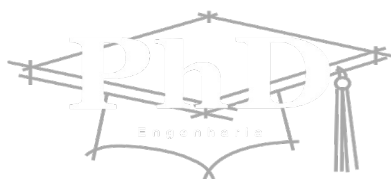




IX Congresso Internacional sobre
Patologia e Recuperação de Estruturas

JOÃO PESSOA, PB - BRASIL

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



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

UFPA

05 de junho de 2013

João Pessoa PA

1



ABNT/CB-18
1º PROJETO ABNT NBR 7680
MAR 2013

Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de resultados de testemunhos de concreto

APRESENTAÇÃO

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

| | | |
|------------|------------|------------|
| 25.03.2011 | 29.04.2011 | 20.05.2011 |
| 16.06.2011 | 22.07.2011 | 18.08.2011 |
| 23.09.2011 | 24.10.2011 | 16.11.2011 |
| 02.03.2012 | 13.04.2012 | |

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

2

Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Normas e/ou documentos complementares
- 3 Amostragem
- 4 Extração
- 5 Armazenamento
- 6 Ensaio de resistência à compressão axial
- 7 Correção relativa às dimensões
- 8 Correção relativa à idade
- 9 Cálculo da resistência característica do concreto
- 10 Apresentação dos resultados

CANCELADO

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições exigíveis na extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos cilíndricos de estruturas de concreto simples, armado ou protendido.

2 NORMAS E/OU DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- | | |
|----------|--|
| NBR 5732 | - Cimento portland comum - Especificação |
| NBR 5733 | - Cimento portland de alta resistência inicial - Especificação |
| NBR 5735 | - Cimento portland de alto forno - Especificação |
| NBR 5736 | - Cimento portland pózolânico - Especificação |

3

ABCP

ABECE

ABESC

Carlos Campos

CAUE

CIMPOR

CONCREMAT

EESC

ENGEMIX

EPT

EXATA

Falcão Bauer

FURNAS

HOLCIM

INTERCEMENT

IPT

LENC

PhD

POLIMIX

QUALITEC

SCAC

SUPERMIX

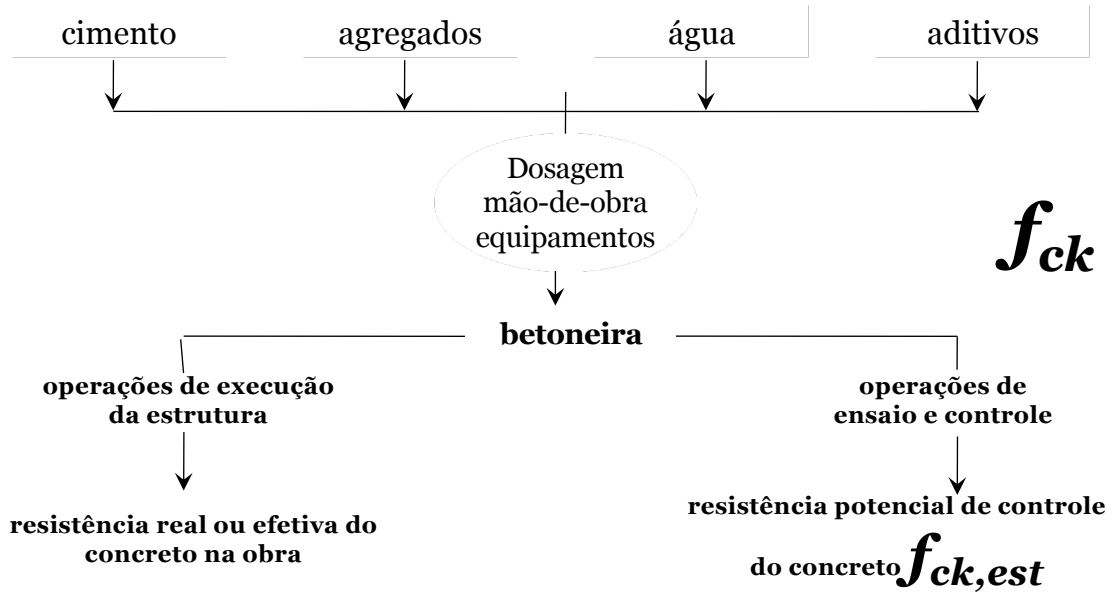
TECMIX

TESTE

VOTORANTIM

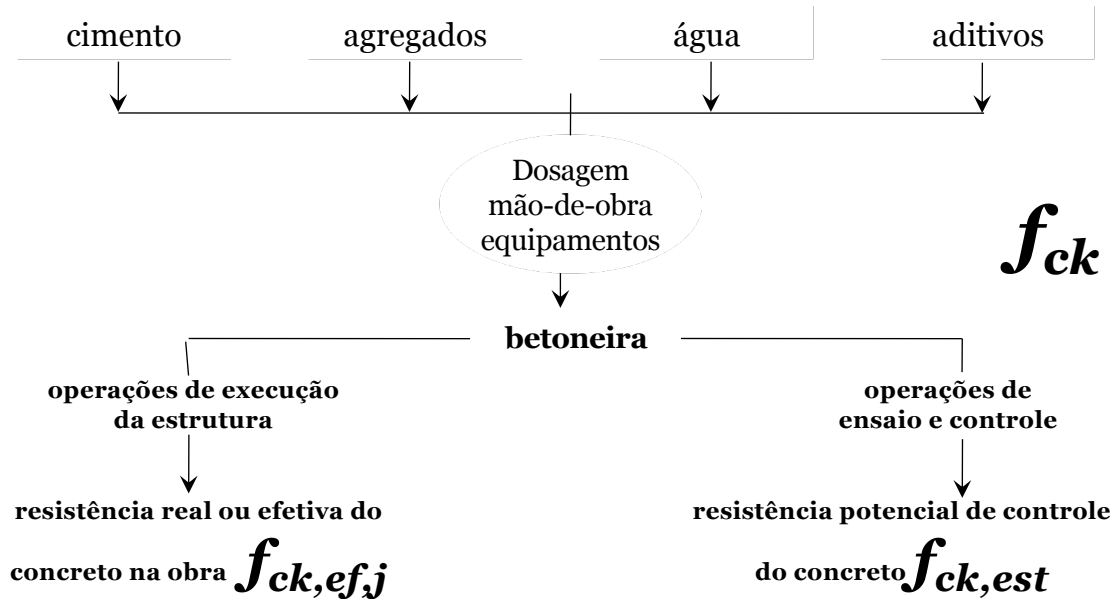
4

resistência do concreto



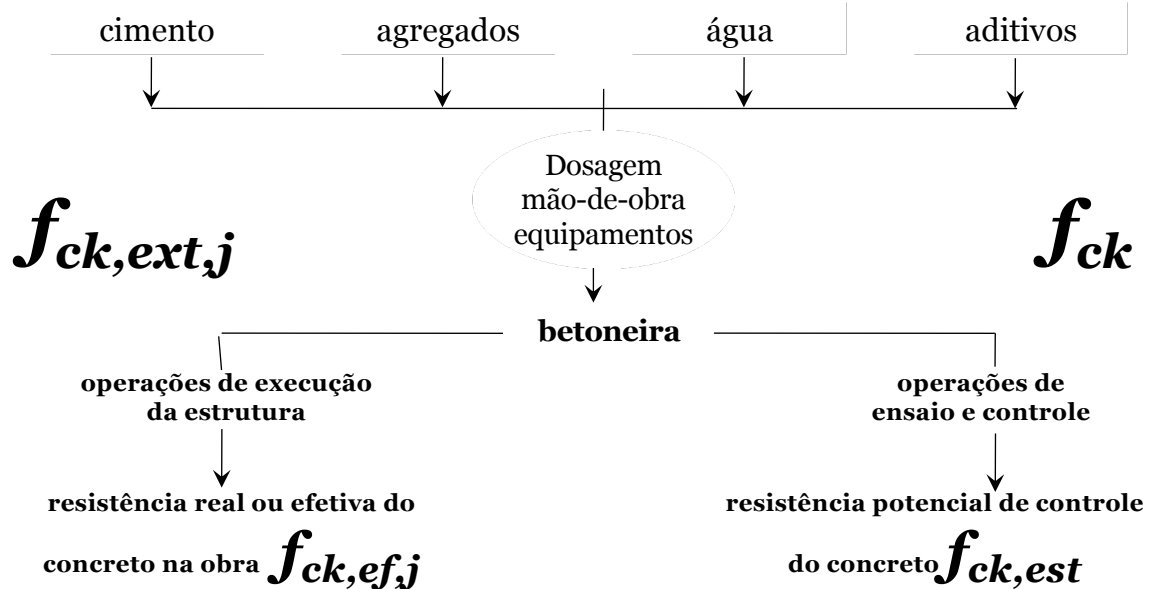
5

resistência do concreto



6

resistência do concreto



7

Preliminares

Conceitos:

→ do que estamos falando?

