

TECNOLOGISTA: DIRETRIZES A SEREM SEGUIDAS PELOS CONSULTORES EM TECNOLOGIA DOS MATERIAIS E LABORATÓRIOS DE ENSAIO



"do Laboratório de Pesquisa aos Canteiros de Obras"

Paulo Helene

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Vice-Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Coordenador Internacional de la Red Rehabilitar CYTED
Member of fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design*

28 de abril de 2009 terça-feira, 18:30h

Sede da ABECE

Av. Brigadeiro Faria Lima 1993 cj.61

1



Definições

IBRACON

f_{cd} → resistência de projeto do concreto à compressão para qualquer idade

σ_{cd} → tensão de compressão do concreto máxima a qualquer idade adotada no projeto

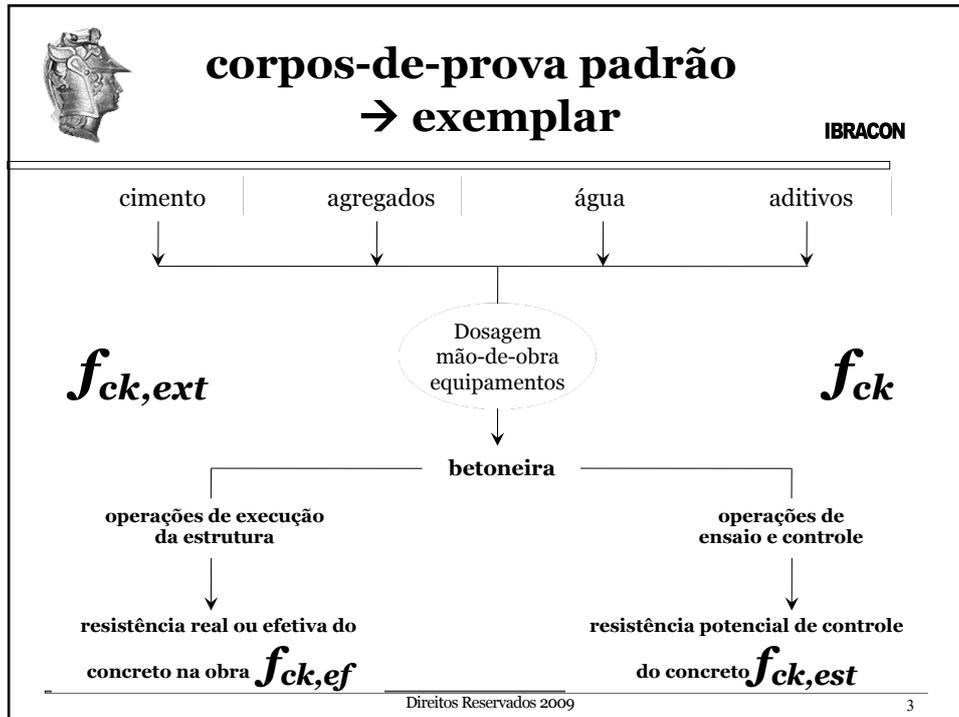
f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural (28dias) ($f_{ck,esp}$)

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

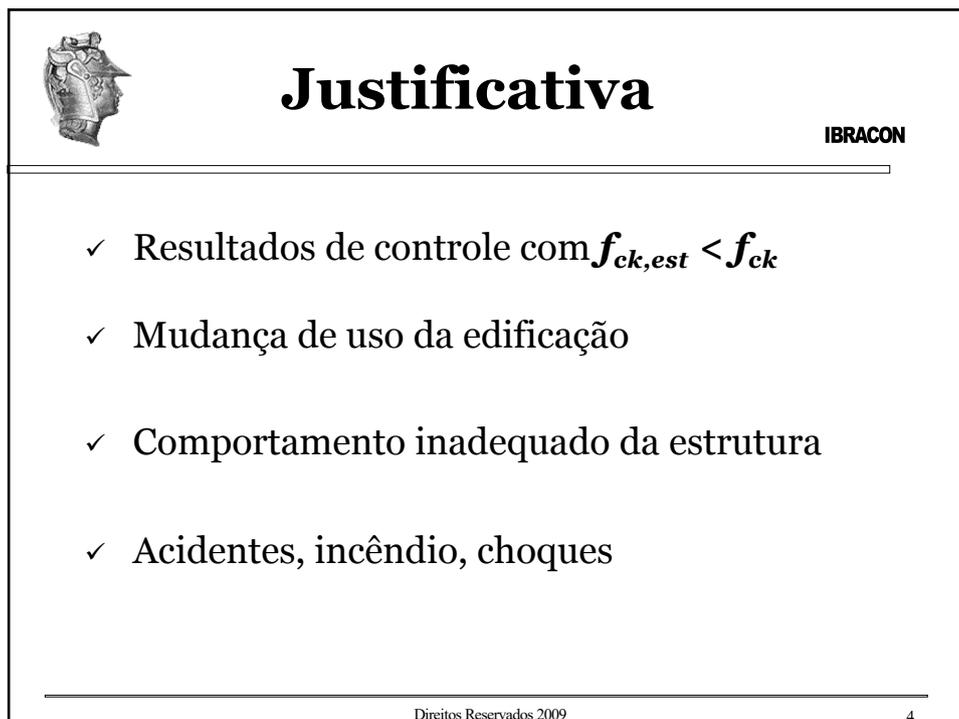
$f_{ck,ef}$ → resistência característica do concreto à compressão efetiva (real) do concreto na estrutura a qualquer idade

