

IV Seminário Nacional de Patologia das Construções
ALCONPAT Brasil

UNISINOS. Coordenação: Prof. Bernardo Tutikian

Contribuição à Análise da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes. Edificações

Paulo Helene

Presidente ALCONPAT Internacional
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Permanente IBRACON
Diretor PhD Engenharia

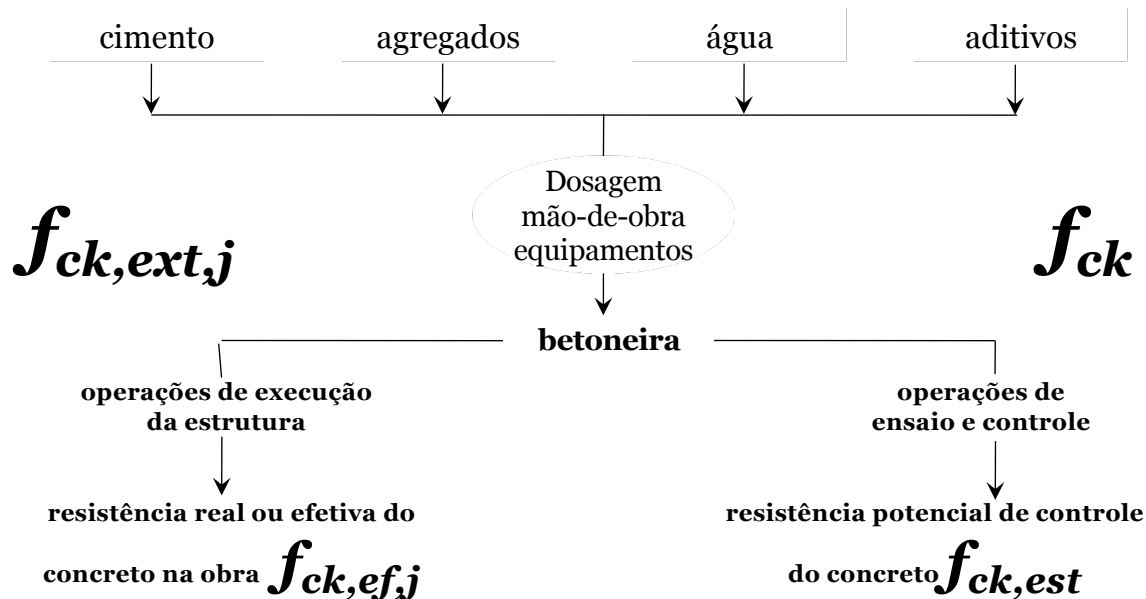
ALCONPAT

12 de dezembro de 2011

São Leopoldo.RS

1

resistência do concreto



2

Preliminares

Conceitos:

→ do que estamos falando?

**→ qual o objetivo de uma
investigação (extração)?**

3

Preliminares

Conceitos:

→ do que estamos falando?

4

Preliminares

**resultados de controle que
podem gerar dúvidas, ou seja,
resultados de $f_{ck,est}$ entre $0,6*f_{ck}$ a
 $0,9*f_{ck}$ e, principalmente
quando há divergência entre
*Concreteira e Laboratório***

5

Preliminares

Conceitos:

**→ qual o objetivo de uma
investigação (extração)?**

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_{cd} ? σ_{cd} ? $f_{c,ext,j}$? $V_{dimensão}$? V_{cura} ?

7

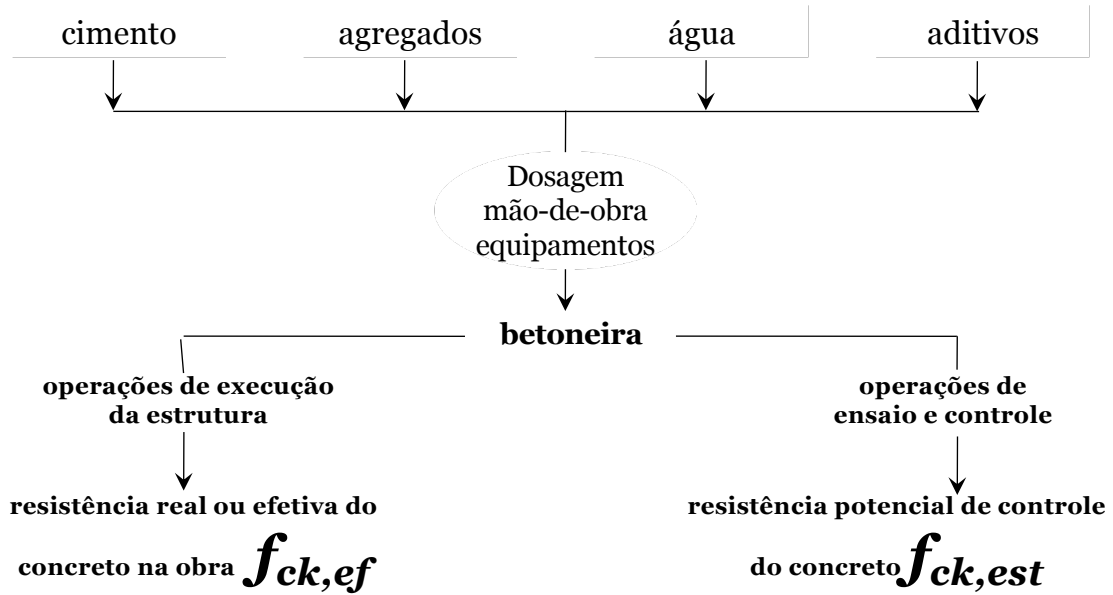
Preliminares

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

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

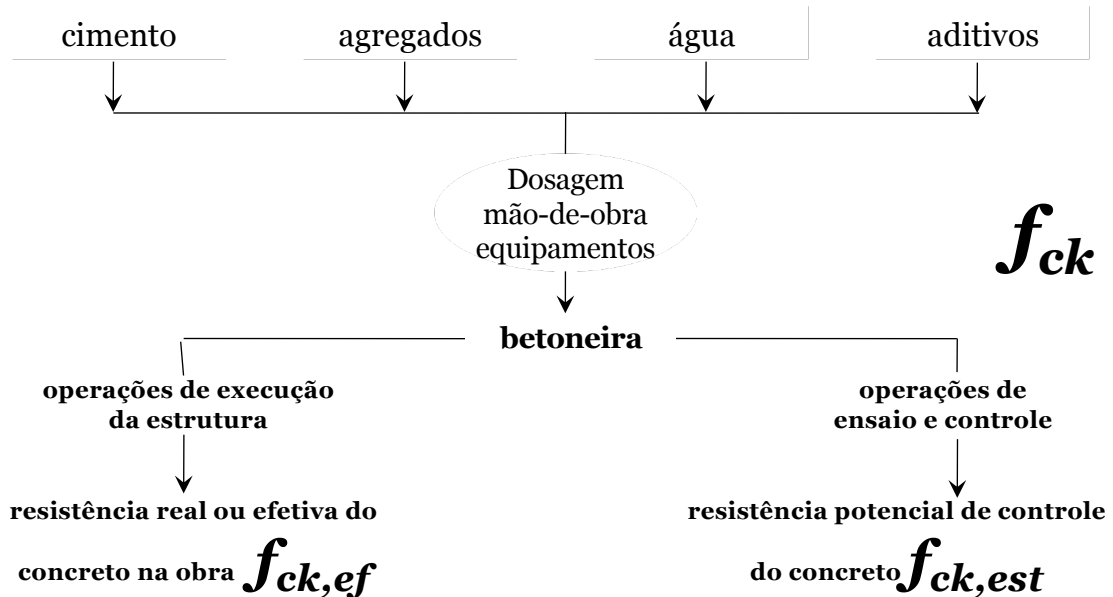
8

resistência do concreto



9

resistência do concreto

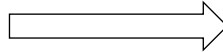


10

resistência do concreto

PROJETISTA ESTRUTURAL

f_{ck}
28d



referencial

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4$$

11

resistência do concreto

TECNOLOGISTA DE CONCRETO

NBR 12655; NBR 5738 E NBR 5739

- ✓ **Geometria: $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$ ou 15×30**
- ✓ **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**

12

resistência do concreto

TECNOLOGISTA DE CONCRETO

NBR 12655; NBR 5738 E NBR 5739

*pode
melhorar?*

- ✓ **Geometria: $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$ ou 15×30**
- ✓ **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**

13

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”

