



65°  
CONGRESSO BRASILEIRO DO  
**CONCRETO**  
22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

# O Estado da Arte em Normalização de Concreto

*O que você precisa saber*

## Por que projetar com $f_{ck}$ a 63 dias. EN 1992-1-1. MC 2020

Paulo Helene  
Rafael Silva  
Ricardo Boni  
*PhD Engenharia*

23.10.2024



1



IBRACON

EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM

ICS 91.010.30; 91.080.40

BS EN 1992-1-1:2023  
**EN 1992-1-1**  
November 2023

Supersedes EN 1992-1-1:2004, EN 1992-2:2005, EN 1992-3:2006

English Version

**Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1:  
General rules and rules for buildings, bridges and civil  
engineering structures**

Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-1  
: Règles générales - Règles pour les bâtiments, les ponts  
et les ouvrages de génie civil

Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von  
Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1:  
Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten,  
Brücken und Ingenieurbauwerke

This European Standard was approved by CEN on 23 July 2023.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye and United Kingdom.




EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

© 2023 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 1992-1-1:2023 E

2



EUROPEAN STANDARD **EN 1992-1-1** BS EN 1992-1-1:2023

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

November 2023

ICS 91.010.30; 91.080.40 Supersedes EN 1992-1-1:2004, EN 1992-2:2005, EN 1992-3:2006

English Version

**Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1:  
General rules and rules for buildings, bridges and civil  
engineering structures**


Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1  
: Règles générales - Règles pour les bâtiments, les ponts  
et les ouvrages de génie civil Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von  
Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1:  
Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten,  
Brücken und Ingenieurbauwerke


This European Standard was approved by CEN on 23 July 2023.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye and United Kingdom.







EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHE KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

© 2023 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved  
worldwide for CEN national Members. Ref. No. EN 1992-1-1:2023 E

3

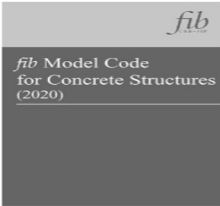




FEDERATION NATIONAL GROUPS MEMBERSHIP COMMISSIONS PUBLICATIONS MEDIA

## fib Model Code for Concrete Structures (2020)

**N°2020** fib Model Code for Concrete Structures (2020).  
**Non-member price CHF 260. Please be aware that shipping may take 3-4 weeks, depending on your location.**



**Price**  
**CHF 260.00**

+  
-

Add to Cart

Discounts for fib members

Become a member

**Description**

**Title:** fib Model Code for Concrete Structures (2020).

**Model Code**

**Year:** 2024


**Version:** 1.2

**Pages:** 780

Format approx. DIN A4 (210x297 mm)

**ISBN: 978-2-88394-175-5**

**Abstract:**



4

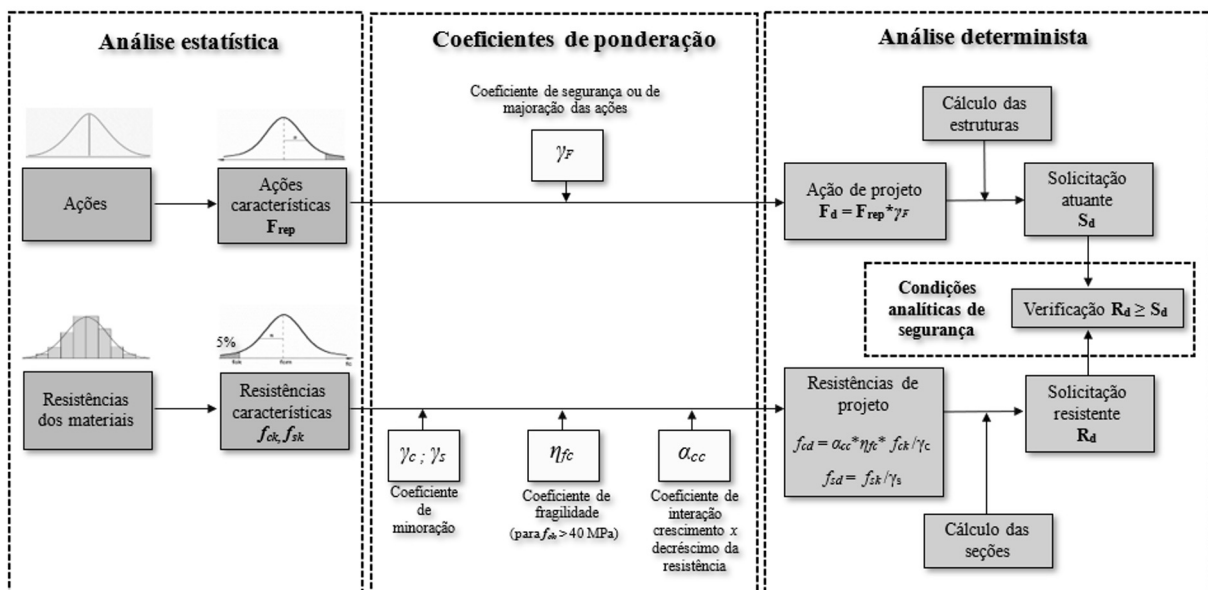
**...como os engenheiros projetam estruturas, edifícios, pontes, para ficarem de pé, frente às forças da natureza: gravidade, ventos, vibrações, furacões, sismos???**

obs: esta apresentação está protegida pelas leis nacionais e internacionais de direitos autorais e de imagem. É proibida a gravação, reprodução, distribuição, prints e fotografia da tela de apresentação, sem permissão do autor.

5

## Ações e segurança nas estruturas

Método semi probabilista – Partial factor format – fib Model Code 2020



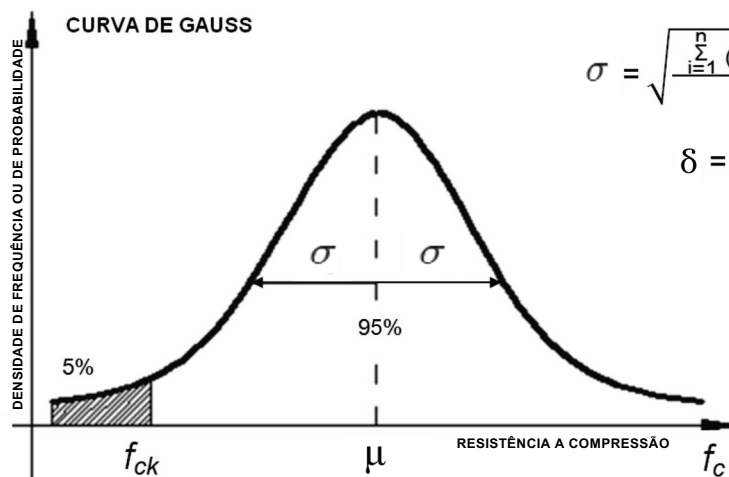
6

# o que é a resistência característica do concreto à compressão, $f_{ck}$ ?



7

**parâmetros da população**  
(amostragem total a 100%)



$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - f_{ci})^2}{n}} \quad (\text{MPa})$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad (\%)$$

8

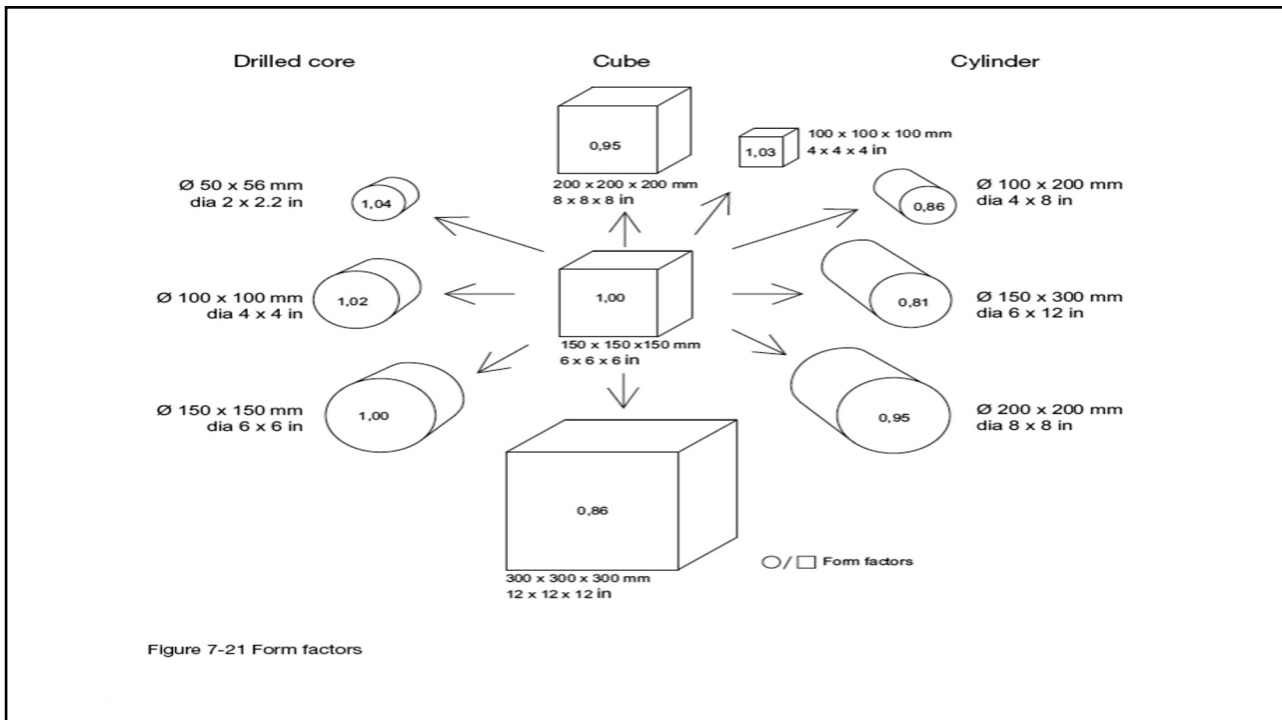


**qual é o referencial, para  
aceitação, de resistência à  
compressão do concreto,  
 $f_{ck}$   
no Brasil ?**

9



10



11

referencial BRASIL  
de resistência à compressão do concreto,  $f_{ck}$

- ✓ o cilindro 15cm  $\phi$  \* 30cm
- ✓ o cilindro 10cm  $\phi$  \* 20cm
- ✓ planejado (lotes) de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ amostrado de acordo com a ABNT NM 33
- ✓ moldado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ transportado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ curado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ capeado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ ensaiado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ resultado analisado de acordo com a ABNT NBR 12655

referido a uma certa idade

12

referencial BRASIL  
de resistência à compressão do concreto,  $f_{ck}$

✓ condições ideais

2655

✓ resistência potencial

R

referido a uma certa idade

13

$f_{ck}$  é a resistência do concreto na estrutura?