$f_{ck,ext}$ → resistência característica do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos a qualquer idade

2



3



4



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 2009

5

5



Premissas

IBRACON

Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

1. Para fins de projeto:

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

desde que $f_{ck,est} \geq f_{ck}$

28dias de idade

Direitos Reservados 2009

6

6



Premissas

IBRACON

Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

1. Para fins de revisão de projeto a partir de $f_{c,ext}$:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck,est}}{\gamma_c} * w_r = \frac{f_{ck,est}}{1,27} * w_r$$

onde w_r , depende de cada caso

Direitos Reservados 2009

7

7



Premissas

IBRACON

- Controle da resistência do concreto em conformidade com NBR 6118:2003 Projeto de Estruturas de Concreto
- Controle da resistência do concreto em conformidade com NBR 12655:2006 Preparo, Controle e Recebimento
- Auto-controle de produção do concreto em conformidade com NBR 12655:2003 Preparo, Controle e Recebimento
- Auto-controle de produção do concreto em conformidade com NBR 7212:1984 Execução de Concreto Dosado em Central

Direitos Reservados 2009

8

8



Dúvidas

IBRACON

Apesar de todos esses procedimentos existirem pode ocorrer dúvidas quanto aos valores obtidos nos controles de aceitação ou recebimento, ou seja, dúvidas sobre $f_{ck,est}$

O resultado final de $f_{ck,est}$ depende:

- da variabilidade da produção;
- da representatividade da amostragem;
- das operações de ensaio



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 transportados no mesmo dia;
- ❖ os cps ficam no sol;
- ❖ os cps são mal transportados;
- ❖ os resultados não crescem
- ❖ os resultados de irmãos são díspares



11



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 transportados no mesmo dia;**
- ❖ **os cps ficam no sol;**
- ❖ **os cps são mal transportados;**
- ❖ os resultados não crescem
- ❖ os resultados de irmãos são díspares

12



Dúvidas

IBRACON

Direitos Reservados 2009

13

13



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 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 2009

14

14

| ordem | nota fiscal | consistência do concreto fresco | | | 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 |

15



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

- amostragem no terço médio do volume do caminhão
- exemplo → NBR 11562:1990. Fabricação e Transporte de Concreto para Estruturas de Centrais Nucleoelétricas. (*Bureau of Reclamation*)

“desvio relativo à média de 7,5% para resistência à compressão dentro do balão do caminhão betoneira (40MPa → 37MPa a 43MPa)”

Direitos Reservados 2009

16

16



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

f_c

valor duvidoso, dependente de operações de ensaio, sujeito a efeitos climáticos, sujeito ao fator humano, variabilidade intrínseca, porém admitido como

***resistência máxima
potencial na boca da
betoneira***

*portanto na obra será sempre menor.
quanto?*

Direitos Reservados 2009

17

17



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

- f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão axial obtida no cp padrão especificada pelo projetista (*máxima e hipotética!*);
“desejaria que 95% do volume de concreto entregue tivesse $f_c \geq f_{ck}$ (30MPa), ou seja, pode existir pequena quantidade de concreto com $f_c < f_{ck}$ → 3.500m³ posso admitir 175m³ (22 caminhões!)”
- $f_{ck,ef}$ → resistência característica efetiva do concreto à compressão na obra (*impossível!*) sendo a única certeza que é MENOR do que f_{ck}

Direitos Reservados 2009

18

18



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

- $f_{ck,est}$ → resistência característica estimada do concreto à compressão axial obtida de exemplares representativos das unidades de produto (betoneira), que deve atender $f_{ck,est} \geq f_{ck}$;
- *no caso de amostragem parcial ou total:*

no caso de amostragem total a 100%, para $3,500m^3$, ou seja, 440 caminhões, posso ter 22 caminhões abaixo de f_{ck} !

19

19



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

- *segurança da estrutura baseada em resultados de $f_{ck,est}$ deve ser julgada com bom senso, flexibilidade e competência*
- *não se trata de julgamentos estritos, absolutos e DETERMINISTAS pois a realidade da construção de uma estrutura “exige” uma visão ESTOCÁSTICA ou probabilista, ou seja, postura flexível e holística*
- *conclusão / advertência fundamental:*

“a conformidade (probabilista) do concreto entregue $f_{ck,est}$ deve ser analisada de forma independente da segurança do elemento estrutural”

Direitos Reservados 2009

20

20



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

raciocinando por absurdo porém conforme com a teoria vigente da introdução da segurança no projeto estrutural e de acordo com as definições e conceitos atuais:

“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 10MPa para uma estrutura de $f_{ck}=30MPa$ e ainda estar conforme com o pedido e a normalização vigente, ou seja, dentro da lei”

Direitos Reservados 2009

21

21



corpos-de-prova padrão → exemplar

IBRACON

raciocinando por absurdo porém conforme com a teoria vigente da segurança estrutural e de acordo com as definições e conceitos atuais:

“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 10MPa para uma estrutura de $f_{ck}=30MPa$ e ainda estar conforme com o pedido e a normalização vigente”

porém

“um pilar não pode receber um concreto com $f_{ck,est}$ muito abaixo de f_{ck} !”

