



## Avaliação da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Presidente de Honor ALCONPAT*

*Prof. Titular Universidade de São Paulo USP*

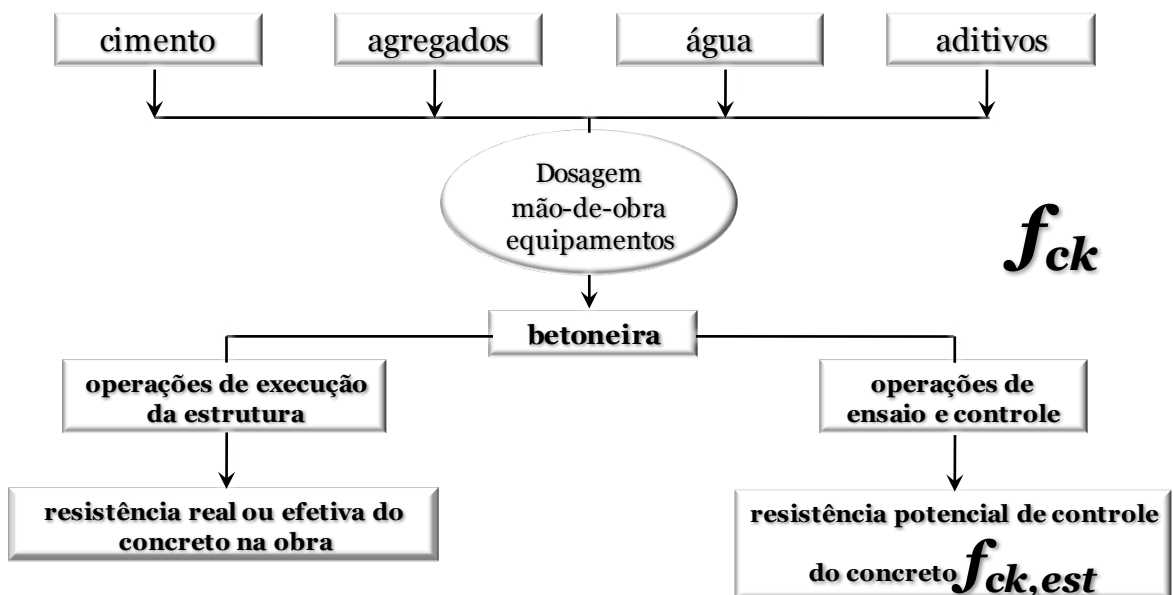
*Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures*

