



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



EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

BS EN 1992-1-1:2023
EN 1992-1-1

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
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



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

CONCRETE

3



IBRACON




fib
CEB • FIP

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

1

+

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:

CONCRETE

4

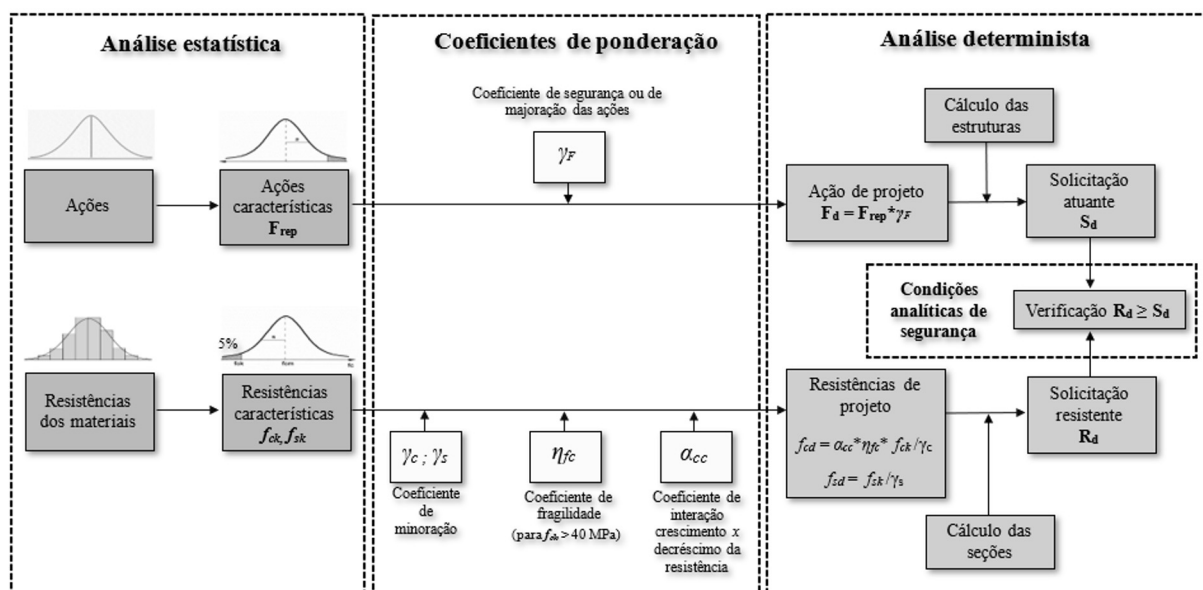
...como os engenheiros projetam estruturas, edifícios, pontes, para ficarem de pé, frente às forças da natureza: gravidade, ventos, vibrações, furacões, sismos???

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



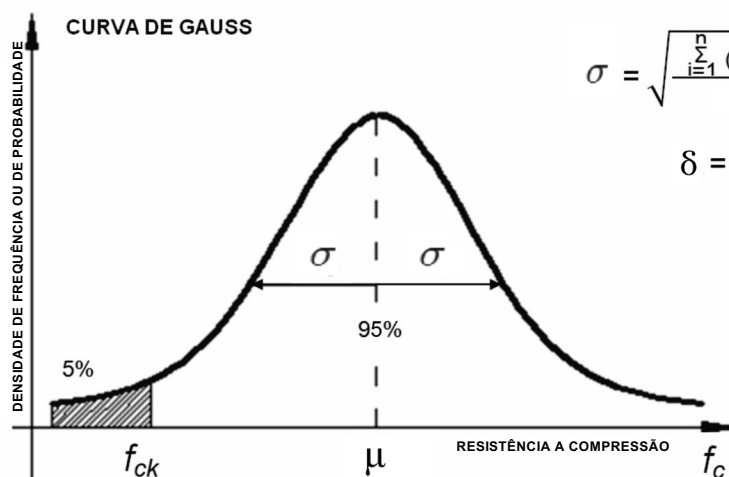
6

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



7

parâmetros da população
(amostragem total a 100%)



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

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

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

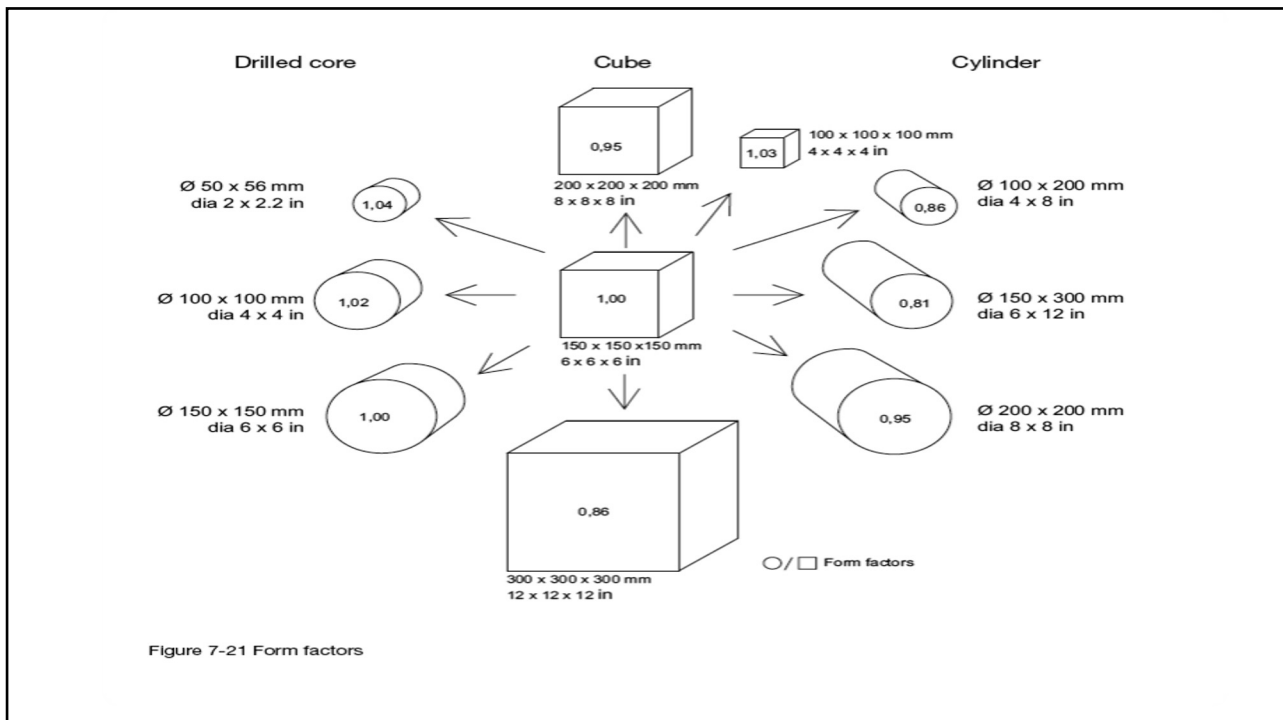
8

**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 ϕ * 30cm
- ✓ o cilindro 10cm ϕ * 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