8

Preliminares

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

9

| ordem | nota fiscal | consistência do concreto fresco | Resistência à Compressão | | crescimento de 7 para 28 dias |
|----------------------------------|-------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|
| | | | 7 dias 7-Apr-09 | 28 dias 28-Apr-09 | |
| 1 | 206099 | 686 | 48.9 | 50.2 | 1.027 |
| 2 | 206100 | 736 | 53.6 | 54.8 | 1.022 |
| 3 | 206101 | 746 | 57.1 | 57.8 | 1.012 |
| 4 | 206102 | 753 | 51.0 | 51.4 | 1.008 |
| 5 | 206103 | 743 | 44.0 | 53.6 | 1.218 |
| 6 | 206105 | 726 | 56.2 | 57.7 | 1.027 |
| 7 | 206106 | 730 | 50.4 | 52.0 | 1.032 |
| 8 | 206109 | 750 | 56.5 | 57.0 | 1.009 |
| 9 | 206110 | 720 | 53.8 | 54.7 | 1.017 |
| média em MPa | | | 52.4 | 54.4 | 1.041 |
| desvio padrão em MPa | | | 4.0 | 2.6 | 0.063 |
| coeficiente variação em % | | | 7.7 | 4.8 | 6.056 |

10



11

Preliminares

Conceitos:

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

12

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

13

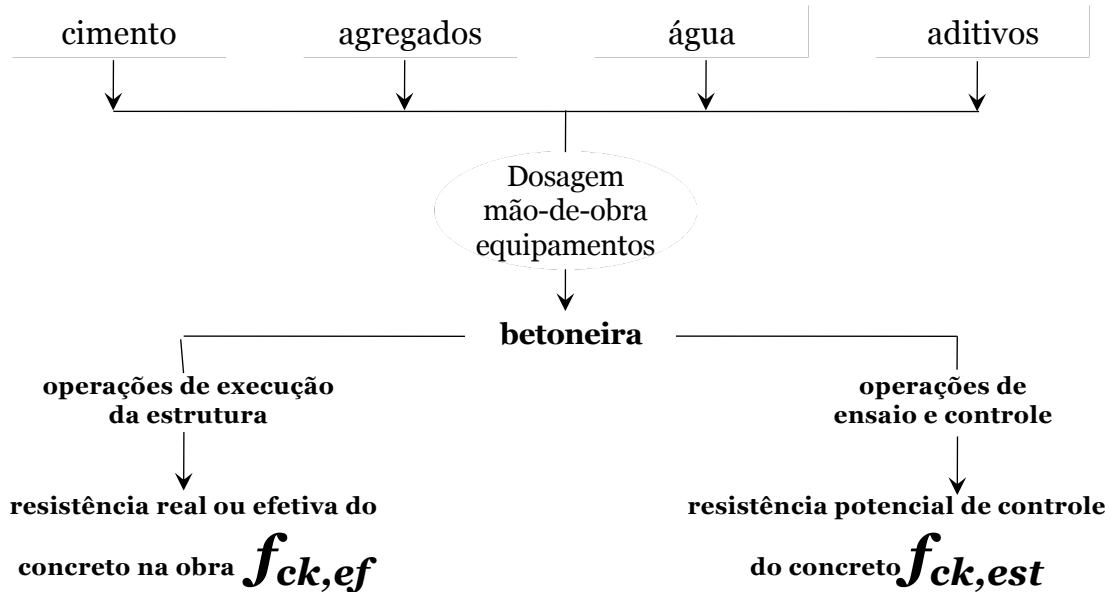
Preliminares

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

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

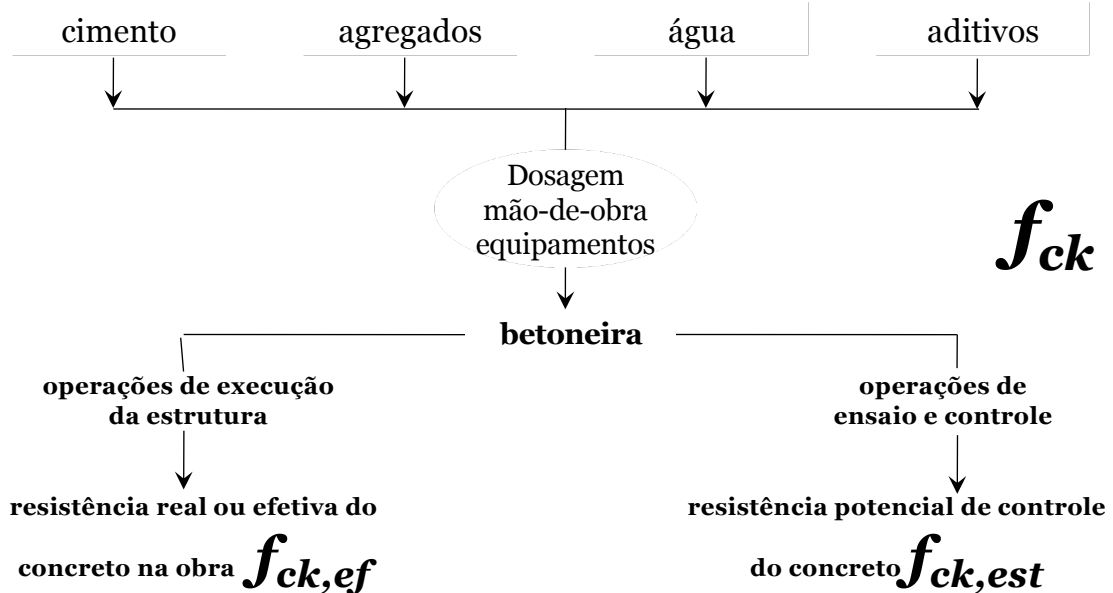
14

resistência do concreto



15

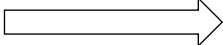
resistência do concreto



16

resistência do concreto

PROJETISTA ESTRUTURAL

f_{ck}
28d  referencial

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

17

resistência do concreto

TECNOLOGIA DO 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*

18

resistência do concreto

TECNOLOGIA DO 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*

19

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”

20

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”

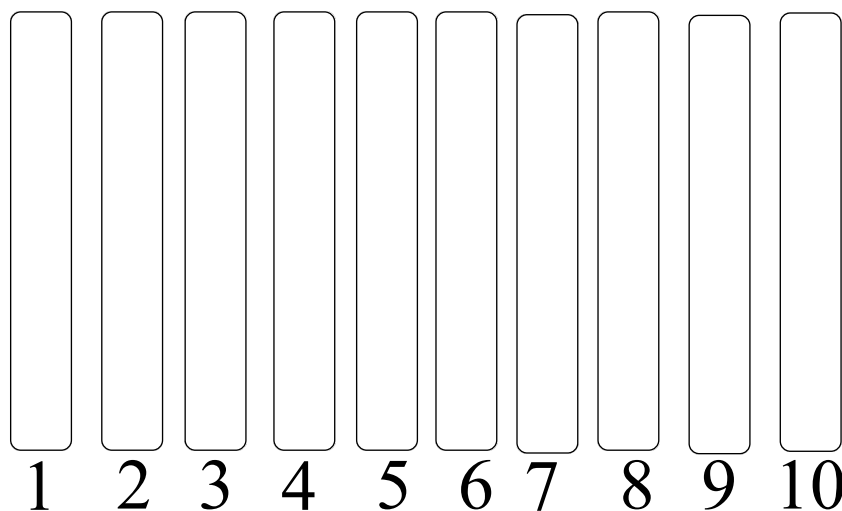
21

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

22

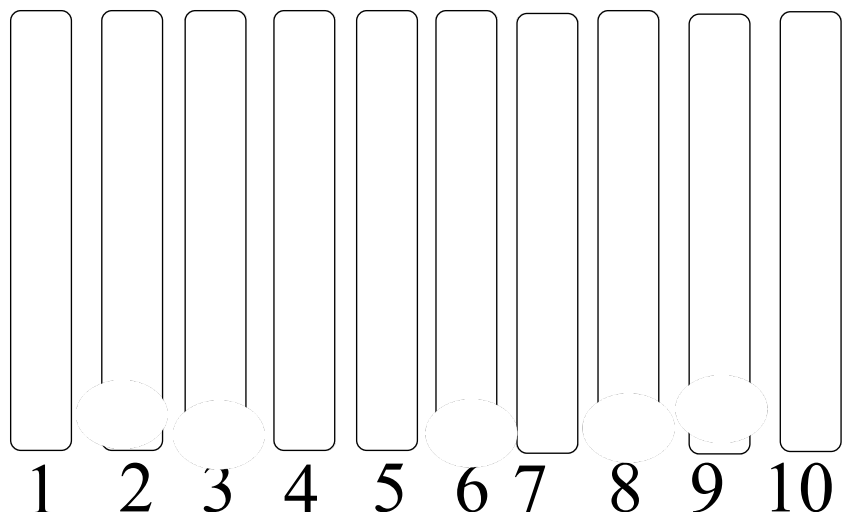
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

