

---

# CONFORMIDADE DO CONCRETO EM ESTRUTURAS

---

## Paulo Helene

*Diretor da PhD Engenharia e Consultoria*

*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

$\sigma_{cd}$  → 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) ( $f_{ck}$ )

$f_{ck,est}$  → 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. Pesquisas de doutorado;*
- 2. NBR 12655:2006. Variáveis intervenientes;*
- 3. NBR 7680:2007. Variáveis intervenientes;*
- 4. Critérios de introdução da segurança NBR 8681:2003 e NBR 6118:2003. Outras normas;*
- 5. Texto da ABECE.*

# 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  $\gamma_c$ .
  - **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  $129\text{ m}^3$
  - 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  $1.195 \text{ m}^3$
  - 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	<b>1,07</b>	OB4L1	<b>1,14</b>	OB6L3	<b>1,18</b>	OB9L2	<b>1,21</b>
OB1L2	<b>1,25</b>	OB4L2	<b>1,39</b>	OB7L1	<b>1,38</b>	OB9L3	<b>1,29</b>
OB2L1	<b>1,12</b>	OB4L3	<b>1,40</b>	OB7L2	<b>1,19</b>	OB10L1	<b>1,39</b>
OB2L2	<b>1,31</b>	OB5L1	<b>1,05</b>	OB7L3	<b>0,96</b>	OB10L2	<b>1,62</b>
OB2L3	<b>1,18</b>	OB5L2	<b>1,51</b>	OB8L1	<b>1,09</b>	OB10L3	<b>1,05</b>
OB3L1	<b>1,18</b>	OB5L3	<b>1,45</b>	OB8L2	<b>1,02</b>	OB11L1	<b>1,46</b>
OB3L2	<b>1,23</b>	OB6L1	<b>1,17</b>	OB8L3	<b>1,13</b>	OB11L2	<b>1,36</b>
OB3L3	<b>1,33</b>	OB6L2	<b>1,40</b>	OB9L1	<b>0,99</b>	OB12L1	<b>1,11</b>

$f_c/f_{c,ext}$  = 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	<b>1.05</b>	<b>0.96</b>
máximo	<b>1.51</b>	<b>1.62</b>
média	<b>1.26</b>	<b>1.21</b>
<b><math>s_c</math></b>	<b>0.14</b>	<b>0.19</b>
<b><math>v_c</math></b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	<b>h/d=2</b>	<b>h/d≠2</b>
	<b>cp<sub>ext</sub> ortogonal lanç.</b>	<b>cp<sub>ext</sub> paralelo lanç.</b>

# 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

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

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

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

# Conclusões



pilares:

$$f_{ck,ext} \bullet 1.25$$

lajes &  
(vigas):

$$f_{ck,ext} \bullet 1.20$$

*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 Assessment of Concrete Compressive Strength  
in Structures or in Structural Elements. p. 200  $\rightarrow \eta \rightarrow 1.18$

# 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



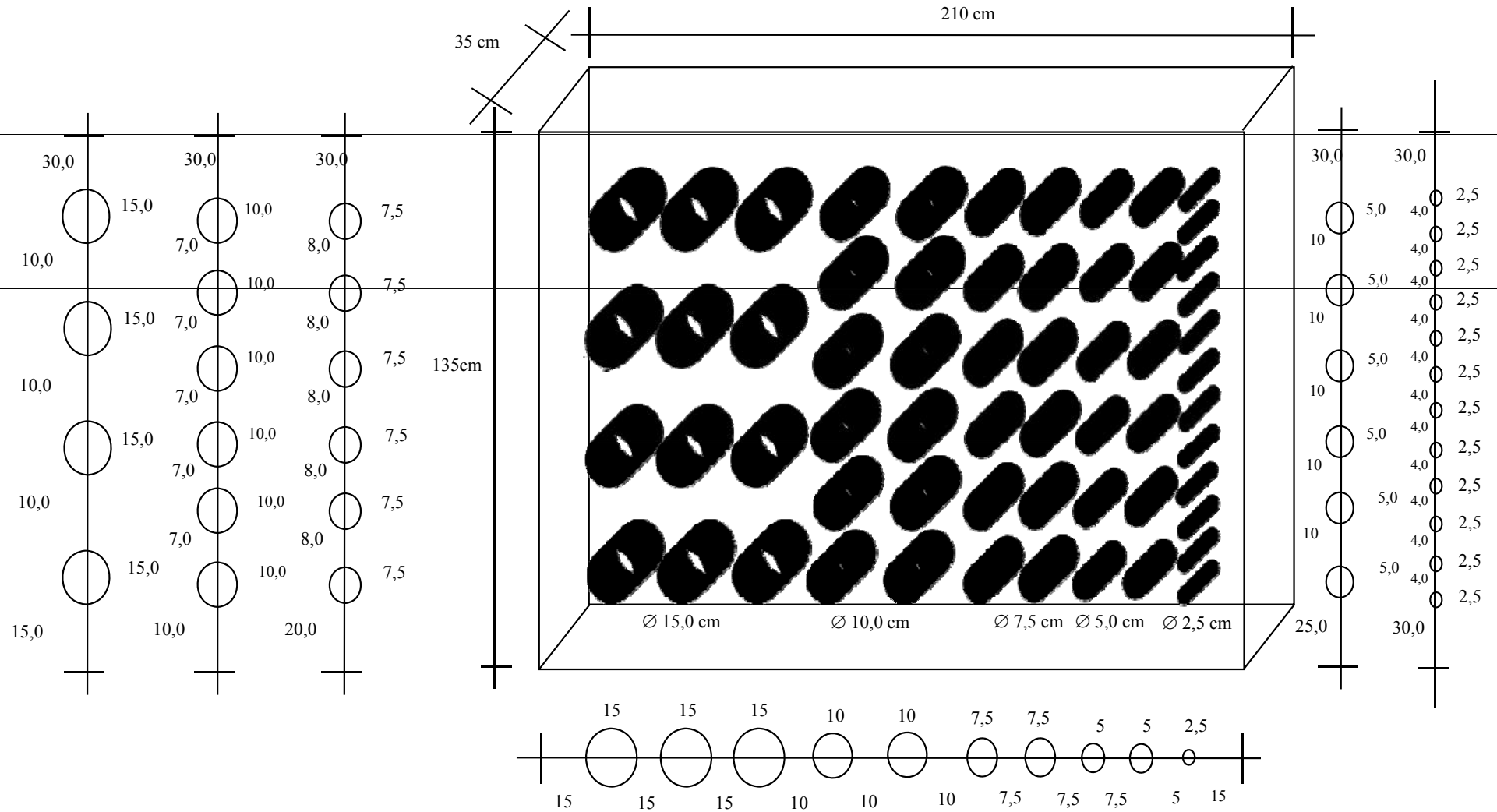
- Comparação entre a resistência potencial e a efetiva do concreto em paredes/blocos moldados especificamente para esse propósito (lab.). Contribuição ao estudo do efeito deletério de broqueamento.
- **Resistência potencial** → 480 corpos de prova cilíndricos moldados NBR 5738 / 5739 (28dias) *10cm x 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.

