


ALCONPAT Internacional
ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE CONTROL DE CALIDAD,
PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN



Instituto**27 de Mayo de 2011****Montevideo**

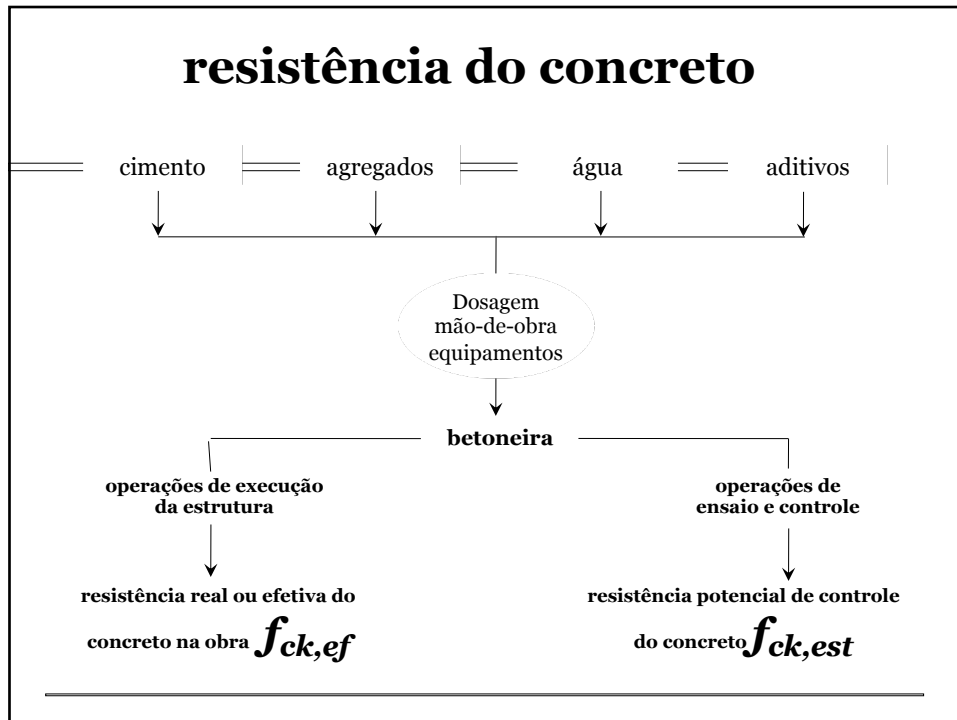
1

**Análisis de la Resistência del
Concreto en Estructuras Existentes**

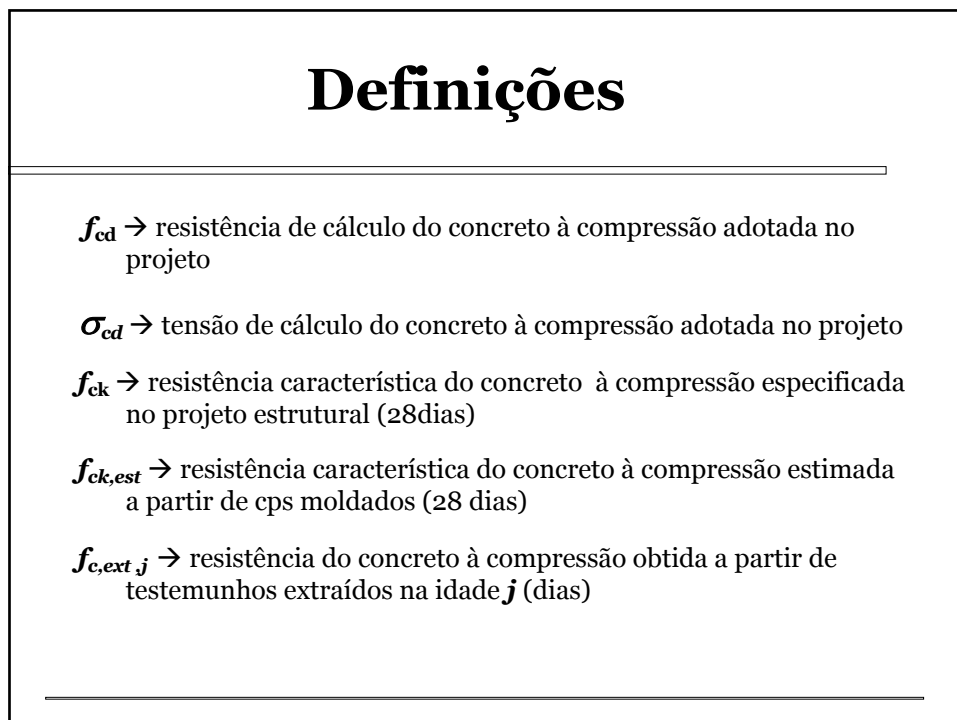
Paulo Helene
*Presidente ALCONPAT Internacional
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro IBRACON*

Instituto**27 de Mayo de 2011****Montevideo**

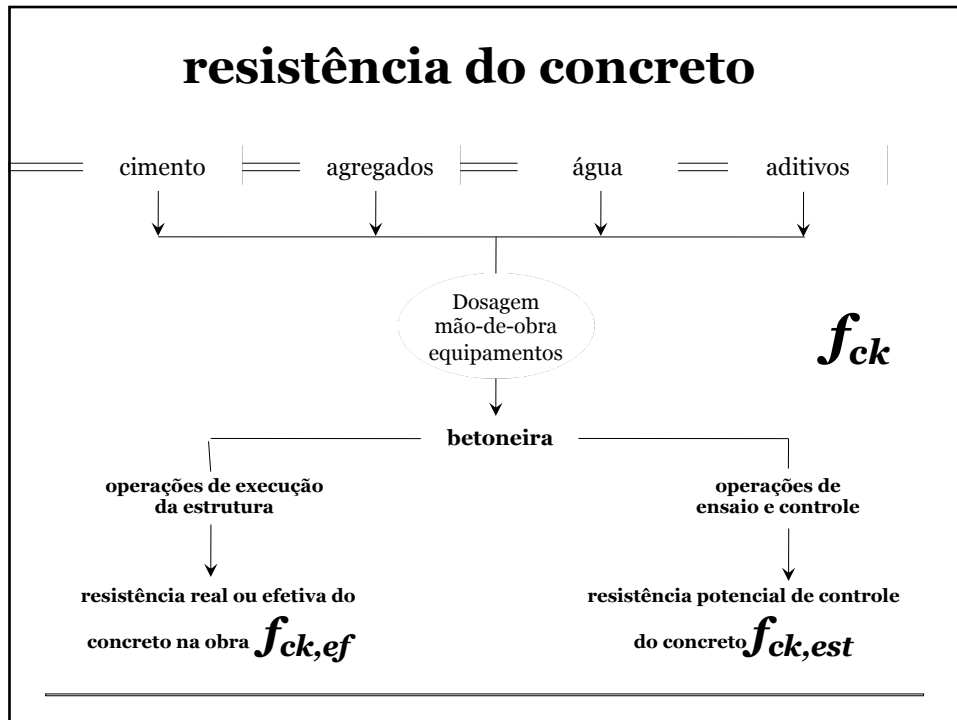
2



3



4



5

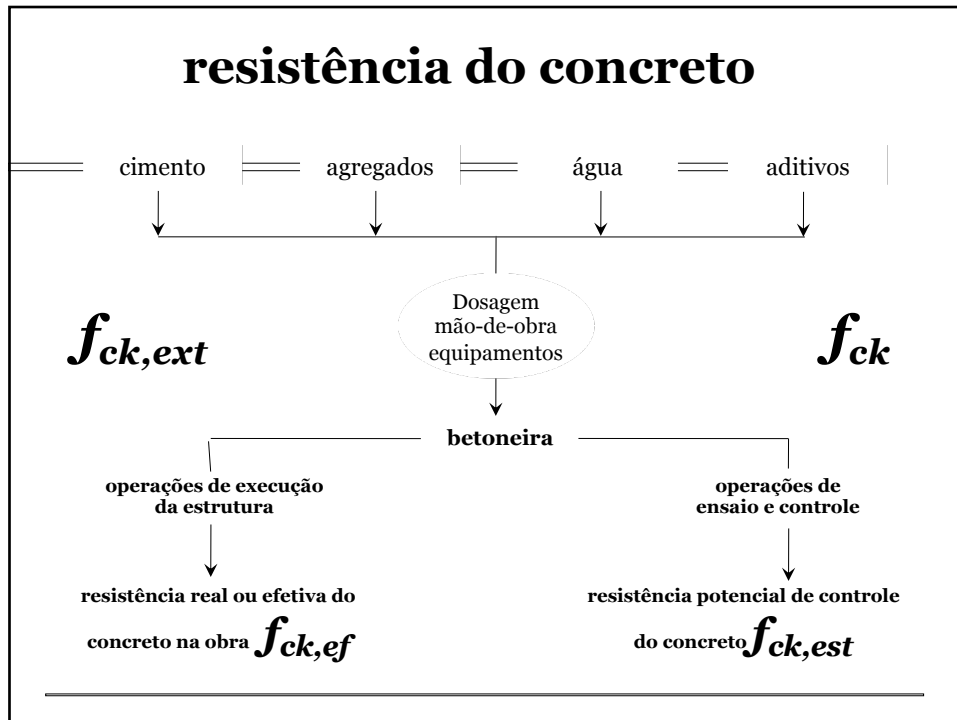
$f_{ck,ef} \rightarrow$ impossível de ser conhecido

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

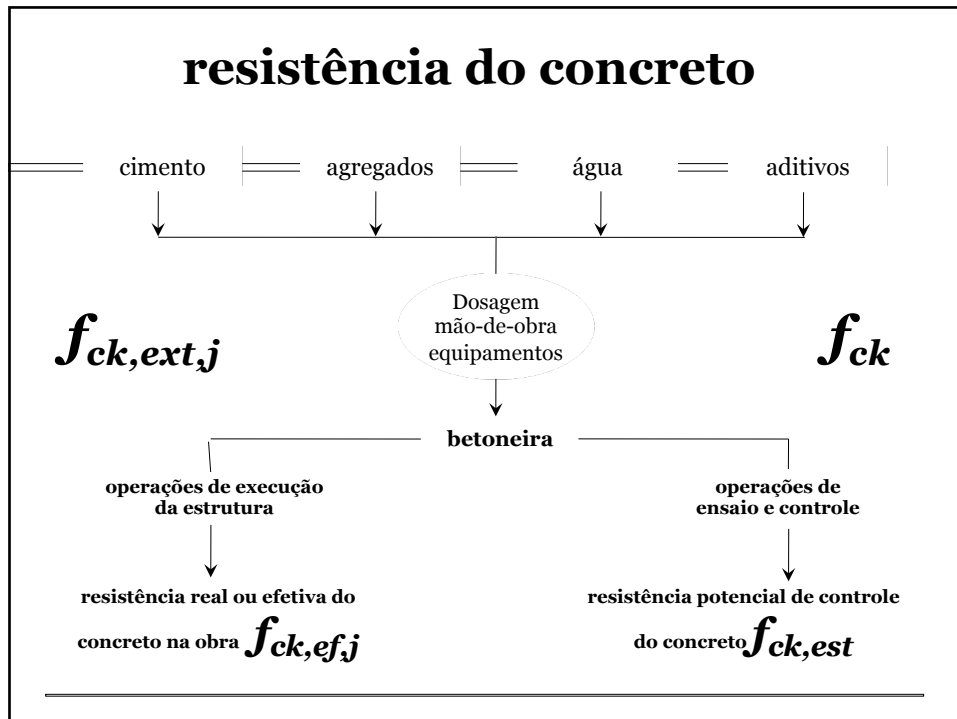
$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ck} = 30MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 20MPa$$

