

# Avaliação da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes. Nova ABNT NBR 7680 Testemunhos



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Conselheiro Permanente IBRACON  
Presidente de honra ALCONPAT Internacional  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures*

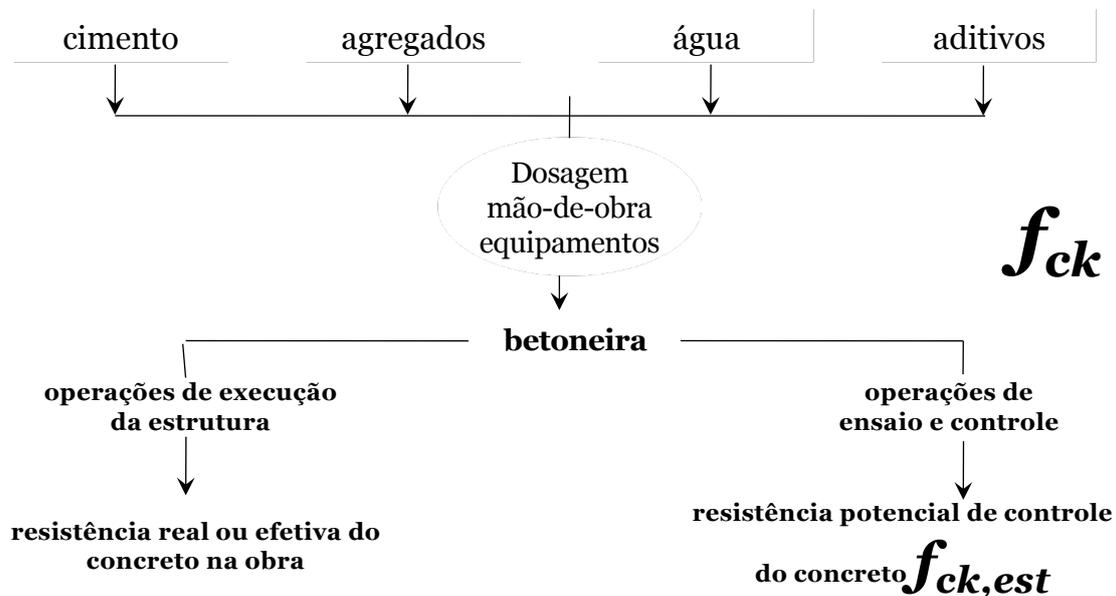
Clube de Engenharia RJ

12 de novembro de 2013

Rio de Janeiro

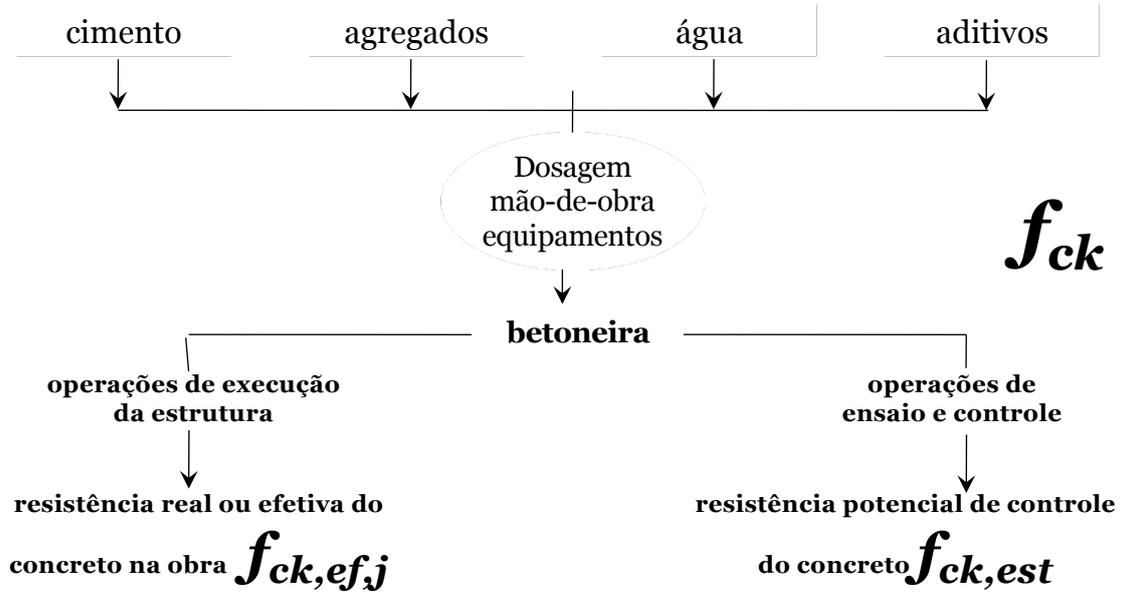
1

## resistência do concreto



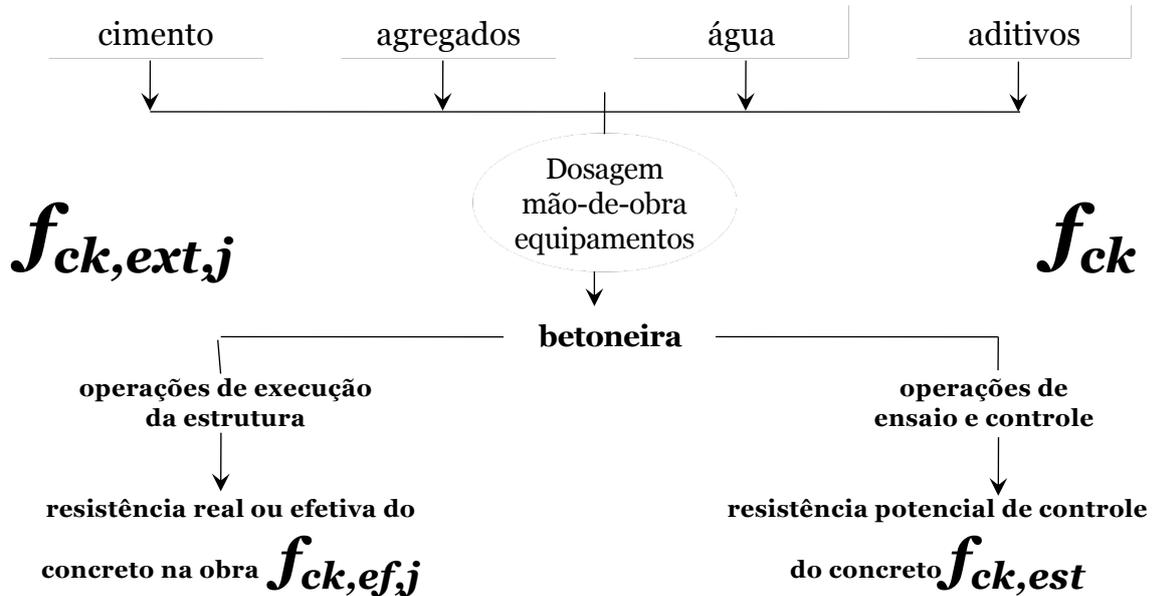
2

# resistência do concreto



3

# resistência do concreto



4

# Preliminares

**resultados de controle que podem gerar dúvidas, ou seja, resultados de  $f_{ck,est}$  entre  $0,60*f_{ck}$  a  $0,95*f_{ck}$  e, principalmente quando há divergência entre *Concreteira e Laboratório***

5

# Preliminares

**Conceitos:**

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

6

# Preliminares

**encontrar um  $f_{ck}$  que viabilize revisar a segurança, ou seja, verificar a segurança conforme as convenções universais de projeto estrutural de ECAs.**

***$f_{ck}$ ?  $f_{cd}$ ?  $\sigma_{cd}$ ? a 28 dias  $\rightarrow$  a partir de  $f_{c,ext,j}$ ?***

7

# Preliminares

**encontrar aquele  $f_{ck}$  padrão convencional, normalizado, muito bem definido.**

**A NBR 7680, hoje, fornece apenas o  $f_{c,ext,j}$  e, portanto ainda não serve para calcular, revisar, verificar a segurança**

