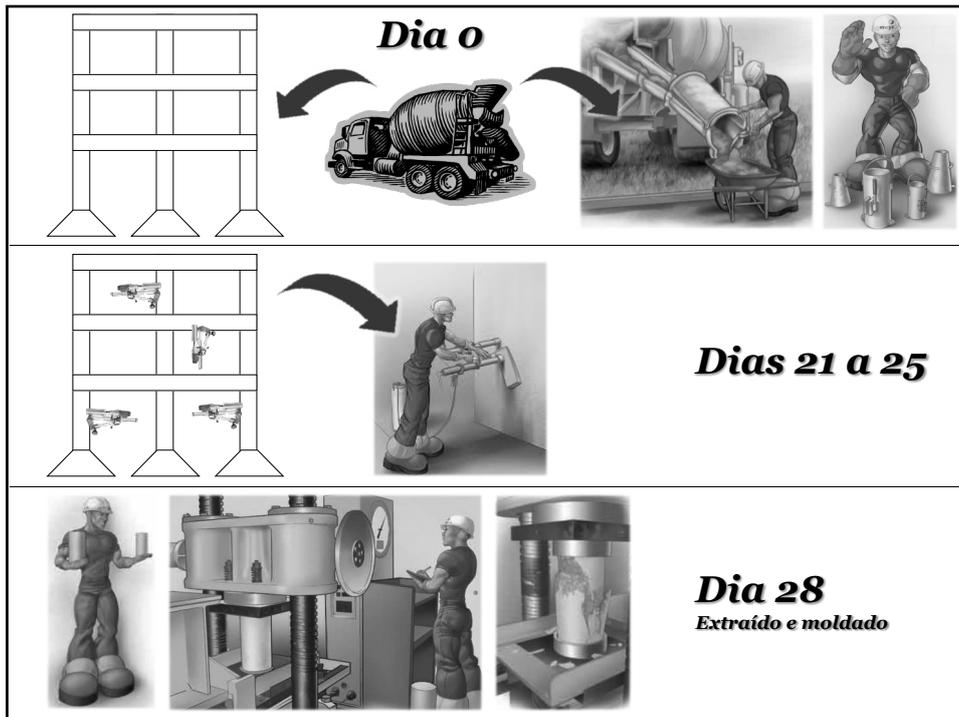
99

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

100



101

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

102

Preliminares

Conceitos:

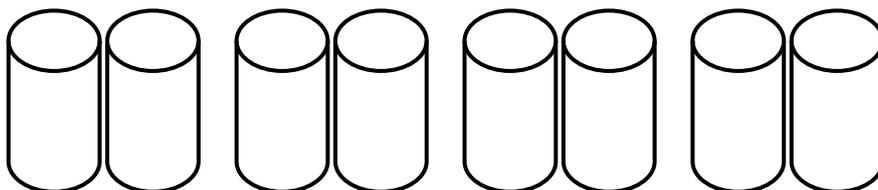
→ qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?

