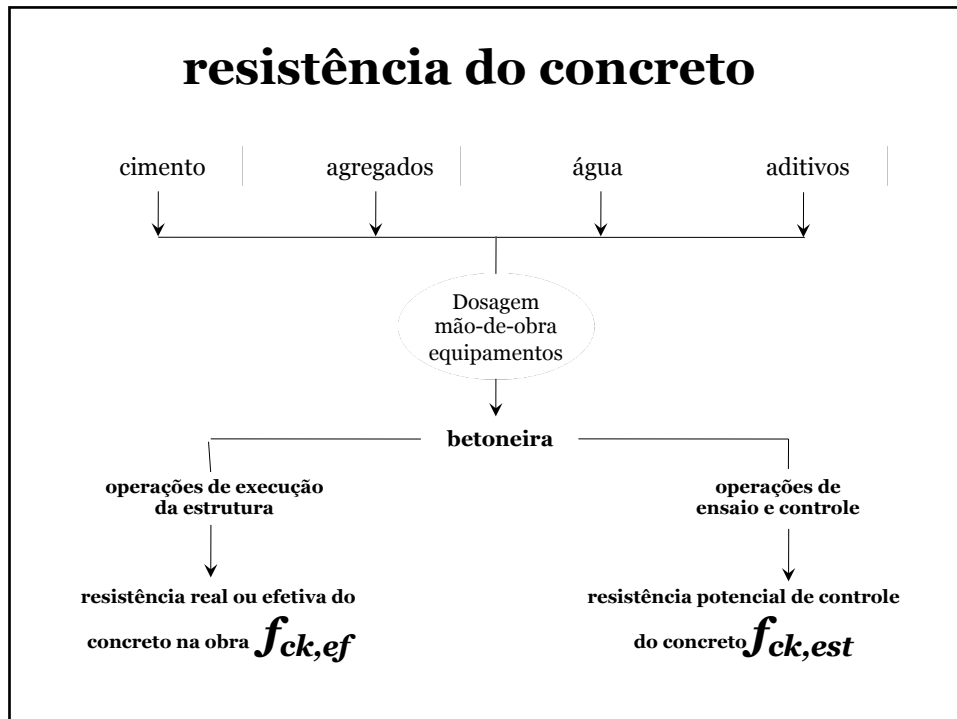


Análise da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes com Vistas à Segurança

Paulo Helene

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

1



2

Definições

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

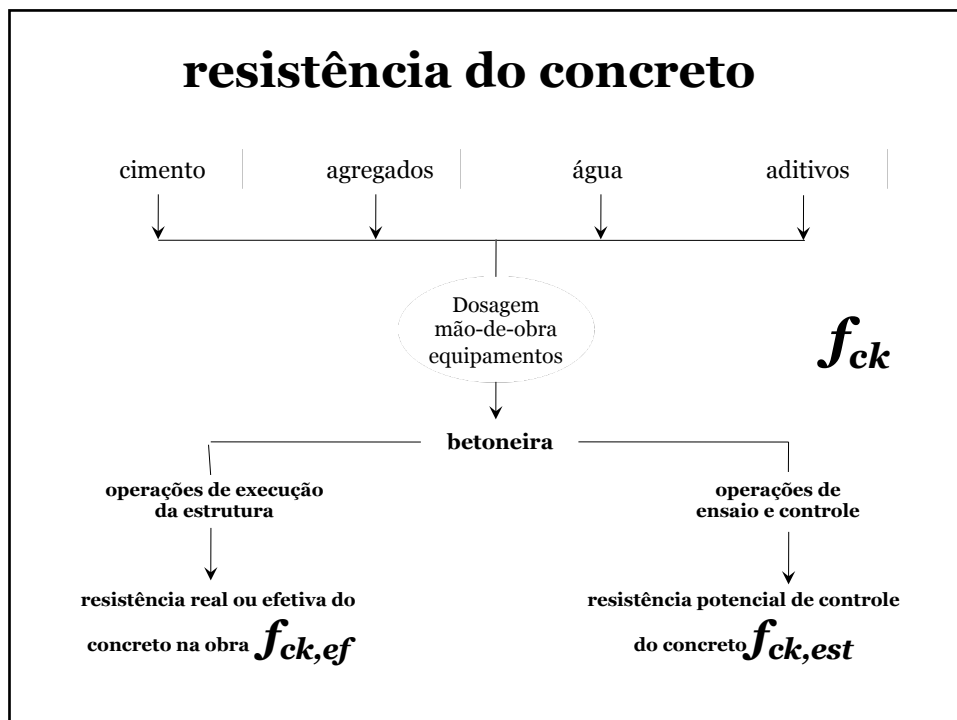
σ_{cd} → tensão de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

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)