Não !

$f_{ck}$  é a resistência potencial do concreto na  
boca da betoneira !

14

**$f_{ck}$   
é a resistência do  
concreto na  
fundação, pilares,  
vigas e lajes da  
estrutura?**



**Não !  
 $f_{ck}$  é a resistência  
potencial do  
concreto daquela  
amassada medida  
em corpos de  
prova moldados,  
sazonados e  
ensaiados em  
condições ideais !**

15

**$f_{ck}$   
é a resistência do concreto de partida que o projetista estrutural usa  
para verificar a segurança?**



**Sim !  
 $f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão utilizada  
como valor de entrada nos programas de verificação da segurança  
numa análise ou processo usual, padrão !**

16

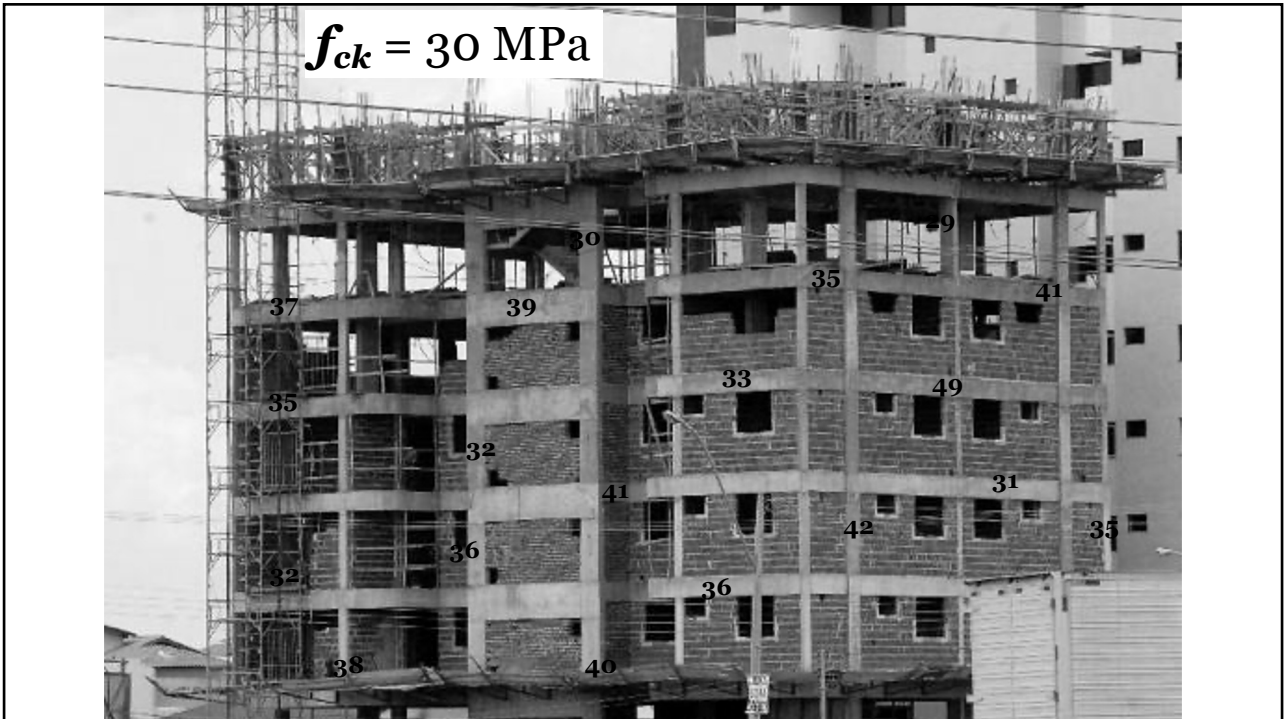
**... e esse é o grande problema porque alguns engenheiros e projetistas consideram que  $f_{ck}$  é a resistência do concreto lá na estrutura !..**

17

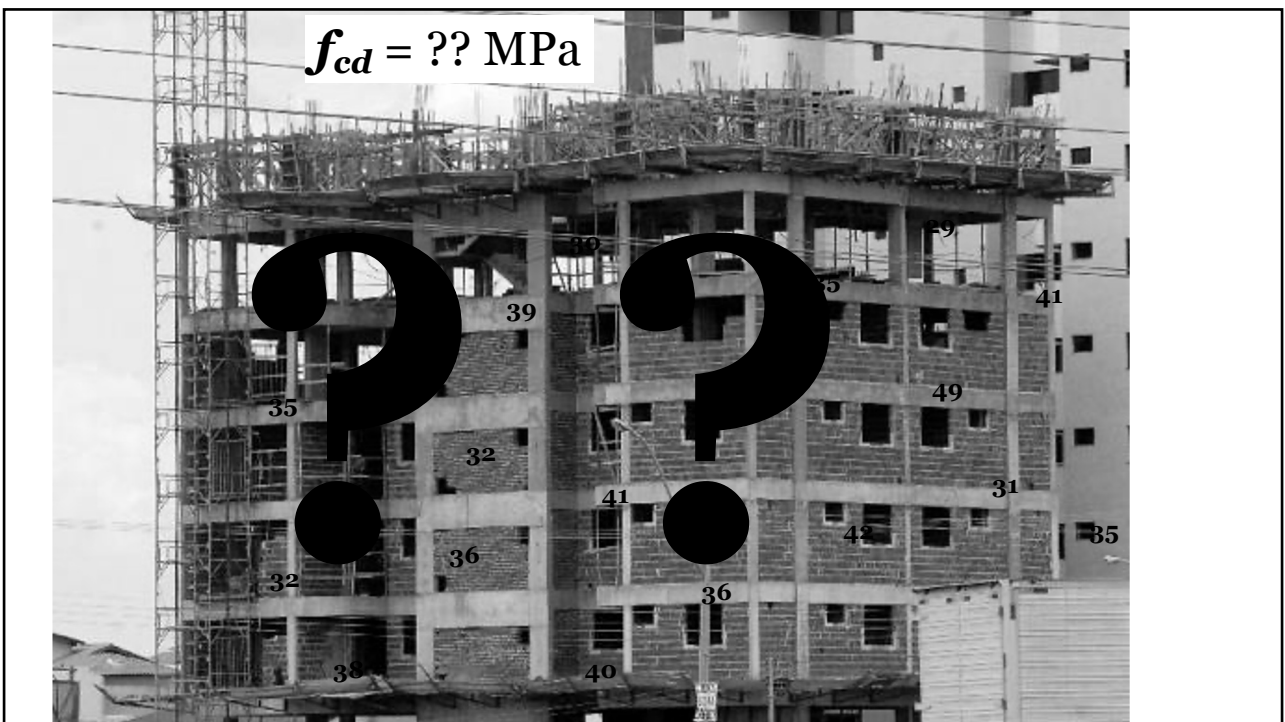
**... então qual é a resistência “mínima” à compressão do concreto lá na estrutura que um engenheiro civil pode considerar como disponível para fins de projeto e construção, com segurança, durante sua VUP?**

