

# Contribuição à Análise da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes. Edificações.

---

**Paulo Helene**

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



Local: Hotel

Cidade: Antigua – Guatemala

Preço: até 30/06 : US350

Hotel: US 100/dia

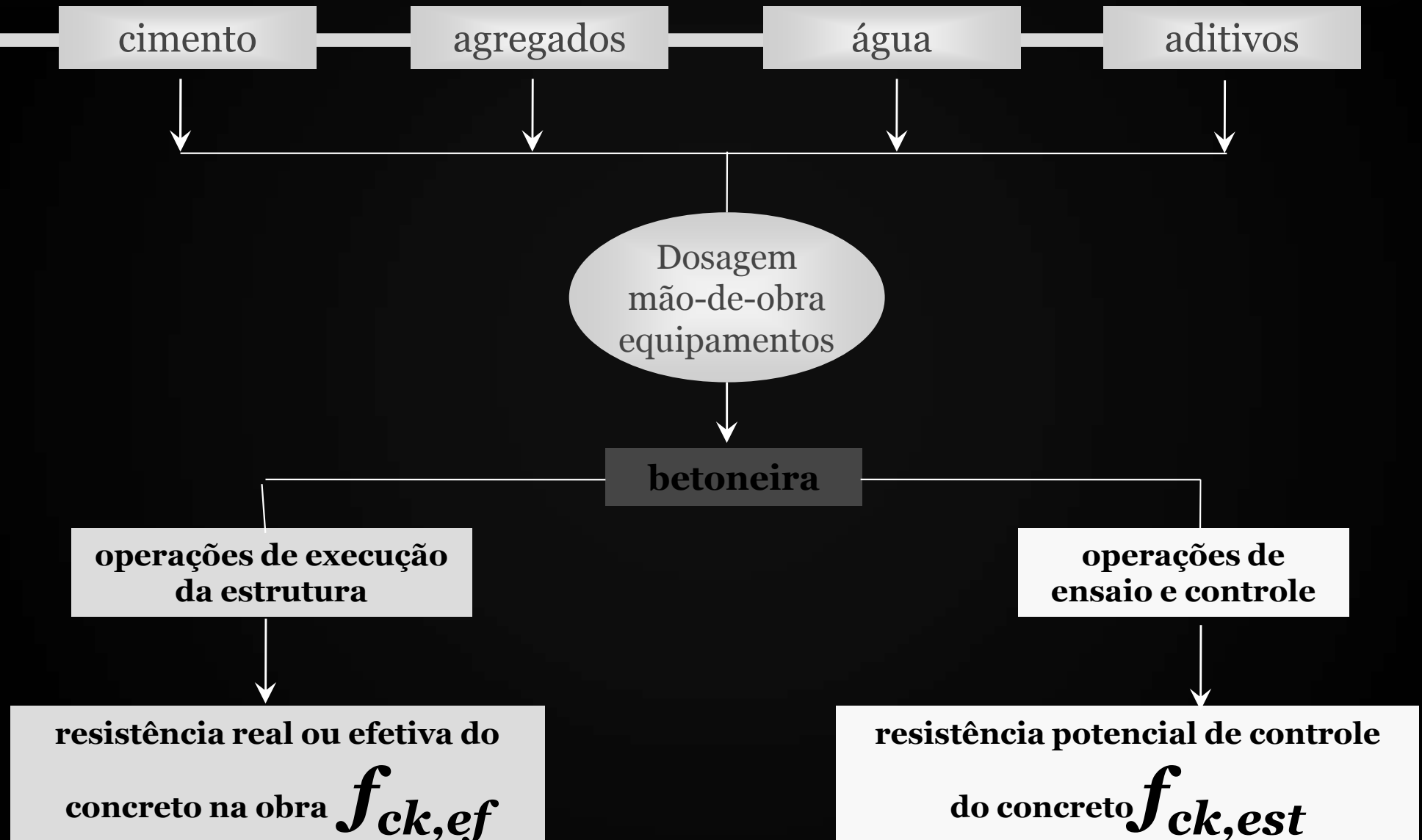
Incluído: café da manhã, comida, chá da tarde,  
anais, jantar de confraternização com baile



**www**  
**alconpat.org**

- ✓ **Membresía**
- ✓ **Suscripción gratuita**

# resistência do concreto



# Definições

---

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

$\sigma_{cd}$  → tensão de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

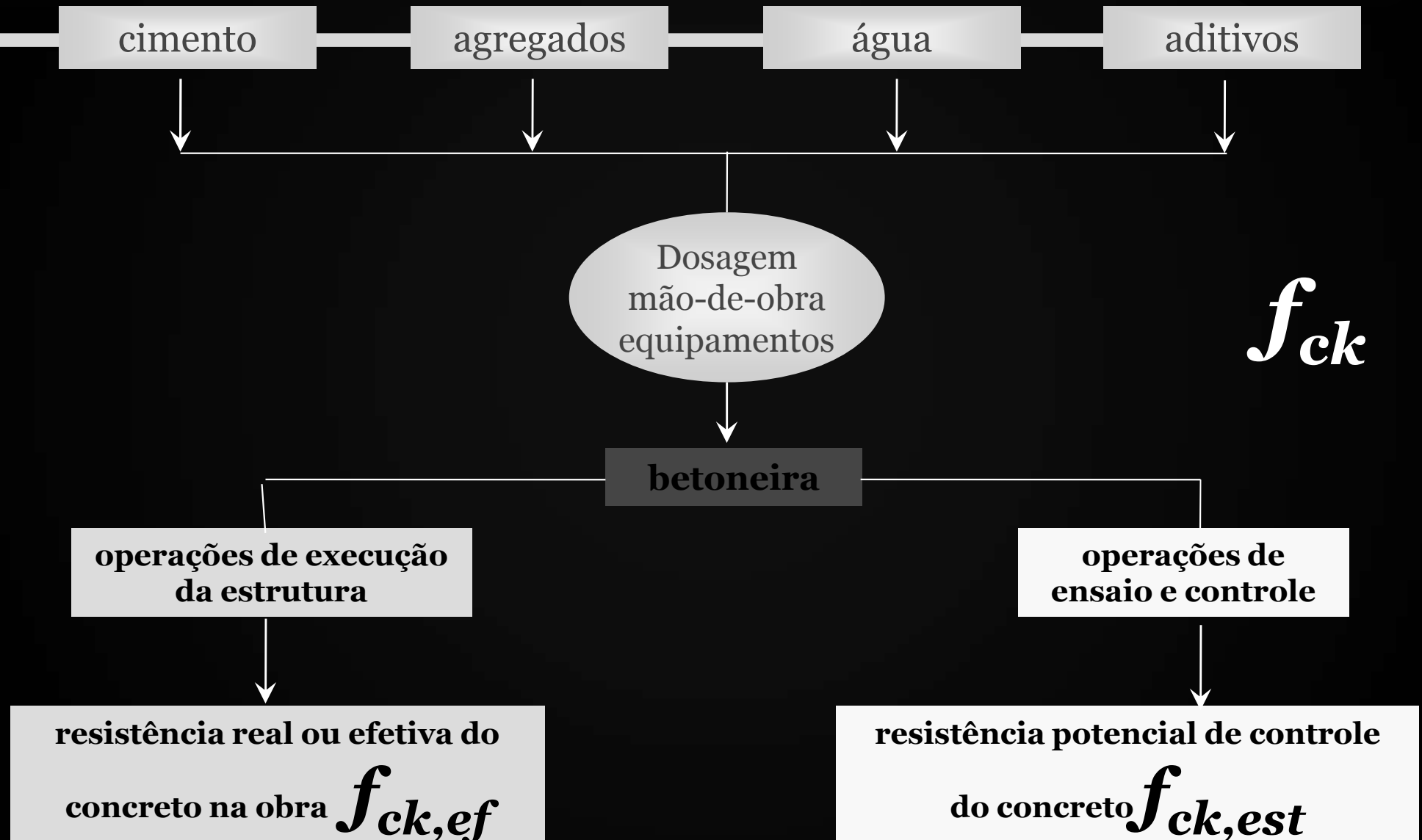
$f_{ck}$  → resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural (28dias)

$f_{ck,est}$  → 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)

---

# resistência do concreto



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

---

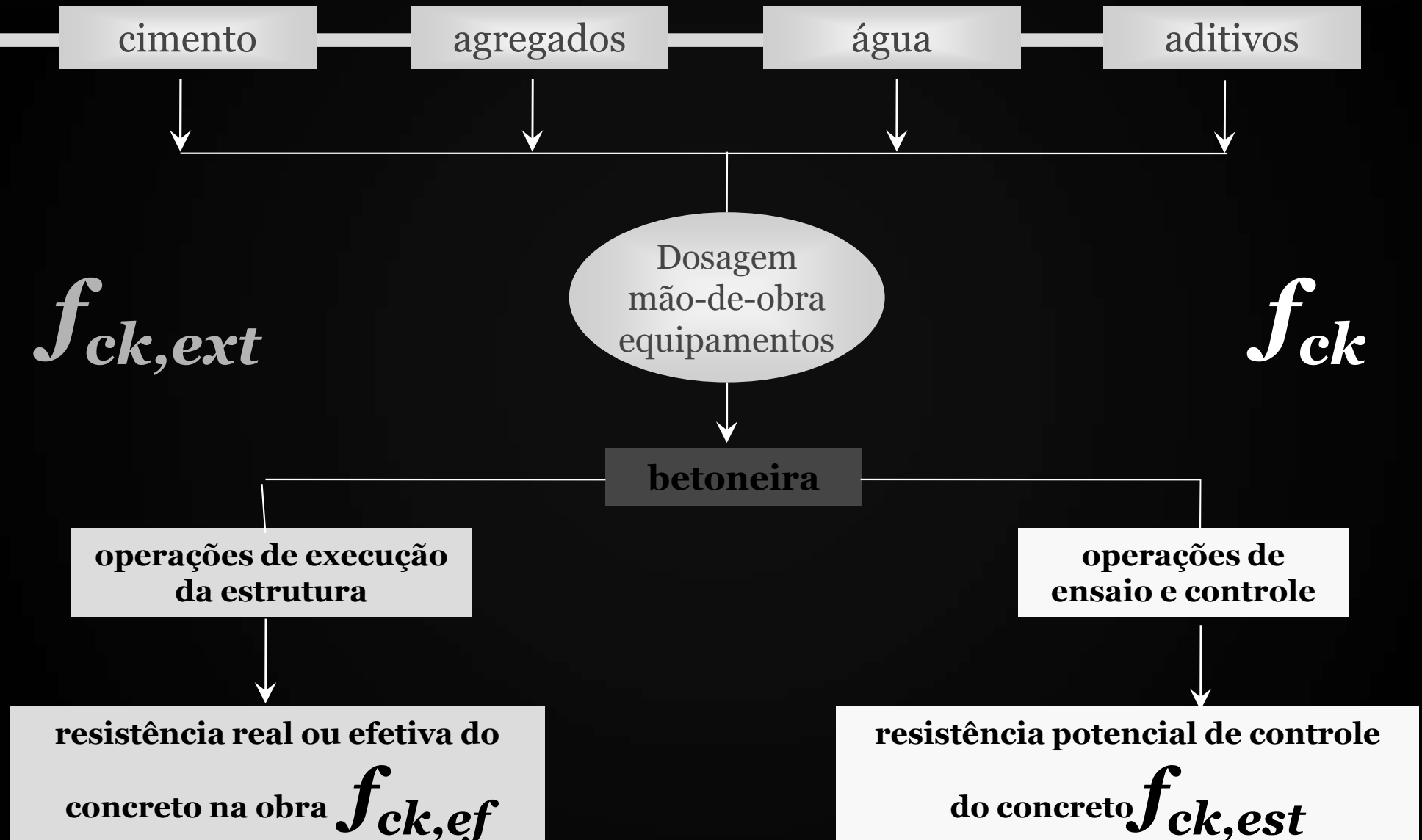
$$f_{ck,ef} \stackrel{u}{=} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ck} = 30MPa \quad \longrightarrow \quad f_{ck,ef} \stackrel{u}{=} f_{cd} = 20MPa$$

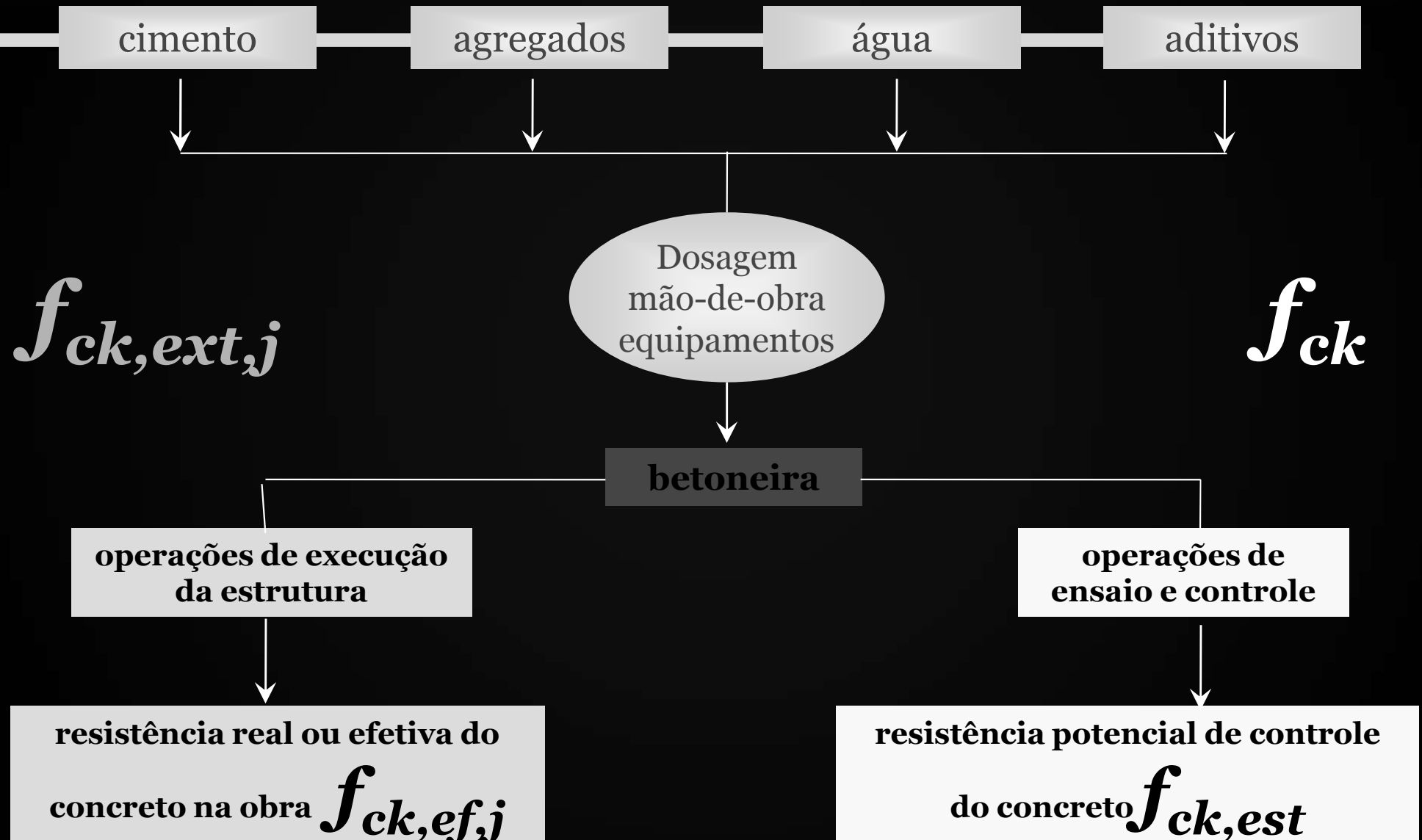
---

# resistência do concreto





# resistência do concreto



## *Problema:*

---

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

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

---

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

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

# 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*

---

# 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.*

---

# 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 !*

---

# 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
-



# 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.*
-

# 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.*
-

# 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.*
-

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010 . Draft Model Code.  
March 2010. Bulletin 55. v.1*

**PAGE 41 → reliability target index ( $\beta$ ) recommended and suggested**

<b>limit state</b>	<b>safety formats</b>	<b>reference period</b>	<b>new structures</b>	<b>existing structures</b>	<b>observações</b>
serviceability	probabilistic safety format	50years	$\beta = 1,5$	<i>nihil</i>	<i>mantém o mesmo critério de verificação da segurança</i>
	partial safety factor format	residual service life		$\beta = 1,5$	
ultimate	probabilistic safety format	50years	$3,1 \leq \beta \leq 4,3$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	<i>permite reduzir a confiabilidade na verificação da segurança</i>
	partial safety factor format	50years	$\beta = 3,8$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010 . Draft Model Code.  
March 2010. Bulletin 55. v.1*

**interesting clauses**

PAGE	Model Code	Model Code comments	Observações
79	when assessing existing structures, reconsiderations of the design values of the basic variables may be required. guidance is given in subclauses 4.5.14.1 representation of actions to 4.5.1.4.4 representation of geometrical quantities	nihil	<i>no caso de estruturas existentes recomenda levar em conta as ações efetivas, principalmente peso próprio e as dimensões geométricas, posição de armadura, etc.</i>
93	Table 4.5.7 → $f_{cd}$ $\gamma_c = 1,5$ (persistent/transient) $\gamma_c = 1,2$ (accidental)	...they might be reduced by 0,1 if the tolerances are reduced by 50%...mainly when analyzing existing structures...	<i>recomenda reduzir o <math>\gamma_c</math> de 0,1</i>
103	safety factor for model uncertainty $\gamma_{Rd}$	$\gamma_{Rd} = 1,0$ ... is the case of assessment of an existing structure...	<i>recomenda não majorar o coeficiente global</i>

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010 . Draft Model Code.  
March 2010. Bulletin 55. v.1*

**PAGE 111 → Table 5.1.3 Concrete Classification**

class	C12	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80	C90	C100	C110	C120
$f_{ck}$	12	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{ck,cube}$	15	25	37	50	60	75	85	95	105	115	130	140

*obs.: considera concretos de  $f_{ck} = 120\text{MPa}$  enquanto a NBR 6118 limita em  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$  e adota  $f_{ck}$  numa escala de  $10\text{MPa}$  enquanto a NBR 8953 adota escala de  $5\text{MPa}$  até  $50\text{MPa}$ .*

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

---

**PAGE 59, item 6.3: Partial safety factors  $\gamma_c$  for concrete**

...In the concept of Eurocodes a partial safety factor for concrete  $\gamma_c$  is defined as a value of *1,5*. This safety factor consists of two parts:

First: is the factor  $\gamma_M = 1,30$ , which considers unfavorable deviation of concrete strength from its characteristic value  $f_{ck}$ , model uncertainties, variation of geometrical properties, and the safety level. It is calculated by ... and the part of  $\gamma_M$  which represent the variability of materials properties is  $\gamma_{M1} = 1,23$ ...

