



# Resistência do concreto em estruturas existentes



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

UNISINOS

11 de Junho de 2015

São Leopoldo/RS

1

## *Materiais Estruturais*

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.

2



3

## ***Materiais Estruturais***

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.
Concreto simples	→	114 d.C.

4

**século  
II dC  
diâmetro de  
44m**

**Cúpula do  
Panteão  
de  
Roma**



5

## **Catedral de Notre Dame**



1163-1330

**Abóbada da nave central → 35 m de altura**

6

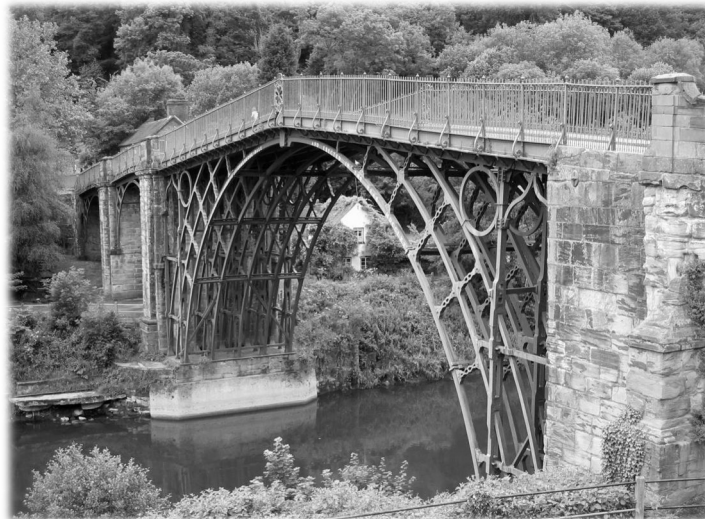
## ***Materiais Estruturais***

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.
Concreto simples	→	114 d.C.
Aço metálica	→	1.750 d.C.

7

**Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.  
Coalbrookdale Bridge em Telford, Inglaterra**

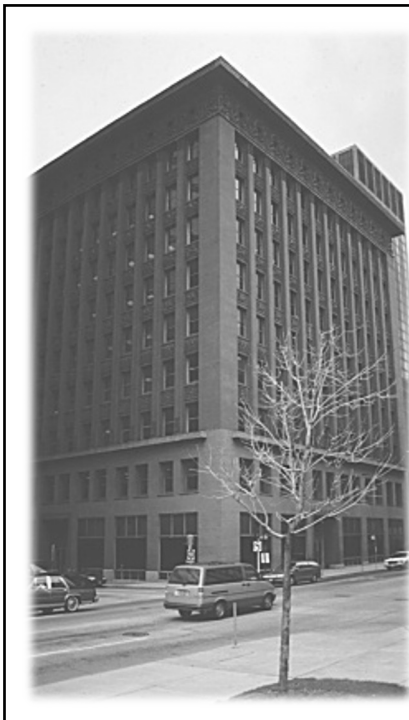
*Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres*



8



9



O início dos arranha-céus foi em 1.890-1.891 com a construção do edifício Wainwright com 42m St. Louis, USA.

*Conhecido Escola de Chicago*

Projetista  
Arquiteto Louis Henry  
Sullivan

10

## ***Materiais Estruturais***

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.
Concreto simples	→	114 d.C.
Aço	→	1.750 d.C.
Concreto Armado	→	1.892 d.C.

11

Século “XX”  
1892

Aparece um  
novo material

***Concreto Armado***

12



13



**Systeme Hennebique**  
*Paris, Rue Danton1*

**7 andares**  
**França 1.901**  
**30m**

$f_{ck} = ?$   
**112 anos !**

*edificio em concreto mais  
antigo do mundo*

14



**Palácio Salvo**  
Montevideu

**27 andares**

**Uruguai 1925**

**103m**

**$f_{ck} = ?$**

***85 anos !***

**world record**

15



**Edifício**  
**Martinelli**

**1929**

**106m**

**81 anos**

**world record**

**São Paulo, Brasil**

16





Empire State Building  
381m , New York, 1.931

17

Século XX  
1.928

“novo material estrutural”

*Concreto Protendido*

Eugene Freyssinet

18



19



20



21



Créditos: Rafaela Bortolini

22



23



24



**Massa Cinzenta**

ENCONTRAR

Área Técnica
Gestão
Inovação
Sustentabilidade
Universidade e Pesquisa
Podcast
Portal Itambé

Home / Sobre Concreto / Mundo se divide em a.C e d.C: antes e depois do concreto

## Mundo se divide em a.C e d.C: antes e depois do concreto

3 de junho de 2015 Sobre Concreto, Universidade e Pesquisa

Professor Paulo Helene mostra como emprego do material com armadura de aço, a partir do início do século 20, mudou edificações e cidades

**Por: Altair Santos**

O professor-doutor **Paulo Helene**, titular da Poli-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) sustenta a tese de que o melhor amigo do homem não é o cachorro – como se convencionou popularmente –, mas o concreto. Ele mostrou o porquê no seminário sobre **patologias na construção**, promovido entre os dias 18 e 22 de maio pelo departamento de engenharia civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR). No evento, o especialista discorreu sobre a história das construções e a evolução das estruturas. Também abordou a mudança pela qual passou a humanidade entre o antes e o depois da invenção do **concreto armado**.

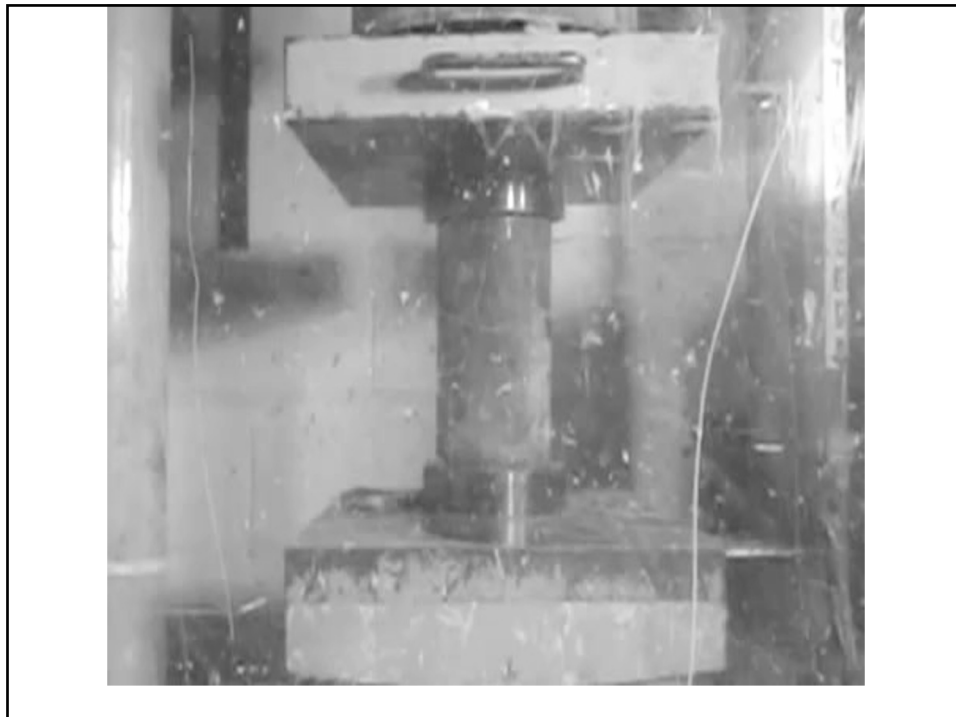


Professor Paulo Helene: o melhor amigo do homem é o concreto.