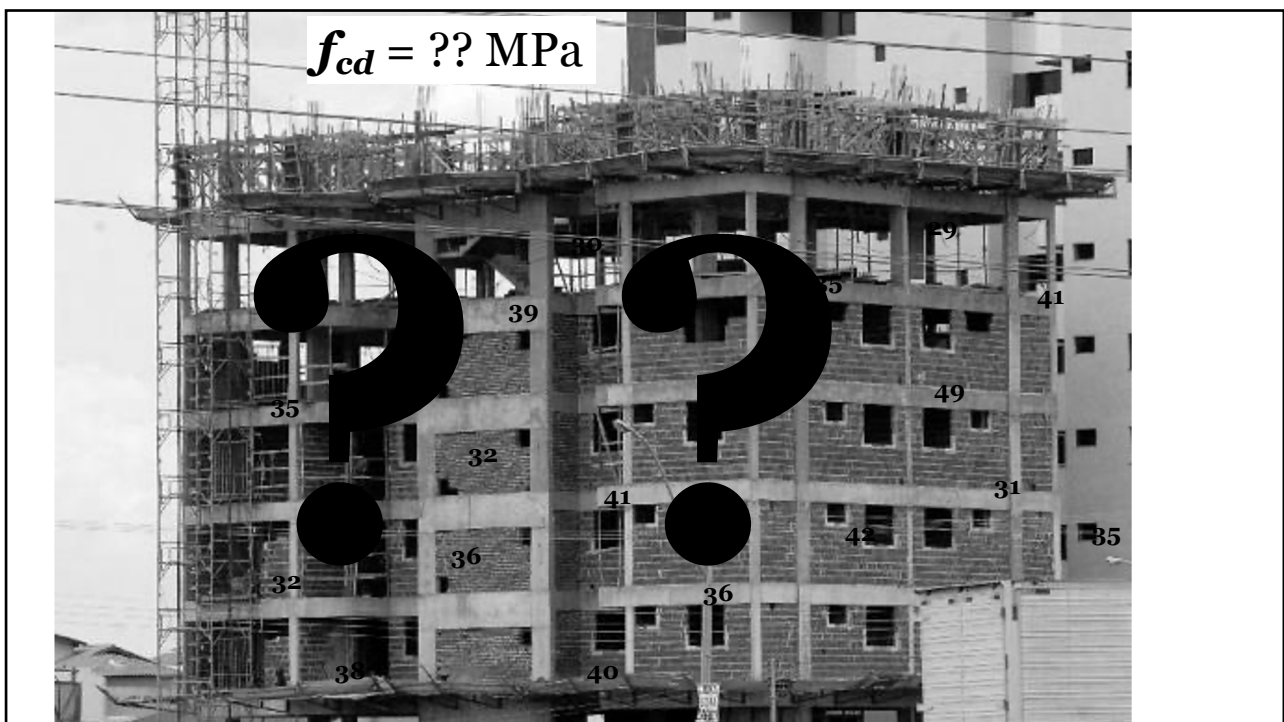
**... então qual é a resistência “mínima” à
compressão do concreto lá na estrutura que um
engenheiro civil pode considerar como
disponível para fins de projeto e construção,
com segurança, durante sua VUP?**