# BLOCO TIPO (210X135X35)cm





### 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...

# NBR 12655:2006

---

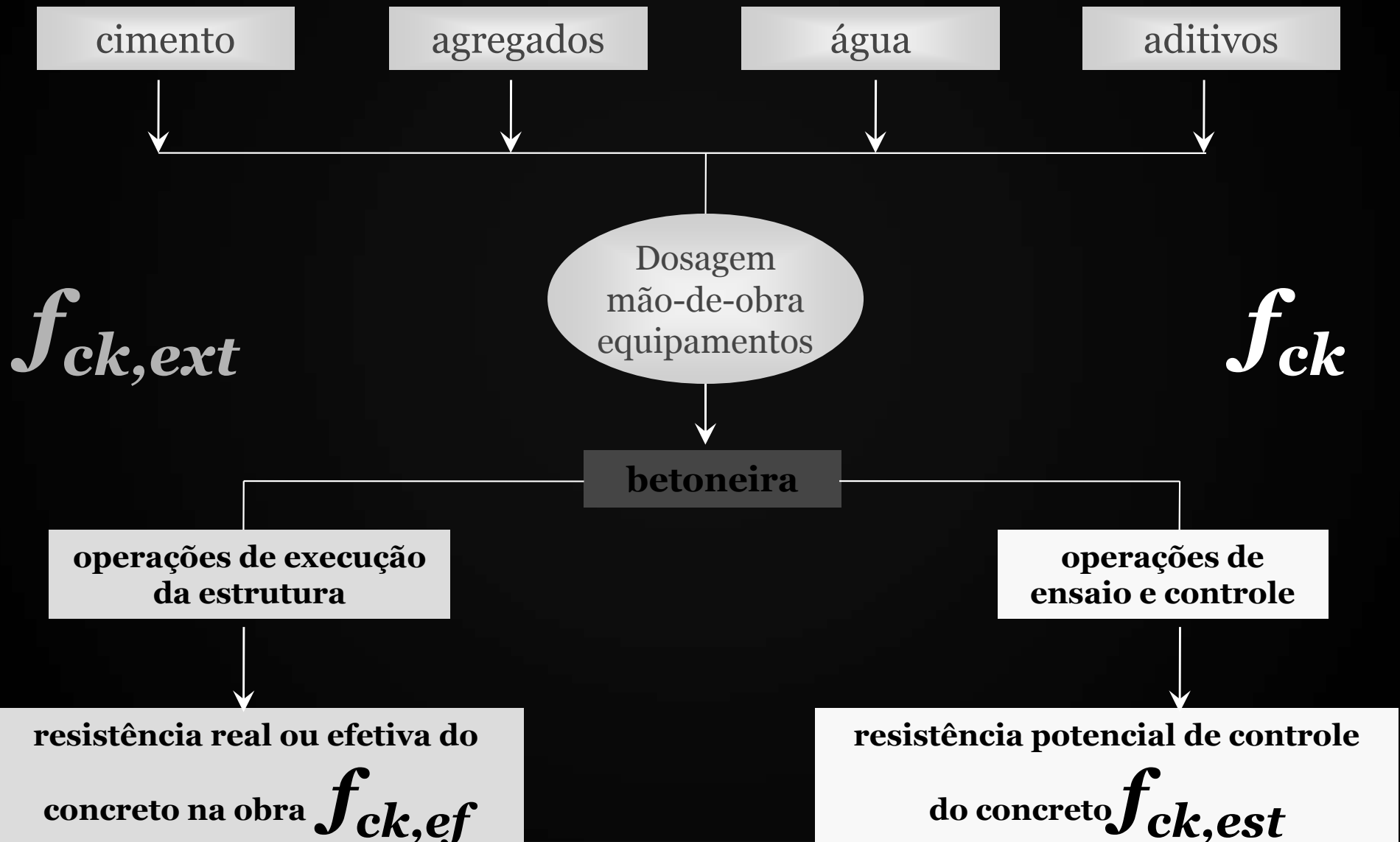
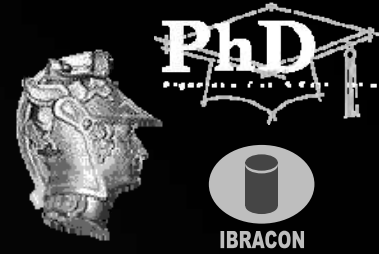