8

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

**exemplar = mais alto** ( $f_{ck}$ )

***“potencial do concreto”***

9

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

**exemplar = mais alto** ( $f_{ck}$ )

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

***“potencial do concreto”***

10

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

11

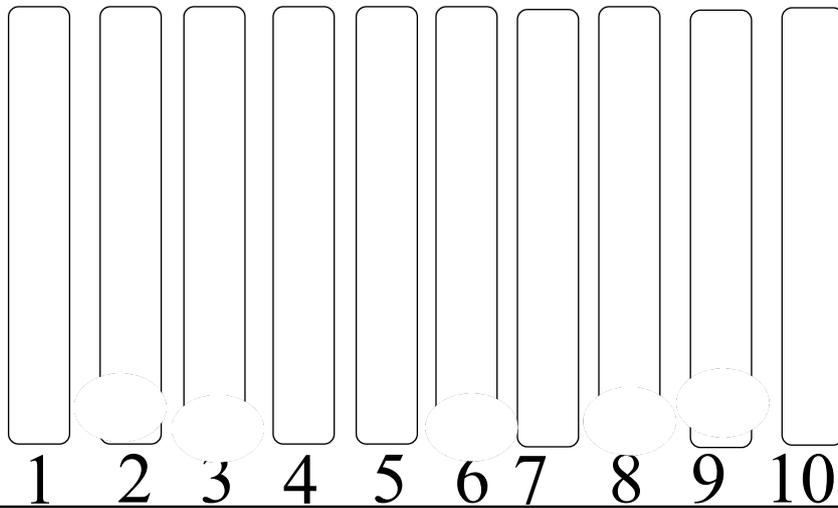
com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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

12

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



13



14



15

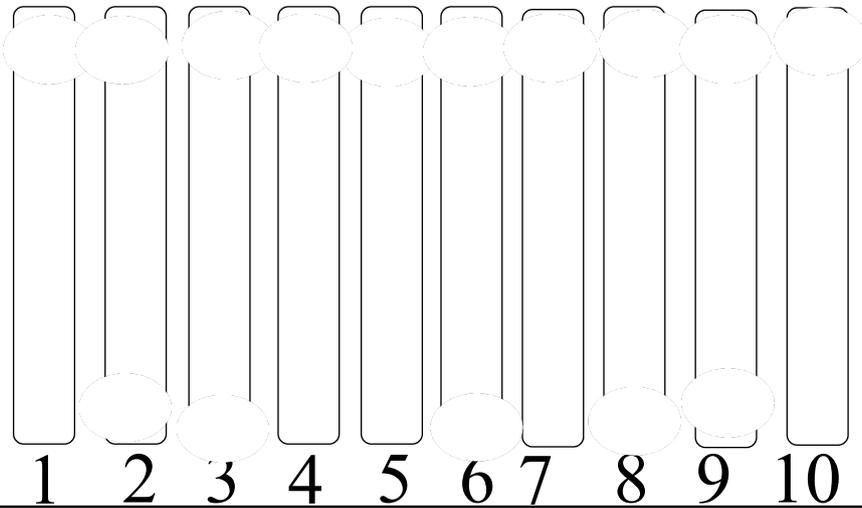
“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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

