



**IBRACON**  
Diretoria Regional Triângulo  
Mineiro e Alto Paranaíba



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE UBERLÂNDIA



# Avaliação da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes

---



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

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

UFU/FECIV

10 de fevereiro de 2017

Uberlândia/MG

1

## Intervenientes



**projetista  
estrutural**



**fornecedor  
do material**



**construtora  
(execução)**



**tecnologista  
(consultor)**



**laboratório  
(controle)**

**atribuição de incumbências**

**ABNT NBR 12655:2015**

2

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

3

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

4

**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”*

5

**ABNT NBR 15575-1:2013**  
***“descreve responsabilidades”***

**5. INCUMBÊNCIAS DOS INTERVENIENTES**

**✓*Projetista:***

- estabelecer a Vida Útil de Projeto (VUP);
- ...;
- inserir nos projetos ou memoriais de cálculo a consideração de VUPs estabelecidas...

6

## ABNT NBR 12655

### **Escopo: estabelece os requisitos para**

- 1. Controle** de materiais, dosagem e produção do concreto;
- 2. Segurança:** controle da resistência do concreto à compressão;
- 3. Durabilidade e vida útil:** teor máximo de agressivos, a/c,  $D_{m\acute{a}x}$ , consumo, cobrimentos;
- 4. Controle de recebimento:** concreto fresco;
- 5. Controle e critério de aceitação:** concreto fresco e endurecido;
- 6. Não conformidade da resistência (segurança):** ABNT NBR 7680:2015

7

## ABNT NBR 12655:2015

### **4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS**

#### ***✓ Profissional responsável pelo projeto estrutural***

*Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:*

- registro da resistência característica à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*
- especificação de  $f_{ckj}$  para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;*
- especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive a classe de agressividade adotada em projeto (Tabela 1 e 2);*
- especificação dos requisitos correspondentes às **propriedades especiais** do concreto, durante a fase construtiva e vida útil da estrutura.*

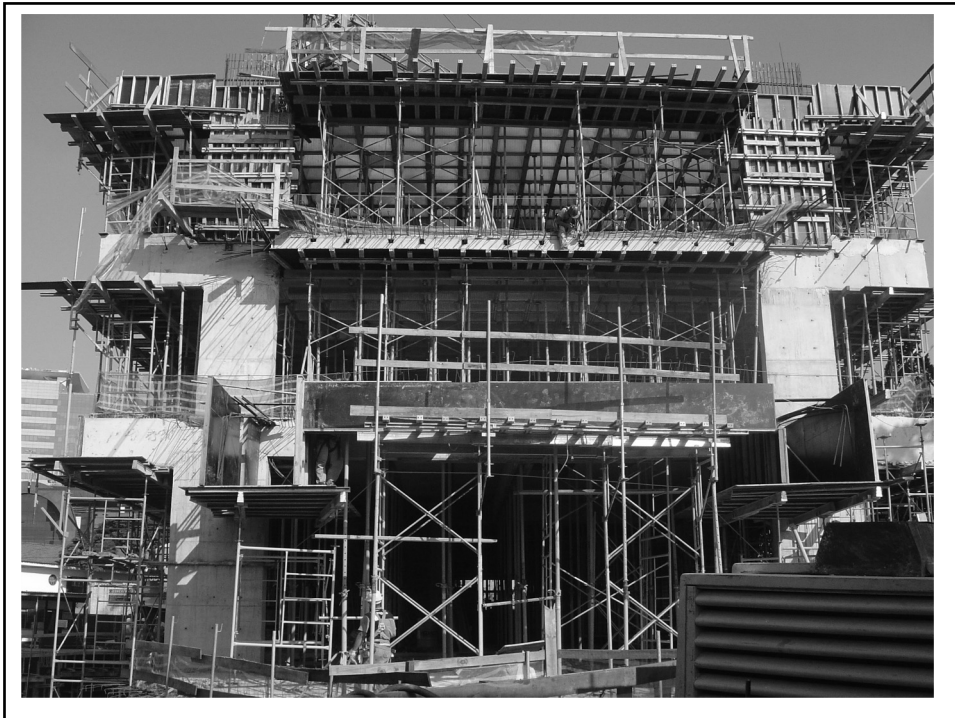
8



## **Propriedades especiais do concreto**

- *módulo de elasticidade ( $E_c$ );*
- *massa específica;*
- *absorção de água;*
- *teor de ar;*
- *porosidade;*
- *resistência à abrasão;*
- *dureza superficial;*
- *consistência;*
- *tempo de pega inicial e final;*
- *outras, relacionadas à durabilidade ou ao comportamento mecânico do material (cimbramento).*

9



10

## Shopping Center

*11.06.2013*

colapsou 40.000m<sup>2</sup>

4 lajes protendidas

3 pavimentos

vãos 7,5m x 7,5m

*obra em construção*

11



12



13



14



15



16

Comunicado

## Shopping Rio Poty

O Shopping Rio Poty vem a público esclarecer a causa do incidente verificado na madrugada de 11/07, bem como detalhar seu plano de retomada das obras, tornado possível após reunir técnicos de renome nacional em colaboração com as autoridades públicas. A conclusão irrefutável a que se chegou foi de que o incidente se deveu a um erro de execução específico e pontual. É importante frisar que, por se tratar de erro isolado, fica garantida a continuidade do projeto. Abaixo a descrição do que ocorreu:

**1** Antes de iniciada a concretagem de um trecho específico da Laje do 5º pavimento (L5), foi retirado INADVERTIDAMENTE o escoramento da Laje do 4º pavimento (L4), que se encontrava parcialmente tensionada.

Na fase final da concretagem de trecho do L5, a soma das cargas de duas lajes (L4+L5), sob uma única laje (L4) PARCIALMENTE TENSIONADA e NÃO ESCORADA, acarretou no colapso em cadeia da estrutura.



17

## Conceito de rendimento:

Considerando apenas o consumo de cimento:

de 120MPa → 4 kg/MPa  
→ 1,2kg Clinker / MPa

40MPa → 8 kg/MPa  
→ 2,4kg Clinker / MPa

20MPa → 12 kg/MPa  
→ 3,6kg Clinker / MPa

18

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

19

## **CENTRAL DE CONCRETO**

*ABNT NBR 7212:2012*

*“Execução de concreto dosado em central –  
Procedimento”*

20

## ABNT NBR 7212:2012

### 4. REQUISITOS GERAIS

#### 4.3 Dosagem dos materiais componentes do concreto

Os desvios tolerados para as dosagens dos materiais componentes do concreto são devidos somente a variações de pesagem intrínsecas à operação.