Fatores intervenientes  
no valor de  $f_{ck,est}$  a partir de  
cps moldados, ou seja, na  
produção e controle do  
concreto

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

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

# corpos-de-prova padrão → exemplar



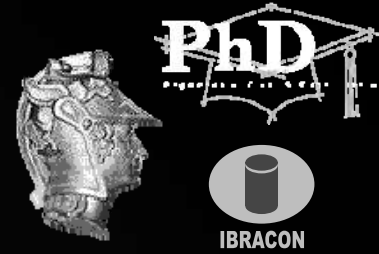
# Premissas



- 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



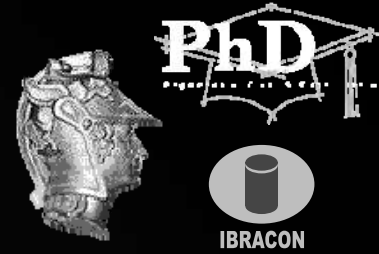
Portanto é conveniente suspeitar que houve falha nas operações de ensaio de controle sempre que:

- ❖ 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
<b>média em MPa</b>			<b>52.4</b>	<b>54.4</b>	<b>1.041</b>
<b>desvio padrão em MPa</b>			<b>4.0</b>	<b>2.6</b>	<b>0.063</b>
<b>coeficiente variação em %</b>			<b>7.7</b>	<b>4.8</b>	<b>6.056</b>



# 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:*

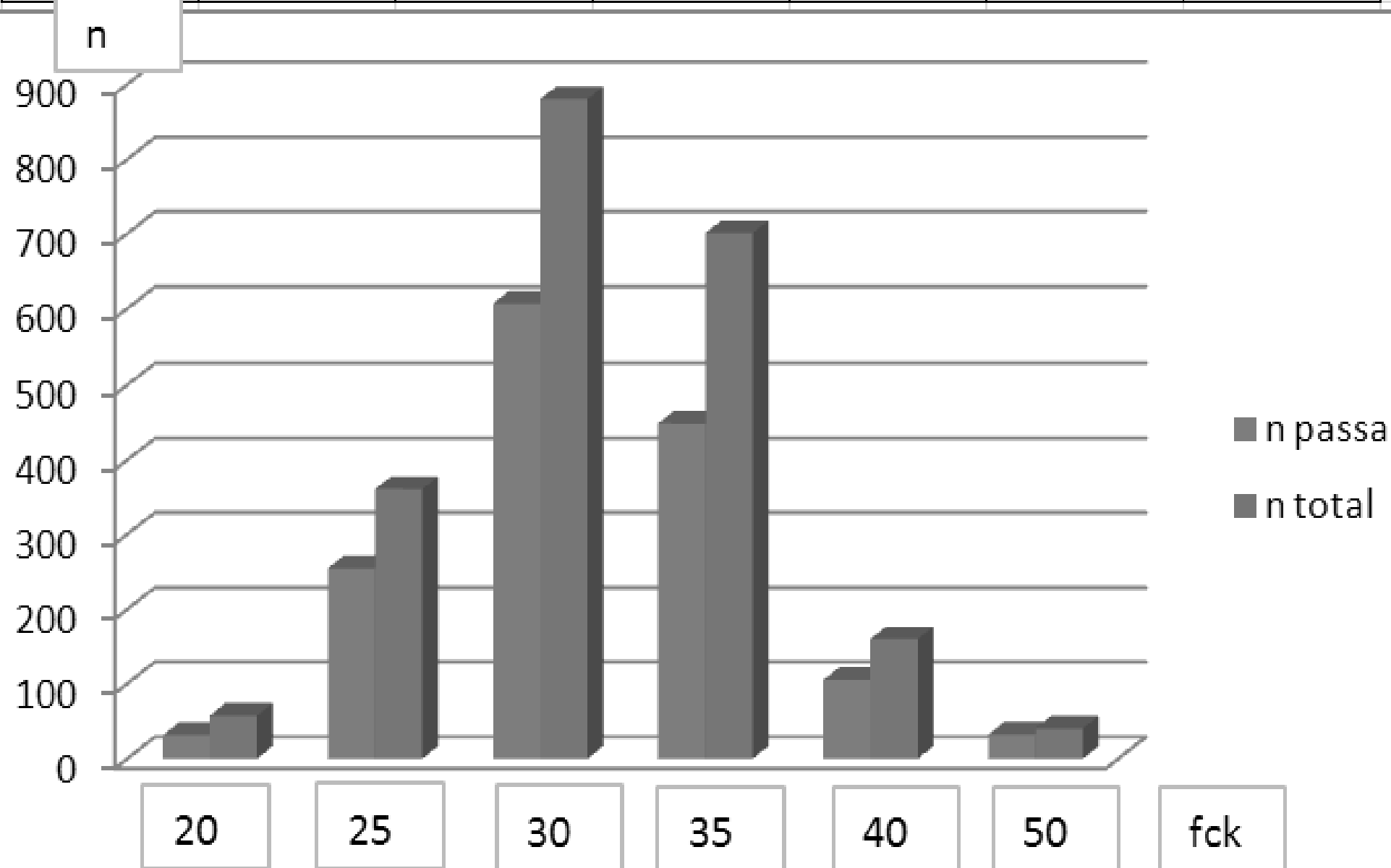
***“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 25MPa para uma estrutura de  $f_{ck}=30\text{MPa}$  e ainda estar conforme com o pedido, o contrato e a normalização ”***