$$f_{cd}$$

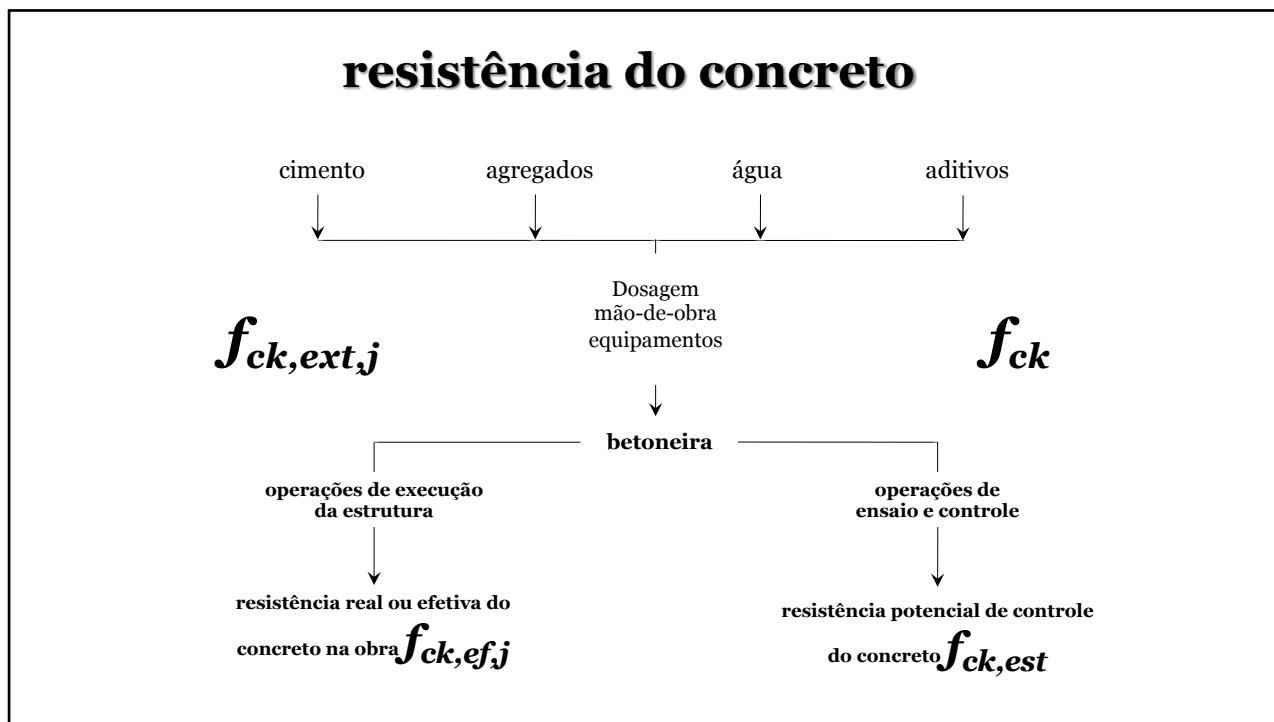
18



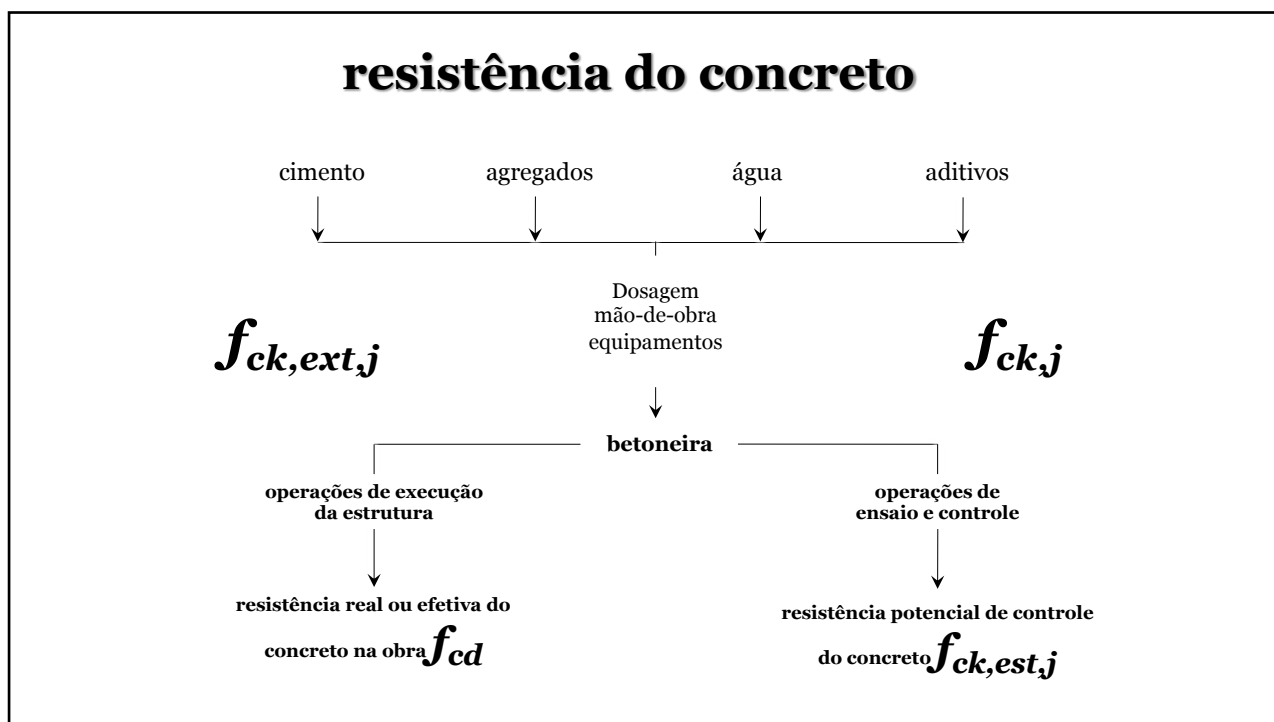
19



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

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

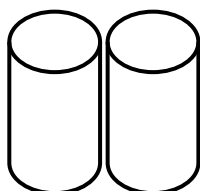
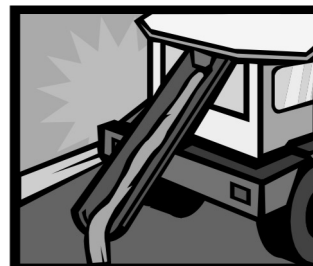
$$f_{ck,ef}(\text{estrutura}) \approx 26,3 \text{ MPa}$$

23

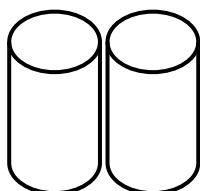
**...como obter a maior resistência a compressão,
 f_c a uma certa idade?**

Concreto de um traço bem misturado:

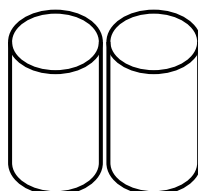
pode moldar, curar e tratar como quiser !



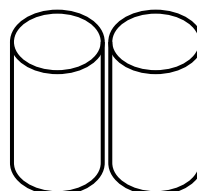
Grupo A



Grupo B



Grupo C



Grupo D

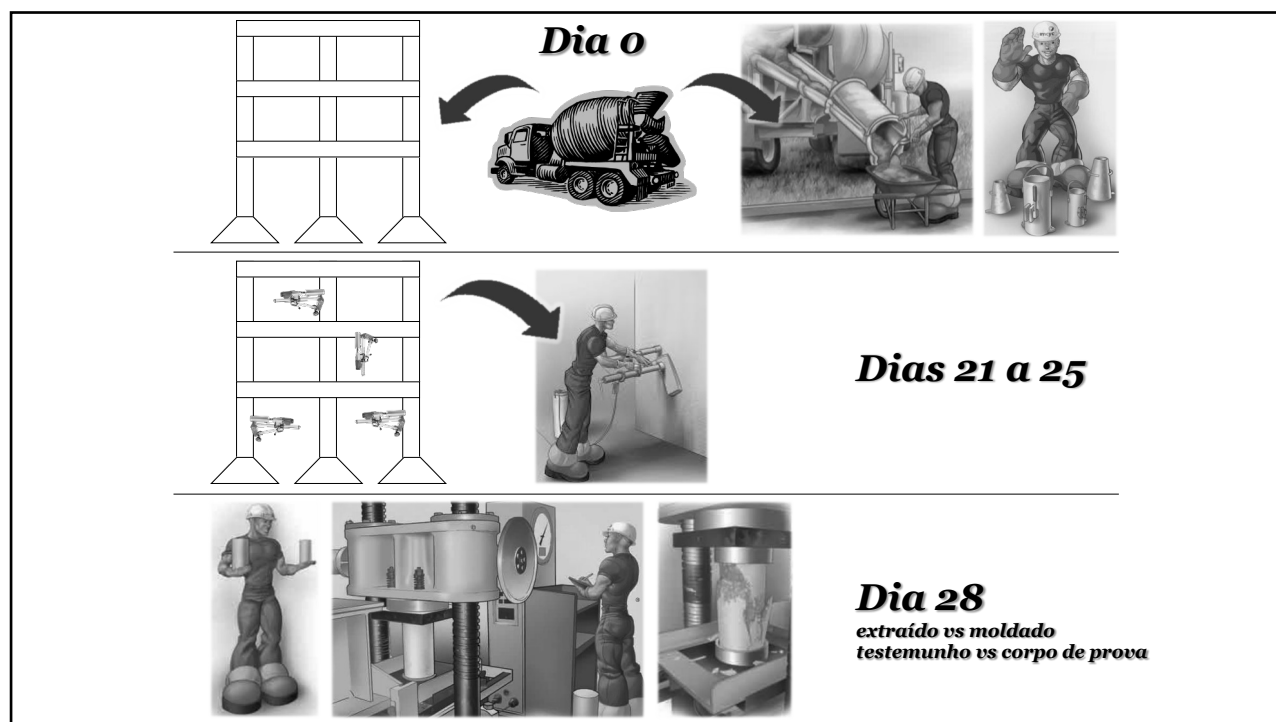
24

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

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

- ✓ geometria é cilindro
- ✓ moldado, curado, compatado
- ✓ 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

30

...então o γ_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...