14

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

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

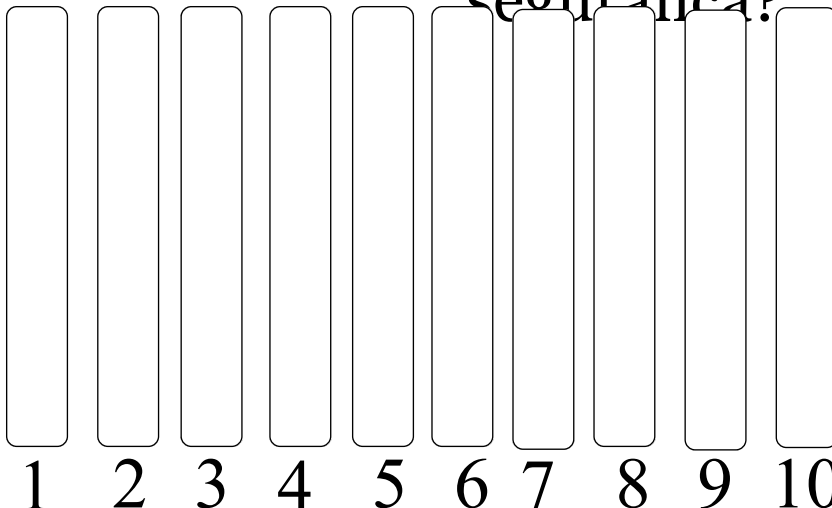
exemplar = mais alto (f_{ck})

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

“potencial do concreto”

15

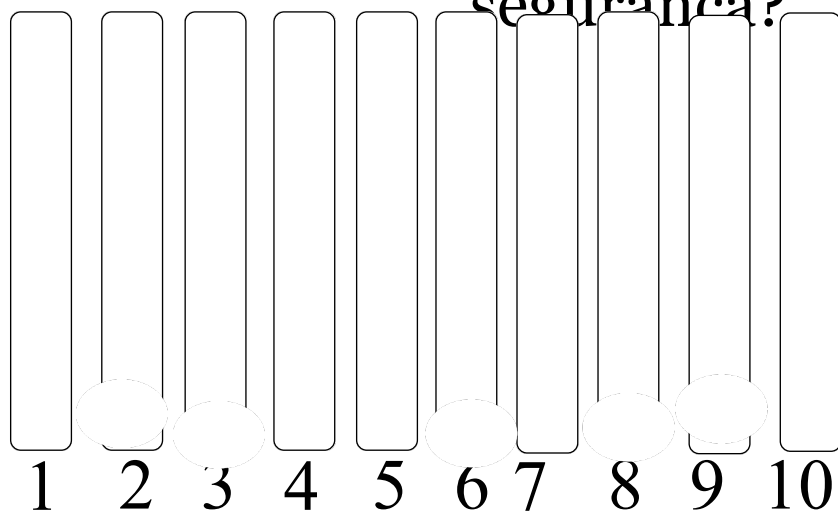
com esse concreto foram construídos 10 pilares. qual a resistência do concreto nesses pilares para fins de verificação da segurança?