...and the remaining part represents the variation of geometrical properties and model uncertainties  $\gamma_{M2} = 1,05$ ...

---

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

---

Second: is a conversion factor  $\gamma_{conv} = 1,15$ , which takes into account the decrease of in-place strength versus the characteristic strength  $f_{ck}$ . In the research literature the inverse value of 0,85 often is used... based on the German and Canadian data the 5% fractile of this ratio,  $f_{ck,ext} / f_{ck}$  was found as a value of 0,90 for columns and walls and as a value of 0,83 for slabs and beams...

*(portanto do ponto de vista da tecnologia do concreto:  $f_c = 1,11$  a  $1,20 * f_{c,ext}$  e do ponto de vista da segurança estrutural, o  $\gamma_c$  de 1,5 passa a ser de 1,30, o que no Brasil corresponderia a reduzir de 1,4 a 1,21) .*

---



*fib(CEB-FIP) bulletin n.54. v.4. October  
2010.Manual, Textbook on Behavior, Design and  
Performance. Structural Concrete*

---

**PAGE 165 → 8.3.2 Control Methods of Variations in Material Properties**

“...in many cases, the damage caused by drilling will influence the performance of structures...like columns where the cross section would be severely reduced by the extraction of a core...”

---

*ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures.* International Organization for Standardization. 2010. 44 p.

---

*Item 6.5 Conversion factors*

“...conversion factors reflecting the influence of shape and size effect of specimens, temperature, moisture, duration-of-load effects, ... shall be taken into account...”

*Annex F → Target Reliability Level*

“...the values given in Table F.1 are intended as illustrations for assessment of existing structures...”

---

***ISO 13822:2010. Bases for Design Structures.  
Assessment of Existing Structures.*** International  
Organization for Standardization. 2010. 44 p.

**Table F.1 Illustration of target reliability level**

<b>limit states</b>	<b>target reliability index <math>\beta</math></b>	<b>reference period</b>
<b>SLS</b>		
reversible	0	remaining working life
irreversible	1,5	remaining working life
<b>Fatigue</b>		
inspectable	2,3	remaining working life
not inspectable	3,1	remaining working life
<b>ULS</b>		
very low consequences	2,3	50years, at least
low consequences	3,1	50years, at least
medium consequences	3,8	50years, at least
high consequences	4,3	50years, at least

***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,  $\gamma_c$  and  $\gamma_s$  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	$\gamma_c$ for concrete	$\gamma_s$ for reinforcing steel
persistent & transient	1,5	1,15
accidental	1,2	1

*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  $\gamma_c$  and  $\gamma_s$  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

---

*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

---

*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

---

*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,  $\gamma_c$  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:*

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

---



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

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

---

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

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

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

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

---

*ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing  
Concrete Buildings.2010. 28p.*

---

“...where cores are taken to determine strength, the number of cores shall be based on the expected uniformity of the concrete and the desired confidence level in the average strength...

section 3.1.1, item 3.1.1.1 Core Sampling: ...the strength value shall be taken as the average of the cores”

section 3.1.3, item 3.1.3.1 Testing Cores:...depending on age and strength level, compressive strength values obtained from core tests can either be lower or higher than those obtained from standard cylinders molded during construction. For mature concrete the core strength varies from 100% of the cylinder strength for 20MPa concrete to 70% for 60MPa concrete...(corresponde a  $f'_c = 1,42 * f_{core}$ )

---

*ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing  
Concrete Buildings.2010. 28p.*

---

...core compression strengths may be expected to be lower for cores removed from the upper parts of slabs, beams, footings, walls and columns than for lower parts of that members...

section 5.1.4 – Acceptance Criteria:...uncertainty about the structure is clearly reduced where fieldwork has established the actual material strengths for steel and concrete...this supporting work can serve as justification for using a different strength-reduction factor  $\Phi$ . Suggested values of  $\Phi$  are reported in section 20.2.5 of ACI 318...”

---

*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...

*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  $\phi$  but  $\phi$  shall be according with Table 20.2.5.1

Table 20.2.5.1 Factor  $\phi$  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

*ACI 318M-08 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2008. 470p.*

Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

---

*Obs.:*

*Um simples cálculo demonstra que esse aumento no coeficiente de redução da resistência do concreto, de 6% a 23% significa reduzir, para fins de comparação, o coeficiente de minoração,  $\gamma_c$  de 1,5 para  $\gamma_c$  de 1,22 a 1,40. Em compressão cintada passaria de  $\gamma_c = 1,5$  para  $\gamma_c = 1,25$ ;*

*Observar que se trata de uma redução dupla: primeiro achar o  $f'_c$  equivalente no qual  $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$  ou  $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$  e, posteriormente se não aprovar, reduzir o coeficiente de minoração  $\gamma_c$  para até 1,22.*

---

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

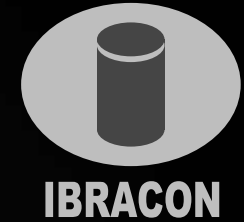
# resumo normas internacionais

---

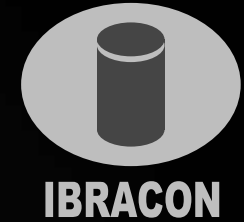
2. Uma segunda relativa à verificação da segurança, ou cálculo da segurança estrutural na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança, ou o coeficiente  $\beta$  de confiabilidade, segundo seja o método de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto preferido pelo projetista. Em todos os casos é recomendado aceitar coeficientes  $\gamma_M$  de minoração da resistência dos materiais ou  $\beta$  de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.



# 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



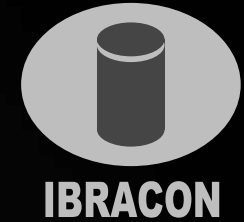
# TESE de DOUTORADO

---

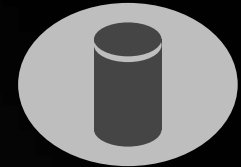
*CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.*

*Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS*

# 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*

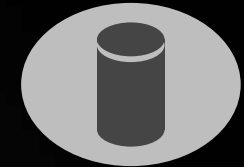


IBRACON

# ***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***



**IBRACON**

## ■ **Lajes e (vigas)**

- 06 obras → concreto de Central
- cps extraídos das lajes maciças *10cm a 15cm*
- 15 lotes (lajes e vigas) → 15 andares
- 8 a 11 caminhões por andar
- volume total de concreto de  $1.195 \text{ m}^3$
- 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

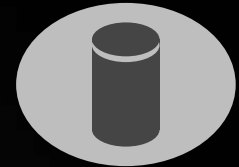
Obras 1 a 6 – Pilares

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>1.24</b>	<b>1.20</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



IBRACON

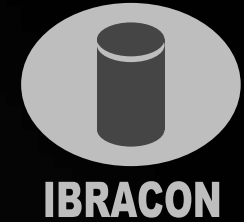
pilares:

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

lajes & (vigas)

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





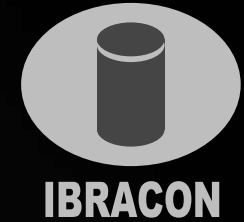
# TESE de DOUTORADO

---

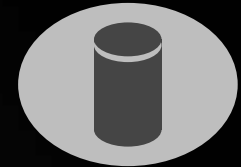
*VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.*

*José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP*

# 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*



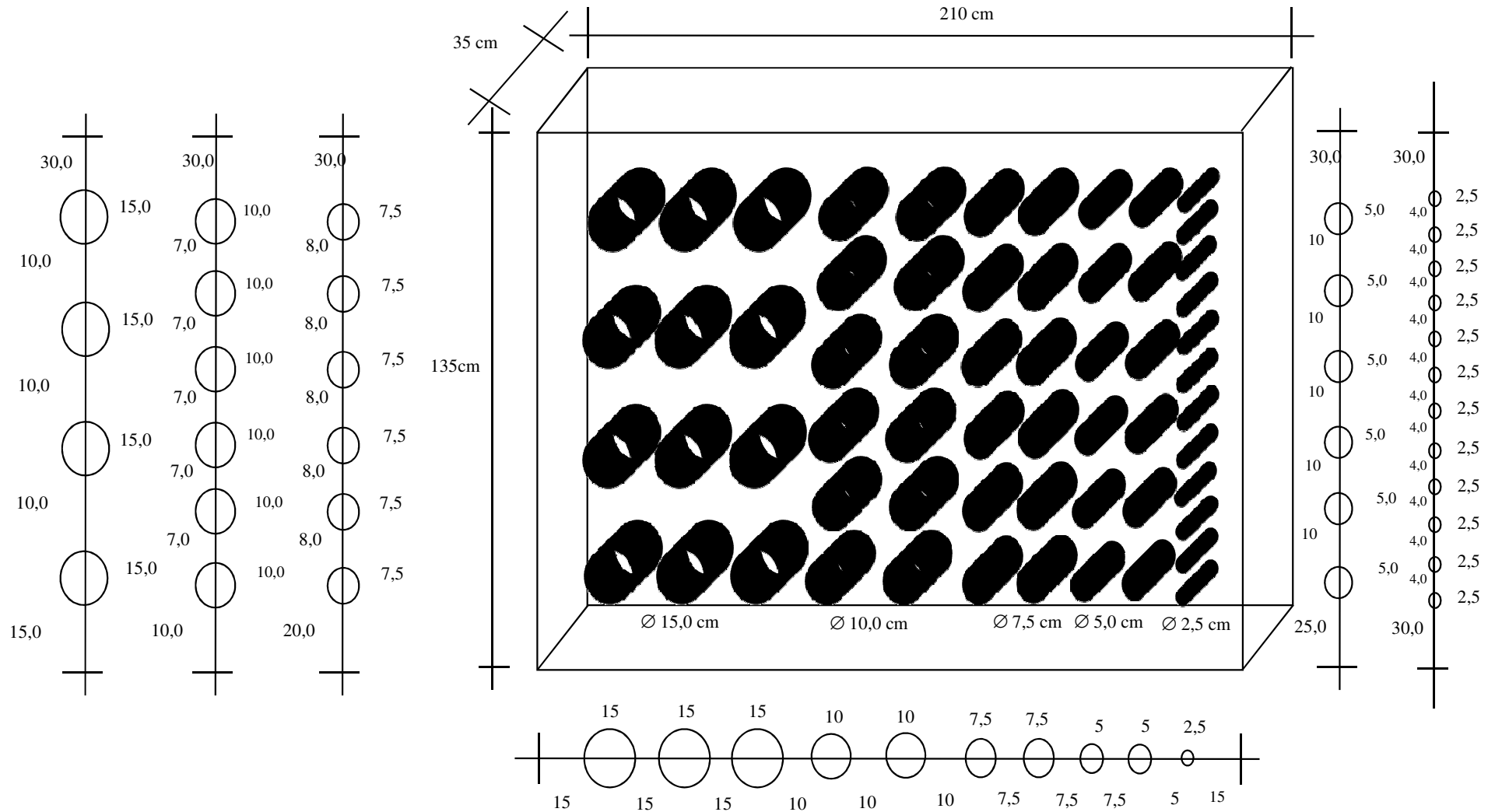
IBRACON

## ***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





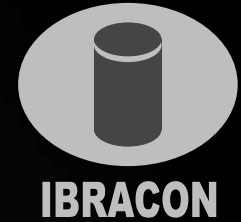




Parede/bloco perfurada

---

# Conclusões



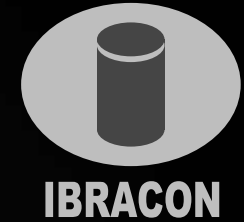
1. os valores de  $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$  entre 1,01 e 1,40 correspondem a 100% dos resultados obtidos
2. todos “broqueamento”:

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

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...



# Conclusões das Teses



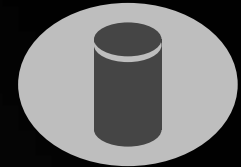
Efeito deletério do “broqueamento”:

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

Efeito deletério do “broqueamento + outras variáveis”:

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

# sumário

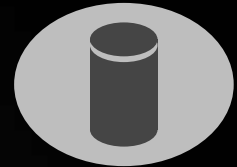


IBRACON

- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

# Projeto das estruturas de concreto

## NBR 6118

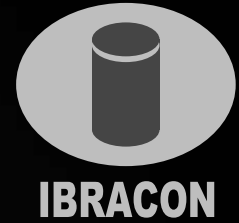


IBRACON

É 100%  
exato?

# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118

---



# Não!

# 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;

# 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 aproximada*,  $k$
- ✓ o método do pilar-padrão acoplado a diagramas M, N,  $1/r$
- ✓ o método geral (*mais preciso*)

# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas



Edifício de 20 andares

Pilar de  $a_x = 26\text{cm}$  por  $a_y = 39\text{cm}$

Força normal: 62tf

Momentos topo:  $m_x = -1,4\text{tf.m}$  e  $m_y = 5,7\text{tf.m}$

Momentos na base:  $m_x = 2,85\text{tf.m}$  e  $m_y = -2,85\text{tf.m}$

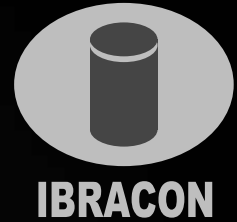
Vento 40m/s

$f_{ck} = 35\text{MPa}$

<b>método</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>barras</b>
<b>curvatura aproximada</b>	<b>18,85</b>	<b>8 <math>\phi</math> 16</b>
<b>rigidez aproximada</b>	<b>12,07</b>	<b>6 <math>\phi</math> 16</b>
<b>M, N e 1/r</b>	<b>7,36</b>	<b>6 <math>\phi</math> 12,5</b>
<b>geral</b>	<b>4,71</b>	<b>6 <math>\phi</math> 10</b>



# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas



concreto devia ser  
35MPa  
mas deu menos  
e agora?!

# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

---



qual o método utilizado  
pelo calculista?

método da curvatura  
aproximada

<b>método</b>	<b>20MPa</b>	<b>25MPa</b>	<b>30MPa</b>	<b>35MPa</b>
<b>curvatura aproximada</b>				<b>8 <math>\phi</math> 16</b>
<b>rigidez aproximada</b>			<b>8 <math>\phi</math> 16</b>	
<b>M, N e 1/r</b>		<b>8 <math>\phi</math> 16</b>		
<b>geral</b>	<b>8 <math>\phi</math> 16</b>			

<b>método</b>	<b>20MPa</b>	<b>25MPa</b>	<b>30MPa</b>	<b>35MPa</b>
<b>curvatura aproximada</b>				<b>8 <math>\phi</math> 16</b>
<b>rigidez aproximada</b>			<b>8 <math>\phi</math> 16</b>	
<b>M, N e 1/r</b>		<b>8 <math>\phi</math> 16</b>		
<b>geral</b>	<b>8 <math>\phi</math> 16</b>			

# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas



concreto devia ser  
35MPa  
mas deu menos  
e agora?!

# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

---



qual o método utilizado  
pelo calculista?

método geral  
mais preciso

<b>método</b>	<b>20MPa</b>	<b>25MPa</b>	<b>30MPa</b>	<b>35MPa</b>
<b>curvatura aproximada</b>				
<b>rigidez aproximada</b>				
<b>M, N e 1/r</b>				
<b>geral</b>	<b>8 <math>\phi</math> 16</b>	<b>6 <math>\phi</math> 16</b>	<b>6 <math>\phi</math> 10</b>	<b>6 <math>\phi</math> 10</b>

<b>método</b>	<b>20MPa</b>	<b>25MPa</b>	<b>30MPa</b>	<b>35MPa</b>
<b>curvatura aproximada</b>				
<b>rigidez aproximada</b>				
<b>M, N e 1/r</b>				
<b>geral</b>	<b>8 <math>\phi</math> 16</b>	<b>6 <math>\phi</math> 16</b>	<b>6 <math>\phi</math> 10</b>	<b>6 <math>\phi</math> 10</b>



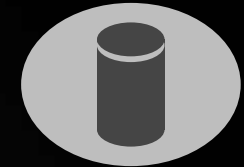
---

# interpretação de resultados de testemunhos

---

# testemunhos extraídos

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

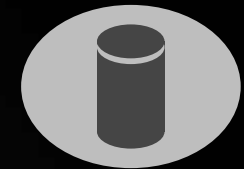


IBRACON

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>34.8</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.8</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>8%</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>29.0</b>

# testemunhos extraídos

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

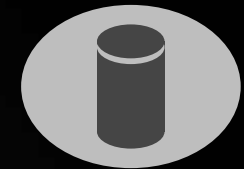


IBRACON

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>34.8</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>2.8</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>8%</b>
<b><math>f_{ck,est}</math> (MPa)</b>	<b>29.0 <math>\rightarrow</math> 31.9</b>

# testemunhos extraídos

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



IBRACON

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b>36.4</b>
<b><math>s_c</math> (MPa)</b>	<b>1.5</b>
<b><math>v_c</math> (%)</b>	<b>4</b>

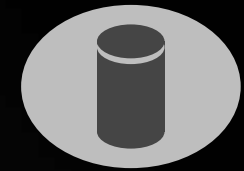
# Projeto das estruturas de concreto NBR 6118 → Projetistas

---



falha de projeto, além de  
prejuízos financeiros e mal  
comportamento, pode  
derrubar estruturas?

Edifício Palace II  
Rio de Janeiro  
Carnaval de 1998  
terça de carnaval à tarde  
5anos!



**IBRACON**



heje da  
unidades  
nova

também de  
maior ad-  
er, mas as  
estava abor-  
ado, esses  
momentos  
nova criada  
es e gerên-  
típicas  
trabalhos re-

ndo. Sem-  
logue que a  
os mercat-  
apassada a  
e a contri-  
com esse  
"o Naga",  
linha de  
no Dia de  
ul do Mi-  
e março).  
do o por-  
lambrou na  
na, "a de-  
governo  
aquisição  
atua para  
ento por-  
de as ois  
empresou  
de os de-  
di." Quer-  
sda dizer  
to contri-  
ar infen-  
to gover-  
ntos dos  
a super-  
res quan-  
ta Naga,  
e garan-  
tira que  
lambiar  
a a pes-  
travada  
entres.  
situaou  
nos por-  
tridada  
um ano



Escritórios do Palácio 2, as unidades também são misturadas

RA FUNDA ÚLTIMAS UNIDADES

## Papéis e participações de engenheiros

Sérgio Domingues  
diz que não  
da consi-  
Publ

ENQUÊ

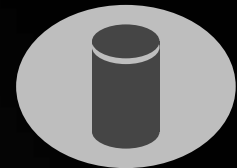
**R** 80 - Dece-  
tam tam-  
para Sen-  
tem em nome do  
Edifício Palácio  
situação do em-  
Xurão Domingues  
co da empresa.

Entre os docu-  
mentos bilhetes e in-  
tados por Domi-  
ngos mestre de obra  
Admir Rua Maci-  
da compra de  
outra.

Os bilhetes, que  
são de construção  
nos 1986 e 1988  
versão apresen-  
tados a polícia, de-  
monstram na es-  
tado de que o  
trabalho das obras  
legitimamente de  
de Polícia. Para-  
los, Alberto Nune-  
s, sinal pelo inquiri-  
do. Ele passou  
um mês em

Um dos bilhetes  
Domingues em  
Domingos Publ-  
deputado Sérgio  
documentos, ha-  
as fiscais, tal-  
empresa, com-  
bitante de sua  
agenda do mes-  
e dezembro de es-  
ce 2 e o contrato  
dos apêndices.

**Indicamento** -  
não encontrou  
pela os Ins-  
tado Carlos El-  
legado indre-



**IBRACON**



*Edifício Real Class*

*Belém do Pará*

*34 pavimentos*

*105m*

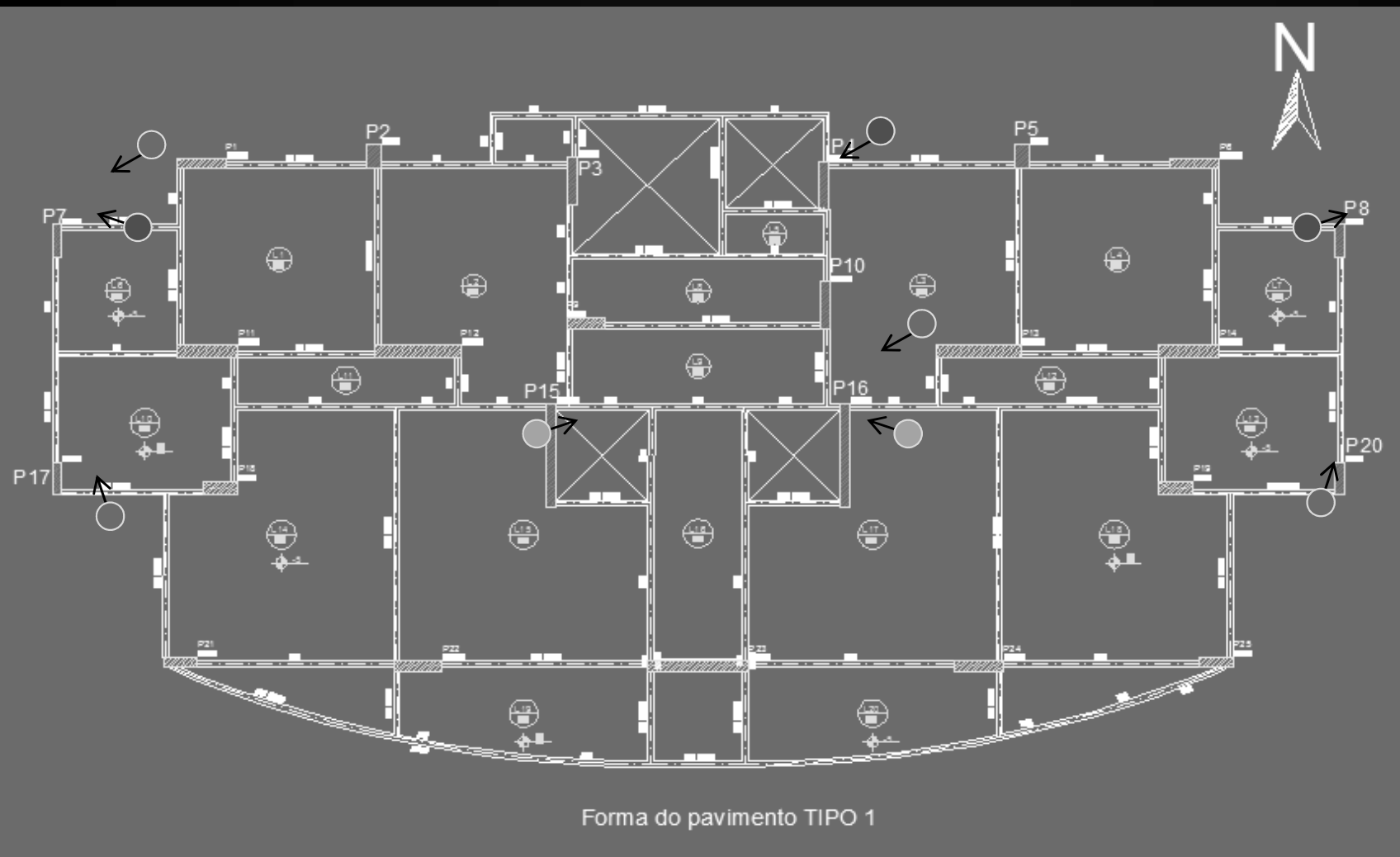
*20.01.2011*

*35MPa*





# Edifício Real Class



Legenda

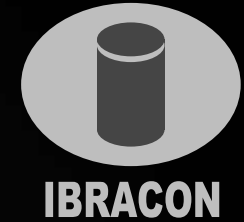
UFPA ○

Perícia Criminal ●

Lar Center ○

- 
- ✓ não tinha rigidez
  - ✓ não atendia estribos
  - ✓ não atendia cobrimento
  - ✓ não considerou o vento
-

# sumário



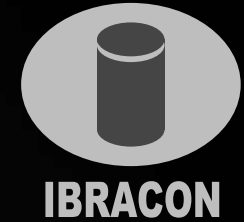
- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

---

**É 100%**  
**confiável?**

**execução das estruturas de Concreto**  
**NBR 14931 (Construtores)**

---



**Não?**











Cabeça de pilar sem  
ganchos transversais  
nem estribos













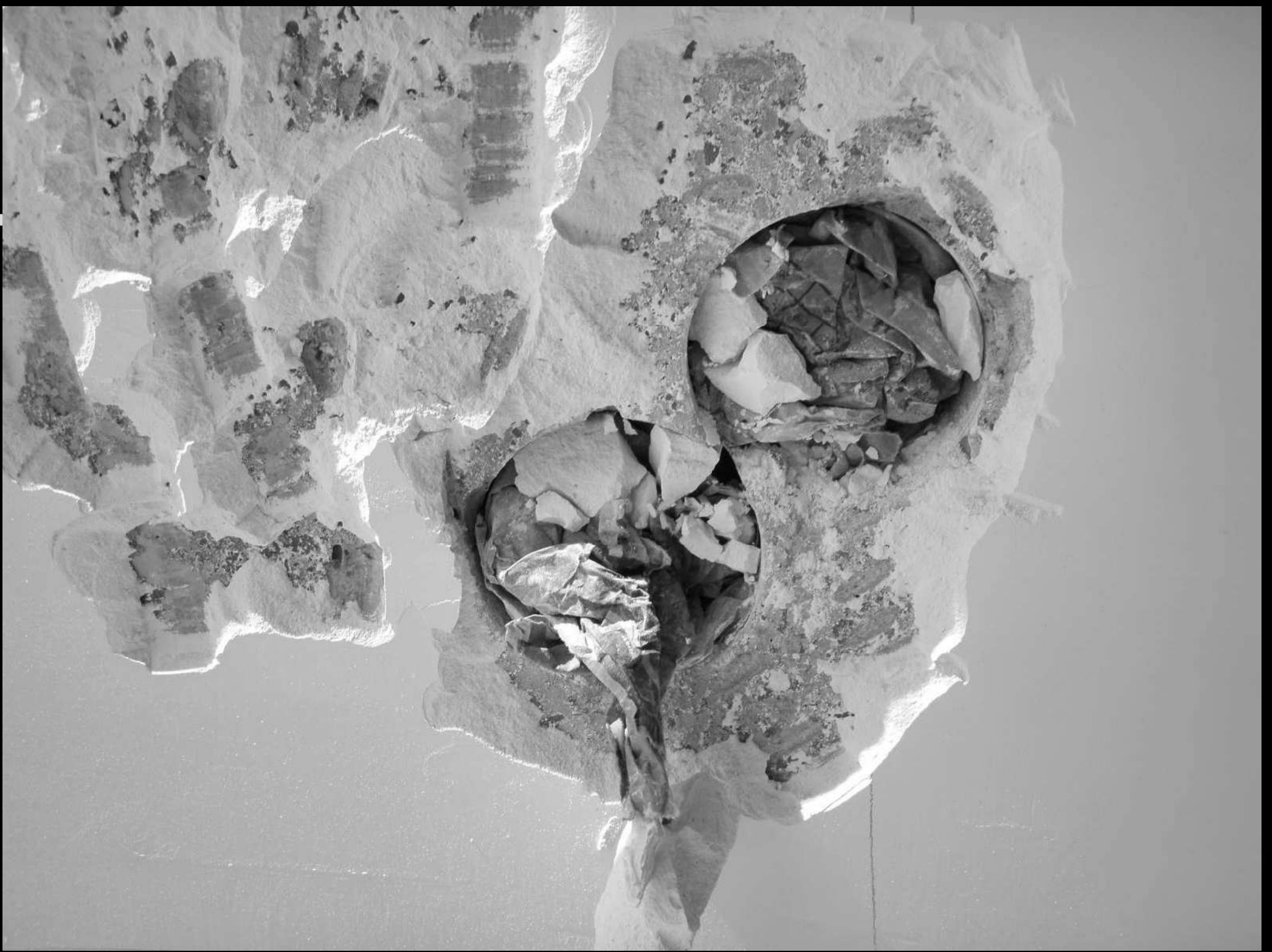










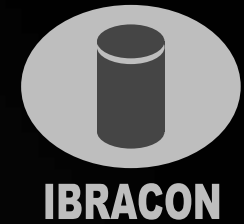








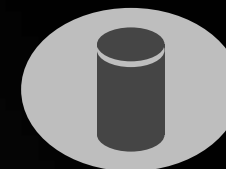
# Construção



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



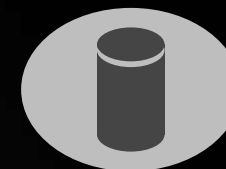
# Construção



IBRACON



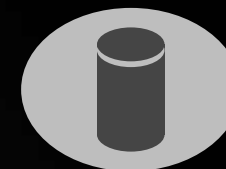
# Construção



IBRACON



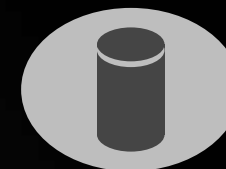
# Construção



IBRACON



# Construção



IBRACON



---

**Falha de execução  
além de prejuízos  
estéticos pode  
derrubar estrutura?**

*Edifício Areia Branca  
Recife, Pernambuco  
14 de outubro de 2004  
quinta-feira às 20:30h*

*1977 → 1979*

*25 anos*

*12 andares + térreo + 1 garagem*





---

EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes



Escombros - manhã seguinte do desabamento













Ligação pilar - sapata com redução da  
seção transversal do pilar



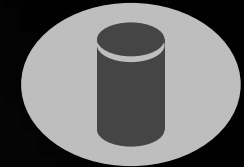


Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar



> 20cm!!!

# sumário

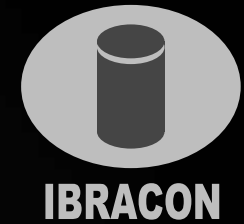


IBRACON

- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

# Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

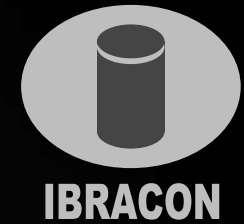
---



É 100%  
confiável?

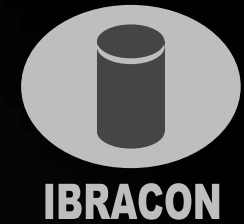
# Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

---



# Não !

# Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

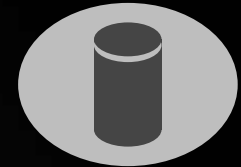


É um produto / serviço que depende de muitas variáveis:

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 !!!!!**

# sumário

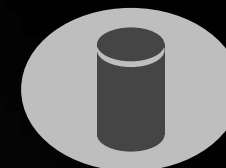


IBRACON

- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

**controle**

**NBR 12655:2006**



**IBRACON**

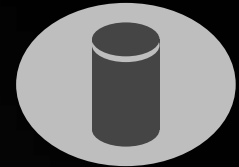
---

**É 100%  
confiável?**



**controle**

**NBR 12655:2006**



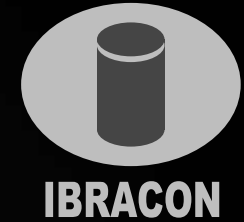
**IBRACON**

---

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

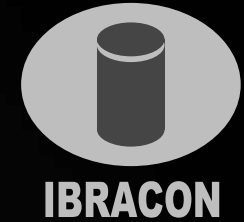
# controle

# 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*

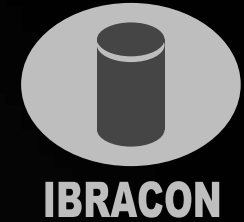
# sumário



- ✓ 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

**controle realizado por  
LABORATÓRIO**

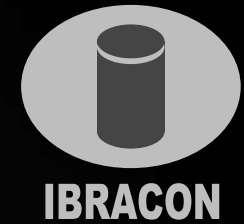
---



**É 100%  
confiável?**

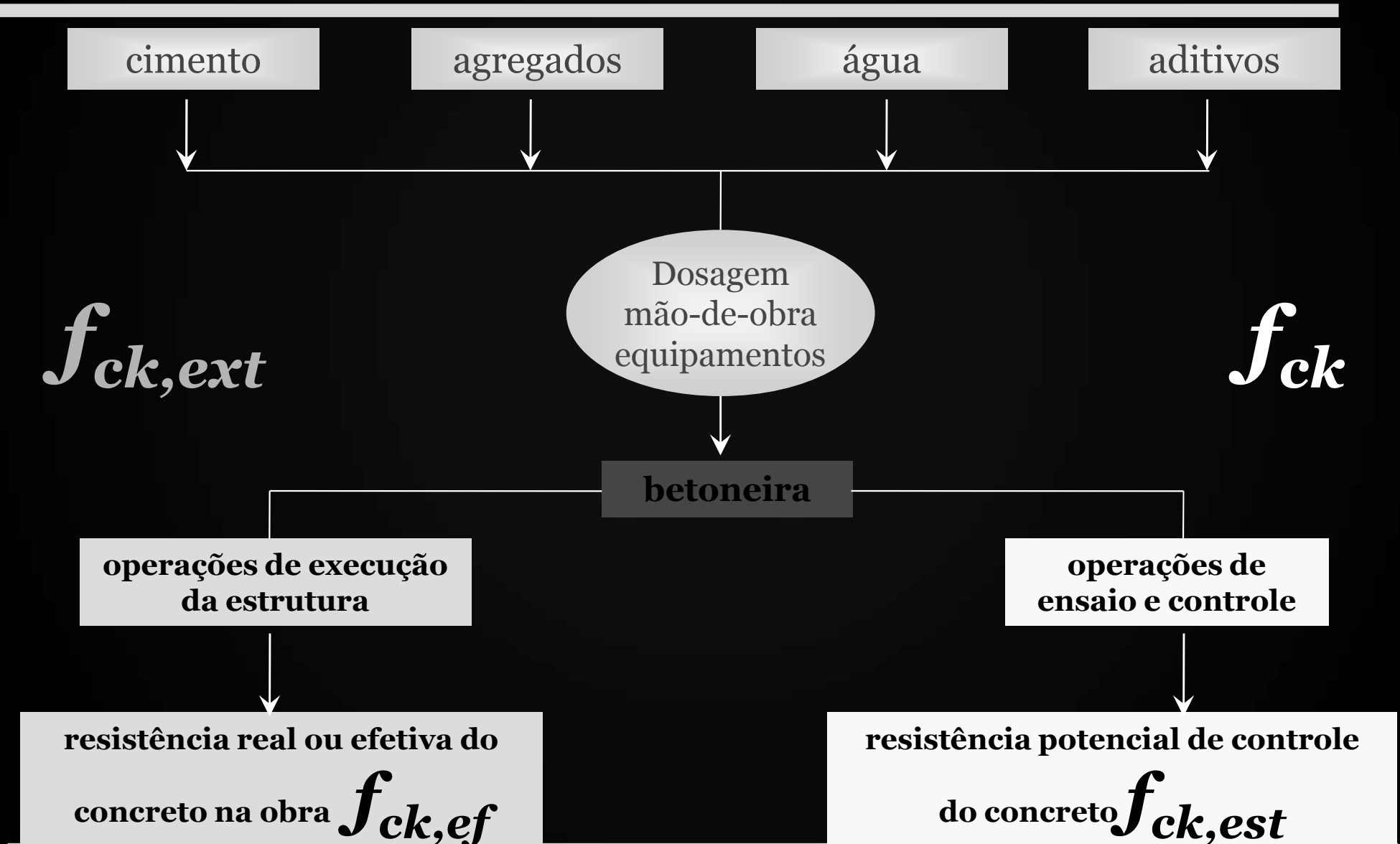
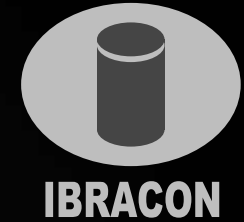
# controle LABORATÓRIO

---



# Não !

# controle do concreto resistência



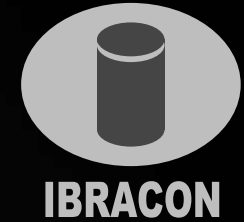
# Controle da resistência do concreto NBR 12655 (Laboratórios)



## Operações de ensaio:

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

# Controle da resistência do concreto NBR 12655 (Laboratórios)



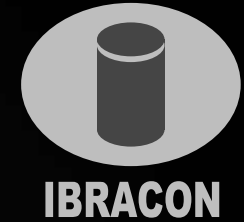
## Operações de ensaio:

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

**Extração e  
ensaio de  
testemunhos!**



# 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





9770

9770

1007-5

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770

9770



S-709

S-713

970

970

53124

0710

377

0710

53124

53124

S-712

14

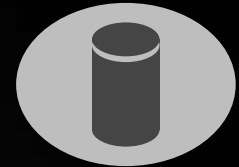
278

53124

S-716

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>coeficiente variação em %</b>			<b>7.7</b>	<b>4.8</b>	

# Dúvidas

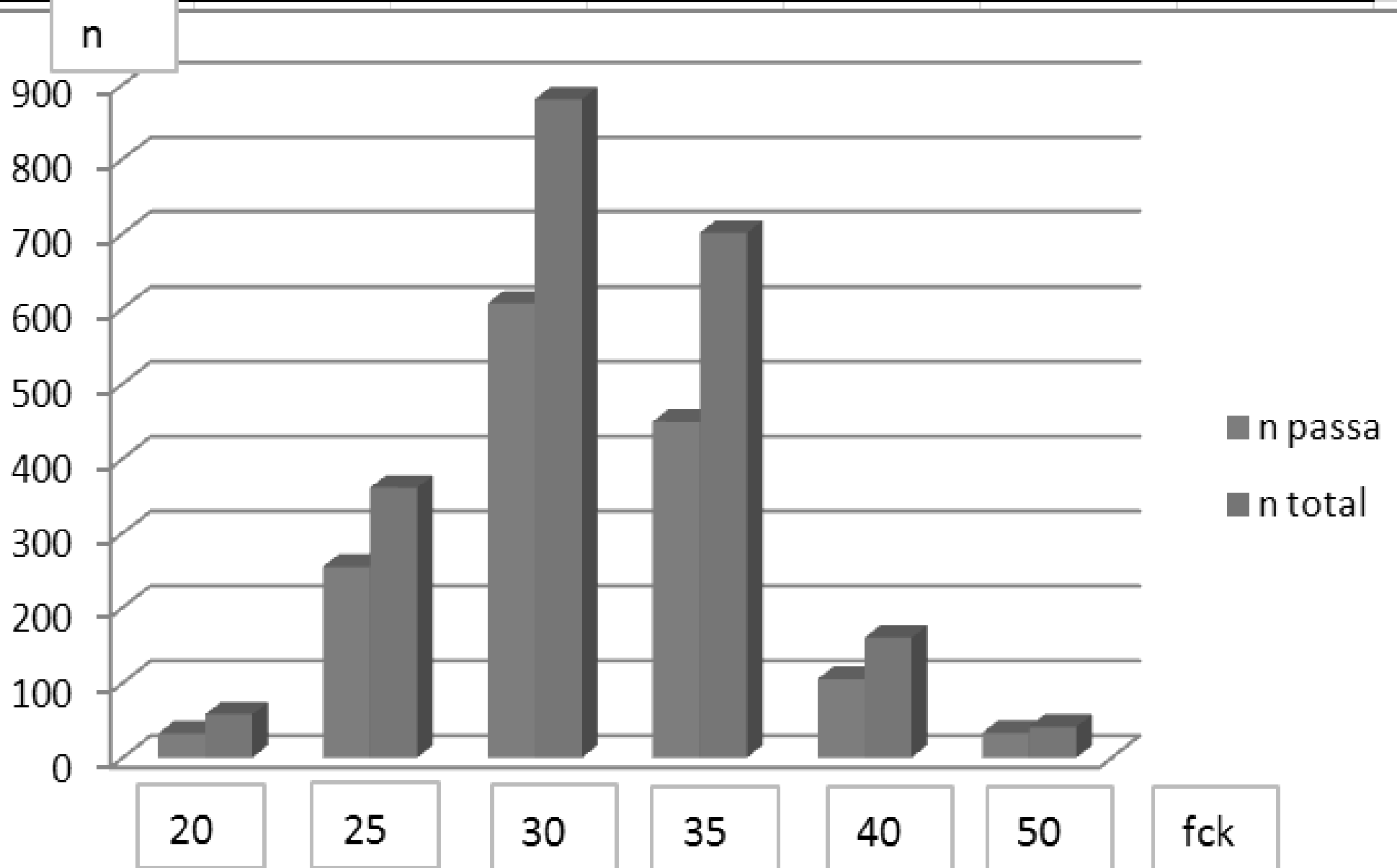


IBRACON

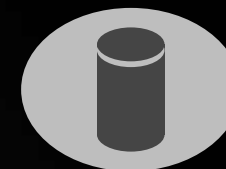
testemunhos extraídos que  
demonstraram que o  
resultado do corpo-de-  
prova de controle nem  
sempre é confiável

# Quantidade de testemunhos rompidos à compressão e comparados com fck

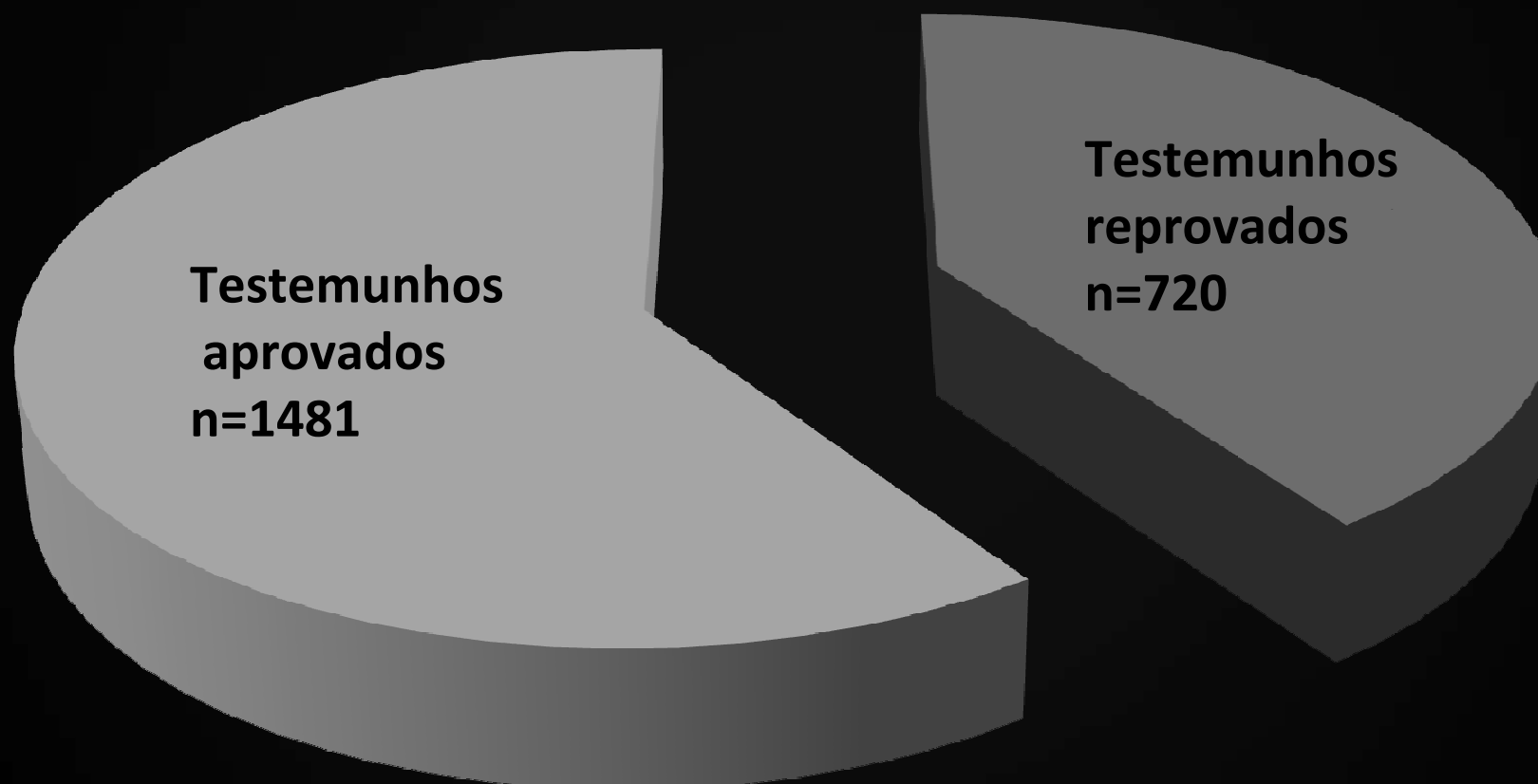
fck	20	25	30	35	40	50
n passa	32	255	607	449	105	33
n total	58	361	880	701	160	41



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



IBRACON

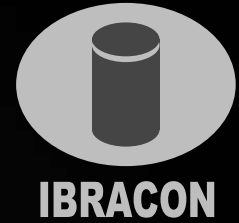


**ABCP  
2009**

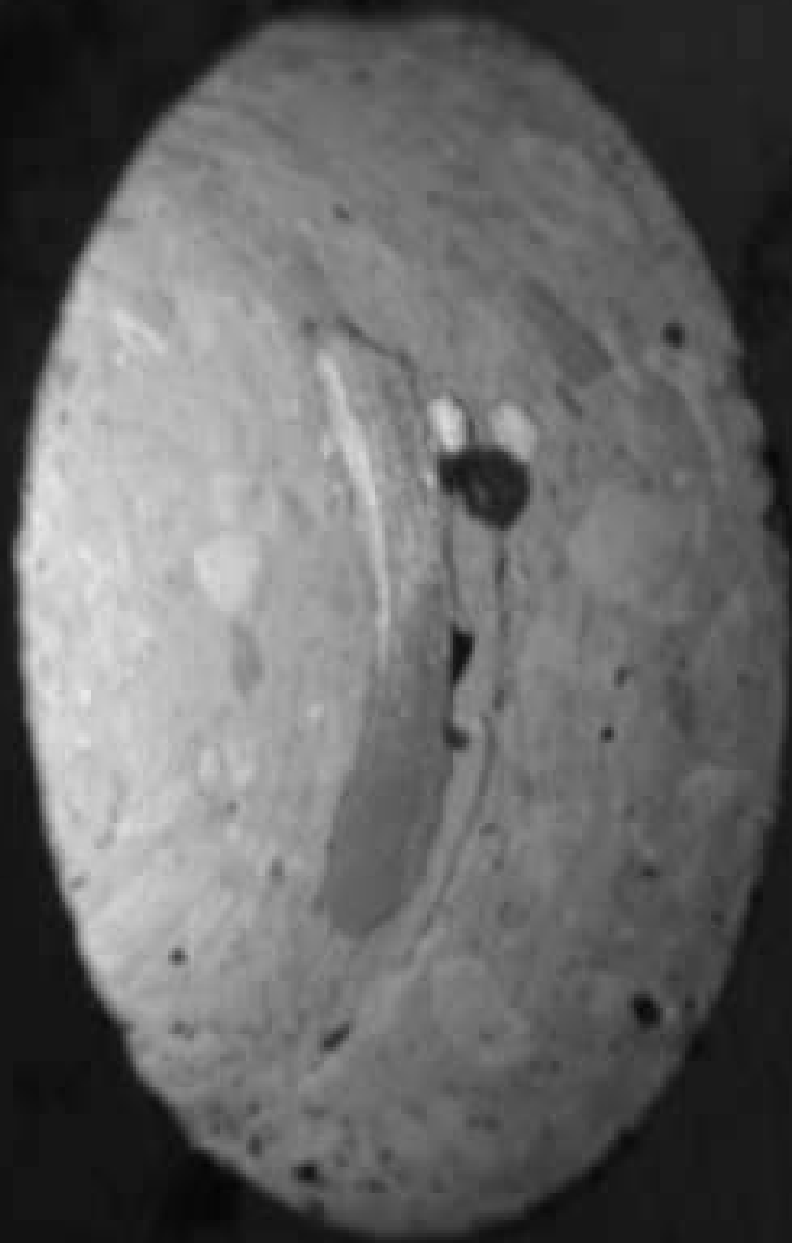


# extração de testemunhos LABORATÓRIO

---



É 100%  
confiável?













OP P161







P106

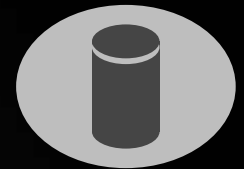
P-25 - KINGU

109.55









**IBRACON**



# Segurança de Estruturas

---

## Edificações

Concreto → Controle 100%

Controle → Manter critério NBR 12655

Laboratório → ???