23

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



24

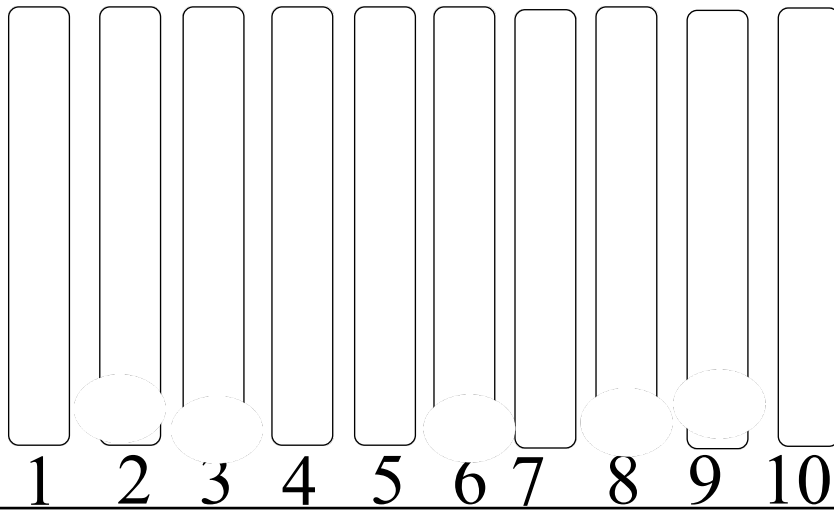


25



26

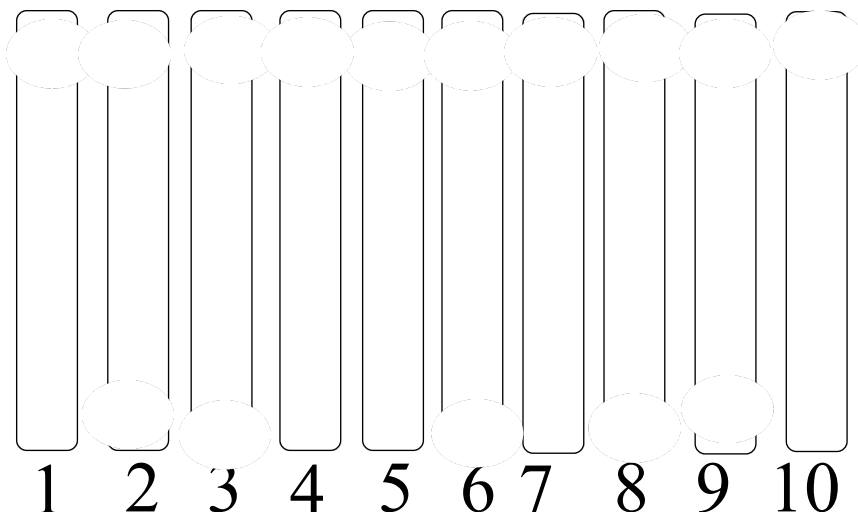
“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

27

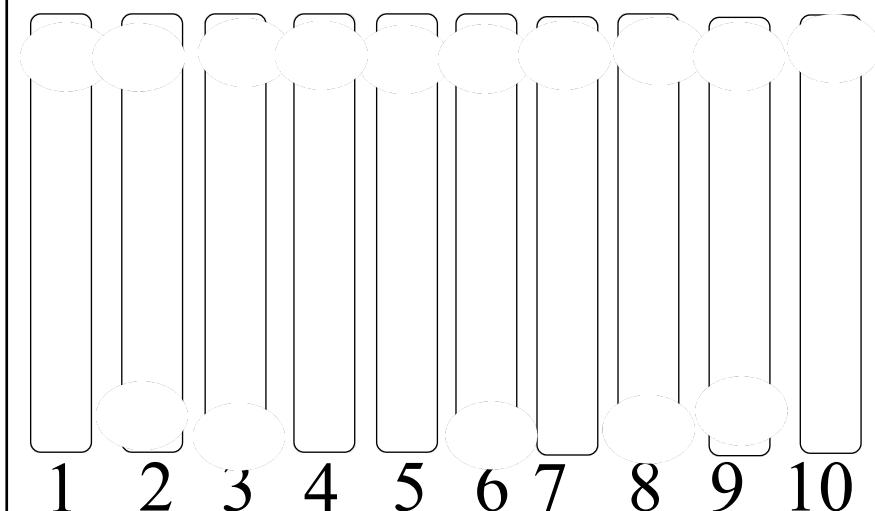
“exsudação”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



28

“exsudação”