$$f_{cd}$$

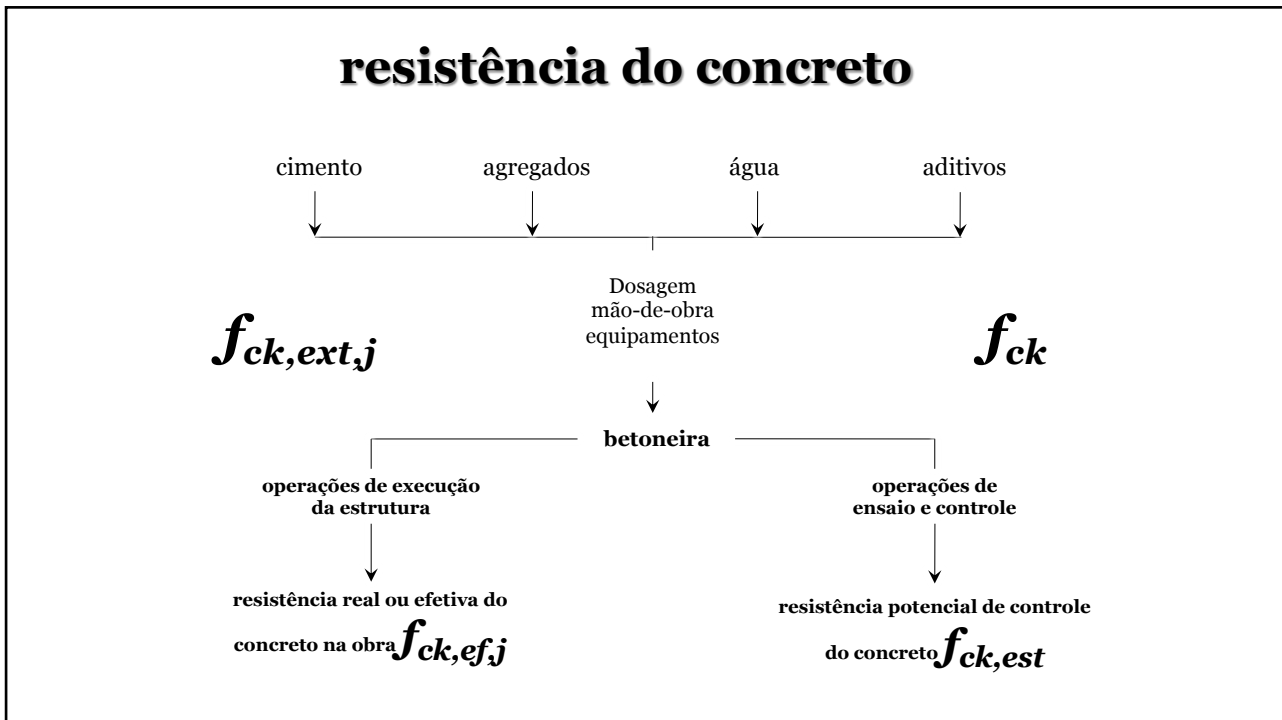
18



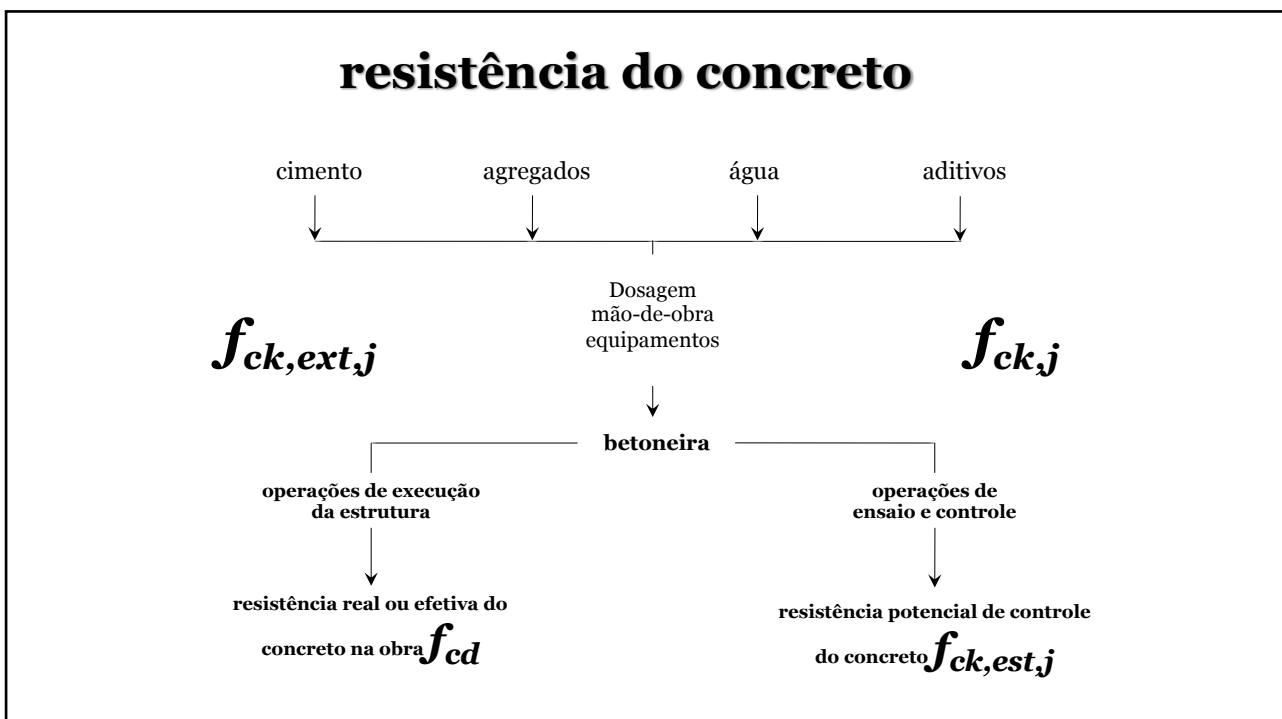
19



20



21



22

## Ações e Segurança MC 2020 & EN 1992-1-1

$\alpha_{cc} = 0,85 \text{ a } 1,00$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\eta_{fc} = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{1/3} \leq 1,0 \text{ MPa}$$

para  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 * 1 * \frac{30}{1,5}$$

$f_{ck,ef} \text{ (estrutura)} \approx 17 \text{ MPa}$

para  $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 * \left(\frac{40}{50}\right)^{0,33} * \frac{50}{1,5}$$

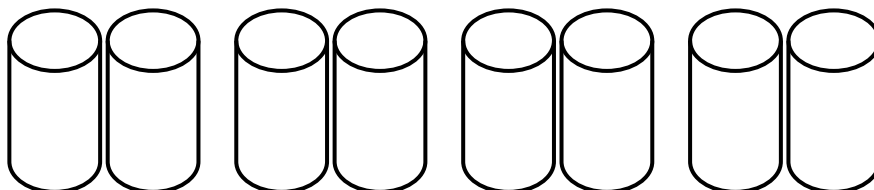
$f_{ck,ef} \text{ (estrutura)} \approx 26,3 \text{ MPa}$

23

**...como obter a maior resistência a compressão,  
 $f_c$  a uma certa idade?**

Concreto de um traço bem misturado:

***pode moldar, curar e tratar como quiser !***



**Grupo A**

**Grupo B**

**Grupo C**

**Grupo D**

24

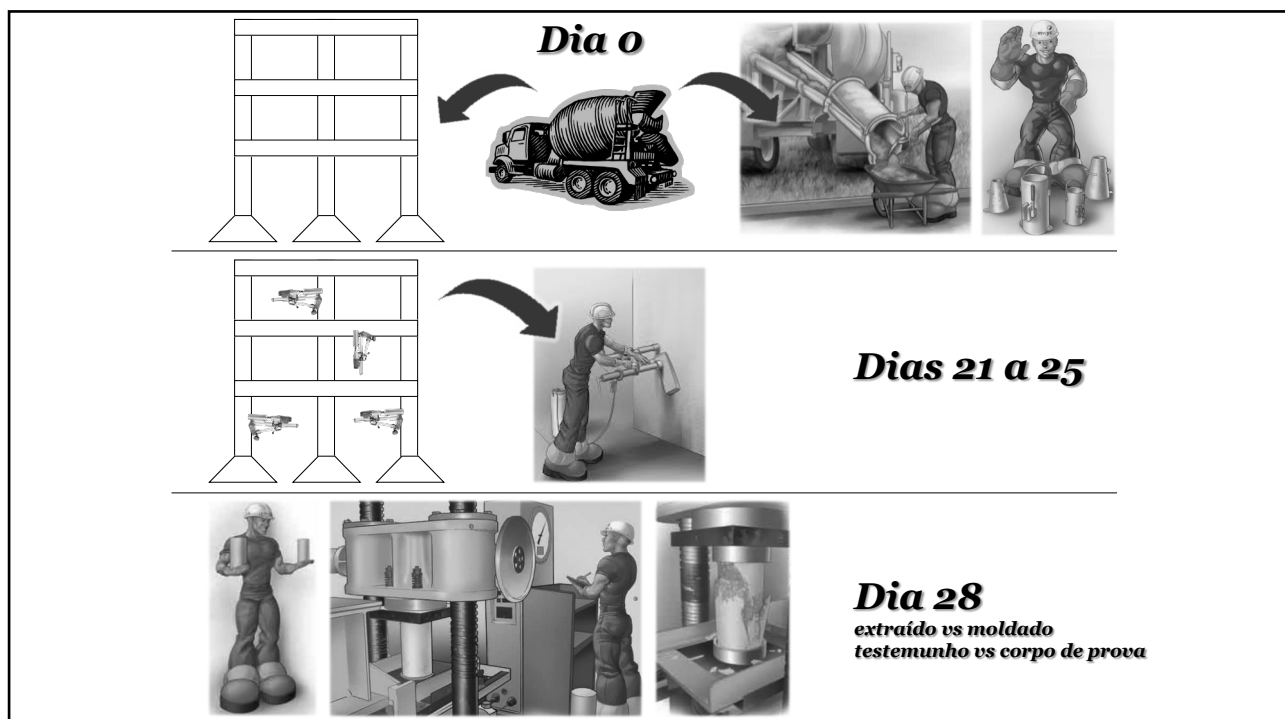


## TESE de DOUTORADO

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**

25



26

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

27

Edificações  
NBR 6118

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

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

$$f_{cd} \cong 0,61 * f_{ck}$$

estaca hélice  
NBR 6122

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

$$f_{cd} = 0,85 * \frac{f_{ck}}{2,7}$$

$$\therefore f_{cd} \cong 0,30 * f_{ck}$$

28

**ABNT NBR 7680:2015  $f_{ck,ext,j}$**

**ABNT NBR 6118:2023  $f_{ck,j}$**

**ABNT NBR 12655:2022  $f_{ck,est,j}$**

**referencial de segurança  
 $f_{ck}$**

29

## **conclusão**

parte importante do coeficiente de minoração  $\gamma_c$  (1,5) para MC 2020 e EN 1992-1-1, é para passar da resistência “potencial” do concreto no corpo de prova padronizado para uma resistência mínima que, com certa confiabilidade, pode-se dispor durante toda a VUP da estrutura construída (resistência real ou efetiva)

30

**...quais as diferenças principais entre o corpo de prova padronizado de referência e a obra?...**

- ✓ geometria é cilindro
- ✓ moldado, curado, compactado
- ✓ protegido da agressividade
- ✓ temperatura, umidade relativa
  - ✓ sem carga
- ✓ carga monotônica crescente
  - ✓ carga rápida
- ✓ idade prematura definida

- ✓ geometria qualquer
- ✓ mão de obra e equipamentos
- ✓ sob a agressividade ambiental
  - ✓ à intempérie
  - ✓ sob carga
- ✓ carga cíclica variável
- ✓ carga de longa duração
  - ✓ 50 anos ou mais

31

**...então o  $\gamma_c$  em *fib Model Code 2020* está para cobrir:**

- \* diferenças na moldagem e compactação entre os corpos de prova e obra;
- \* diferenças de cura, temperatura e UR entre cps e obra;
- \* diferenças entre a geometria do cp e a geometria das peças na obra;
- \* variabilidades geométricas das peças;
- \* variabilidade da posição das barras de aço;
- \* variabilidade dos cobrimentos;
- \* simplificação dos modelos de cálculo...