3



4

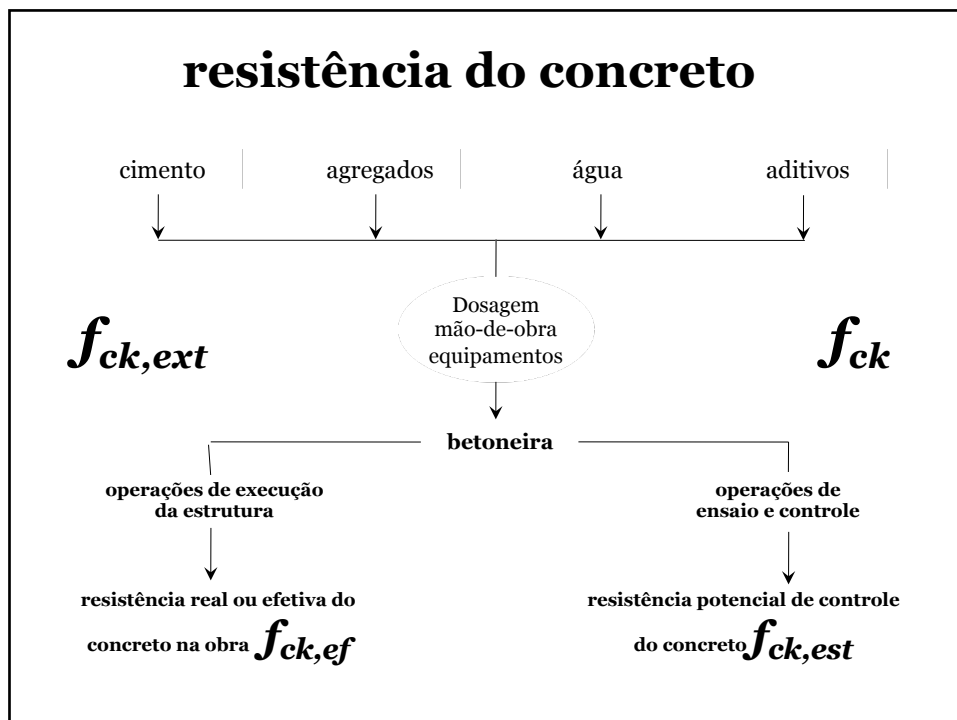
$f_{ck,ef} \rightarrow$ impossível de ser conhecido

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

$$\gamma_c = 1,5$$

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

5



6

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

9

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.

10

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 !

11

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
-

12

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.*
-

13

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.*
-

14

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.*

15

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

16

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

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.

(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

18

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

19

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 $\eta = 0,85$.

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:*

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

20

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 ($f=150mm \rightarrow 0,98$; $f=100mm \rightarrow 1,00$; $f=50mm \rightarrow 1,06$)

F_{mc} → depende do sazamento (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, $f_c = 1 * 1,06 * 1,09 * 1,06 * f_{core} \rightarrow f_c = 1,225 * f_{core}$

21

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...

24

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

25

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

27

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.

28

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
-

29

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

30

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
-

31

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
-

32

EXPERIMENTO

- **Lajes e (vigas)**
 - 06 obras → concreto de Central
 - cps extraídos das lajes maciças $10\text{cm a } 15\text{cm}$
 - 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 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$
-

33

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)

34

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.

35

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

36

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

37

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
-

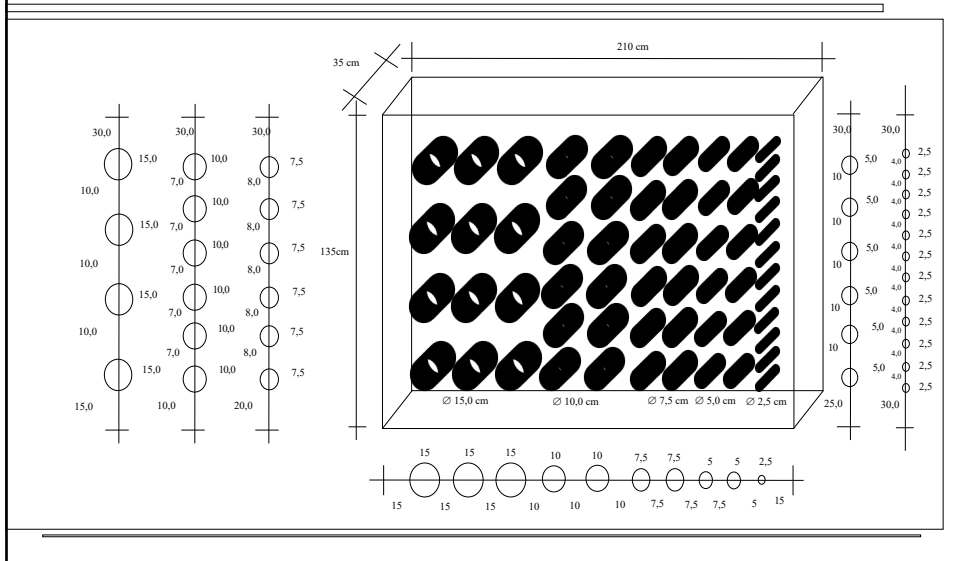
38

EXPERIMENTO

- 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.
-

39

BLOCO TIPO (210X135X35)cm



40



41



42



Parede/bloco perfurada

43

Conclusões

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...