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

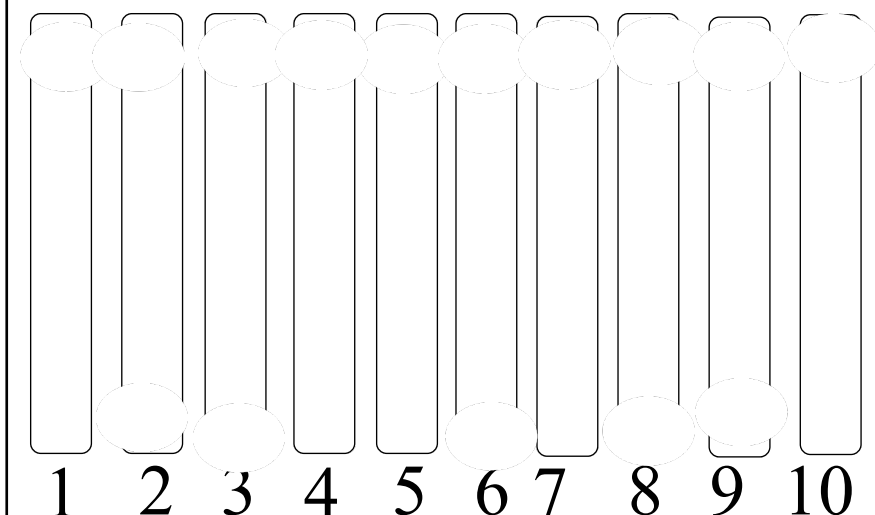


f_{ck}
45MPa

29

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

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

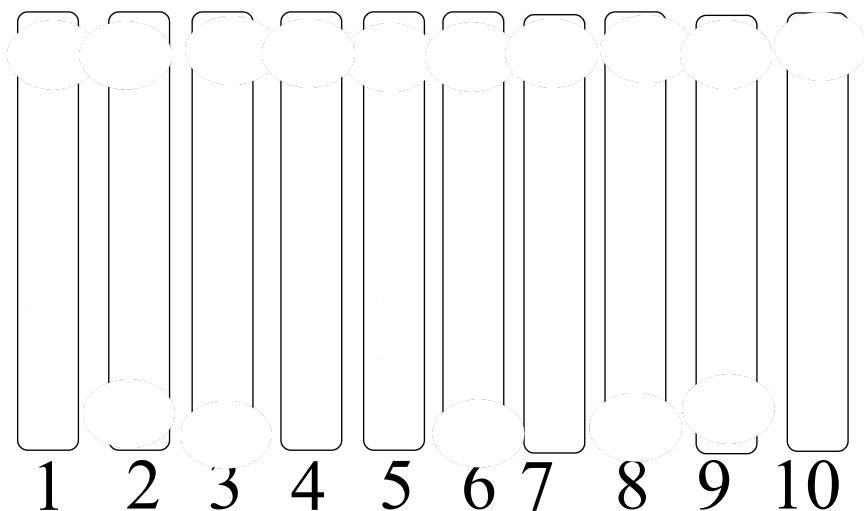


f_{ck}
45MPa

30

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

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

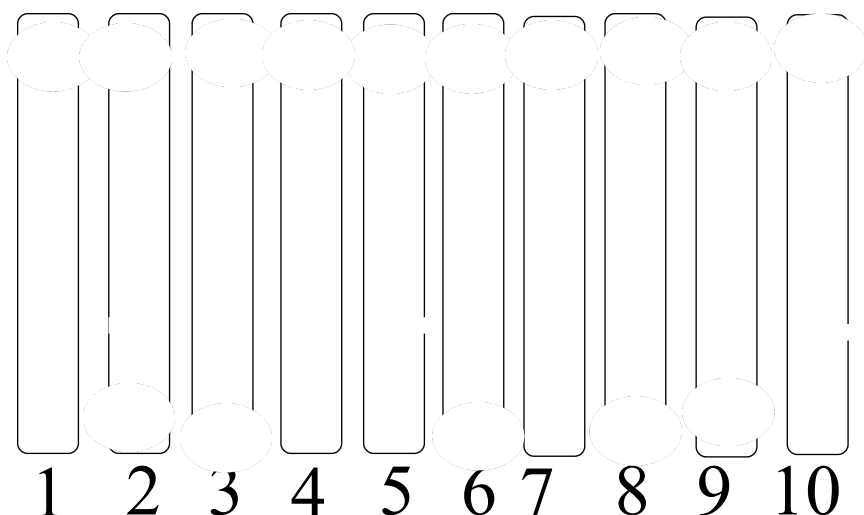


terço inferior

31

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

32

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 |

33

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 |

34

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 (28 dias)

$f_{ck,est}$ → 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)

35

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

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

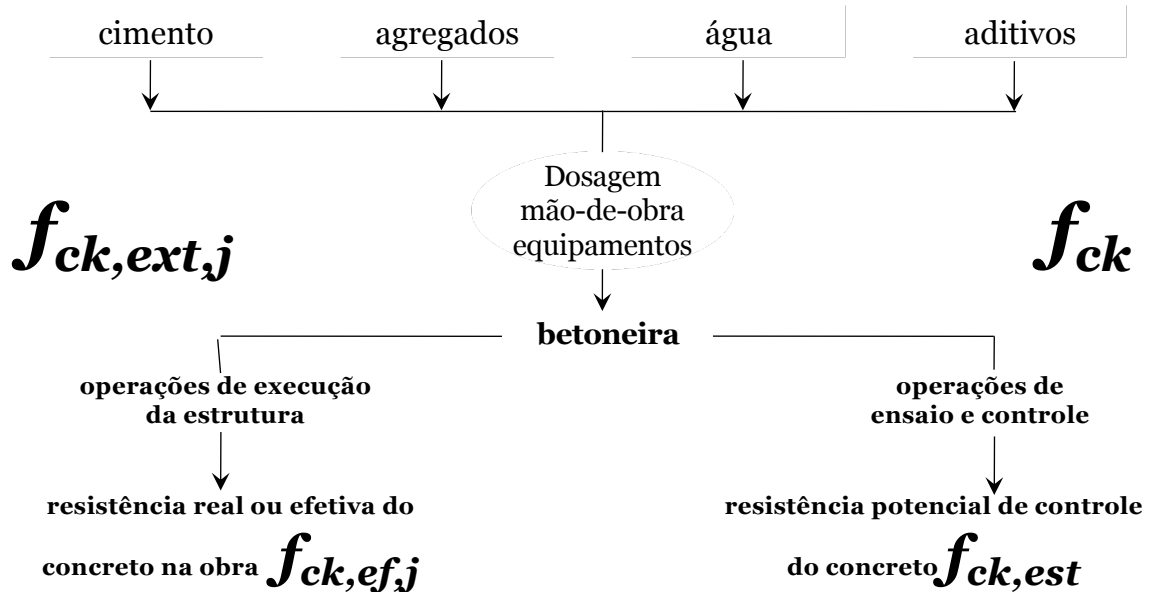
$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{ck} = 20MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 14,2MPa$$

$$f_{ck} = 50MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 35,7MPa$$

36

resistência do concreto



37

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 concreto estaria conforme.

38

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 !

39

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

Pode haver problemas na análise → PROJETISTA / CONSULTOR

40

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

41

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 Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.*

42

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 Concrete. 2008. 470p.*

43

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 Concrete. 2011. 470p.*

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.

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 1992-2.

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 |

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

A.2.1 Reduction based on quality control and reduced deviations

**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

47

**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.2.3 Reduction based on assessment of concrete strength in finished structure

48

**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 13791, EN 206-1 and relevant product standards, γ_c may be reduced by the conversion factor $\eta = 0,85$, ou seja, **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)

✓ *a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:*

$f_{c,j} \approx 1.18 \cdot f_{c,ext,j}$

49

**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 $f'_c = 1,18 \cdot f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 \cdot f_{core,min}$)

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...

50

**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

Table 20.2.5.1 Factor ϕ 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 |

51

**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.*

52

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 $f_c = \lambda * f_{c,ext}$

53

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 (verificação) da segurança em estruturas novas.

54

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

55

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

56

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 20cm*

57

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
 - extração no terço inferior (arranque)
 - 102 cps → 102 testemunhos

58

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% |
| | $\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$ | $\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$ |
| | $h/d=2$ | $h/d \neq 2$ |
| | cp_{ext} ortogonal lanç. | cp_{ext} paralelo lanç. |

59

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

60

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 ?

61

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;

62

$k_1 \rightarrow$ 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 |

63

$k_2 \rightarrow$ broqueamento

k_2 = coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 \rightarrow 1,06

64

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

65

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 extraídos conforme NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

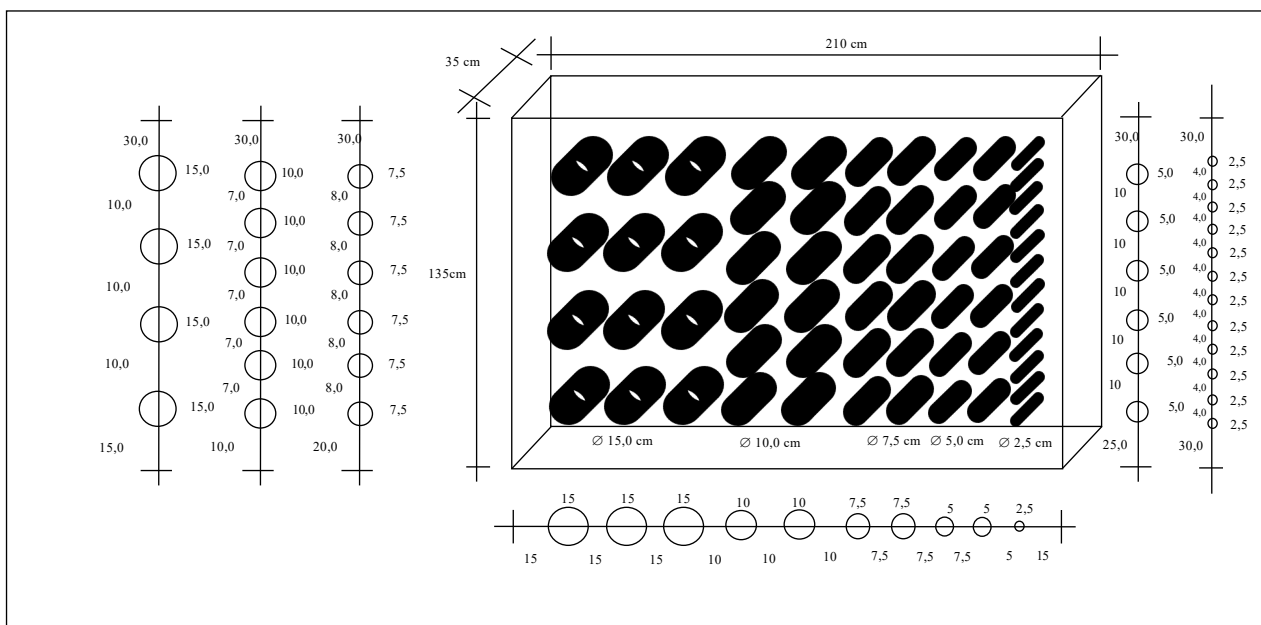
66

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;