31

...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

$$\beta_{cc(t)}$$

32

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

33

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

34

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

35

natureza do concreto

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

36

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

37

Crescimento da Resistência *fib* Model Code 2020

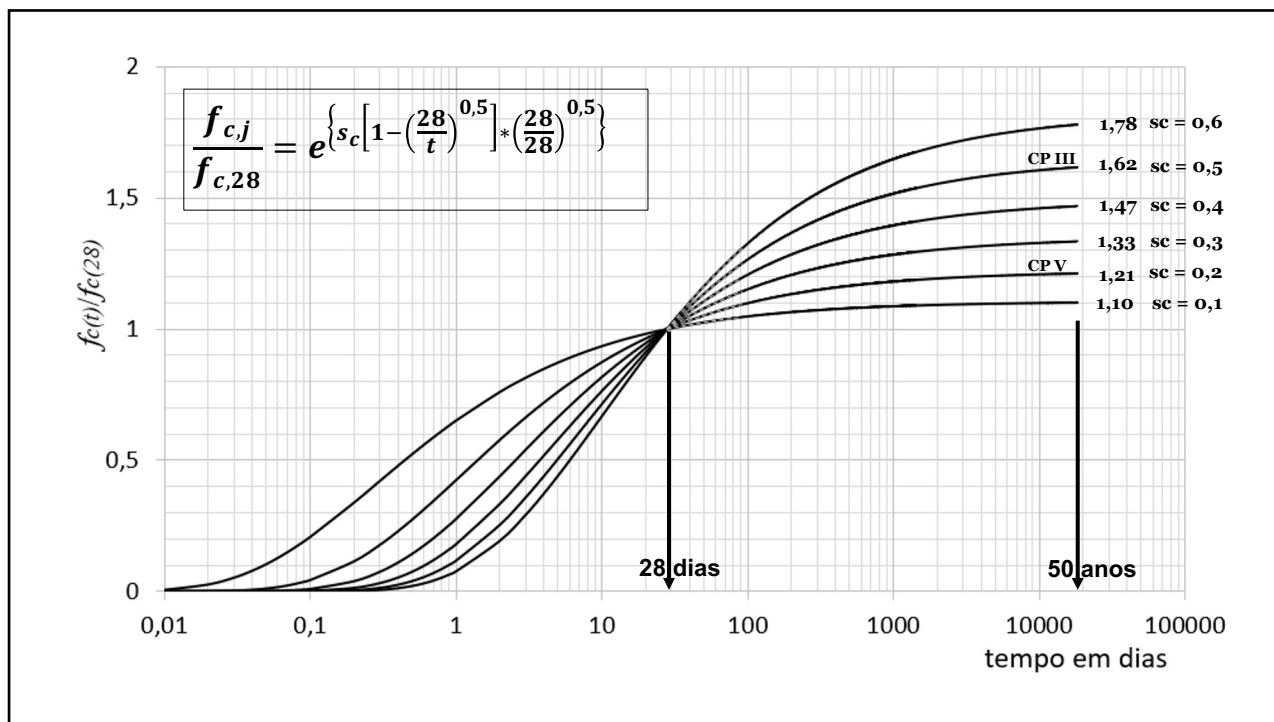
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,ref}} = e^{\left\{ s_c \left[1 - \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^{0,5} \right] * \left(\frac{28}{t_{ref}} \right)^{0,5} \right\}}$$

fib Model
Code 2020
Item 14.9.1

Resistência à compressão do Concreto (MPa)	s_c		
	Classe CS	Classe CN	Classe CR
$f_c \leq 35$	0,6	0,5	0,3
$35 < f_c < 60$	0,5	0,4	0,2
$f_c \geq 60$	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".

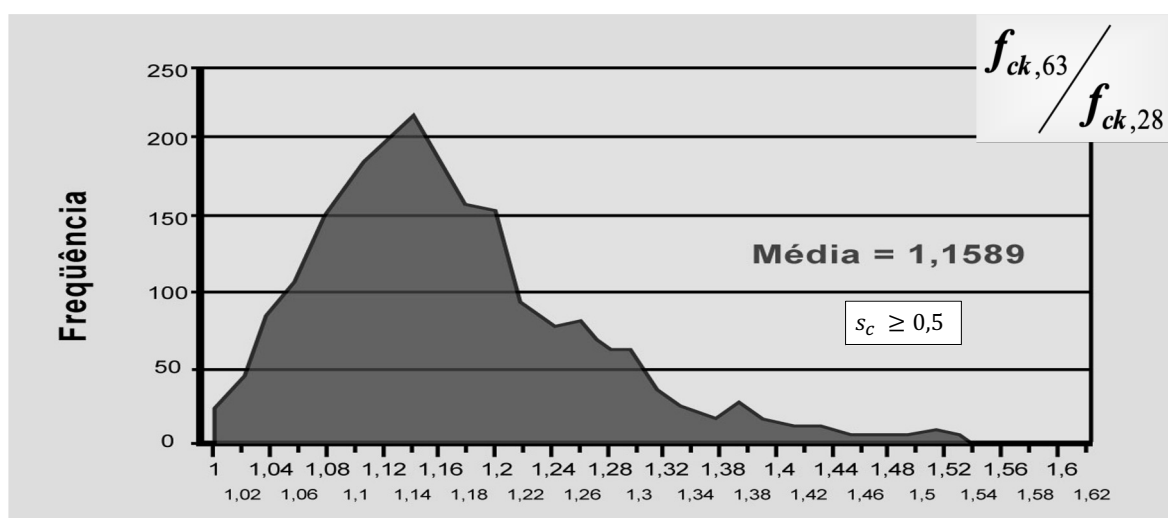
38



39

Análise (histórica, década 90)

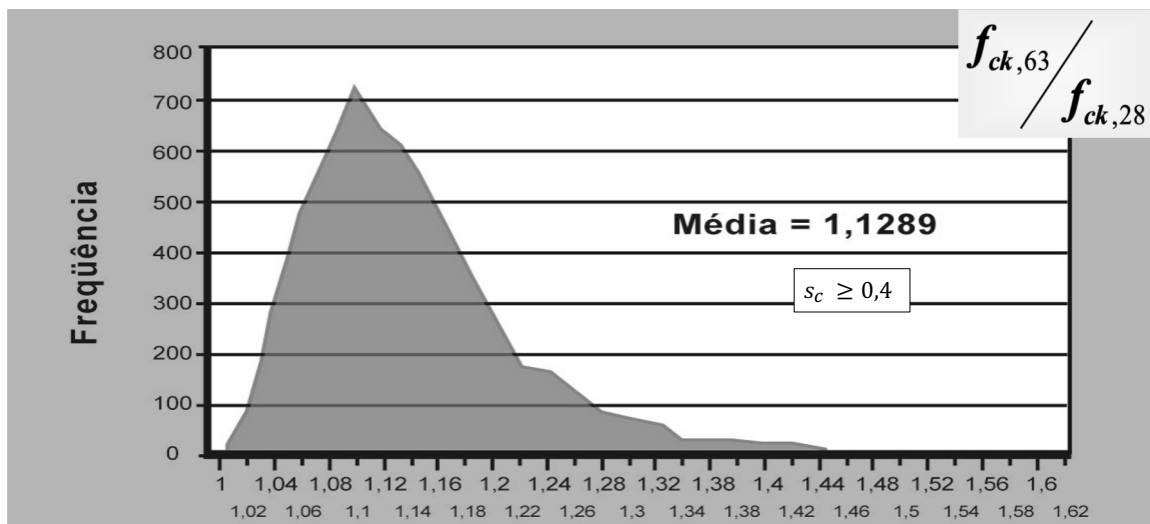
2.046 Registros Analisados, CP III



40

Análise Geral *(histórica, década 90)*

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



41

“efeito Rüsch”

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

42

Resistência sob Carga de Longa Duração (efeito Rüsçh)

*fib Model
Code 2020
Item 14.6.1.6.3*

$$\beta_{c,sus}(t, t_0) = \beta_{t0}(t_0) + [1 - \beta_{t0}(t_0)] * \left[1 + 10^4 \frac{(t - t_0)}{t_0} \right]^{-0,1}$$

