

**IBRACON**

**Instituto Brasileiro do Concreto**

**Projeto de Estruturas  
de Concreto *Procedimento*  
NBR 6118 Março 2003  
*reflexões***

**Paulo Helene**

Prof. Titular, Universidade de São Paulo, Brasil

Deputy Chairman **fib** (CEB-FIP)

**Eng. Paulo Helene**

Presidente do IBRACON

Prof. Titular da Universidade de São Paulo

Comission 5 "Service Life Structural Aspects"

Chairman Red Rehabilitar CYTED XV.F

1

**Projeto de Estruturas  
de Concreto *Procedimento***

NBR 6118 Março 2003

**Capítulo 8 Propriedades dos Materiais**

**Capítulo 9 Comportamento Conjunto dos  
Materiais**

**Capítulo 10 Segurança e Estados Limites**

**Capítulo 12 Resistências**

**Anexo A Efeito do Tempo no Concreto**

Paulo Helene  
Prof. Titular, Universidade de São Paulo, Brasil

**Estrutural**

2

# Projeto de Estruturas de Concreto *Procedimento*

NBR 6118 Março 2003

## **Materiais**

### **→ Concreto**

### **→ Aço**

Paulo Helene  
Prof. Titular, Universidade de São Paulo, Brasil  
***simbologia consta do capítulo***

3

<b>Concreto</b>		
propriedade	1978	2003
classes 8.2.1	$\geq 9$	C15;C20;C25;...C50 NBR 8953 $\geq 20$ armadura passiva $\geq 25$ armadura ativa $\geq 15$ fundações NBR 6122
massa específica 8.2.2	2500	2000 a 2800 kg/m <sup>3</sup> simples → 2400 kg/m <sup>3</sup> armado → 2500 kg/m <sup>3</sup> conhecida + 100 a 150 kg/m <sup>3</sup>
coeficiente de dilatação térmica 8.2.3	$10^{-5} / ^\circ\text{C}$	$10^{-5} / ^\circ\text{C}$

4

<b>Concreto      resistência à compressão 8.2.4</b>		
	<b>1978</b>	<b>2003</b>
<b>idade</b>	<b>28d</b>	<b>28d e <math>f_{ckj}</math></b>
<b>dosagem</b>	<b><math>f_{cm} = f_{ck} + k \cdot s_d</math></b>	<b><i>NBR 12655</i></b>
<b>controle</b>	<b><math>f_{ck,est}</math></b>	<b><i>NBR 12655</i></b>
<b>cálculo</b>	<b><math>f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c</math></b>	<b>item 12.3.3</b>

5

**Concreto      12.3.3 resistência de cálculo do concreto**

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$       → 28d de idade

$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck} \cdot e^{s(1-\sqrt{\frac{28}{t}})}}{\gamma_c}$       → qualquer idade, t

S = 0,38 → CP III e CP IV  
 S = 0,25 → CP I e CP II  
 S = 0,20 → CP VARI  
 t, j → idade em dias