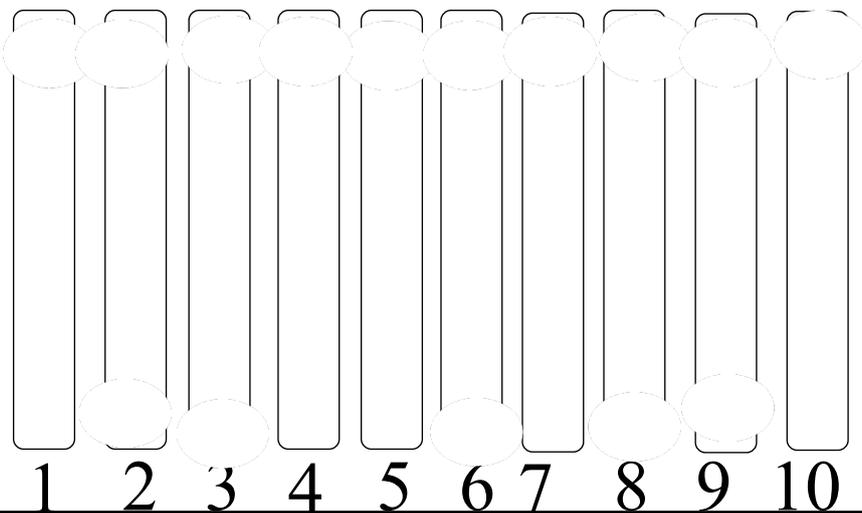
16

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



17

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

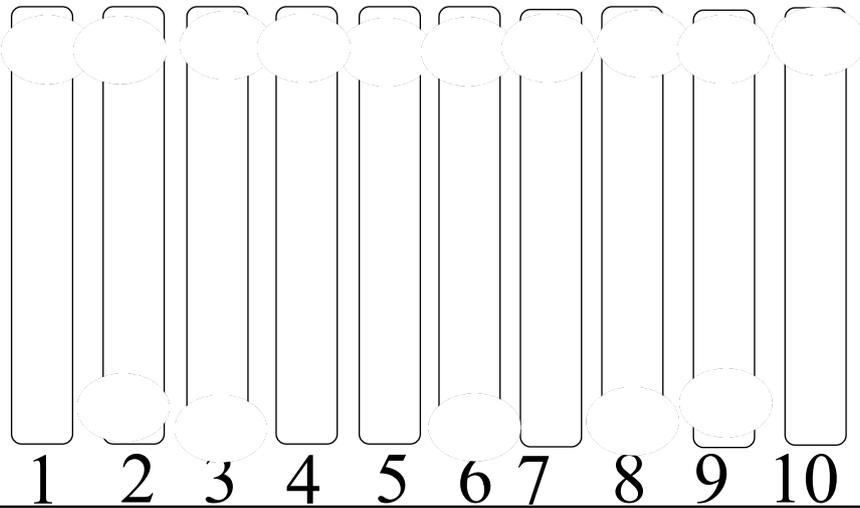


$f_{ck}$   
**45MPa**

18

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

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

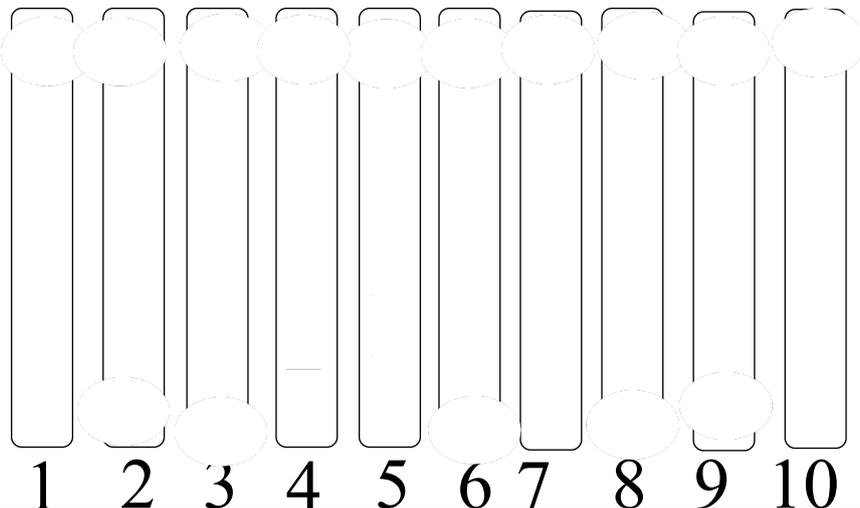


$f_{ck}$   
**45MPa**

19

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

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

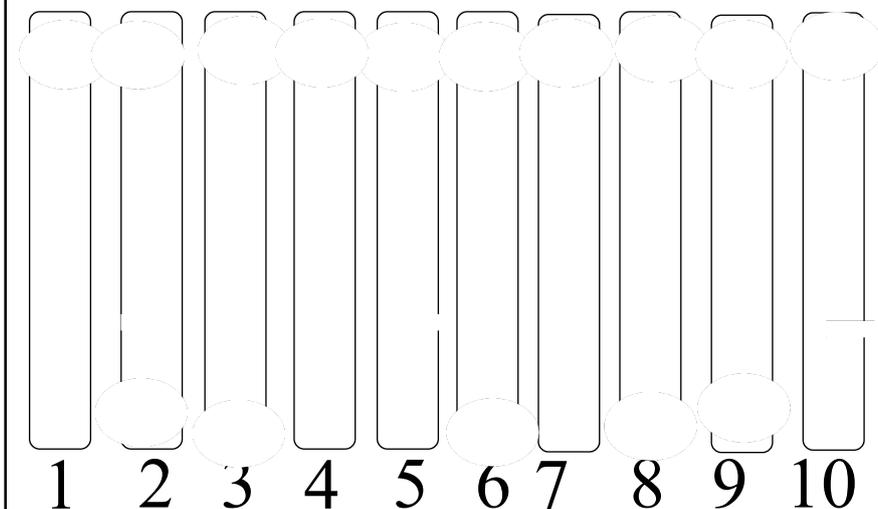


**terço inferior**

20

qual a resistência obtida de um pilar?