Direitos Reservados 2009

22

22



Segunda Verificação: Testemunhos Extraídos

Obs.: muito melhor!



testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

- ✓ cilíndrico, cúbico ou prismático;
- ✓ testemunhos devem ser íntegros (descartar → vazios, ninhos, madeira, armadura, falhas, fissuras, ...);
- ✓ f_c deve ser superior a 8MPa na ocasião da extração;
- ✓ $\Phi \geq 100\text{mm}$ e sempre $\Phi \geq 3D_{max}$ do agregado;
- ✓ recomendações rigorosas com relação aos equipamentos e operações de extração... cuidados! (água, fixação, ortogonalidade, quebra, transporte, sazonalidade, corte, capeamento, retificação, ensaio,...)
- ✓ $1 \geq h/\Phi \geq 2$ (evitar montagem...Anexo A permite...)
- ✓ secos ao lab. ou saturados sup. seca → ambos 48h
- ✓ *ensaio com total desagregação, observar e registrar com fotos*

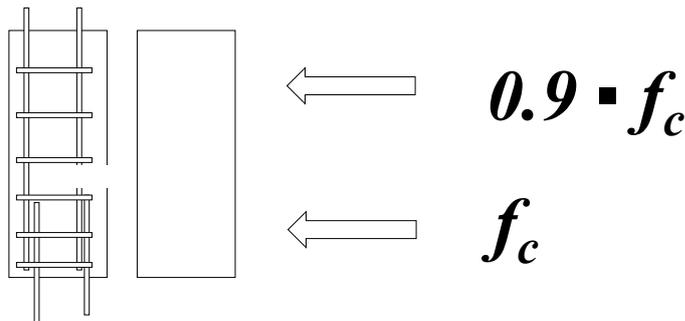


testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

IBRACON

- ✓ 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;



Direitos Reservados 2009

25

25

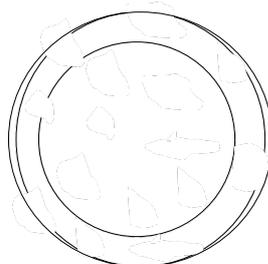


testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

IBRACON

- ✓ o ACI 437:2003 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings no item 3.1.3.1 alerta que:
para $f_{ck} = 20\text{MPa} \rightarrow f_{ck,ext} = 1.0 \cdot f_{ck,ef}$
para $f_{ck} = 60\text{MPa} \rightarrow f_{ck,ext} = 0.7 \cdot f_{ck,ef}$
- ✓ dar preferência a testemunhos de maior diâmetro;



influência nefasta da coroa
($1/6 \Phi$) para $D_{max}=19\text{mm}$:

$\Phi = 15\text{cm} \rightarrow -8\%$

$\Phi = 10\text{cm} \rightarrow -11\%$

$\Phi = 7,5\text{cm} \rightarrow -15\%$

$\Phi = 5,0\text{cm} \rightarrow -22\%$

Direitos Reservados 2009

26

26



Dúvidas

IBRACON



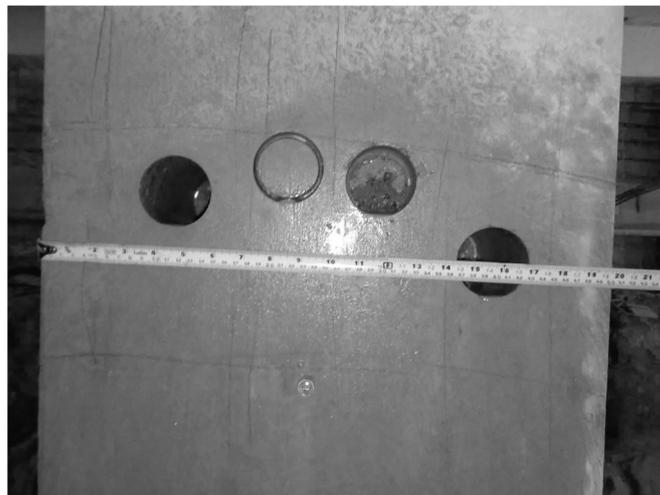
Direitos Reservados 2009

27

27



IBRACON



Direitos Reservados 2009

28

28



IBRACON



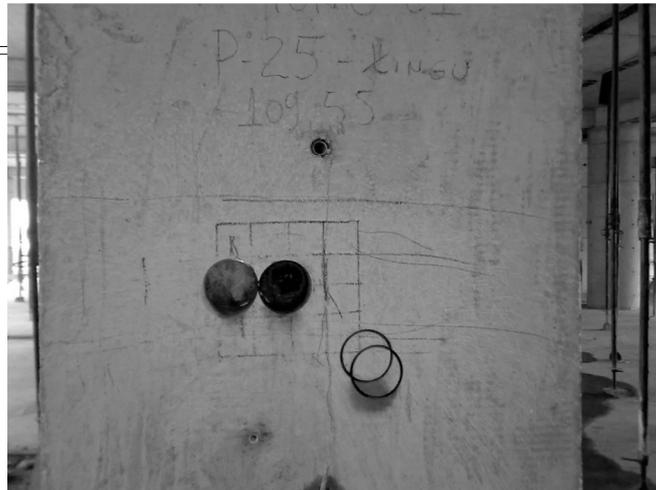
Direitos Reservados 2009

29

29



IBRACON



Direitos Reservados 2009

30

30

FICHA DE COLETA PARA AMOSTRAGEM PARA CORPOS-DE-PROVA EXTRAÍDOS

Orçamento: _____ Data da extração: 22/07 Hora início: 8:00
 Hora Término: _____

Cliente: _____ Construtora: _____

Obra: _____ Endereço: AL. ANDROMEDA

| FURO CONFORME CRDOUT | SEQUÊNCIA DE PERF SEM INTERRUPTÃO | Nº CP | NOTA FISCAL | DATA | FKK (mpa) | TAMANHO DO CP (cm) | LOCALIZAÇÃO DO FURO | BROCA (mm) | TAMANHO DO FURO APOS EXTRAÇÃO (m) |
|----------------------|-----------------------------------|-------|-------------|------|-----------|--------------------|--|------------|-----------------------------------|
| F 1º | 1º | 7A | | | 700 | 15,0 | RECUPERAÇÃO PROVA DO P330 e P340 (RESERVA R30) | 100 | |
| F 2º | 2º | 7B | | | 700 | 34,5 | " | 100 | |
| F 3º | 3º | 7C | | | 700 | 4,5 | " | 100 | |
| F 4º | 4º | 7D | | | 700 | 41,0 | " | 100 | |
| F 5º | 5º | 7E | | | 700 | 27,0 | " | 100 | |
| F 6º | 6º | 7F | | | 700 | 51,0 | " | 100 | |
| F 7º | 7º | 7G | | | 700 | 17,0 | " | 100 | |
| F 8º | 8º | 7H | | | 700 | 19,5 | " | 100 | |
| F 9º | 9º | 7I | | | 700 | 9,5 | " | 100 | |
| F 10º | 10º | 7J | | | 700 | 9,0 | " | 100 | |

OBS: A sequência de identificação é a mesma sequência da extração
 * FURO USADO PARA O COBRIMENTO MANEIR DO MO (COBRIMENTO Nº 209)
 * CP7A COM NO NA SUPERFÍCIE
 * CP7B COM CAPESQUILHA 205MM (~15M DO TOPO DO FURO)
 * CP7E ALTA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL FIMO NO TOPO (QUE PODE APRESENTAR NA BASE DO CP7E)
 * CP7B COM FRATURAS NO TOPO

MÁS OBS NO VÍDEO

Responsável pela Extração: EXPEC (MÁQUINA TYROLIT BROCA 80cm DE ALTURA ALTA VIBRAÇÃO)