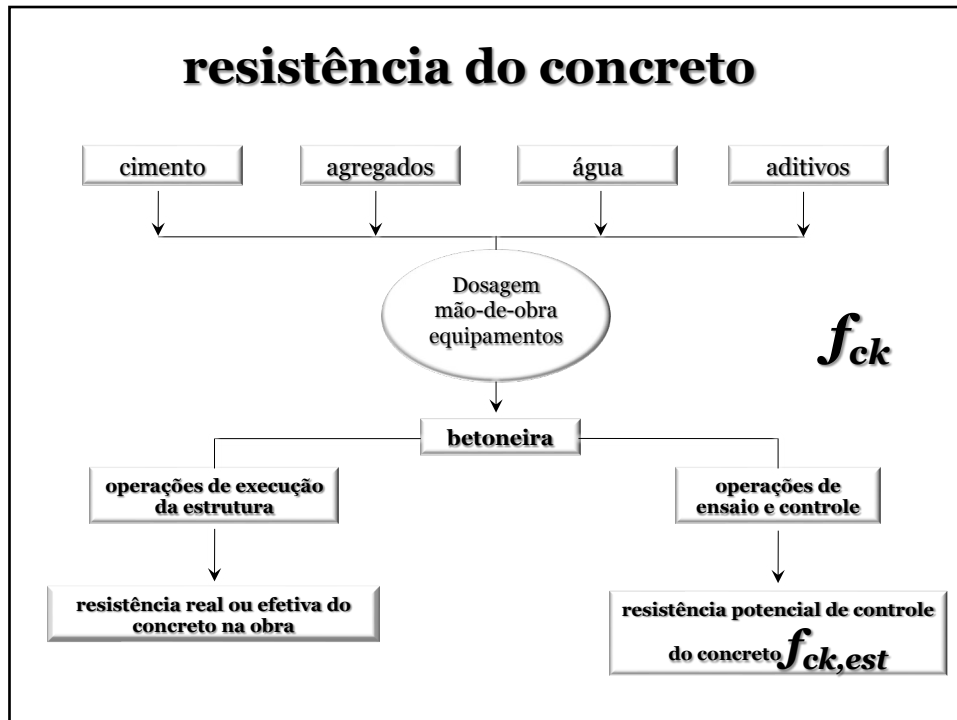
O material foi patenteado em 1892 na Suíça. É a partir deste ano que o **concreto** passou a se incorporar às cidades, propiciando transformações na engenharia e na arquitetura, e mudanças radicais na cena urbana. "O concreto criou a arte de projetar e construir estruturas. As obras, antes limitadas à **alvenaria estrutural**, ganharam novas alternativas geradas pelo **concreto armado**. As estruturas passaram a não depender mais das paredes de vedação e isso mudou o curso da história. Vieram os prédios com vários pavimentos – isso após a invenção do elevador – e uma série de outras transformações. O concreto armado é umas das grandes invenções que transformaram o século 20", avalia Paulo Helene.

O professor-doutor da USP afirma também que o concreto armado qualificou a engenharia civil. "Foi na Roma antiga, por volta de mil anos antes de Cristo (1.000 a.C) que nasceu o termo engenheiro. Antes, só havia o arquiteto. E esse profissional, o arquiteto, sempre esteve mais valorizado que o engenheiro, até o surgimento do concreto armado. O concreto passou a exigir especializações da engenharia, para conseguir trabalhar com suas várias resistências, suas várias massas específicas, seus vários módulos. Isso ficou ainda mais evidente após a invenção do **concreto protendido**, a partir de 1928", ensina Paulo Helene.

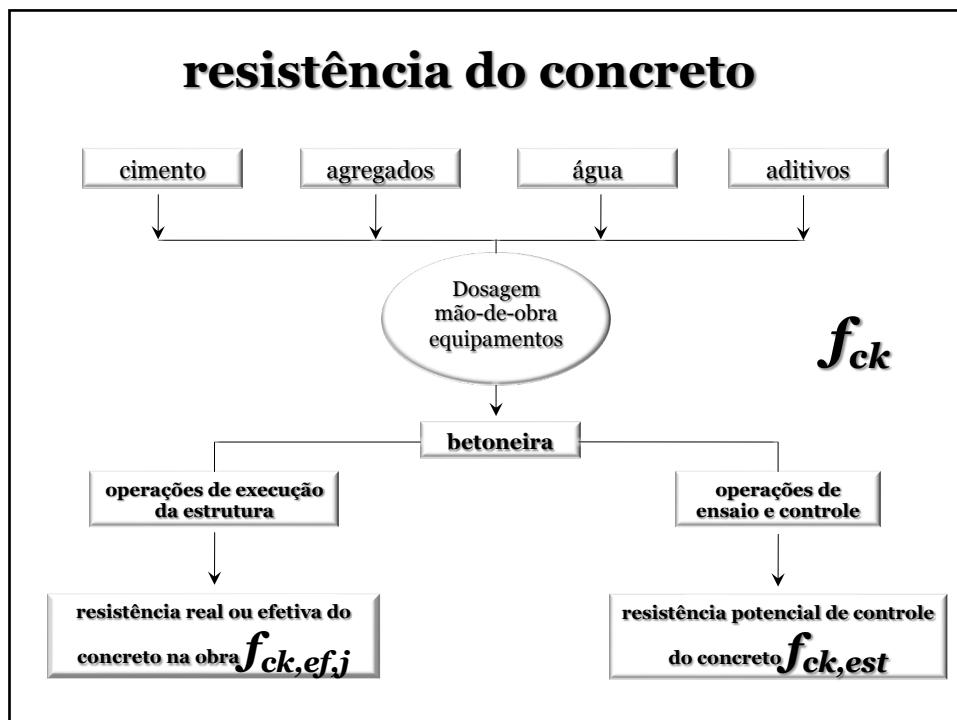
25



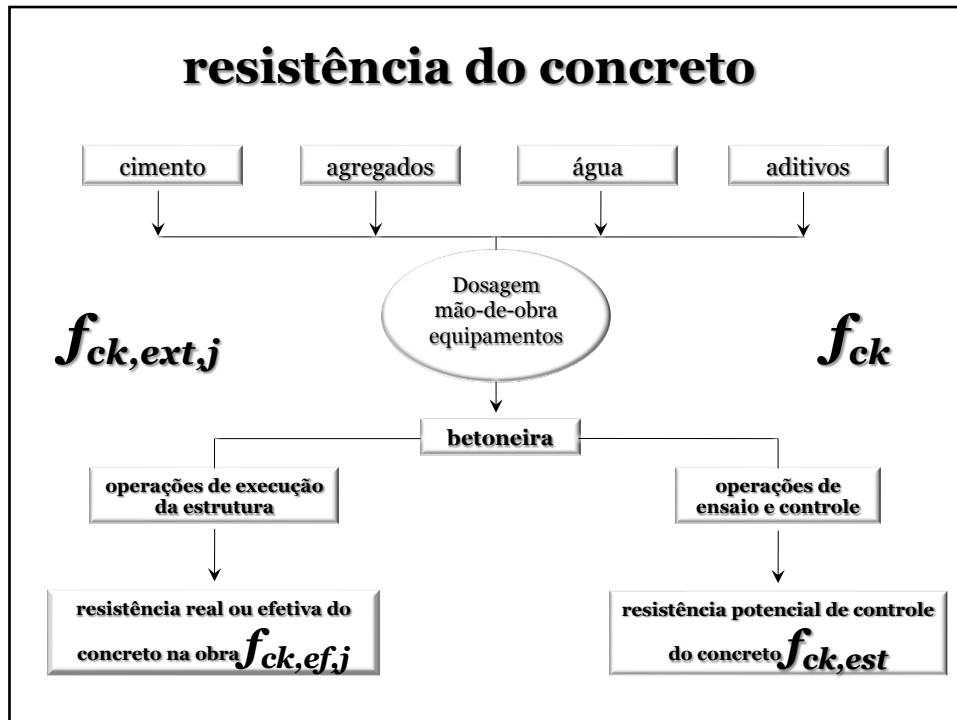
26



27



28



29

# Preliminares

**Conceitos:**

**→ do que estamos falando?**

30

- **Controle de recebimento indicou  $f_{ck,est} < f_{ck}$ ;**
- **Concreto com aparência estranha ou aparentemente não conforme com o especificado;**
- **Concreto exposto a meio agressivo;**
- **Qualidade da execução da estrutura;**
- **Perícia;**
- ***Retrofit.***