6



7



8

Problema:

conhecido $f_{ck,ext,j}$ como encontrar o f_{ck} de projeto equivalente que será utilizado para fins de verificação da segurança

$$f_{ck} = 30MPa \quad \curvearrowright \quad f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 20MPa$$

9

razões	escopo	ações
$f_{ck,est} < f_{ck}$	qual o novo f_{ck} para verificação da segurança estrutural	trata-se de transformar o resultado de $f_{c,ext,j}$ num f_{ck} equivalente
concreto não conforme com o especificado	analisar o concreto para comparar com o especificado / pedido	trata-se de pesquisar se a composição, traço, resistência e outras características e propriedades do concreto entregue
concreto exposto a meio agressivo	analisar características e propriedades do concreto determinantes da vida útil	trata-se de uma análise complexa de ciclo de vida do concreto naquele meio
qualidade da execução da estrutura	analisar homogeneidade do concreto, geometria, tolerâncias	trata-se de uma aferição da qualidade das concretagens e precisão da execução frente às tolerâncias de norma
perícia	inspeção e diagnóstico para esclarecer um problema patológico	trata-se de esclarecer um colapso parcial ou total, um problema patológico grave, uma flecha exagerada, etc.
mudança de uso, retrofit	avaliar o estado atual da estrutura	trata-se de uma análise tipo “as built” da estrutura.

10

razões	escopo	ações
$f_{ck,est} < f_{ck}$	qual o novo f_{ck} para verificação da segurança estrutural	trata-se de transformar o resultado de $f_{c,ext,j}$ num f_{ck} equivalente
concreto não conforme com o especificado	analisar o concreto para comparar com o especificado / pedido	trata-se de pesquisar se a composição, traço, resistência e outras características e propriedades do concreto entregue
concreto exposto a meio agressivo	analisar características e propriedades do concreto determinantes da vida útil	trata-se de uma análise complexa de ciclo de vida do concreto naquele meio
qualidade da execução da estrutura	analisar homogeneidade do concreto, geometria, tolerâncias	trata-se de uma aferição da qualidade das concretagens e precisão da execução frente às tolerâncias de norma
perícia	inspeção e diagnóstico para esclarecer um problema patológico	trata-se de esclarecer um colapso parcial ou total, um problema patológico grave, uma flecha exagerada, etc.
mudança de uso, retrofit	avaliar o estado atual da estrutura	trata-se de uma análise tipo “as built” da estrutura.

11

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

12

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.

13

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 !

14

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
-

15

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.**
-

16

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.*

17

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

27

**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

28

**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

29

**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

30

**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 $\eta = 0,85$.

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:*

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

31

**ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting
Compressive Strength Results. 2010. 17p.**

Chapter 9. Item 9.1 → Conversion of core strengths to equivalent
in-place strength

$$f_c = F_{h/d} * F_{dia} * F_{mc} * F_d * f_{core}$$

$F_{h/d}$ → depende de h/d ($h/d = 2 \rightarrow 1$ e $h/d \rightarrow 1 \rightarrow 0,87$)

F_{dia} → depende do diâmetro ($f=150\text{mm} \rightarrow 0,98$; $f=100\text{mm} \rightarrow 1,00$;
 $f=50\text{mm} \rightarrow 1,06$)

F_{mc} → depende do sazonalamento (padrão = 1,00; submerso 2d
= 1,09; seco 7d = 0,98)

F_d → correção efeito deletério do broqueamento = 1,06

observar que para um testemunho de diâmetro 5cm, com $h/d=2$ e
rompido submerso / saturado, $f_c = 1 * 1,06 * 1,09 * 1,06 * f_{core} \rightarrow f_c =$
 $1,225 * f_{core}$

32

**ACI 318M-08 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2008. 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...

35

**ACI 318M-08 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2008. 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

36

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 ultrasom, amostragem, extração, prumo, excentricidade, medidas geométricas “as built” de campo, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalamento, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter $f_c = \lambda * f_{c,ext}$

38

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.

39

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

40

TESE de DOUTORADO

IBRACON

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

direitos reservados 2010

41

OBJETIVO

IBRACON

- 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

direitos reservados 2010

42

EXPERIMENTO

IBRACON

- 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

direitos reservados 2010

43

EXPERIMENTO

IBRACON

- **Lajes e (vigas)**
 - 06 obras → concreto de Central
 - cps extraídos das lajes maciças 10cm a 15cm
 - 15 lotes (lajes e vigas) → 15 andares
 - 8 a 11 caminhões por andar
 - volume total de concreto de 1.195 m^3
 - 2 cps / caminhão → vale maior
 - média de 6cps extraídos por lote → 28dias
 - média dos n exemplares moldados do lote → 28dias
 - 90 cps extraídos $7,5\text{cm} \times \text{altura laje}$
 - 142 exemplares moldados $10\text{cm} \times 20\text{cm}$

direitos reservados 2010

44

RESULTADOS

Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$
OB1L1	1,07	OB4L1	1,14	OB6L3	1,18	OB9L2	1,21
OB1L2	1,25	OB4L2	1,39	OB7L1	1,38	OB9L3	1,29
OB2L1	1,12	OB4L3	1,40	OB7L2	1,19	OB10L1	1,39
OB2L2	1,31	OB5L1	1,05	OB7L3	0,96	OB10L2	1,62
OB2L3	1,18	OB5L2	1,51	OB8L1	1,09	OB10L3	1,05
OB3L1	1,18	OB5L3	1,45	OB8L2	1,02	OB11L1	1,46
OB3L2	1,23	OB6L1	1,17	OB8L3	1,13	OB11L2	1,36
OB3L3	1,33	OB6L2	1,40	OB9L1	0,99	OB12L1	1,11

$f_c/f_{c,ext}$ = relação entre a resistência média de corpos de prova moldados e resistência média de testemunhos

Obras 1 a 6 – Pilares Obras 7 a 12 – Lajes e (vigas)

45

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

46

Conclusões

IBRACON

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

direitos reservados 2010

47

TESE de DOUTORADO

IBRACON

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

direitos reservados 2010

48

OBJETIVO

IBRACON

- 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

direitos reservados 2010

49

EXPERIMENTO

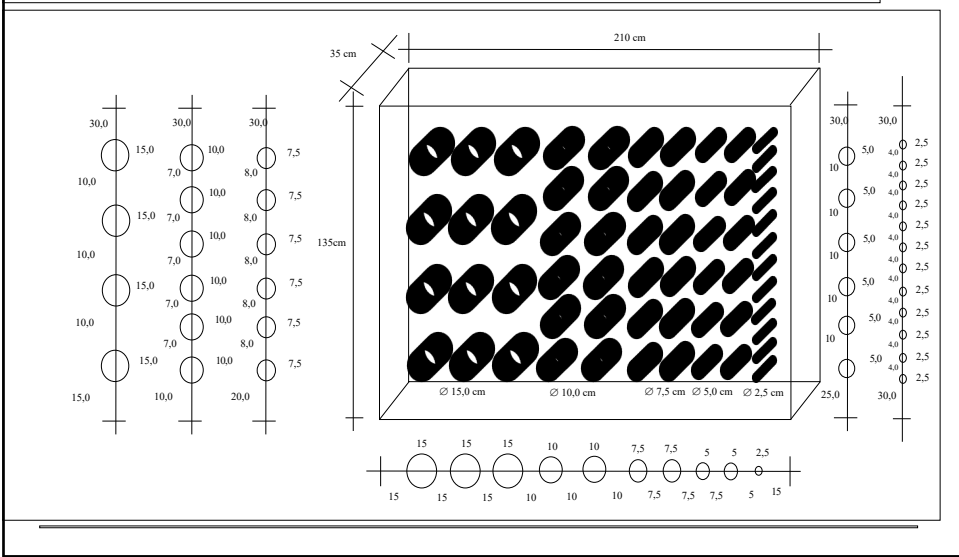
IBRACON

- 56 blocos/paredes de espessura de 35cm x 2.10m altura x 1.45 m construídos no canteiro de uma Central de concreto. Situação ideal!
- Resistências à compressão de: 20MPa; 40MPa; 50MPa; 65MPa e 70MPa.
- Cura seca e cura úmida;
- Idade de 28dias e 91dias e slump 100mm;
- Direção de extração ortogonal à concretagem.

direitos reservados 2010

50

BLOCO TIPO (210X135X35)cm



51



52



53



Parede/bloco perfurada

54

Conclusões

IBRACON

1. os valores de $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$ entre 1,01 e 1,40 correspondem a 100% dos resultados obtidos
2. todos “broqueamento”:
$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$
3. os testemunhos de diâmetro 5cm e 2.5cm tendem a médias superiores porém maior variabilidade. Refletem melhor quando f_c é igual ou superior a 50MPa.
4. vale a pena consultar as demais conclusões...

direitos reservados 2010

55

Conclusões das Teses

IBRACON

Efeito deletério do “broqueamento”:

$$f_{ck,est} = f_{ck,ext} \bullet 1,07$$

Efeito deletério do “broqueamento + outras variáveis”:

$$f_{ck,est} = f_{ck,ext} \bullet 1,24$$

direitos reservados 2010

56

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

57

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118

IBRACON

É 100%
exato?

direitos reservados 2010

58

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118

IBRACON

Não!

direitos reservados 2010

59

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

IBRACON

- não respeitam classes de agressividade. SP e RJ → III;
- não respeitam cobrimento nominal → consideram controle rigoroso;
- não respeitam armadura mínima;
- adotam módulo incompatível com materiais;
- interpretam errado a norma quanto a lotes;
- não sabem interpretar resultados de testemunhos;
- fazem simplificações de cálculo, por exemplo

direitos reservados 2010

60

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

IBRACON

o item 15.8.3 permite que o dimensionamento de pilares esbeltos seja feito através de 4 métodos de cálculo diferentes:

- ✓ o método do pilar-padrão com curvatura aproximada, $1/r$
- ✓ o método do pilar-padrão com rigidez, k , aproximada
- ✓ o método do pilar-padrão acoplado a diagramas M , N , $1/r$
- ✓ o método geral

direitos reservados 2010

61

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

IBRACON

Quadro Comparativo das Armaduras			
Pilar do Exemplo 5 do Livro Comentários Técnicos NB-1			
Dimensionado por Quatro Métodos Distintos			
Método	Armadura	As (cm ²)	Dif. %
Pilar-padrão curvatura aproximada ($1/r$)	10 # 20	31.5	0.0
Pilar-padrão rigidez k aproximada	12 # 16	24.0	-23.8
Pilar-padrão rigidez k aprox. tese França	8 # 16	16.0	-49.2
Pilar-padrão acoplado a diagramas $N, M, 1/r$	10 # 12.5	12.5	-60.3
Método geral	8 # 12,5	10	-68.0