67

BLOCO TIPO (210X135X35)cm



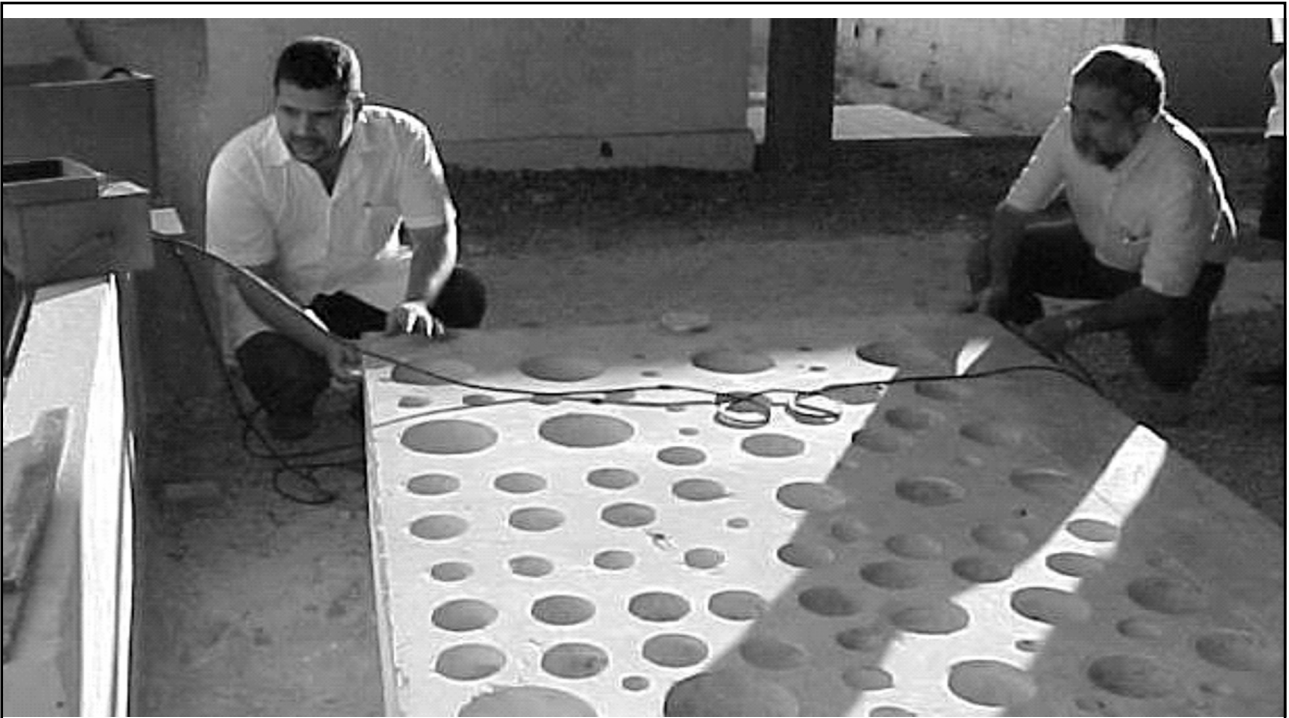
68



69



70



Parede/bloco perfurada

71

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...

72

$k_2 \rightarrow$ 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 operadores mal treinados;

73

$k_3 \rightarrow$ cura

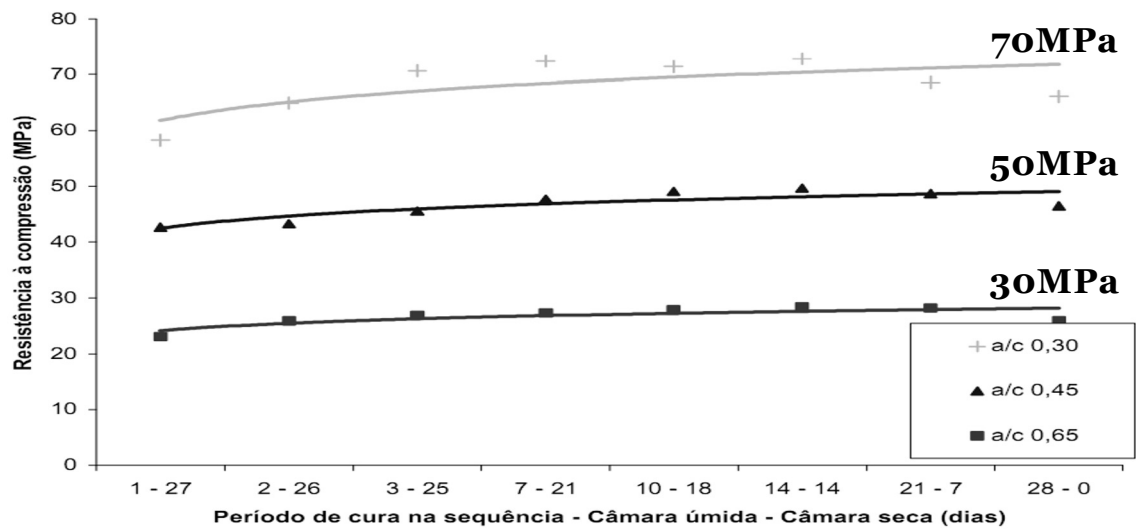
$k_3 =$ coeficiente devido a deficiências de cura do concreto na obra.

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 resistência do concreto na obra.

74

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

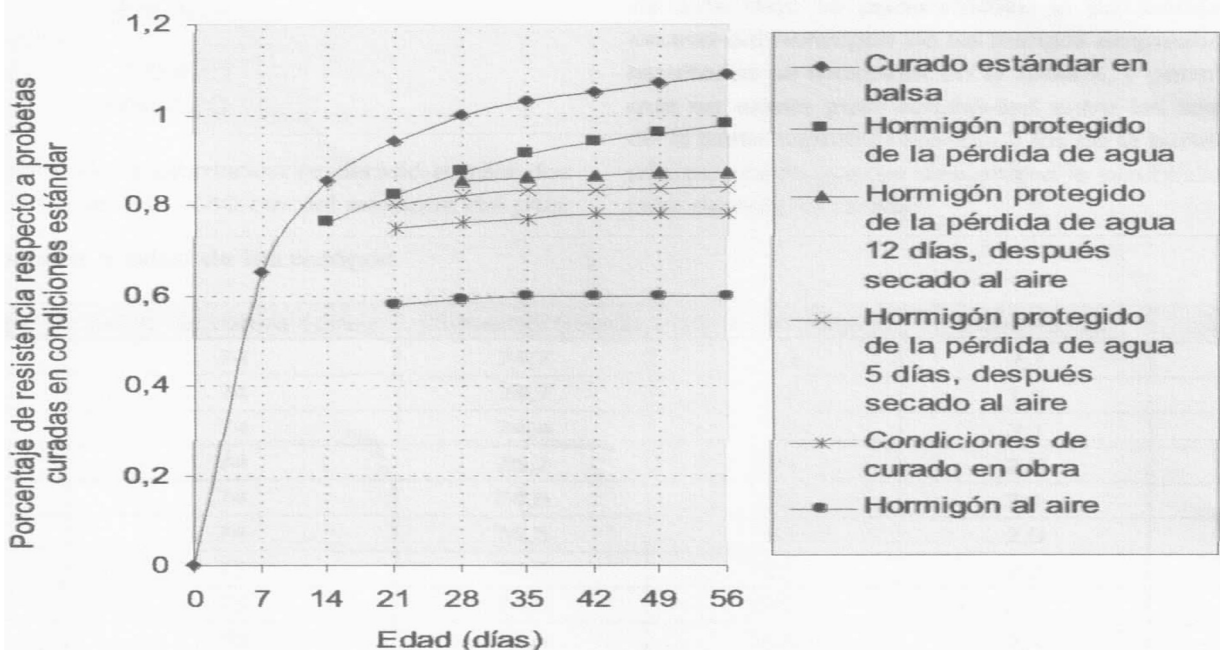


Influência da cura na resistência à compressão dos concretos

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.

75

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.

76

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

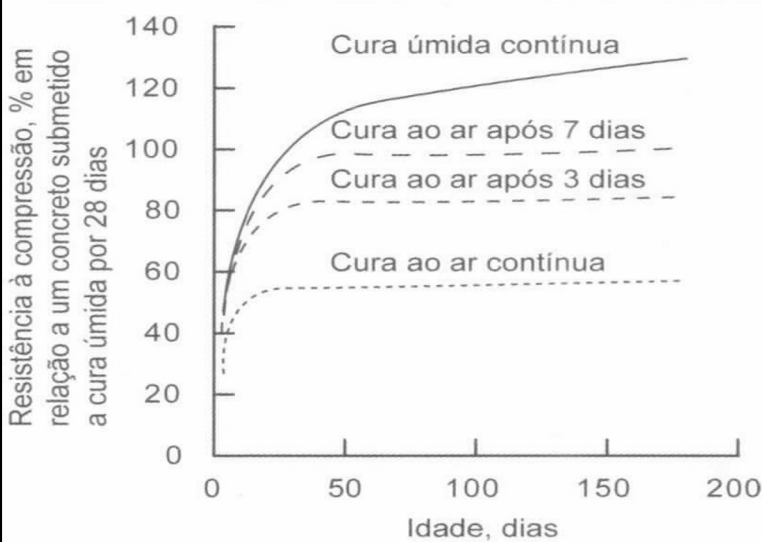


Figura 3-8 Influência das condições de cura sobre a resistência (*Concrete Manual*, 8th ed., U.S. Bureau of Reclamation, 1981).