31

# Preliminares

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

32



## **Duas alternativas:**

- **Concreto não conforme**
- **Ensaio não conforme**

33

**Por que  
questionar  
resultados de  
ensaio?**

34



35



36



37



38



39



40

# Preliminares

**Conceitos:**

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

41

# 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 28dias → a partir de  $f_{c,ext,j}$ ?**

42

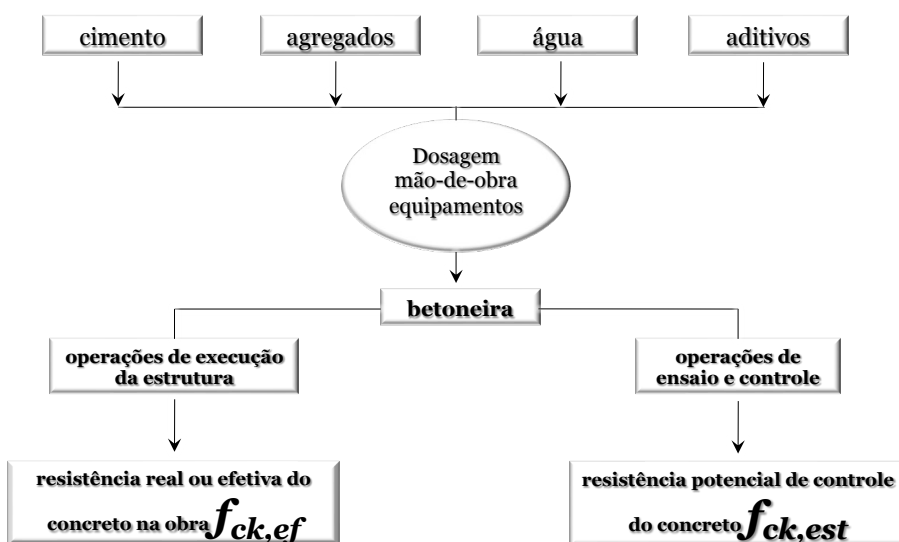
# Preliminares

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

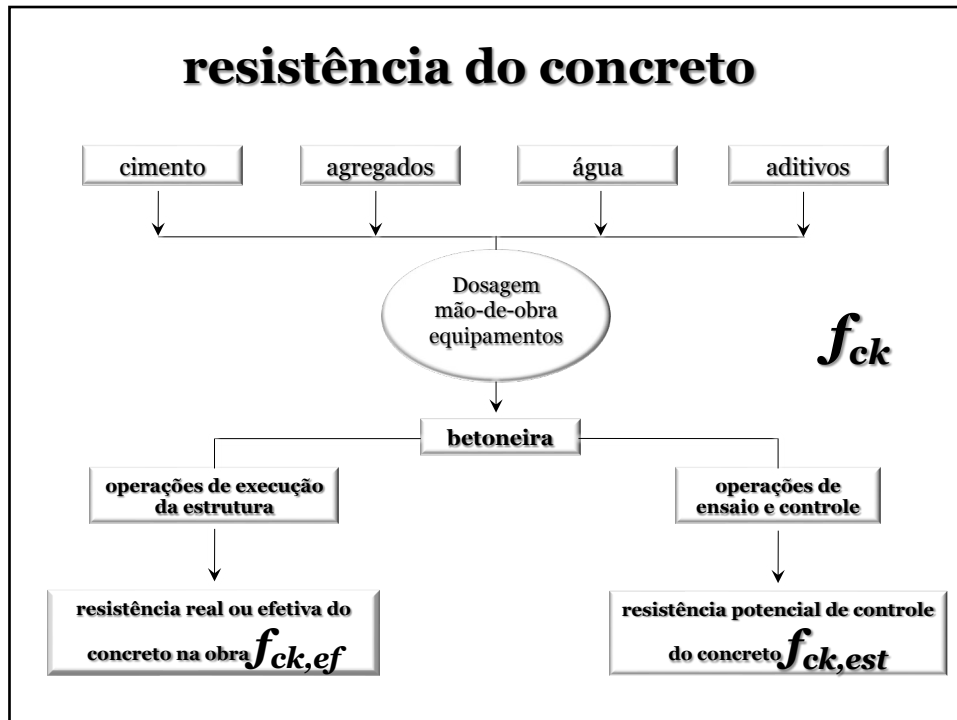
A ABNT NBR 7680, hoje, fornece apenas o  $f_{c,ext,j}$   
e, portanto ainda não serve para calcular,  
revisar, verificar a segurança

43

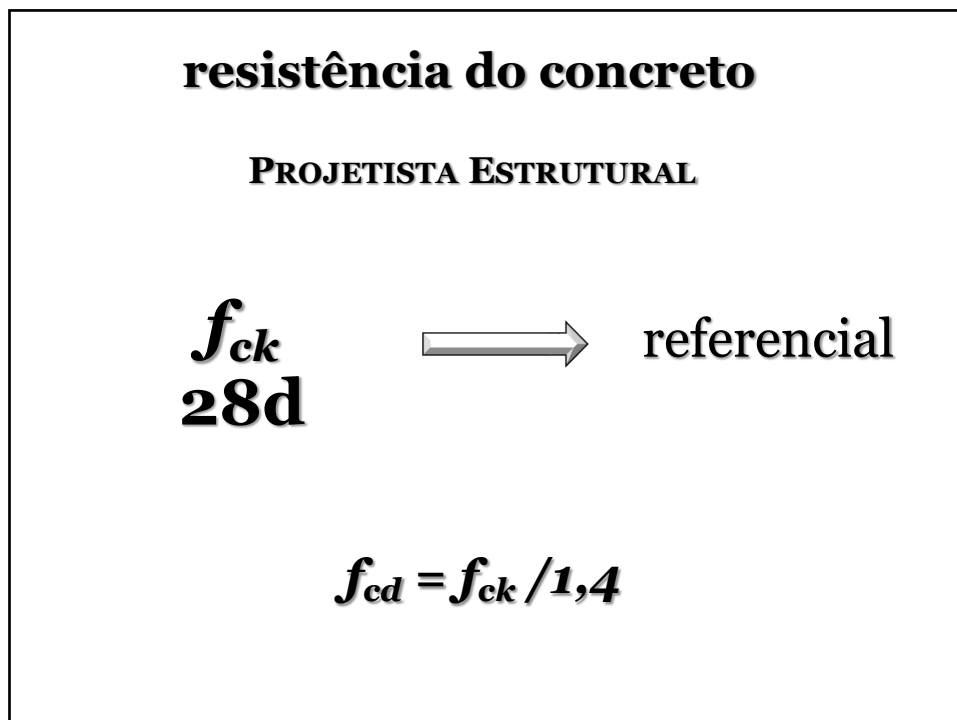
## resistência do concreto



44



45



46

## resistência do concreto

TECNOLOGIA DO CONCRETO

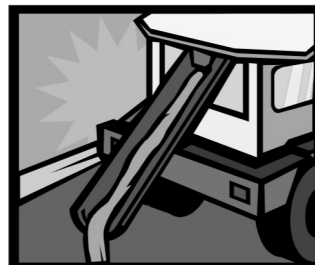
ABNT NBR 12655; ABNT NBR 5738 E ABNT NBR 5739