- **agregados** → 3% da massa ou 1% da capacidade da balança (adotar o menor valor)
- **cimento** → 1% da capacidade da balança (dosagens iguais ou superiores a 30% da capacidade da balança) ou 4% do valor nominal da massa (dosagens inferiores a 30% da capacidade da balança)
- **água** → 3% do valor nominal da massa ou volume. Essa quantidade compreende, além da água adicionada, a devida à umidade dos agregados, a utilizada para dissolução dos aditivos e a adicionada sob a forma de gelo.
- **aditivos** → 5% da quantidade nominal da massa (dosagens inferiores a 30% da capacidade da balança)
- **outros materiais** → de acordo com as tolerâncias do fornecedor

21

### Exemplo

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

$$\text{Cimento} = 280 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Areia} = 845 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Brita} = 1036 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Água} = 210 \text{ L/m}^3$$

$$\mu = 3\% \text{ e } 5\%$$

$$\mu = 3\%$$

$$845 \times 0,03 = 25,35\text{L}$$

$$\frac{25,35}{210} \times 100 = \mathbf{12\%}$$

$$\mu = 5\%$$

$$845 \times 0,05 = 42,25\text{L}$$

$$\frac{42,25}{210} \times 100 = \mathbf{20\%}$$

$$f_{ck} = 50\text{MPa}$$

$$\text{Cimento} = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Areia} = 801 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Brita} = 1010 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Água} = 160 \text{ L/m}^3$$

$$\mu = 3\% \text{ e } 5\%$$

$$\mu = 3\%$$

$$801 \times 0,03 = 24,03\text{L}$$

$$\frac{24,03}{160} \times 100 = \mathbf{15\%}$$

$$\mu = 5\%$$

$$801 \times 0,05 = 40,05\text{L}$$

$$\frac{40,05}{160} \times 100 = \mathbf{25\%}$$

22



23

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

24



## **DOSAGEM**

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

25

**ABNT NBR 6118:2014**  $f_{ck}$   
**ABNT NBR 12655:2015**  $f_{ck,est}$   
**referencial de segurança**  
 $f_{ck}$

26

## Estudo de dosagem do concreto

A resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade durante a construção, que é medida pelo desvio-padrão, e levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação:

$$f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_{dj} \longrightarrow \text{dependente da condição de preparo}$$

onde

$f_{cm,j}$  é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias, expressa em megapascals (MPa);

$f_{ck,j}$  é a resistência característica do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias, expressa em megapascals (MPa);

$s_{dj}$  é o desvio-padrão da dosagem, prevista para a idade de  $j$  dias, expressa em megapascals (MPa);

27

## Desvio padrão

### **Concreto com desvio-padrão conhecido:**

- ✓ Deve ser fixado com no mínimo 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias;
- ✓ Em nenhum caso, o valor de  $s_d$  adotado pode ser menor que 2MPa.

### **Concreto com desvio-padrão desconhecido:**

Tabela 6 – Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

28

## Exemplo - obtenção de $f_{cm,j}$

condição de preparo: A

Para um $f_{ck}$ de:	$f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_{d,j}$	CV
20 MPa $\Rightarrow$	$f_{cm,j} = 20 + 1,65 \times 4 = 26,6$ MPa	15%
30 MPa $\Rightarrow$	$f_{cm,j} = 30 + 1,65 \times 4 = 36,6$ MPa	10%
50 MPa $\Rightarrow$	$f_{cm,j} = 50 + 1,65 \times 4 = 56,6$ MPa	7%

*...e quando a amostragem é total?*

29

- Projeto
- Central de concreto
- Dosagem
- **Insumos (materiais)**
- Carta de traço
- Controle de recebimento
- Controle de aceitação
- Laboratórios de controle
- Execução
- Não conformidades

30

# INSUMOS (MATERIAIS)

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

31

## **ABNT NBR 12655:2015**

### **5.1.1 REQUISITOS PARA OS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO**

➤ **Cimento Portland**

Conforme seu tipo e classe, deve cumprir com os requisitos das: ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 5737, ABNT NBR 11578, ABNT NBR 12989 ou ABNT NBR 13116.

➤ **Agregados**

Devem cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 7211.

➤ **Reatividade com álcalis**

Devem ser obedecidos os requisitos da ABNT NBR 15577-1.

➤ **Água**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 15900-1.

➤ **Aditivos**

Devem cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 11768.

➤ **Sílica ativa**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 13956-1.

➤ **Metacaulim**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 15894-1.

➤ **Outros materiais pozolânicos**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 12653.

32



33

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

34

# **CARTA DE TRAÇO**

*ABNT NBR 7212:2012*  
*“Execução de concreto dosado em central –  
Procedimento”*

35

## **ABNT NBR 7212:2012**

### **5.4 CARTA DE TRAÇO**

*A carta de traço deve conter:*

- a) Data de elaboração da carta de traço;*
- b) Código de identificação do traço;*
- c) Especificações do concreto;*
- d) Materiais utilizados;*
- e) Fornecedores de insumos;*
- f) Quantidade em massa de cada componente;*
- g) Assinatura do responsável técnico*

36

# ABNT NBR 8953:2015

Tabela 2 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.

NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.

37

# ABNT NBR 15823-1:2010

Tabela A.1 — Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre  Concreto auto-adensável bombeado  Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável	Lajes  Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

38

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

39

## **CONTROLE DE RECEBIMENTO**

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

40



## **Ensaio de controle de recebimento (consistência)**

✓ **Conforme ABNT NBR NM 67:1998**

✓ **SCC (autoadensável): ABNT NBR  
15823:2010;**

41



**Cone de Abrams**  
*Slump-test* ou Abatimento

42



43



44



45



46



**Recebimento**

47



**Recebimento**

48



49

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

50

# **CONTROLE DE ACEITAÇÃO**

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

51

**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*

52



53



54

## **Unidade de Produto Unidade de Controle**

### **Bolinha de gude**



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

55

## **Unidade de Produto Unidade de Controle Concreto**



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

56



**CONCRETO**  
**Unidade de Produto**

**betonada**  
**amassada**  
**mistura-traço**

**CONCRETO**  
**Unidade de Controle**

**resistência à compressão do cp**  
**MPa, kgf/cm<sup>2</sup>, psi**  
**exemplar**

57

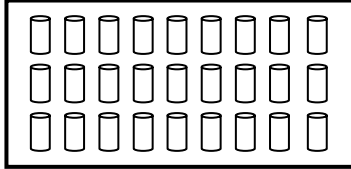
**Amostragem ABNT NBR 12655:2015**

- ✓ **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.**

58

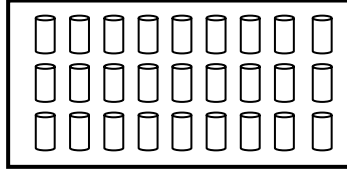
## Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,  
População, Lote



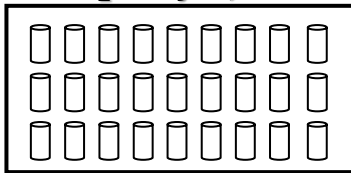
=

Amostra



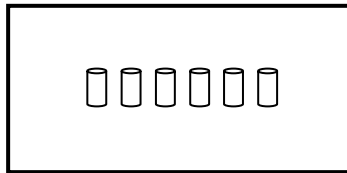
não há o  
que  
estimar

Universo,  
População, Lote



≠

Amostra

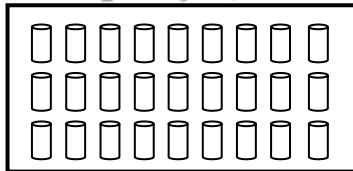


usar  
estimador

59

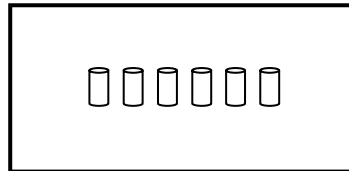
## Amostragem ABNT NBR 12655

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.

60

## **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.*

61

## **Conformidade dos lotes**

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

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

62

## 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:
  - $\geq 1$  exemplar por dia de concretagem;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $115\text{m}^3$  de concreto;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $465\text{m}^2$  de área superficial para lajes ou paredes;
  - Dispensado o controle para volumes inferiores a  $38\text{m}^3$ , 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.