32

## ...mas ainda falta!:

→ passar da idade de ensaio (28, 56, 63 ou 91 dias)  
a uma idade qualquer ao longo de 50 anos ou  
mais!!

a resistência **cresce**  
com a idade devido à hidratação  
do cimento  
 $\beta_{cc}(t)$

33

$$f_{cd} = \beta_{cc}(t) * \frac{f_{ck,j}}{\gamma_c}$$

34

## ...mas também falta!:

→ passar de um ensaio de carga rápida a uma situação de carga de longa duração durante toda a vida VUP

a resistência **decrece**  
com cargas que durem  
mais de 15 minutos

$$\beta_{c,sus(t,t_0)}$$

35

$$f_{cd} = \beta_{c,sus} * \beta_{cc} * \frac{f_{ck,j}}{\gamma_c}$$

36

## **natureza do concreto**

1. a resistência do concreto **cresce** com a idade
2. a resistência do concreto **decrece** com a carga mantida

37

**como cresce a resistência do concreto com o tempo a partir de 28 dias ?**

38

# Crescimento da Resistência fib Model Code 2020

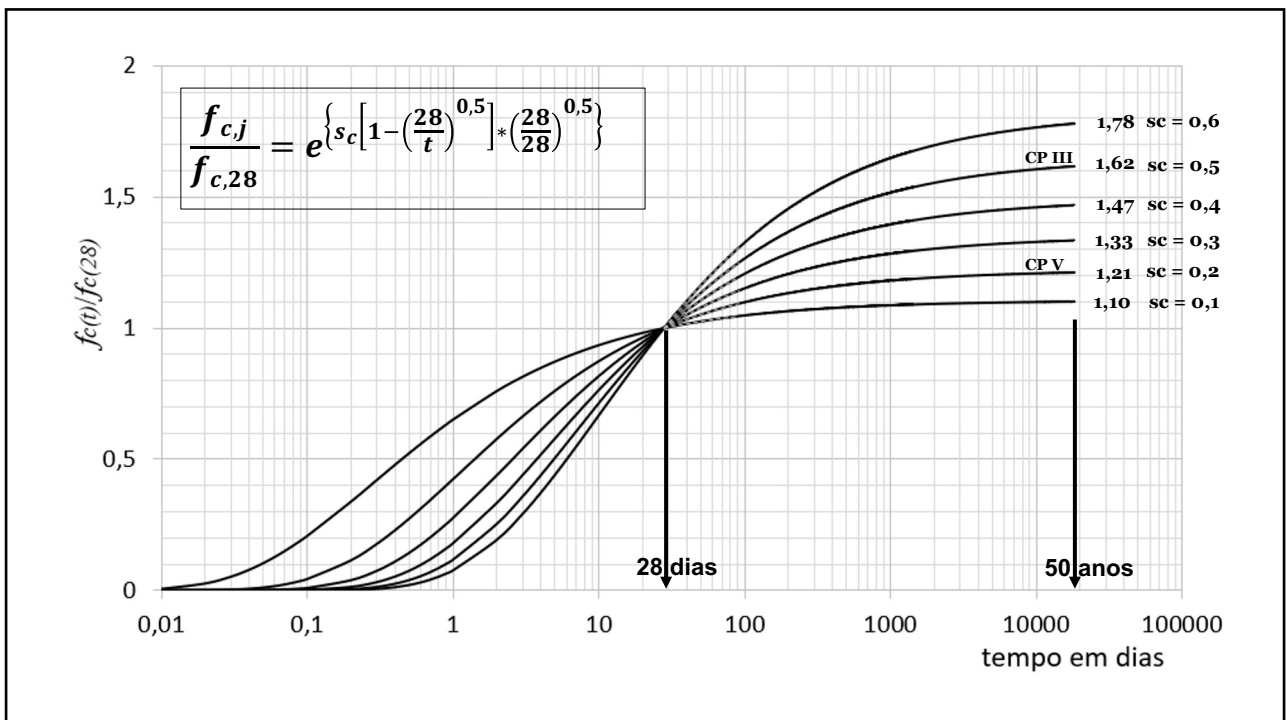
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,ref}} = e^{\left\{ s_c \left[ 1 - \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^{0,5} \right] * \left( \frac{28}{t_{ref}} \right)^{0,5} \right\}}$$

fib Model Code 2020  
Item 14.9.1

Resistência à compressão do Concreto (MPa)	s <sub>c</sub>		
	Classe CS	Classe CN	Classe CR
f <sub>c</sub> ≤ 35	0,6	0,5	0,3
35 < f <sub>c</sub> < 60	0,5	0,4	0,2
f <sub>c</sub> ≥ 60	0,4	0,3	0,1

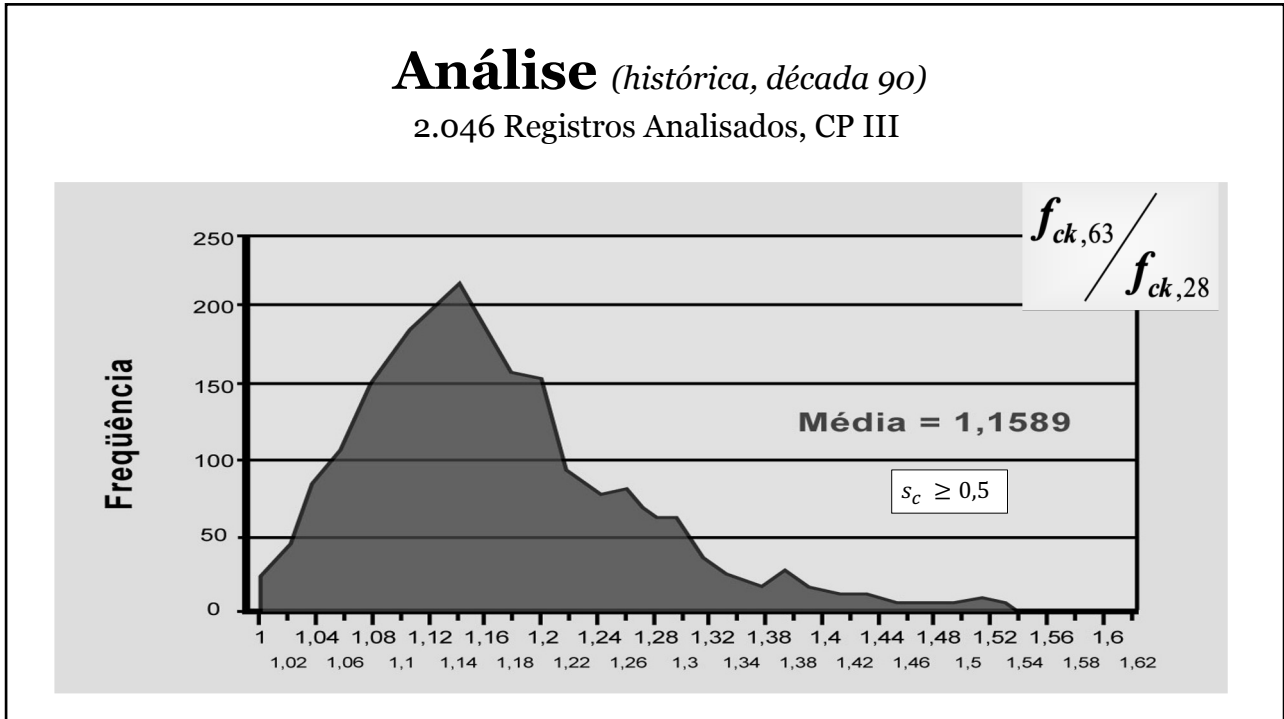
Nota: As Classes CS, CN e CR são determinadas em função do tipo e da classe de resistência do cimento. Pode-se admitir, para efeitos de equivalência com os cimentos nacionais: CS (CP III ou CP IV), CN (CP I ou CP II) e CR (CP V). Para determinação das Classes CS, CN e CR, consultar Tabela 14.6.8 "Strength development classes of concrete" do fib Model Code 2020, ou a Table B1 "Strength development classes of concrete" do Eurocode 2:2023 e a norma EN 197-1 "Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements".

39

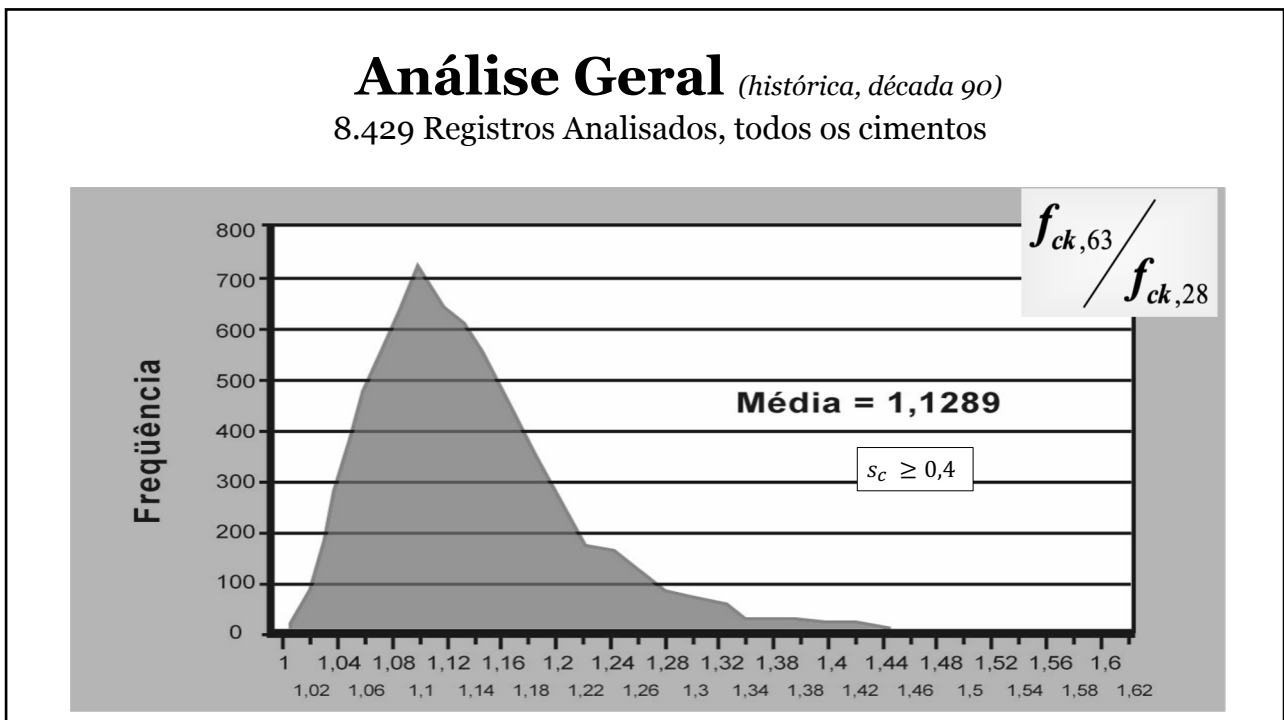


40





41



42

*“efeito Rüsçh”*

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

43

**Resistência sob Carga de  
Longa Duração**  
*(efeito Rüsçh)*

*fib Model  
Code 2020  
Item 14.6.1.6.3*

$$\beta_{c,sus}(t, t_0) = \beta_{t_0}(t_0) + [1 - \beta_{t_0}(t_0)] * \left[ 1 + 10^4 \frac{(t - t_0)}{t_0} \right]^{-0,1}$$