- ✓ **geometria:  $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$  ou  $15 \times 30$**
- ✓ **adensamento ideal**
- ✓ **cura submerso;  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$**
- ✓ **preparação topos; retificação (ideal)**
- ✓ **direção de aplicação da carga //**
- ✓ **velocidade de carga (ideal)**
- ✓ **ruptura saturado**

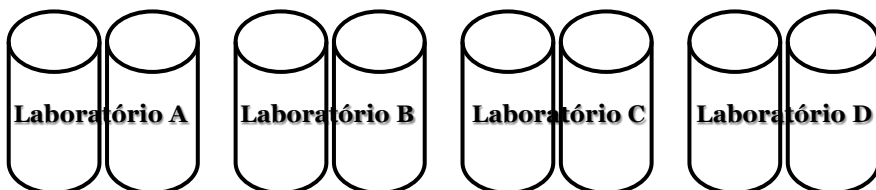
47

## 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, encaminhados a laboratórios de ensaio distintos**



48



quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

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

***“potencial do concreto”***

49

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

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

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

***“potencial do concreto”***

50

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

51

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**

52

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

A diagram showing ten vertical concrete columns, numbered 1 through 10 from left to right. Each column has a circular base. The circles are located at the bottom of columns 2, 3, 6, 8, and 9. The circles for columns 2, 3, 6, and 8 are shaded, while the circle for column 9 is unshaded.

53



54



55

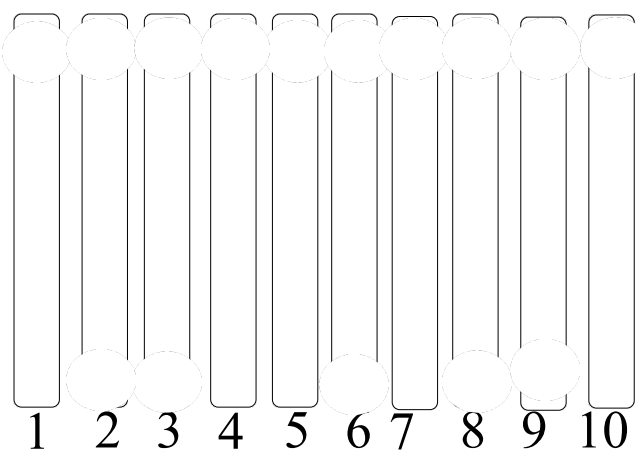
“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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

56

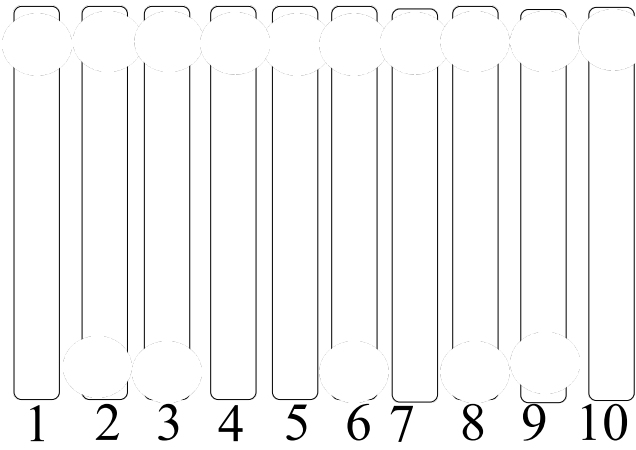
“exsudação”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



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

57

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

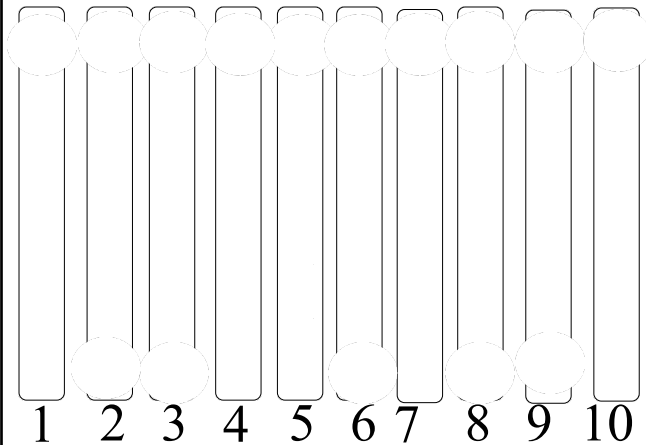


**$f_{ck}$**   
**45MPa**

58

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

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

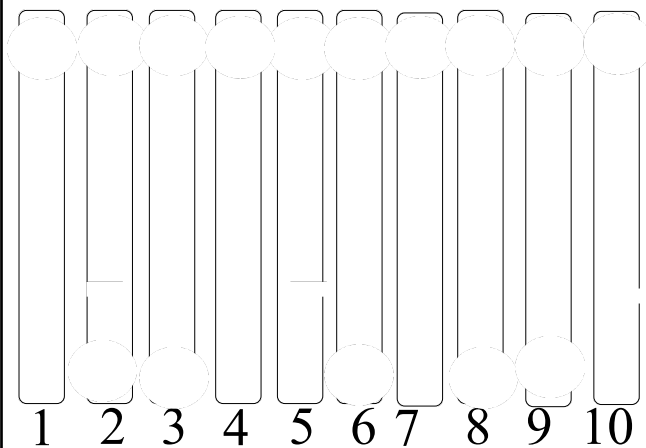


**terço inferior**

59

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

60

# Preliminares

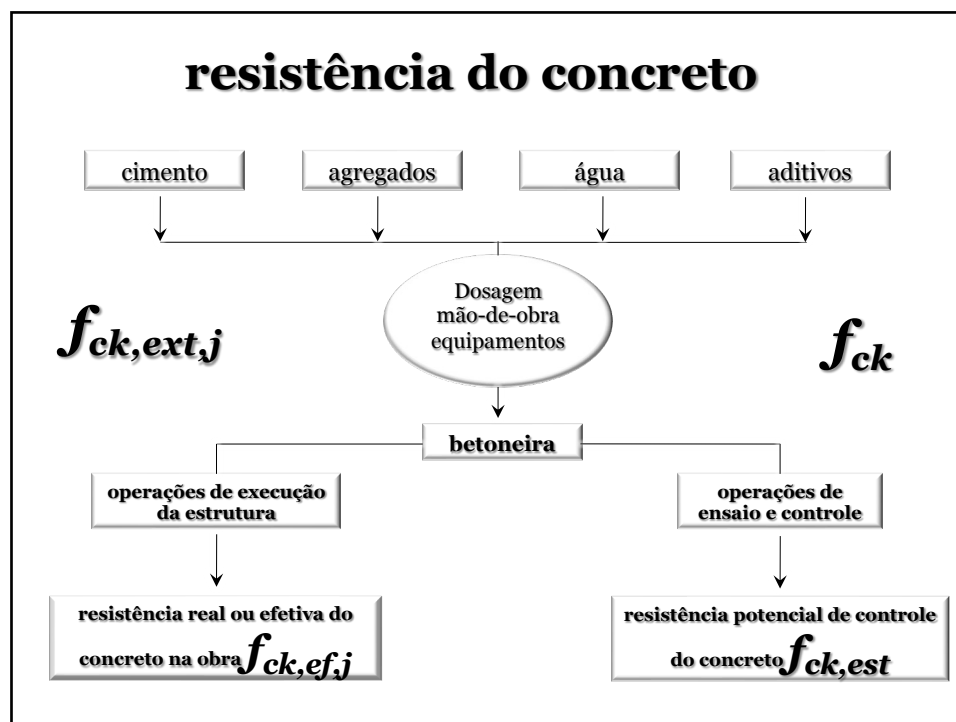
***Portanto é preciso saber CONVIVER com esse problema.***

