



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO
DIRETORIA REGIONAL DE GOIÁS
CARLOS CAMPOS CONSULTORIA & CONSTRUÇÕES



CONFORMIDADE DO CONCRETO EM ESTRUTURAS

Paulo Helene

Diretor da PhD Engenharia

Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP

Conselheiro do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Member of fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life Design

*Presidente de la Asociación Latinoamericana de Control de
Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT*

Definições



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 (28 dias) (f_{ck})

$f_{ck,est}$ → 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

sumário



1. *Texto Provisório da ABECE*
2. *Pesquisas de doutorado;*
3. *NBR 12655:2006. Variáveis intervenientes;*
4. *NBR 7680:2007. Variáveis intervenientes;*
5. *Critérios de introdução da segurança NBR 8681:2003 e NBR 6118:2003. Outras normas.*



Para o controle da resistência do concreto é necessário distinguir dois procedimentos distintos, a seguir definidos:

I) Controle total (Rastreabilidade)

O concreto de cada amassada (caminhão-betoneira) é controlado individualmente, e também é realizado o mapeamento do lançamento do concreto ao longo da estrutura;

II) Controle parcial

O controle é feito sem que seja realizado o mapeamento do lançamento do concreto ao longo da estrutura, ainda que seja efetuada a amostragem total.

ABECE

Estruturas de Concreto

Conformidade da Resistência do Concreto



c) Caso o concreto seja rejeitado, o engenheiro responsável por essa análise deverá recomendar uma nova avaliação da resistência à compressão do concreto, por meio de ensaios de testemunhos extraídos¹ das peças estruturais que julgar necessárias. Esta nova avaliação poderá ser de três naturezas distintas:

c.1 investigação e análise com o objetivo de comprovar se o ***fck, est do concreto entregue*** e aplicado na estrutura efetivamente não está em conformidade com o especificado no projeto estrutural (***fck***);

c.2 análise de segurança e estabilidade da peça estrutural; e,

c.3 análise de durabilidade.

ABECE

Estruturas de Concreto

Conformidade da Resistência do Concreto



Com $f_{ck,est} \geq f_{ck}$ haverá aceitação automática.

Com a necessária anuência do Projetista da estrutura a aceitação do concreto também poderá ser feita sempre que $f_{ck,est} \geq 0,9 f_{ck,esp}$, que considera indiretamente o fato do concreto *não* mais ser o de um corpo de prova, mas de já pertencer à estrutura, de acordo com o item 12.4.1. da NBR 6118:2003.

ABECE

Estruturas de Concreto

Conformidade da Resistência do Concreto



Com $f_{ck,est} \geq f_{ck}$ haverá aceitação automática.

Com a necessária anuência do Projetista da estrutura a aceitação do concreto também poderá ser feita sempre que $f_{ck,est} \geq 0,9 f_{ck,esp}$, que considera indiretamente o fato do concreto *não* mais ser o de um corpo de prova, mas de já pertencer à estrutura, de acordo com o item 12.4.1. da NBR 6118:2003.

ABECE

Estruturas de Concreto

Conformidade da Resistência do Concreto



d) Na verificação da resistência da estrutura, as cargas permanentes formadas pelo peso próprio das peças estruturais já executadas e que possuam dimensões dentro das tolerâncias previstas em NBR 14931, poderão ser consideradas com o coeficiente parcial de majoração das ações com valor $\gamma_g = 1,2$. Esse procedimento não pode ser aplicado a pilares quando houver pavimentos ainda não concretados;

e) Para testemunhos extraídos da estrutura, ensaiados entre 28 dias e até três meses da concretagem, o valor de $f_{ck,est}$ obtido poderá ser empregado sem a correção para 28 dias. Para ensaios realizados em idade do concreto superior a três meses, o $f_{ck,est}$ deverá ser corrigido para 28 dias;

TESEs 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

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*
-

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

EXPERIMENTO



■ 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 *7,5cm x altura laje*
 - 142 exemplares moldados *10cm x 20cm*
-

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)

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	1.26	1.21
s_c	0.14	0.19
v_c	11%	16%
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	h/d=2	h/d≠2
	cp_{ext} ortogonal lanç.	cp_{ext} paralelo lanç.

Conclusões



obs.: os valores de $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$ entre 1,01 e 1,40 correspondem a 89% dos resultados obtidos

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.25$$

lajes & (vigas)

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

Conclusões - pilares

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.25$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1.4}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck,ext} \cdot \eta}{\gamma_c} = \frac{f_{ck,ext} \cdot 1.25}{1.4} = \frac{f_{ck,ext}}{1.12}$$

TESEs 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

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*

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.

3. EXPERIMENTO



3. EXPERIMENTO





Parede/bloco perfurada

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:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

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...