Execução → fundamental controlar

Projeto → fundamental uniformizar





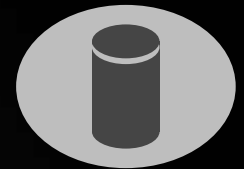


FO  
CP 3  
B  
BA



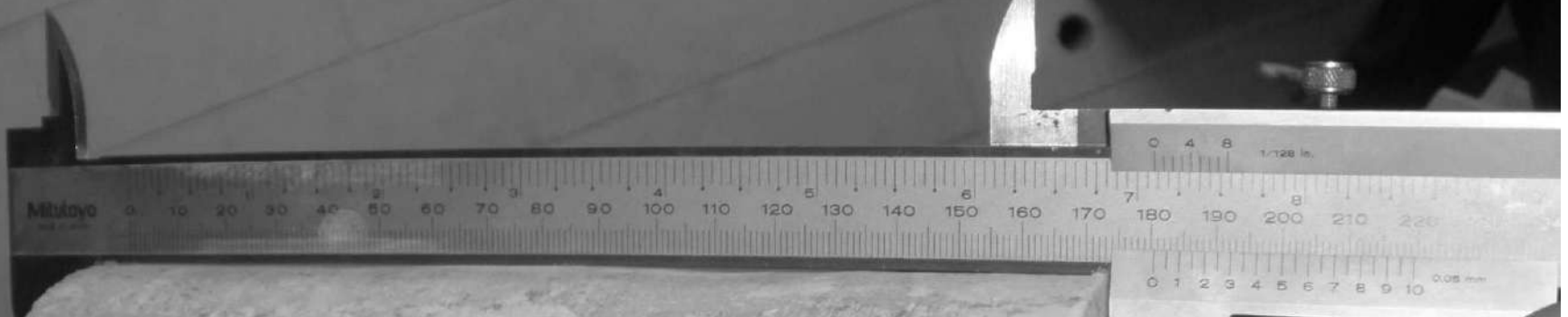






**IBRACON**





Mitutoyo

0 4 8 1/128 in.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 0.05 mm









Prensa Toni Pact  
Capacidad de 300 toneladas

-00 48

FAVOR RETORNAR DE  
BOMBAS DE SUPTASA  
APES O TERMINO EN XINAGAO  
INTERVINO

RE  
TONI PACT 3000







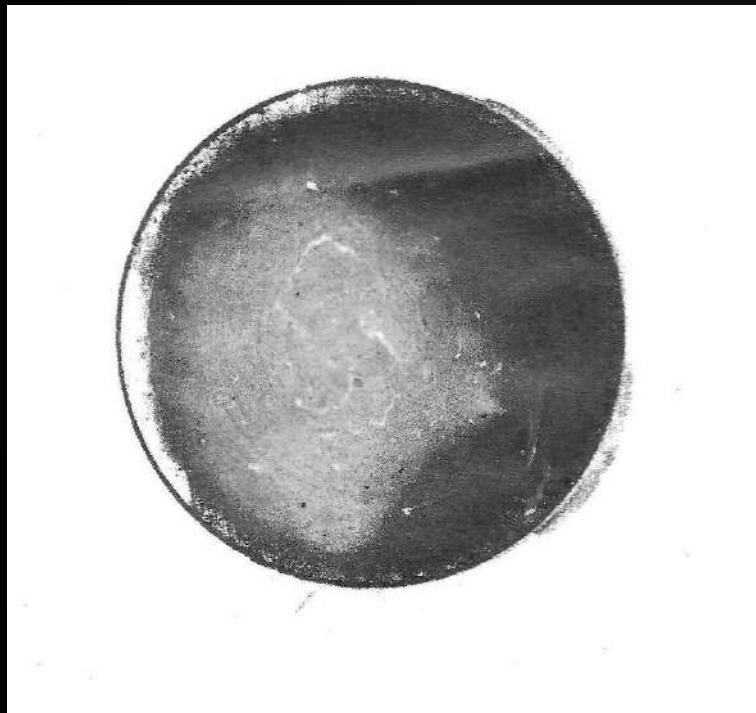
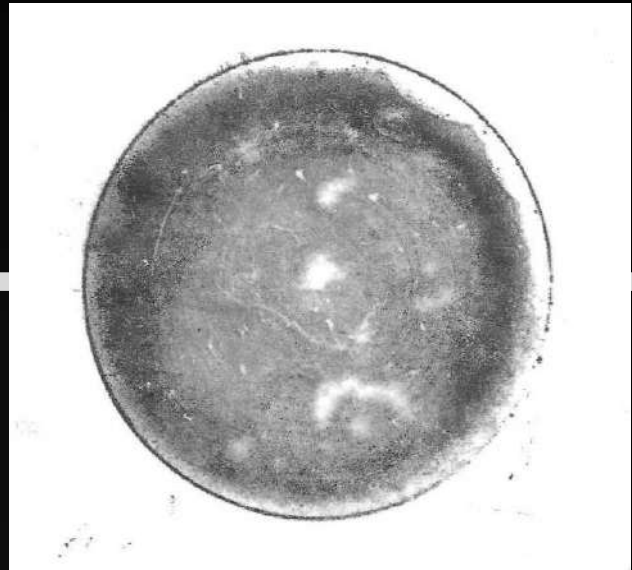
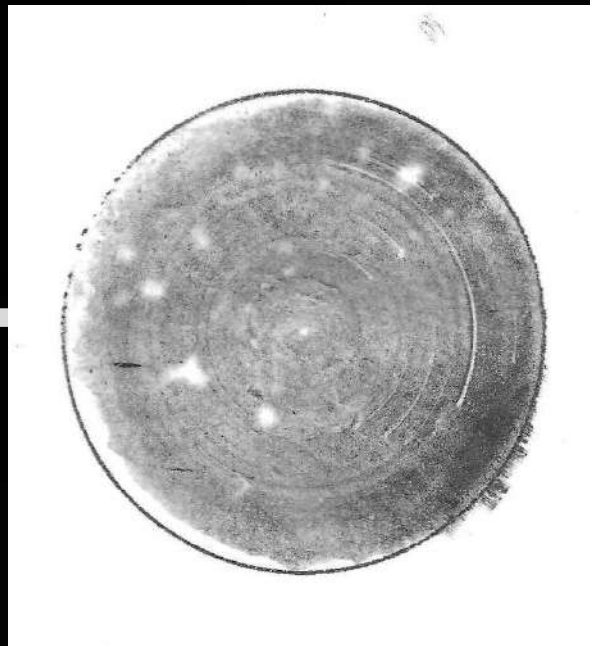




17880

19/1/61







# Segurança de Estruturas Edificações

Concreto → Controle 100%

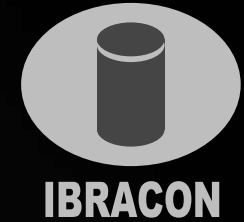
Controle → Manter critério NBR 12655

Laboratório → ???

Execução → fundamental controlar

Projeto → fundamental uniformizar

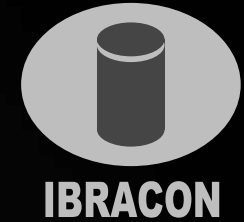
# SEGURANÇA



---

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 :

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

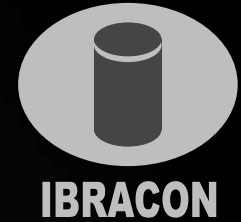
→ o ACI 437:2003 *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings* no item 5.1.1 recomenda:

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

→ 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:

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

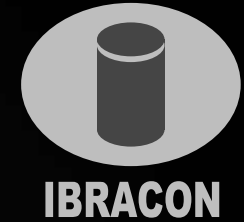
→ a NBR 6118:2003 item 12.4.1, recomenda:

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

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

# Problema

---

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

---

# 1º Passo

---

Aplicar coeficientes de correção devidos a:

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

obtem-se →  $f_{c,ext,j}$

---

## 2º Passo

---

Passar de extraído a moldado:

→ coeficientes de 1,10 a 1,25

obtem-se →

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

---

# 3º Passo

---

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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

---

# 4º Passo

---

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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

---

# 5º Passo

---

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

1. NBR 8953

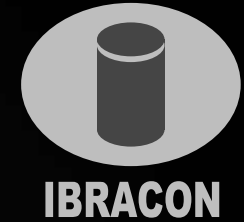
obtem-se  $\rightarrow$

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

---



# Conformidade do Concreto



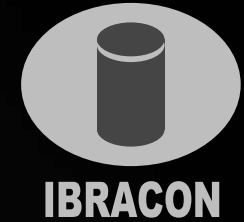
## *Depende:*

- **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



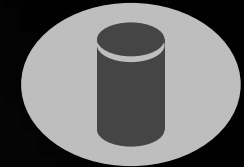
## *Construtor:*

- Pedir slump baixo por preço;
- Pedir  $400\text{kg/m}^3$  cimento e  $f_{ck}=20\text{MPa}$ ;
- Lançar concreto de altura;
- Fôrma não estanque e não estável.

## *Projetista:*

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

# Conformidade do Concreto

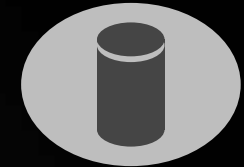


IBRACON

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

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

# Conformidade do Concreto



IBRACON

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

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

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

# “INTERVALO”

---

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

---

# Premissas

## Introdução da Segurança no Projeto Estrutural segundo a NBR6118:2007

1. Para fins de cálculo:

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

# Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural  
segundo a NBR6118:2007

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

$\beta_1 = 1.16 \rightarrow$  crescimento relativo da resistência de  
28dias a 50anos

$\beta_2 = 0,73 \rightarrow$  decréscimo relativo da resistência à  
compressão do concreto devido à carga aplicada  
aos 28dias e mantida até 50anos

# Premissas

---

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



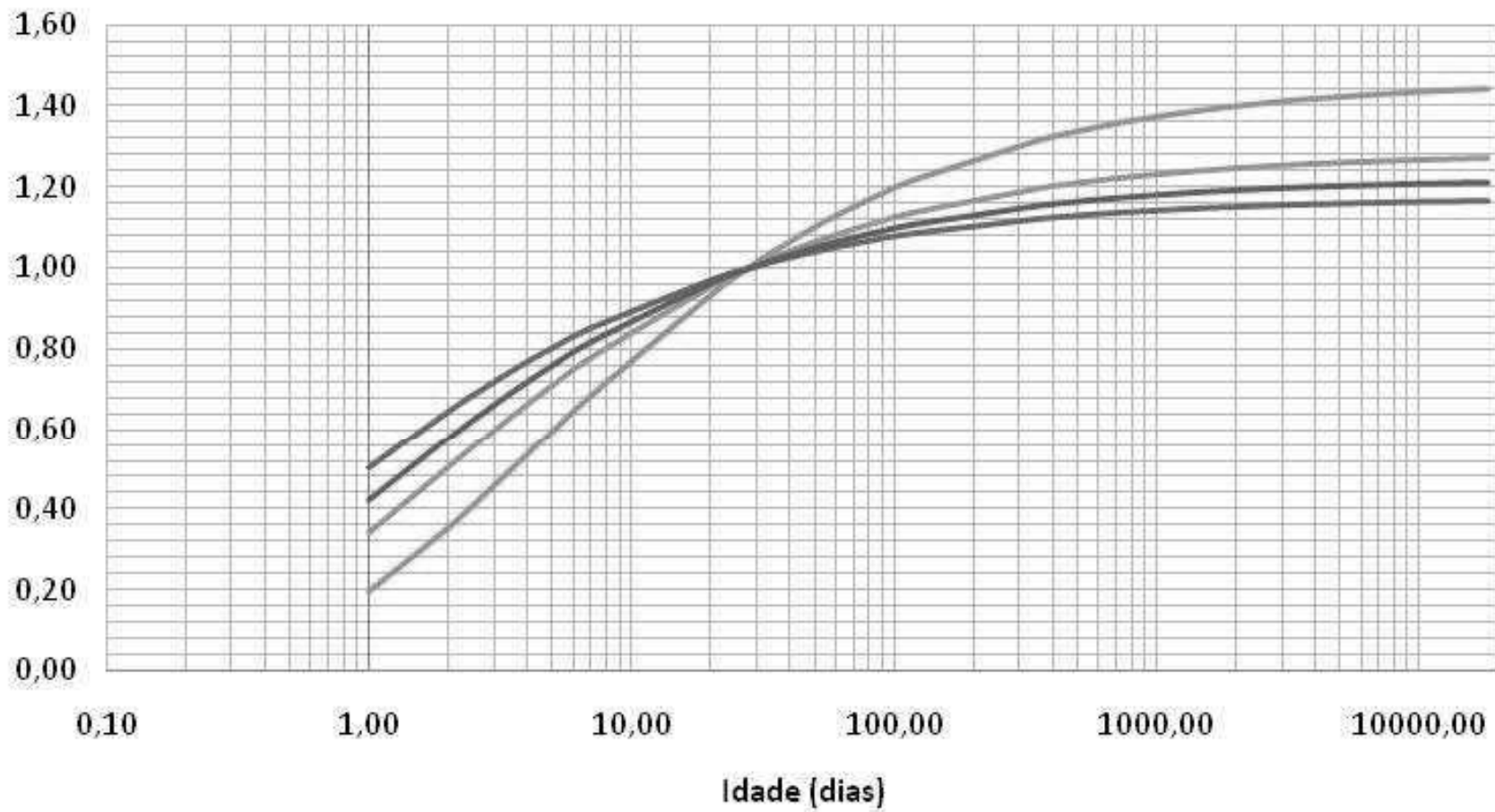
# Crescimento da Resistência

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

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

# Gráfico

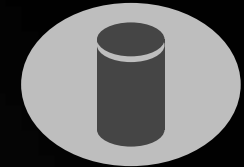
Evolução do crescimento da resistência do concreto sem carregar



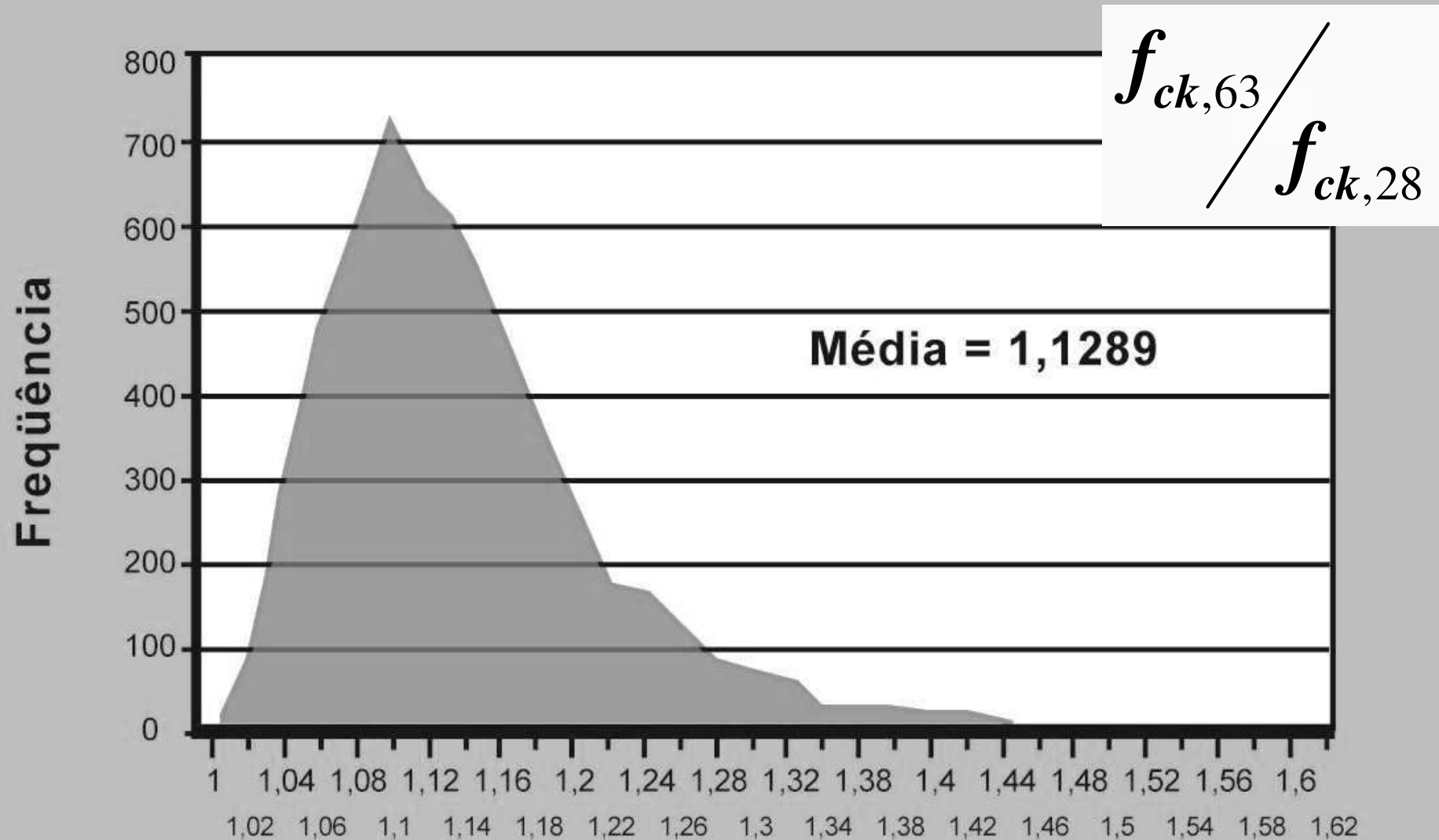


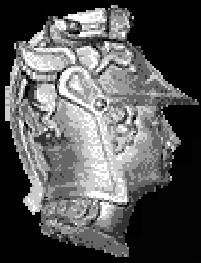
# Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