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.

77

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 al. p. 510-515. ISSN 0889-3241/98

78

$k_3 \rightarrow$ 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 |

79

$k_4 \rightarrow$ adensamento

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

80

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.

81

$k_4 \rightarrow$ 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;

82

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

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

83

$k_5 \rightarrow$ 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. 2009, n. 935. ISSN 0008-8919 p. 34-46

84

$k_5 \rightarrow$ 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, 2009

85

$k_5 \rightarrow$ 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;

86

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

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

87

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

- 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”;

88

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

- 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

89

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

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.

90

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

| sazonamento | coeficiente k_6 |
|--|-------------------|
| padrão | 1,00 |
| submerso 48h em água potável, ensaiado saturado | 1,09 |
| seco por 7 dias 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.

91

Problema

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

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

92

Problemão

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

a $f_{ck,est,28}$

93

SEGURANÇA

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

94

Segurança

Valem critérios da NBR6118:2007, 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

95

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 aos 28dias e mantida até 50anos

96

Premissas

Como cresce a resistênciã com o tempo a partir de 28dias ?

97

onde j é a idade do concreto em dias.

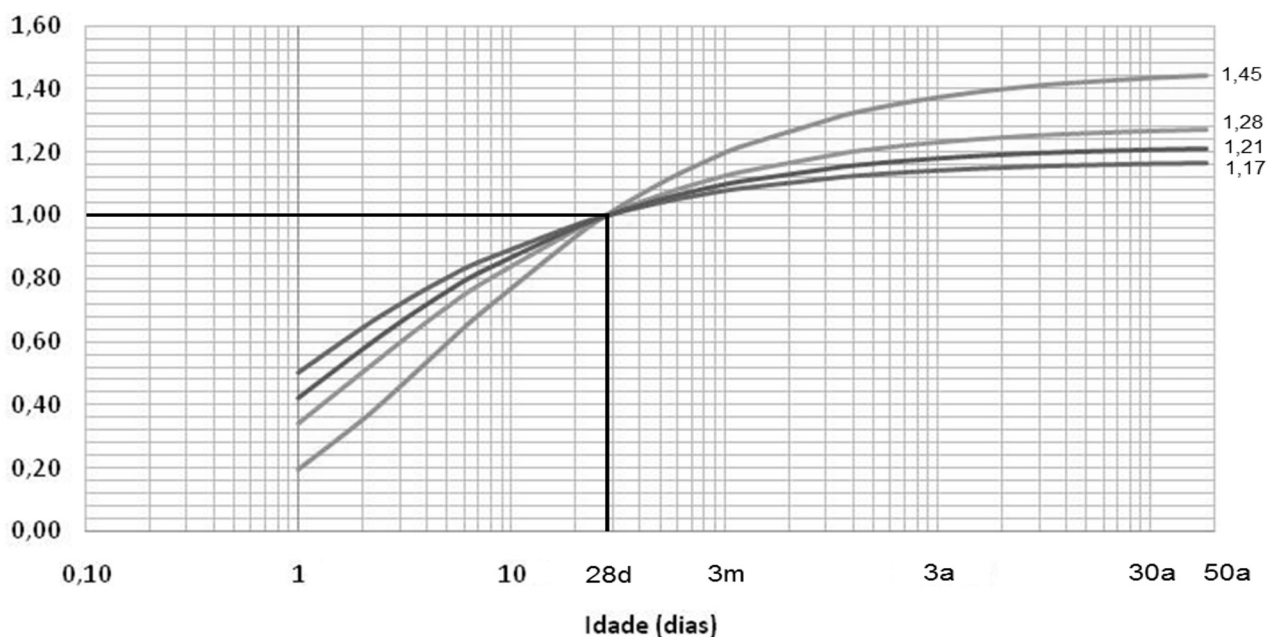
Crescimento da Resistência

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

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

98

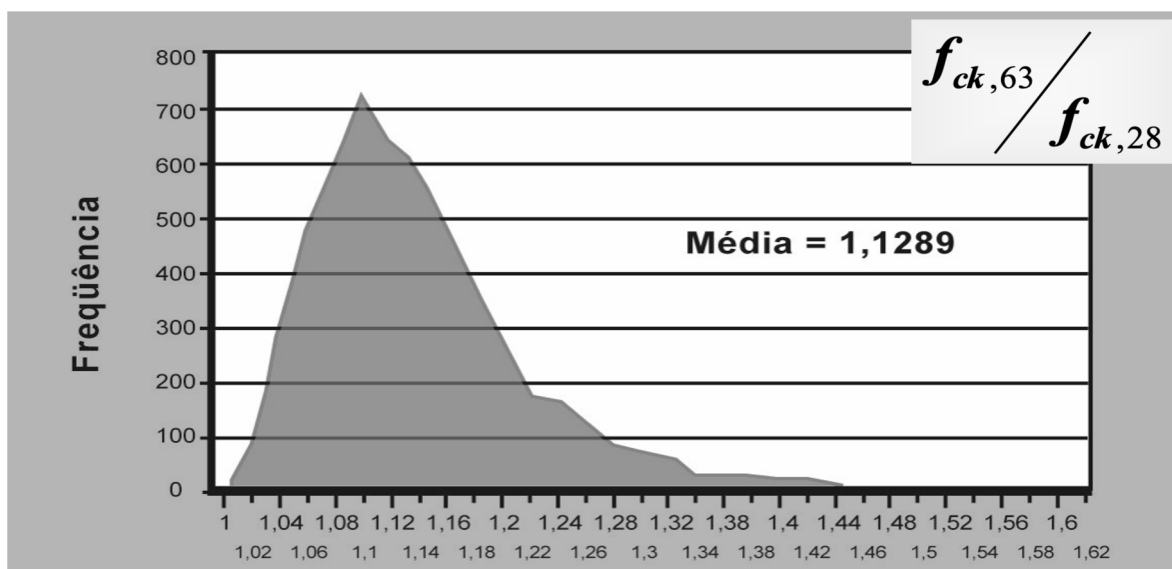
Evolução do crescimento da resistência do concreto sem carregar



99

Análise Geral

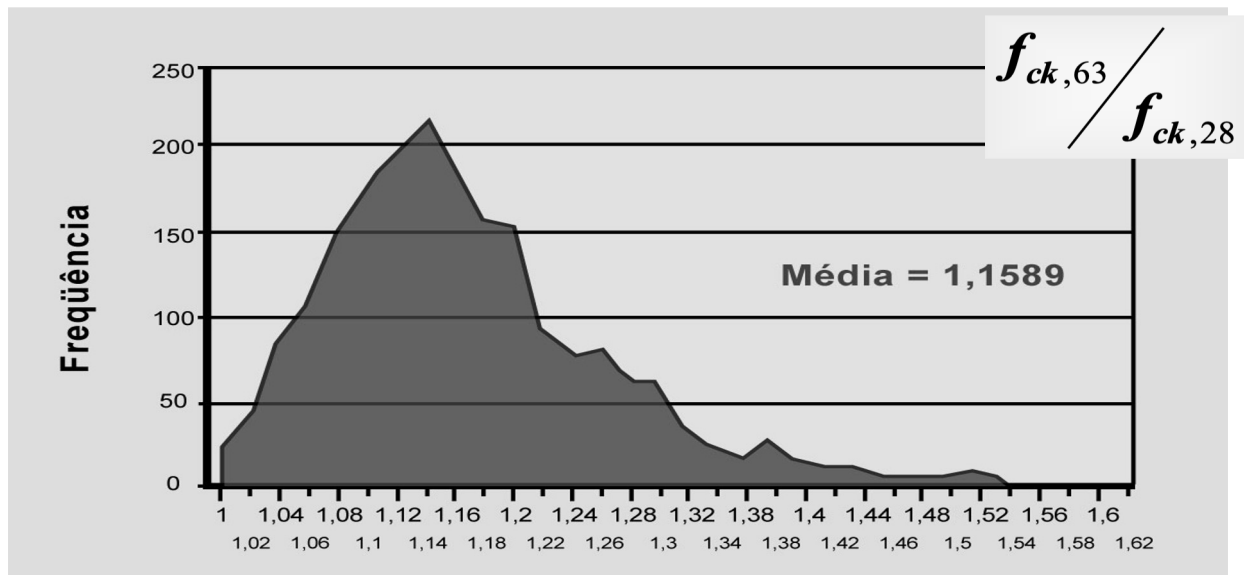
8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