*Diretor e Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

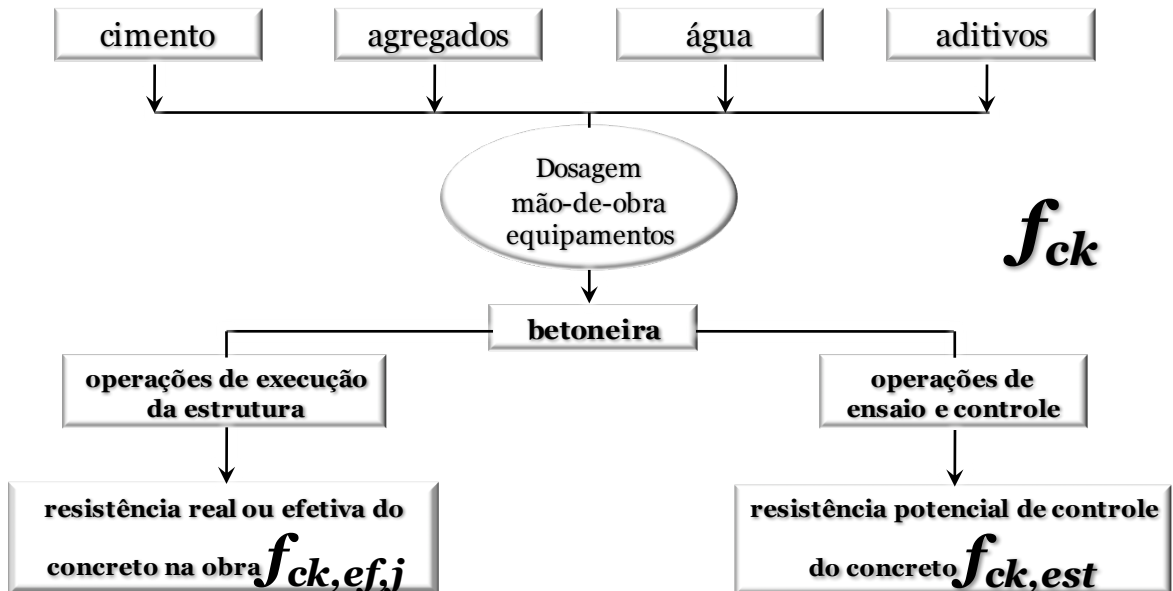
Agosto de 2014

São Paulo

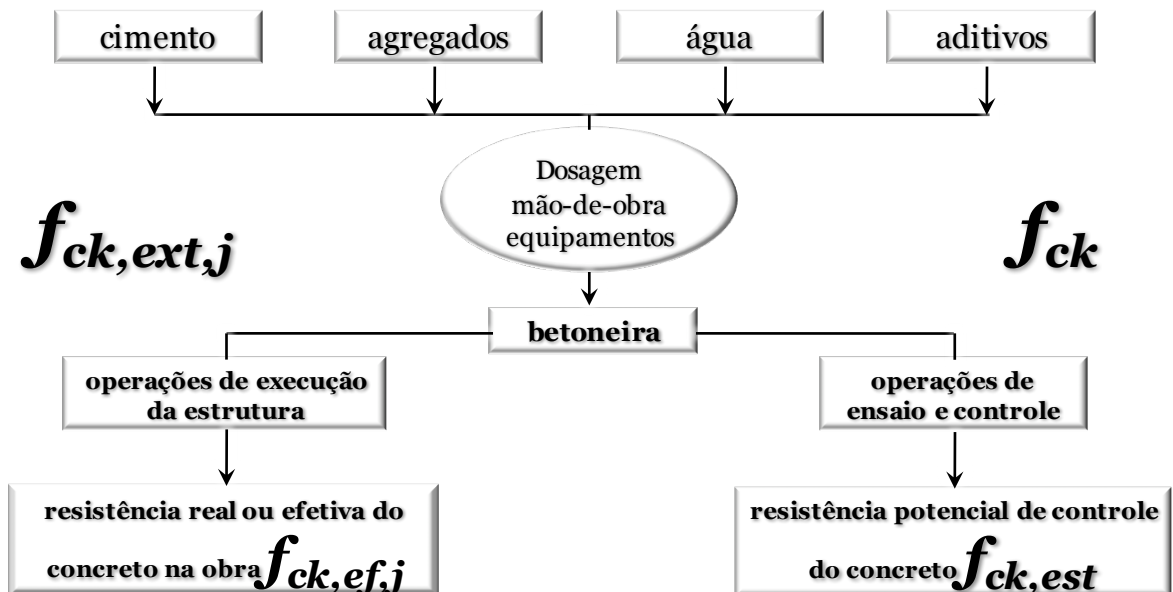
## resistência do concreto



# resistência do concreto



# resistência do concreto



# Preliminares

**Conceitos:**

**→ do que estamos falando?**

# Preliminares

**resultados de controle que podem gerar dúvidas, ou seja, resultados de  $f_{ck,est}$  entre  $0,60 * f_{ck}$  a  $0,95 * f_{ck}$  e, principalmente quando há divergência entre *Concreteira e Laboratório***

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>









# Preliminares

## Conceitos:

→ qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?

# Preliminares

**encontrar um  $f_{ck}$  que viabilize revisar a segurança, ou seja, verificar a segurança conforme as convenções universais de projeto estrutural de ECAs.**

***$f_{ck}$ ?  $f_{cd}$ ?  $\sigma_{cd}$ ? a 28dias  $\rightarrow$  a partir de  $f_{c,ext,j}$ ?***

# Preliminares

**encontrar aquele  $f_{ck}$  padrão convencional, normalizado, muito bem definido.**

**A NBR 7680, hoje, fornece apenas o  $f_{c,ext,j}$  e, portanto ainda não serve para calcular, revisar, verificar a segurança**