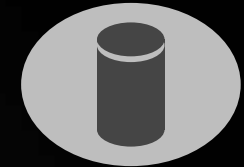
IBRACON





# Análise

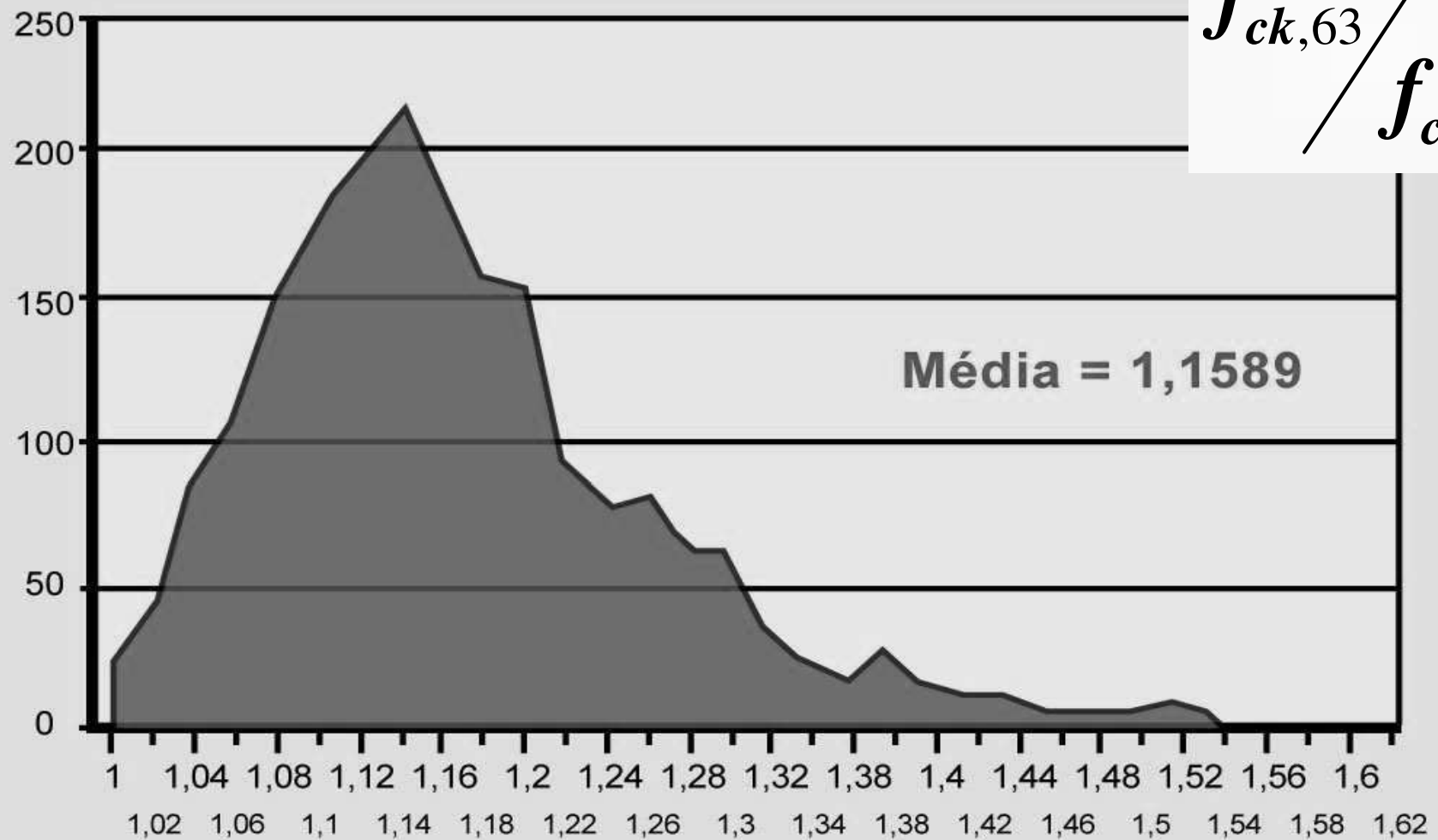
2.046 Registros Analisados, CP III



IBRACON

$$\frac{f_{ck,63}}{f_{ck,28}}$$

Frequência





# Premissas

---

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



# Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

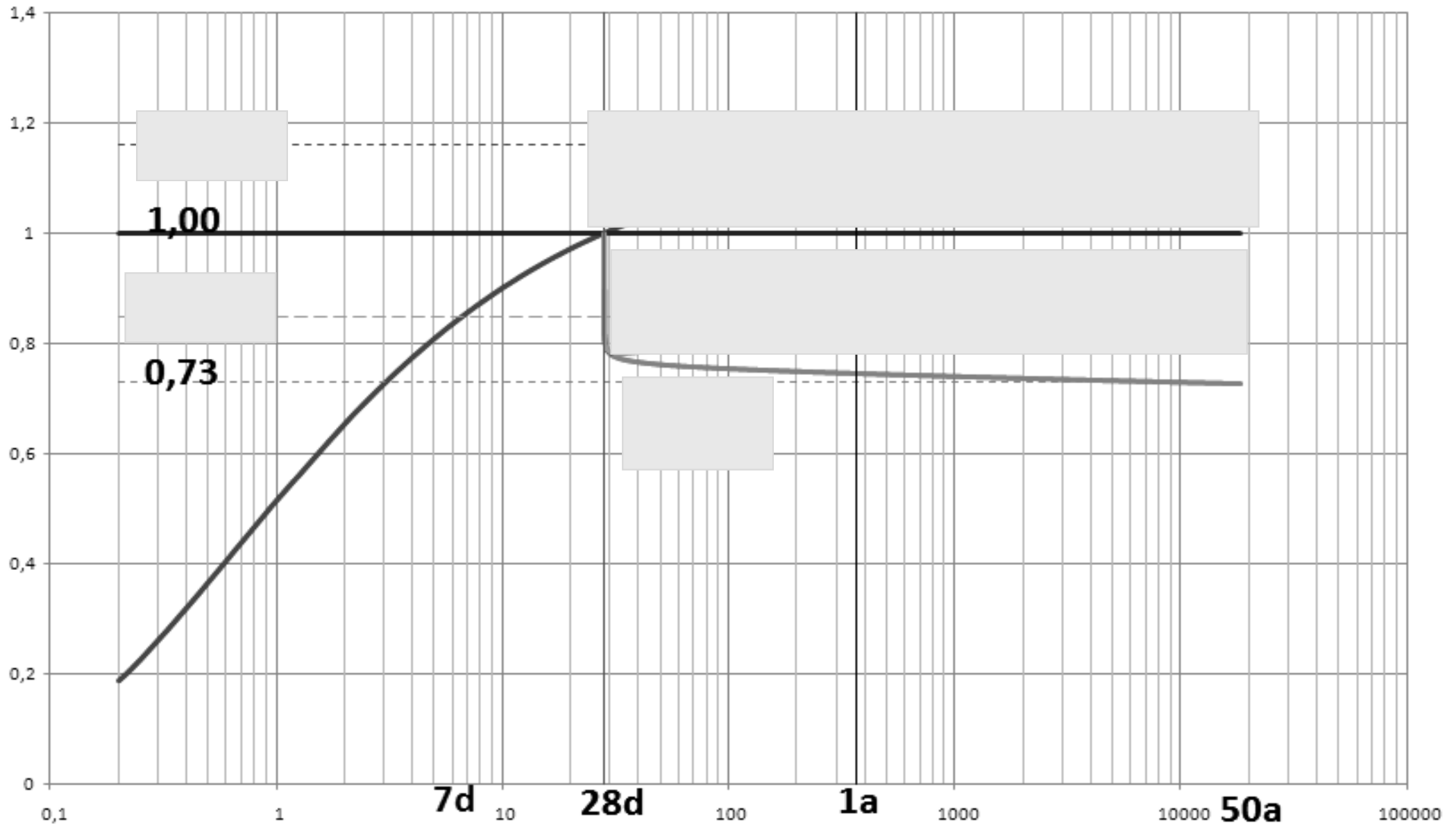
→  $j$  em dias

→  $t_0$  → idade de aplicação das cargas

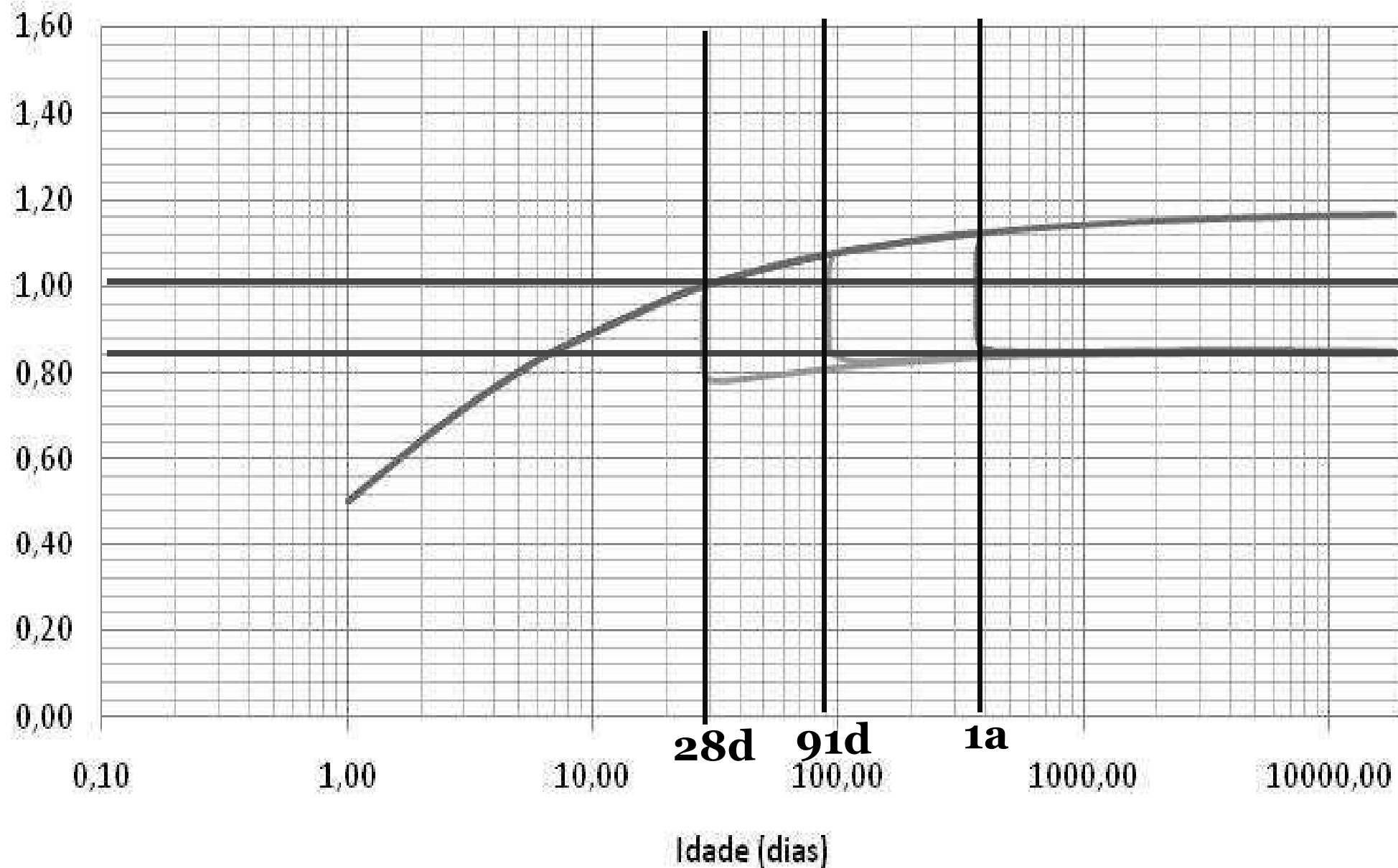
→  $j - t_0 > 15$  minutos



# Decréscimo da Resistência



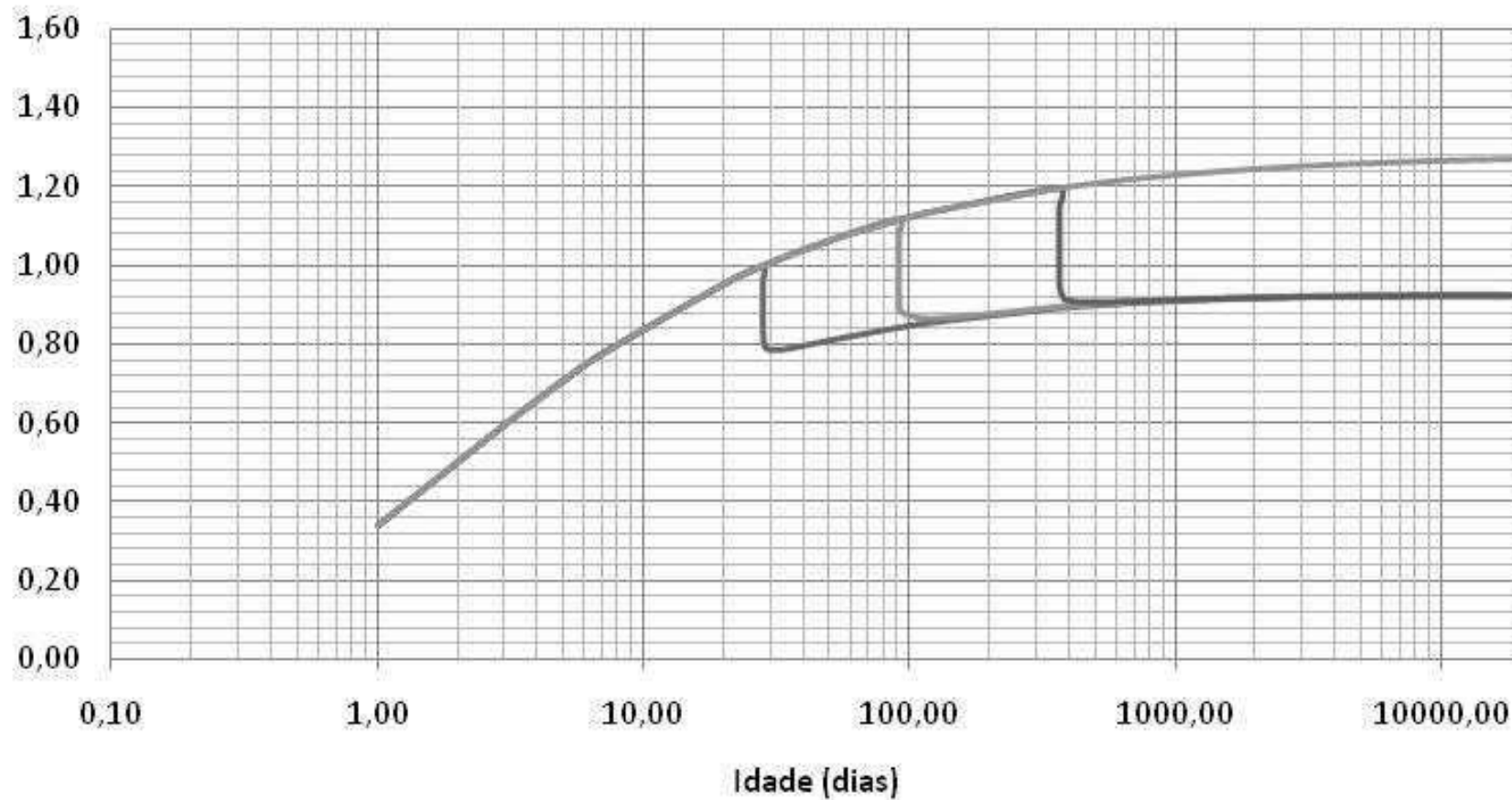
# Evolução do crescimento do concreto 0,16 carregado