Conclusões das Teses



Pilares, vigas e lajes:

$$f_{ck,est} = f_{ck,ext} \bullet 1,07 \cdot a \cdot 1,25$$

fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90

item 6.3 p. 59 $\rightarrow \eta \rightarrow 1.11$ a $1.20 \rightarrow 1.18$

EUROCODE 2. EN1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings
Annex A item A.2.3 \rightarrow EN 13791 Assesment of Concrete Compressive Strength

in Structures or in Structural Elements. p. 200 $\rightarrow \eta \rightarrow 1.18$

NBR 12655:2006

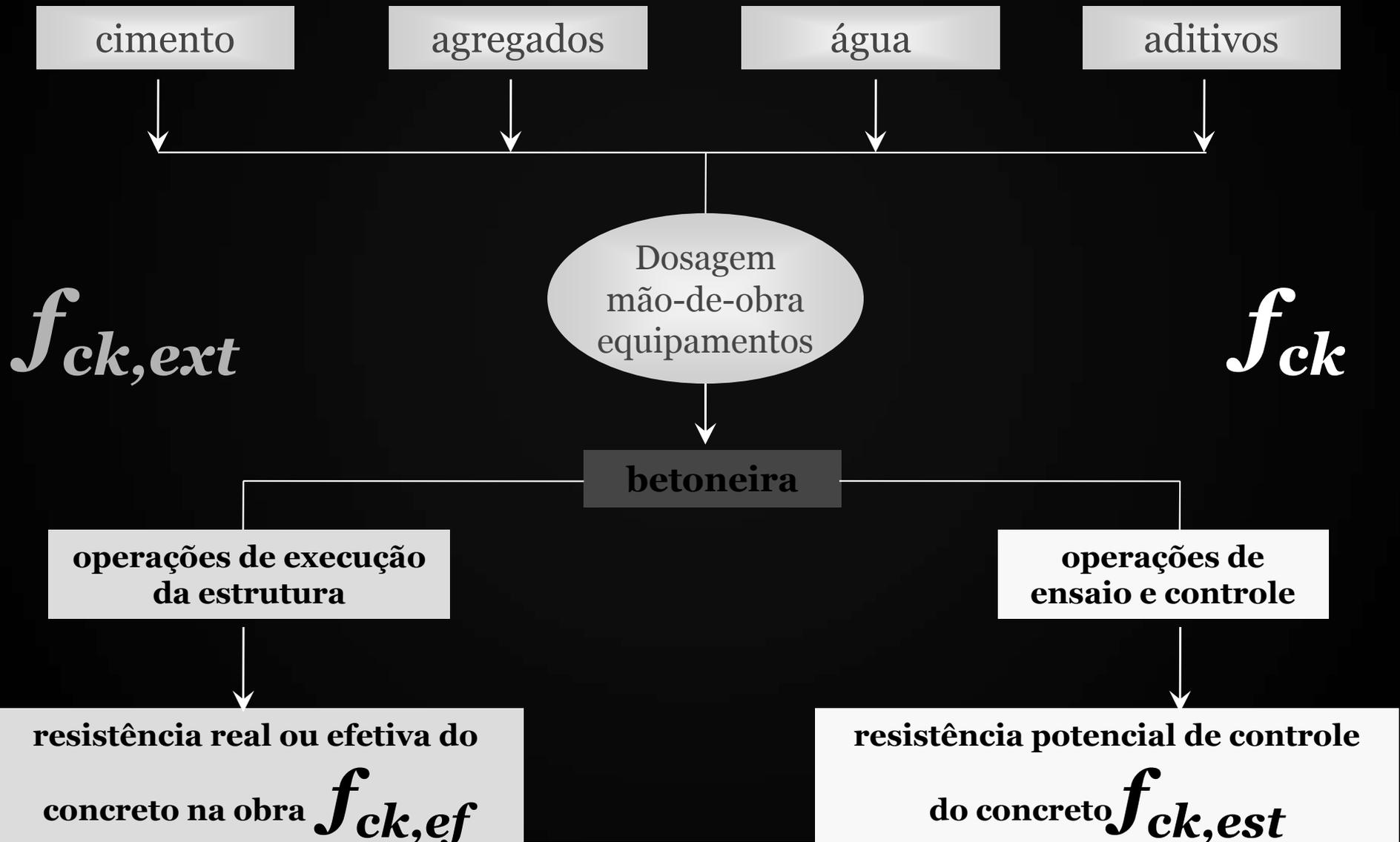


Fatores intervenientes
no valor de $f_{ck,est}$ a partir de
cps moldados, ou seja, na
produção e controle do
concreto

MERCER, L.B. Ready-mixed concrete: quality control refinements. London CCA. 1994
→ listou 60 fatores de interferência na resistência medida nos cps de controle

fatores intervenientes	interferência
materiais	
var. fc do cimento	± 12%
var. água	± 15%
var. agreg.	± 8%
mão-de-obra	
falhas de operação	- 30%
equipamento	
falta aferição	- 15%
operações de ensaio	
amostragem	- 10%
falha adensamento	- 50%
cura	- 10%
remate topos	- 50%
ruptura	± 5%

controle do concreto resistência



Premissas



- 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

Dúvidas



Apesar de todos esses procedimentos existirem, podem 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