100

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



101

Problema

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

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

102

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

103

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

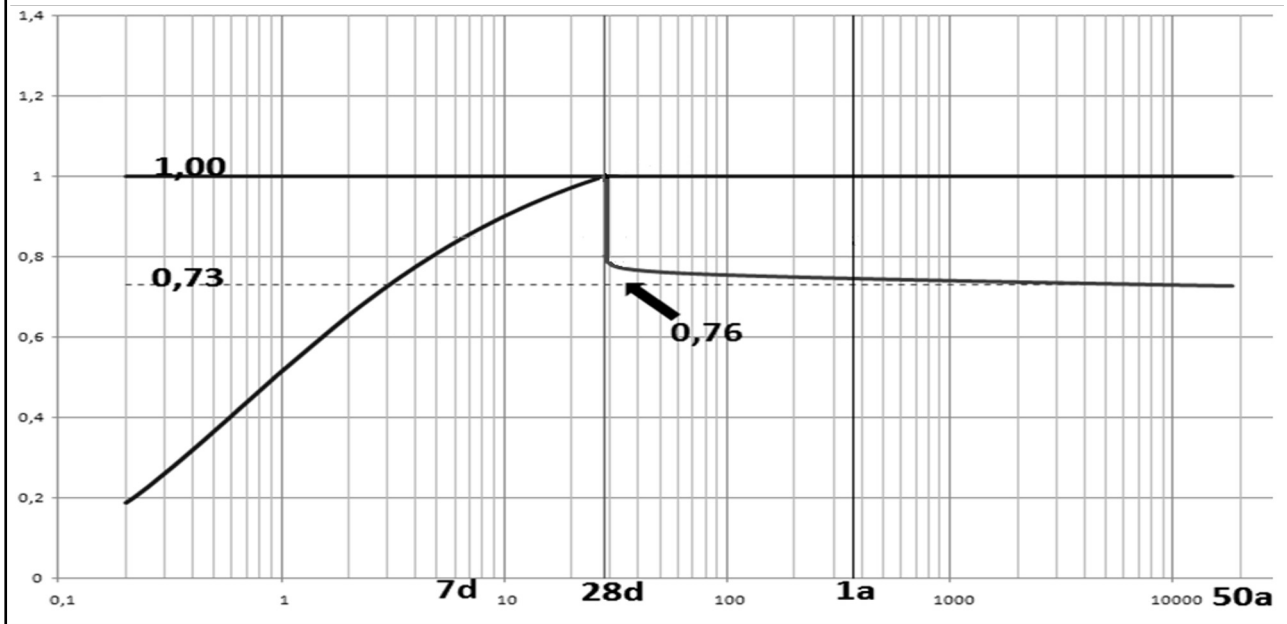
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