103

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

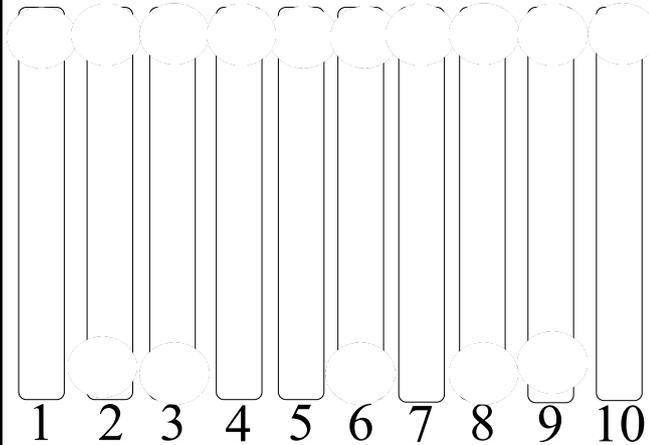
Grupo C

Grupo D

104

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

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

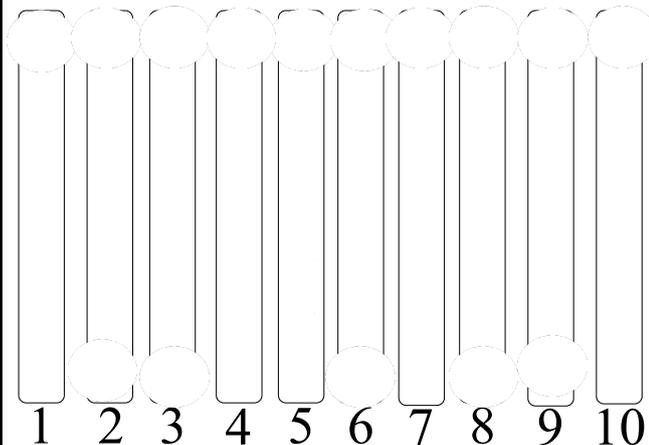


f_{ck}
45MPa

105

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

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

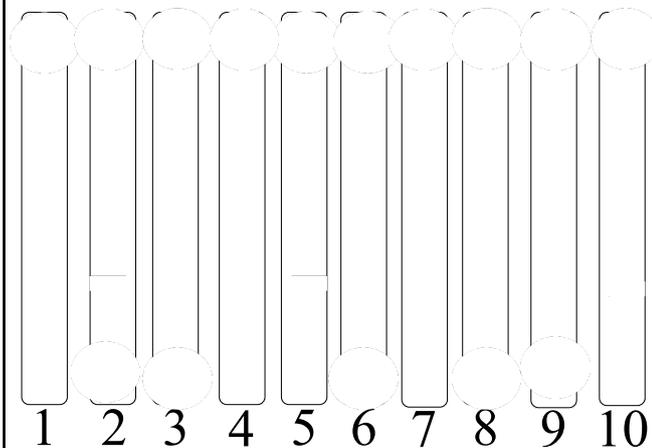


terço inferior

106

qual a resistência obtida de um pilar?

$$f_{ck,ext}?$$



**terço
inferior**

$$f_{ck,ext,1}$$

$$f_{ck,ext,2}$$

$$f_{ck,ext,3}$$

107

Problema

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

108

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;

109

Coefficientes de correção

ABNT NBR 7680:2015

k_1 = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação $h/d \rightarrow$ varia de 0,00 a -0,14;

k_2 = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho \rightarrow varia de 0,12 a 0,04;

$k_3 = \dots$

$k_4 = \dots$

110

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

111



112



115

Conclusão

Média geral:

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

116

Coeficientes de correção ABNT NBR 7680:2015

k_1 = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d → varia de 0,00 a -0,14;

k_2 = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho → varia de 0,12 a 0,04;

k_3 = correção em função da direção da extração em relação ao lançamento do concreto → varia de 0 a 0,05;

k_4 = correção em função da umidade do testemunho → varia de 0 a -0,04.

adensamento e cura

117

Cálculos ABNT NBR 7680:2015

$$f_{ck,est,j} = 0,86 \text{ a } 1,17 * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$ = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a j dias de idade;

118

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural
Concrete and Commentary, 2015. 520p.**
Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:

(d) Concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if (1) and (2) are satisfied:

$$(1) \quad \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3} \geq 0.85 * f_{ck}$$

(corresponde a $f_{ck} = 1,18 * f_{ext,m}$ ou $f_{ck} = 1,33 * f_{ext,min}$)

$$(2) \quad f_{ci} \geq 0.75 * f_{ck}$$

R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent of the specified strength is realistic. **It is not realistic, however, to expect the average core strength to be equal to f_{ck} , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....**

119

**Estaria assim cumprida a primeira
parte, ou seja, transformar $f_{c,ext,j}$
em f_{ck} ?**

SIM

NÃO

voltar a 28dias !

como ???

120

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2015, 520p.

Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent

of the specified strength, based on the curing conditions, and curing conditions. The acceptance criteria for core strengths have been established with consideration that cores for investigating low strength-test results will typically be extracted at an age later than specified for f'_c . For the purpose of satisfying 26.12.4.1(d), this Code does not intend that core strengths be adjusted for the age of the cores.

121

onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

(expectativa da ABNT NBR 6118)

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

122

Ponderações

1. Crescimento vale para CP relaxado na câmara úmida, sem carga, temperatura ideal de 23°C, UR de 100%;
2. Crescimento depende muito do tipo de cimento e das adições;
3. Crescimento depende muito da relação a/c;
4. Crescimento depende da cura, do adensamento, da temperatura, da UR, do sazonalamento, ...

123

Incertezas ...

Desconhecimentos ...

124

Decréscimo da Resistência

(efeito Rüsçh)

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

→ **j** em dias

→ **j - 28** > 15 minutos

125

Ponderações

1. Qual a carga que realmente começa a reduzir a resistência?
2. Modelo para uma condição idealizada de laboratório?
3. Qual a história efetiva de carregamento?
4. Teria influência a cura, adensamento, temperatura, UR, cargas cíclicas, carbonatação,...

126

Incertezas ...

Desconhecimentos ...

127

Problema

$$f_{ck,est,j} = [1+(k_1+k_2+k_3+k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est}$ = resistência à compressão
característica do concreto equivalente
à obtida de corpos de prova moldados, a j
dias de idade;

128

onde j é a idade do concreto em dias.

Retorno a 28 dias

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

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

129

PROJETO

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

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

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

130

como aceitar o concreto?



134

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

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

136

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

137

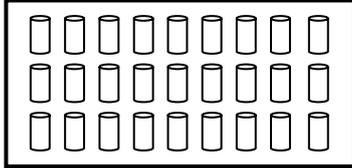
Amostragem ABNT NBR 12655:2015

- ✓ 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.