44

Conclusões das Teses

Efeito deletério do “broqueamento”:

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

Efeito deletério do “broqueamento + outras variáveis”:

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

45

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
-

46

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118

**É 100%
exato?**

47

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118

Não!

48

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

- 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
-

49

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

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

50

Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

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 # 16	16	-49.0

Giordano J. Loureiro, IBRACON, 2009

51

interpretação de resultados de testemunhos

52

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

53

testemunhos extraídos
estudo de caso → $f_{ck} = 35\text{MPa}$

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 → 31.9

54

testemunhos extraídos
estudo de caso → $f_{ck} = 35\text{MPa}$

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

55

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
-

56

execução das estruturas de Concreto NBR 14931 (Construtores)

**É 100%
confiável?**

57



58



59



60



61

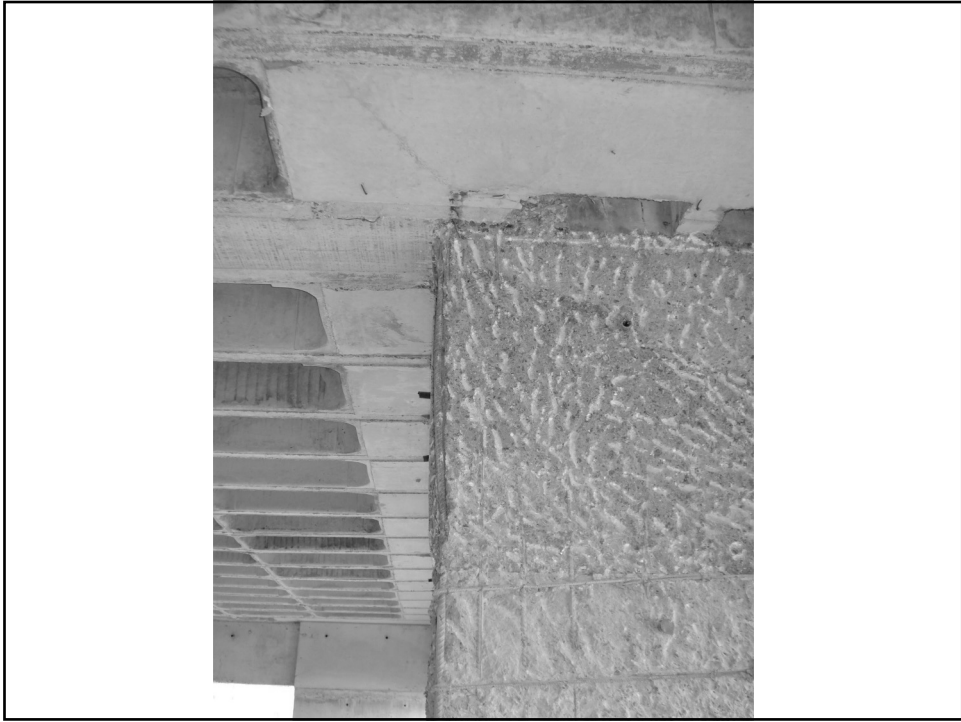
Cabeça de pilar sem
ganchos transversais
nem estribos



62



63



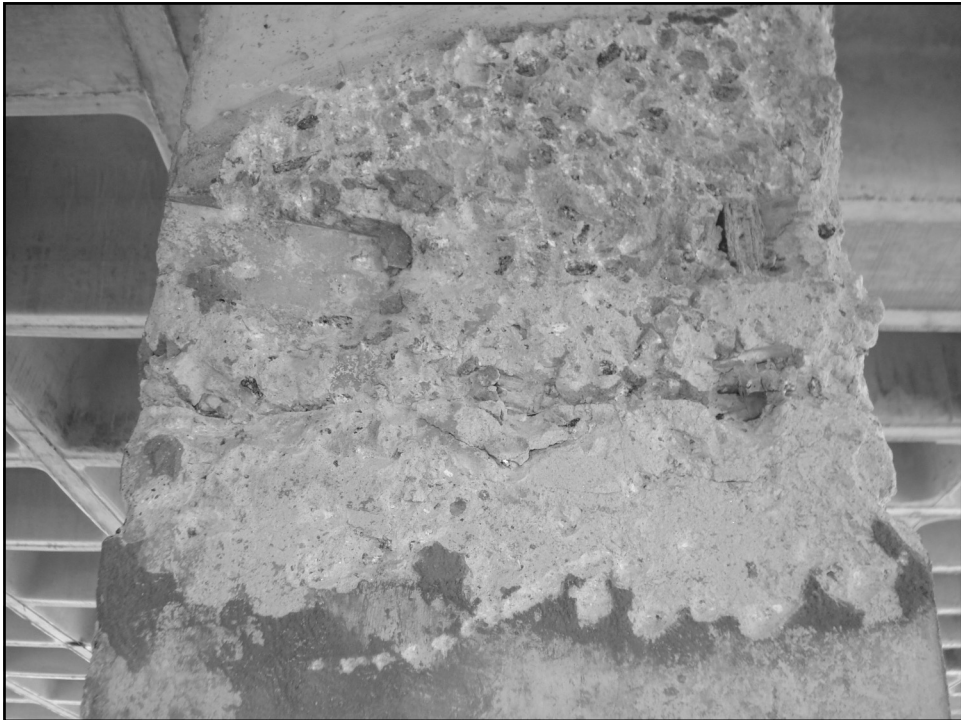
64



65



66



67



68



69



70



71



72



73

Construção

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



74

Construção



75

Construção



76

Construção



77

Construção



78



79

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
-

80

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

**É 100%
confiável?**

81

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

Não !