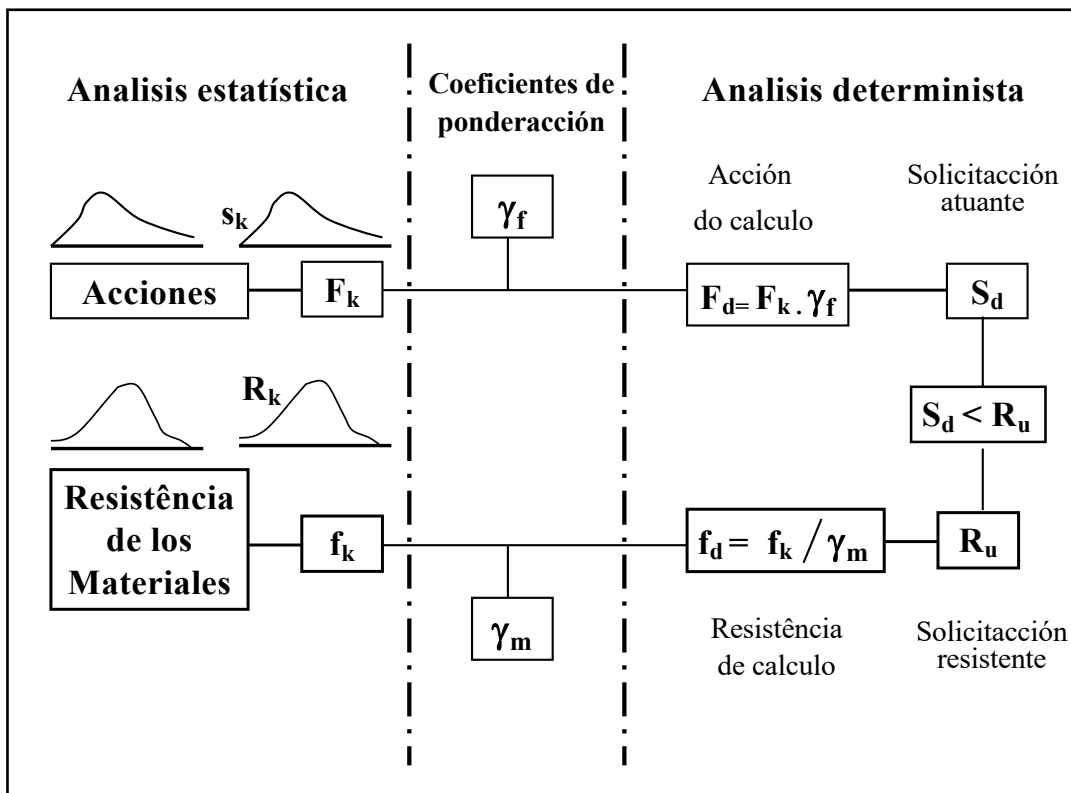
6

**Concreto**

**12.3.3 evolução da resistência à compressão**

Cimento	Idade									
	3	7	14	28	63	91	120	240	360	720
CP III CP IV	0,46	0,68	0,85	1	1,13	1,18	1,21	1,28	1,31	1,36
CP I CP II	0,59	0,78	0,90	1	1,08	1,12	1,14	1,18	1,20	1,22
CP V	0,66	0,82	0,92	1	1,07	1,09	1,11	1,14	1,16	1,17

7



8

## ***fib* (CEB-FIP) Model Code 1990**

bulletin d'information 213/214, May 1993

$$\mathbf{f}_{cd} = \mathbf{f}_{ck} / \gamma_c \quad \gamma_c = 1,4$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot \mathbf{f}_{cd}$$

para  $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow$   
 $f_{c,ef}$  (estructura)  $\approx 17.8 \text{ MPa}$

9

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}$$

(1.20)  $\cdot \gamma_{c1} \rightarrow s_{c,ef}$  da estrutura  $\geq s_c$

(1.05)  $\cdot \gamma_{c2} \rightarrow f_{c,ef}$  (est.)  $\neq f_c$  (c.p.)

(1.12)  $\cdot \gamma_{c3} \rightarrow$  dúvidas sobre R

10

para  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

→  $f_{cd} = 17.8 \text{ MPa}$

$\gamma_c = (1,4) = 7.2 \text{ MPa}$  ( $\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}$ )

$\gamma_{c1} = (1,20) = 3,1 \text{ MPa}$  ( $s_{c,ef} \text{ estructura} \geq s_c$ )

$\gamma_{c2} = (1,05) = 1,7 \text{ MPa}$  ( $f_{c,ef} \neq f_c \text{ c.p.}$ )

$\gamma_{c3} = (1,15) = 2,4 \text{ MPa}$  (dúvidas sobre R)

11

$f_{ck}$

25 MPa

80MPa

$\gamma_c$

17.8 MPa

57 MPa

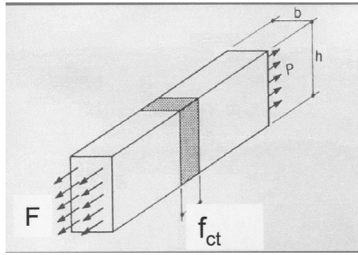
7.2 MPa

23 MPa

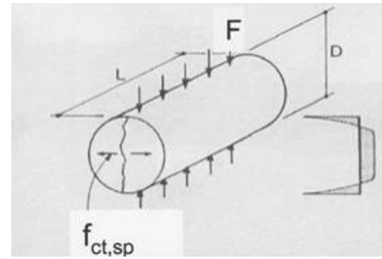
?