*porém*

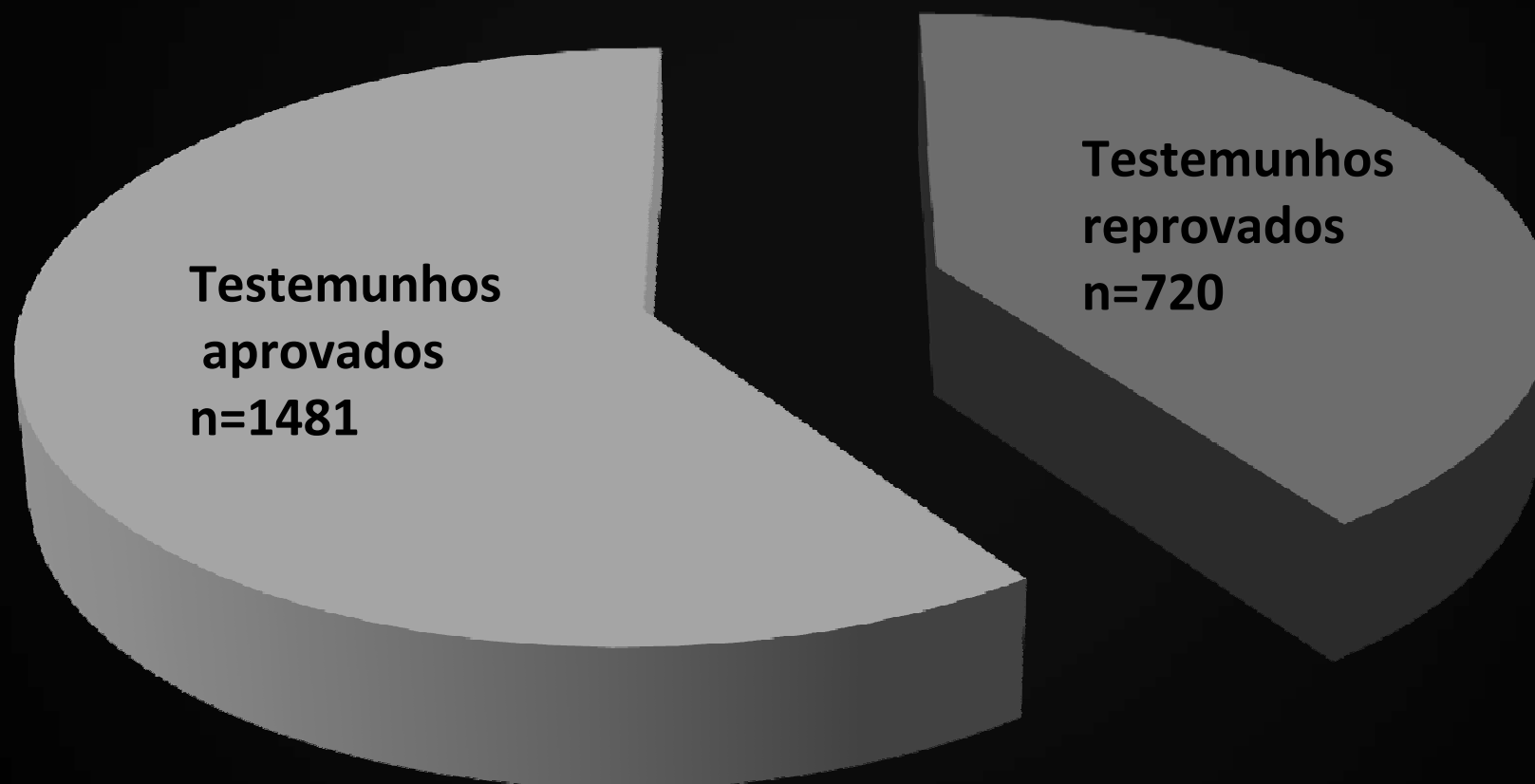
***“um pilar não pode receber um concreto com  $f_{ck,est}$  muito abaixo de  $f_{ck}$  !”***