$$f_{ck,ext}?$$



terço  
inferior

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

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

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

21

## testemunhos extraídos

estudo de caso  $\rightarrow f_{ck} = 35\text{MPa}$

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>34.8</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.8</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>8%</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>29.0</b>

22

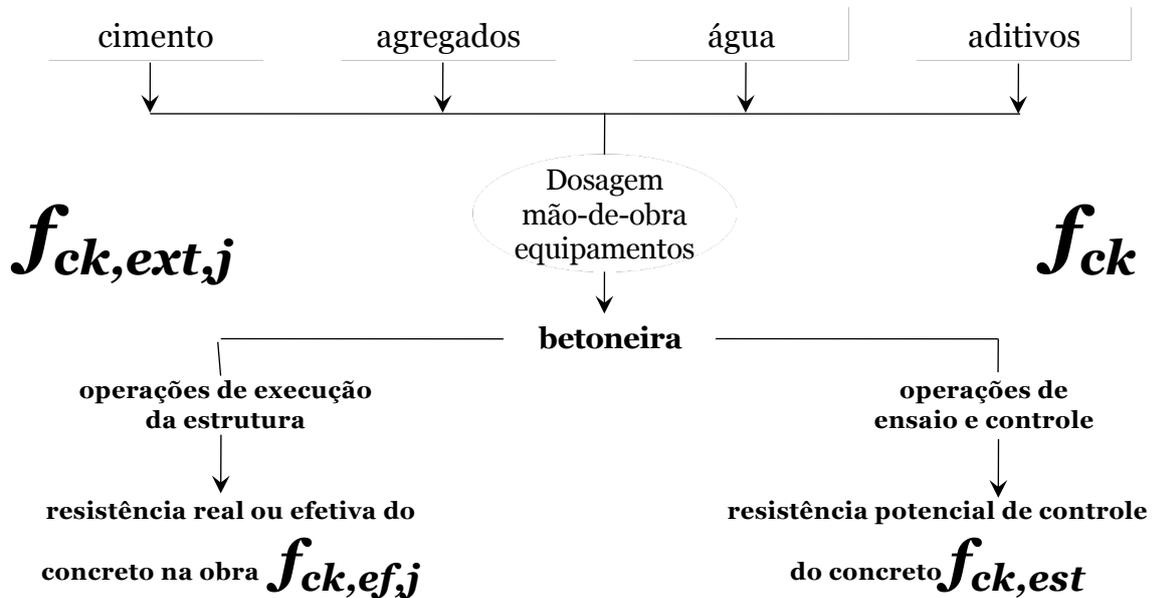
## testemunhos extraídos

estudo de caso  $\rightarrow f_{ck} = 35\text{MPa}$

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>36.4</b>
<b><math>s_e</math> (MPa)</b>	<b>1.5</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>4</b>

23

## resistência do concreto



24

# Problema

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

25



ABNT/CB-18  
1º PROJETO 18:300.02-001/1  
SET 2013

**Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto — Parte 1: Resistência à compressão axial**

## APRESENTAÇÃO

1) Este 1º Projeto de Revisão foi elaborado pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaios de Concreto (CE-18:300.02) do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-18), nas reuniões de:

25.03.2011	29.04.2011	20.05.2011
16.06.2011	22.07.2011	18.08.2011
23.09.2011	24.10.2011	16.11.2011
02.03.2012	13.04.2012	02.05.2013
24.05.2013	07.06.2013	25.06.2013
02.07.2013	26.07.2013	01.08.2013
12.09.2013		

2) Este 1º Projeto de Revisão é previsto para cancelar e substituir a ABNT NBR 7680:2007, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;

26

3) Este Projeto é previsto para receber a seguinte numeração após sua publicação como Norma Brasileira: ABNT NBR 7680-1

4) Este projeto não tem valor normativo;

5) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

6) Este Projeto de Norma será diagramado conforme as regras de editoração da ABNT quando de sua publicação como Norma Brasileira.