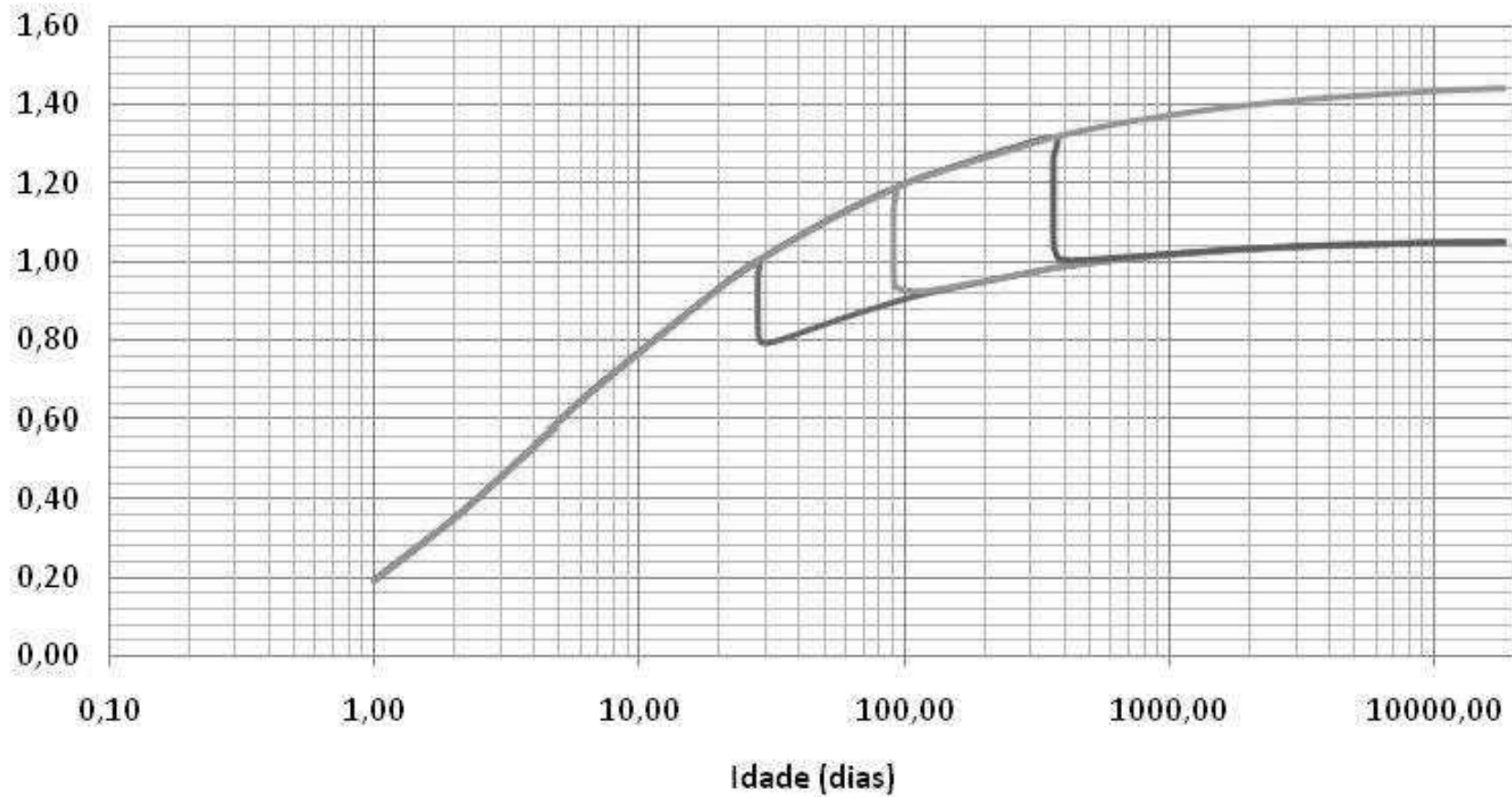
# Gráfico

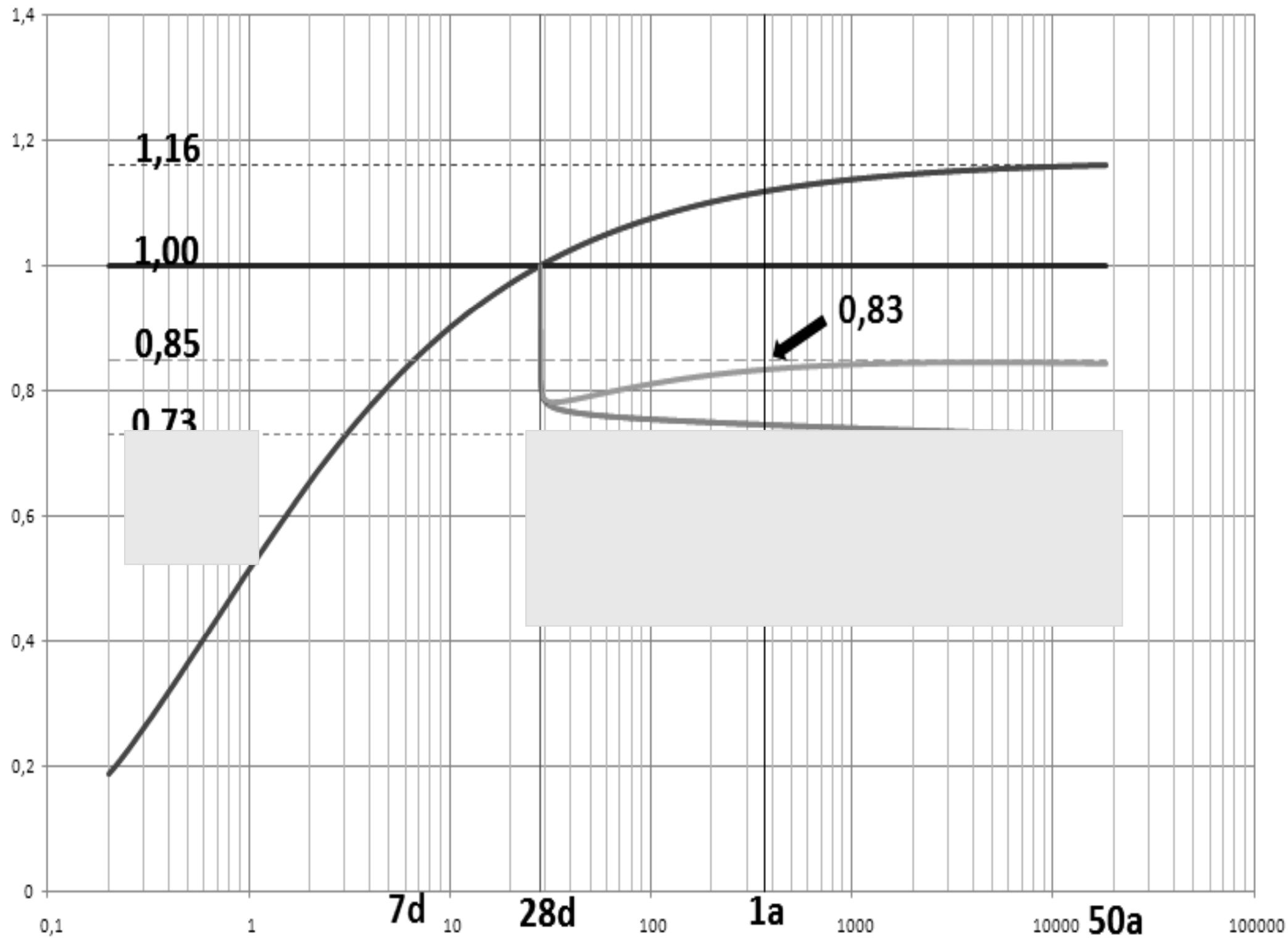
## Evolução do crescimento do concreto 0,25 carregado



# Gráfico

## Evolução do crescimento do concreto 0,38 carregado





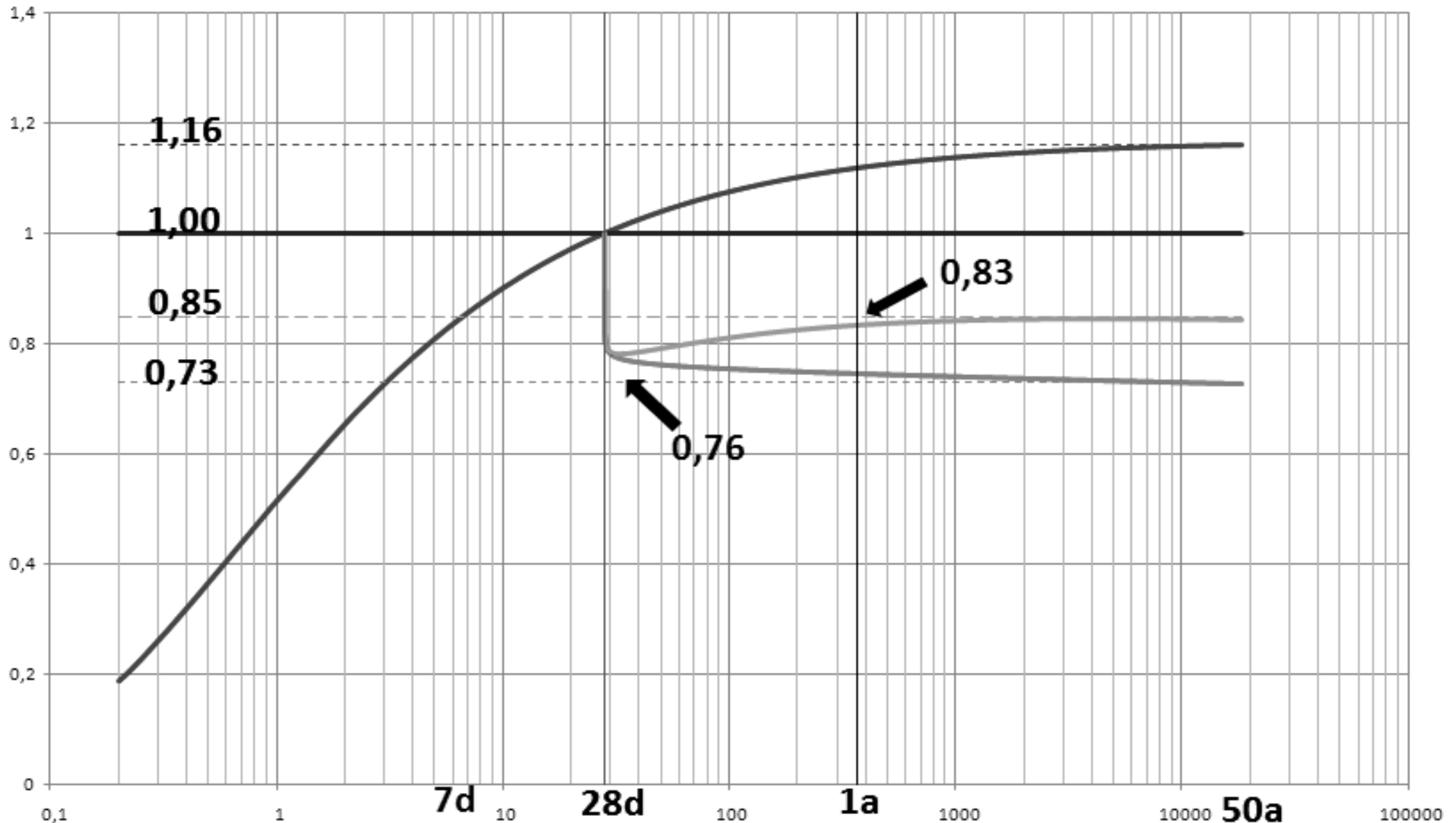
# Premissas

---

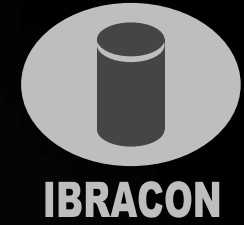
Combinando crescimento  
com decréscimo a partir  
de 28 dias ?



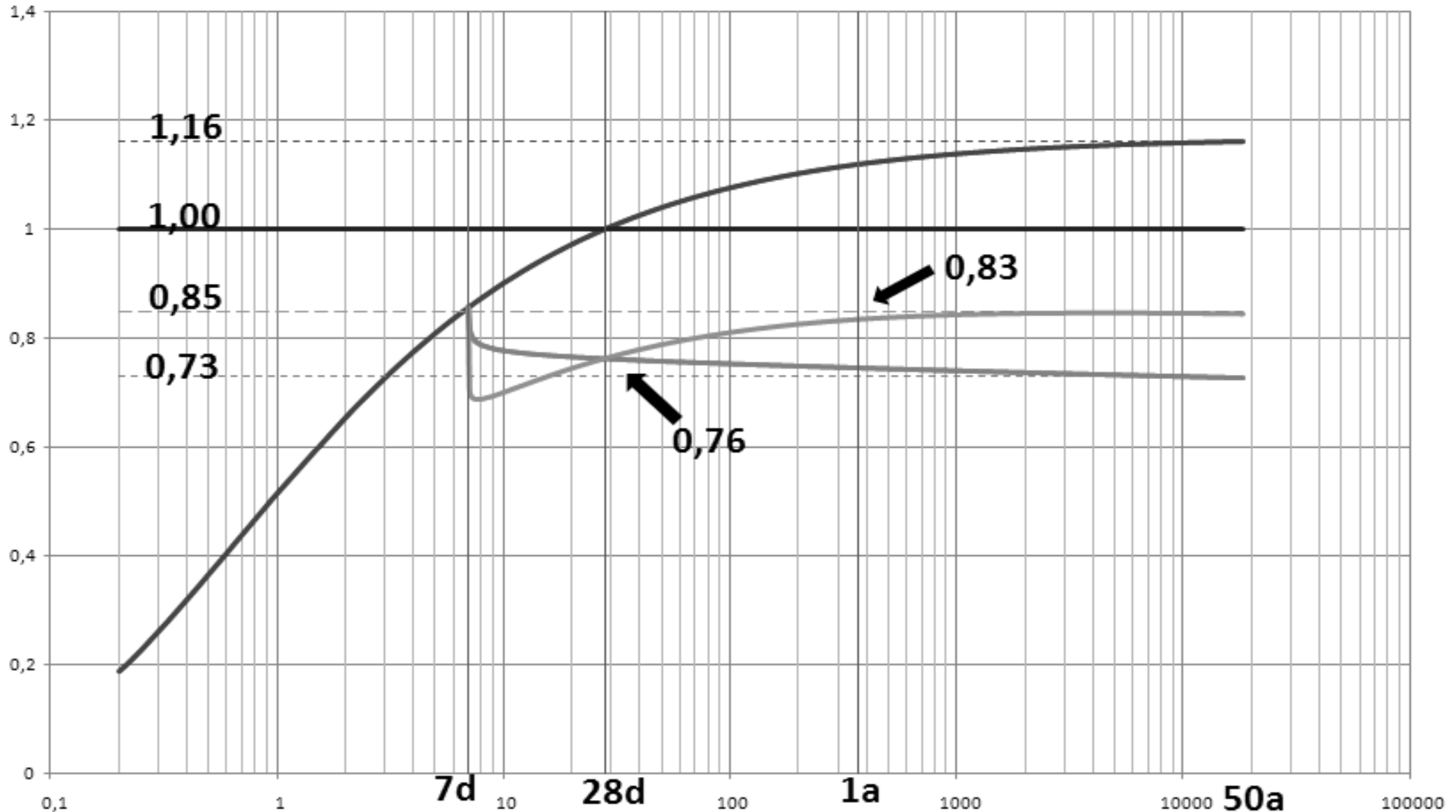
# Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