63

## 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:

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

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

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

64

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

ACI 318-14:

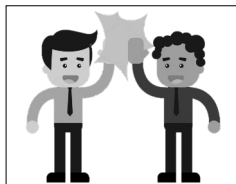
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



65

## 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*.

66

# 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 <sup>3</sup> of production	Subsequent to first 50 m <sup>3</sup> of production <sup>a</sup> , 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 <sup>3</sup> or 1 per 3 production days <sup>d</sup>	1 per 150 m <sup>3</sup> or 1 per production day <sup>d</sup>
Continuous <sup>b</sup> (when at least 35 test results are available)	---	1 per 400 m <sup>3</sup> or 1 per 5 production days <sup>c, d</sup> or 1 per calendar month	

<sup>a</sup> Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

<sup>d</sup> The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

67

# 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:

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

68

## Resumo - frequência dos ensaios

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

69

## Resumo – critérios de aceitação

<b>ABNT NBR 12655</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
<b>ACI 318-14</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}</math> para <math>f_{ck} &lt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}</math> para <math>f_{ck} &gt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{cm3,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
<b>EN 206-1:2013</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 4</math>;</li> <li>• <math>f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4</math></li> <li>• <math>f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma</math></li> </ul>

70

## Resumo

- ✓ 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  $50\text{m}^3$  e de  $100\text{m}^3$  para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada  $8\text{m}^3$  ou a cada  $16\text{m}^3$  e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor  $f_{ci}$  abaixo de  $f_{ck}$  enquanto outros países aceitam  $3,5\text{MPa}$ ,  $4\text{MPa}$  ou mais (10%) abaixo de  $f_{ck}$

71

## Aceitação do concreto

- ✓ **O concreto deve ser aceito se atendidas todas as especificações de norma e de projeto**



conformidade

72



## **Aceitação do concreto**

- ✓ **Em caso de não conformidade, consultar a ABNT NBR 7680:2015**



**não conformidade**

73

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

74



75



76



77



78



79



80



**Neoprene em substituição ao tratamento das superfícies dos corpos de prova**

81



**Configurações de ruptura**

82

## ABNT NBR 5739:2007 – Anexo A

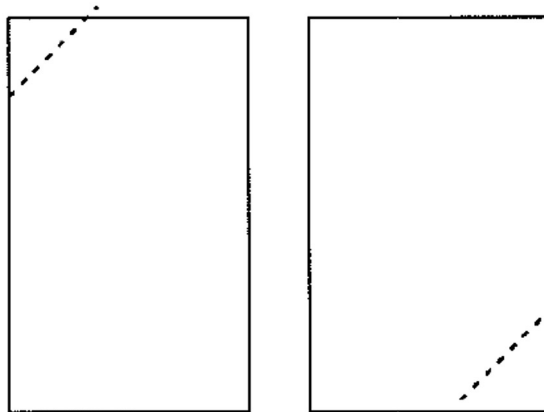


Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento

83



84

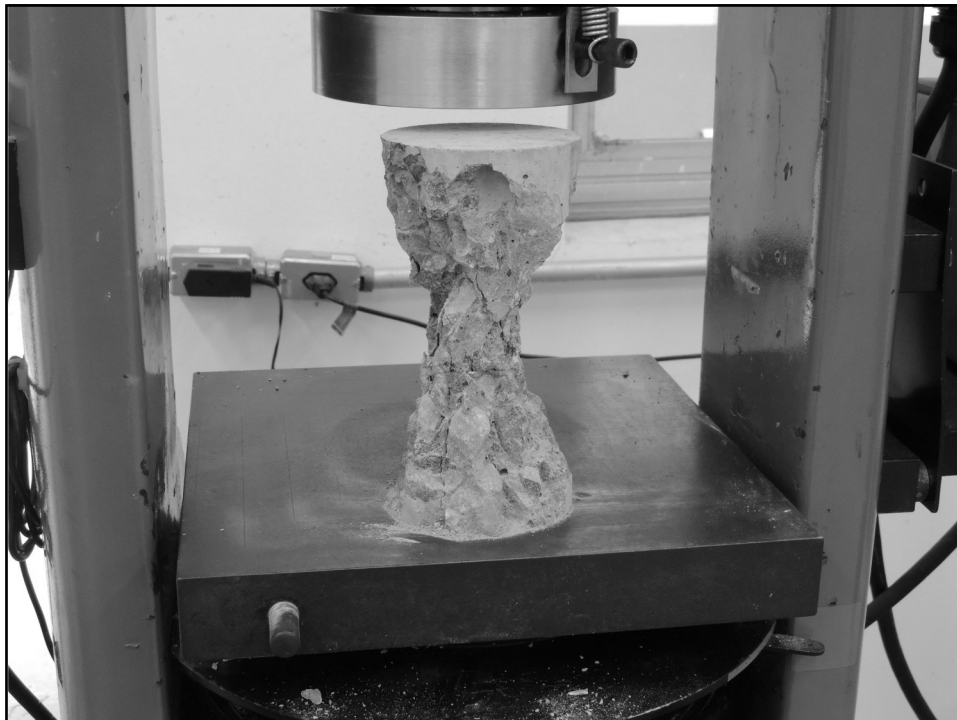
## ASTM C1231/C1231M – 14

### Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

**TABLE 1 Requirements for Use of Polychloroprene(Neoprene)  
Pads**

Compressive Strength, <sup>A</sup> MPa [psi]	Shore A Durometer Hardness	Qualification Tests Required	Maximum Reuses
Less than 10 [1 500]		Not permitted	
10 to 40 [1 500 to 6 000]	50	None	100
17 to 50 [2 500 to 7 000]	60	None	100
28 to 50 [4 000 to 7 000]	70	None	100
50 to 80 [7 000 to 12 000]	70	Required	50
Greater than 80 [12 000]		Not permitted	