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

16

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

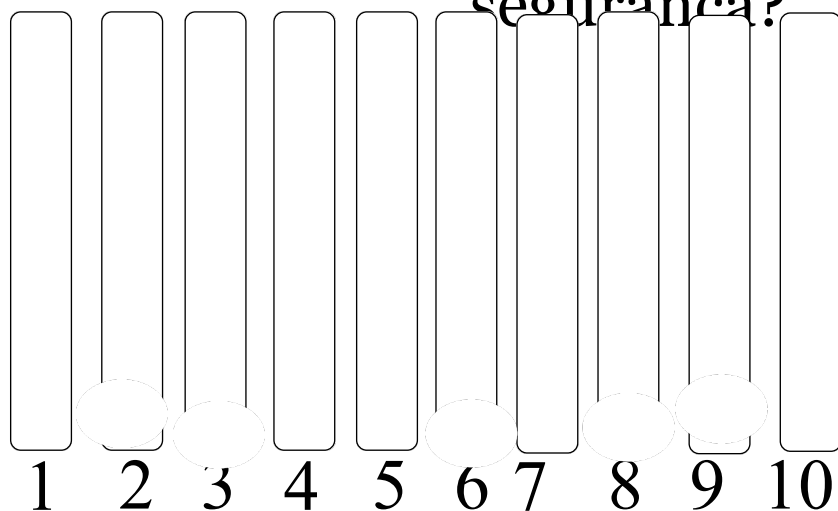


17



18

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



f_{ck}
45MPa

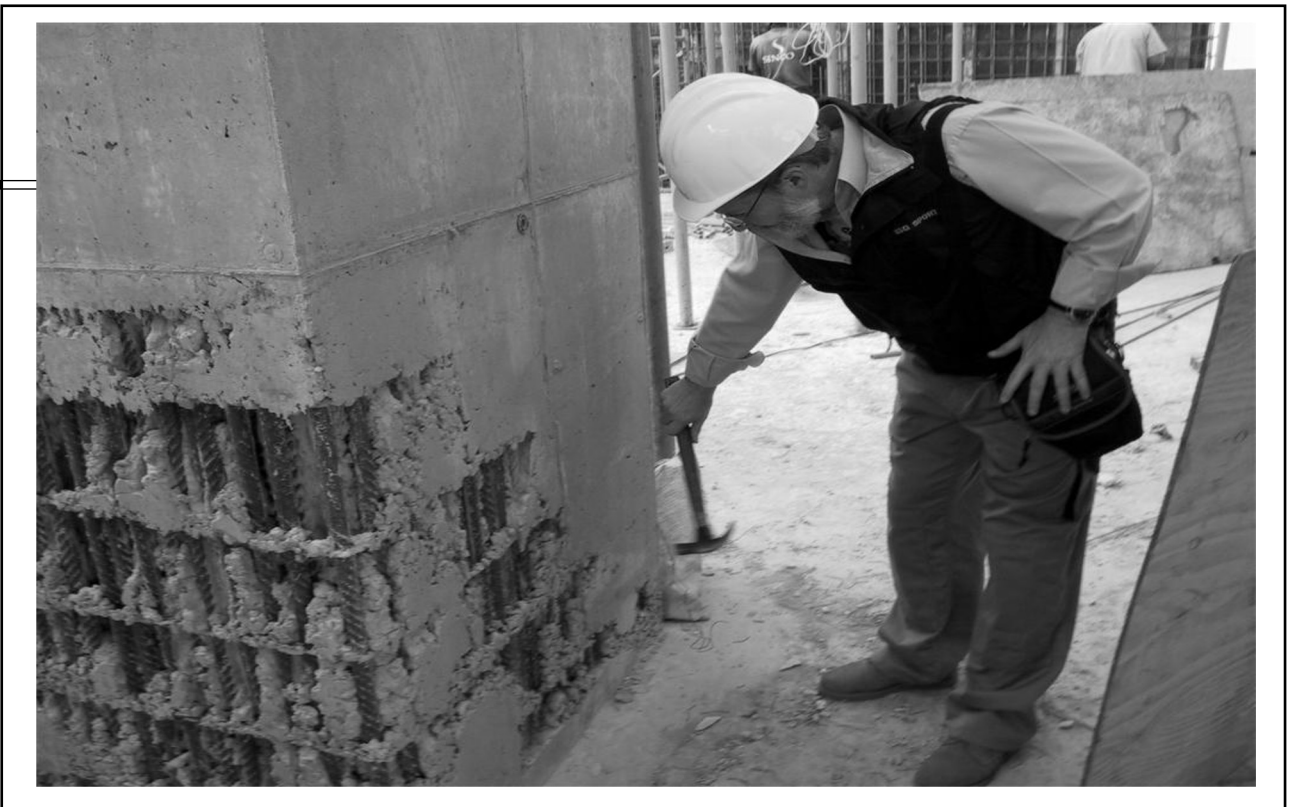
19



20

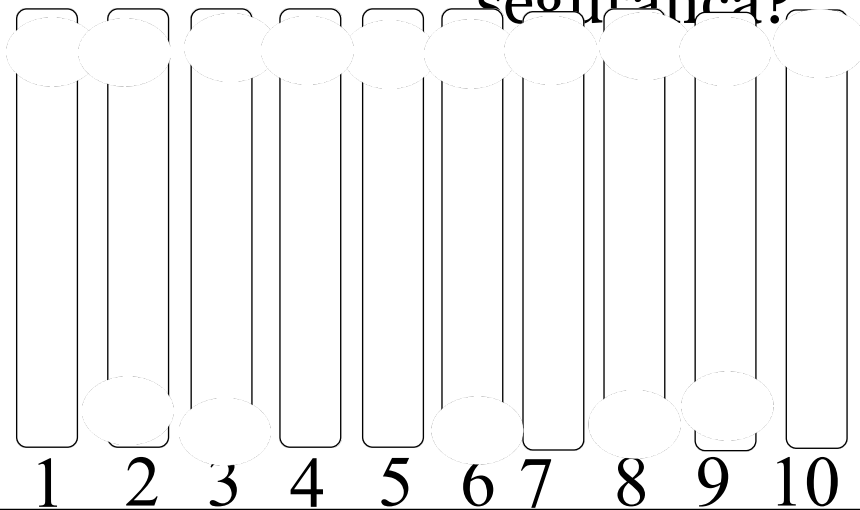


21



22

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



f_{ck}
45MPa

23

Edifício Emblemático

Alphaville, São Paulo

50MPa

35 andares

Comercial

ninho de concretagem

24



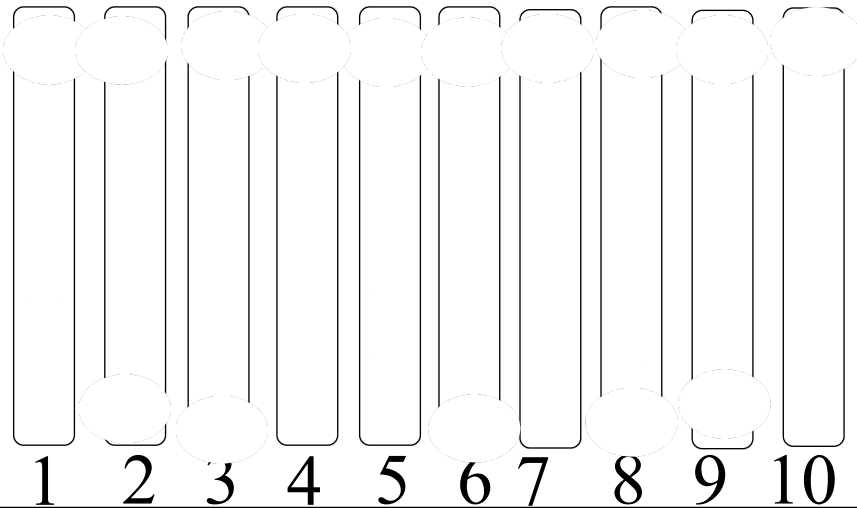
25



26

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

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

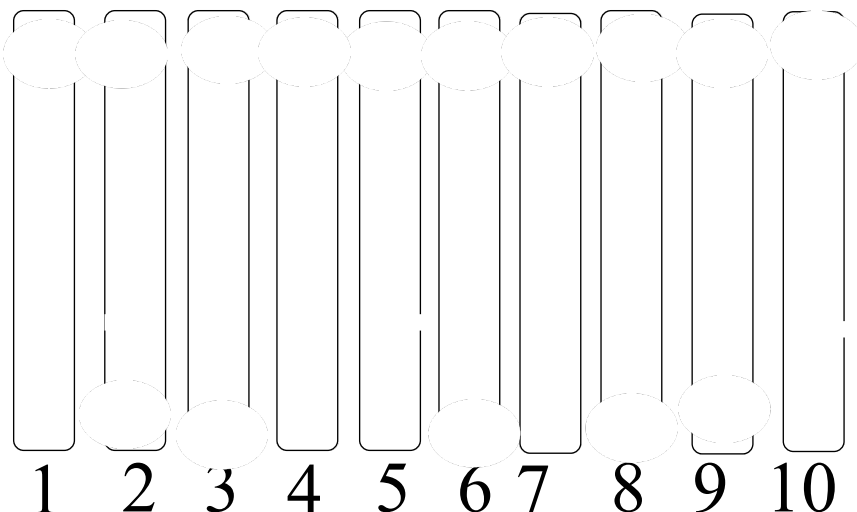


terço inferior

27

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

28

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 |
| f_{cm} (MPa) | 34.8 |
| s_c (MPa) | 2.8 |
| v_c (%) | 8% |
| $f_{ck,est}$ (MPa) | 29.0 |

29

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 |
| f_{cm} (MPa) | 36.4 |
| s_c (MPa) | 1.5 |
| v_c (%) | 4 |

30

Definições

f_{cd} → resistência de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

σ_{cd} → tensão de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural (28dias)

$f_{ck,est}$ → resistência característica do concreto à compressão estimada a partir de cps moldados (28 dias)

$f_{c,ext,j}$ → resistência do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos na idade j (dias)

31

$f_{ck,ef}$ → impossível de ser conhecido

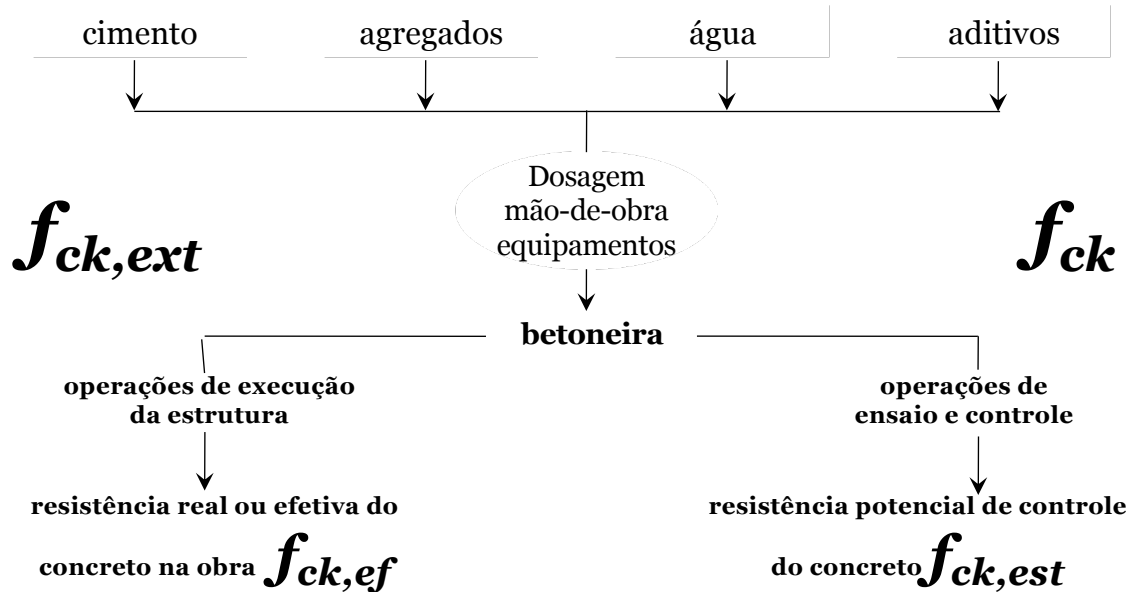
$$f_{ck,ef} \approx f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{ck} = 30MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 21,4MPa$$

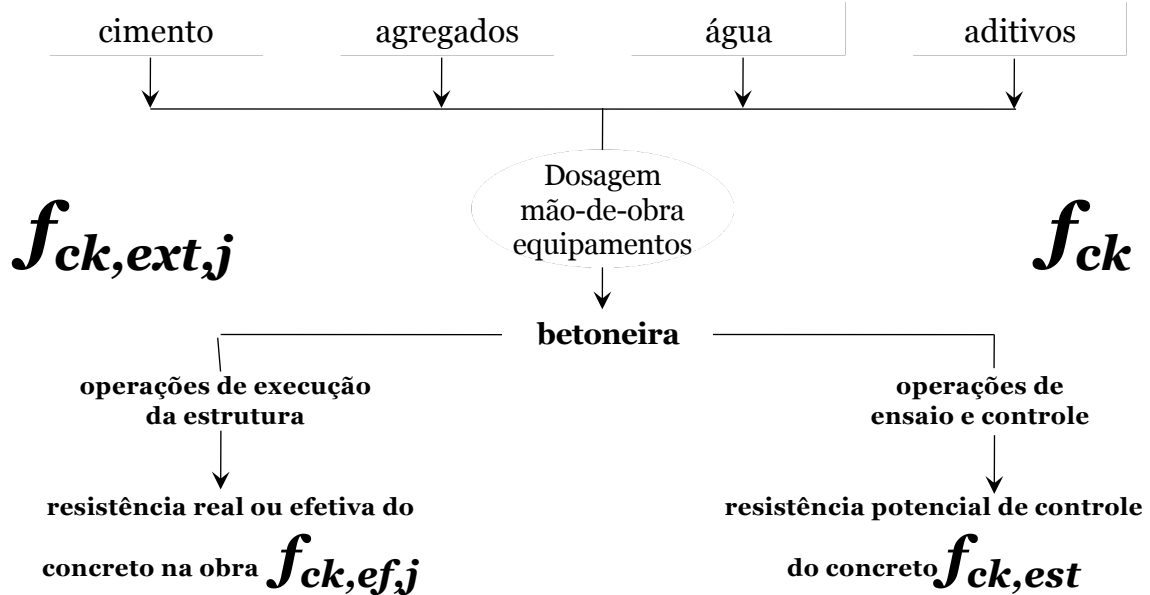
32

resistência do concreto



33

resistência do concreto



34

Preliminares

Um concreto conforme é aquele que apresenta resistência à compressão igual ou superior ao f_{ck} de projeto em 95% do volume de concreto da estrutura em construção.