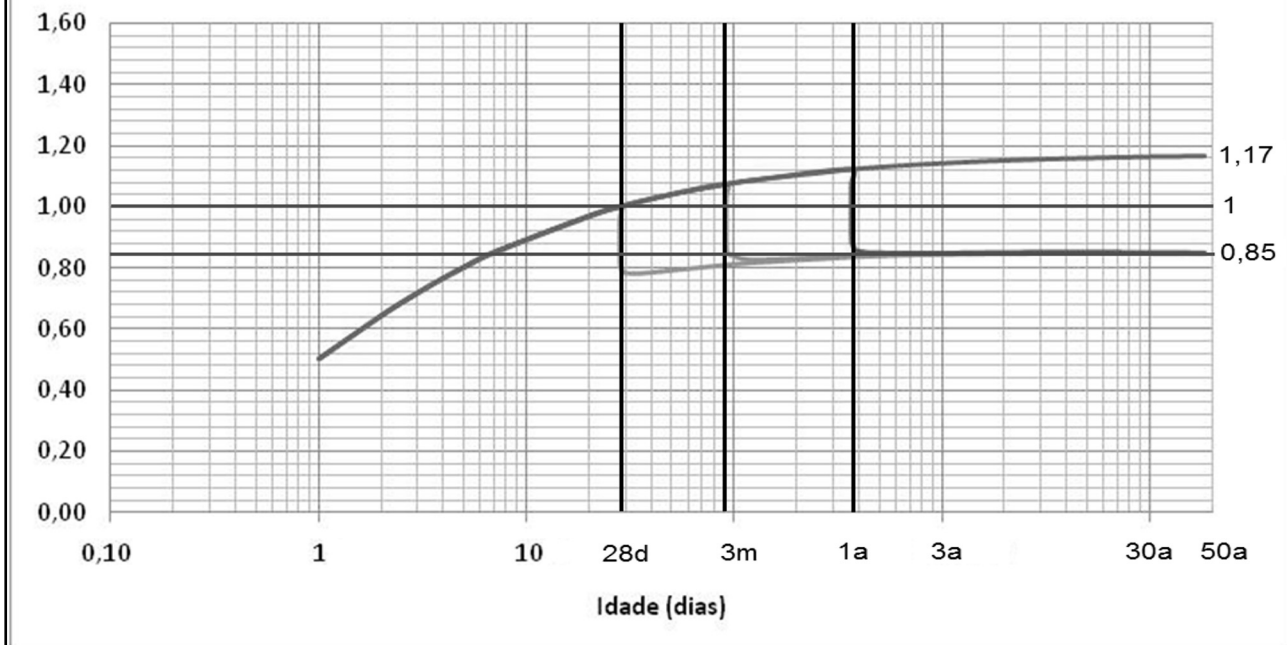
104

Decréscimo da Resistência



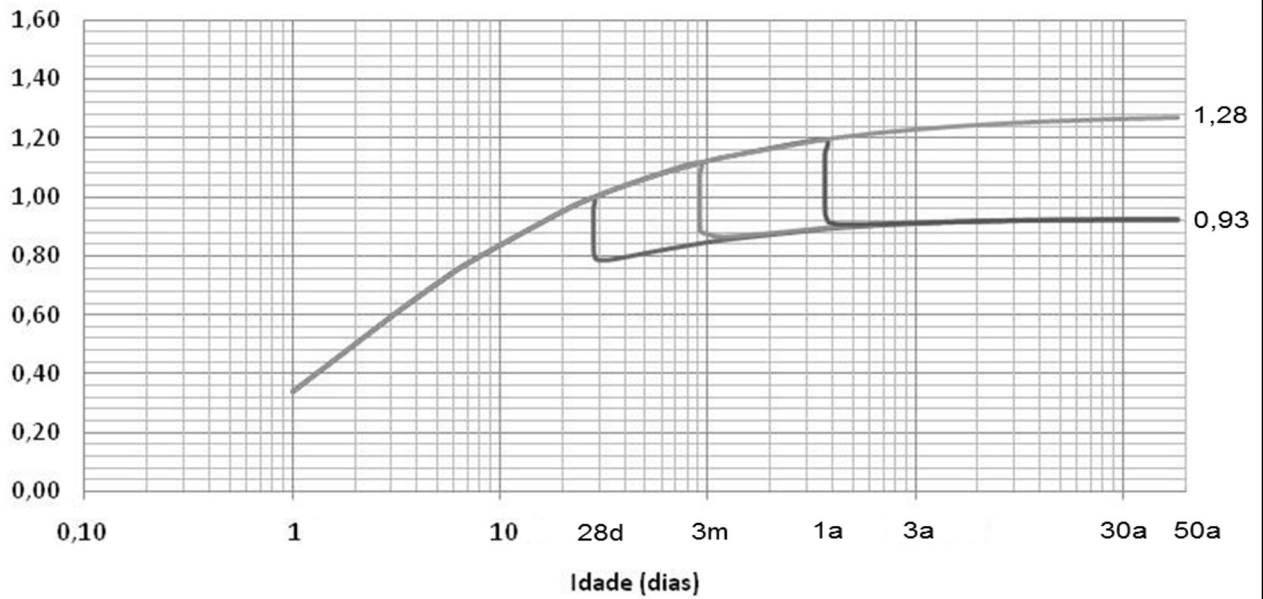
105

Evolução do crescimento do concreto 0,16 carregado



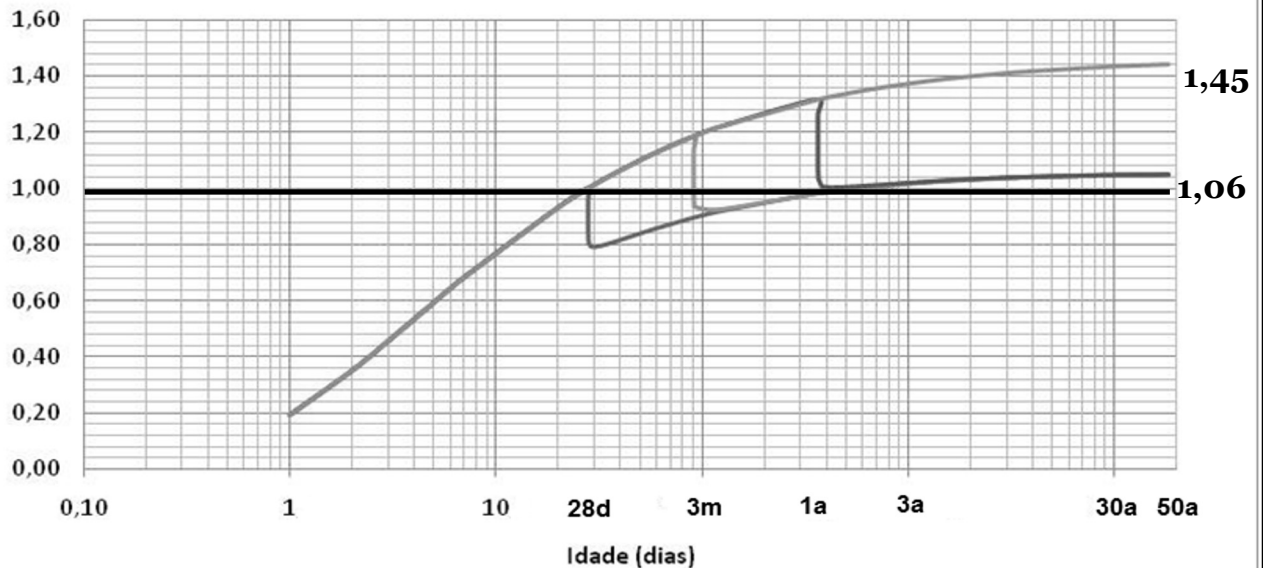
106

Evolução do crescimento do concreto 0,25 carregado



107

Evolução do crescimento do concreto 0,38 carregado

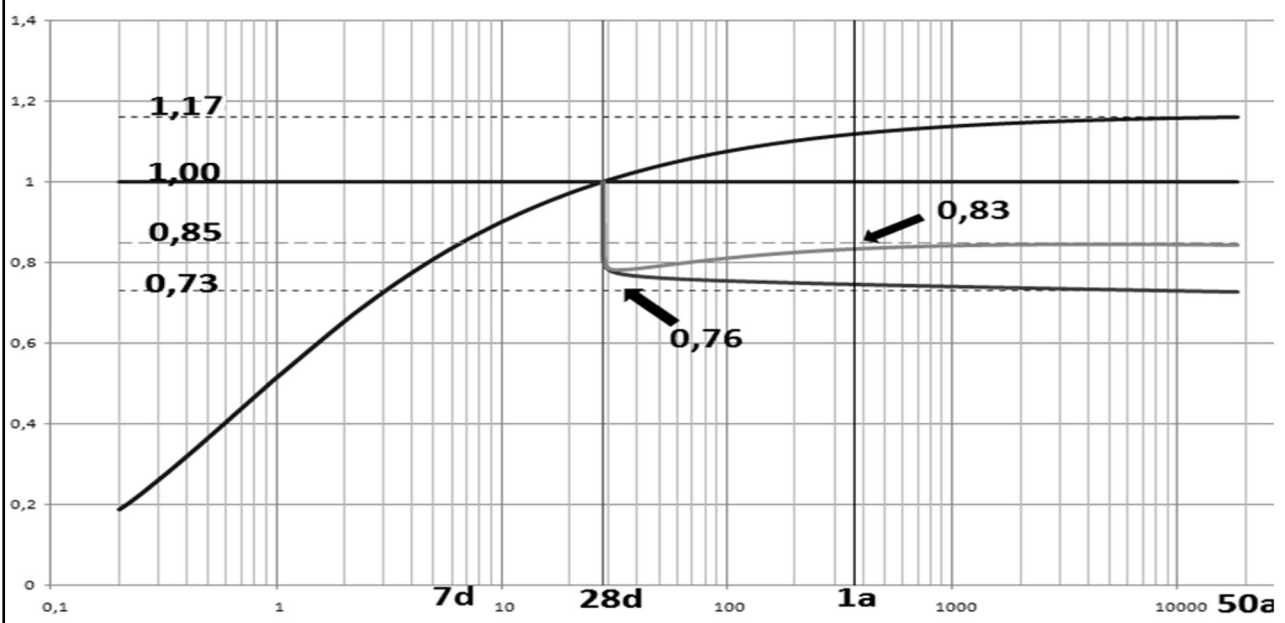


108

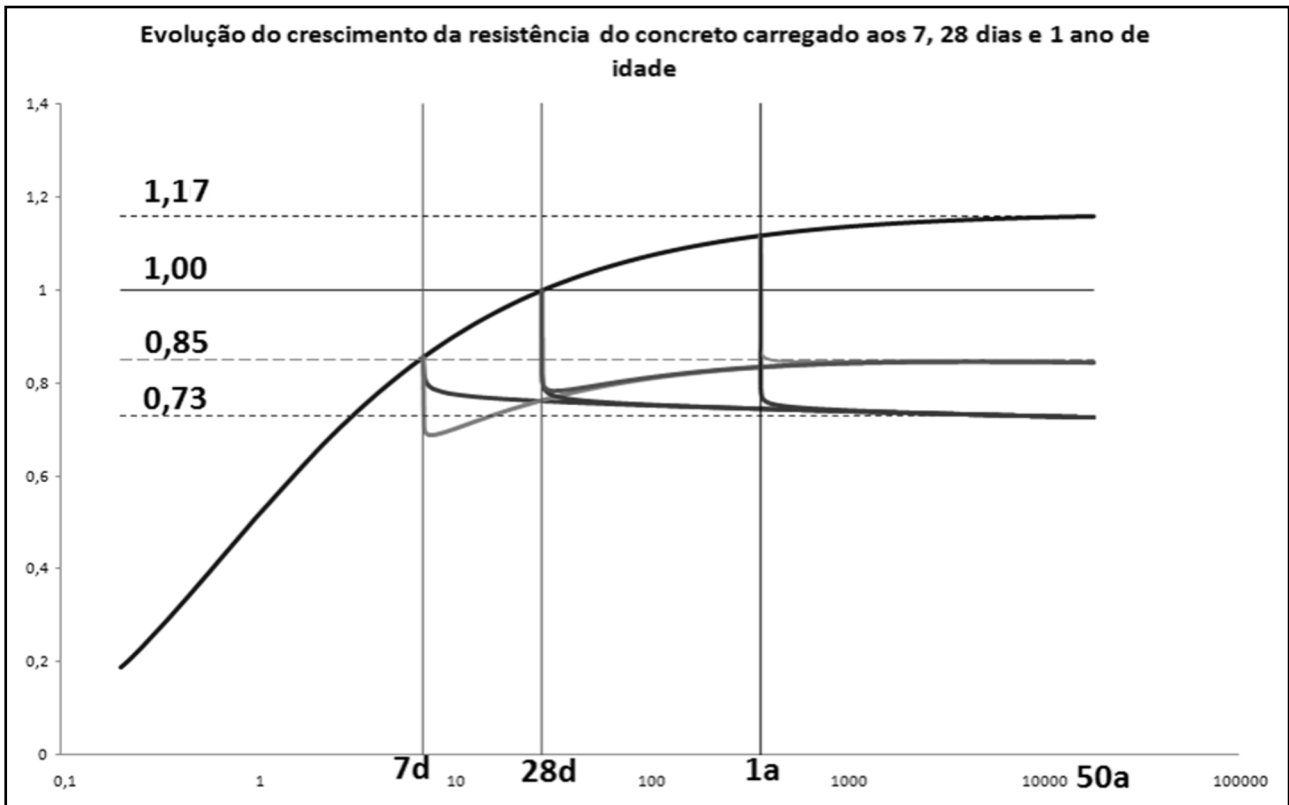
Combinando crescimento com decréscimo a partir de 28 dias ?

109

Resistência do Concreto “carregado” a 28 dias



110



111

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

112

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

113

Problema

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

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

114

encerrando...

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

obtêm-se →

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

115

Conformidade do Concreto

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

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

116

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...”***

117



118



119