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



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

Dúvidas



Dúvidas



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

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

corpos-de-prova padrão → exemplar



- 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)”

**corpos-de-prova padrão
→ exemplar**



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?***

corpos-de-prova padrão → exemplar



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

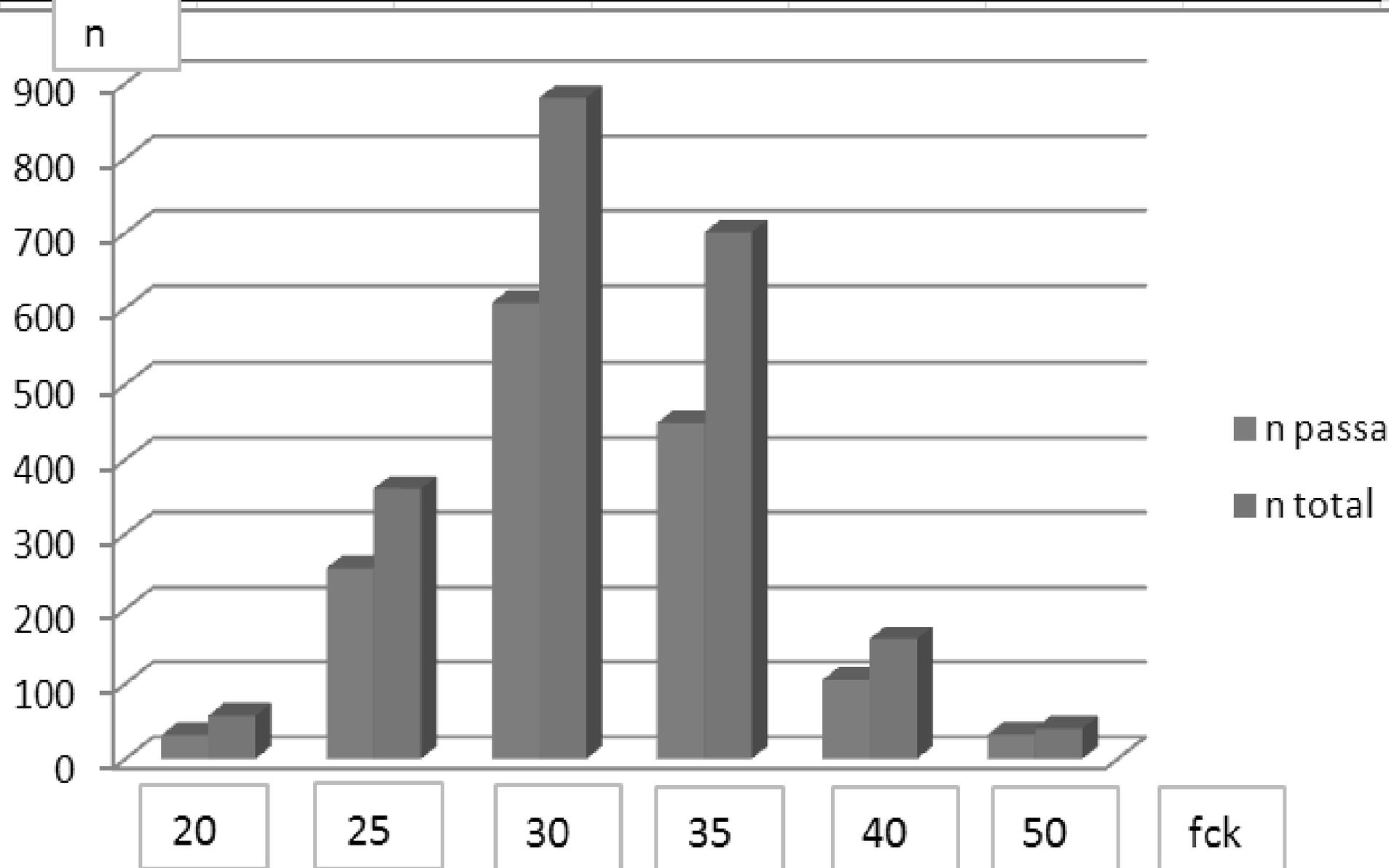
“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 20MPa para uma estrutura de $f_{ck}=30MPa$ e ainda estar conforme com o pedido, o contrato e a normalização ”