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



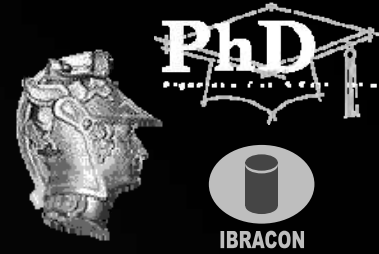
# Total de testemunhos extraídos e ensaiados em 2009 comparando os resultados com fck especificado



**ABCP  
2009**

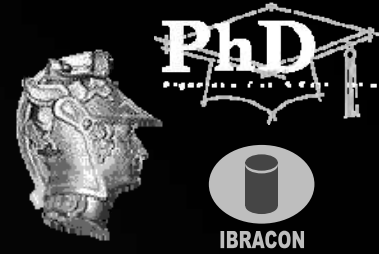
# NBR 7680:2006

---



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;
- ✓ 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*

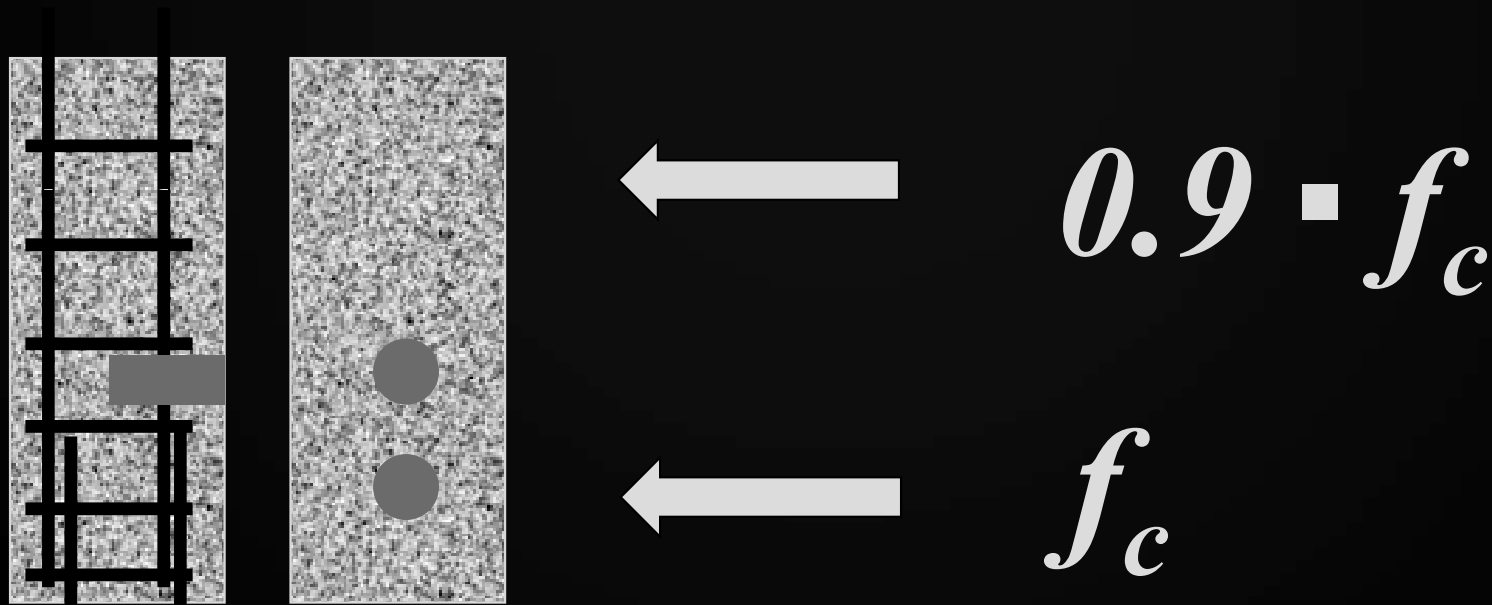


# testemunhos extraídos

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 - KINGU

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)
<del>7</del>	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