Giordano J. Loureiro, IBRACON, 2009

62

interpretação de resultados de testemunhos

63

testemunhos extraídos

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

IBRACON

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_e (MPa)	2.8	
v_c (%)	8%	
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0	

direitos reservados 2010

64

testemunhos extraídos

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

IBRACON

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 $\rightarrow$ 31.9	

direitos reservados 2010

65

testemunhos extraídos

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

IBRACON

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	

66

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

67

execução das estruturas de Concreto NBR 14931 (Construtores)

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

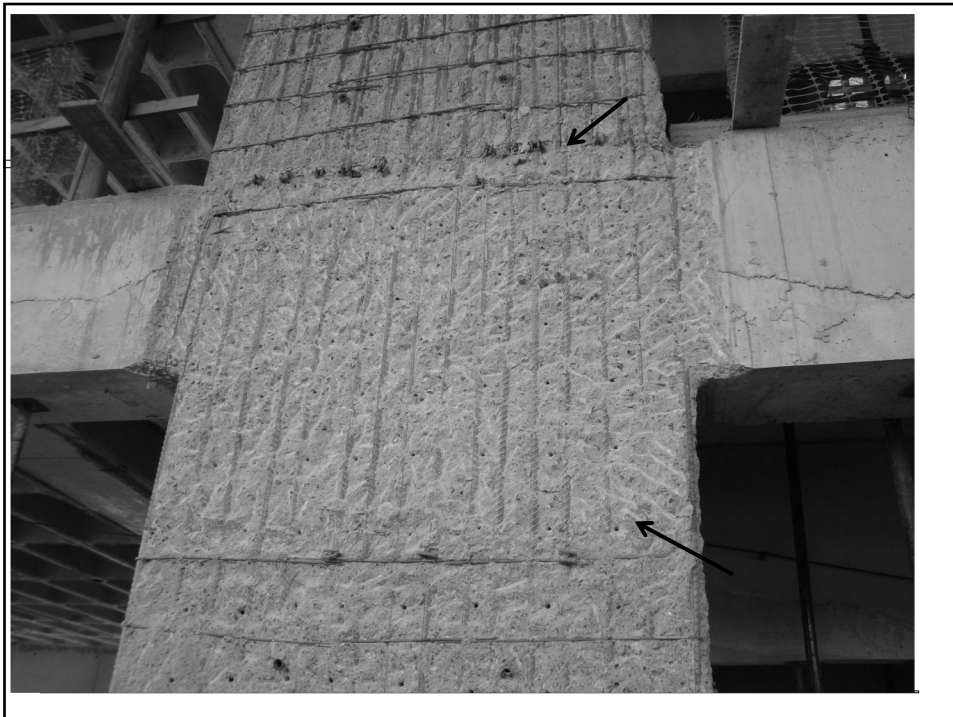
68



69



70



71



72

Cabeça de pilar sem
ganchos transversais
nem estribos



73



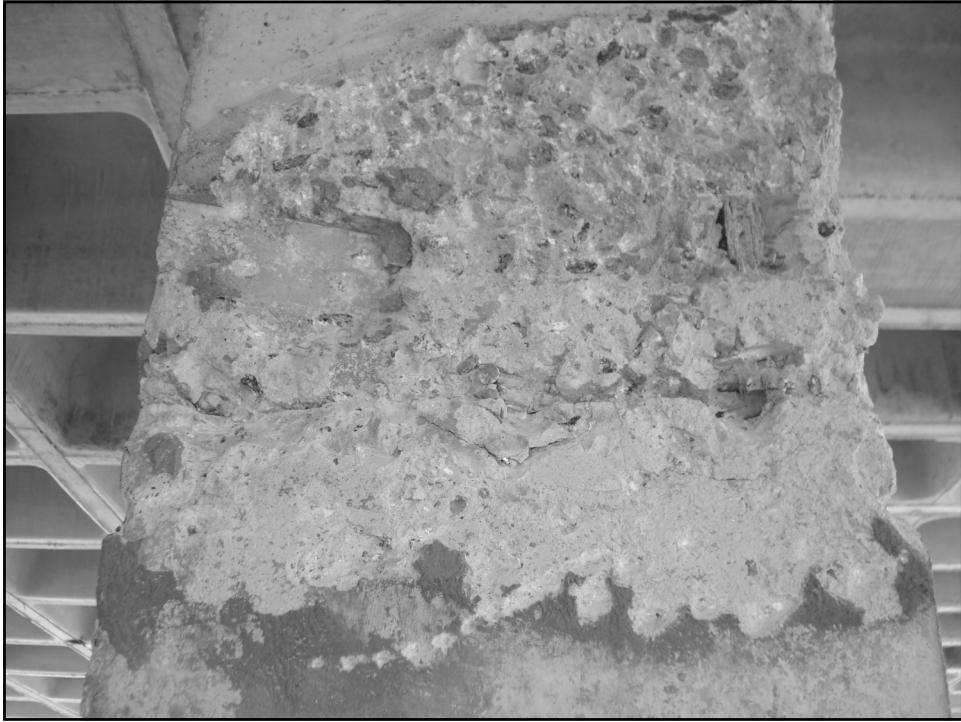
74



75



76



77



78



79



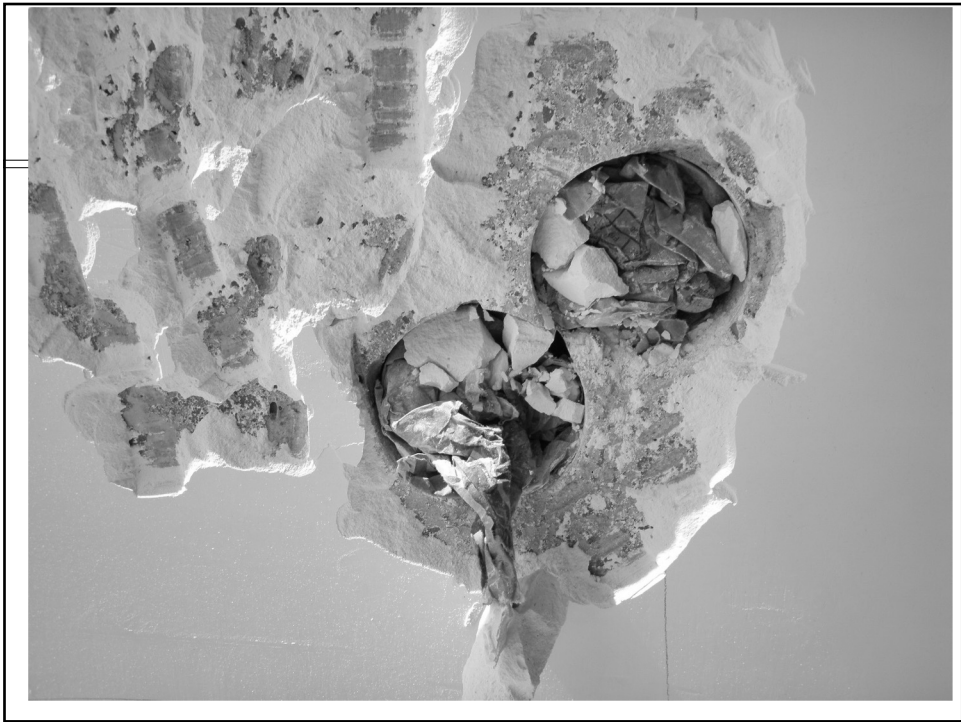
80



81



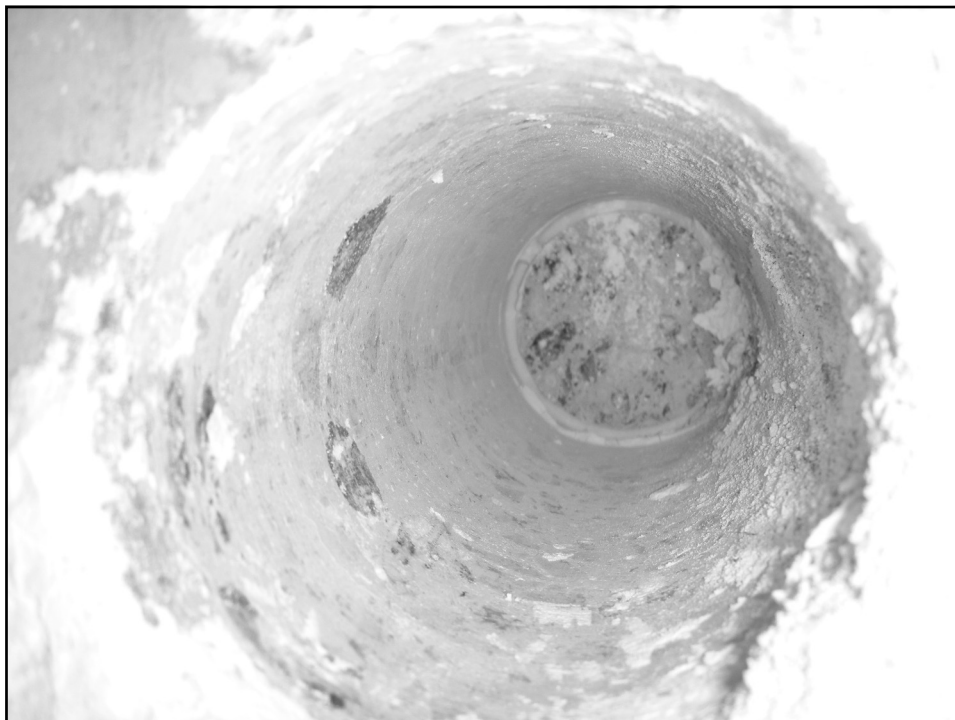
82



83



84



85

Construção

IBRACON

Muitas vezes uma diferença de 3MPa nos testemunhos ou corpos-de-prova moldados tornam-se motivo de intransigências enquanto nas obras é comum:



86

Construção

IBRACON



direitos reservados 2010

87

Construção

IBRACON



direitos reservados 2010

88

Construção

IBRACON



direitos reser

89

Construção

IBRACON



direitos reservados 2010

90

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

91

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

92

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

IBRACON

Não !

direitos reservados 2010

93

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

IBRACON

É um produto / serviço que depende de muitas variáveis:

1. Estudos de dosagem;
 2. Aferição balanças;
 3. Aferição prensas;
 4. Conformidade laboratório;
 5. Agregados (natureza, procedência, armazenamento, coleta);
 6. Cimento (uniformidade, temperatura);
 7. Adições (procedimentos???)
 8. Aditivos (uniformidade, compatibilidade, procedimentos);
 9. Água (aferição higrometro, umidade areia);
 10. Balaceiro (automatizada???)
 11. Motorista;
 12. Bombista
- CUMPLICIDADE !!!!!