Sendo:

$$\beta_{t_0}(t_0) = 0,64 + 0,01 \cdot \ln(t_0)$$

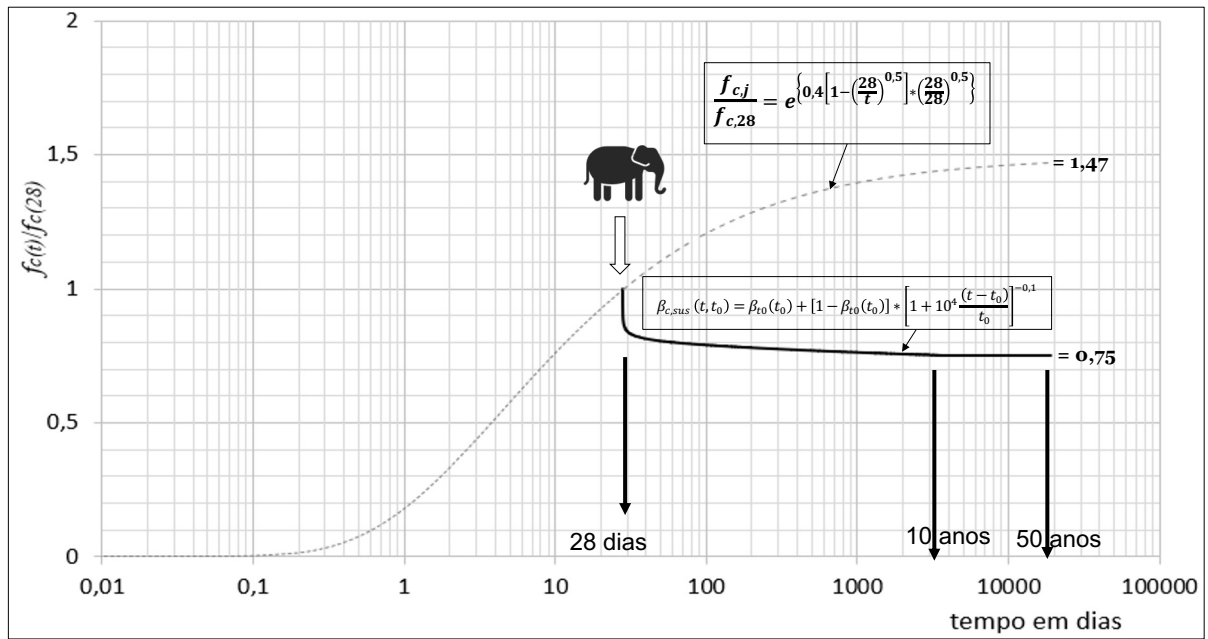
→  $t$  em dias

→  $t_0$  → idade de aplicação das cargas

→  $t - t_0 > 15$  minutos

44

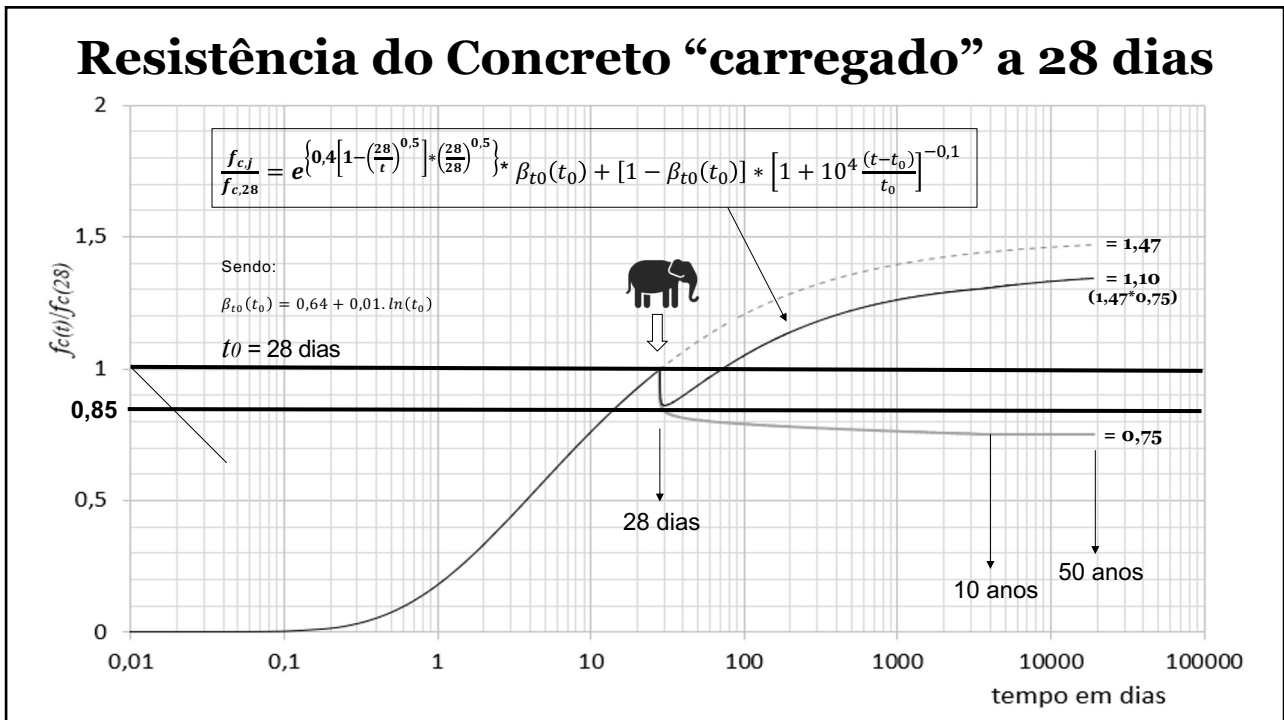
## Decréscimo da Resistência



45

combinando crescimento com  
decréscimo a partir de  
28dias ?

46



47

### Coeficientes de segurança parciais

MC 2020; ABNT NBR 6118:2023 e Eurocode 2.

<b>ABNT NBR 6118:2023</b>		<b>MC 2020 EN 1992-1-1</b>	
Materiais ( $\gamma_m$ )	Ações ( $\gamma_f$ )	Materiais ( $\gamma_m$ )	Ações ( $\gamma_f$ )
$\gamma_c$ (concreto) <b>1,4</b>	$\gamma_g$ (ações permanentes) <b>1,4</b>	$\gamma_c$ (concreto) <b>1,4 a 1,6</b> <b>1,5</b>	$\gamma_g$ (ações permanentes) <b>1,3 a 1,4</b> <b>1,35</b>
$\gamma_s$ (aço) <b>1,15</b>	$\gamma_q$ (ações variáveis) <b>1,4</b>	$\gamma_s$ (aço) <b>1,1 a 1,175</b> <b>1,15</b>	$\gamma_q$ (ações variáveis) <b>1,3 a 1,7</b> <b>1,5</b>

48

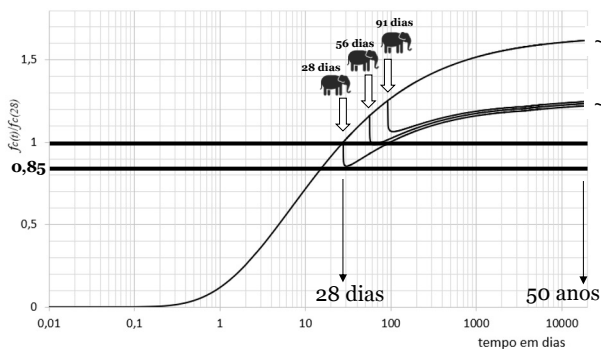
# Cálculo do $f_{cd}$ segundo várias normas

$f_{ck28} = 20$  a  $40$  MPa com cimento CP III ( $s_c=0,5$ )

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 28$  dias

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 56$  dias

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 91$  dias



cimento carga	ABNT NBR 6118:2023	fib Model Code 2020 (MC 2020)	Eurocode 2
CP III. 28d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP III. 56d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP III. 91d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$

49

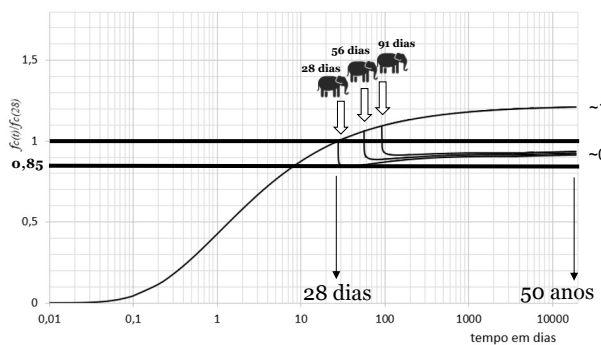
# Cálculo do $f_{cd}$ segundo várias normas

$f_{ck28} = 20$  a  $40$  MPa com ( $s_c=0,2$ )

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 28$  dias

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 56$  dias

$t_{ref} = 28$  dias  
 $t_{carga} = 91$  dias



cimento. carga	ABNT NBR 6118:2023	fib Model Code 2020 (MC 2020)	Eurocode 2
CP II&III&V 28d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP II&III 56d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP II&III&V 91d	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$

50

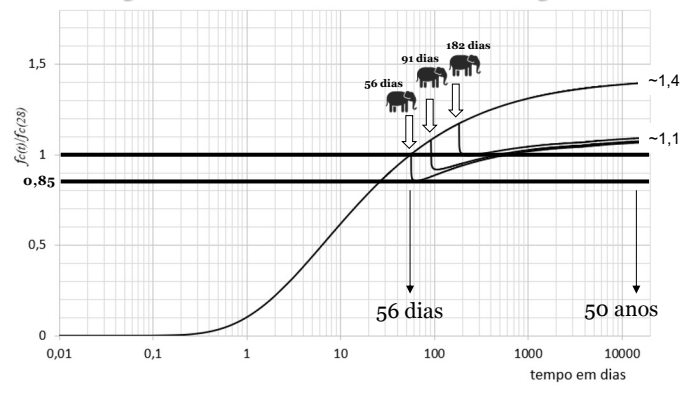
# Cálculo do $f_{cd}$ segundo várias normas