***É preciso saber ONDE está esse concreto e QUAL sua resistência.***

***Só sabe quem CONTROLA.***

***Um caminhão-betoneira pode concretar 10 pilares !***

61



62

## **Normalização Internacional**

1. *fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code. March 2010. Bulletin 55. v.1*
2. *fib(CEB-FIP) Bulletin 22 Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures. State-of-art Report. 304p. 2003.*
3. *fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90)*
4. *fib(CEB-FIP) bulletin n.54. v.4. October 2010. Manual, Textbook on Behavior, Design and Performance. Structural Concrete*
5. *ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.*

63

## **Normalização Internacional**

6. *EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.*
7. *ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.*
8. *ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.*
9. *ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.*

64



## Normalização Internacional

6. **EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.**
7. **ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.**
8. **ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.**
9. **ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.**

65

### **ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.**

#### **Chapter 5. Concrete Quality, Mixing, and Placing**

Item 5.6.5 Investigation of low-strength test results:

... concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if the average of three cores is equal to at least 85 percent of  $f'_c$  and if no single core is less than 75 percent of  $f'_c$ ... (corresponde a  $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$  ou  $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$ )

5.6.5 comments → ...core tests having an average of 85 percent of the specified strength are realistic. To expect core tests to be equal to  $f'_c$  is not realistic, since differences in the size of specimens, conditions, of obtaining samples, and procedures for curing, do not permit equal values to be obtained...

5.6.5.5 ...if criteria of 5.6.5.4 are not met and if the structural adequacy remains in doubt...strength evaluation accordance with chapter 20...

66

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2011. 470p.**  
Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

20.2.3 ...for strength evaluation of an existing structure, cylinder or core test data shall be used to estimated an equivalent  $f'_c$ . The method for obtaining and testing cores shall be in accordance with ASTM C42M...

20.2.5 ...it shall be permitted to increase the strength reduction factor  $\phi$  but  $\phi$  shall be according with Table 20.2.5.1

Table 20.2.5.1 Factor  $\phi$  to reduce the concrete strength.

sections	item 9.3.2	item 20.2.5	aumento
tension controlled sections	0,90	1,00	1,11
compression controlled sections			
members with spiral reinforcement	0,75	0,90	1,20
other reinforced members	0,65	0,80	1,23
shear and/or torsion	0,75	0,80	1,06
bearing on concrete (engastar)	0,65	0,80	1,23

67

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2011. 470p.**  
Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

*Obs.:*

*Um simples cálculo demonstra que esse aumento no coeficiente de redução da resistência do concreto, de 6% a 23% significa reduzir, para fins de comparação, o coeficiente de minoração,  $\gamma_c$  de 1,5 para  $\gamma_c$  de 1,22 a 1,40. Em compressão cintada passaria de  $\gamma_c = 1,5$  para  $\gamma_c = 1,25$ ;*

*Observar que se trata de uma redução dupla: primeiro achar o  $f'_c$  equivalente no qual  $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$  ou  $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$  e, posteriormente se não aprovar, reduzir o coeficiente de minoração  $\gamma_c$  para até 1,22.*

68

## resumo normas internacionais

duas partes bem distintas:

1. Uma primeira relativa a ensaio, ou seja, passar de  $f_{c,ext}$  a  $f_c$  equivalente, para a qual algumas normas chegam até a recomendar explicitamente um especialista em tecnologia de concreto. Corresponde à inspeção da estrutura, pacometria, esclerometria e ultrassom, amostragem, extração, prumo, excentricidade, medidas geométricas “as built” de campo, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalidade, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter  $f_c = l * f_{c,ext}$

69

## resumo normas internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança, ou cálculo da segurança estrutural na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança, ou o coeficiente  $\beta$  de confiabilidade, segundo seja o método de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto preferido pelo projetista. Em todos os casos é recomendado aceitar coeficientes  $\gamma_M$  de minoração da resistência dos materiais ou  $\beta$  de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.

70

## **Sumário**

- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

71

## **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***

72

## ***OBJETIVO***

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do  $\gamma_c$ .
- **Resistência potencial** = corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm
- **Resistência efetiva** = testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm

73

## ***EXPERIMENTO***

- 10 obras correntes de edifícios habitacionais em fase de execução das estruturas de concreto.  
Resistência à compressão  $20\text{MPa} < f_{ck} < 35\text{MPa}$ .
- **Pilares**
  - 06 obras → concreto produzido na obra (500L)
  - 17 lotes → 17 andares
  - volume total de concreto 129 m<sup>3</sup>
  - média de 6 cps moldados por lote → 28dias
  - média de 6 cps extraídos por lote → 28dias
  - extração no terço inferior (arranque)
  - 102 cps → 102 testemunhos

74

## RESULTADOS $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$

estatística	pilares	lajes e (vigas)
mínimo	<b>1.05</b>	<b>0.96</b>
máximo	<b>1.51</b>	<b>1.62</b>
média	<b>1.24</b>	<b>1.20</b>
<b><math>S_c</math></b>	<b>0.14</b>	<b>0.19</b>
<b><math>v_c</math></b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	<b>h/d=2</b>	<b>h/d≠2</b>
	<b>cp<sub>ext</sub> ortogonal lanç.</b>	<b>cp<sub>ext</sub> paralelo lanç.</b>

75

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

76

## Problema

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

77

## Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

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

78

## **$k_1 \rightarrow$ geometria do testemunho**

$k_1$  = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d.

Esse coeficiente pode ser obtido da *ABNT NBR 7680*.

<b>relação h/d</b>	<b><math>k_1</math> (<i>ABNT NBR 7680</i>)</b>	<b>ASTM C 42</b>	<b>BS 1881</b>
<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>1,75</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<b>1,50</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>
<b>1,25</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>
<b>1,00</b>	<b>0,86</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>

79

## **$k_2 \rightarrow$ broqueamento**

$k_2$  = coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

**ACI 214:2010  $\rightarrow$  1,06**

80



## **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***

81

## **OBJETIVO**

- Comparação entre a resistência potencial e a efetiva do concreto em paredes/blocos moldados especificamente para esse propósito (lab.). Contribuição ao estudo do efeito deletério de “**broqueamento**”.
- **Resistência potencial** → 480 corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm & 15cm x 30cm
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

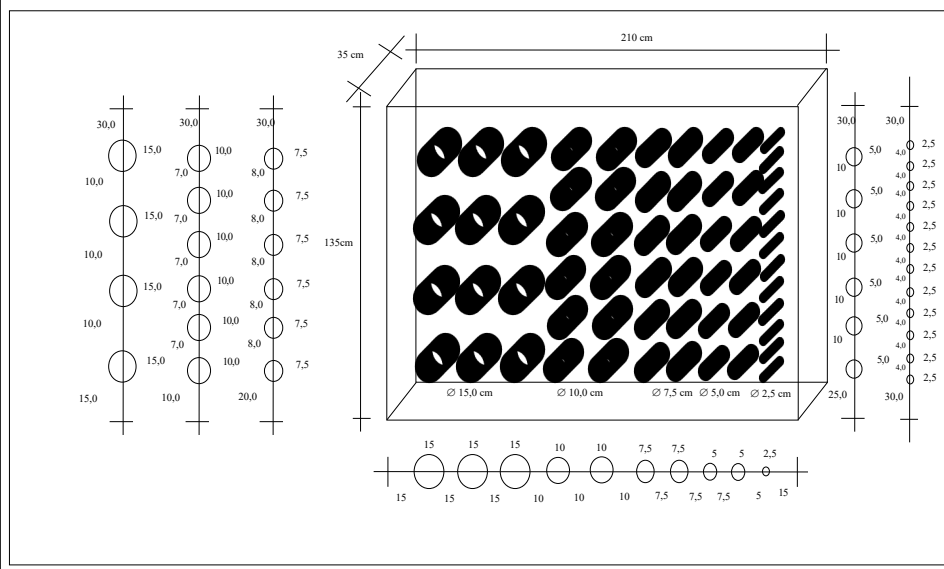
82

## ***EXPERIMENTO***

- 56 blocos/paredes de espessura de 35cm x 2.10m altura x 1.45 m construídos no canteiro de uma Central de concreto e em subsolo de obra. Situação ideal!
- Resistências à compressão de: 20MPa; 40MPa; 50MPa e 70MPa.
- Consistência / slump = (100±10)mm;
- Idade de 28dias;
- Direção de extração ortogonal à concretagem.