Sendo:

$$\beta_{t0}(t_0) = 0,64 + 0,01 \cdot \ln(t_0)$$

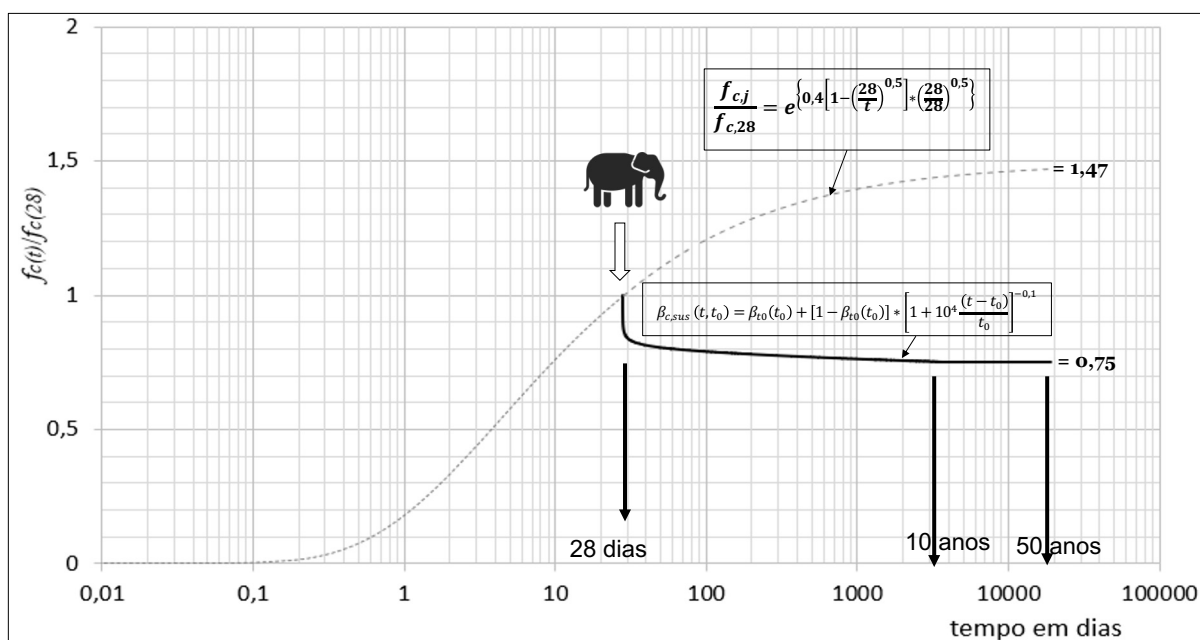
→ t em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $t - t_0 > 15$ minutos

43

Decréscimo da Resistência

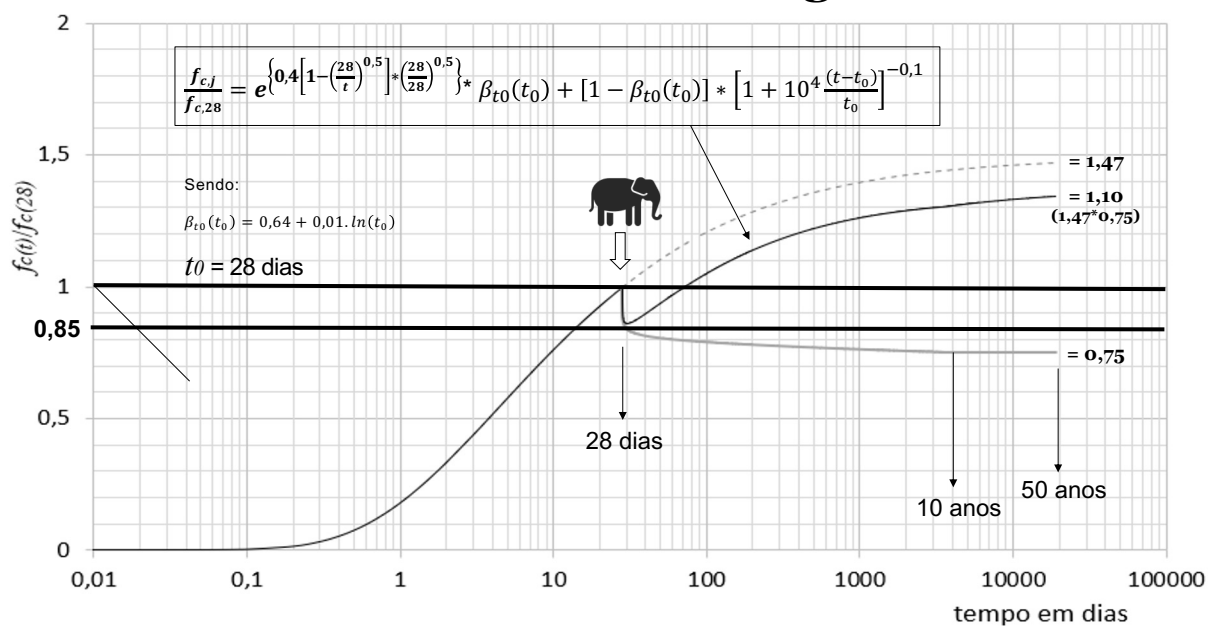


44

combinando crescimento com
decréscimo a partir de
28dias ?

45

Resistência do Concreto “carregado” a 28 dias



46

Coeficientes de segurança parciais

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

ABNT NBR 6118:2023		MC 2020 EN 1992-1-1	
Materiais (γ_m)	Ações (γ_f)	Materiais (γ_m)	Ações (γ_f)
γ_c (concreto) 1,4	γ_g (ações permanentes) 1,4	γ_c (concreto) 1,4 a 1,6 1,5	γ_g (ações permanentes) 1,3 a 1,4 1,35
γ_s (aço) 1,15	γ_q (ações variáveis) 1,4	γ_s (aço) 1,1 a 1,175 1,15	γ_q (ações variáveis) 1,3 a 1,7 1,5

47

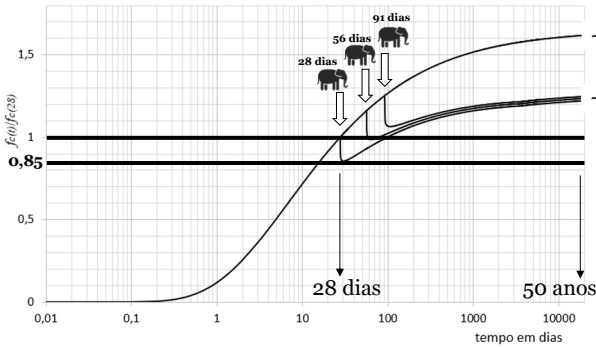
Cálculo do f_{cd} segundo várias normas

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	$0,61 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$
CP III. 56d	$0,61 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$
CP III. 91d	$0,61 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$	$0,67 \cdot f_{ck}$

48

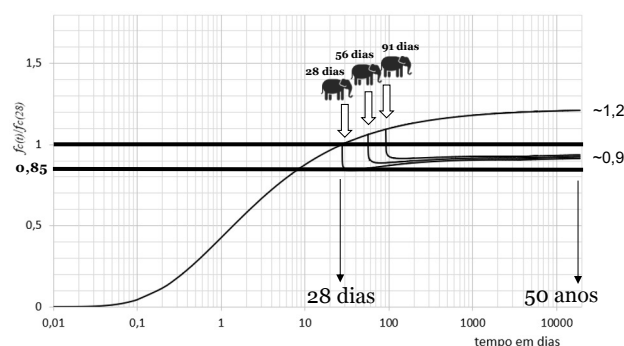
Cálculo do f_{cd} segundo várias normas

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

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

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

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



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	$0,61 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$	$0,67 * f_{ck}$