$f_{ck28} = 20$  a  $40$  MPa com cimento CP III ( $s_c=0,5$ )

$t_{ref} = 56$  dias  
 $t_{carga} = 56$  dias

$t_{ref} = 56$  dias  
 $t_{carga} = 91$  dias

$t_{ref} = 56$  dias  
 $t_{carga} = 182$  dias



cimento carga	ABNT NBR 6118:2023	fib Model Code 2020 (MC 2020)	Eurocode 2: 2023
CP III.56	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP III.91	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$
CP III.182	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$

51

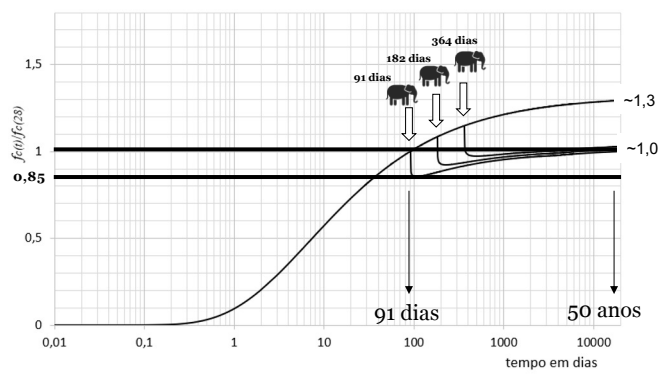
# Cálculo do $f_{cd}$ segundo várias normas

$f_{ck28} = 20$  a  $40$  MPa com cimento CP III ( $s_c=0,5$ )

$t_{ref} = 91$  dias  
 $t_{carga} = 91$  dias

$t_{ref} = 91$  dias  
 $t_{carga} = 182$  dias

$t_{ref} = 91$  dias  
 $t_{carga} = 364$  dias



cimento carga	ABNT NBR 6118:2023	fib Model Code 2020 (MC 2020)	Eurocode 2
CP III.91	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,57 * f_{ck}$
CP III.182	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,57 * f_{ck}$
CP III.364	<i>nil</i>	$0,57 * f_{ck}$	$0,57 * f_{ck}$

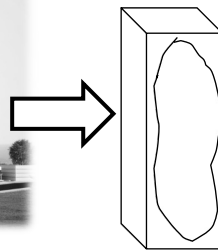
52

## Estudo de sustentabilidade



*Edifício residencial de estrutura de concreto armado com 24 pavimentos tipo + 2 subsolos.*

*Área do pavimento tipo: 365 m<sup>2</sup>.*

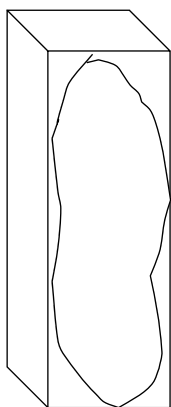


*Estudo de um pilar curto de seção quadrada, localizado entre o 1º e 2º pavimento (pé direito 2,88 m).*

*Edifício com 1008 tramos de pilar*

53

## Premissas para o dimensionamento do pilar



*Força normal característica:*

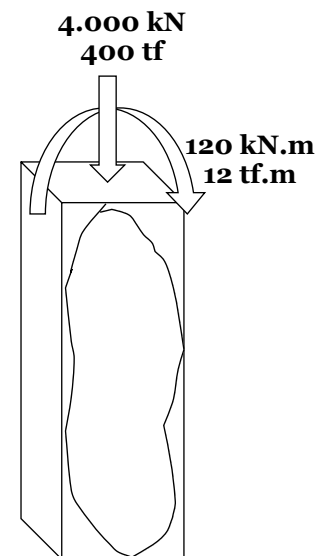
$$N_{sk} = 4000 \text{ KN} = 400 \text{ tf}$$

*Momentos totais característicos:*

$$M_{xsk} = 120 \text{ kN.m} = 12 \text{ tf.m}$$

$$M_{ysk} = 120 \text{ kN.m} = 12 \text{ tf.m}$$

*Considerou-se que as ações acidentais correspondem a 25% da força normal característica total*



54

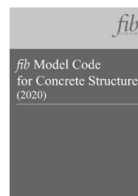
## Normas utilizadas

*dimensionamento do pilar curto ( $\lambda < 35$ ) de acordo com as normas:*

- ✓ *ABNT NBR 6118:2023*



- ✓ *fib Model Code 2020*



- ✓ *Eurocode 2:2023*



55

## Dimensionamento do pilar curto

- ✓ *2 taxas de armadura, uma mínima ( $\geq 0,4\%$ ) e uma máxima para emendas por traspasse ( $< 4,0\%$ );*
- ✓ *2 diferentes classes de resistência do concreto, C20 e C50, com  $f_{ck}$  referido a três diferentes idades de 28, 56 e 91 dias.*
- ✓ *concretos amassados com duas diferentes classes de cimentos; CR (CP V) e CS (CP III).*

56



## consumo de cimento dos 2 concretos

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

→ 28 dias

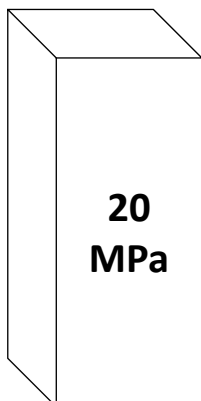
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 28 \text{ MPa}$
- cimento CR → 9 kg/MPa
- consumo =  $28 * 9 = 252 \text{ kg/m}^3$
- cimento CS → 10 kg/MPa
- consumo =  $28 * 10 = 280 \text{ kg/m}^3$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$$

→ 56 dias

- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 58 \text{ MPa}$
- 28 dias →  $56/1,12 = 50 \text{ MPa}$
- cimento CR → 7,0 kg/MPa
- consumo =  $50 * 7,0 = 350 \text{ kg/m}^3$
- cimento CS → 7,5 kg/MPa
- consumo =  $50 * 7,5 = 375 \text{ kg/m}^3$

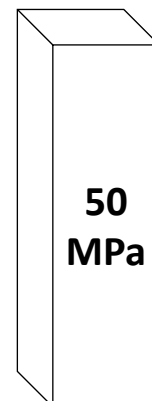
57



### armadura

0,4%

4,0%



*cimento; agregados; aditivos; traço; data do  $f_{ck}$*

58

Para a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> foram utilizados dados disponíveis em:



Cimento CP III Santa Helena -Votorantim **384 kg CO<sub>2</sub> eq.** por tonelada.  
 Cimento CP V Santa Helena -Votorantim **852 kg CO<sub>2</sub> eq.** por tonelada.



**8 kg CO<sub>2</sub> eq.** por metro quadrado de fôrma.



Aço CA 50 ArcelorMittal Piracicaba **786 kg CO<sub>2</sub> eq.** por tonelada.



Os dados utilizados ficaram dentro das faixas informadas pelo Sidac.

**440 kgCO<sub>2</sub>eq**

**180 kgCO<sub>2</sub>eq**

**50 cm**

**45 cm**

**$f_{ck}$  28 dias**

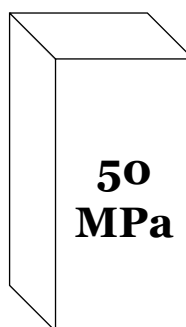
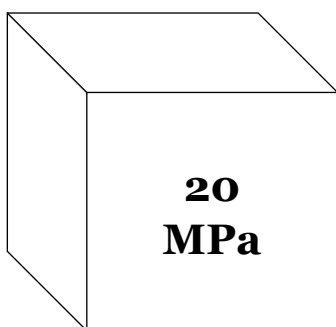
**$f_{ck}$  56 dias**