direitos reservados 2010

94

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

95

controle NBR 12655:2006

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

96

controle
NBR 12655:2006

IBRACON

**SIM ! desde
que a 100% !**

direitos reservados 2010

97

controle
NBR 12655:2006

IBRACON

Todas as unidades de produto;
Não é média móvel;
Não é estimativa;
Não é inferência estatística;
Combinado com MAPEAMENTO é 100%:
rastreabilidade

direitos reservados 2010

98

sumário

IBRACON

- ✓ 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

direitos reservados 2010

99

controle realizado por LABORATÓRIO

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

100

controle LABORATÓRIO

IBRACON

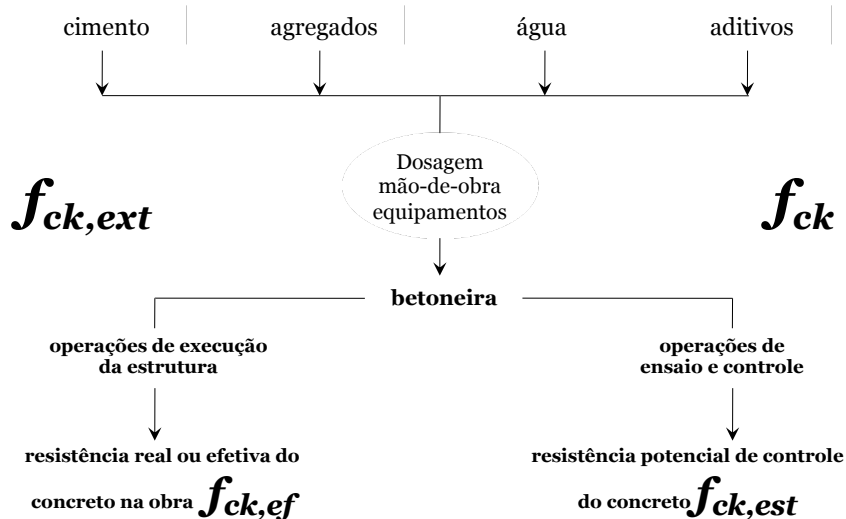
Não !

direitos reservados 2010

101

controle do concreto resistência

IBRACON



direitos reservados 2010

102

**Controle da resistência do concreto
NBR 12655 (Laboratórios)**

IBRACON

Operações de ensaio:

- coleta do concreto;
- local de moldagem;
- armazenamento;
- desmoldagem;
- transporte;
- sazonalidade;
- topos;
- ruptura

direitos reservados 2010

103

**Controle da resistência do concreto
NBR 12655 (Laboratórios)**

IBRACON

Operações de ensaio:

- coleta do concreto;
- local de moldagem;
- armazenamento;
- desmoldagem;
- transporte;
- sazonalidade;
- topos;
- ruptura

**Extração e
ensaio de
testemunhos!**

direitos reservados 2010

104

Dúvidas

IBRACON

Portanto é conveniente suspeitar que houve falha nas operações de ensaio de controle sempre que:

- ❖ **a coleta de concreto é feita na entrada da obra;**
- ❖ **os cps são moldados inadequadamente;**
- ❖ os cps são transportados no mesmo dia;
- ❖ os cps ficam no sol;
- ❖ os cps são mal transportados;
- ❖ os resultados não crescem
- ❖ os resultados de irmãos são díspares

direitos reservados 2010

105



106



107



108

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	
coeficiente variação em %			7.7	4.8	

109

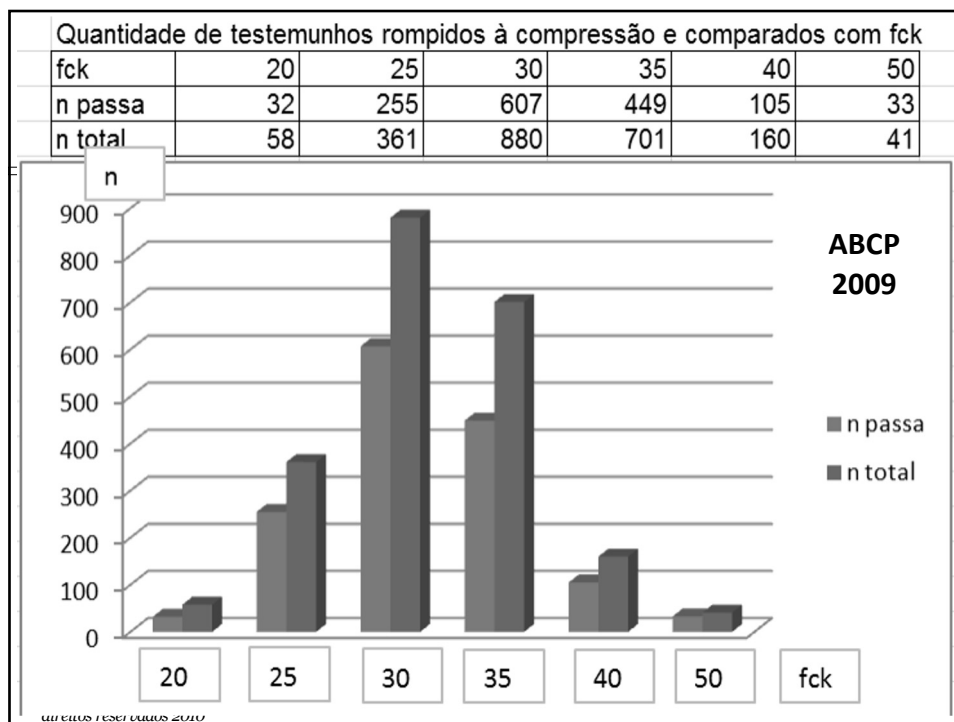
Dúvidas

IBRACON

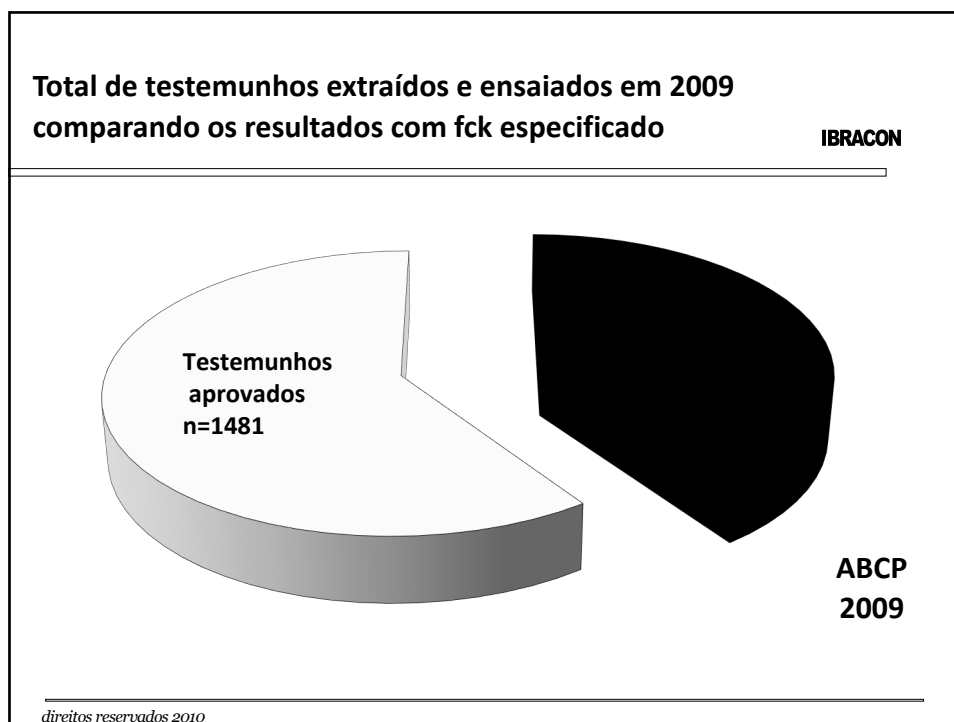
testemunhos extraídos que demonstraram que o resultado do corpo-de-prova de controle nem sempre é confiável