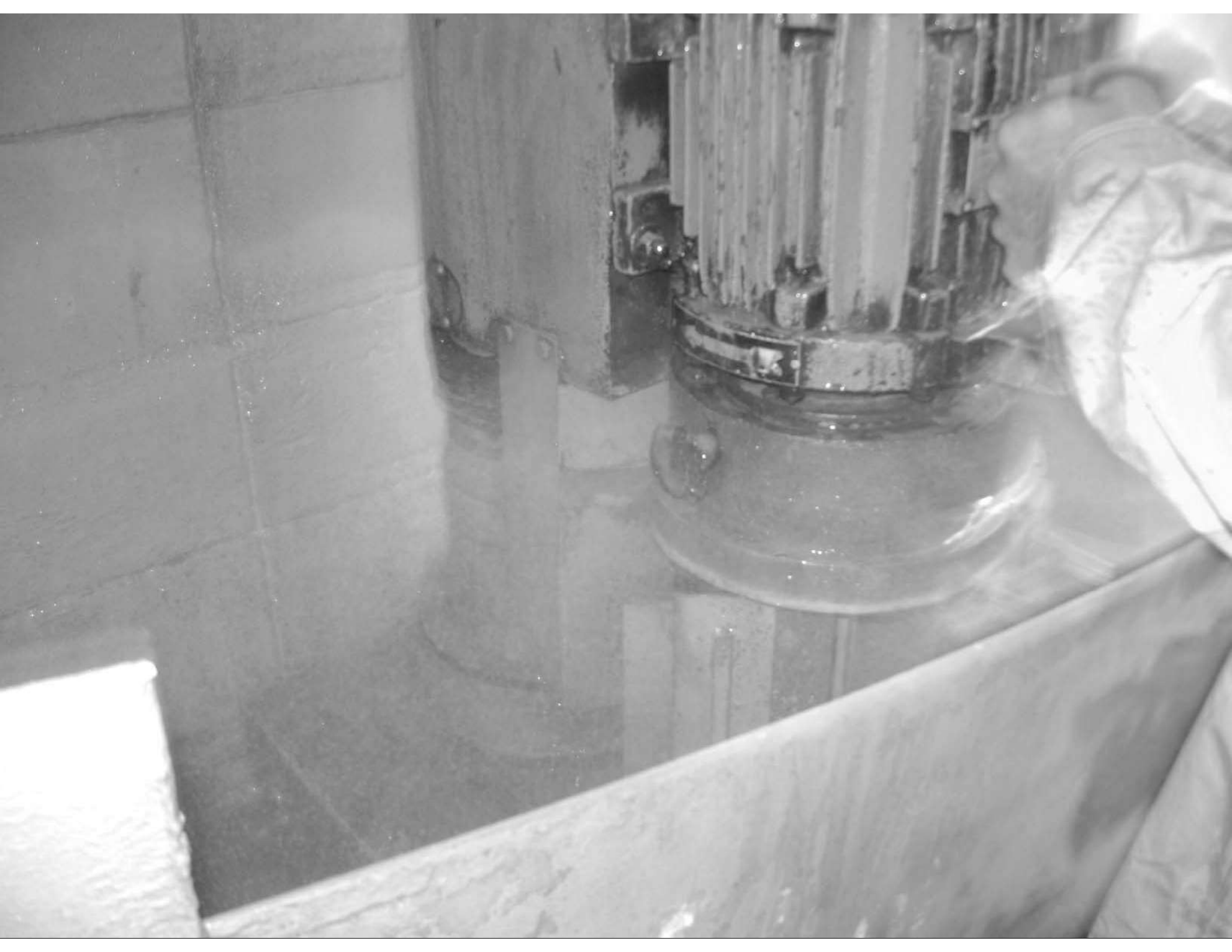
















Presse Toni Pact  
Capacité de 300 grammes



FAVOR RETIRAR OS  
DISPUESTOS DE MUESTRA  
APÓS O TERMINO DO ENXERTO  
DRESCADOT



RE  
TONI PACT 3000













# 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
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>34.8</b>	<b>35.2</b>	<b>34.9</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.8</b>	<b>2.4</b>	<b>2.8</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>8%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>29.0</b>	<b>30.8</b>	<b>29.7</b>

# 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
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>34.8</b>	<b>35.2</b>	<b>34.9</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.8</b>	<b>2.4</b>	<b>2.8</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>8%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>29.0 <math>\rightarrow</math> 31.9</b>	<b>30.8 <math>\rightarrow</math> 33.9</b>	<b>29.7 <math>\rightarrow</math> 32.7</b>

# 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
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>36.4</b>	<b>36.7</b>	<b>36.5</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>33.8</b>	<b>33.3</b>	<b>35.2</b>

# 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
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>36.4</b>	<b>36.7</b>	<b>36.5</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>33.8 <math>\rightarrow</math> 37.2</b>	<b>33.3 <math>\rightarrow</math> 36.6</b>	<b>35.2 <math>\rightarrow</math> 38.7</b>

# 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%
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>33.9</b>	
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.3</b>	
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>7%</b>	
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>30.9 <math>\rightarrow</math> 33.8</b>	

# 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)  $\gamma_{c1}$   $\longrightarrow$   $s_{c,ef}$  da estrutura  $\geq s_{c,est}$

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

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

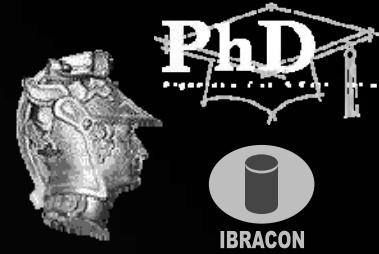
# Problema

---



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  $\gamma_c$  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:

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

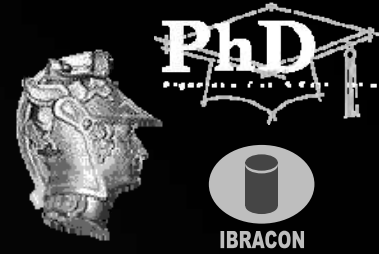
# Revisão da segurança

## resumo

norma	$f_{ck,est} = \eta \cdot f_{ck,ext}$	$\gamma_s$
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:



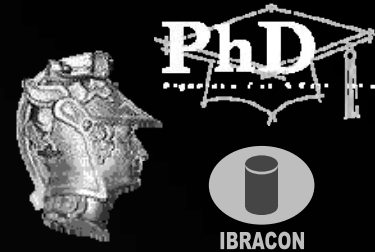
# testemunhos extraídos

## Pontos para Discussão



# testemunhos extraídos

## Pontos para Discussão



# testemunhos extraídos

## Pontos para Discussão



# Revisão da segurança idade?



## CORREÇÃO

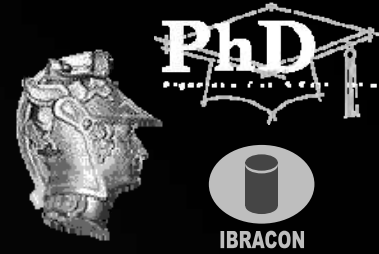
→ as NBR 8681 e NBR 6118:2003 consideram o efeito “Rüsch” como:

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

- Carregamento de projeto aos 28 dias;
- 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

---



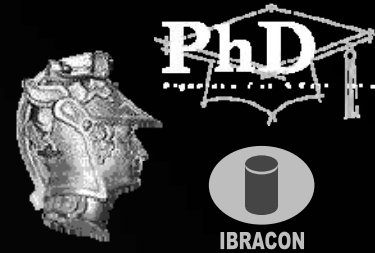
## CORREÇÃO

### *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 ( $\pm 10\%$ )**

# Texto ABECE

---

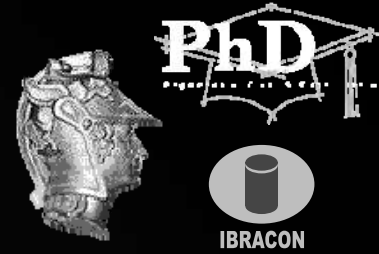


## ESTRUTURAS DE CONCRETO CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO



# Idade

---



Como **cre**sce a  
resistência com o  
tempo ?

# Crescimento da Resistência



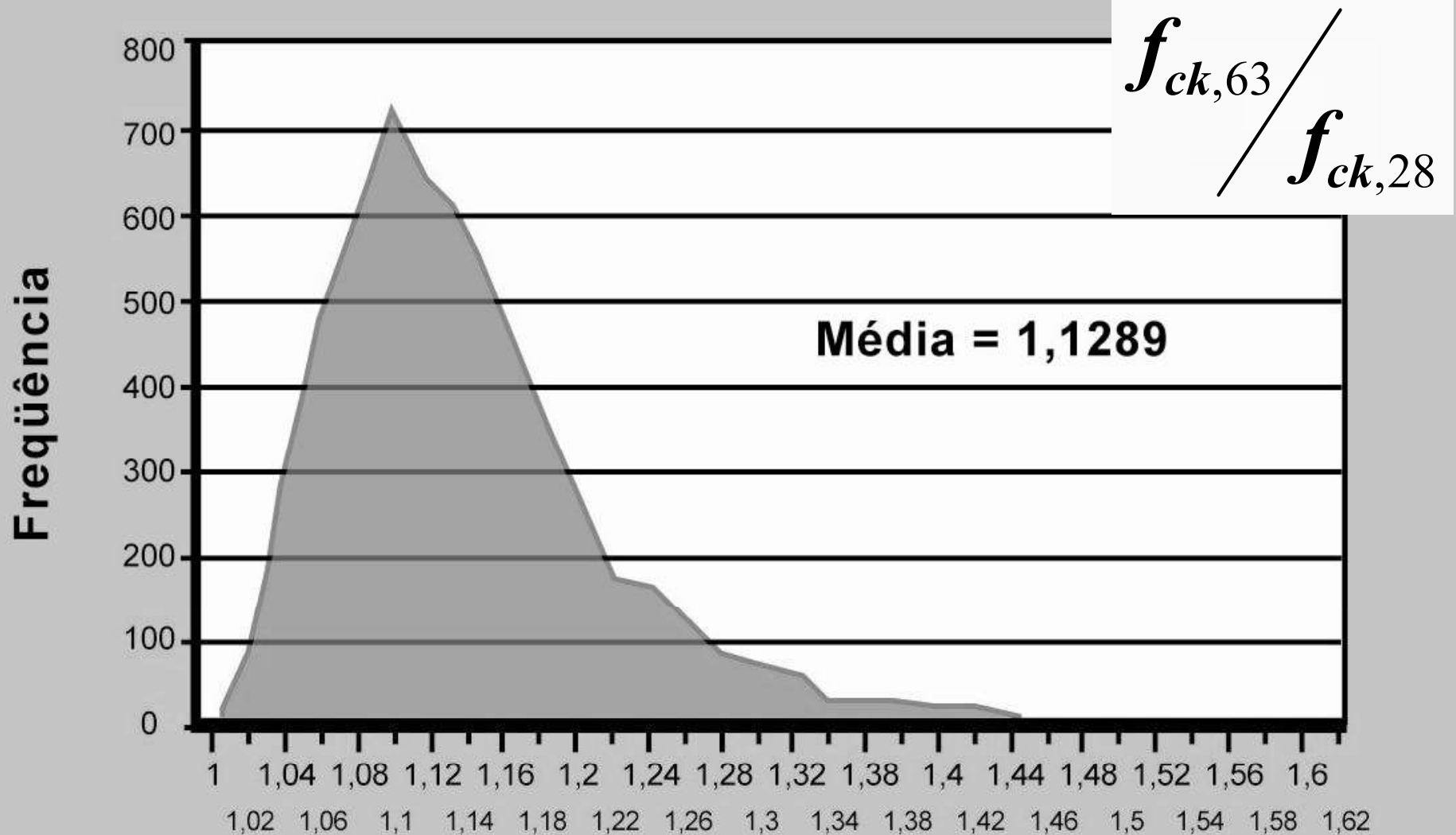
CEB – FIP Model Code 1990  
Bulletin d'Information 213/214, May 93