82

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

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. Balanceiro (automatizada????)
 11. Motorista;
 12. Bombista
- CUMPLICIDADE !!!!!**
-

83

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
-

84

controle NBR 12655:2006

**É 100%
confiável?**

85

controle
NBR 12655:2006

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

86

controle
NBR 12655:2006

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

87

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
-

88

controle realizado por LABORATÓRIO

**É 100%
confiável?**

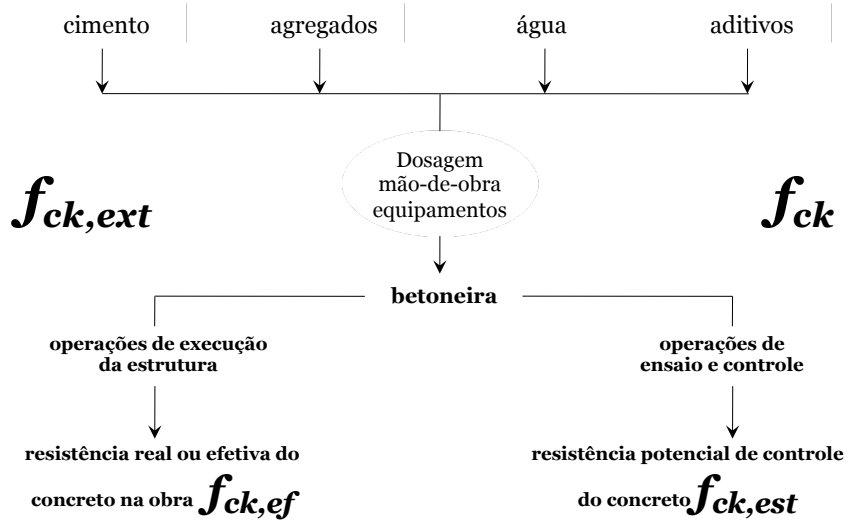
89

controle LABORATÓRIO

Não !

90

controle do concreto resistência



91

Controle da resistência do concreto NBR 12655 (Laboratórios)

Operações de ensaio:

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

92

Controle da resistência do concreto NBR 12655 (Laboratórios)

Operações de ensaio:

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

**Extração e
ensaio de
testemunhos!**

93

Dúvidas

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

94



95



96



97

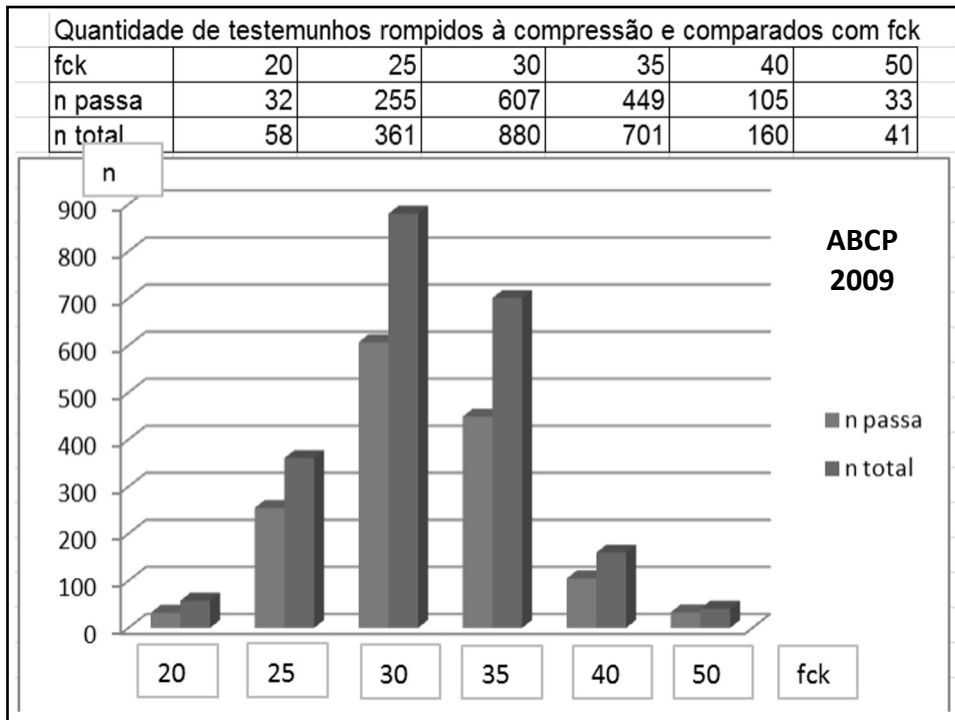
ordem	nota fiscal	consistência do concreto fresco	Resistência à Compressão		crescimento de 7 para 28 dias
			7 dias 7-Apr-09	28 dias 28-Apr-09	
1	206099	686	48.9	50.2	1.027
2	206100	736	53.6	54.8	1.022
3	206101	746	57.1	57.8	1.012
4	206102	753	51.0	51.4	1.008
5	206103	743	44.0	53.6	1.218
6	206105	726	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	