porém

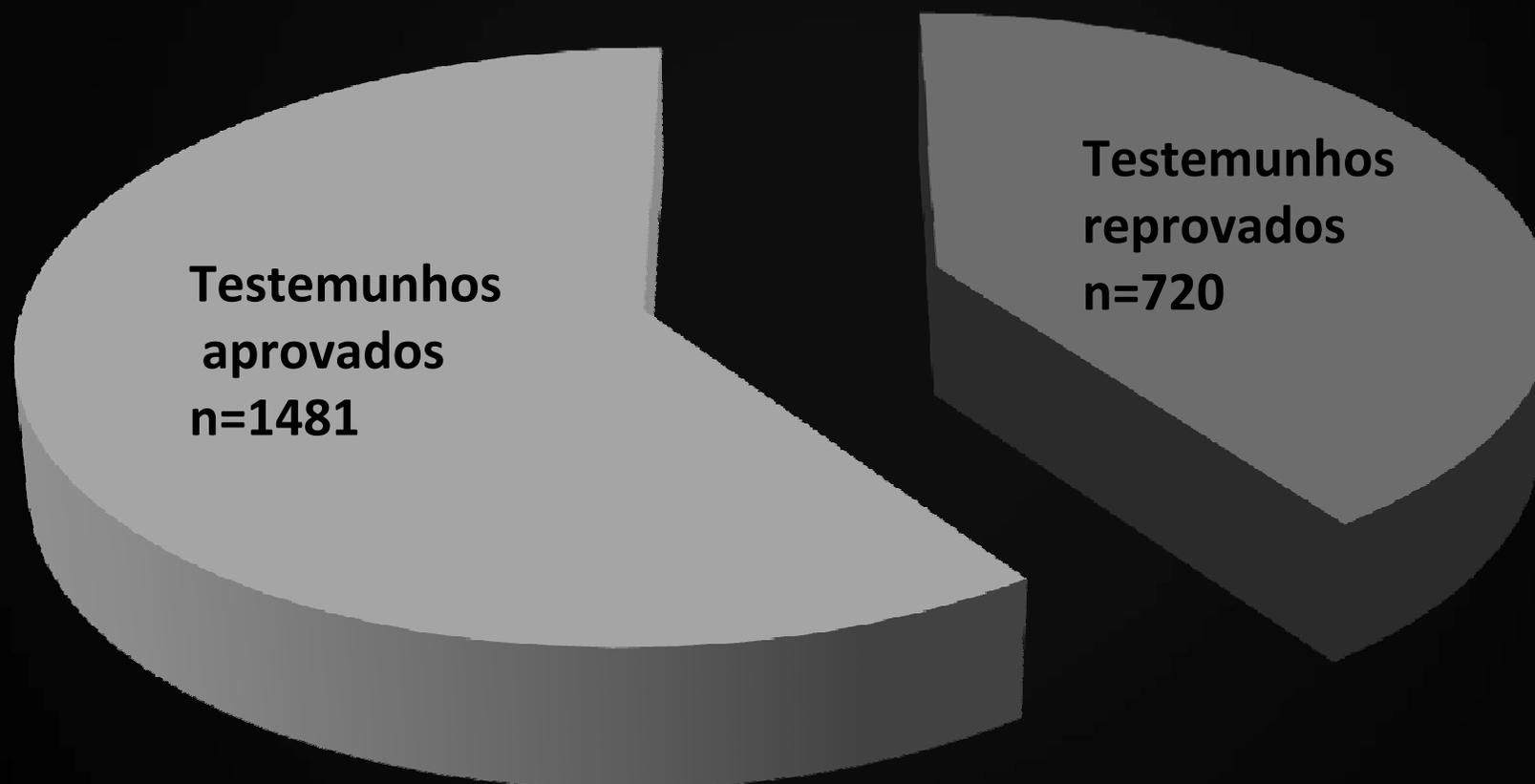
“um pilar não pode receber um concreto com $f_{ck,est}$ muito abaixo de f_{ck} !”

Quantidade de testemunhos rompidos à compressão e comparados com fck

fck	20	25	30	35	40	50
n passa	32	255	607	449	105	33
n total	58	361	880	701	160	41



Total de testemunhos extraídos e ensaiados em 2009 comparando os resultados com fck especificado



**ABCP
2009**

NBR 7680:2006



Fatores intervenientes
no valor de $f_{ck,ext}$ a partir de
cps extraídos, ou seja, na
produção do concreto, na
execução da estrutura e nas
operações de ensaio

NBR 7680:2006



Segunda Verificação: Testemunhos Extraídos

obs.: sempre uma avaliação de $f_{ck,ef}$ muito melhor, mais fiel!