Por exemplo: numa estrutura de edifício com 20 andares de $100m^3$ por andar resulta um volume total da ordem de $2.000m^3$ de concreto.

Em princípio $100m^3$ (cerca de 12 caminhões-betoneira) poderia apresentar resistência abaixo de f_{ck} e o

✓

35

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 milhares !

36

Preliminares

→ *Durante o controle de recebimento (obra):*

$$f_{ck,est} < f_{ck}$$

Pode haver problemas na produção do concreto → CONCRETEIRA

Pode haver problemas no controle → LABORATÓRIO

→ **Precisa extrair testemunhos:**

Pode haver problemas na execução → CONSTRUTORA

Pode haver problemas nos ensaios → (outro) LABORATÓRIO

37

concreto em estrutura existente

- ✓ 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

38

Normatização 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*

39

Normatização 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-08 Building Code Requirements for Structural*

40

Normatização 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*

41

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.

2.4.2.4 Partial factors for materials

1. Partial factors for materials for ultimate limit states, γ_c and γ_s should be used.

Note: The recommended values for design situations are given in Table 2.1N.

these are not valid for fire design for which reference should be made to EN 1992-1-2.

Table 2.1N- Partial factors for materials for ultimate limit states

| design situations | γ_c for concrete | γ_s for reinforcing steel |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| persistent & transient | 1,5 | 1,15 |
| accidental | 1,2 | 1 |

42

**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.~~**

2. The values for partial factors for materials for serviceability limit state verification should be taken as those given in the particular clauses of this Eurocode. **Note:** The recommended value for situations not covered by particular clauses of this Eurocode is **1,00**.

3. Lower values of γ_c and γ_s may be used if justified by measures reducing the uncertainty in the calculated resistance. **Note:** Information is given in Informative Annex A.

Annex A → Modification of Partial Factors for Materials
A.2 In situ concrete structures

43

**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.~~**

(1) If execution is subjected to a quality control system, which ensures that unfavorable deviations of cross-section dimensions are within the reduced deviations given in Table A.1, the partial safety factor for reinforcement may be reduced to $\gamma_{s,red1} = 1,1$.

(2) Under the condition given in A.2.1 (1), and if the coefficient of variation of the concrete strength is shown not to exceed 10 %, the partial safety factor for concrete may be reduced to $\gamma_{s,red1} = 1,4$.

A 2.2 Reduction based on using reduced or measured geometrical data in design

44

**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.**

(1) If the calculation of design resistance is based on critical geometrical data, including effective depth, which are either: a. reduced by deviations, or, b. measured in the finished structure, the partial safety factors may be reduced to $\gamma_{s,red2} = 1,05$ and $\gamma_{c,red2} = 1,45$.

(2) Under the conditions given in A.2.2 (1) and provided that the coefficient of variation of the concrete strength is shown not to exceed 10%, the partial factor for concrete may be reduced to $\gamma_{c,red3} = 1,35$.

A 2.2 Reduction based on assessment of concrete strength in finished structure

45

**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.**

(1) For concrete strength values based on testing in a finished structure or element, see EN 137911, EN 206-1 and relevant product standards, γ_c may be reduced by the conversion factor $\eta = 0,85$, ou seja, aumentar de 18% (1/0,85)

Resumindo:

✓ estrutura bem executada → revisar a segurança adotando:

$\gamma_s = 1.05$ (ao invés de 1.15)

$\gamma_c = 1.35$ (ao invés de 1.50)

46

**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

47

**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 ϕ but ϕ shall be according with Table 20.2.5.1

| 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 |

48

***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, γ_c de 1,5 para γ_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 γ_c para até 1,22.*

49

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

50

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 β 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 γ_M de minoração da resistência dos materiais ou β de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto

51

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

52

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

53

OBJETIVO

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

54

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^3
 - média de 6 cps moldados por lote → 28dias
 - média de 6 cps extraídos por lote → 28dias

55

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

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

56

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

57

Problema

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

58

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,

59

$k_1 \rightarrow$ 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*.

| relação h/d | $k_1(NBR 7680)$ | ASTM C 42 | BS 1881 |
|-------------|-----------------|-----------|---------|
| 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 1,75 | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| 1,50 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| 1,25 | 0,93 | 0,93 | 0,94 |
| 1,00 | 0,87 | 0,87 | 0,92 |

60

$k_2 \rightarrow$ broqueamento

k_2 = coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 \rightarrow 1,06

61

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

62

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 NBR 5738 / 5739 (28dias) *10cm x 20cm & 15cm x 30cm*
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos

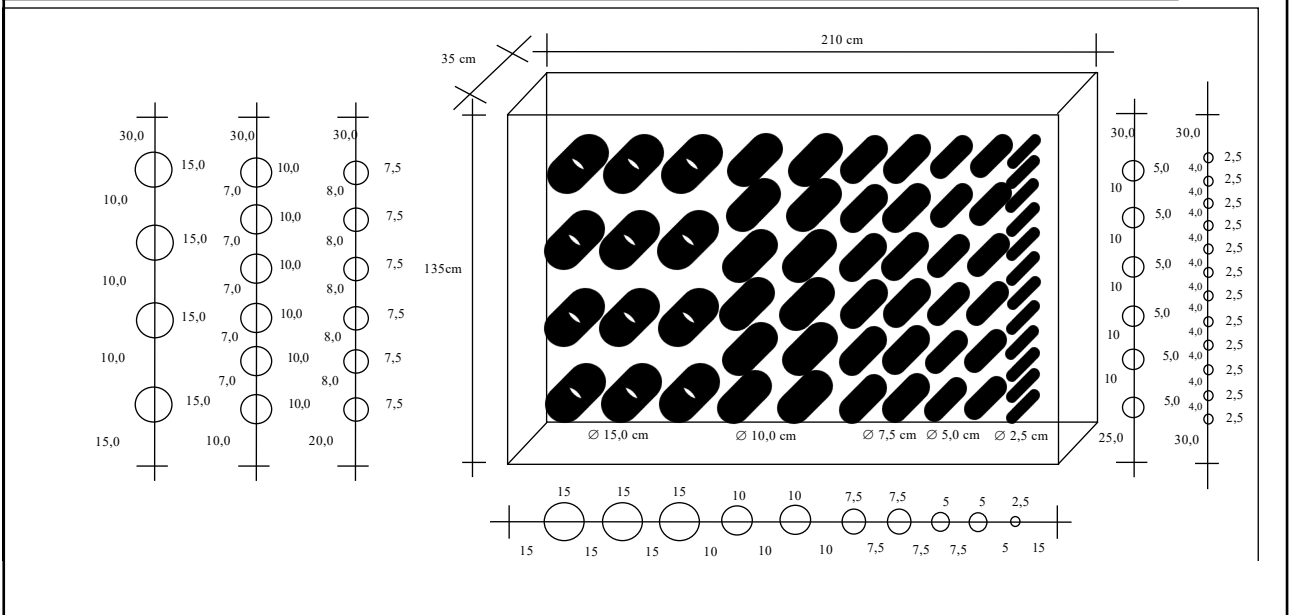
63

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;

64

BLOCO TIPO (210X135X35)cm



65



66



67



Parede/bloco perfurada

68

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

69

$k_2 \rightarrow$ 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" |
|---|---|
| 1,06 | 1,07 |