98

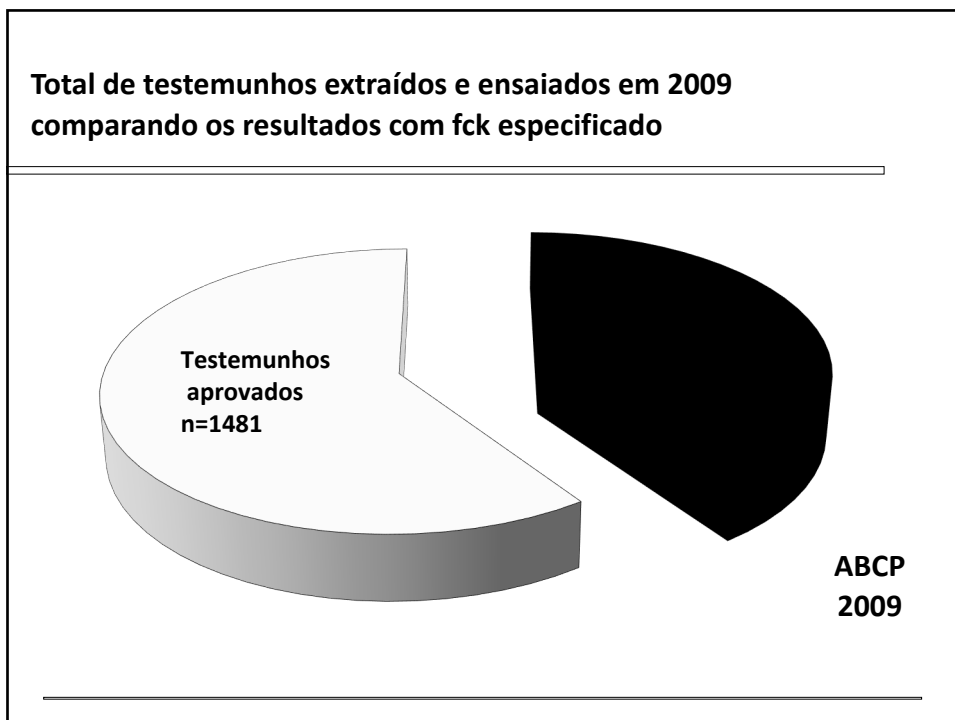
Dúvidas

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

99



100



101

extração de testemunhos LABORATÓRIO

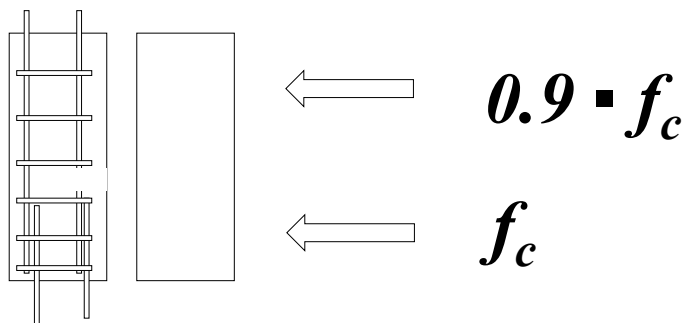
É 100% confiável?