85



86

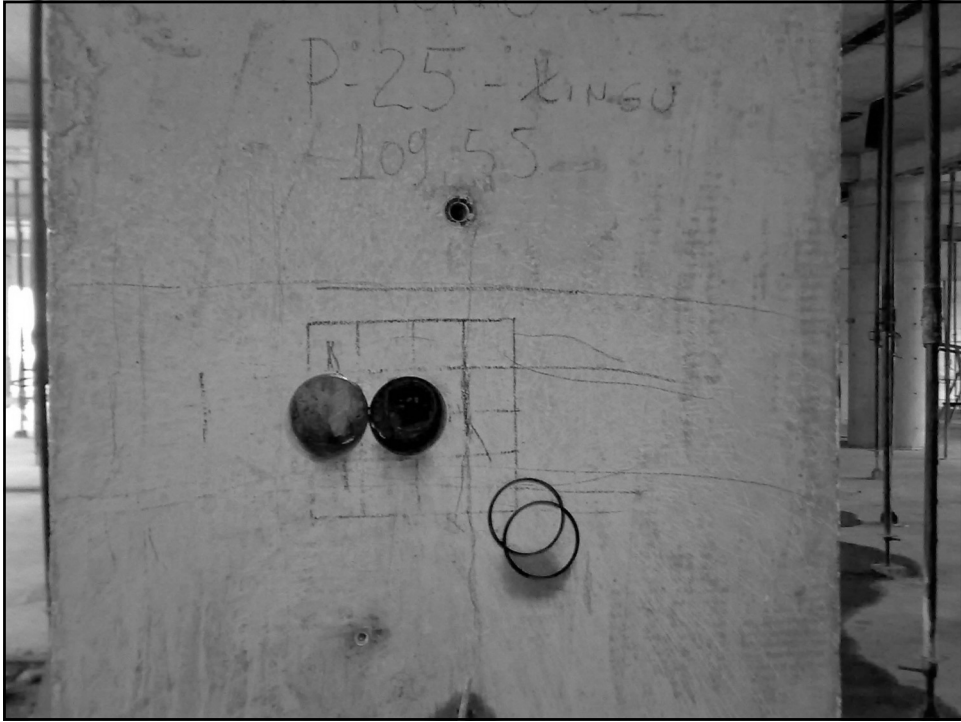


87



88





89



90



91



92



93



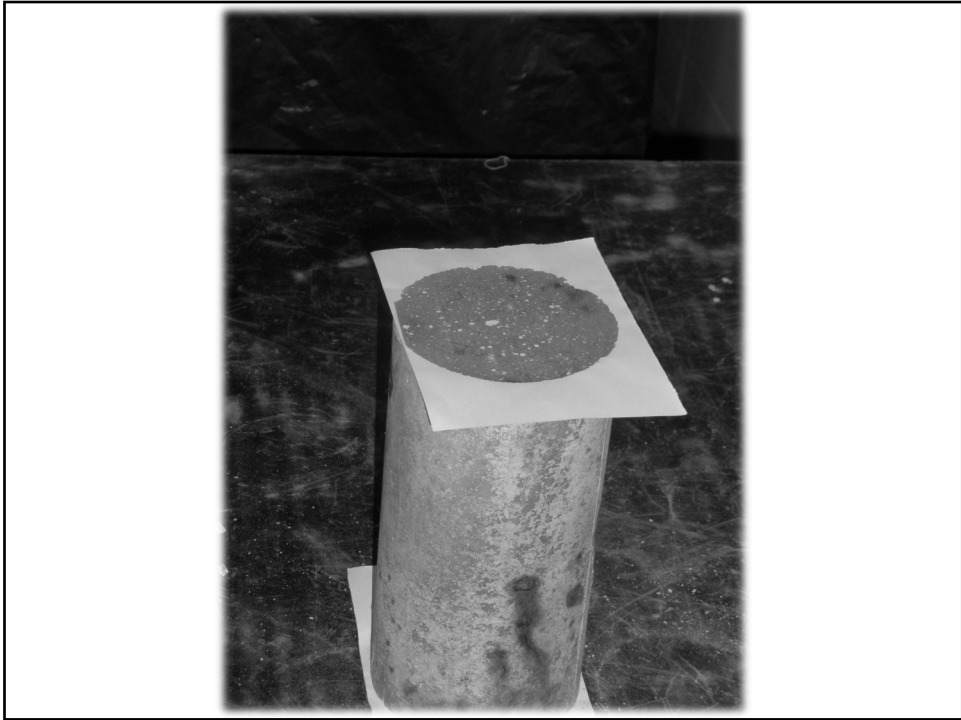
94



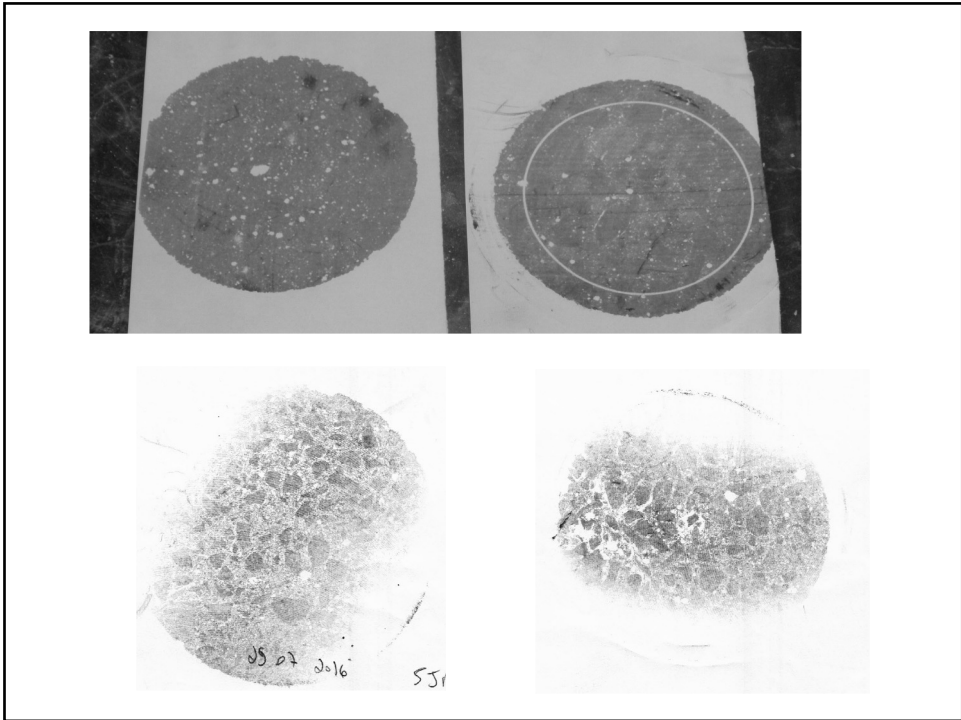
95



96



97



98

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

99

## **EXECUÇÃO**

*ABNT NBR 14931:2004*  
*“Execução de estruturas de concreto -*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 15696:2009*  
*“Fôrmas e escoramentos para estruturas de*  
*concreto - Projeto, dimensionamento e*  
*procedimentos executivos”*