direitos reservados 2010

110



111



112

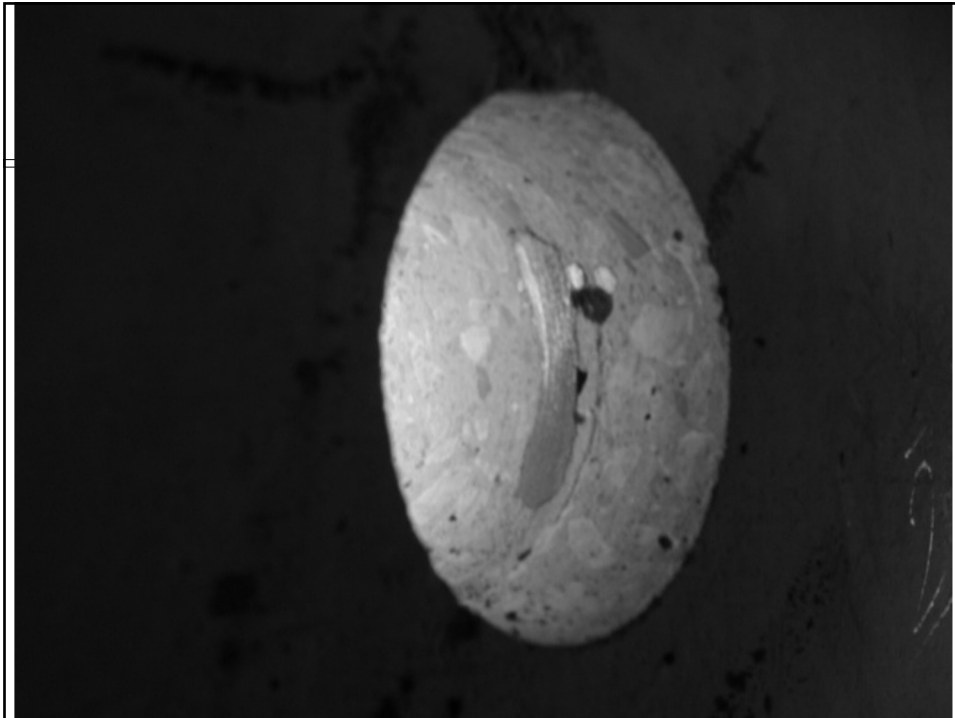
extração de testemunhos
LABORATÓRIO

IBRACON

**É 100%
confiável?**

direitos reservados 2010

113



114



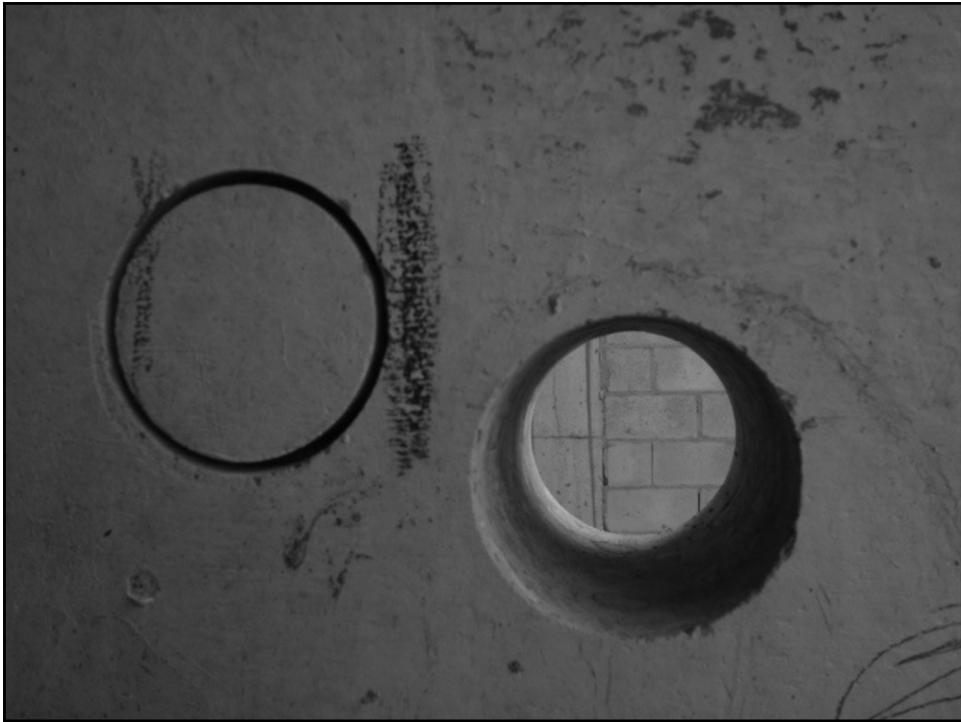
115



116



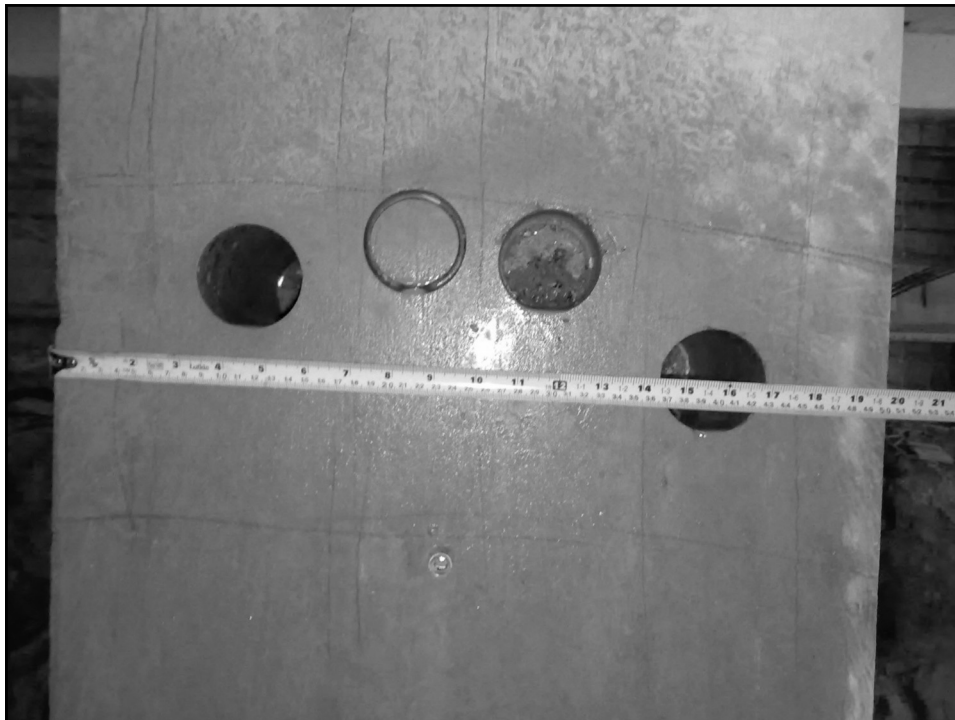
117



118



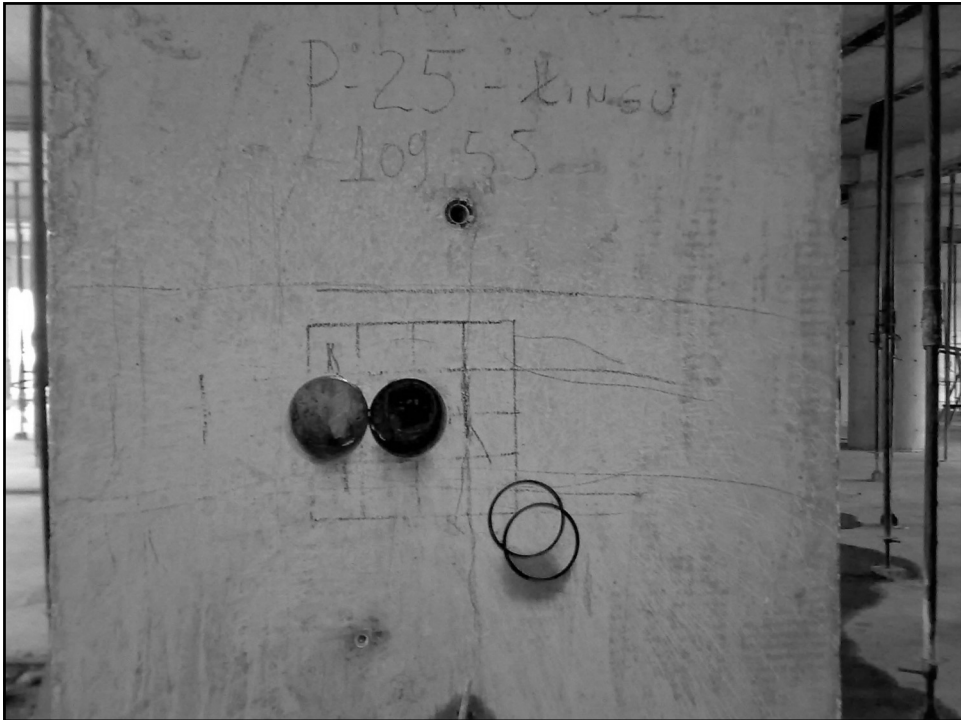
119



120



121



122



123



124



direitos reservados 2010

125

Segurança de Estruturas Edificações

Concreto → Controle 100%
Controle → Manter critério NBR 12655
Laboratório → ???
Execução → fundamental controlar
Projeto → fundamental uniformizar