7) Tomaram parte na elaboração deste Projeto:

ABCP	CONTESTE	POLIMIX
ABECE/EXATA	EESC-USP/PHD	QUALITEC
ABESC	EPT	RED
ABNT	FALCÃO BAUER	SCAC
CARLOS CAMPOS	FURNAS	SUPERMIX
CAUE	GRUPO CCR	TECMIX
CIMPOR	HOLCIM	TESTE ENGENHARIA
CONCREBRÁS	INTERCEMENT	TESTIN
CONCREMAT	IPT	VOTORANTIM/ ENGEMIX
CONCREPAV	LENC	
CONCRETEST	PhD ENGENHARIA	

27

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), 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 Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretiva ABNT, Parte 2.

Esta Norma, sob o título geral "Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto", tem previsão de conter as seguintes partes:

— Parte 1: Resistência à compressão axial

— Parte 2: Resistência à tração na flexão

### 1 Escopo

Esta Norma (todas as partes) estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

Esta Parte, trata especificamente das operações relativas à resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto.

Os resultados obtidos pelo procedimento estabelecido nesta Parte, podem ser utilizados para revisão da segurança estrutural em obras existentes, em casos de não conformidade da resistência do concreto aos critérios da ABNT NBR 12655, assim como em inspeções e análises de obras de retrofit, reforma, mudança de uso, incêndio, acidentes, colapsos parciais e outras situações em que a resistência à compressão do concreto deva ser conhecida.

28

#### 4.5.4 Condições de umidade

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada não estiver em contato com água, os testemunhos devem ser mantidos ao ar, em ambiente de laboratório, obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738, e ensaiados no estado de equilíbrio que se encontrem.

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada estiver em contato com água, os testemunhos devem ser acondicionados em tanque de cura ou câmara úmida (ABNT NBR 9479), no mínimo durante 72 h, sendo rompidos na condição saturado superfície seca, obedecendo os critérios de temperatura da ABNT NBR 5738.

Caso essas condições não sejam cumpridas, o fato deve ser informado no relatório do ensaio.

#### 4.6 Determinação da resistência à compressão

##### 4.6.1 Procedimentos

Os testemunhos devem ser ensaiados de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5739, sendo determinada sua resistência de ruptura à compressão axial.

Testemunhos que não atendam o previsto em 4.2.5 não podem ser ensaiados, pois não podem ser considerados para fins de avaliação da resistência à compressão do concreto. O fato deve ser registrado no relatório do ensaio.

Cada testemunho deve ser detalhadamente observado antes e após a ruptura, sendo carregado até sua total desagregação. Devem ser anotadas e documentadas com fotos todas as eventuais irregularidades observadas.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial dos testemunhos extraídos devem ser identificados por  $f_{ci,ext, inicial}$ .

Esses resultados devem ser corrigidos pelos coeficientes  $k_1$  a  $k_6$ , conforme as Seções 5 e 6 e os resultados obtidos, após essas correções, devem ser informados como  $f_{ci,ext}$ .

NOTA Recomenda-se que os ensaios e procedimentos descritos nesta Norma sejam realizados por laboratórios acreditados pelo INMETRO e seus profissionais qualificados conforme a ABNT NBR 15146-1.

29

## 6 Cálculo dos resultados pelo laboratório

Considerando os coeficientes estabelecidos na Seção 5, é possível obter a resistência corrigida dos testemunhos extraídos, que para os efeitos desta Norma, corresponde à resistência do concreto à compressão.

Cabe ao laboratório responsável pelo ensaio informar os resultados individuais de cada testemunho, corrigidos pelos coeficientes  $k_1$  a  $k_6$ , de acordo com a equação a seguir:

$$f_{ci,ext} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times f_{ci,ext, inicial}$$

30

### **5.2.2 Efeito segregação ( $k_1$ )**

Para elementos estruturais com altura superior a 2 m, caso o testemunho tenha sido extraído a uma distância menor que 30 cm dos limites superior e inferior da etapa de concretagem, é necessária a correção do resultado devido ao efeito de segregação, para isso emprega-se  $k_1 = 1,15$ . Nos outros casos emprega-se  $k_1 = 1,00$ .

Os locais preferíveis para a extração dos testemunhos de forma a evitar os efeitos de segregação no resultado do ensaio estão informados em 4.2.2.

Cabe ao responsável pela extração informar ao laboratório de ensaio o local de onde foi extraído o testemunho, indicando se está em região de segregação. Essa informação deve constar do relatório de ensaio.