100

## Adensamento (vídeo)



101

## Cura



102

## **Cura**



103

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

104



## **NÃO CONFORMIDADES**

*ABNT NBR 7680:2015*

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

105

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

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

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

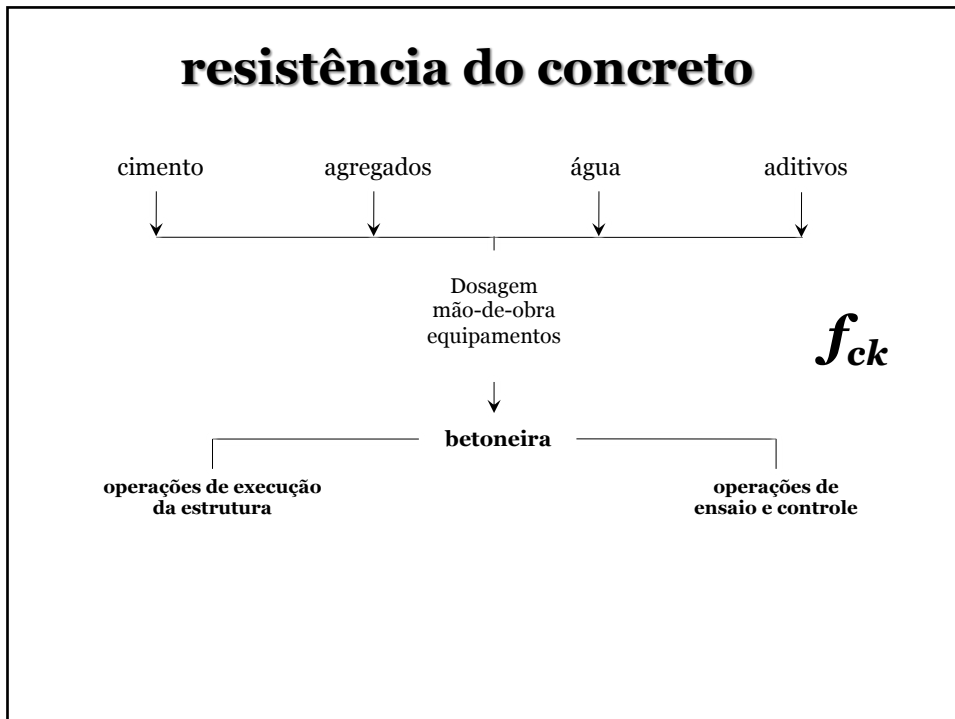
**referencial de segurança**

**$f_{ck}$**

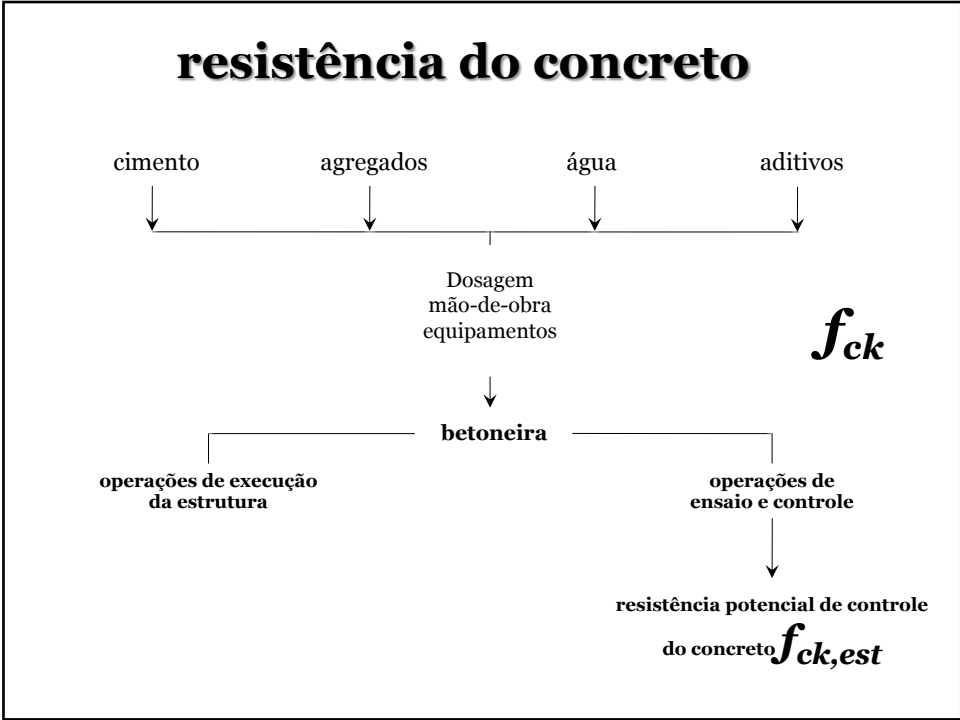
106



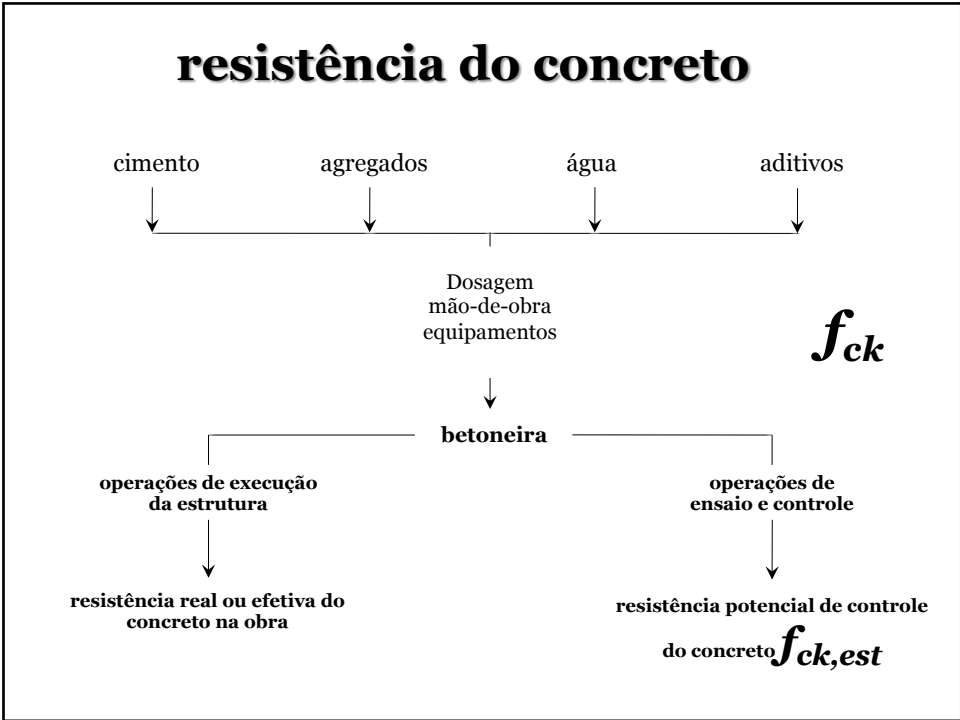
107



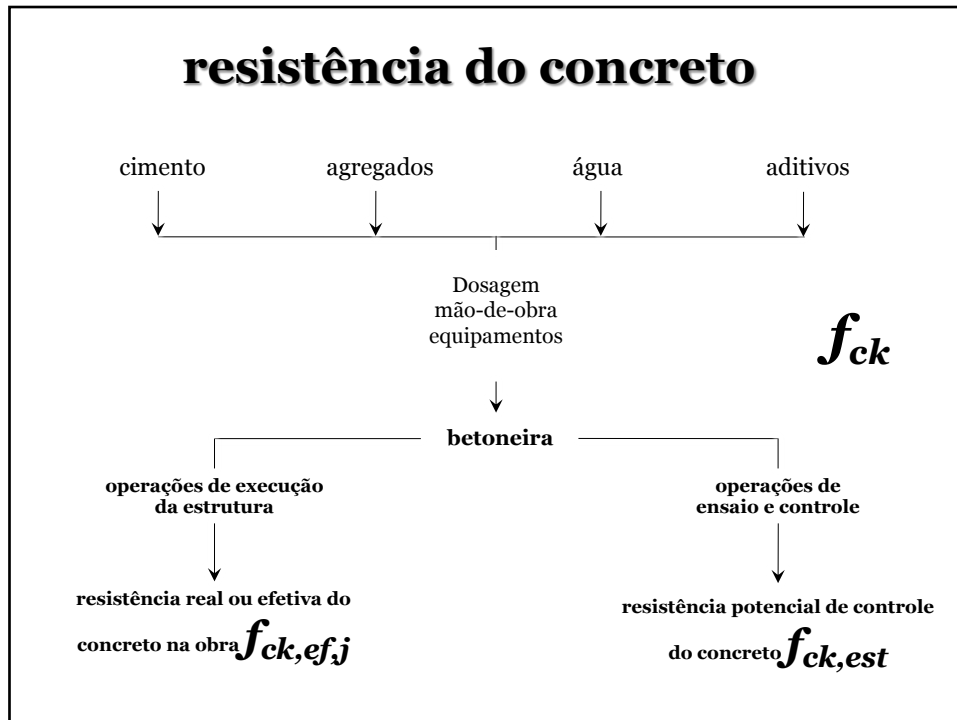