102

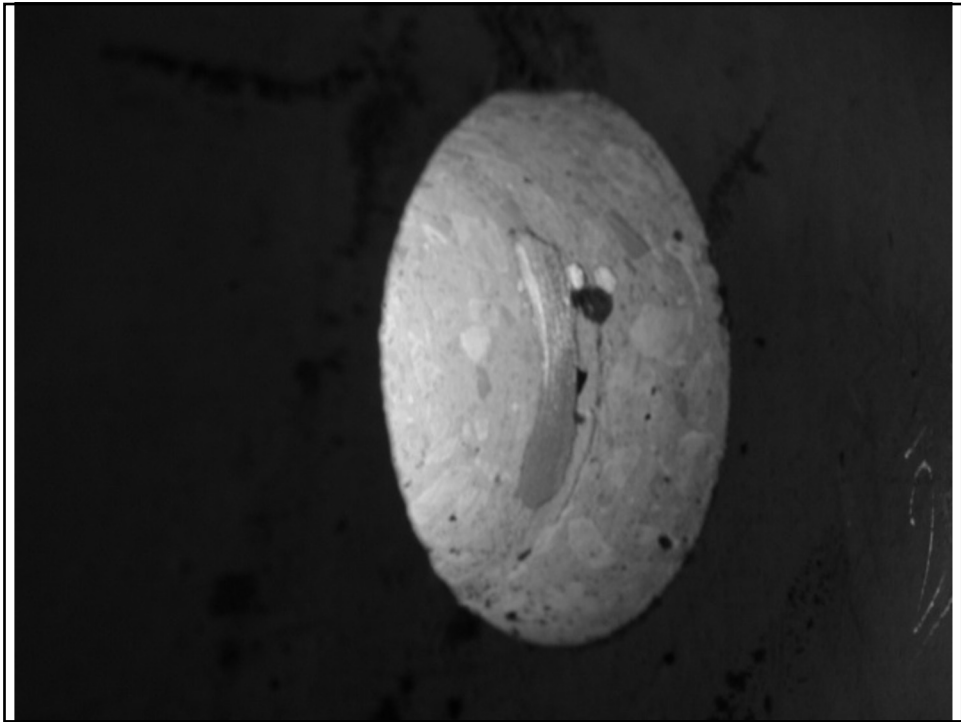
testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

- ✓ não cortar armadura (pacômetro);
- ✓ evitar extrair de lajes, dar preferência a vigas;
- ✓ pilares evitar topo e pé, extrair logo acima dos arranques;
- ✓ pilares evitar extrair mais de um, se necessário mesma prumada;