31

### **5.2.3 Direção da extração em relação ao lançamento do concreto ( $k_2$ )**

Cabe ao responsável pela extração informar ao laboratório de ensaio sobre a direção de extração com relação ao lançamento do concreto. Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (pilares, cortinas, paredes, vigas, etc.)  $k_2 = 1,05$ . Para extrações realizadas no sentido do lançamento (lajes, capitéis, etc.)  $k_2 = 1,00$ .

32

#### 5.2.4 Relação $h/d$ ( $k_3$ )

Quando a relação  $h/d=2$  não se verifica, a resistência de ruptura à compressão do testemunho deve ser corrigida multiplicando-se o valor da resistência pelo fator definido na Tabela 2. Esta correção deve ser informada no relatório do ensaio.

Para valores da relação altura/diâmetro compreendidos entre os constantes na Tabela 2, os fatores de correção podem ser obtidos por interpolação linear.

**Tabela 2 — Valores de  $k_3$**

<b><math>h/d</math></b>	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
<b><math>k_3</math></b>	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86

33

#### 5.2.5 Efeito do broqueamento ( $k_4$ )

O efeito deletério do broqueamento deve ser considerado em todos os casos e o resultado de resistência do testemunho com essa correção deve constar do relatório do ensaio. Para levar em conta o efeito do broqueamento, aplica-se  $k_4 = 1,06$ .

34

### 5.2.6 Efeito do diâmetro ( $k_5$ )

Testemunhos de menor diâmetro geram maiores variações nos resultados de ensaio. Para levar em conta o efeito do diâmetro do testemunho emprega-se  $k_5$  de acordo com a Tabela 3, sendo permitida interpolação dos valores de  $k_5$  em função do diâmetro real do testemunho conforme (ver 4.2.3). Esta correção deve ser aplicada sobre o resultado de ruptura e informada no relatório do ensaio.

Para diâmetros compreendidos entre 75 mm e 100 mm, os fatores de correção podem ser obtidos por interpolação linear, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3 —  $k_5$  em função do diâmetro nominal do testemunho**

Diâmetro do testemunho ( $d_t$ ) mm	< 25	$25 \leq d_t < 75$	75	100	$\geq 150$
$k_5$	Não permitido	Casos especiais <sup>a</sup>	1,03	1,00	0,98

<sup>a</sup> em casos especiais podem ser utilizados testemunhos de diâmetro inferior a 75 mm, desde que o coeficiente de correção ( $k_5$ ) seja, no mínimo igual a 1,03, e, neste caso, o número de testemunhos deve ser no mínimo o dobro do estabelecido na Tabela 1.

35

### 5.2.7 Efeito da umidade do testemunho ( $k_6$ )

Antes do ensaio de ruptura, os testemunhos devem ser preparados conforme 4.5. No caso de testemunhos ensaiados saturados, emprega-se  $k_6 = 1,00$ . No caso de ensaio a seco  $k_6 = 0,96$ . Esta

36

## 7 Cálculos e critérios de avaliação e recebimento

### 7.1.1 Avaliação da resistência do concreto para fins de verificação da segurança estrutural

Para a avaliação da resistência do concreto a ser usada na verificação da segurança estrutural devem ser considerados todos os resultados emitidos pelo laboratório de ensaios, já corrigidos pelos coeficientes  $k_1$  a  $k_6$ .

Esses resultados devem ser multiplicados pelos coeficientes  $k_9$  e  $k_{10}$  de forma a serem obtidos os valores de  $f_{ci,ext,seg}$ , conforme a equação a seguir:

$$f_{ci,ext,seg} = f_{ci,ext} \times k_9 \times k_{10}$$

A avaliação dos valores a serem considerados para comprovação da segurança estrutural deve ser realizada por profissional habilitado para tal. A resistência característica estimada do lote para fins de verificação da segurança é a média dos resultados individuais daquele lote, conforme equação a seguir:

$$f_{ck,ext,seg} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci,ext,seg}}{n}$$

37

### 5.2.10 Idade de ensaio ( $k_9$ )

Para regressão dos resultados obtidos a idades  $j$ , maiores que 28 dias deve ser efetuada a correção pelo crescimento da resistência do concreto pela equação a seguir ou usando os valores da Tabela 4:

$$k_9 = e^{-0,20 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

Tabela 4 — Valores de  $k_9$  em função da idade do concreto do testemunho

Idade (dias)	28	31	35	39	44	51	59	69	82	100	125	161	215	>365
$k_9$	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87

No caso de elementos estruturais que foram submetidos a cargas significativas, indicadas pelo projetista estrutural, a resistência dos testemunhos pode ser considerada sem a regressão pelo efeito da idade, uma vez que o testemunho já contempla o efeito de carga de longa duração. Neste caso considera-se  $k_9 = 1,00$ .