108



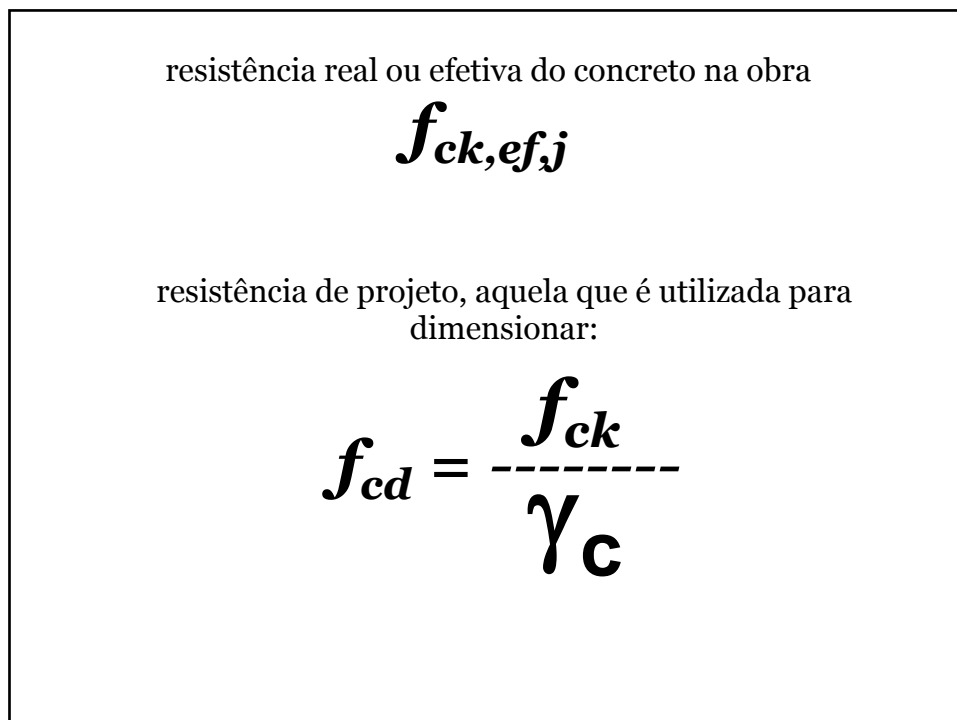
109



110



111



112

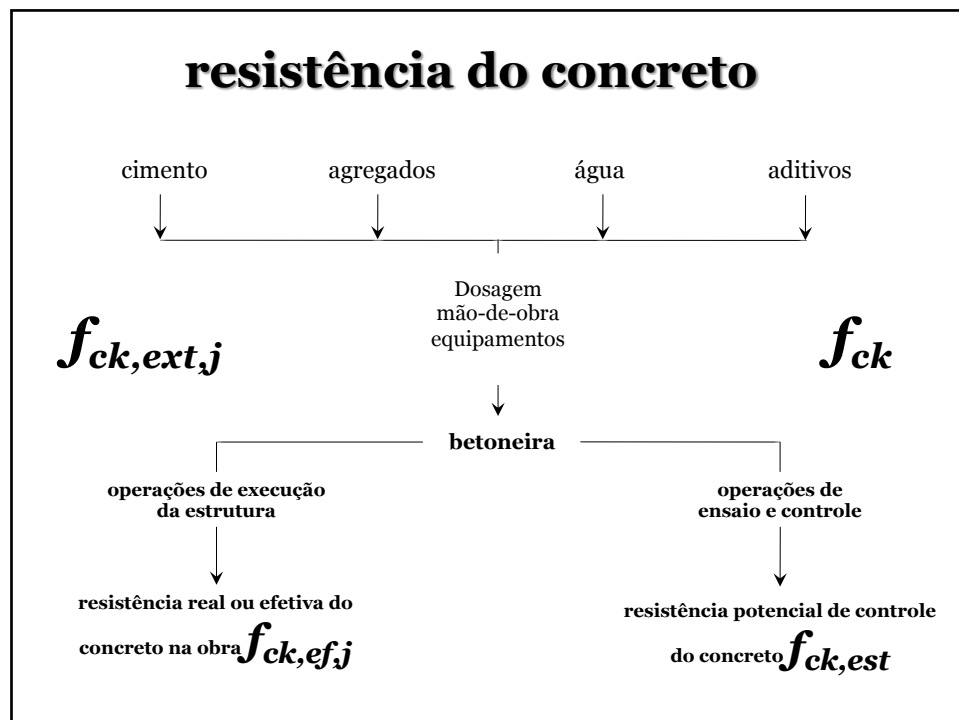
$$f_{ck} = 20 \rightarrow f_{cd} = 14$$

$$f_{ck} = 30 \rightarrow f_{cd} = 21$$

$$f_{ck} = 40 \rightarrow f_{cd} = 28$$

$$f_{ck} = 50 \rightarrow f_{cd} = 36$$

113



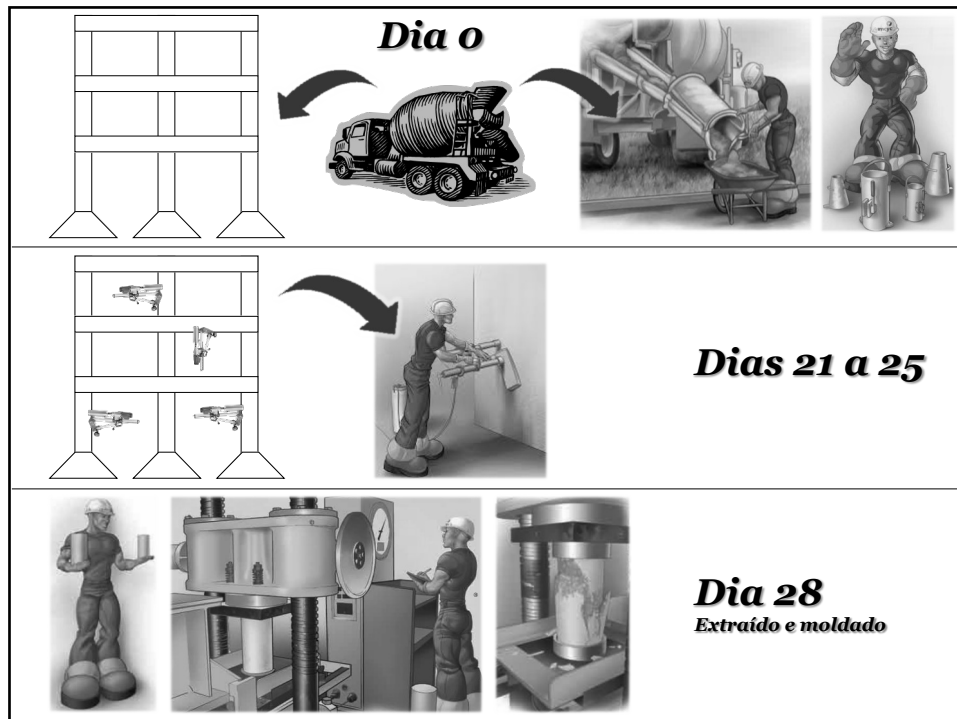
114

# 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

115



116

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

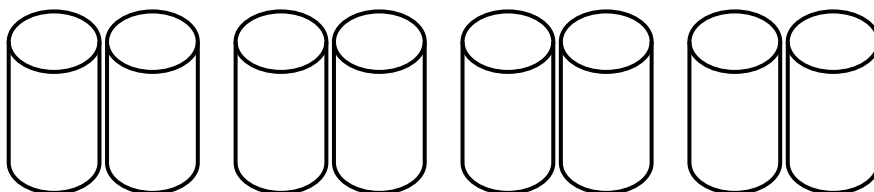
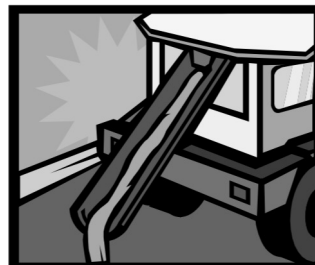
$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