83

## **BLOCO TIPO (210x135x35)cm**



84



85



86



**Parede/bloco perfurada**

87

## Conclusões

1. os valores de  $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$  entre 1,01 e 1,40 corresponderam a 100% dos resultados obtidos

2. Média geral:

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

3. os testemunhos de diâmetro 5cm e 2.5cm tendem a maior variabilidade. Refletem melhor quando  $f_c$  é igual ou superior a 50MPa.

4. vale a pena consultar as demais conclusões...

88

## $k_2 \rightarrow$ broqueamento

$k_2 =$  coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 p.10 Table 9.1 “damage due to drilling”	Tese Doutorado José Orlando Vieira Filho, 2007 “efeito do broqueamento”
<b>1,06</b>	<b>1,07</b>

Esse efeito deletério do broqueamento fica ainda mais importante ao se considerar a possibilidade do uso de equipamentos velhos, mal conservados, mal fixados no momento da extração e manuseado por operadores mal treinados;

89

## $k_3 \rightarrow$ direção de extração

Relação entre a resistência do concreto em testemunhos extraídos em direção paralela e ortogonal à concretagem.

Pesquisador	coeficiente $k_3$
Petersons (1971)	1,12
Grahan, apud Neville (1969)	1,08
Ortiz & Diaz (1973)	1,01 a 1,06
Liniers (1974)	1,05
Meininger (1977)	1,07
Concrete Society	1,08
Kasai & Matui (1979)	1,04
Munday & Dhir (1984)	1,05 a 1,11
Bloem (1968)	1,00

Dissertação de Mestrado. De Castro, E. Estudo da Resistência à Compressão do Concreto por Meio de Testemunhos de Pequeno Diâmetro e Esclerometria. p. 70. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia, 2009

90

## **$k_3 \rightarrow$ direção de extração**

Segundo *ACI 214:2010*, concreto extraído em direção ortogonal à de lançamento deve ser corrigido de  $k_3 = 1,05$ , ou seja, a resistência do concreto extraído ortogonalmente é 5% menor que aquela do concreto do corpo de prova onde a moldagem e o ensaio estão na mesma direção;

91

## **$k_4 \rightarrow$ sazonalidade**

$k_4$  = coeficiente devido às condições de sazonalidade do concreto do testemunho, antes do ensaio de compressão.

92

## $k_4 \rightarrow$ sazónamento

sazónamento	coeficiente $k_4$
padrão	1,00
submerso 48h em água potável, ensaiado saturado	1,09
seco por 7dias em UR <60% e temperatura de 16°C a 21°C	0,98

ACI 214.4R-10. Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results.

93

## $k_5 \rightarrow$ cura

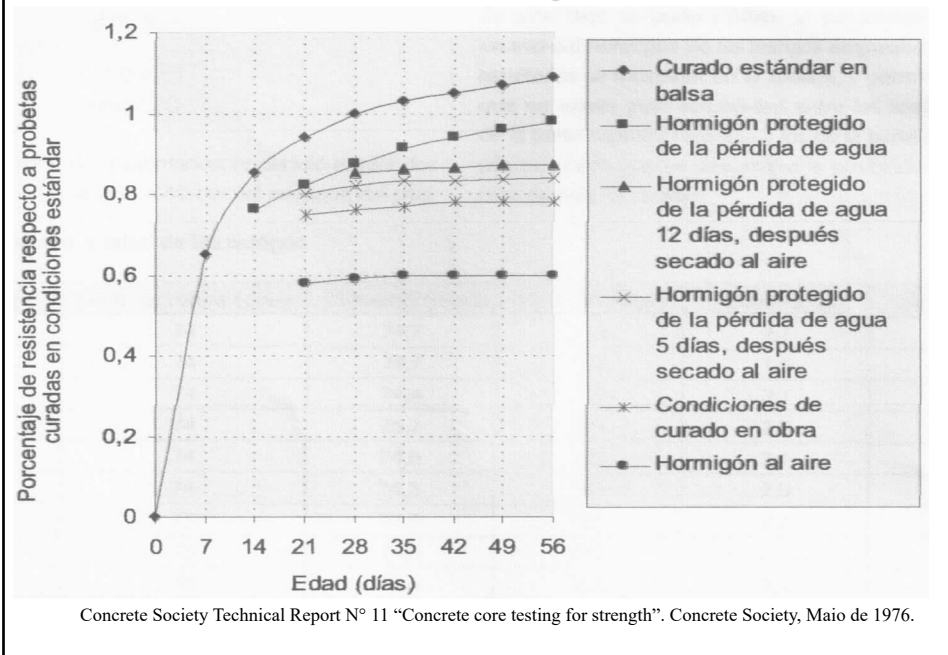
$k_5$  = coeficiente devido a deficiências de cura do concreto na obra.

Esse coeficiente pode ser obtido de vários textos base de livros de tecnologia de concreto ou até mesmo da norma *ACI 214:2010*.

A cura deficiente de obra, comparativamente àquela padronizada como ideal, pode reduzir muito a resistência do concreto na obra.

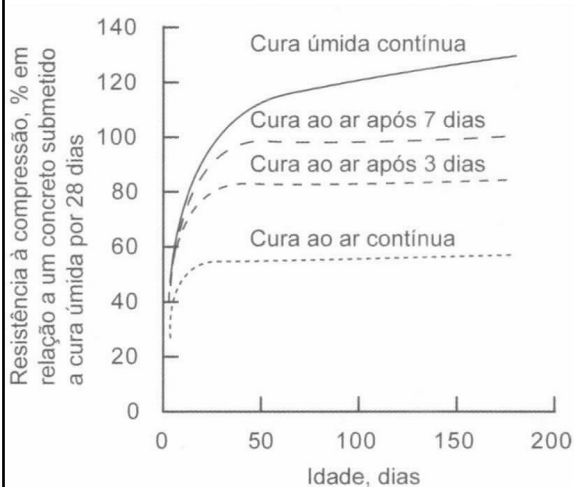
94

**Efeito da cura na resistência**  $k_5 \rightarrow$  cura para  $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$



95

**Efeito da cura na resistência**  $k_5 \rightarrow$  cura para  $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$



**Figura 3-8** Influência das condições de cura sobre a resistência (*Concrete Manual*, 8<sup>th</sup> ed., U.S. Bureau of Reclamation, 1981).

A idade da cura não trará nenhum benefício para a resistência do concreto, a menos que a cura seja processada na presença de umidade.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. IBRACON. 3<sup>ra</sup> Edição. p. 62. 2008.

96



## **$k_6 \rightarrow$ adensamento**

$k_6$  = coeficiente devido a deficiências de adensamento na obra comparativamente ao adensamento enérgico e ideal do corpo de prova.

97

*Fatores de correção por compactação em função do excesso de poros.  $k_6 \rightarrow$  adensamento*

<b>porcentagem de ar em excesso</b>	<b>fator de correção por compactação, <math>k_6</math></b>
<b>1,0</b>	<b>1,08</b>
<b>1,5</b>	<b>1,13</b>
<b>2,0</b>	<b>1,18</b>
<b>2,5</b>	<b>1,23</b>
<b>3,0</b>	<b>1,28</b>
<b>3,5</b>	<b>1,33</b>
<b>4,0</b>	<b>1,39</b>
<b>4,5</b>	<b>1,45</b>
<b>5,0</b>	<b>1,51</b>

Concrete Society Technical Report N° 11 "Concrete core testing for strength". Concrete Society, Maio de 1976.