Acompanhamento Técnico: _____

Direitos Reservados 2009

31

31



Direitos Reservados 2009

32

32



33





Direitos Reservados 2009

35

35



IBRACON

36

36



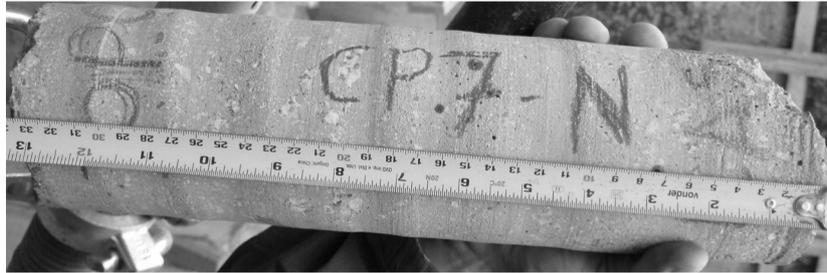
37



38



IBRACON



Direitos Reservados 2009

39

39



IBRACON

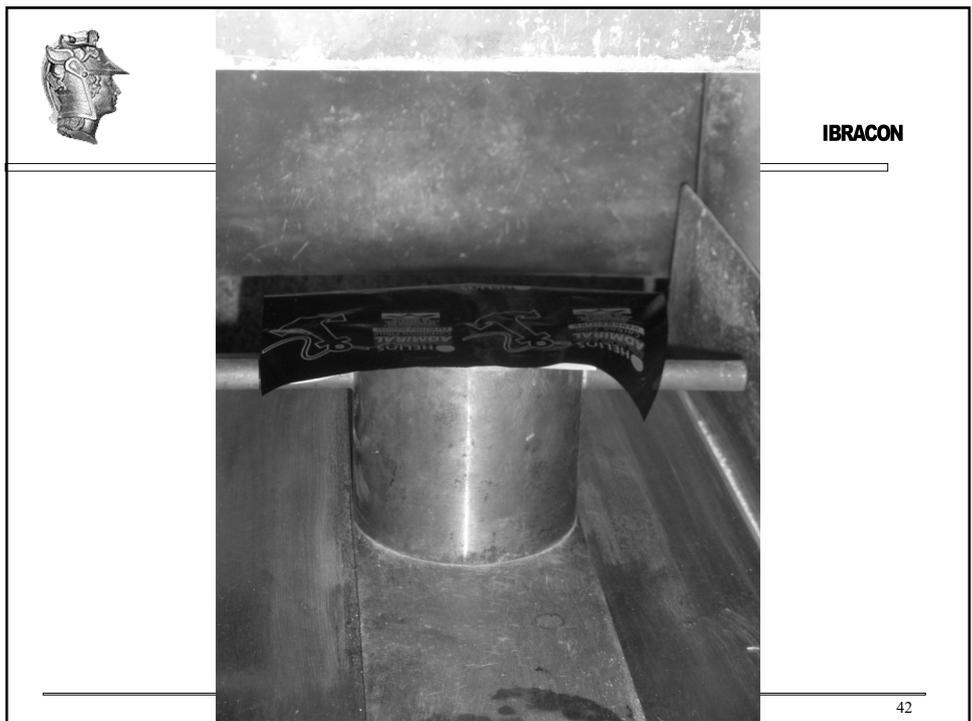


40

40



41



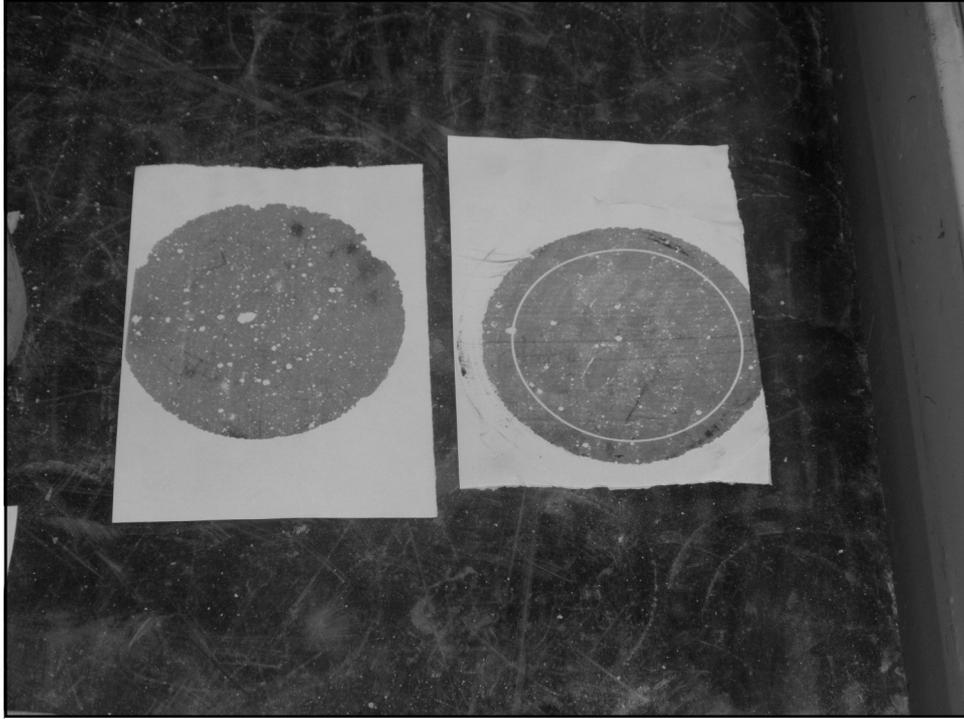
42



43



44



45



46



testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

IBRACON

Problemática:

- esse valor é o máximo potencial na boca da betoneira. Todos os demais, $f_{ck,ef}$ e $f_{ck,ext}$ são inferiores a esse, apesar de se tratar do mesmo concreto;
- a questão é como passar de $f_{ck,ext}$ a $f_{ck,est}$ e refazer os cálculos com esse “novo” valor de $f_{ck,est} = f_{ck}$
- o correto seria ter 2 coeficientes de correção, um de extraído a efetivo e outro de efetivo ao estimado (f_{ck});

$$f_{ck,ext} \rightarrow f_{ck,ef} \rightarrow f_{ck,est} \approx f_{ck}$$

Direitos Reservados 2009

47

47



testemunhos extraídos

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

IBRACON

| pilar | c. betoneira 1 | c. betoneira 2 | c. betoneira 3 |
|--------------------------------------|---|---|---|
| P11 | 29.5 | 30.9 | 28.7 |
| P12 | 31.6 | 32.2 | 32.6 |
| P13 | 33.0 | 34.2 | 33.7 |
| P11 | 34.3 | 34.5 | 35.3 |
| P14 | 35.2 | 35.1 | 35.4 |
| P14 | 35.4 | 35.6 | 35.6 |
| P13 | 35.9 | 36.8 | 35.7 |
| P12 | 37.4 | 37.2 | 36.7 |
| P15 | 37.7 | 37.3 | 36.9 |
| P16 | 37.9 | 38.5 | 38.7 |
| f_{cm} (MPa) | 34.8 | 35.2 | 34.9 |
| s_c (MPa) | 2.76 | 2.38 | 2.76 |
| v_c (%) | 8% | 7% | 8% |
| $f_{ck,est}$ (MPa) | 29.0 \rightarrow 31.9 | 30.8 \rightarrow 33.9 | 29.7 \rightarrow 32.7 |