49

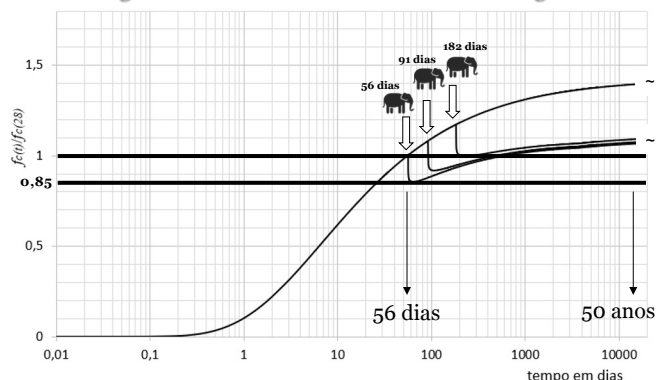
Cálculo do f_{cd} segundo várias normas

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

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

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

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



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

50

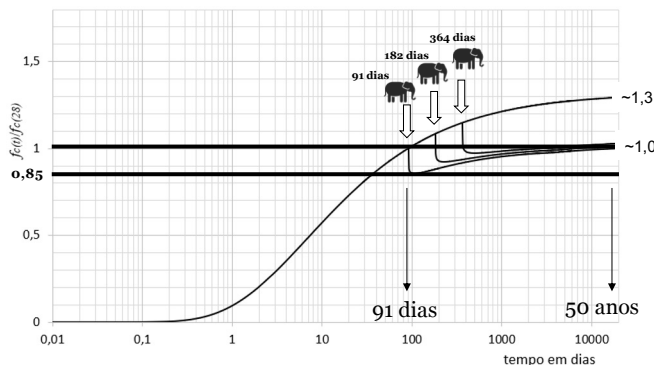
Cálculo do f_{cd} segundo várias normas

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

$t_{ref} = 91$ 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>nihil</i>	$0,57 \cdot f_{ck}$	$0,57 \cdot f_{ck}$
CP III.182	<i>nihil</i>	$0,57 \cdot f_{ck}$	$0,57 \cdot f_{ck}$
CP III.364	<i>nihil</i>	$0,57 \cdot f_{ck}$	$0,57 \cdot f_{ck}$

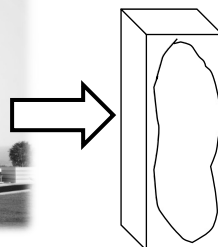
51

Estudo de sustentabilidade



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

Área do pavimento tipo: 365 m^2

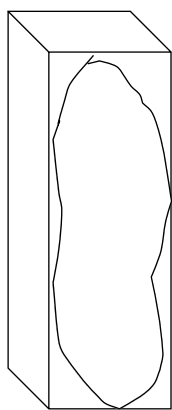


Estudo de um pilar curto de seção quadrada, localizado entre o 1º e 2º pavimento (pé direito 2,88 m).

Edifício com 1008 tramos de pilar

52

Premissas para o dimensionamento do pilar



Força normal característica:

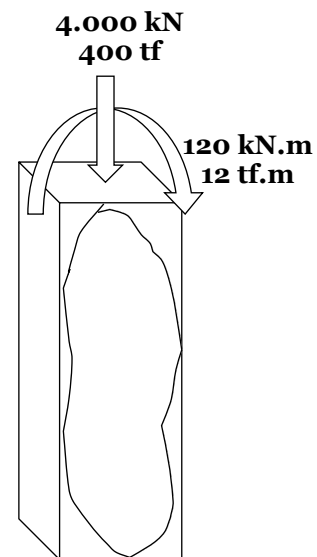
$$N_{sk} = 4000 \text{ kN} = 400 \text{ tf}$$

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



53

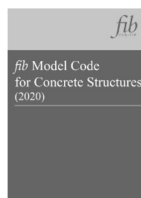
Normas utilizadas

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

✓ ABNT NBR 6118:2023



✓ fib Model Code 2020



✓ Eurocode 2:2023



54

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).

55

consumo de cimento dos 2 concretos

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

→ 28 dias

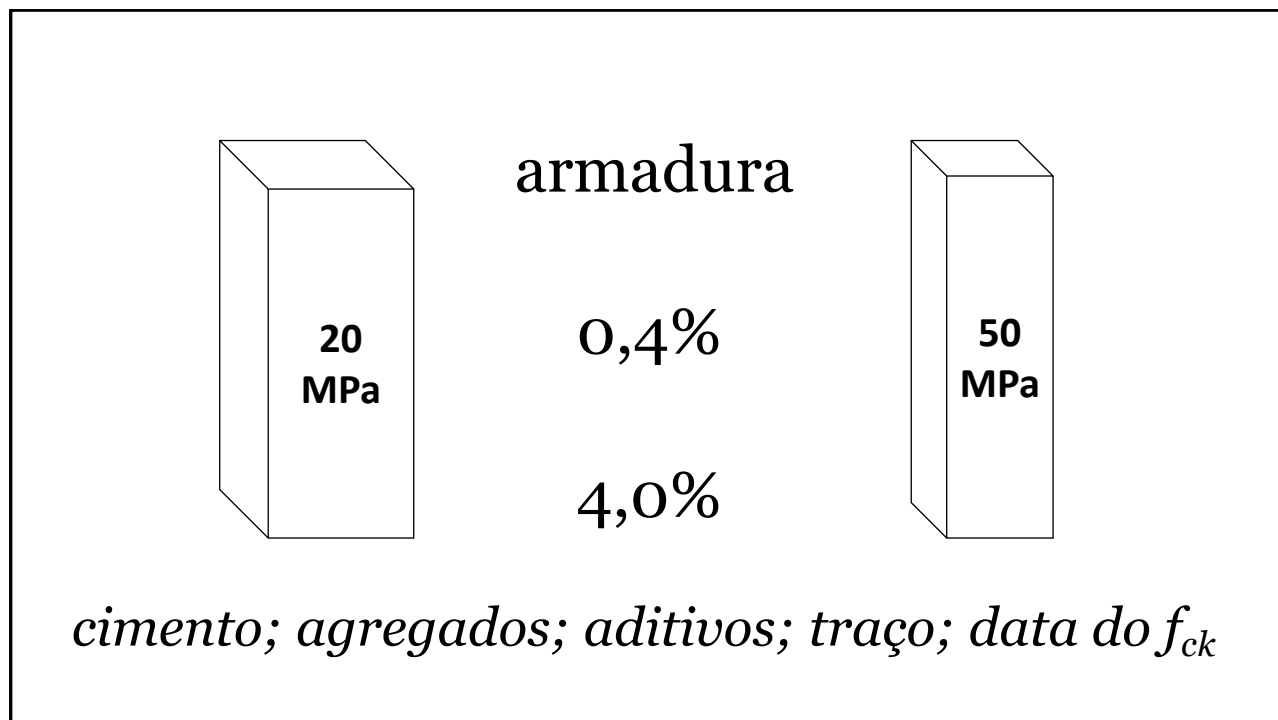
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 28 \text{ MPa}$
- cimento CR → 9 kg/MPa
- consumo = $28 \cdot 9 = 252 \text{ kg/m}^3$
- cimento CS → 10 kg/MPa
- consumo = $28 \cdot 10 = 280 \text{ kg/m}^3$

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

→ 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 = $50 \cdot 7,0 = 350 \text{ kg/m}^3$
- cimento CS → 7,5 kg/MPa
- consumo = $50 \cdot 7,5 = 375 \text{ kg/m}^3$

56




57

Para a quantificação das emissões de CO₂ foram utilizados dados disponíveis em:




*Cimento CP III Santa Helena -Votorantim **384 kg CO₂ eq.** por tonelada.*


*Cimento CP V Santa Helena -Votorantim **852 kg CO₂ eq.** por tonelada.*



***8 kg CO₂ eq.** por metro quadrado de fôrma.*

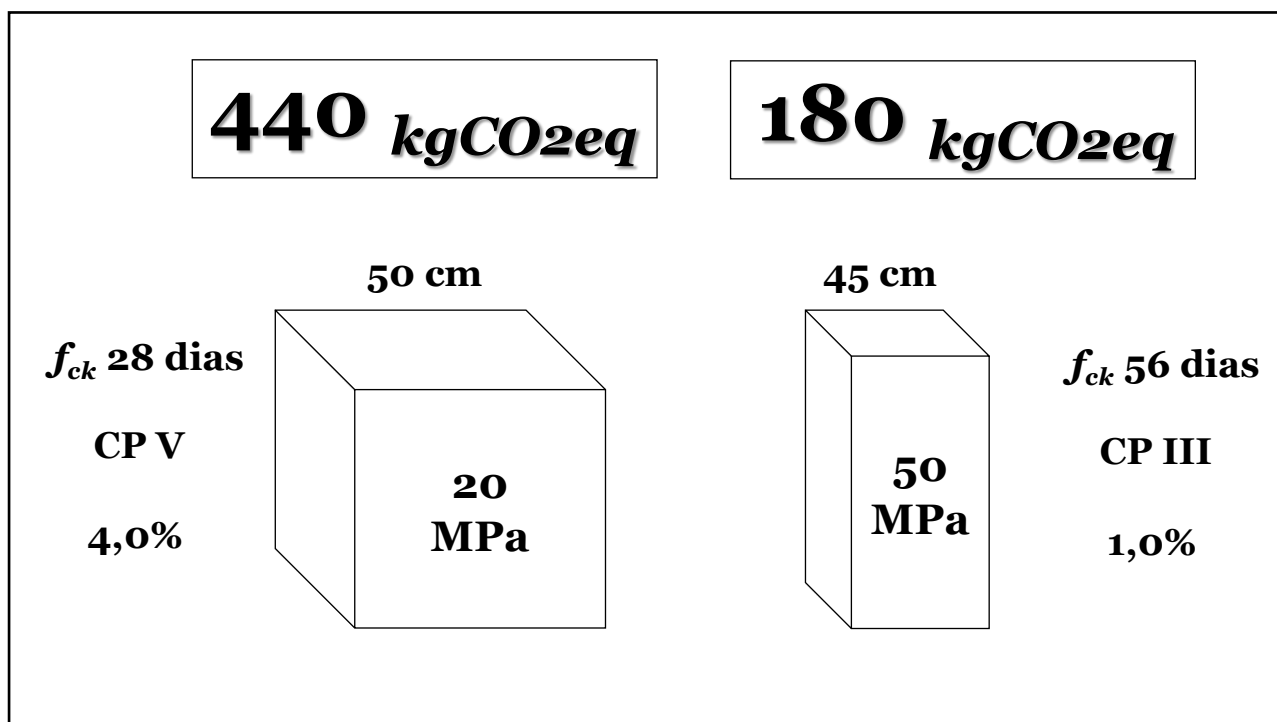


*Aço CA 50 ArcelorMittal Piracicaba **786 kg CO₂ eq.** por tonelada.*

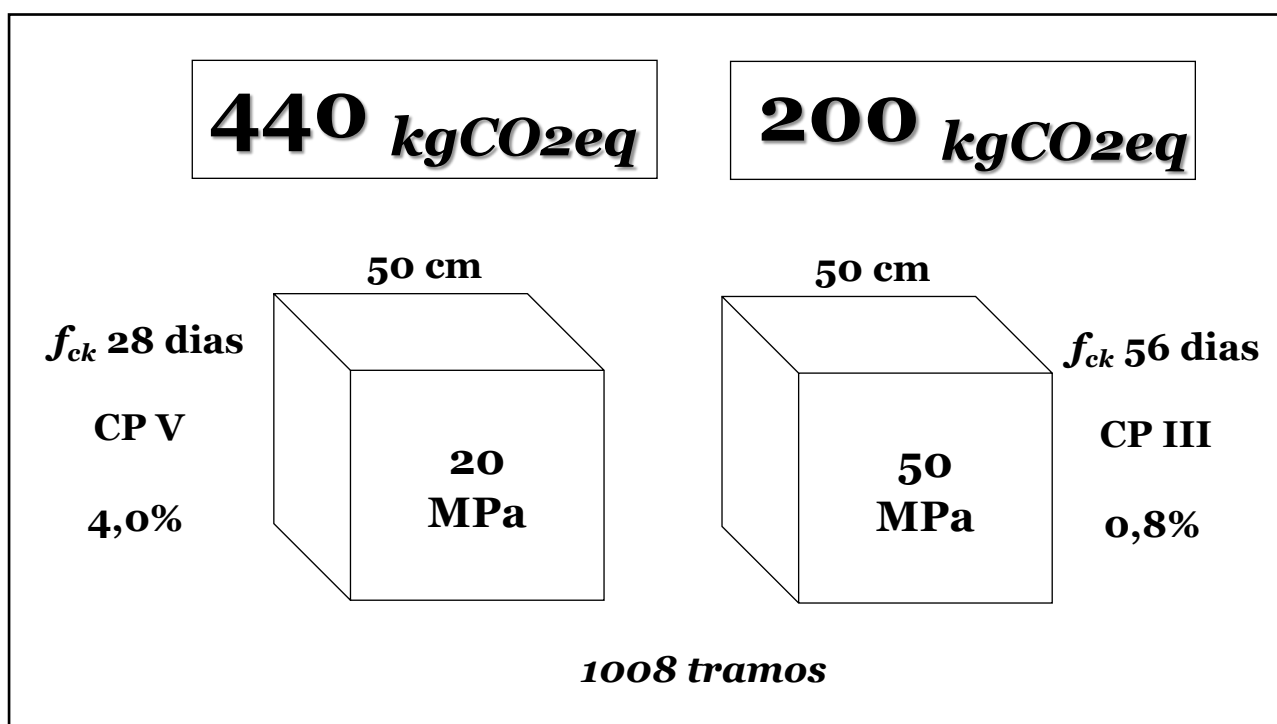


Os dados utilizados ficaram dentro das faixas informadas pelo Sidac.

58



59



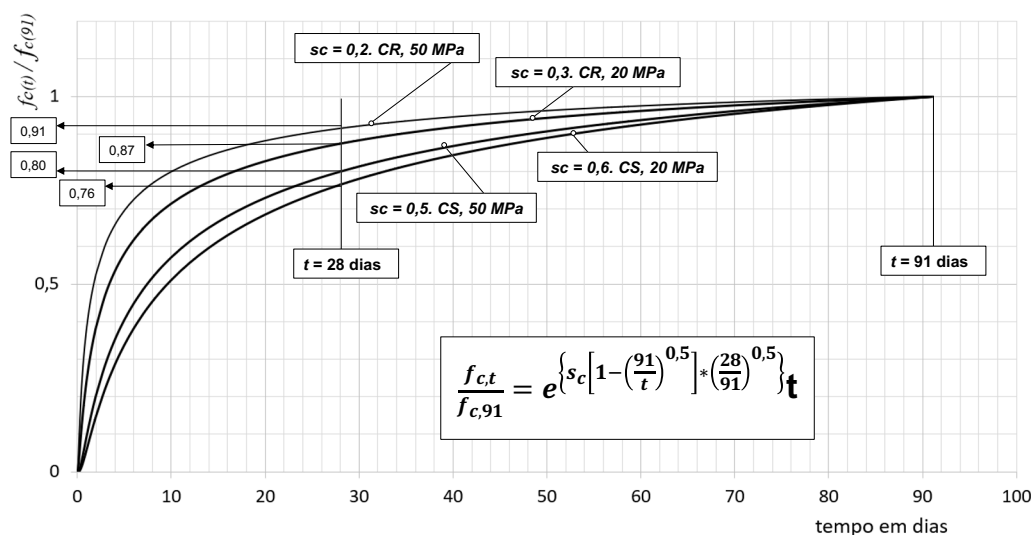
60

...qual a influência na desmaterialização e na redução da emissão de gases tipo estufa ao passar de f_{ck} a 28 dias para f_{ck} a 91 dias de idade...