**CP V**

**CP III**

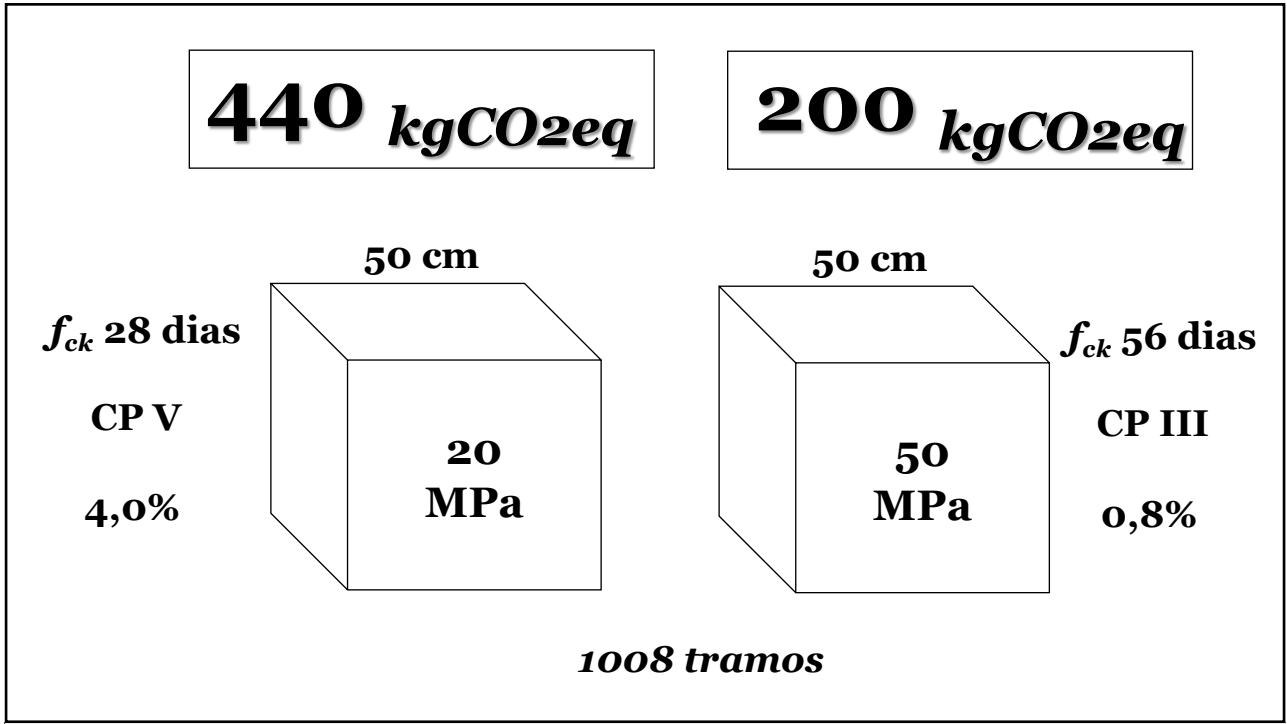
**4,0%**

**1,0%**

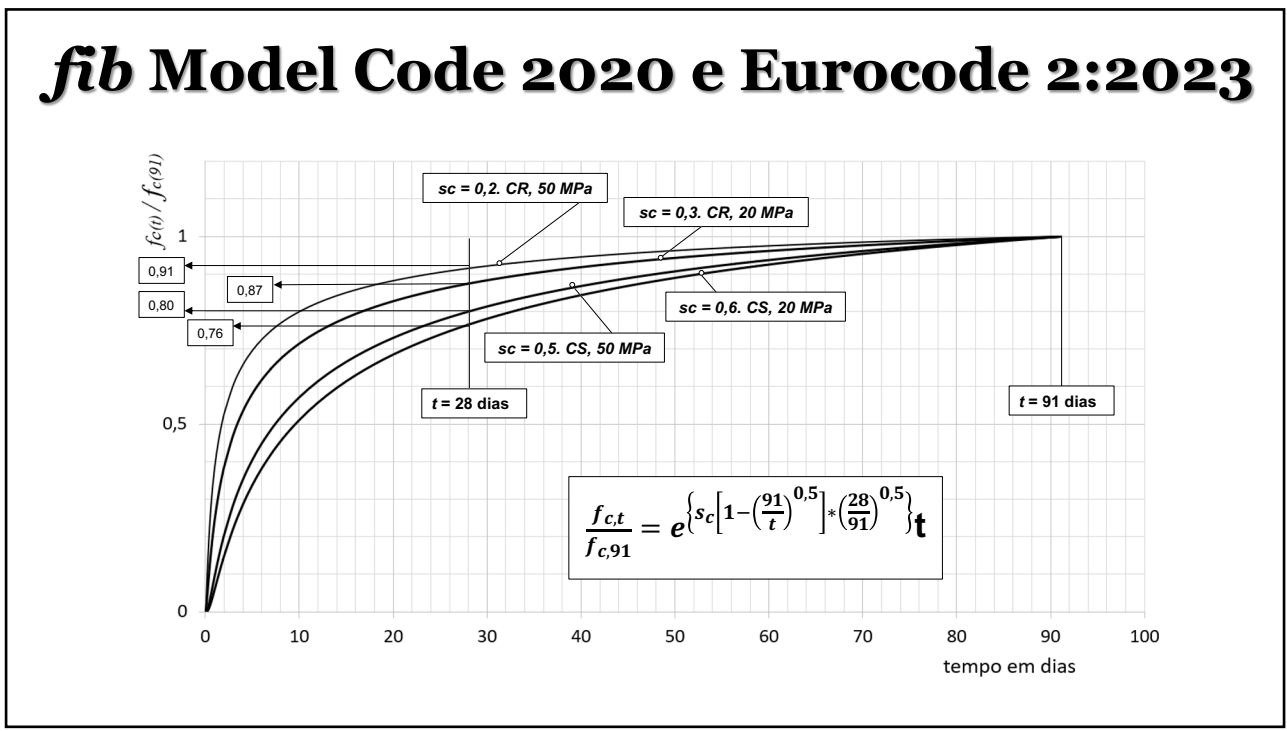


**20 MPa**

**50 MPa**



61



62

## Desmaterialização

**Para concreto controlado aos 28 dias:**

$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Tipo de cimento	Consumo de cimento (kg/MPa)	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
20	28	CR	9	9 * 28 = 252
		CS	10	10 * 28 = 280
50	58	CR	7	7 * 58 = 406
		CS	7,5	7,5 * 58 = 435

**Para concretos controlados aos 91 dias, aos 28 dias teremos:**

$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Tipo de cimento	Consumo de cimento (kg/MPa)	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
20	(28 * 0,87) = 24,4	CR	9	9 * 24,4 = 219
	(28 * 0,76) = 21,3	CS	10	10 * 21,3 = 213
50	(58 * 0,91) = 52,8	CR	7	7 * 52,8 = 369
	(58 * 0,80) = 46,4	CS	7,5	7,5 * 46,4 = 348

63

## Desmaterialização e Gases Estufa

**para concretos com  $f_{ck}$  especificado a 91 dias de idade  
em relação a 28 dias:**

$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Tipo de cimento	Consumo de cimento (kg/MPa)	Economia de cimento ou desmaterialização por m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Redução de emissões de CO <sub>2</sub> kg.CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>
20	24,4	CR	9	<b>33 → 13%</b>	<b>29 → 13%</b>
	21,3	CS	10	<b>67 → 24%</b>	<b>26 → 24%</b>
50	52,8	CR	7	<b>37 → 09%</b>	<b>32 → 09%</b>
	46,4	CS	7,5	<b>87 → 20%</b>	<b>33 → 20%</b>

64

## EPD® DECLARAÇÃO CLIMÁTICA PARA O CONCRETO

Unidade funcional: 1 metro cúbico de concreto

A declaração climática apresenta as emissões de gases de efeito estufa, expressas como CO<sub>2</sub> equivalente. Ela está baseada nos resultados verificados da avaliação de ciclo de vida (ACV) realizada como base para o EPD®, de acordo com ISO 14025.

**Informações sobre o produto**  
Esta declaração ambiental abrange o concreto FCK 30 MPa BR.1 ABAT 10+2, que é usado para trabalhos sujeitos a ambientes agressivos e úmidos, e também para obras marinhas.

**Informações sobre a empresa**  
A Votorantim Cimentos é líder no mercado de cimentos no Brasil e o oitavo maior produtor global em termos de capacidade instalada, de acordo com os dados do Global Cement Report 2013. A empresa faz parte do Grupo Votorantim e está presente em 14 países com atuação na América do Sul, América do Norte, Europa, Ásia e África. Atualmente se concentra na produção de cimento, concreto, agregados e produtos complementares, tais como Argamassa, cal e calcário agrícola.

**Declaração climática**  
A avaliação de ciclo de vida foi realizada utilizando-se a ferramenta do WBCSD-CSI para a construção de EPDs para o concreto e cimento, versão 1.4, verificada como compatível e em conformidade com as PCRs (PCR 2012: 01 Construção Produtos e serviços de construção v.2.2, PCR 2013: 02 Concreto v.1.02, PCR 2010: 09 Cimento v.2.1), e as Instruções Gerais do Programa (GPI 2.5) para o sistema internacional EPD®. O sistema de estudo inclui: fornecimento de matéria-prima A1, transporte A2 e processos internos A3.

**CO<sub>2</sub>-equivalente, GWP (kg)**

267

A1-A3 (Total)

Outras informações ambientais  
Esta declaração é limitada a apenas uma categoria de impacto ambiental. Para informações sobre as outras categorias de impacto ambiental relevante, consulte o EPD disponível em [www.emvirodec.com](http://www.emvirodec.com).

Informações de contato  
**Votorantim Cimentos**  
[www.votorantimcimentos.com](http://www.votorantimcimentos.com)

Content Information					
Specific Mass (Kg/m <sup>3</sup> )	Cement	Coarse Aggregate	Fine Aggregate	Water	Admixtures
2343	12%~10%	42%~39%	42%~41%	7%~5%	0,20%~0,10%

**Concreto**     $267/2,343 = 120 \text{ kg.CO}_2/\text{t}$   
*fck = 30 MPa*

**Cimento**    **384 kg.CO<sub>2</sub>/t**  
CP III 40

**12% em massa** →  $0,12 * 2343 = 280 \text{ kg/m}^3$

$280 * 0,384 = 108 \text{ kg.CO}_2/\text{t}$

$108 \text{ kg.CO}_2/\text{t} / 120 \text{ kg.CO}_2/\text{t} = 0,9$

**Logo, aproximadamente 90% das emissões de CO<sub>2</sub> do concreto são oriundas do cimento.**

65

## Critérios de cálculo

- ✓ Pilar quadrado
- ✓  $l_e = 2,88$  metros
- ✓ Reações permanentes →  $N_{sk} = 3000 \text{ kN}$ ;  $M_{xSk} = M_{ySk} = 90 \text{ kN.m}$
- ✓ Reações acidentais →  $N_{sk} = 1000 \text{ kN}$ ;  $M_{xSk} = M_{ySk} = 30 \text{ kN.m}$
- ✓ Reações totais →  $N_{sk} = 4000 \text{ kN}$ ;  $M_{xSk} = M_{ySk} = 120 \text{ kN.m}$
- ✓ Cobrimento pilar = 3,0 cm
- ✓  $\gamma_c$  (ABNT) = 1,4
- ✓  $\gamma_c$  (Eurocode) = 1,5
- ✓  $\gamma_s = 1,15$
- ✓ Permanentes e acidentais →  $\gamma_f$  (ABNT) = 1,4
- ✓ Permanentes →  $\gamma_f$  (Eurocode) = 1,35
- ✓ Acidentais →  $\gamma_f$  (Eurocode) = 1,5

The diagram illustrates the load and moment distributions for a square pillar of height 2.88m. It shows two cases: permanent loads and accidental loads. For permanent loads, the axial force  $N_{sk}$  is 3000 kN, and the bending moments  $M_{xSk}$  and  $M_{ySk}$  are 90 kN.m. For accidental loads,  $N_{sk}$  is 1000 kN, and  $M_{xSk}$  and  $M_{ySk}$  are 30 kN.m. The diagram shows the distribution of these forces and moments along the height of the pillar, from the base to the top.