98

## $k_6 \rightarrow$ adensamento

Segundo *ACI 214:2010* e livros texto de concreto, deve ser aumentada a resistência do testemunho de 5% a 7% para cada 1% a mais de porosidade (volume de vazios) do concreto extraído em relação à porosidade medida no concreto bem adensado do corpo de prova padrão.

Isso pressupõe que a porosidade (*ASTM C 642*) tenha sido medida no corpo de prova moldado e também no testemunho extraído.

99

## Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

100

## **Problemão**

passar de  $f_{ck,est,j}$

a  $f_{ck,est,28}$

101

## **SEGURANÇA**

critérios de introdução da  
segurança no projeto e  
construção das estruturas de  
concreto, ABNT NBR  
8681:2003 e ABNT NBR  
6118:2014

102



O que importa saber é  
a resistência em  
qualquer idade... até  
50anos, ou mais...

103

## Segurança

Valem critérios da ABNT NBR6118:2014, ou seja:

$$\sigma_{cd} = f_{cd} \cdot 0.85 = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0.85$$

onde, na realidade 0.85 deveria depender de cada caso

104

## Premissas

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

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,17 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1,17 \rightarrow$  crescimento relativo da resistência de 28dias a  
50anos

$\beta_2 = 0,73 \rightarrow$  decréscimo relativo da resistência à compressão  
do concreto devido à carga aplicada aos 28dias e mantida  
até 50anos

105

## Premissas

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

106

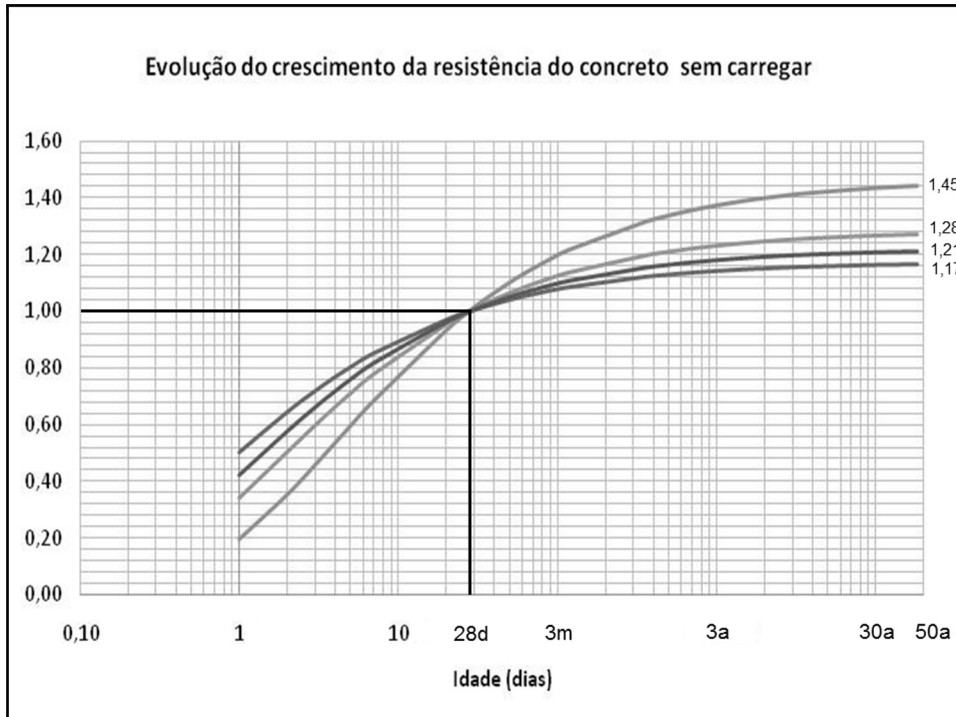
onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

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

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	$s = 0,25$	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	$s = 0,38$	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	$s = 0,16$	1,17 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

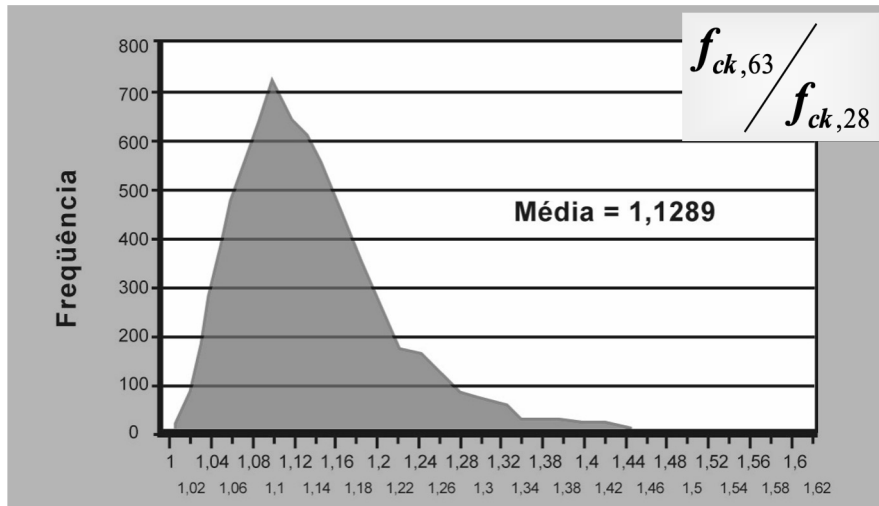
107



108

# Análise Geral

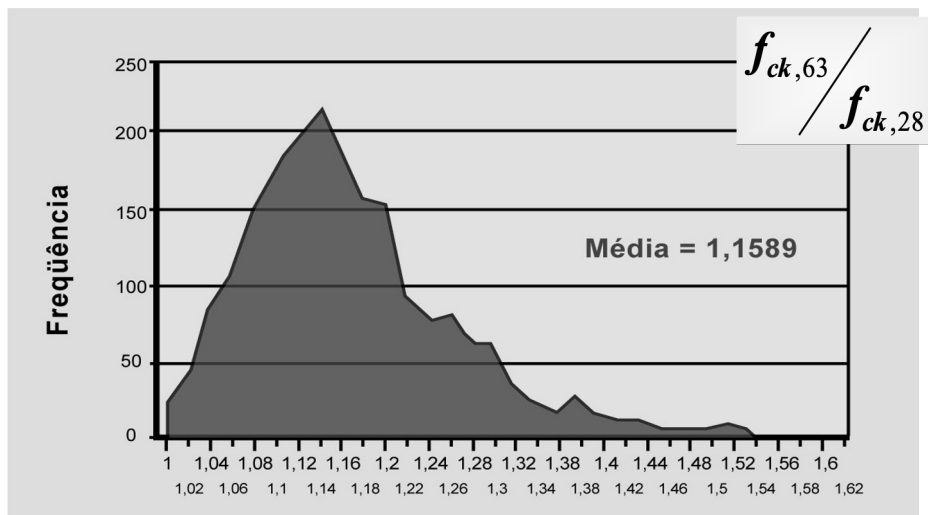
8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



109

# Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



110

## coeficiente $k_7 \rightarrow$ idade

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{0,16*(1-\sqrt{\frac{28}{j}})}$$

para regressir de j dias a 28 dias

111

## Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

112



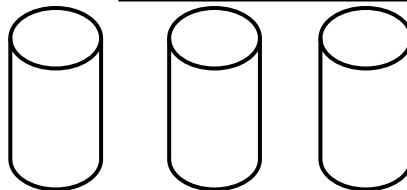
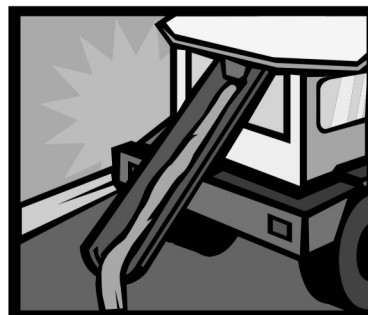
# Como decresce a resistência com o tempo a partir de 28dias ?