Direitos Reservados 2009

48

48



testemunhos extraídos

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

IBRACON

| pilar | mesma betoneira | diferença |
|---------------------------------|---|-----------|
| P102 | 32.2 | - 8.0% |
| P113 | 32.2 | -8.0% |
| P114 | 32.2 | -8.0% |
| P112 | 33.5 | -4.3% |
| P115 | 33.7 | -3.7% |
| P168 | 33.7 | -3.7% |
| P134 | 34.7 | -0.8% |
| P101 | 39.2 | + 12.0% |
| <i>f_{cm} (MPa)</i> | | |
| <i>s_c (MPa)</i> | | |
| <i>v_c (%)</i> | | |
| <i>f_{ck,est} (MPa)</i> | 30.9 \rightarrow 33.8 | |

49

49

IBRACON

Idade

Como **cresce** a
resistência com o
tempo ?

Direitos Reservados 2009

50

50

Crescimento da Resistência

IBRACON

CEB – FIP Model Code 1990
Bulletin d'Information 213/214, May 93

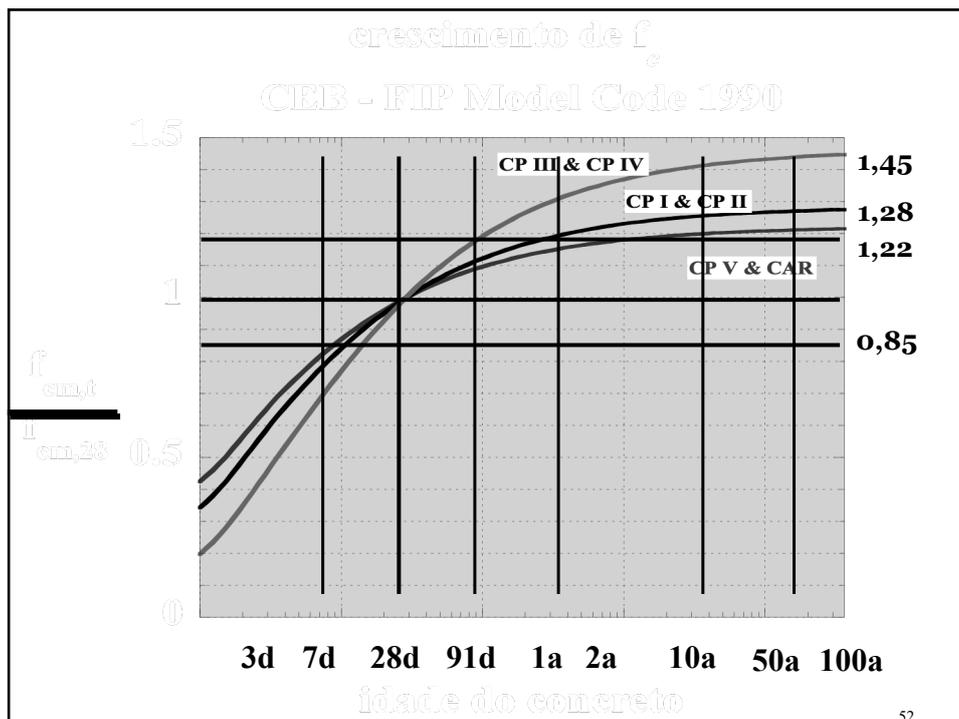
$$\frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = e^{s*(1-\sqrt{\frac{28}{t}})}$$

| | | | | |
|-------------|-----|--------|---|----------------|
| CPV ARI | → s | = 0,2 | → | 1,22 → 100anos |
| CP I / II | → s | = 0,25 | → | 1,28 → 100anos |
| CP III / IV | → s | = 0,38 | → | 1,45 → 100anos |