# resistência do concreto

## PROJETISTA ESTRUTURAL

$f_{ck}$   
28d



referencial

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4$$

# testemunhos extraídos

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

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

diferenciar  $f_{ck}$  do concreto entregue  
de "segurança" do pilar

<sup>i</sup>  
diferenciar aquilo que "sei" daquilo  
que "não sei" (*e portanto considero bom*)

diferenciar concreto na betoneira  
(produção/referencial) de concreto  
na obra (execução/efetivo)

## testemunhos extraídos

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

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
<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>

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

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{ck} = 20\text{MPa} \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 14,2\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 50\text{MPa} \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 35,7\text{MPa}$$

$f_{ck,ef}$

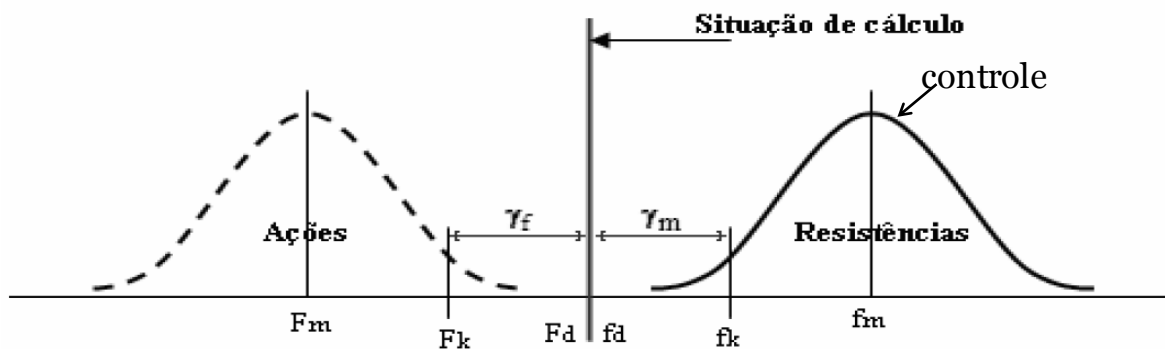
$$f_{ck,ext,j} \approx f_{cd} = f_{ck,ef} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

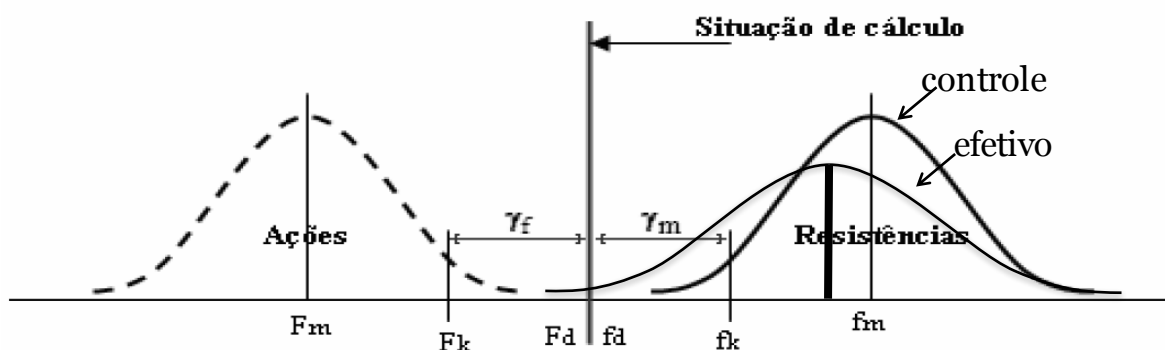
$$f_{ck} = 20\text{MPa} \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 14,2\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 50\text{MPa} \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 35,7\text{MPa}$$

# Análise Semi-probabilista



# Análise Semi-probabilista



## **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 !***

# 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**

# Normalização 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.*

## **Normalização 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.*

## **Normalização 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-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.*

***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  $\gamma_{c,red1} = 1,4$ .

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  $\eta = 0,85$ , ou seja, **augmentar de 18% (1/0,85)**

*Resumindo:*

✓ *estrutura bem executada para 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:*

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

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2011. 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  $f'_c = 1,18 \cdot f_{core,av}$  ou  $f'_c = 1,33 \cdot f_{core,min}$ )

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-11 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2011. 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-11 Building Code Requirements for  
Structural Concrete. 2011. 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.