126



127



128



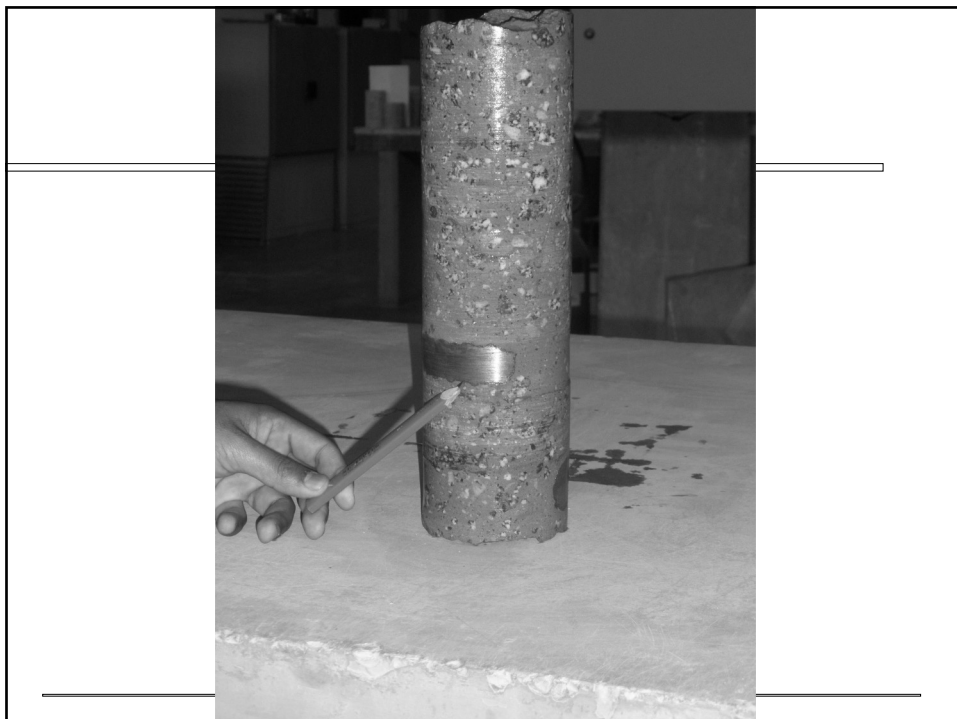
129



130



131



132



133



134



135



136



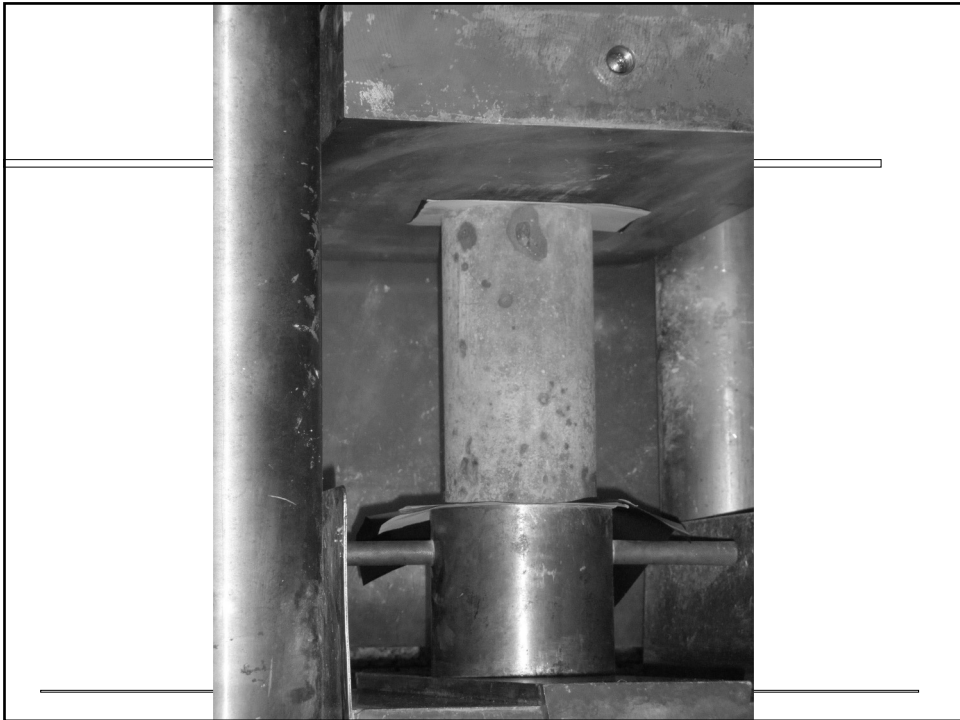
137



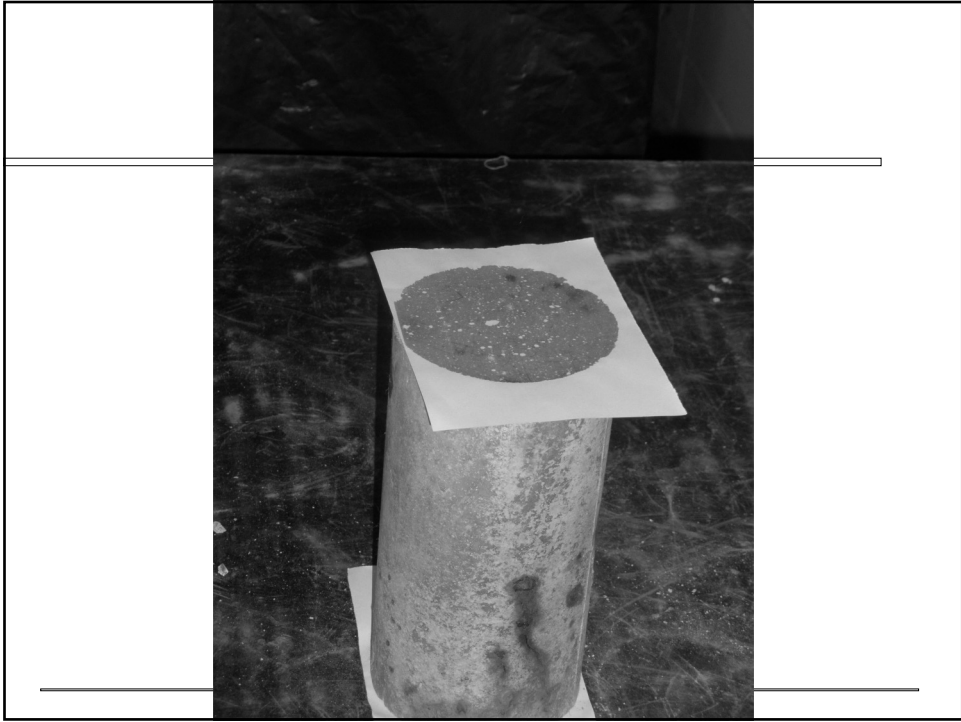
138



139



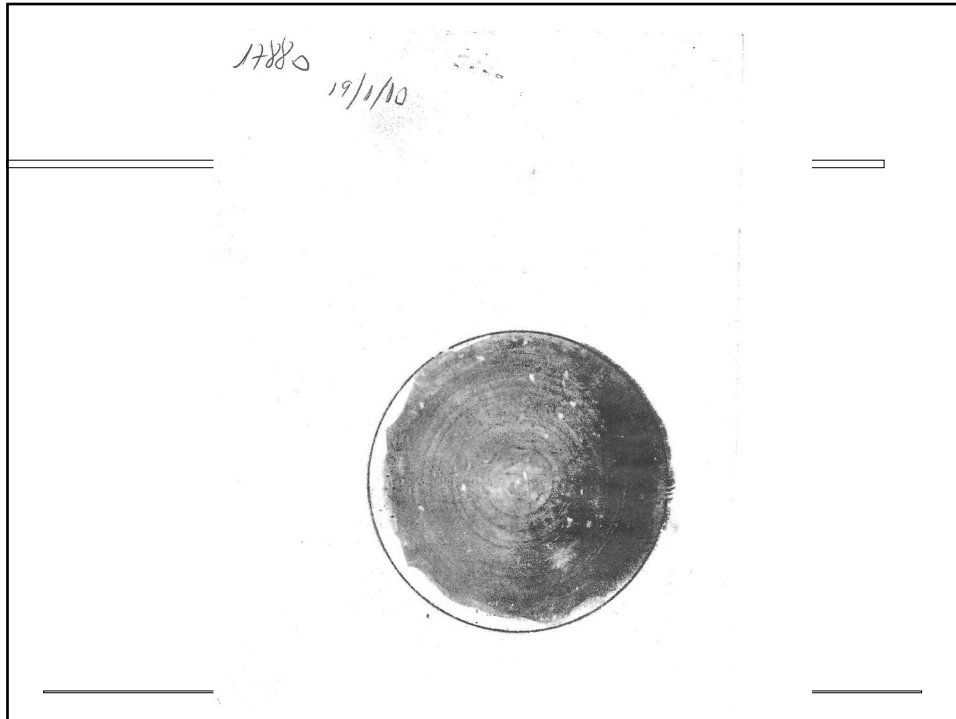
140



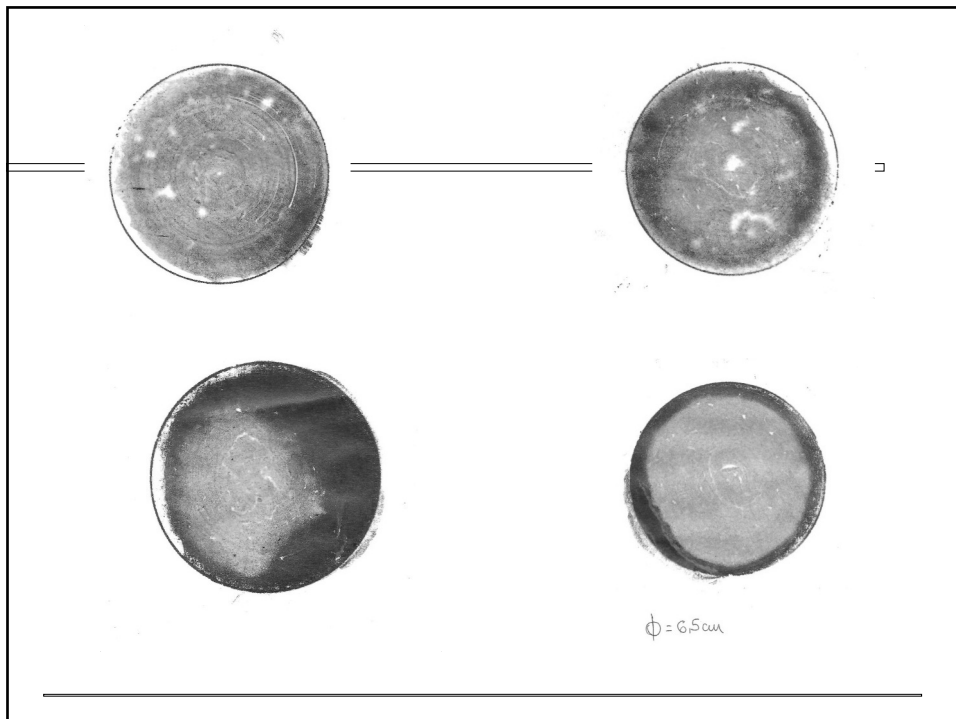
141



142



143



144

Segurança de Estruturas Edificações

Concreto → Controle 100%
Controle → Manter critério NBR 12655
Laboratório → ???
Execução → fundamental controlar
Projeto → fundamental uniformizar

145

SEGURANÇA

IBRACON

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

direitos reservados 2010

146

Segurança

IBRACON

Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

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

onde, na realidade 0.85 deveria depender de cada caso

direitos reservados 2010

147

Problema

IBRACON

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

direitos reservados 2010

150

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a NBR 6118 de 1978 permitia considerar :

$$f_{ck,est} = 1.15 \cdot f_{ck,ext}$$

→ o ACI 437:2003 *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings* no item 5.1.1 recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.18 \cdot f_{cm,ext}$$

→ o ACI 318:2005 *Building Code Requirements for Structural Concrete*, nos itens 9.3 e 20.2, recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.21 \text{ a } 1.25 \cdot f_{ck,ext}$$

direitos reservados 2010

151

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a **fib**(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. *Structural Concrete*. updating CEB/FIP Model Code 90, item 6.3 p.59 recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.11 \text{ a } 1.20 \cdot f_{ck,ext}$$

→ a NBR 6118:2003 item 12.4.1, recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.1 \cdot f_{ck,ext}$$

aceitando uma redução de 10% no γ_c em nome da maior representatividade de $f_{ck,ext}$ em relação a $f_{ck,ef}$

direitos reservados 2010

152

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ o EUROCODE 2. EN1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A item A.2.3 → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements. p. 200, recomenda para revisão da segurança:

1. sob controle rigoroso de geometria (excelente execução), revisar a segurança adotando:

$$\gamma_s = 1.05 \text{ (ao invés de 1.15)}$$

$$\gamma_c = 1.35 \text{ (ao invés de 1.5)} \rightarrow \gamma_c = 1.26$$

1. a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:

$$f_{ck,est} = 1.18 \cdot f_{ck,ext}$$

direitos reservados 2010

153

Revisão da segurança resumo

norma	$f_{ck,est} = \eta \cdot f_{ck,ext}$	γ_s
NBR 6118:1978	1.10 a 1.15	1.15
NBR 6118:2003	1.10	1.15
ACI 318:2005	1.21 a 1.25	1.15
ACI 437:2005	1.18	1.15
Model Code CEB:1999	1.10 a 1.20	1.15
EUROCODE 2 & EN 13791:2004	1.18	1.05

154

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 ?

155

1º Passo

Aplicar coeficientes de correção devidos a:

- dimensões padrão: → NBR 7680
- direção de extração
- posição no elemento
- broqueamento

obtem-se → $f_{c,ext,j}$

156

2º Passo

Passar de extraído a moldado:

→ coeficientes de 1,10 a 1,25

obtem-se →

$$f_{c,j} = k f_{c,ext,j}$$

157

3º Passo

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se →

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

158

4º Passo

Passar de moldado $f_{c,28}$ para $f_{ck,est,28}$

1. Mesmo lote;
2. Mesmo componente;
3. Mesma unidade de produto

obtem-se $\rightarrow$

$$f_{c,28} = f_{ck,est,28}$$

159

5º Passo

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

1. NBR 8953

obtem-se $\rightarrow$

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

160

Conformidade do Concreto

IBRACON

Depende:

- **Empresa de Concreto** → domínio do processo
- **Empresa de Controle** → eficiência das operações de ensaio
- **Empresa Construtora** → precisão construtivas → tolerâncias
- **Empresa de Projeto** → especificação correta

Problemas:

- ✓ **Variabilidade dos materiais**
- ✓ **Mão-de-obra despreparada (motorista e técnico)**
- ✓ **Falta de conceitos e de bom senso** (exigências descabidas)

direitos reservados 2010

161

Conformidade do Concreto

IBRACON

Construtor:

- **Pedir slump baixo por preço;**
- **Pedir 400kg/m³ cimento e $f_{ck}=20MPa$;**
- **Lançar concreto de altura;**
- **Fôrma não estanque e não estável.**

Projetista:

- ✓ **Usa cobrimento menor com $\Delta_c=0,5cm$;**
- ✓ **Pede E_c de laje maciça com 19cm ou menos;**
- ✓ **Cria dificuldade para vender facilidade.**

direitos reservados 2010

162

Conformidade do Concreto

IBRACON

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

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

direitos reservados 2010

163

Conformidade do Concreto

IBRACON

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

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

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

direitos reservados 2010

164

“INTERVALO”

{ abrir parenteses para
recordar como é o critério
de introdução da
segurança no projeto das
estruturas de concreto }

165

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

1. Para fins de cálculo:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{1,4} * 0,85$$

Direitos Reservados 2010

166

166

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,16 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1,16 \rightarrow$ 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

Direitos Reservados 2010

167

167

Premissas

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

Direitos Reservados 2010

168

168

concreto em dias.