103



104



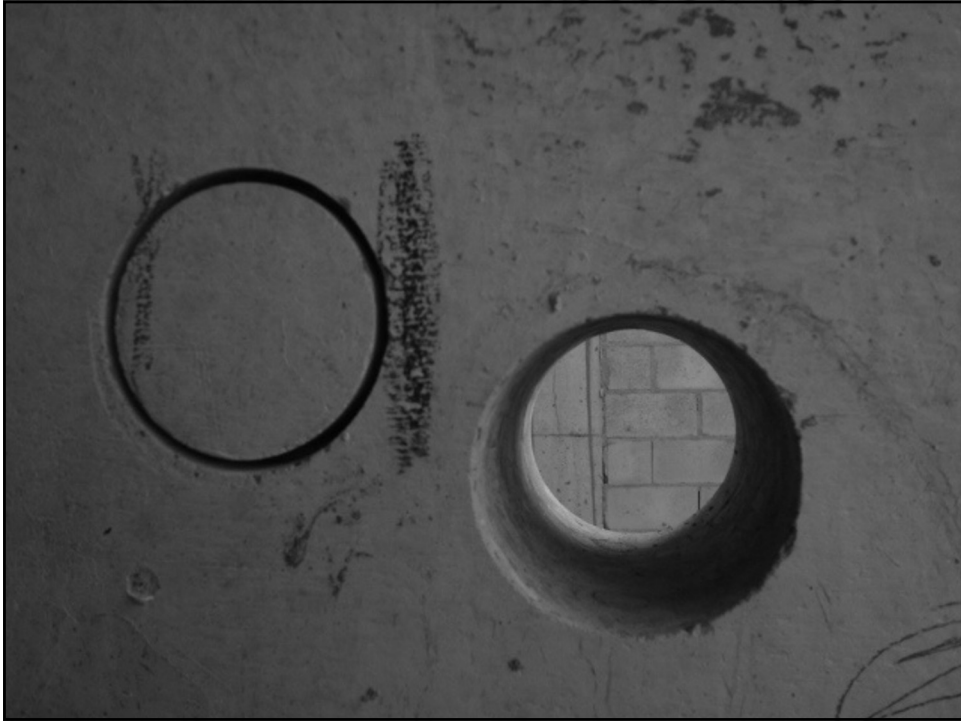
105



106



107



108



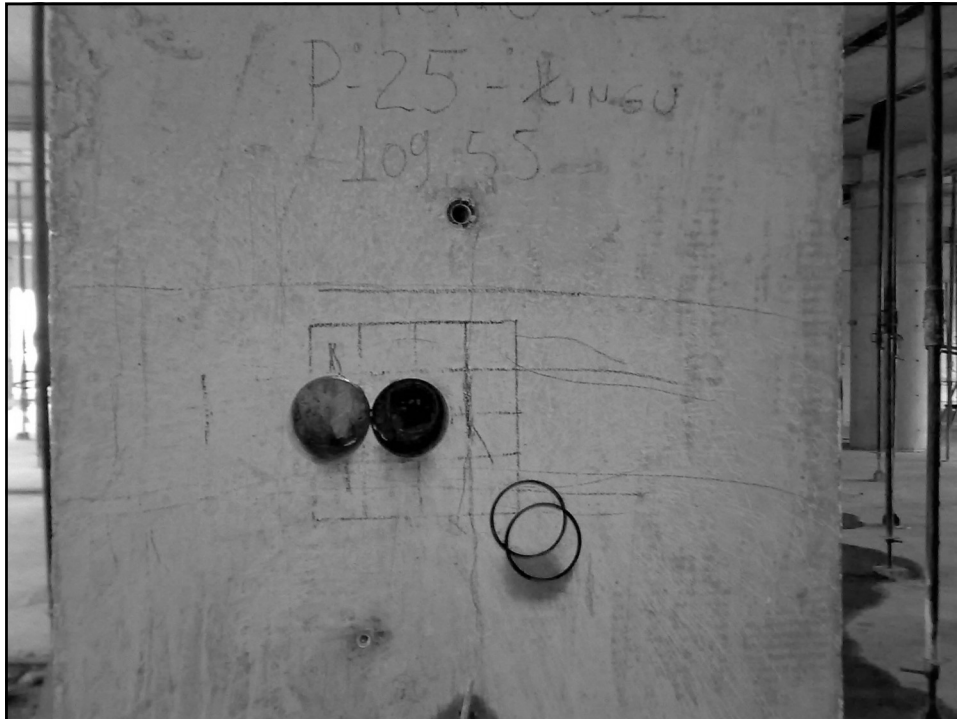
109



110



111



112

Atenção ! Cuidado !

pilar de 40cm * 40cm = 1600cm²

testemunho de 10cm * 20cm

furo de 11cm * 22cm = 242cm²

> 15% da secção de concreto !