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006



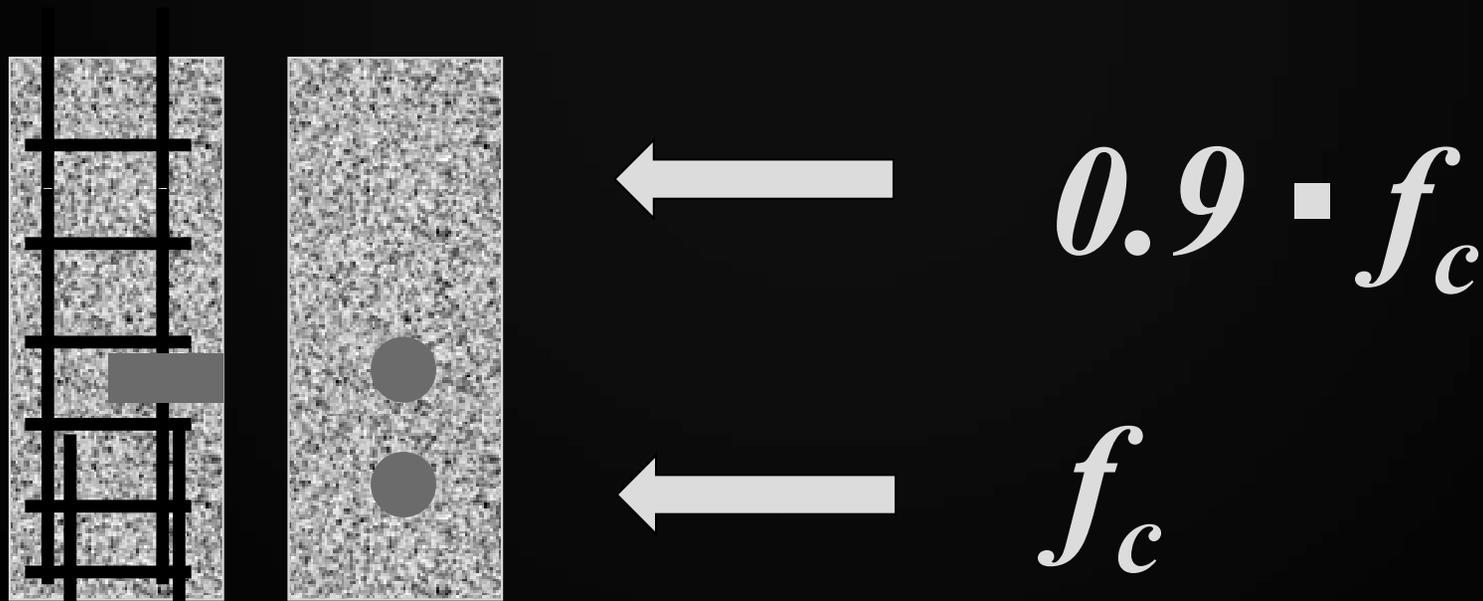
- ✓ cilíndrico, cúbico ou prismático;
- ✓ testemunhos devem ser íntegros (descartar → vazios, ninhos, madeira, armadura, falhas, fissuras, ...);
- ✓ f_c deve ser superior a 8MPa na ocasião da extração;
- ✓ $\Phi \geq 75\text{mm}$ e sempre $\Phi \geq 3D_{max}$ do agregado (mini-cilindros?);
- ✓ recomendações 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



- ✓ 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;



Dúvidas







P-25 - KINGO

109.55







FURO CONFORME CROQUI	SEQUENCIA DE PERF. SEM INTERRUÇÃO	Nº CP	NOTA FISCAL	DATA	FCK (mpa)	TAMANHO DO CP (cm)	LOCALIZAÇÃO DO FURO	BROCA (mm)	TAMANHO DO FURO APÓS EXTRAÇÃO (M)
7	1º	7A			700	15,0	POCO ELEVADOR PRÓXIMO AO P33B E P34B (REFERENTE P5B)	100	
7	2º	7B			700	34,5	"	100	
7	2º	7C			700	4,5		100	
7	2º	7D			700	41,0		100	
7	3º	7E			700	27,0		100	
7	3º	7F			700	51,0		100	
7	4º	7G			700	17,0		100	
7	4º	7H			700	18,5		100	
7	5º	7I			700	9,5		100	
7	5º	7J			700	9,0		100	

OBS. A sequência da identificação é a mesma sequência da extração

- * FURO INICIADO APÓS O COBRIMENTO A PARTIR DO AÇO (COBRIMENTO ~~20cm~~ 20cm)
- * CPTA COM AÇO NA SUPERFÍCIE
- * CPTD PARA CPTEFUNTA VISÍVEL (~ 1,5M DO TOPO DO FURO)
- * CPTF ALTA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL FINO NO TOPO (QUE NÃO APRESENTA NA BASE DO CPT E)
- * CPT B COM FRATURA NO TOPO

MAIS OBS NO VERSO

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

Acompanhamento Técnico:





F0
CP 5
B
B

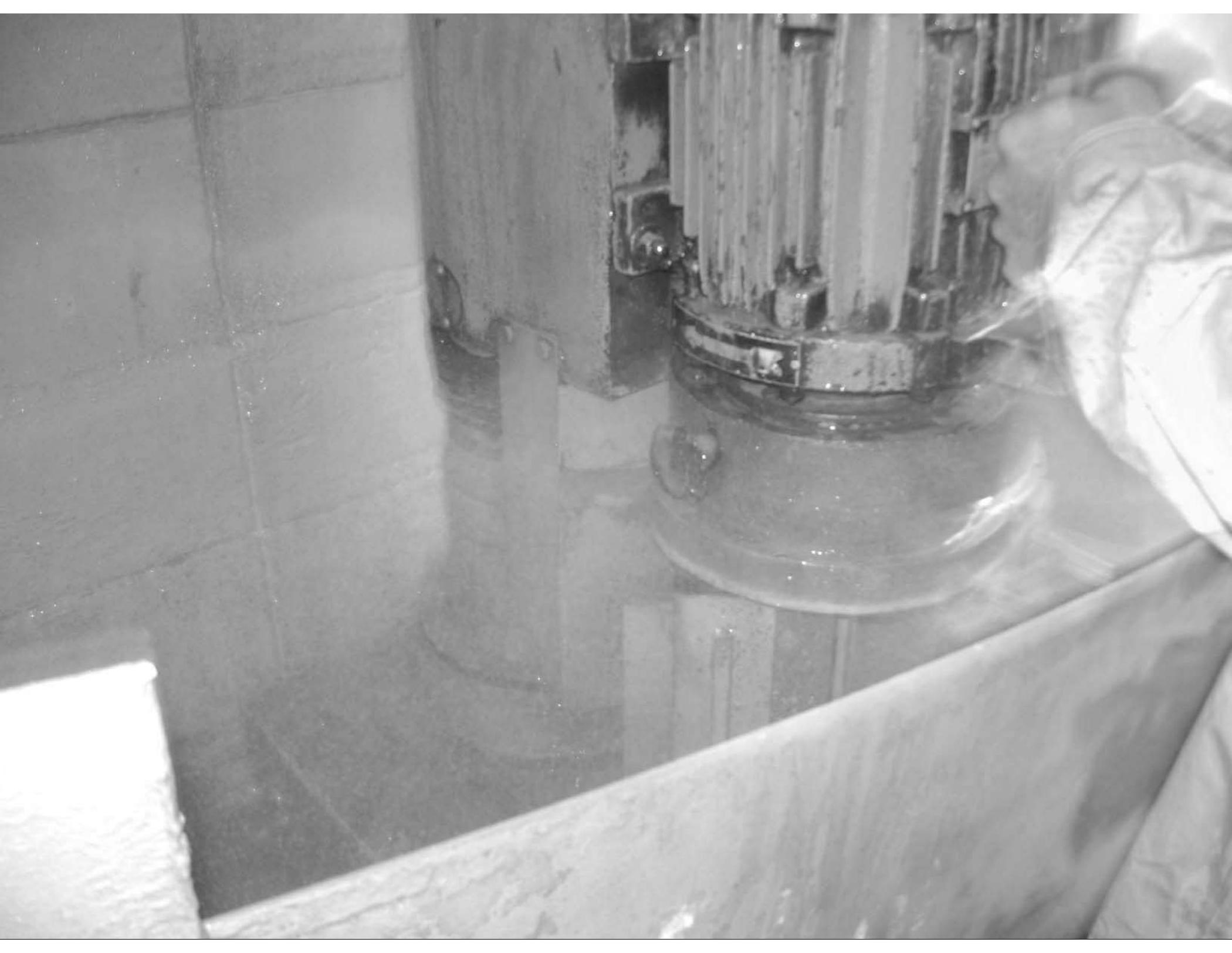




















ADMIRAL HELIOS
ADMIRAL HELIOS
ADMIRAL HELIOS







testemunhos extraídos

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



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)	2.8	2.4	2.8
v_c (%)	8%	7%	8%
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0	30.8	29.7

testemunhos extraídos

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



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)	2.8	2.4	2.8
v_c (%)	8%	7%	8%
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0 \rightarrow 31.9	30.8 \rightarrow 33.9	29.7 \rightarrow 32.7

testemunhos extraídos

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



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)	36.4	36.7	36.5
s_c (MPa)	1.5	1.4	1.3
v_c (%)	4	4	3
$f_{ck,est}$ (MPa)	33.8	33.3	35.2

testemunhos extraídos

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



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)	36.4	36.7	36.5
s_c (MPa)	1.5	1.4	1.3
v_c (%)	4	4	3
$f_{ck,est}$ (MPa)	33.8 \rightarrow 37.2	33.3 \rightarrow 36.6	35.2 \rightarrow 38.7

testemunhos extraídos

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



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%
f_{cm} (MPa)	33.9	
s_c (MPa)	2.3	
v_c (%)	7%	
$f_{ck,est}$ (MPa)	30.9 \rightarrow 33.8	

SEGURANÇA



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

Segurança



Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

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

onde, na realidade 0.85 deveria depender de cada caso

recordando que segundo a NBR 8681 item 5.2.3.1

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c1}}$$

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} = 1.4$$

fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999.