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

70

$k_3 \rightarrow$ cura

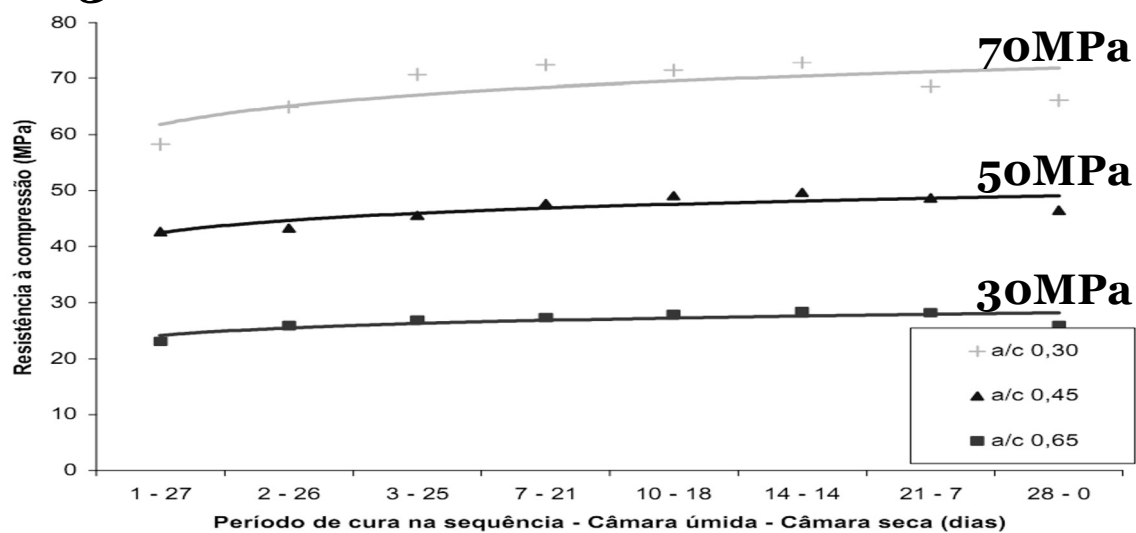
k_3 = coeficiente devido a deficiências de cura do concreto na obra.

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

71

$k_3 \rightarrow$ cura para $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$

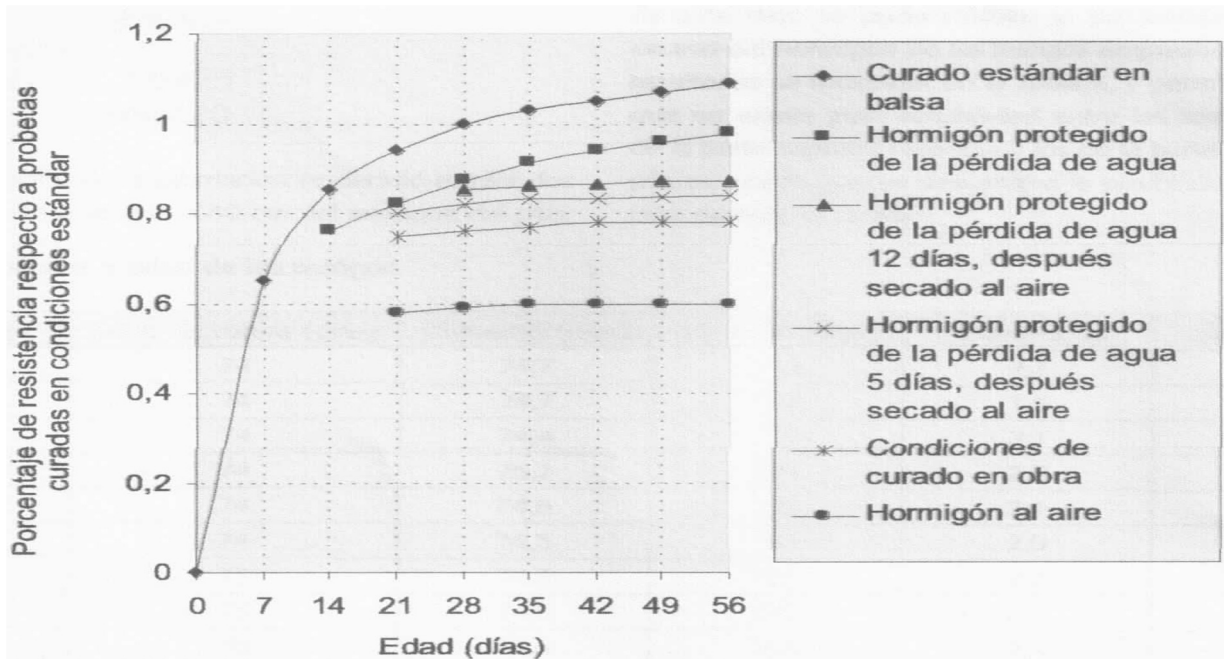


Influência da cura na resistência à compressão dos concretos

BATTAGIN, A.F.; CURTI, R.; SILVA, C.O. & MUNHOZ, F.C. *Influência das Condições de Cura em Algumas Propriedades dos Concretos*. IBRACON. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

72

Efeito da cura na resistência $k_3 \rightarrow$ cura para $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$



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

73

Efeito da cura na resistência $k_3 \rightarrow$ cura para $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$

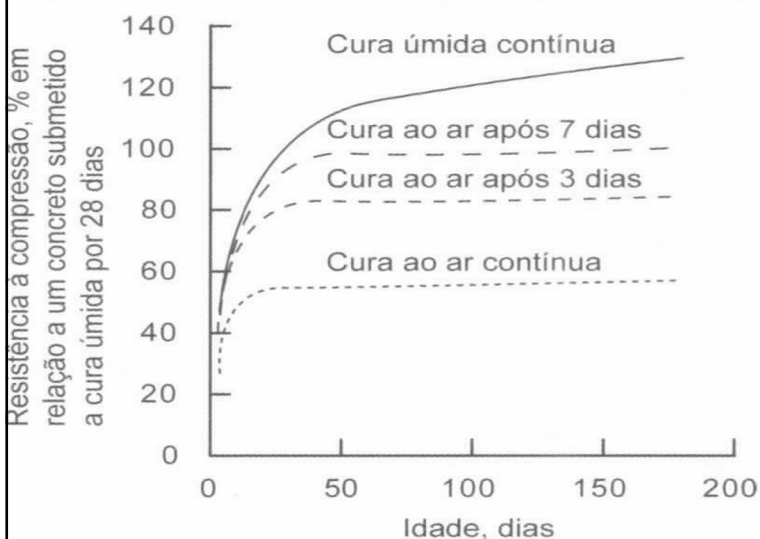


Figura 3-8 Influência das condições de cura sobre a resistência (*Concrete Manual*, 8th ed., U.S. Bureau of Reclamation, 1981).

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^{ra} Edição, p. 62, 2008.

74

Efeito da temperatura nas propriedades do concreto

$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ – referência $UR = 100\%$

24h a 72h

| θ | 25 MPa | 50 MPa | 80 MPa |
|----------|--------|--------|--------|
| 32 a 40 | 0,87 | 0,85 | 0,88 |
| 8 a 15 | 0,90 | 0,94 | 0,96 |
| -5 a 3 | 0,65 | 0,67 | 0,57 |

ACI Materials Journal. Set-Oct. 2011 N. 108, M.5. Effect of Initial On -Site Curing on 28-Day Cylinder Strength. J. Calavera et all. p. 510-515. ISSN 0889-3241/98

75

$k_3 \rightarrow$ cura

k_3 = coeficiente devido a deficiências de cura (e temperatura) do concreto na obra

| referência | condição | coeficiente k_3 |
|-----------------------|---------------|-------------------|
| ACI Materials Journal | > 30°C | 1,10 |
| ACI Materials Journal | <15°C | 1,05 |
| Bureau of Reclamation | ao ar | 1,60 |
| Concrete Society | usual obra | 1,20 |
| Concrete Society | membrana cura | 1,10 |

76

$k_4 \rightarrow$ adensamento

k_4 = coeficiente devido a deficiências de adensamento na obra comparativamente ao adensamento enérgico e ideal do corpo de prova.

77

Fatores de correção por compactação em função do excesso de poros. $k_4 \rightarrow$ adensamento

| porcentagem de ar em excesso | fator de correção por compactação, k_4 |
|------------------------------|--|
| 1,0 | 1,08 |
| 1,5 | 1,13 |
| 2,0 | 1,18 |
| 2,5 | 1,23 |
| 3,0 | 1,28 |
| 3,5 | 1,33 |
| 4,0 | 1,39 |
| 4,5 | 1,45 |
| 5,0 | 1,51 |

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

78

$k_4 \rightarrow$ 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;

79

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

k_5 = coeficiente devido à direção de extração em relação à direção de lançamento e adensamento do concreto.