12

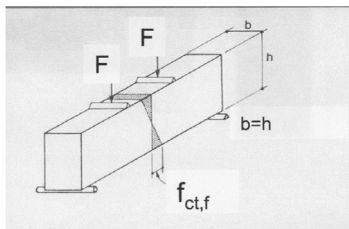
# Resistência a tração



**Direta** (determinada só em pesquisa, tomada como referência)  $f_{ct} = F/(bh)$



**Indireta** (NBR 7222-94)  
Compressão diametral  
 $f_{ct,sp} = 2 F/(\pi LD)$



**Flexão** (NBR 12142-91)  
 $f_{ct,f} = M_{cr}/(bh^2/6)$

13

## concreto 8.2.5 resistência à tração

$f_{ct} = 0,9 \cdot f_{ct,sp} \rightarrow$  NBR 7222  $\rightarrow$  compressão diametral

$f_{ct} = 0,7 \cdot f_{ct,f} \rightarrow$  NBR 12142  $\rightarrow$  tração na flexão

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \rightarrow \text{cálculo}$$

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \rightarrow \text{abertura de fissura, armadura transversal mínima}$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \rightarrow \text{armadura longitudinal mínima}$$

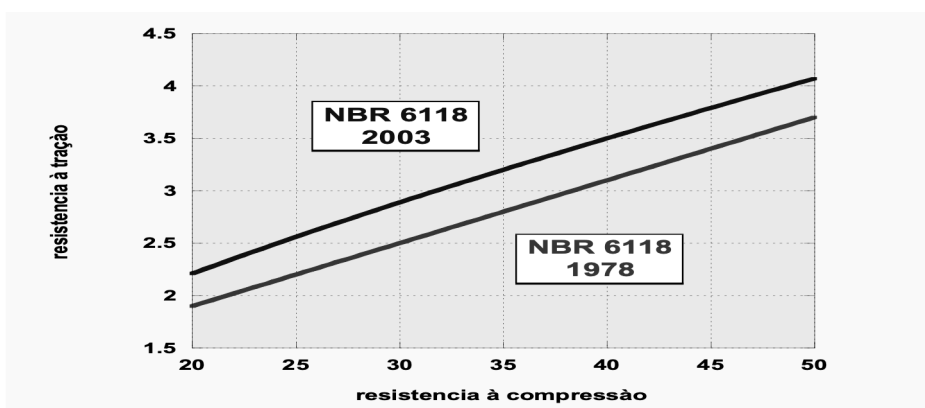
$f_{ckj} \geq 7 \text{ MPa}$ , vale para  $f_{ctj}$

14

## concreto      resistência à tração

$$f_{ctk} = f_{ck} / 10 \rightarrow \text{NBR 6118/78 para } f_{ck} \leq 18\text{MPa}$$

$$f_{ctk} = 0,06 \cdot f_{ck} + 0,7 \rightarrow \text{NBR 6118/78 para } f_{ck} > 18\text{MPa}$$



15

## Concreto      8.2.6 resistência no estado multiaxial de tensões

$$\sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_1$$

$$\sigma_1 \geq [ f_{ctk} ]$$

**1,3 a 1,4**

$$\sigma_3 \leq f_{ck} + 4 \cdot \sigma_1$$

$$\text{para } f_{ck} = 20\text{MPa} \rightarrow \sigma_3 \leq 28\text{MPa}$$

$$\text{para } f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow \sigma_3 \leq 66\text{MPa}$$