66

- ✓ pilares com taxa de armadura máxima (~4,0%) e mínima (~1,0%)
- ✓ coeficiente  $k_{tc} = 0,85$  ( $\alpha_{cc}$  – fib Model Code 2020)
- ✓ coeficiente  $k_{tc} = 1,00$  ( $\alpha_{cc}$  – fib Model Code 2020)

ABNT NBR 6118:2023

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

$$\sigma_c = \begin{cases} 0,85 \cdot \eta_c \cdot f_{cd} \cdot [1 - (1 - \varepsilon_c / \varepsilon_{c2})^n] & \text{para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ 0,85 \cdot \eta_c \cdot f_{cd} & \text{para } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases}$$

$$\eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{1/3} \leq 1,0 \text{ (} f_{ck} \text{ em MPa)}$$

$$\varepsilon_{c2} = \begin{cases} 2,0\text{‰} & \text{para concretos até C50} \\ 2,0\text{‰} + 0,085\text{‰} \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53} & \text{para concretos C55 até C90} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{cu} = \begin{cases} 3,5\text{‰} & \text{para concretos até C50} \\ 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4 & \text{para concretos C55 até C90} \end{cases}$$

EN 1992-1-1:2023

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\eta_{cc} = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{1/3} \leq 1,0 \text{ (} f_{ck} \text{ em MPa)}$$

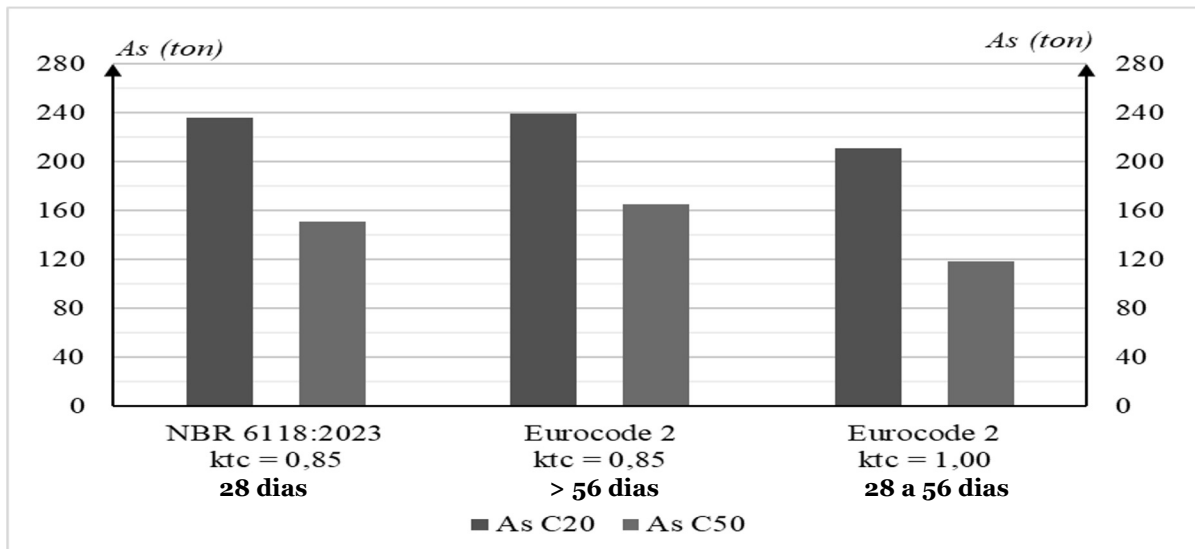
$$\sigma_{cd} = \begin{cases} f_{cd} \cdot [1 - (1 - \varepsilon_c / \varepsilon_{c2})^2] & \text{para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ f_{cd} & \text{para } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{c2} = 0,002$$

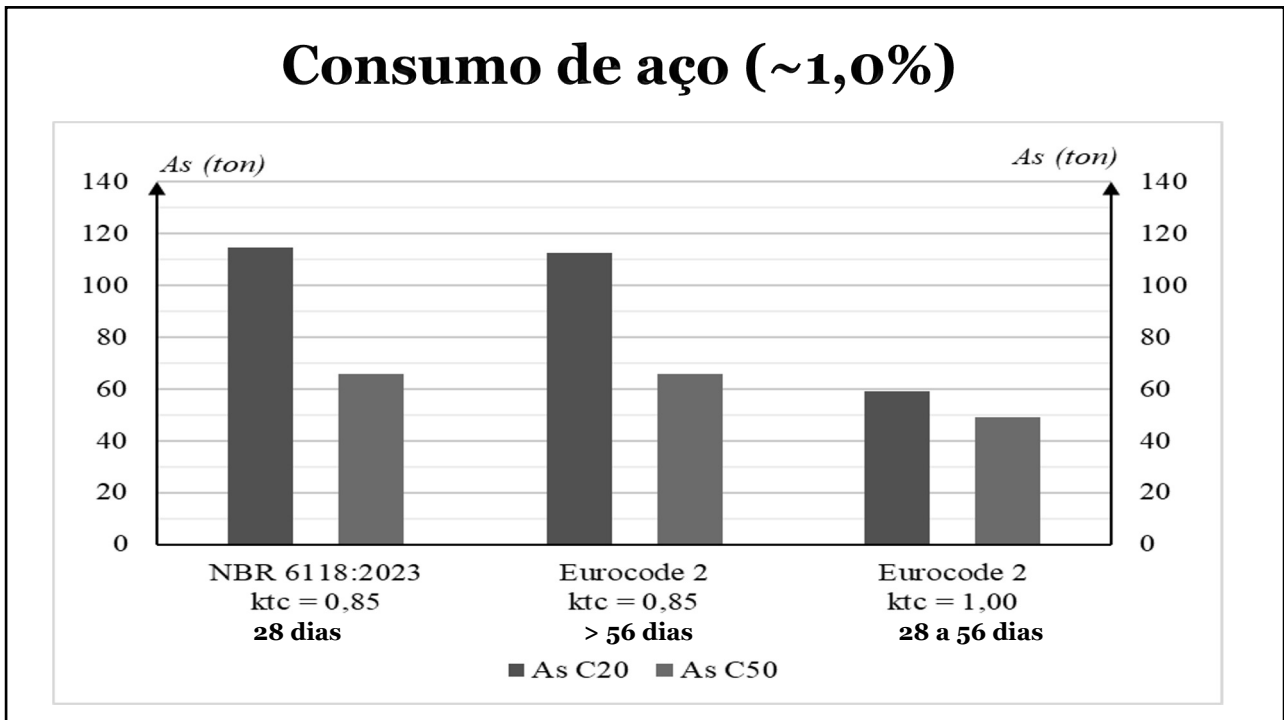
$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

67

## Consumo de aço (~4,0%)



68



69

## Desmaterialização e Gases Estufa

*para pilares dimensionados com  $k_{te} = \alpha_{cc} = 1,00$  em relação a  $k_{te} = \alpha_{cc} = 0,85$ :*

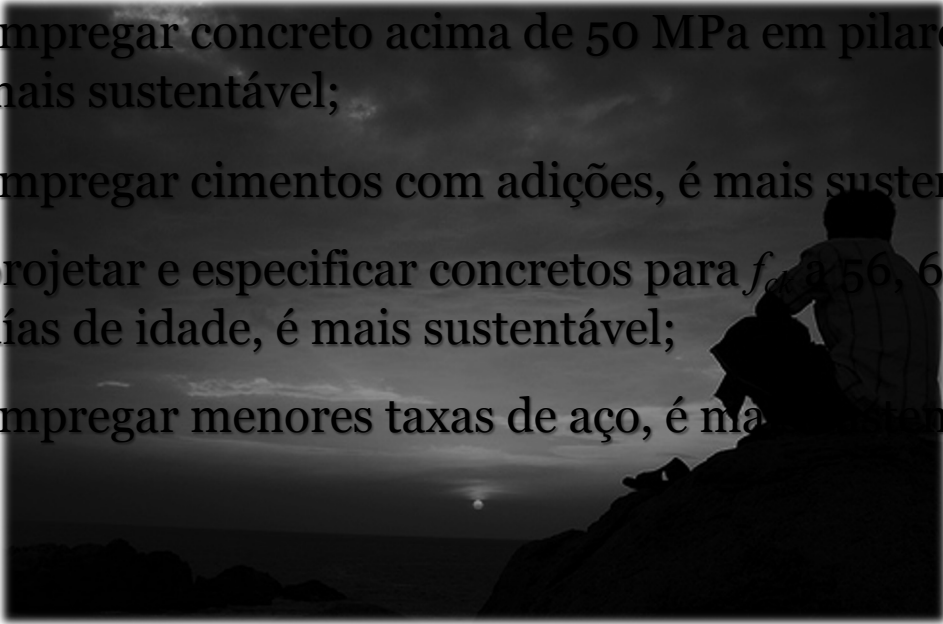
$f_{ck}$ MPa	Taxa aço	Economia de aço por pilar kg/pilar	Redução de emissões de CO <sub>2</sub> kg.CO <sub>2</sub> / pilar
20	4%	30 → 12%	23 → 12%
	1%	57 → 49%	45 → 49%
50	4%	40 → 25%	32 → 25%
	1%	15 → 23%	12 → 23%

70



# Reflexão

71

- 
1. empregar concreto acima de 50 MPa em pilares, é mais sustentável;
  2. empregar cimentos com adições, é mais sustentável;
  3. projetar e especificar concretos para  $f_{ck}$  56, 63 e 91 dias de idade, é mais sustentável;
  4. empregar menores taxas de aço, é mais sustentável;

72



sabendo que:

a resistência  
cresce assim:

$$\beta_{cc} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{\left\{ s_c \left[ 1 - \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^{0,5} \right] * \left( \frac{28}{t_{ref}} \right)^{0,5} \right\}}$$

a resistência  
decrece assim:

$$\beta_{c,sus}(t, t_0) = \beta_{t_0}(t_0) + [1 - \beta_{t_0}(t_0)] * \left[ 1 + 10^4 \frac{(t - t_0)}{t_0} \right]^{-0,1}$$

73

Porque usar coeficientes ou coeficientes empíricos?

$$\alpha_{cc} = \left( \begin{array}{c} \times \\ 0 \\ \times \end{array} \right) \text{ a } 1,00$$

$$f_{cd} = \left( \begin{array}{c} \times \\ 0 \\ \times \end{array} \right) * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\eta_{fc} = \left( \begin{array}{c} \times \\ \leq 1,0 \text{ MPa} \\ \times \end{array} \right)$$

$$(0,65 \text{ a } 0,90) * \left( \begin{array}{c} \times \\ 0 \text{ a } 0,85 \\ \times \end{array} \right) * 0,80 * f'_c$$

talvez usar →

$$f_{cd} = \beta_{cc} * \beta_{c,sus} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

74



65°  
CONGRESSO BRASILEIRO DO  
**CONCRETO**  
22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

**OBRIGADO!**

[paulo.helene@concretophd.com.br](mailto:paulo.helene@concretophd.com.br)  
fone: 11.9.5045.4940  
[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)