Direitos Reservados 2009

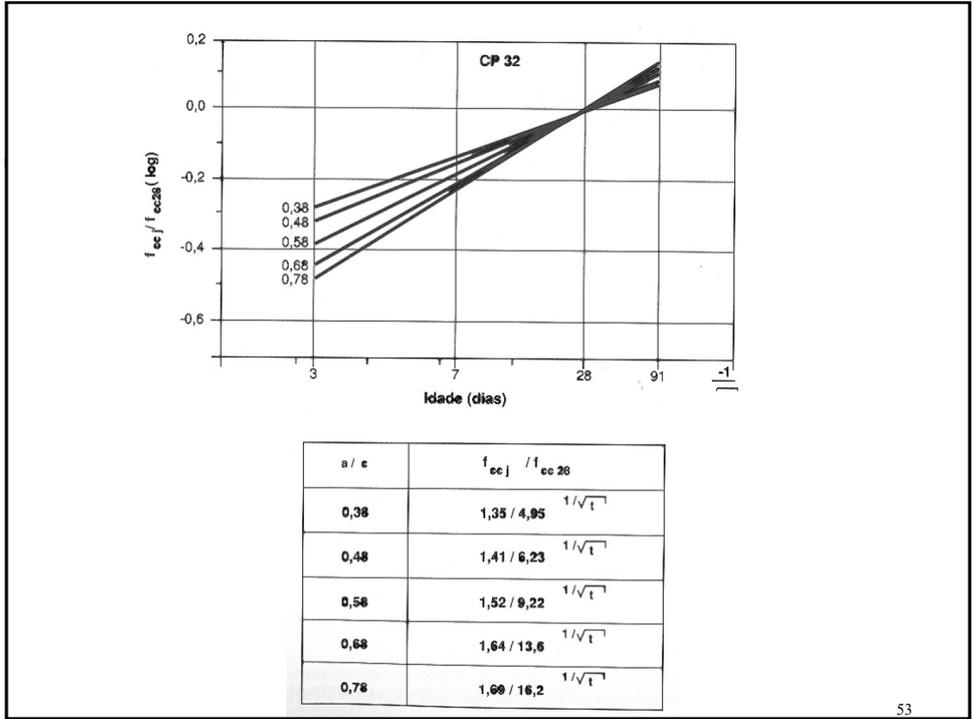
51

51

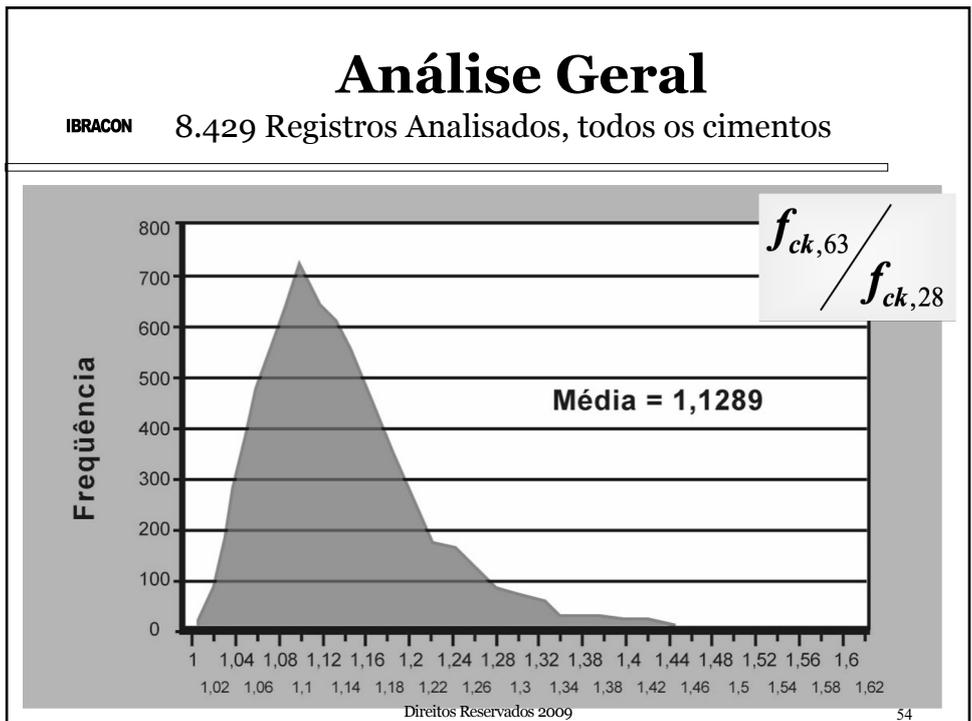


52

52



53

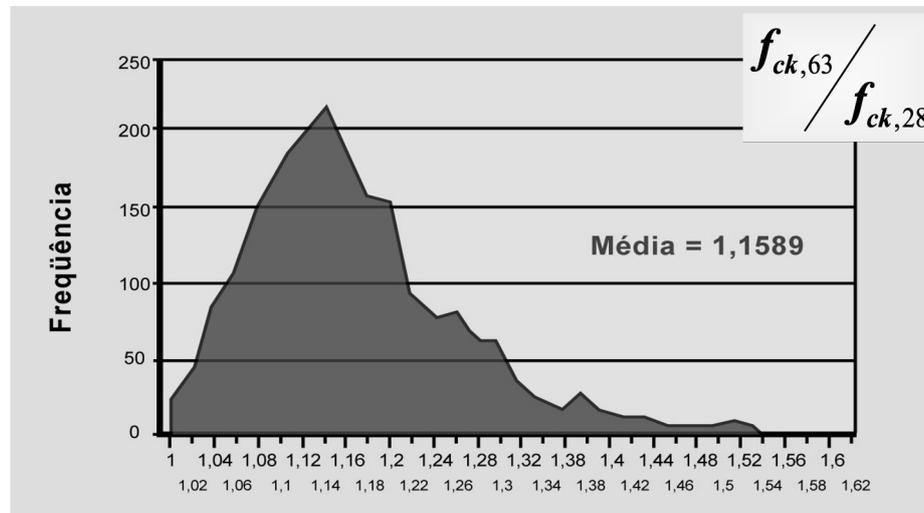


54

Análise

IBRACON

2.046 Registros Analisados, CP III



Direitos Reservados 2009

55

55

$\beta_{1,t} = \text{crescimento } f_{ck} \text{ após } t_o$

IBRACON

$$\beta_{1,t} = \frac{f_{cm,t_{\infty}}}{f_{cm,t}}$$

| | | |
|---------------|-------------|------|
| | | 28d |
| Rüsch (1960) | | 1,30 |
| | • POZ & AF | 1,45 |
| CEB(1990) | • normal | 1,28 |
| | • ARI + CAR | 1,22 |
| NBR 6118:2003 | | 1,20 |

Direitos Reservados 2009

56

56



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a NBR 6118 de 1978 permitia considerar :

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

mais coerente e mais justo

→ 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 2009

57

57



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

CORREÇÃO (Posição da ABECE)

→ 12.4.1 da NBR 6118:2003 → com base na teoria da segurança:

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

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

SUGESTÃO:

Adotar $f_{ck,est} = 1.2 \cdot f_{ck,ext}$

“pois este resultado se aproxima muito de $f_{ck,ef}$ e a redução de γ_c de 1,4 para 1.17 sem alterar a segurança”

Direitos Reservados 2009

58

58



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

CORREÇÃO

→ a NBR 6118:2003 considera o efeito “Rüsch” como:

→ Carregamento aos 28 dias;

→ Resistência do concreto cresce apenas 20% em 100 anos (1.2);

→ Resistência do concreto decresce 29% em 100 anos (0.71);

→ Portanto $\sigma_{cd} = (f_{ck}/\gamma_c) \bullet 0.85$

“Usar o coeficiente efetivo admitindo que o resultado de $f_{c,ext}$ já foi parcialmente afetado por efeito “Rüsch” e neste caso usar a fórmula modelo do Model Code CEB/FIP90”

Direitos Reservados 2009