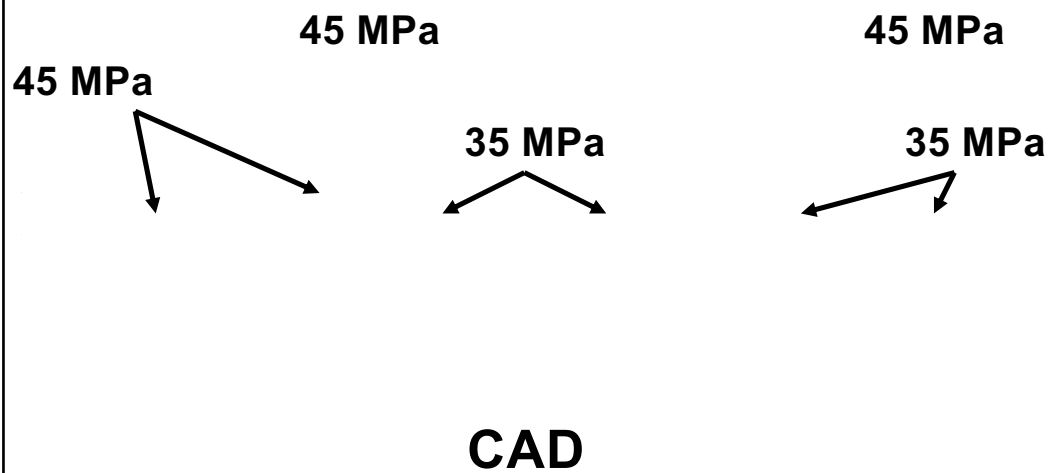
16



**Concreto**

## **resistência à compressão**

**Resistência no estado multiaxial de tensões**



17

# **Dutilidade**

18

# Dutilidade



19

# Confinamento

$$f_{c, \text{confinado}} \approx 1,4 \cdot f_c$$

$f_c$

35 MPa	25 MPa
70 MPa	50 MPa
175 MPa	125 MPa

20

**Concreto**

## **8.2.7 resistência à fadiga**

# **Itens 11.4.2.3 e 23.5.4**

21

**concreto**

## **8.2.8 módulo de elasticidade NBR 8522 → 0,3 f<sub>c</sub>**

**E<sub>ci</sub> ≡ inicial**

especificado no  
prometo ou  
controlado em obra

$$E_{cij} = 5600 f_{ckj}^{0,5}$$

j ≥ 7d

tensões e deformações de tração  
comportamento global  
perdas de protensão

**E<sub>cs</sub> ≡ secante**

$$E_{cs} = 0,85 \cdot E_c$$

tração e compressão  
estados limites de serviço

**variação**

$$E_c = a_1 \cdot a_2 \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$$

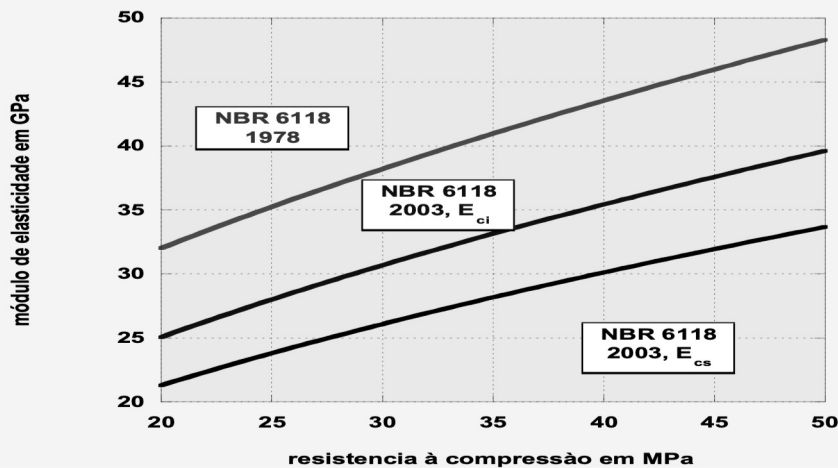
tabela A.1

22

concreto

## módulo de elasticidade NBR 6118 / 78

$$E_{ci} = 6.600 (f_{ck} + 3,5)^{0,5}$$



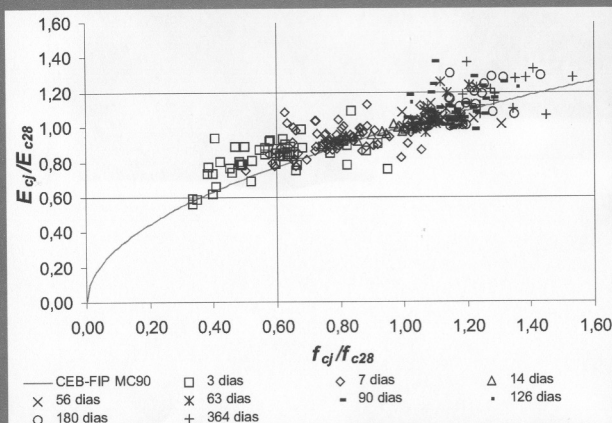
23

## Módulo de Elasticidade para idades diferentes a 28 dias

CEB-FIP MC90

$$\frac{E_{cj}}{E_{c28}} = \left( \frac{f_{cj}}{f_{c28}} \right)^{0,50}$$

$E_{cj}$  módulo de elasticidade do concreto na idade  $j$   
 $E_{c28}$  módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias



NBR 6118-03  
Mesma fórmula de  $E_{c28}$   
para  $j \geq 7$  dias

mas pode ser para  
 $j \geq 3$  dias

24

# Módulo de Elasticidade

$$E_{ci} = \alpha_1 \alpha_2 (5600 f_{ck}^{1/2})$$

Agregado graúdo	$\alpha_1$
Basalto, diabásio, calcário sedimentar, denso	1,1 a 1,2
Granito e Gnaiss	1,0
Calcário metafórfico, metasedimento	0,9
Arenito	0,7

$\alpha_1$  depende do agregado

$\alpha_2$  depende da consistência

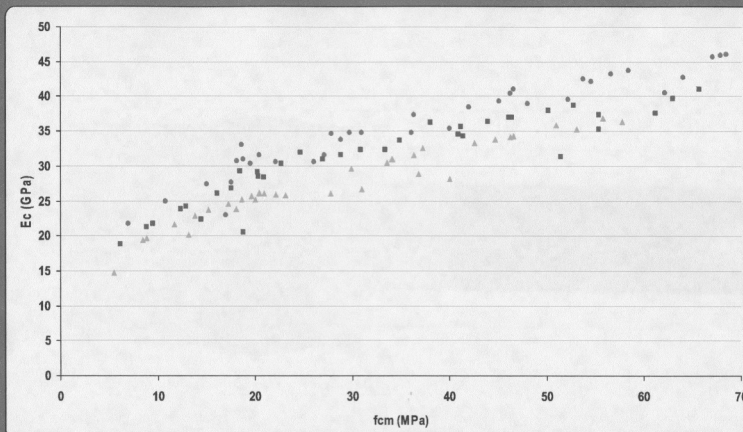
Consistência	$\alpha_2$
Fluída	0,9
Plástica	1,0
Seca	1,1

Consistência obtida sem aditivos

25

# Módulo de Elasticidade

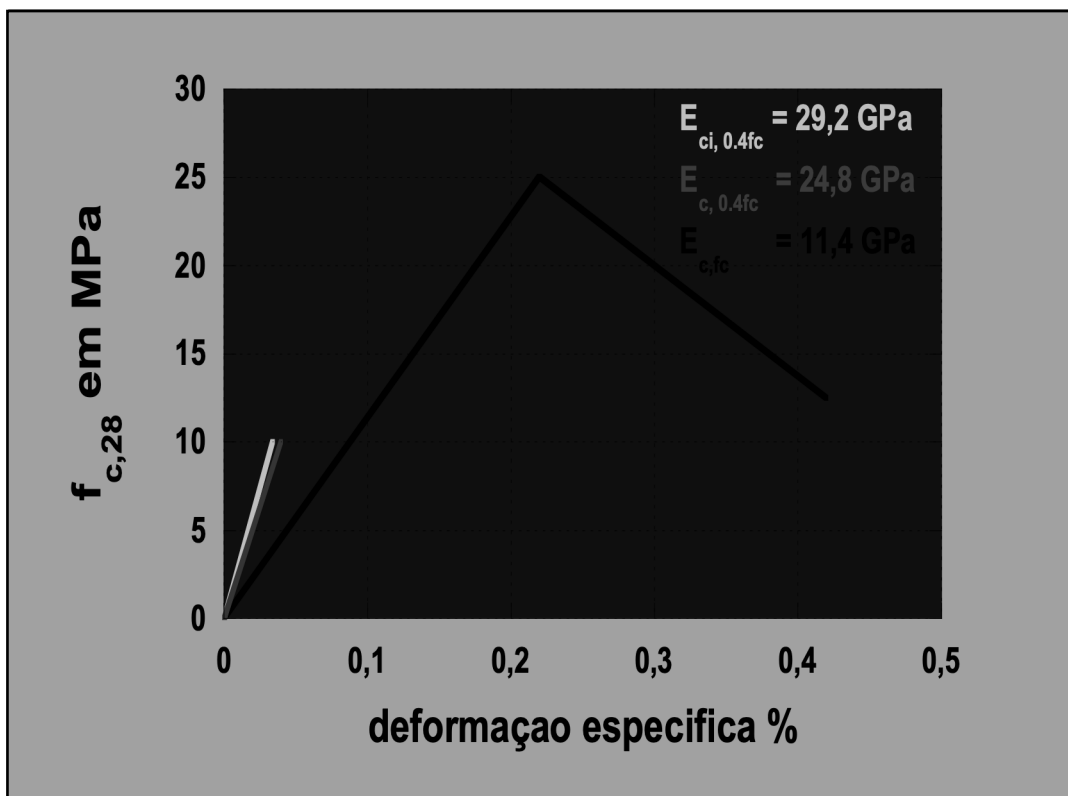
Concretos com agregados de São Paulo (brita de granito)