113

## *Carga mantida → como comprovar ?*

**Concreto de uma betonada:**  
ABNT NBR 12655:2015  
ABNT NBR 5738:2015

***Moldagem de corpos de prova  
cilíndricos irmãos caprichados***



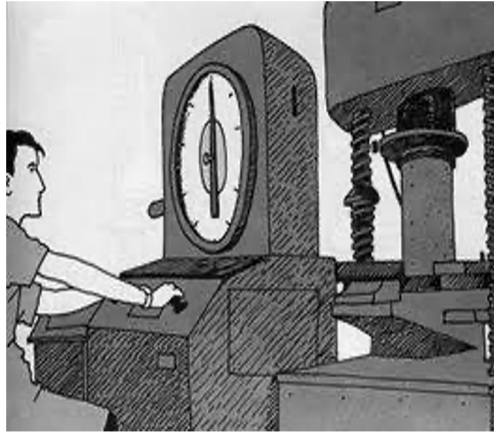
114

## ***Carga mantida → como comprovar ?***

**1 ou 2 CP levados à ruptura  
(ABNT NBR 5739:2007)**

**Por exemplo → carga de  
ruptura:**

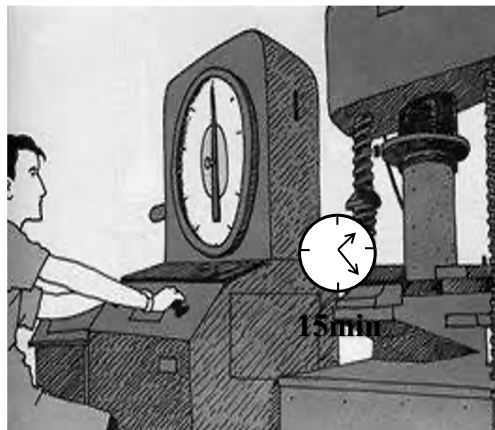
$$f_c = 30tf$$



115

## ***Carga mantida → como comprovar ?***

**Sobre o CP irmão  
restante aplicar uma  
carga 10% menos, no  
caso, 27tf, mantendo o  
carregamento de 27tf  
A partir dos 10 minutos e  
antes dos 15 minutos  
o CP irá romper com a  
carga 10% menor**



*Fluência e relaxação do concreto ocorrem devido às cargas mantidas,  
e devem ser consideradas no método de introdução da segurança no  
projeto estrutural.*

116

## Carga de Longa Duração (efeito Rüsç)

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

→ **j** em dias

→ **t<sub>0</sub>** → idade de aplicação das cargas

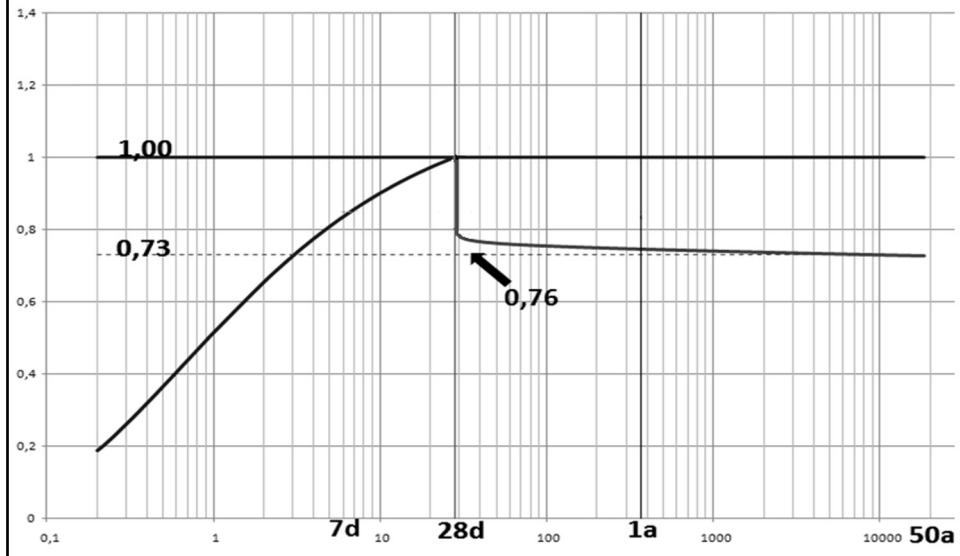
→ **j - t<sub>0</sub>** > 15 minutos

117

decrécimo a partir de  
28dias ?

118

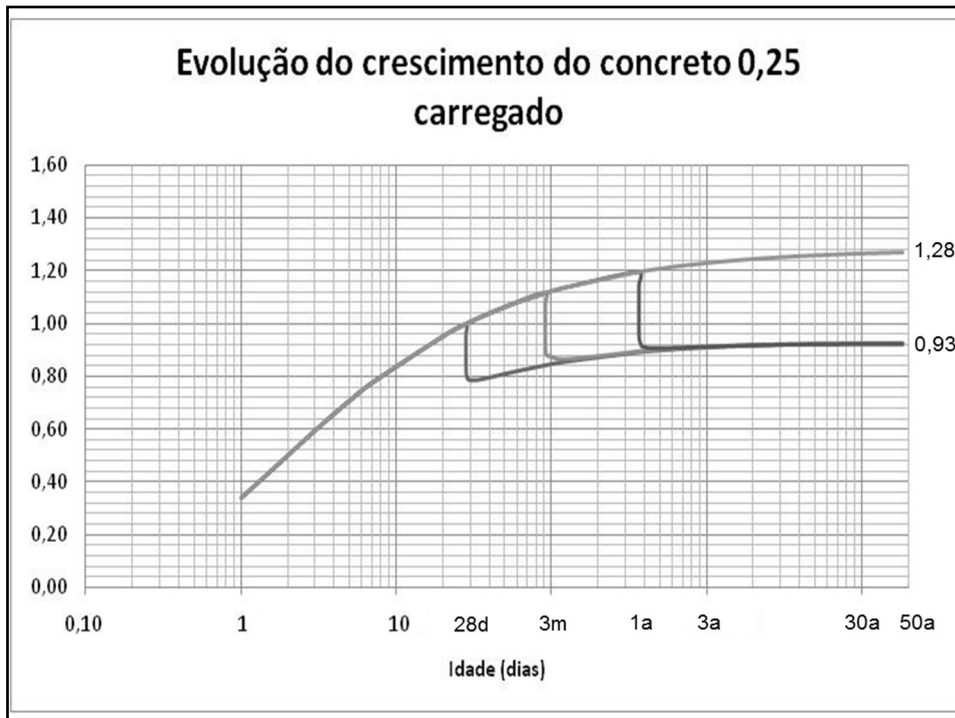
## Decréscimo da Resistência



119

Combinando crescimento  
com decréscimo a partir  
de 28dias ?

120



121

## coeficiente $k_g \rightarrow$ “Rüsch”

1. não foi carregado... despreza esta correção
2. foi carregado [50% carga projeto]... considera esta correção

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - 28)\}}$$

para regredir de jdias a 28dias

122

## Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

123

## encerrando...

passar de moldado  $f_{ck,est,28}$  para  $f_{ck}$   
ABNT NBR 8953

obtêm-se →

**$f_{ck} \rightarrow C20; C25; C30;$   
 **$C35; C40; C45; C50$****

124

## **Conformidade do Concreto**

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

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

125

## **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...”***

126



127



128