# Resistência do Concreto “carregado” a 7dias

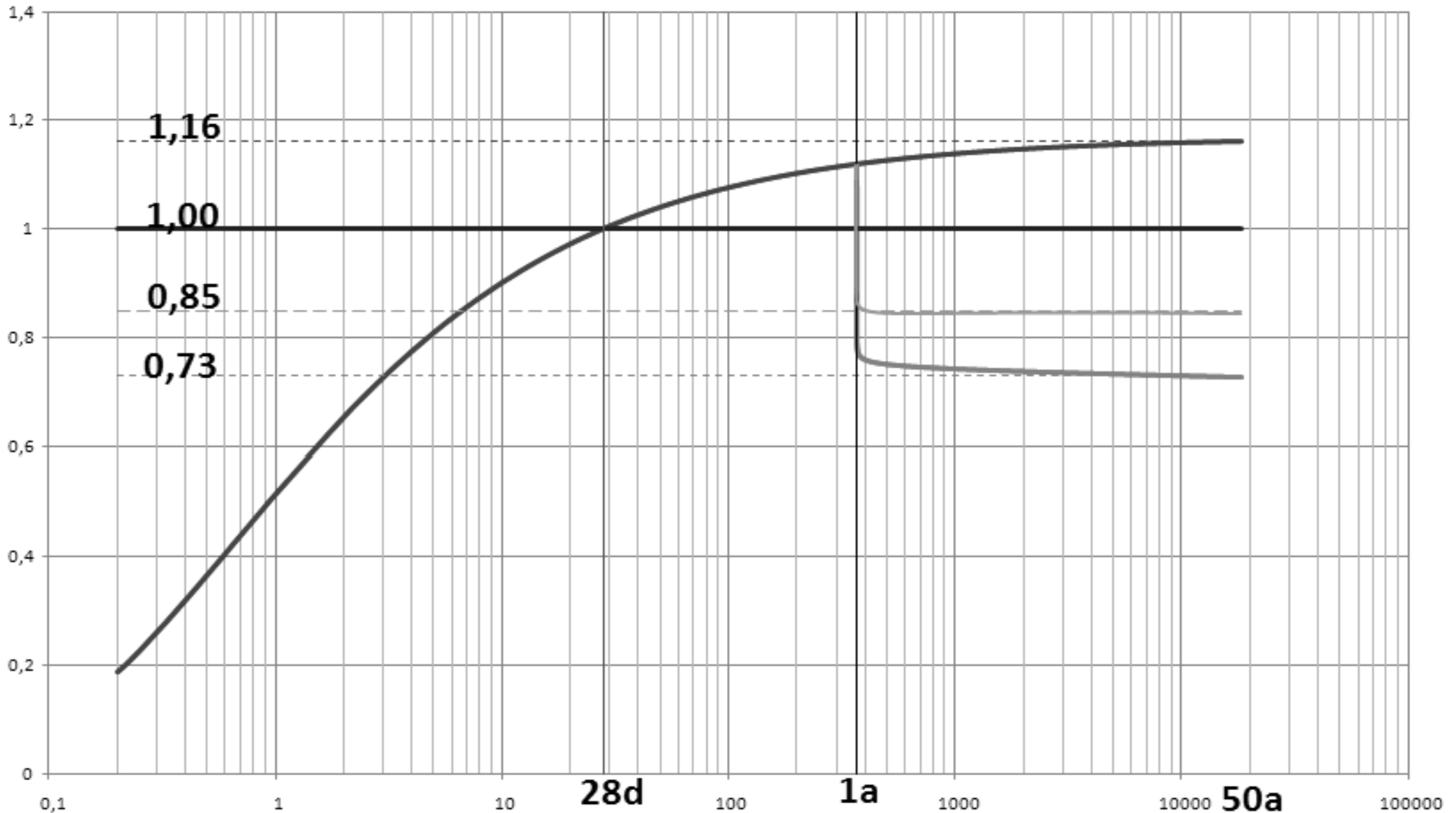


Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado a 7dias de idade

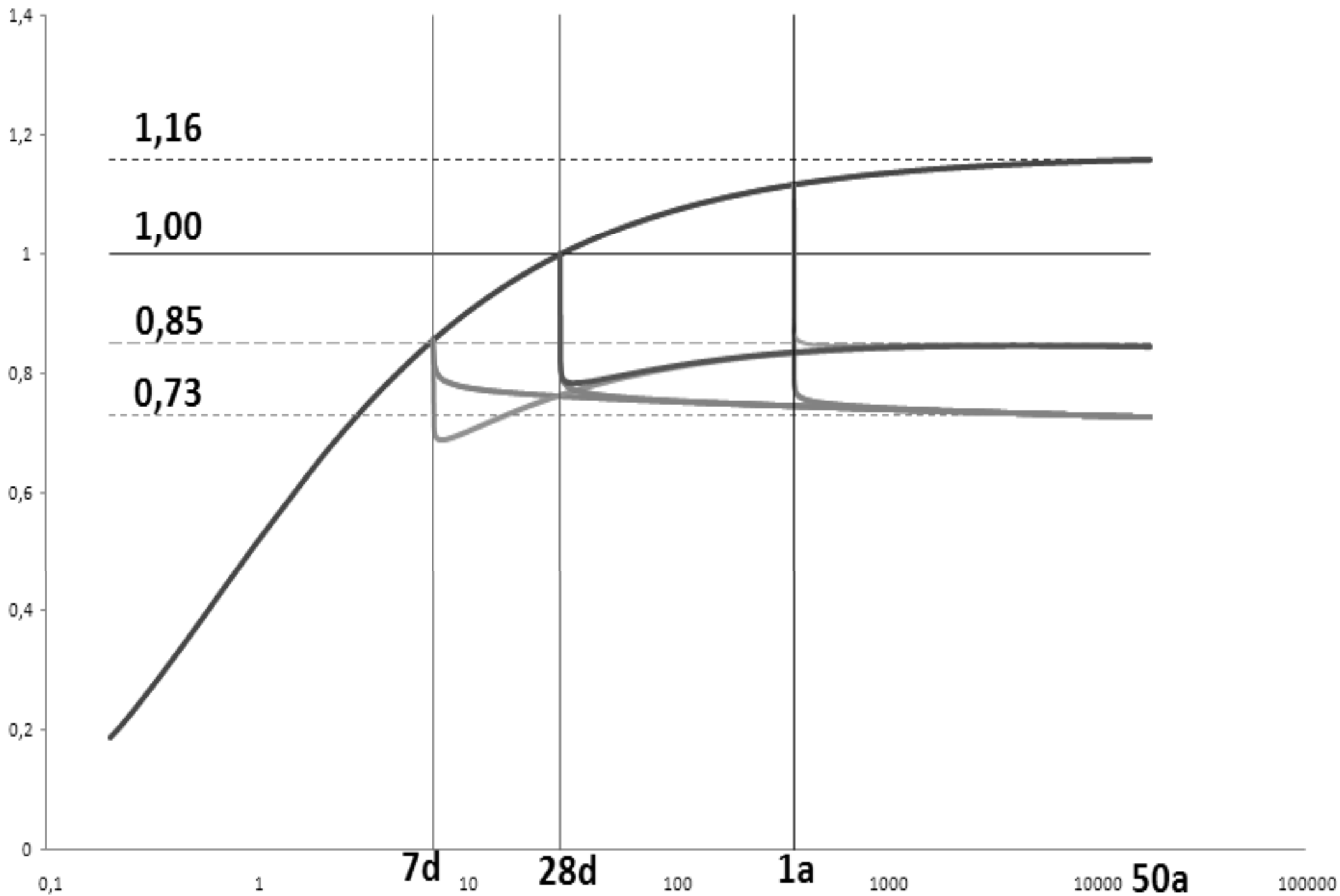


# Resistência do Concreto “carregado” a 1ano

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



**Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado aos 7, 28 dias e 1 ano de idade**





“recordação”

---

{ fechar parenteses }

# 3º Passo

---

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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

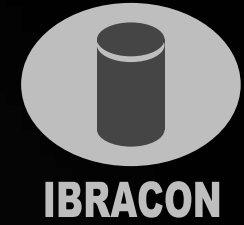
# 3º Passo

---

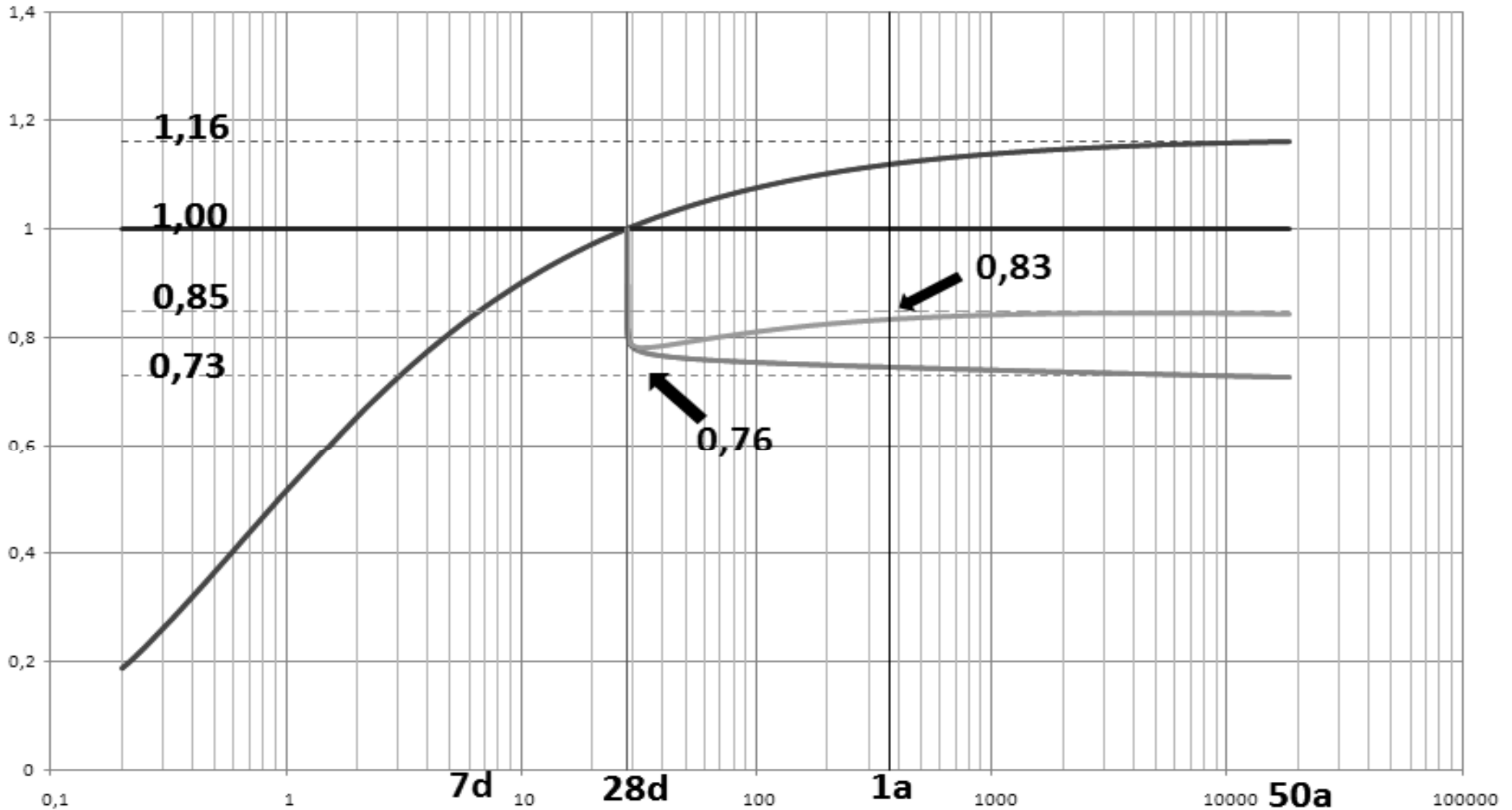
Passar de moldado a  $j$  dias para  $f_{c,28}$ :

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

# Resistência do Concreto “carregado” a 28 dias



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



# 3º Passo

---

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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

# 3º Passo

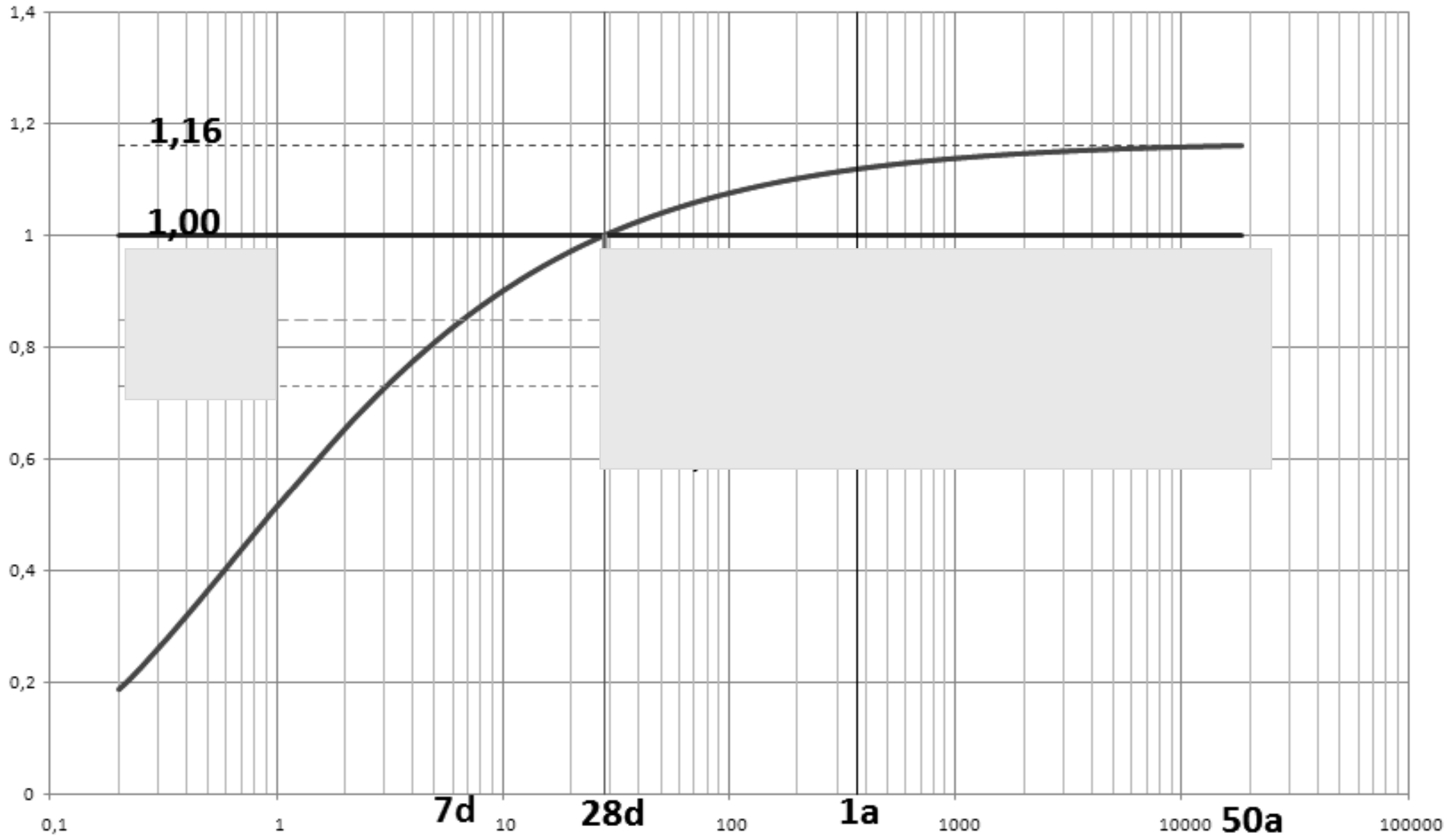
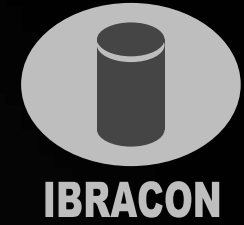
---

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

1. Componente foi carregado a 28 dias;

**2. *Componente será carregado a  $j$  dias***

# Resistência do Concreto



# 3º Passo

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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



# 4º Passo

---

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

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

obtem-se  $\rightarrow$

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

# 5º Passo

---

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

1. NBR 8953

obtem-se →

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



# Dúvidas

---

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

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

será que faz sentido considerar risco de  
relaxação das resistências?



# Dúvidas

---

É razoável considerar que haverá relaxação de resistências somente quando a carga atuante superar 70% de  $f_{ck}$ , ou seja, 50% de  $f_{cd}$ ?



# Dúvidas

---

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



# Exemplo

---

# EDIFICAÇÕES

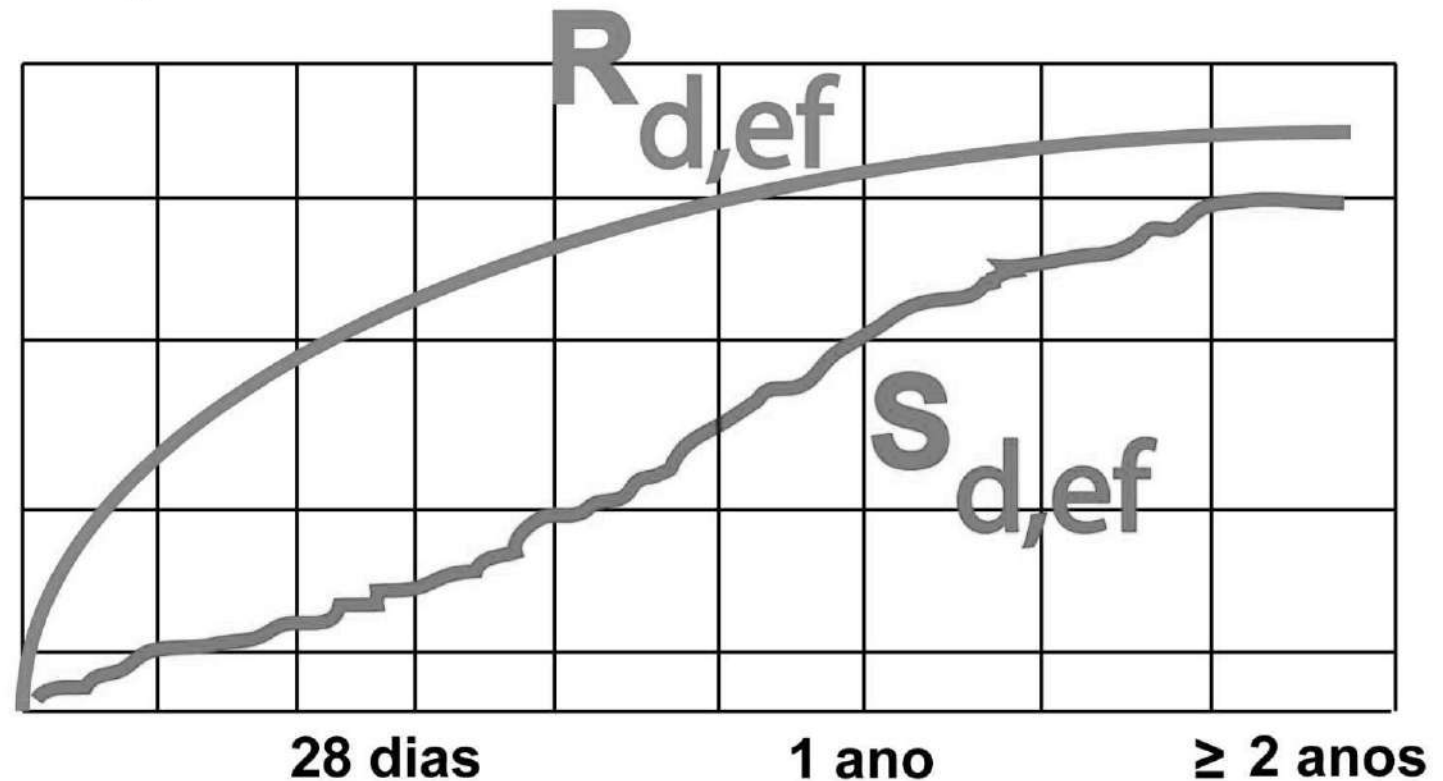
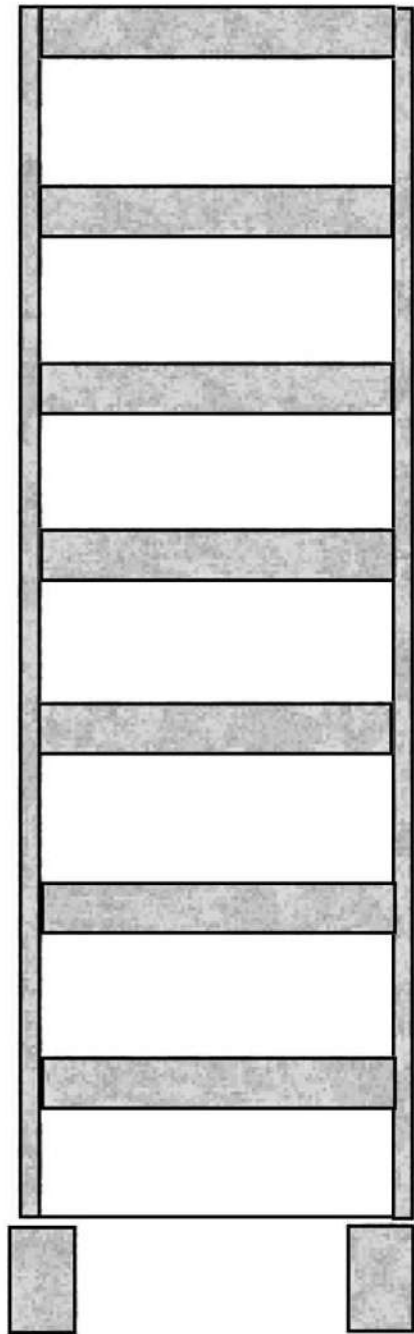


# Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

---

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

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





# 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

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



Brasserie

Café

Le Clou de Paris



PARIS 39.48.97.33

Place de Paris

**Obrigado!**