38

### 5.2.11 Ajuste de coeficiente de segurança $\gamma_c$ ( $k_{10}$ )

Para levar em conta a maior representatividade do testemunho em relação ao corpo de prova, a ABNT NBR 6118 permite reduzir o coeficiente de minoração da resistência do concreto em 10 %. Neste caso considera-se  $k_{10} = 1,10$ .

39

## 7.2 Recebimento definitivo do concreto ou avaliação do concreto entregue

Para a avaliação da qualidade do concreto entregue, devem ser considerados todos os resultados emitidos pelo laboratório de ensaios, já corrigidos pelos coeficientes  $k_1$  a  $k_6$ . Esses resultados devem ainda ser corrigidos pelos coeficientes  $k_7$ ,  $k_8$  e  $k_9$  de forma a serem obtidos os valores de  $f_{ci,ext,pot}$ , como dado na equação a seguir:

$$f_{ci,ext,pot} = f_{ci,ext} \times k_7 \times k_8 \times k_9$$

Para efeitos do recebimento definitivo do concreto, nos casos de não conformidade aos critérios da ABNT NBR 12655, deve ser considerado para comparação com  $f_{ck}$  o maior valor de resistência dos testemunhos extraídos de cada lote  $f_{c,ext,pot}$ , corrigidos pelos coeficientes dados nesta Norma, conforme critério estabelecido na seção 6.

O concreto deve ser recebido quando se obedecer à seguinte relação:

$$f_{ck,ext,pot} \geq f_{ck}$$

onde

$f_{ck,ext,pot}$  é o maior valor de  $f_{ci,ext,pot}$  de cada lote.

40

### **5.2.8 Cura ( $k_7$ )**

O processo de cura deve ser realizado conforme a ABNT NBR 14931 e evidenciado por terceiro independente ou por comprovação de procedimento e registros de evidências da empresa construtora. No caso de testemunhos extraídos de elementos estruturais submetidos a cura deficiente, ou seja, não cumprindo os requisitos da ABNT NBR 14931, emprega-se  $k_7 = 1,10$ . Nos outros casos  $k_7 = 1,00$ .

41

### **5.2.9 Retirada precoce de escoramentos ( $k_8$ )**

O processo de retirada do escoramento deve ser realizado conforme a ABNT NBR 14931 e evidenciado por terceiro independente ou por comprovação de procedimento e registros de evidências da empresa construtora. No caso de testemunhos extraídos de elementos estruturais que sofreram descimbramentos precoces, ou seja, não cumprindo os requisitos da ABNT NBR 14931, emprega-se  $k_8 = 1,11$ . Nos outros casos  $k_8 = 1,00$ .

42

### 5.2.10 Idade de ensaio ( $k_9$ )

Para regressão dos resultados obtidos a idades  $j$ , maiores que 28 dias deve ser efetuada a correção pelo crescimento da resistência do concreto pela equação a seguir ou usando os valores da Tabela 4:

$$k_9 = e^{-0,20 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

Tabela 4 — Valores de  $k_9$  em função da idade do concreto do testemunho

Idade (dias)	28	31	35	39	44	51	59	69	82	100	125	161	215	>365
$k_9$	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87

No caso de elementos estruturais que foram submetidos a cargas significativas, indicadas pelo projetista estrutural, a resistência dos testemunhos pode ser considerada sem a regressão pelo efeito da idade, uma vez que o testemunho já contempla o efeito de carga de longa duração. Neste caso considera-se  $k_9 = 1,00$ .

43

## Resumo

$$f_{ci,ext} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * f_{ci,ext, inicial}$$

$$f_{ci,ext, seg} = f_{ci,ext} * k_9 * k_{10}$$

$$f_{ci,ext, pot} = f_{ci,ext} * k_7 * k_8 * k_9$$

44

# Conformidade do Concreto

*Consultores, Projetistas, Controladores,  
Gerenciadores, Construtores, Fiscais*

*Falta de ética  
Atuação venal  
Mezquinhez  
Avareza  
Corrupção  
Onipotência  
Ignorância  
(omissão e despreparo)*

***“não há tecnologia  
que resolva...”***

45



46



47