117

## 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

118

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

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

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

**“potencial do concreto”**

119

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

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

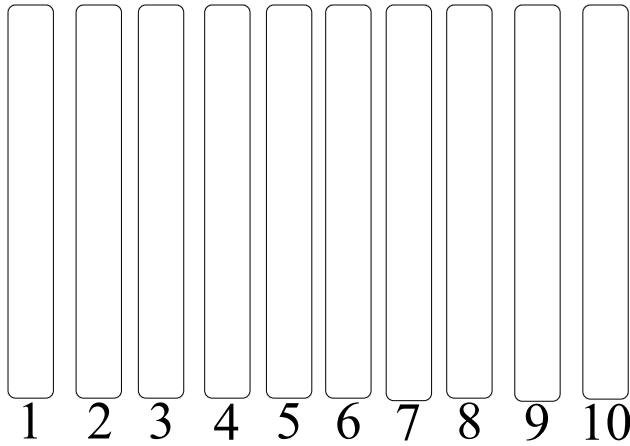
$$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$$

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

120



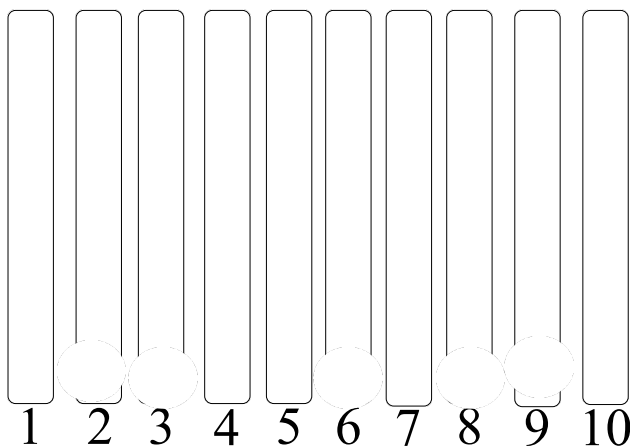
com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



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

121

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



122

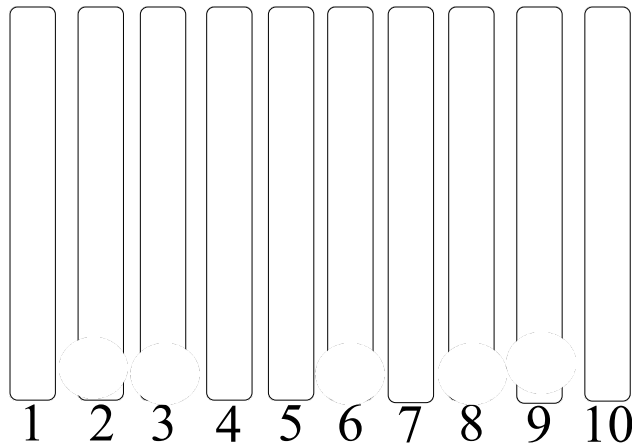


123



124

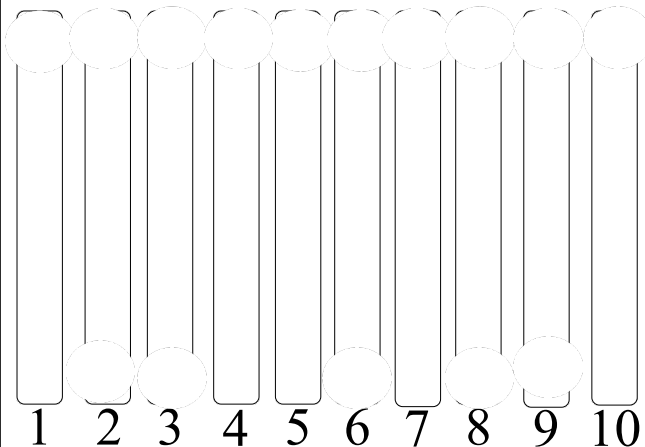
“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



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

125

qual a resistência do concreto nos pilares que  
estão mais próximas da resistência de controle  
(moldado)  $f_{ck,est}$ ?