Crescimento da Resistência

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

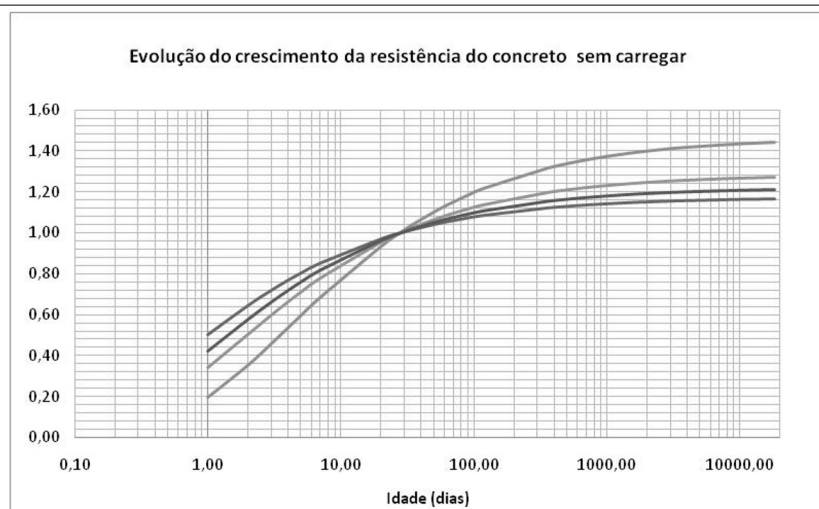
CPV ARI	s = 0,20	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	s = 0,25	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	s = 0,38	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	s = 0,1545	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

Direitos Reservados 2010

169

169

Gráfico



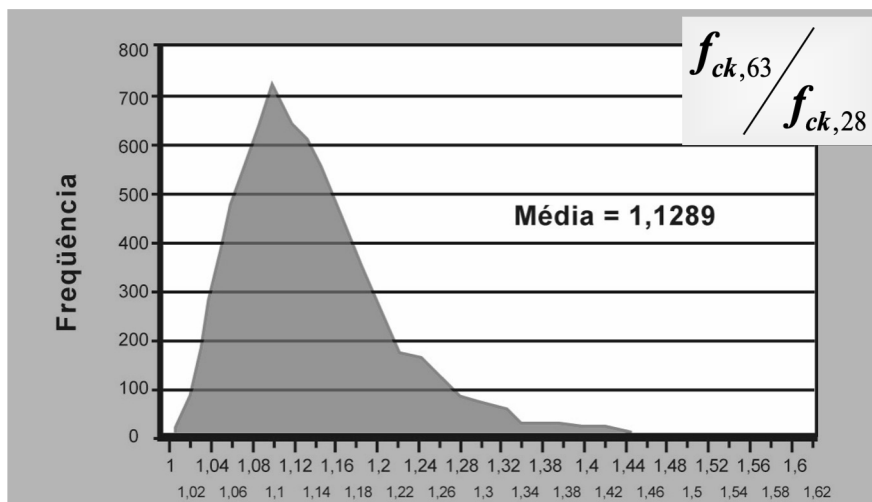
170



Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos

IBRACON



Direitos Reservados 2009

171

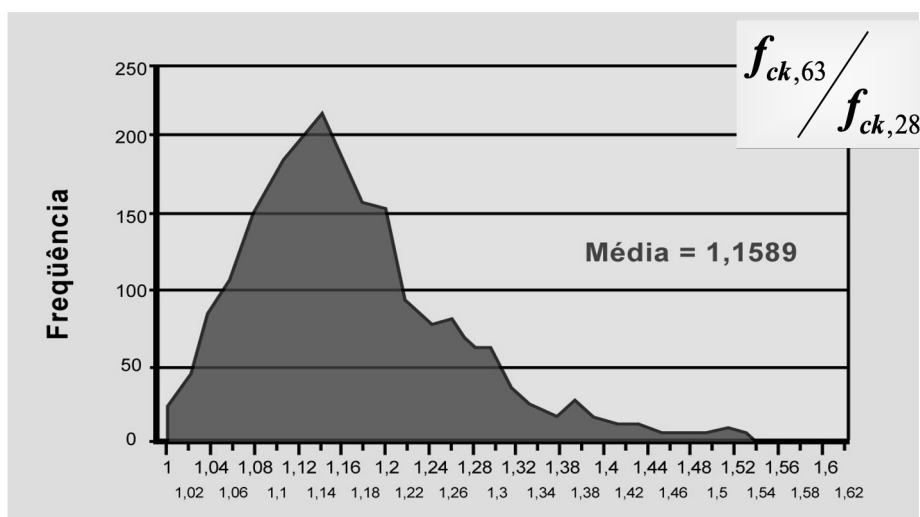
171



Análise

2.046 Registros Analisados, CP III

IBRACON



Direitos Reservados 2009

172

172

Premissas

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

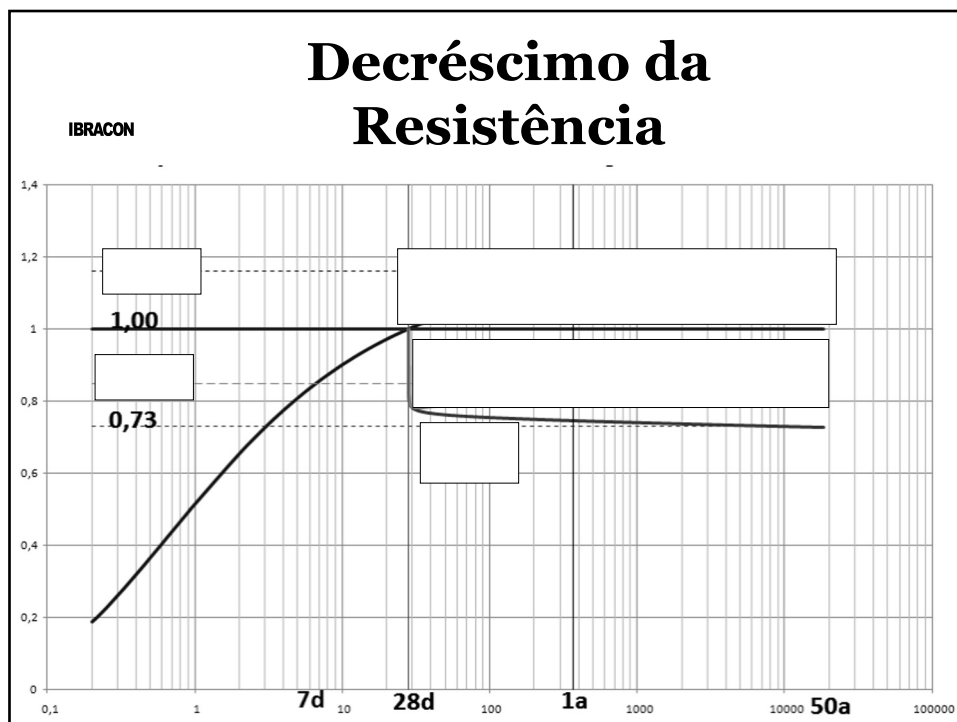
Relaxação das Resistências (efeito Rüsch)

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

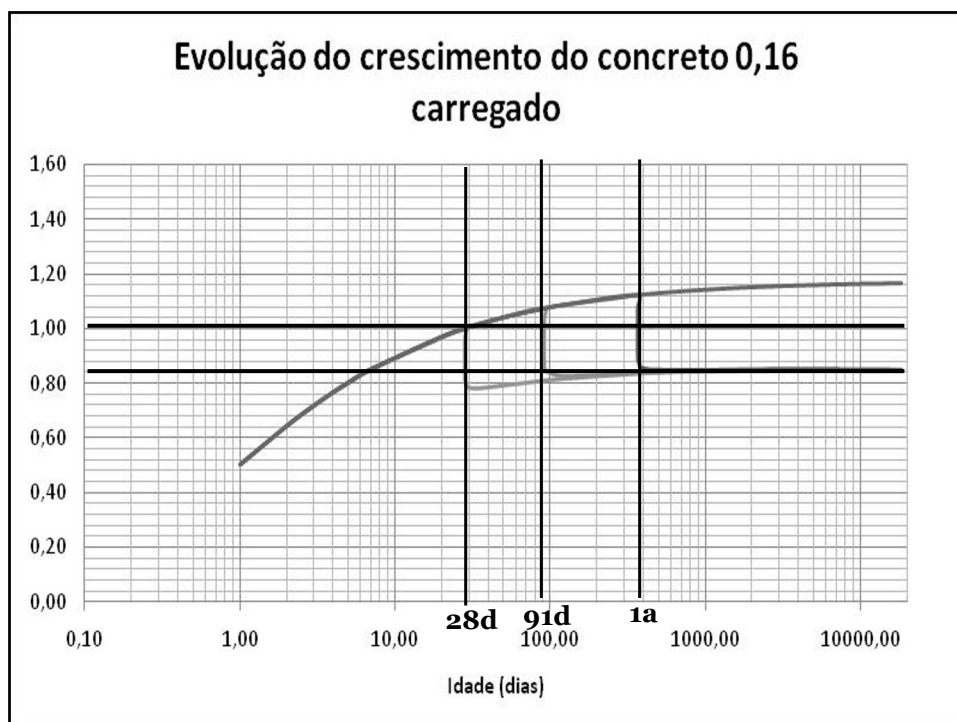
→ **j** em dias

→ **t_o** → idade de aplicação das cargas

→ **j - t_o** > 15minutos



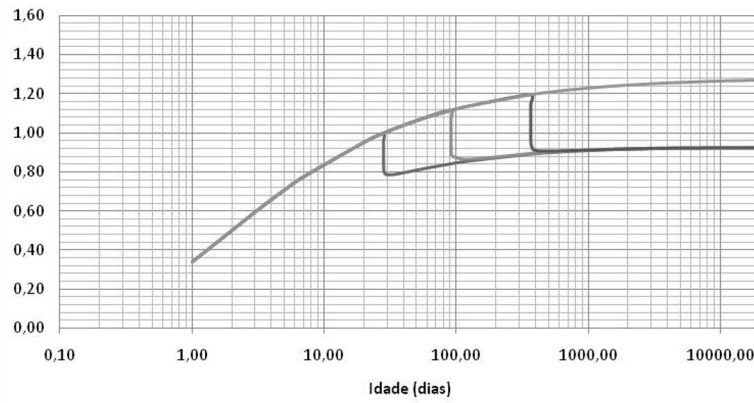
175



176

Gráfico

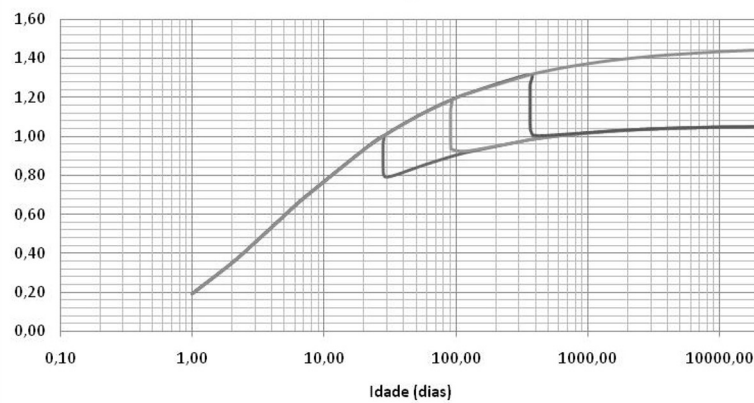
**Evolução do crescimento do concreto 0,25
carregado**