Structural Concrete

updating CEB/FIP Model Code 90

item 6.3 p. 59

(1,23) γ_{c1} \longrightarrow $s_{c,ef}$ da estrutura $\geq s_{c,est}$

(1,05) γ_{c2} \longrightarrow $f_{ck,ef} \neq f_{ck,est}$

(1,16) γ_{c3} \longrightarrow incertezas sobre **R**

Problema



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

Revisão da segurança



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:

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

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:

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

→ 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 $f_{ck,ef}$

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:

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

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

1. a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:

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

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

Revisão da Segurança proposta



sugestão para o CONCRETO:

$$f_{ck,est} = 1.1 \text{ a } 1.2 \cdot f_{ck,ext}$$

→ *adotar 1.1 para coef. variação do concreto na estrutura:*

$$v_c \leq 20\% \text{ ou } s_c \leq 7.5 \text{MPa}$$

→ *adotar 1.2 para coef. variação do concreto na estrutura:*

$$v_c \leq 10\% \text{ ou } s_c \leq 4 \text{MPa}$$

→ *permitido interpolar*

Revisão da Segurança



sugestão para a ARMADURA:

$$\gamma_s = 1.05 \text{ a } 1.15$$

- *adotar 1.15 para estruturas usuais:*
- *adotar 1.05 para estruturas inspecionadas e conformes com as tolerâncias da NBR 14931:2003*
- *permitido interpolar*

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



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



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



Idade → Retroagir?!



Como cresce a
resistência com o
tempo ?

Crescimento da Resistência



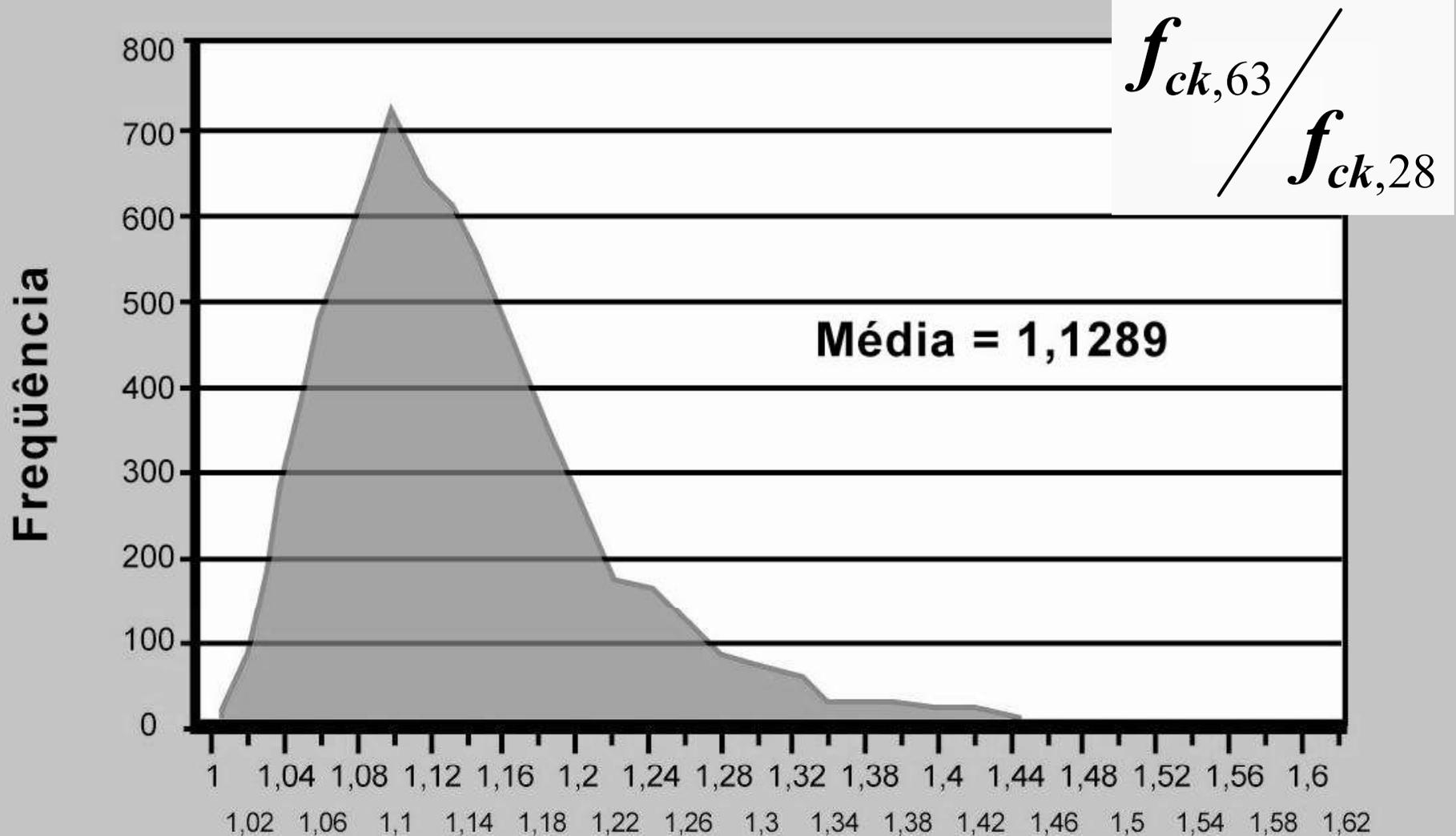
CEB – FIP Model Code 1990
Bulletin d'Information 213/214, May 93