80

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

| referência | coeficiente k_5 |
|--------------------------------|-------------------|
| Petersons, Nils | 1,12 |
| Delibes Liniers, Adolfo | 1,05 |
| Concrete Society | 1,08 |

- ✓ Petersons, Nils. Recommendation for Estimation of Quality of Concrete in Finished Structures. Stockholm. Materiaux et Constructions, v.4, n. 24, 1977. p 379-97
- ✓ Delibes, Liniers Adolfo. Análisis de la Influencia de Algunas Variables em la Extracción y Ensayo a Compresión de Probetas Testigos de Hormigón. Madrid, Informes de la Construcción, n. 266, 1974. p. 65-79
- ✓ Concrete Society. Concrete Core Testing for Strength. London. Concrete Society Technical Report, .11, 1976.
- ✓ Revuelta Crespo, David & Gutiérrez Jiménez, José Pedro. Ensayos de Información Complementária del Hormigón: Evaluación de la Resistencia a Compresión del Hormigón Mediante Probetas Testigo. Madrid. Hormigón & Acero. Dec. 2000. n. 025

81

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

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

| Pesquisador | coeficiente k_5 |
|-----------------------------|-------------------|
| 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, 2000.

82

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

Segundo *ACI 214:2010*, concreto extraído em direção ortogonal à de lançamento deve ser corrigido de $k_5 = 1,05$, 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;

83

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

k_6 = coeficiente devido às condições de sazonalidade do concreto do testemunho, antes do ensaio de compressão.

84

$k_6 \rightarrow$ sazónamento

- a) A extração é sempre feita, utilizando-se água fria à vontade, com a finalidade de resfriar a coroa e lubrificar a superfície de corte, expulsando o material cortado.
- b) O tempo de extração é variável de um testemunho a outro em função das dificuldades locais e portanto acarretará diferentes graus de umedecimento dos testemunhos;
- c) A extração é normalmente afastada do laboratório o que torna bastante relativo o termo “imediatamente” após extração”;

85

$k_6 \rightarrow$ sazónamento

- d) É necessário o preparo dos topos dos testemunhos através de corte com disco diamantado refrigerado e lubrificado a água fria;
- e) É necessário o tratamento dos topos do testemunho ou retificação com uso de água fria;
- f) Mais rápido ensaiar nessas condições úmidas;
- g) Pode esperar 48h, seca em estufa ventilada ou submerge e satura

86

$k_6 \rightarrow$ sazónamento

Delibes Liniers , Petersons , Bloem , e outros investigadores são unânimes em observar uma baixa acentuada nas resistências obtidas de testemunhos que antes da ruptura foram mantidos submersos em água por 40 horas ou mais.

Chegam a valores de 15 a 20 % inferiores aos obtidos em testemunhos secos ao ambiente de laboratório antes da ruptura.

87

$k_6 \rightarrow$ sazónamento

| sazónamento | coeficiente k_6 |
|--|-------------------------------------|
| 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.

88

Problema

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

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

89

Problemão

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

a $f_{ck,est.28}$

90

SEGURANÇA

critérios de introdução da
segurança no projeto e
construção das estruturas de
concreto, NBR 8681:2003 e
NBR 6118:2007

91

Segurança

Valem critérios da NBR6118:2007, ou seja:

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

92

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

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

$\beta_1 = 1.17 \rightarrow$ 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

93

Premissas

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

94

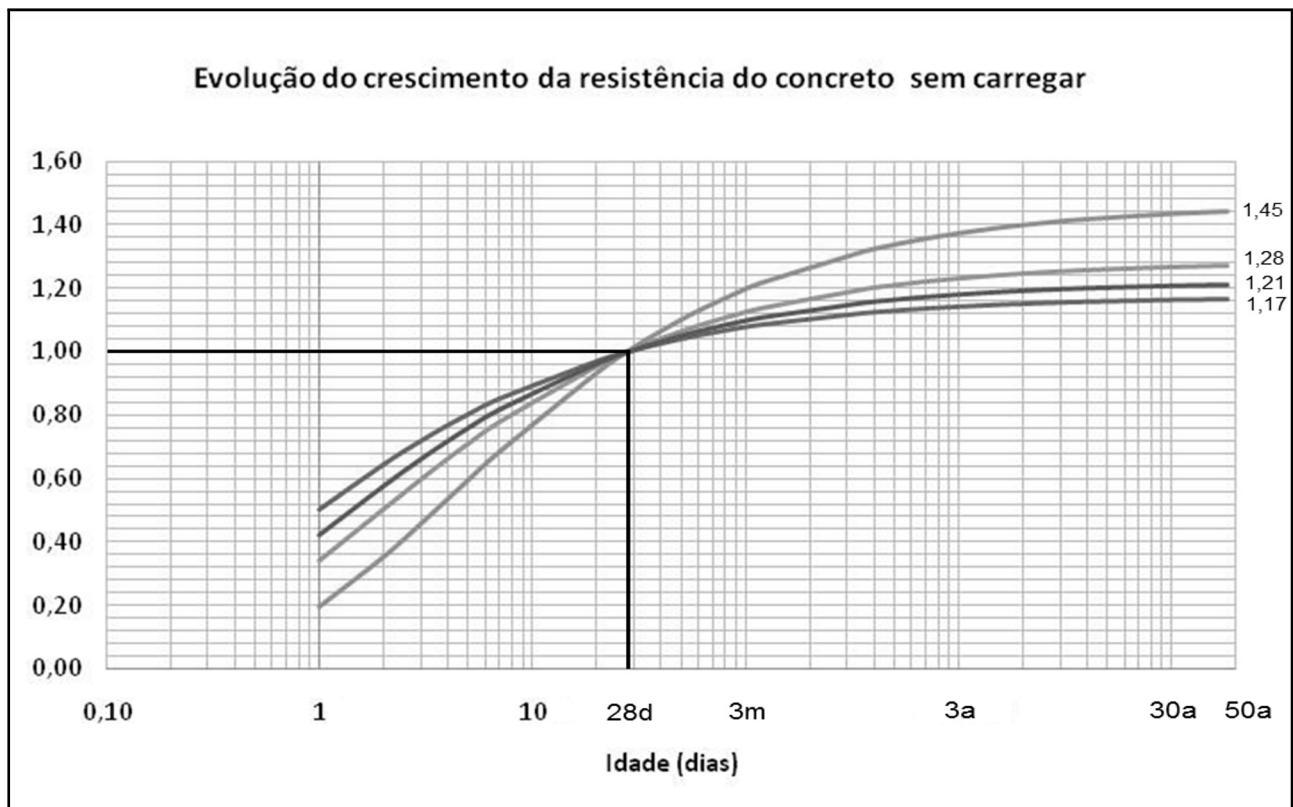
onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

| | | | | |
|-------------|------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 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 |