59

59



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

CORREÇÃO (efeito Rüsch)

Proposta:

“Usar o coeficiente efetivo admitindo que o resultado de $f_{c,ext}$ já foi parcialmente afetado por efeito “Rüsch” e neste caso usar a fórmula modelo do Model Code CEB/FIP90”

Direitos Reservados 2009

60

60



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

CORREÇÃO (crescimento da resistência com a idade)

Proposta:

1. *Até 3 meses não retroagir, ou seja, adotar $f_{c,est} = f_{c,ext}$*
2. *Após 3 meses corrigir de acordo com fórmulas modelo do Model Code CEB/FIP90*

Direitos Reservados 2009

61

61



Em lugar de

IBRACON

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

Direitos Reservados 2009

62

62



Proposta

IBRACON

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_t * \beta_{ci}$$

- β_t → idade de aplicação da carga
- β_{ci} → tipo de cimento e a / c

Direitos Reservados 2009

63

63



testemunhos extraídos

recomendações “bom senso”

IBRACON

- até 10% em pilares e vigas
- até 20% no caso de lajes
- são considerados “alertas” pois as “incertezas naturais” cobrem essas diferenças;
- diferenças dessa ordem jamais justificam paralizações na execução da obra;
- não justificam reforço
- podem justificar pagar pelo f_{ck} menor, lembrando que:

NBR 8953:1992

C20 ; C25 ; C30 ; C35 ; C40 ; C45 ; C50

C30 (± 10%)

Direitos Reservados 2009

64

64

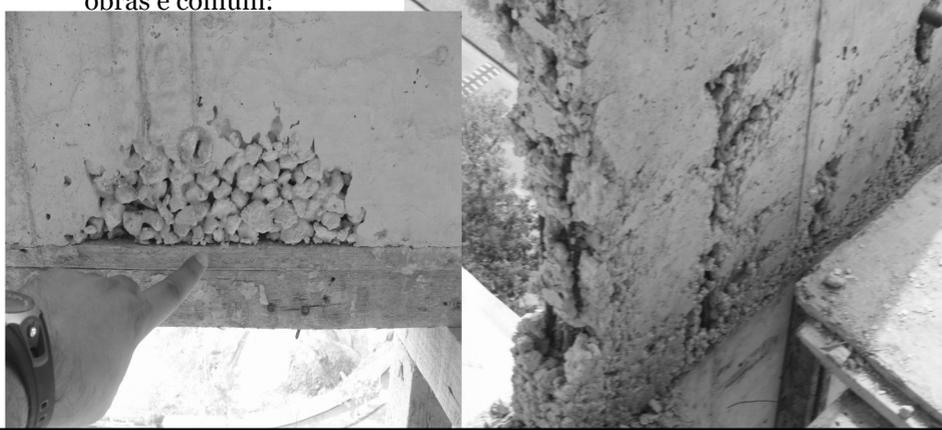


testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

Muitas vezes uma diferença de 3MPa nos testemunhos ou corpos-de-prova tornam-se motivo de intrancigências e vaidades quando nas obras é comum:



65



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



66



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



67

67



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



68

68



69



70