138

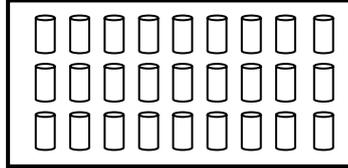
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



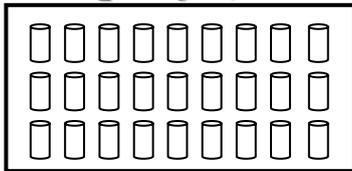
=

Amostra



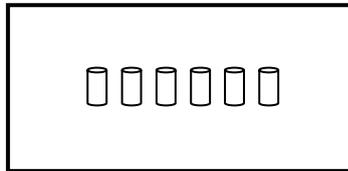
não há o
que
estimar

Universo,
População, Lote



≠

Amostra

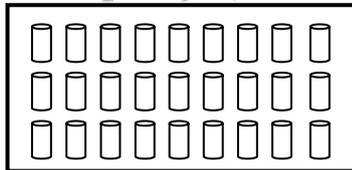


usar
estimador

139

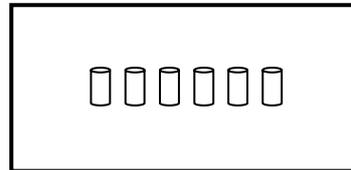
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

140

Amostragem total ABNT NBR 12655:2015

- ✓ Todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada (unidade de produto):

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

- ✓ *Não há o que estimar porque todo o lote (população) é conhecido.*

141

Conformidade dos lotes

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

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

142

ACI American Concrete Institute

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

- Laboratório de Controle deve ser acreditado pela norma ASTM C1077 e laboratoristas sejam certificados pelo ACI;
- CPs sejam retirados em conformidade com a ASTM 172, moldados e sazoados em conformidade com a ASTM C31 e ensaiados em conformidade com a ASTM C39;

143

ACI American Concrete Institute

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

- Recomenda que a amostragem obedeça a:
 - ≥ 1 exemplar por dia de concretagem;
 - ≥ 1 exemplar para cada 115m^3 de concreto;
 - ≥ 1 exemplar para cada 465m^2 de área superficial para lajes ou paredes;
 - Dispensado o controle para volumes inferiores a 38m^3 , desde que exista carta de traço aprovada;
 - Cada betonada fornece apenas um resultado;
 - Para representar um exemplar, obter a média de 2 corpos de prova cilíndricos de 15cm diâmetro por 30cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura.

144

ACI American Concrete Institute

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

- Como **critério de aceitação** exige:

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

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

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

145

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

ACI 318-14:

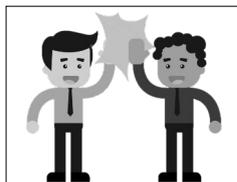
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



146

***fib* Model Code 2010**

No ***fib* Model Code 2010**

não **constam**

**procedimentos para controle da
resistência do concreto, salvo rápida
referência à ISO 22965 e à EN 206.**

147

Eurocode II:2004

Eurocode II também remete as diretrizes para controle e recebimento à *EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity.*

Chapter 8. *Conformity Control and Conformity Criteria.*

8.2.1 *Conformity control for compressive strength*

148

EN 206-1:2013

- Além da responsabilidade pela produção do concreto caber à Empresa de Serviços de Concretagem, também é necessário aferir a conformidade do concreto no recebimento e aceitação em obra;
- Recomenda que a amostragem siga a EN 12350-1 *Testing Fresh Concrete*.

149

EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan

Table 17 – Minimum rate of sampling for assessing conformity

| Production | Minimum rate of sampling | | |
|---|---------------------------------------|---|---|
| | First 50 m ³ of production | Subsequent to first 50 m ³ of production ^a , the highest rate given by: | |
| | | Concrete with production control certification | Concrete without production control certification |
| Initial (until at least 35 test results are obtained) | 3 samples | 1 per 200 m ³ or 1 per 3 production days ^d | 1 per 150 m ³ or 1 per production day ^d |
| Continuous ^b (when at least 35 test results are available) | --- | 1 per 400 m ³ or 1 per 5 production days ^{c, d} or 1 per calendar month | |

^a Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m³.

^b Where the standard deviation of the last 15 or more test results exceeds the upper limits for s_n according to Table 19, the sampling rate shall be increased to that required for initial production for the next 35 test results.

^c Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

^d The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

150

EN 206-1:2013

Como critério de aceitação, 8.2.1.3

- *Conformity criteria for compressive strength*

- *Critério para resultados individuais:*

- ✓ Qualquer valor individual deve ser

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- *Critério para resultados médios:*

- ✓ Produção inicial: a média de 3 resultados consecutivos deve ser

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck} + 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- ✓ Produção contínua: a média de, no mínimo, 15 resultados consecutivos deve ser:

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

151

Resumo - frequência dos ensaios

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

152

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

153

Resumo

- ✓ O procedimento de amostragem adotado no Brasil é o mais rigoroso do mundo !
- ✓ Com amostragem total conhecemos toda a população em exame ! Mais segurança que isso impossível !
- ✓ Com amostragem parcial estamos limitados a lotes máximos de 50m³ e de 100m³ para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m³ ou a cada 16m³ e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor f_{ci} abaixo de f_{ck} enquanto outros países aceitam 3,5MPa, 4MPa ou mais (10%) abaixo de f_{ck}

154



155



156



157



158

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