fib Model Code 2020 e EN 1992-1-1

61

fib Model Code 2020 e EN 1992-1-1



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/m³)
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/m³)
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 m³ (kg/m³)	Redução de emissões de CO ₂ kg.CO ₂ / m³
20	24,4	CR	9	33 → 13%	29 → 13%
	21,3	CS	10	67 → 24%	26 → 24%
50	52,8	CR	7	37 → 09%	32 → 09%
	46,4	CS	7,5	87 → 20%	33 → 20%

64

...qual a influência na desmaterialização e na redução da emissão de gases tipo estufa ao passar o coeficiente $k_{tc} = \alpha_{cc}$ de 0,85 a 1,00 para f_{ck} a 28 dias...

fib Model Code 2020 e EN 1992-1-1

65

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

ABNT NBR 6118:2023

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

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

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

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

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

EN 1992-1-1:2023

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

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

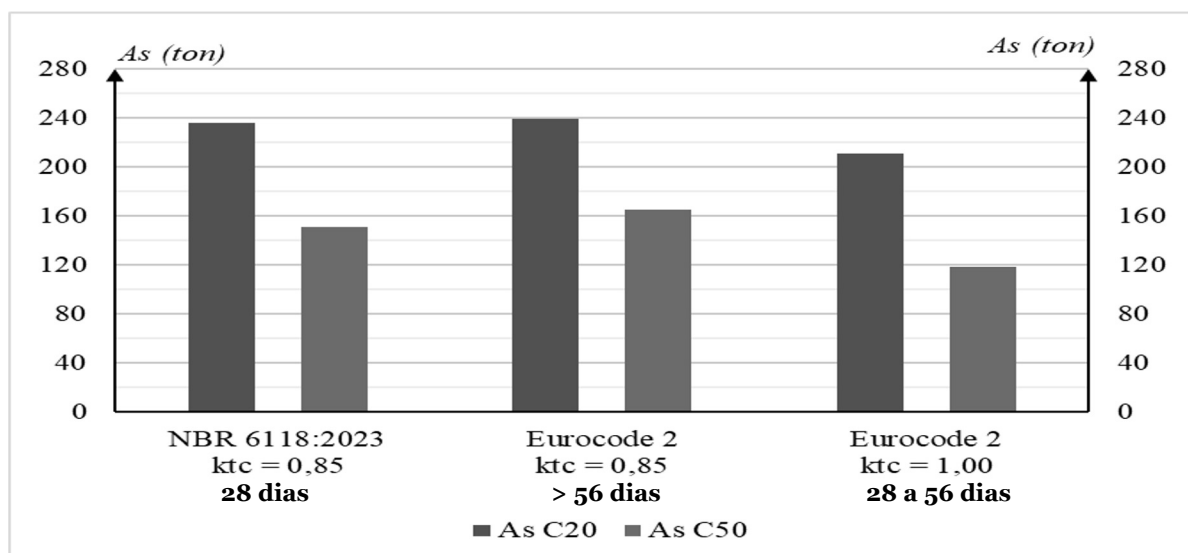
$$\sigma_{cd} = \begin{cases} f_{cd} \cdot [1 - (1 - \varepsilon_c / \varepsilon_{c2})^2] & \text{para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ f_{cd} & \text{para } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases}$$

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

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

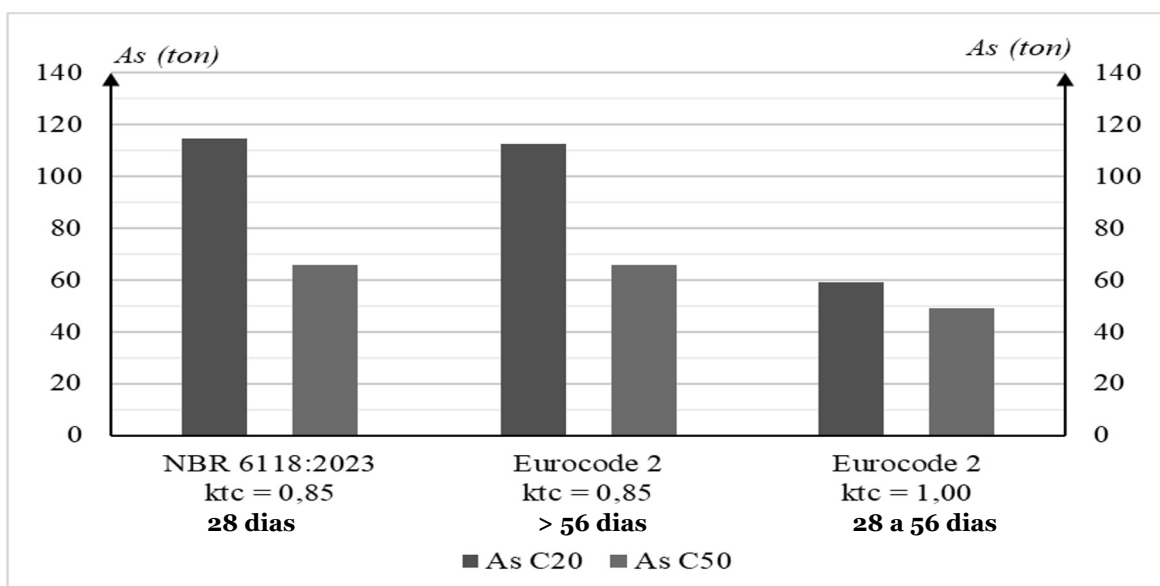
66

Consumo de aço (~4,0%)



67

Consumo de aço (~1,0%)



68

Desmaterialização e Gases Estufa

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

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

69



70

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} a 56, 63 e 91 dias de idade, é mais sustentável;
4. empregar menores taxas de aço, é mais sustentável;

71

sabendo que:

a resistência
cresce assim:

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

a resistência
decrece assim:

$$\beta_{c,sus}(t, t_0) = \beta_{t0}(t_0) + [1 - \beta_{t0}(t_0)] * \left[1 + 10^4 \frac{(t - t_0)}{t_0} \right]^{-0,1}$$

72

Porque usar coeficientes ou coeficientes empíricos?

$$\alpha_{cc} = 0 \times 1,00$$

$$f_{cd} = 0 \times \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\eta_{fc} = \left(\frac{f_c}{f} \right) \times \leq 1,0 \text{ MPa}$$

$$(0,65 \text{ a } 0,90) \times (0 \text{ a } 0,85) * 0,80 * f'_c$$

talvez usar →

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

73



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

OBRIGADO!

paulo.helene@concretophd.com.br
fone: 11.9.5045.4940
www.phd.eng.br



IBRACON

74