177

Gráfico

**Evolução do crescimento do concreto 0,38
carregado**



178

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

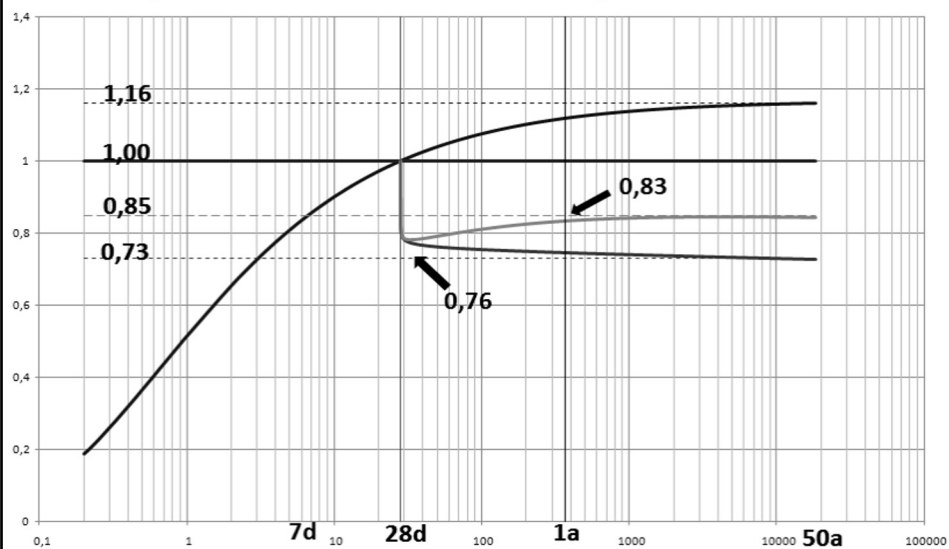
Direitos Reservados 2010

180

180

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias

IBRACON

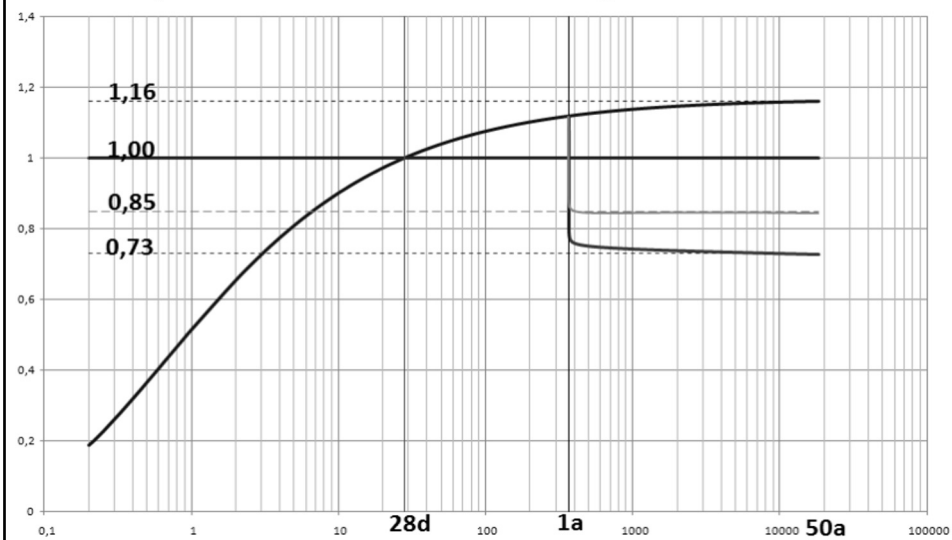


181

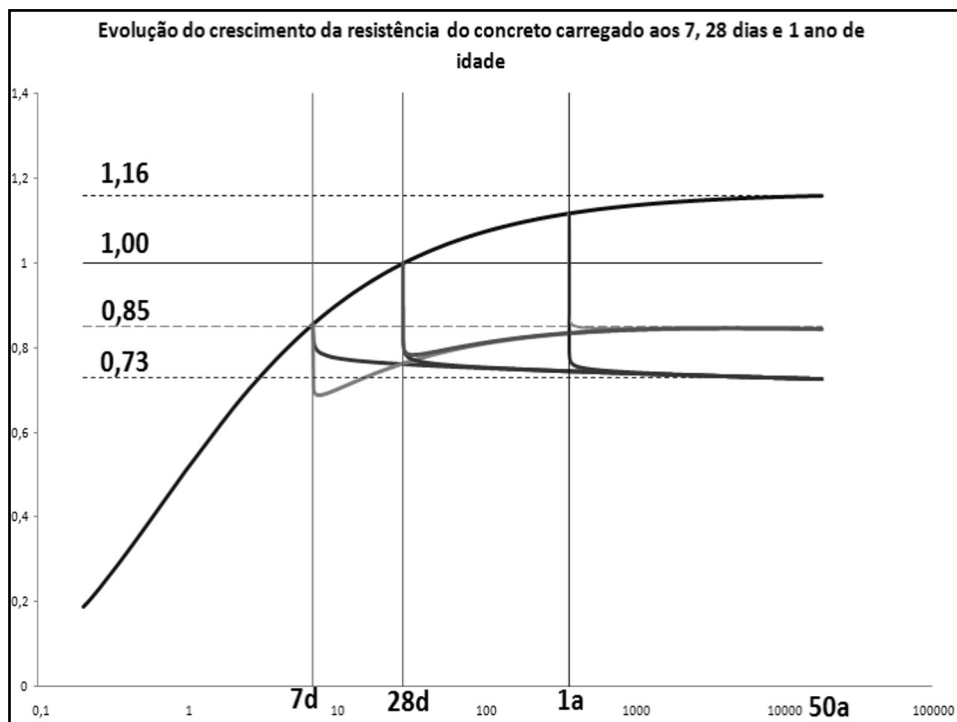
onde j é a idade do concreto em dias.

Resistência do Concreto “carregado” a 1ano

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado a 1 ano de idade



183



184

“recordação”

{ fechar parenteses }

3º Passo

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se $\rightarrow$

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

3º Passo

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. **Componente foi carregado a 28 dias**

Direitos Reservados 2010

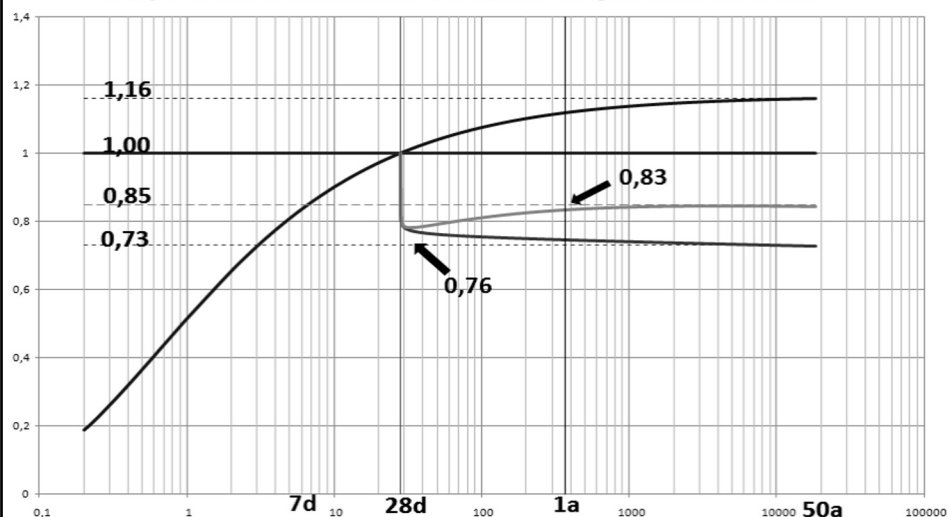
187

187

Resistência do Concreto “carregado” a 28 dias

IBRACON

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado aos 28 dias de idade



188

3º Passo

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
exemplo: extração foi a 1 ano

obtem-se $\rightarrow$

$$f_{c,28} = 1/\beta \ f_{c,1ano}$$

Direitos Reservados 2010

189

189

3º Passo

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. ***Componente será carregado a j dias***

Direitos Reservados 2010

190

190

3º Passo

Passar de moldado a **j** dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a **j** dias

obtem-se →

$$f_{c,28} = 1/\beta_1 f_{c,j}$$

Direitos Reservados 2010

192

192

4º Passo

Passar de moldado $f_{c,28}$ para $f_{ck,est,28}$

1. Mesmo lote;
2. Mesmo componente;
3. Mesma unidade de produto

obtem-se →

$$f_{c,28} = f_{ck,est,28}$$

Direitos Reservados 2010

193

193

5º Passo

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

1. NBR 8953

obtem-se $\rightarrow$

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

Direitos Reservados 2010

194

194

Dúvidas

IBRACON

Considerando que o E.L.S. recomenda
manter as tensões de serviço dos
elementos estruturais

$$\sigma_c = 0,4 * f_c$$

será que faz sentido considerar risco de
relaxação das resistências?

Direitos Reservados 2010

195

195

Dúvidas

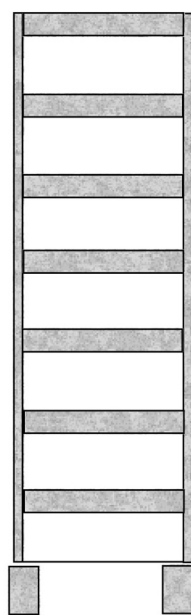
Uma vez que o β é variável e depende da idade de carga e do concreto, faz sentido usar um único coeficiente fixo $\beta = 0,85$?

Exemplo

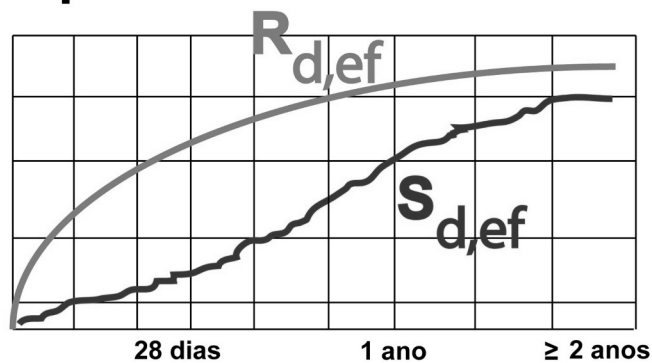
EDIFICAÇÕES

Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

- lajes e vigas → 7 dias?
- pilares e fundações → 6 meses?



Estudo analítico da distribuição de S_d e de R_d , com a idade e o processo construtivo





202



203