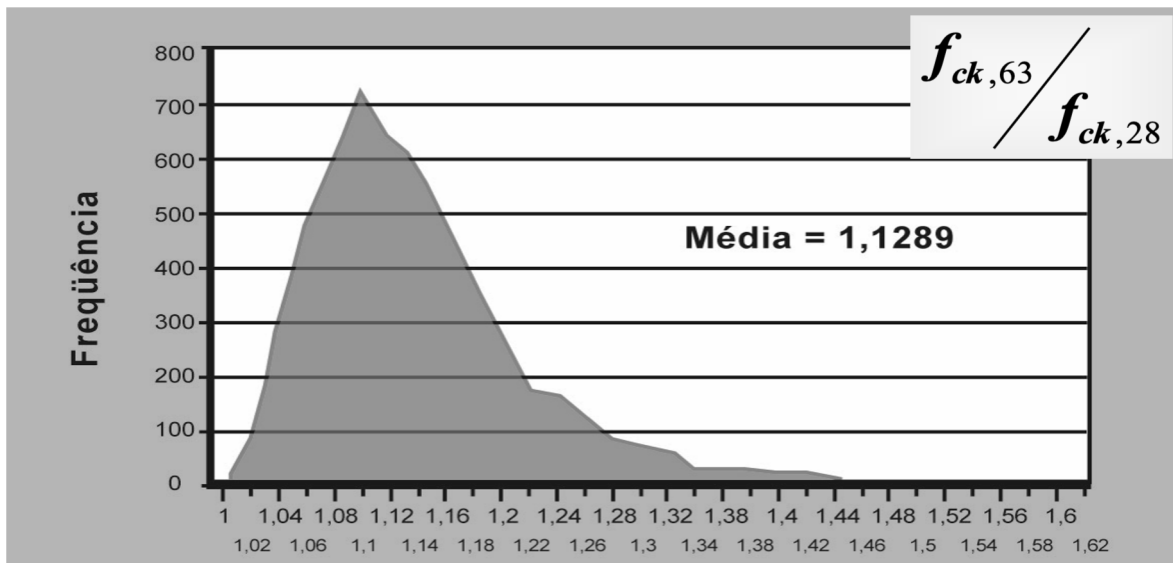
95



96

Análise Geral

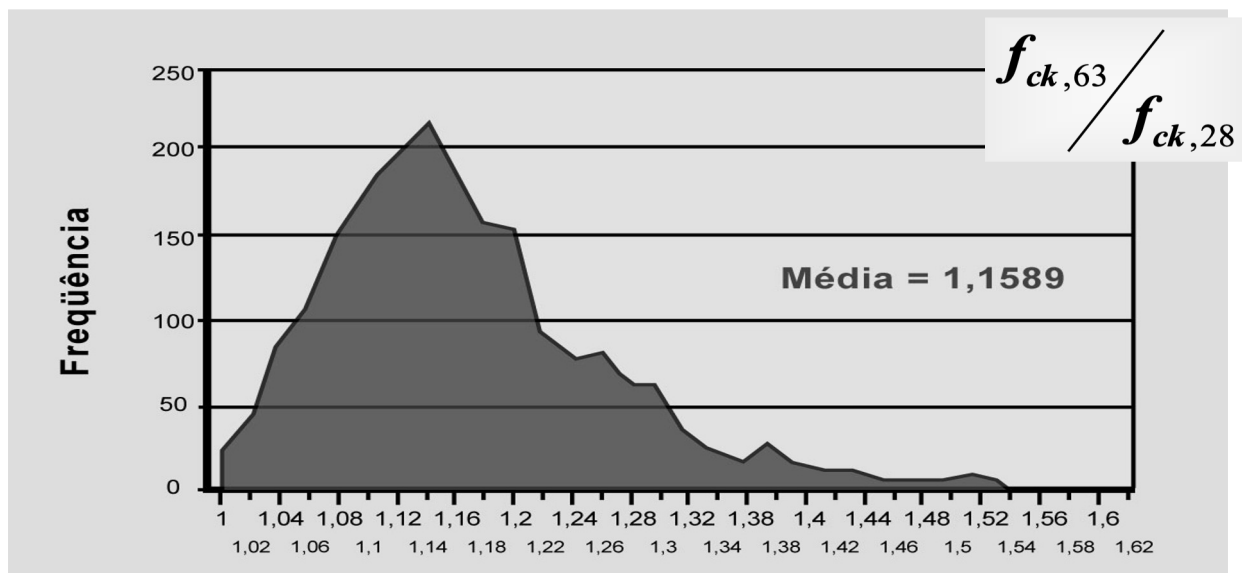
8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