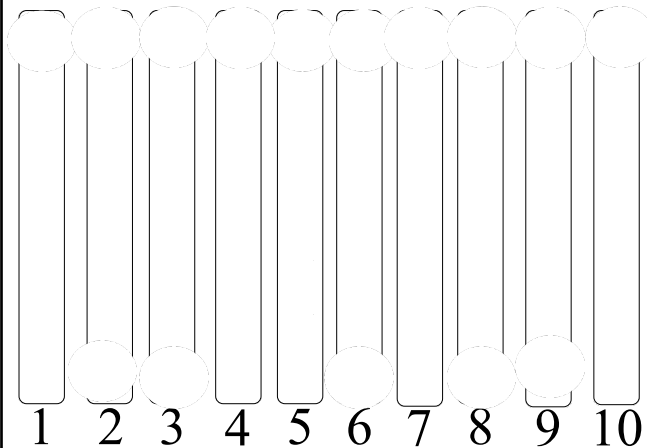


$f_{ck}$   
**45MPa**

126

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

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

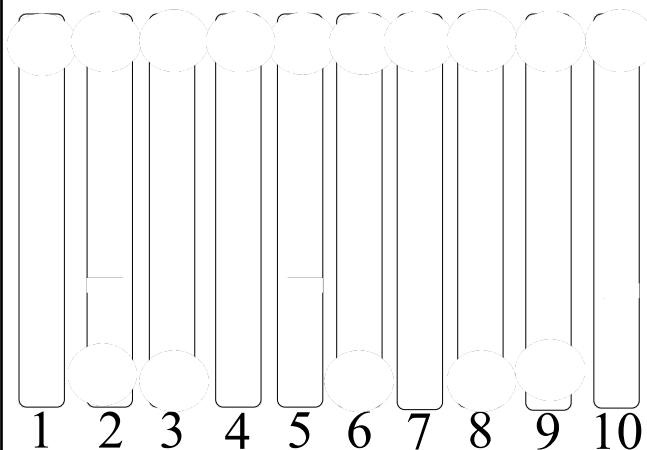


**terço inferior**

127

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

128

**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....*

129

## Problema

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

130

## **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;

131

## **Coefficientes 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;

$k_3 = \dots$

$k_4 = \dots$

132

## **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**

133

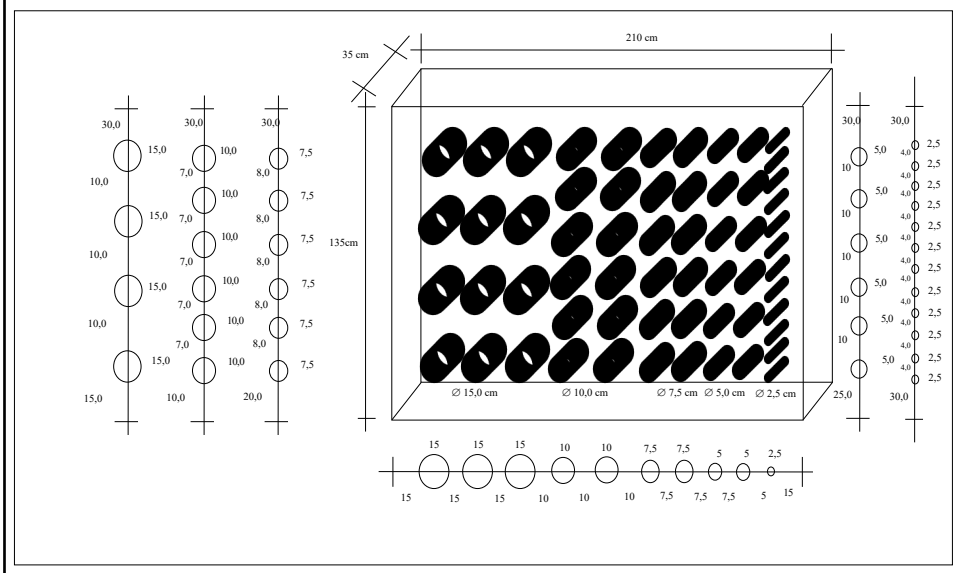


134



135

### BLOCO TIPO (210x135x35)cm



136





137

## Conclusão

Média geral:

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

138

## **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*

139

## **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;

140

**Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,**

**transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

NÃO

*voltar a 28dias !*

**COMO ???**

141

***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 compressive 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.

142

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

**transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

NÃO

*voltar a 28dias !*

**COMO ???**

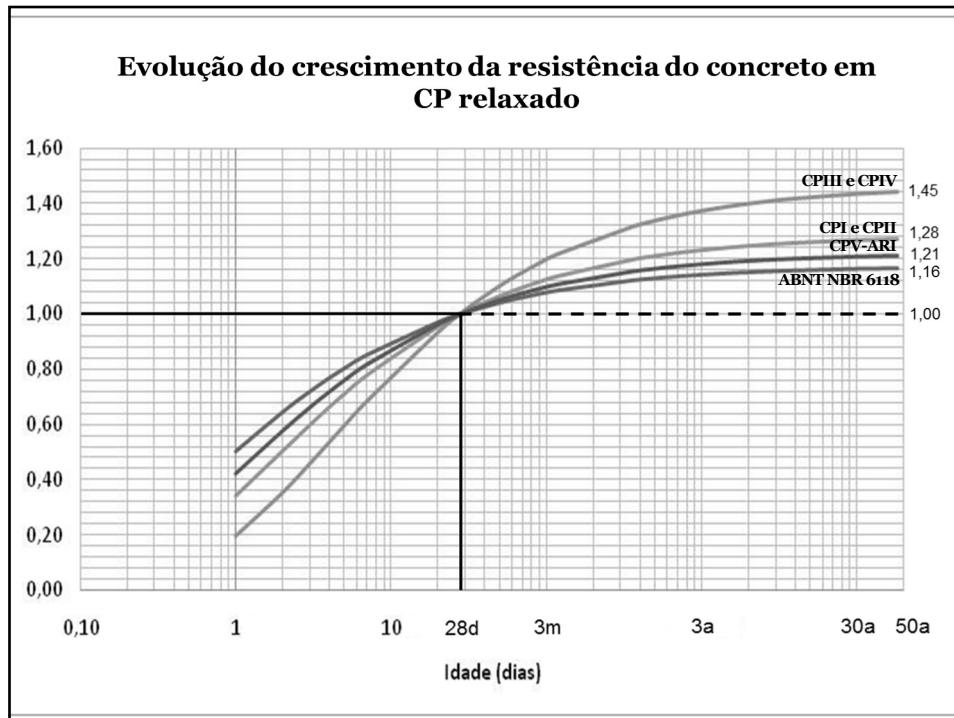
143

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

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

144



145

### **Considerações** *(Comunidades TQS e Bahia)*

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 sazonalidade, ...

146

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

**transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

NÃO

*voltar a 28dias !*

**COMO ???**

147

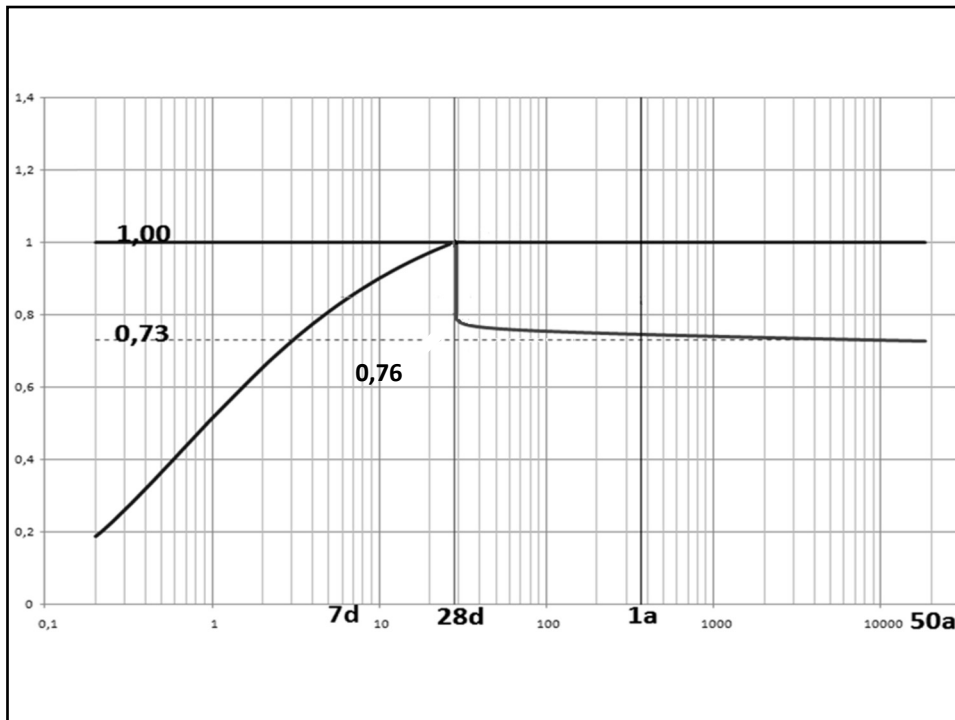
### **Decréscimo da Resistência (efeito Rüsçh)**

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

→ **j** em dias

→ **j - 28** > 15 minutos

148



149

### **Considerações** (*Comunidades TQS e Bahia*)

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,...

150

# **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

151

### **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;

152



onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Regredir a 28dias?

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

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

153

## ***Estruturas de Concreto para Edificações***

Atividade profissional regida por normas técnicas:

- de PROJETO
- de MATERIAIS
- de EXECUÇÃO
- de CONTROLE
- de OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO
- e, Complementares (NR4; NR 6; NR9; NR18 do MT, PMs)

que têm força de lei por conta do CDC

154



155

**OBRIGADO !**

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

**www.phd.eng.br**

**11-2501-4822 / 23**  
**11-95045-5408**

156