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

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

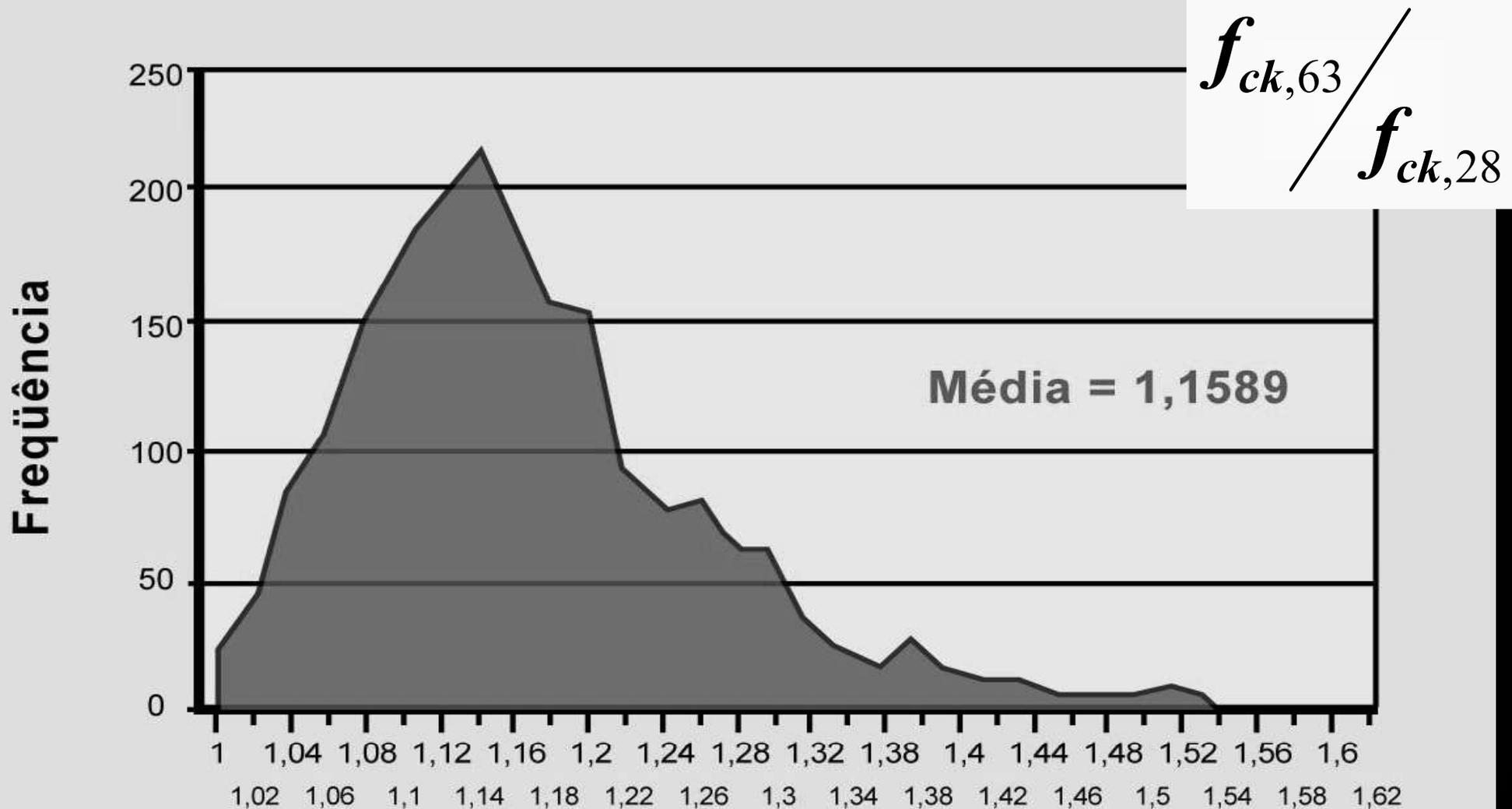
Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



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



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

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

Revisão da segurança idade?



CORREÇÃO

→ *as NBR 8681 e NBR 6118:2003 consideram o efeito “Rüsch” como:*

$$\sigma_{cd} = f_{cd} \cdot 0.85 = f_{cd} \cdot 0.75 \cdot 1.13$$

- *Carregamento de projeto aos 28dias;*
- *Resistência do concreto cresce 13% de 28d a 100 anos (1.13);*
- *Resistência do concreto decresce 25% de 28d a 100 anos (0.75);*

Revisão da Segurança



CORREÇÃO

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, tanto para o cálculo da relaxação quanto para o cálculo do crescimento da resistência”

testemunhos extraídos

recomendações “bom senso”



- 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 ($\pm 10\%$)

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)**

Conformidade do Concreto



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

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

Conformidade do Concreto



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

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

*“não há tecnologia
que resolva...”*



1901

primeiro edificio de concreto armado Paris, França → François Hennebique “nunca mais colapso por incêndio”

Obrigado!