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

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

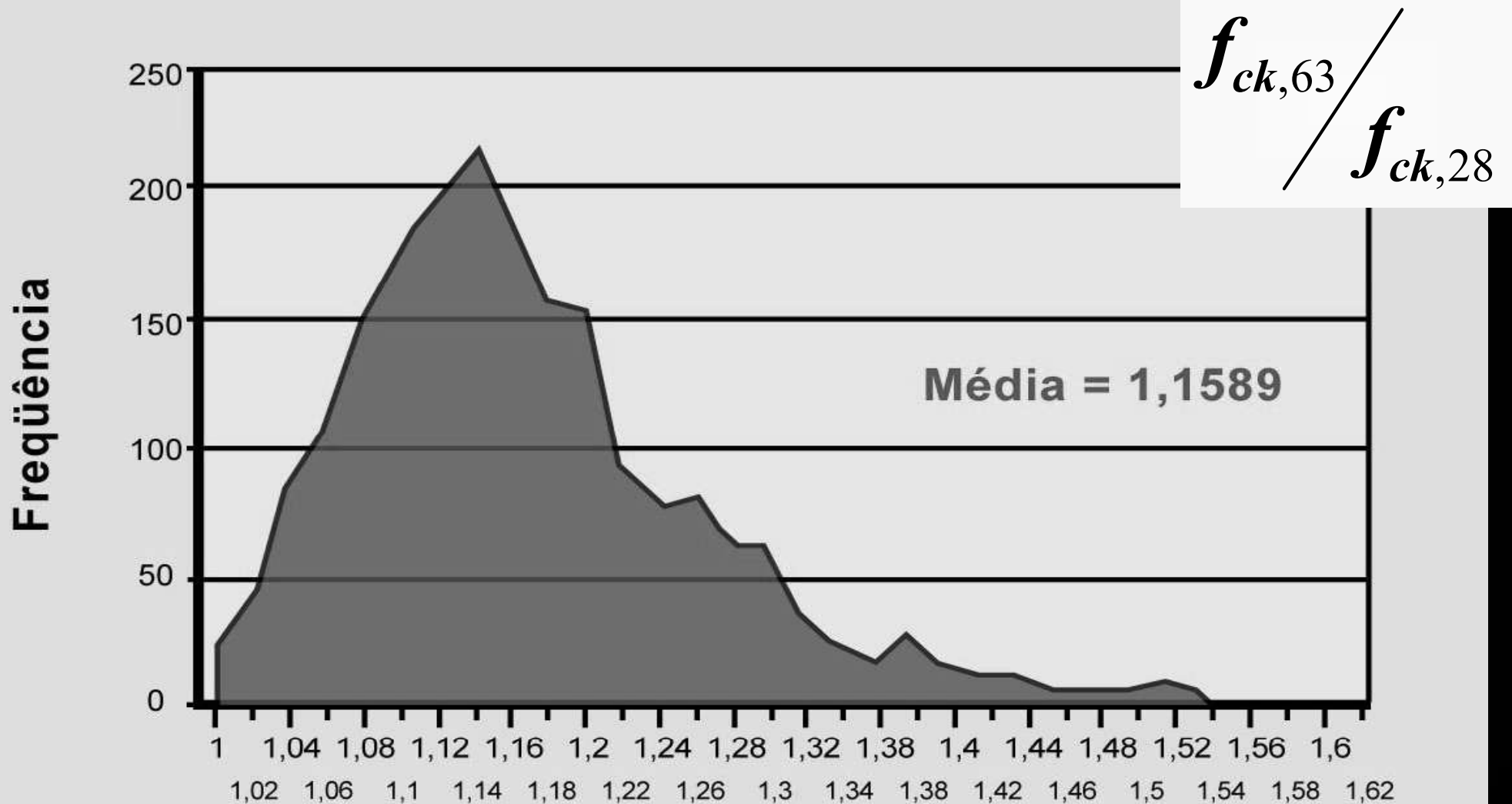
# Análise Geral

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



**1901**

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

Obrigado!