97

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



Direitos Reservados 2009

98

98

Problema

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

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

99

Premissas

**Como decresce a
resistência com o
tempo a partir de**

100

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

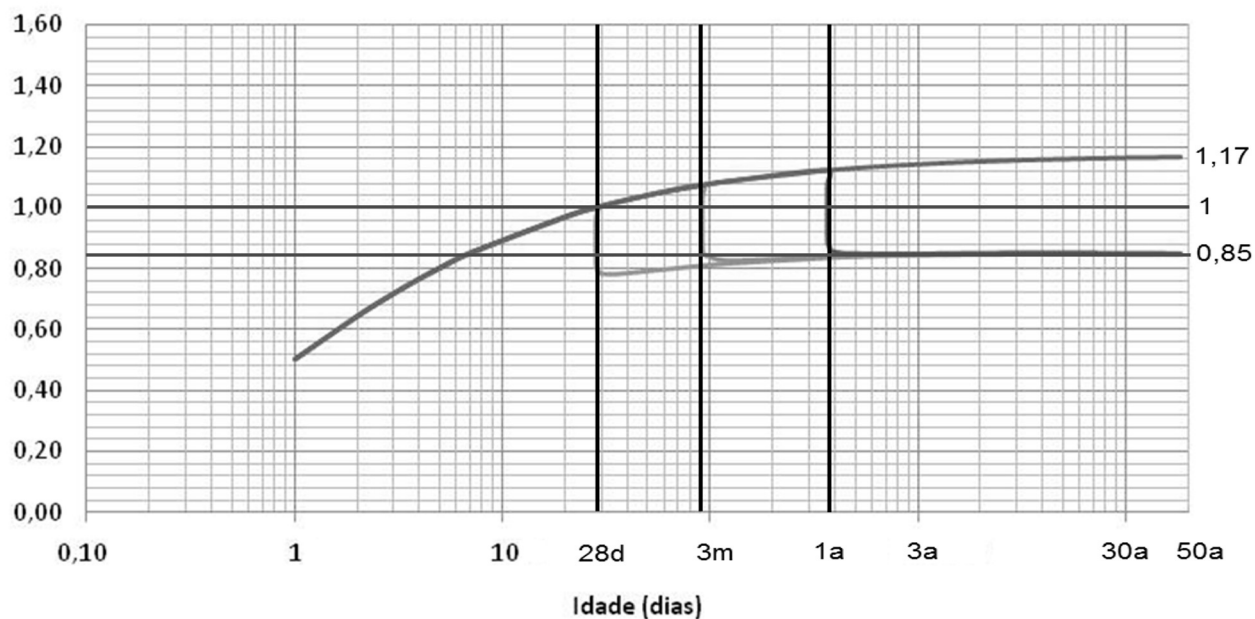
101

Decréscimo da Resistência



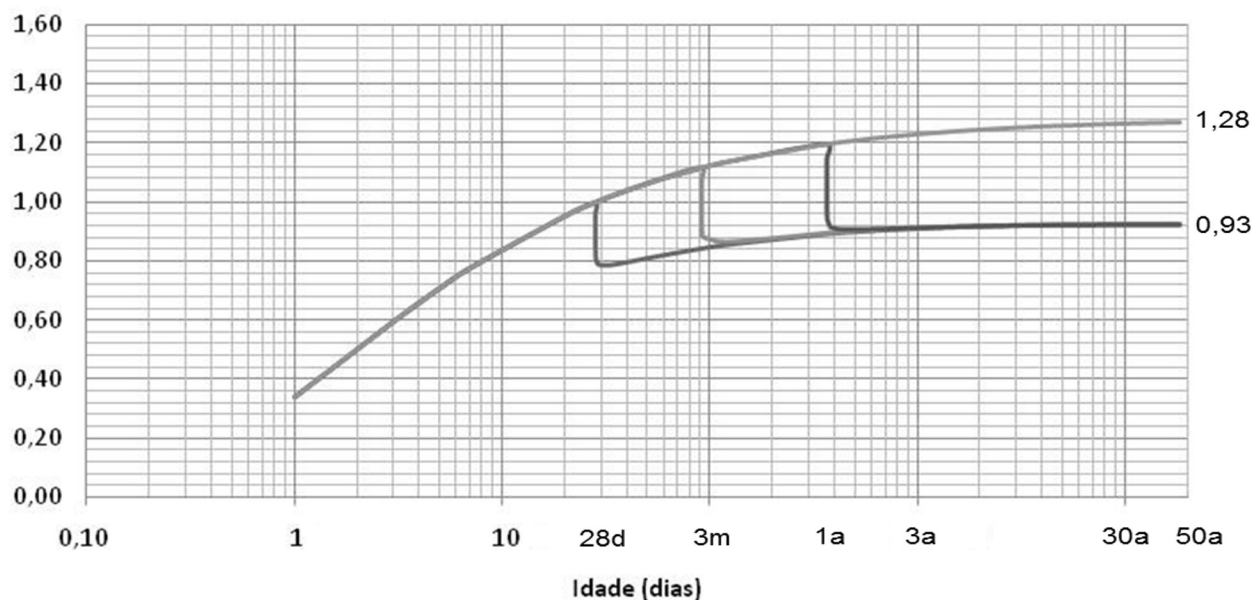
102

Evolução do crescimento do concreto 0,16 carregado

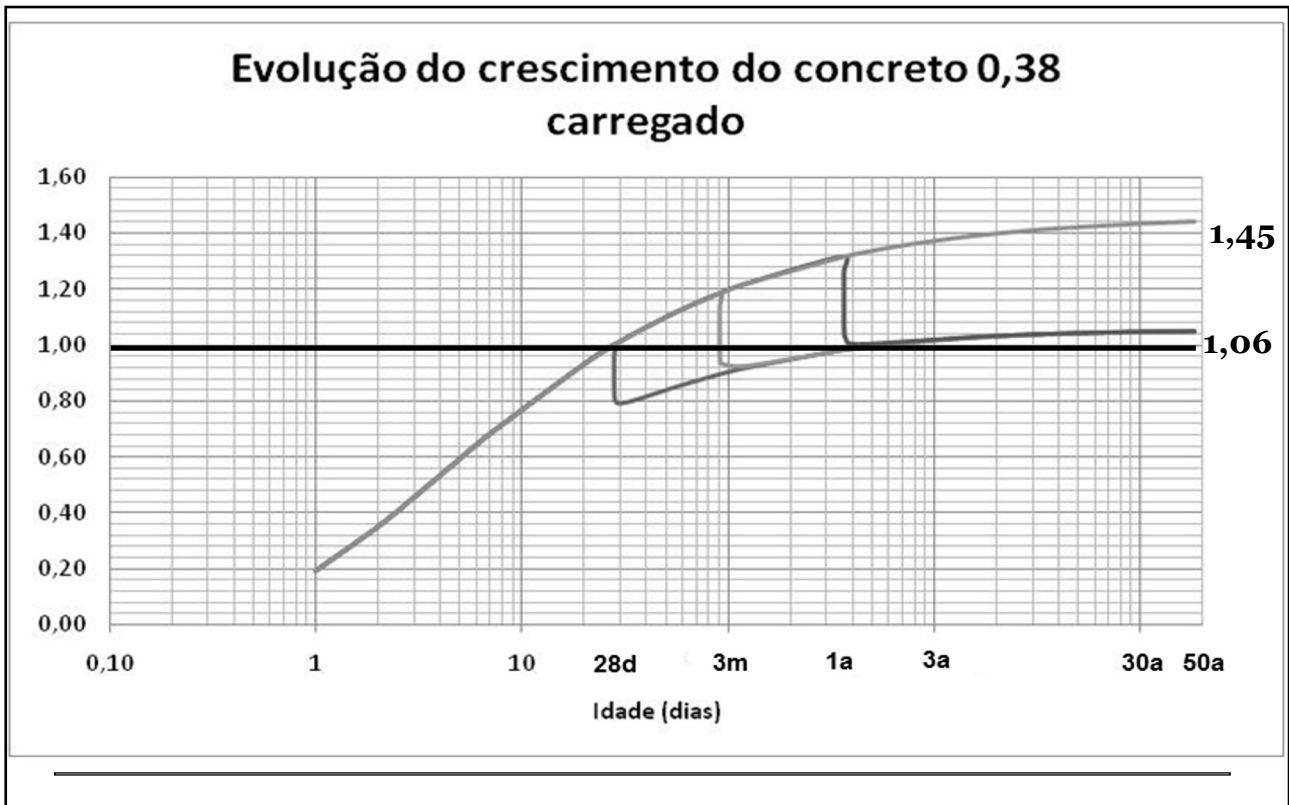


103

Evolução do crescimento do concreto 0,25 carregado



104



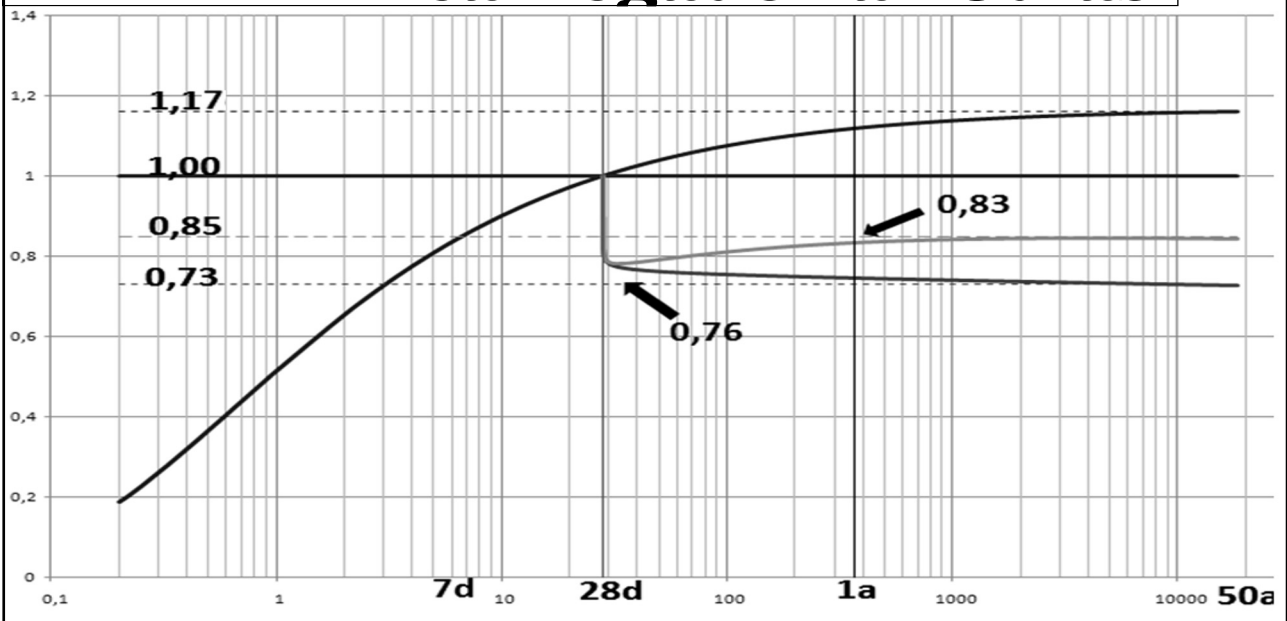
105

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

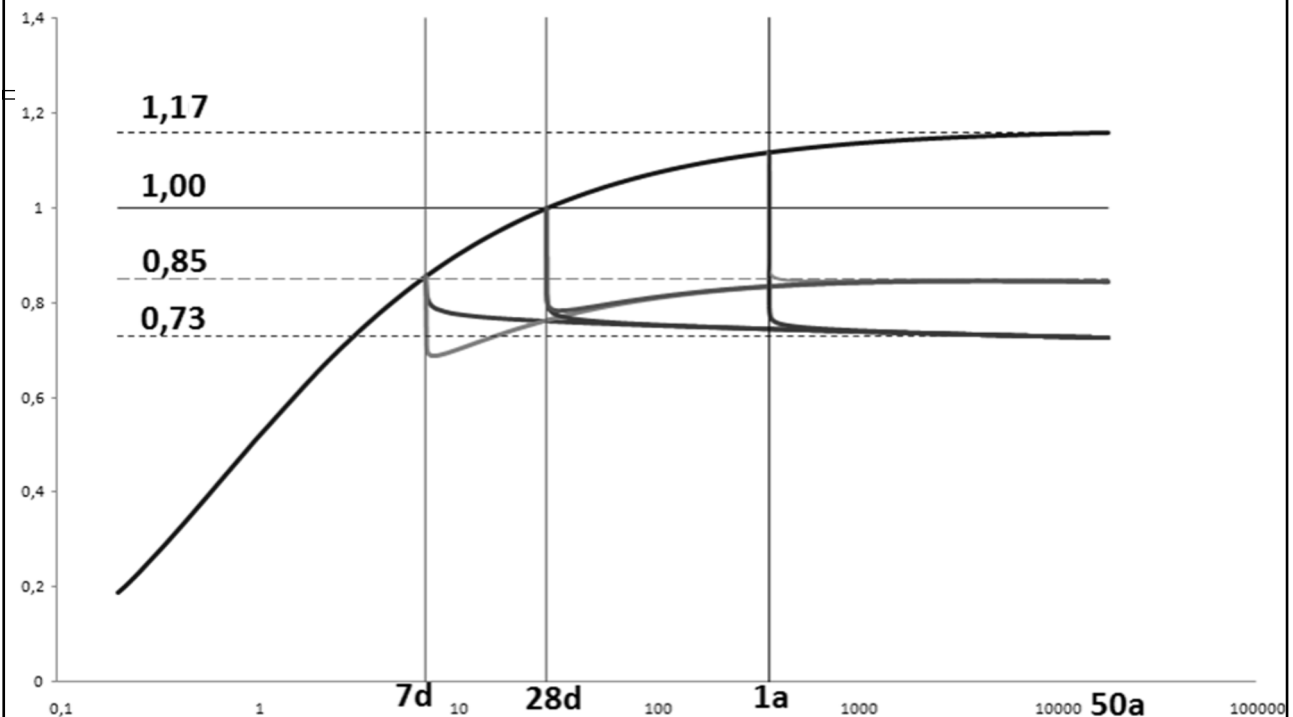
106

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



107

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado aos 7, 28 dias e 1 ano de idade



108

coeficiente $k_7 \rightarrow$ idade

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

para regredir de j dias a 28 dias

109

coeficiente $k_8 \rightarrow$ “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 j dias a 28 dias

110

Problema

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

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

111

encerrando...

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

NBR 8953

obtêm-se →

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

112

Conformidade do Concreto
*Consultores, Projetistas, Controladores,
Gerenciadores, Construtores, Fiscais*

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

113

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...”**

114



115



116