113



114



115



116



117



118



119



120



121



122



123



124



125



126



127



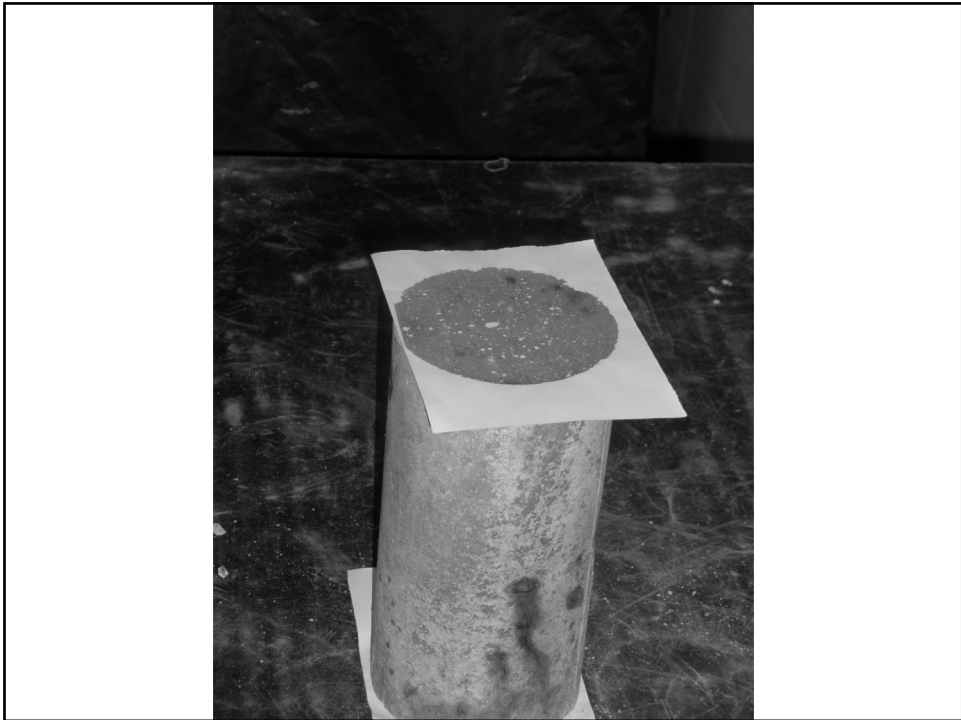
128



129



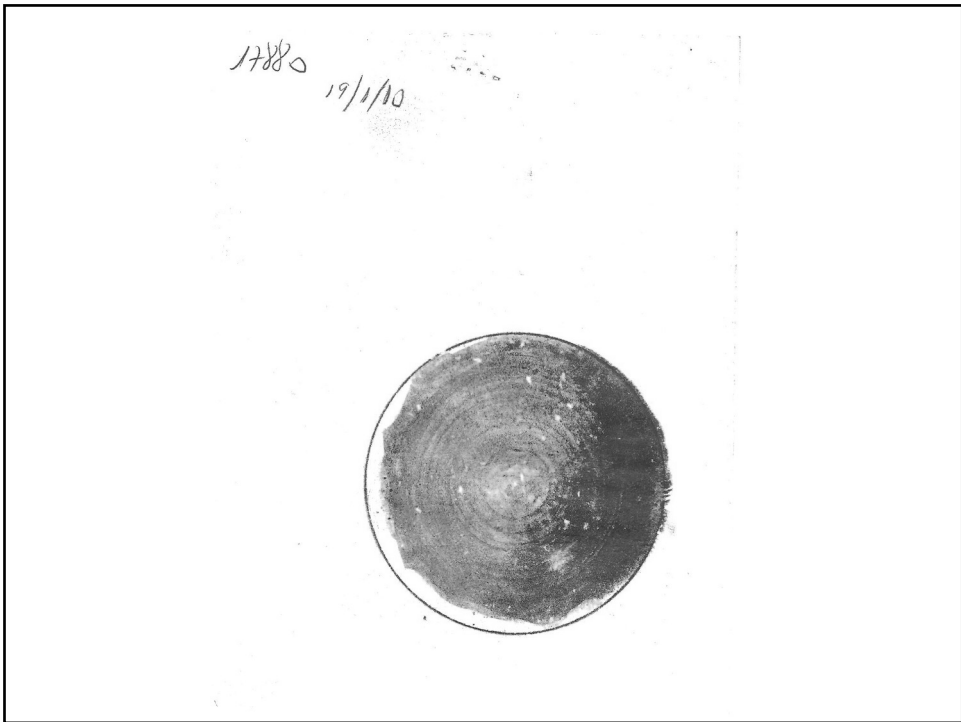
130



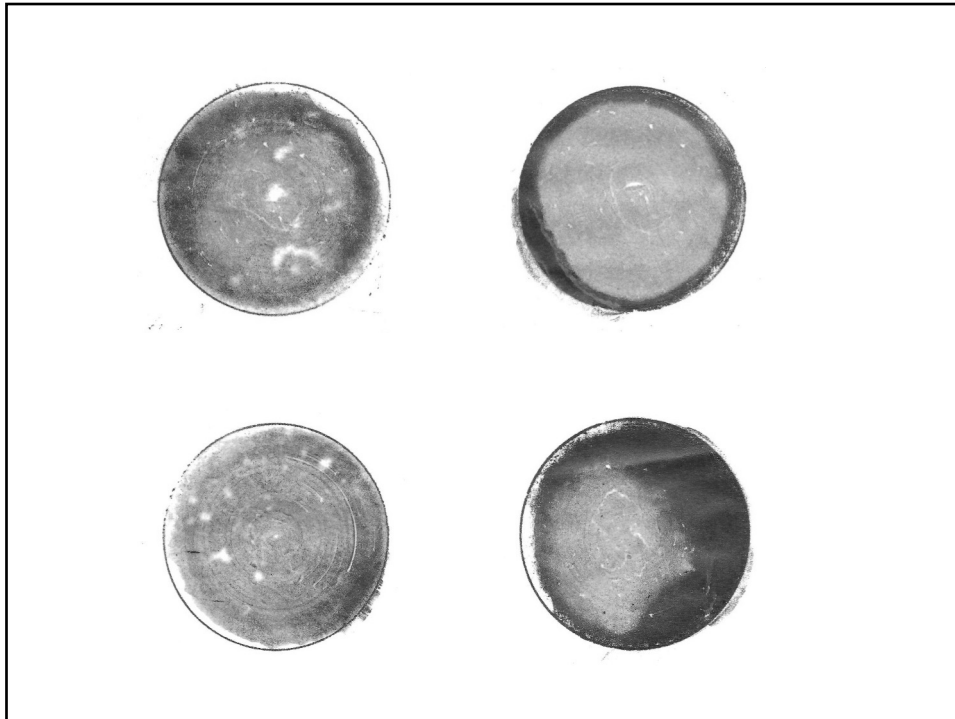
131



132



133



134

Segurança de Estruturas Edificações

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

135

Problema

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

136

1º Passo → tecnologia de concreto

Aplicar coeficientes de correção devidos a:

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

obtem-se → $f_{c,ext,j}$

137

2º Passo → tecnologia de concreto

Passar de extraído a moldado:

→ efeito de broqueamento

(Vieira $k=1,07$ e ACI 214 $k=1,06$)

obtem-se →

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

138

3º Passo → tecnologia de concreto

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 →

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

139

4º Passo → tecnologia de concreto

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

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

obtem-se →

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

140

5º Passo → tecnologia de concreto

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

NBR 8953

obtem-se o novo $f_{ck,eq}$ →

$f_{ck,eq}$ → **C20; C25; C30;**
C35; C40; C45; C50

141

Comparar

o novo $f_{ck,eq}$ com f_{ck} especificado no projeto original

$f_{ck,eq} \geq f_{ck} \rightarrow$ encerrar

$f_{ck,eq} < f_{ck} \rightarrow$ proceder à verificação da segurança

142

**6º Passo →
verificação da segurança**

**depende
da norma**

143

Revisão da segurança

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a NBR 6118 de 1978 permitia considerar :

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

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

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

144

Revisão da segurança

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:

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

→ a NBR 6118:2003 item 12.4.1, recomenda:

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

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

145

Revisão da segurança

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:

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

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

1. a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:

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

146

Revisão da segurança resumo

norma	γ_c	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

147

Conformidade do Concreto

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)
-

148

Conformidade do Concreto

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

*Falta de ética
Atuação venal
Mezquinhez
Avaréza
Corrupção
Onipotência
Omissão
Despreparo
Ignorância*

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

149



150