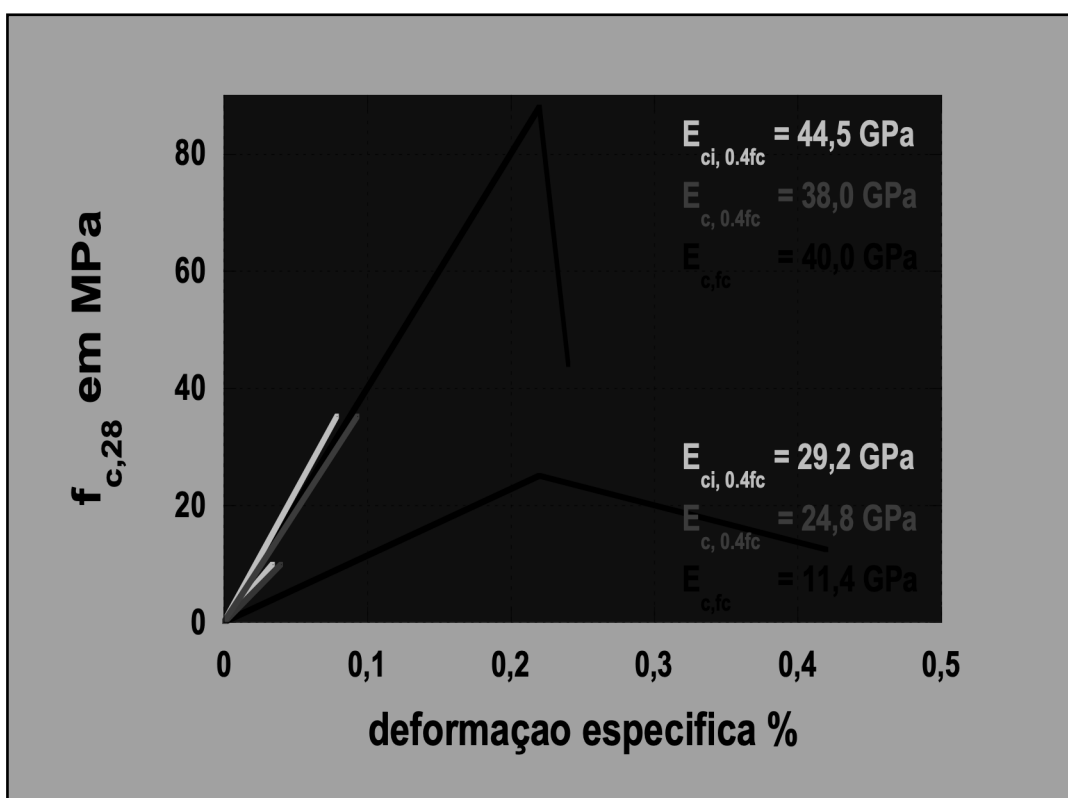
j = 3 a 364 dias  
Teor de argamassa  
seca constante  
 $f_{c,28} = 26$  a  $62$  MPa

● CONSISTÊNCIA SECA (50±5 mm)  
■ CONSISTÊNCIA PLÁSTICA (100±10 mm)  
▲ CONSISTÊNCIA FLUÍDA (200±25 mm)

26



27



28

# Propriedades dos materiais

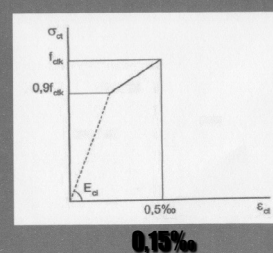
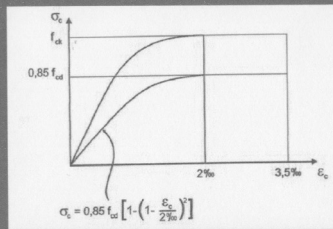
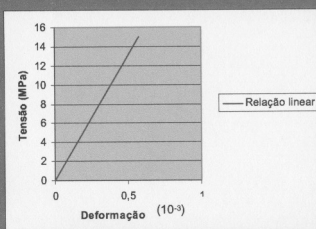
## 8.2.9 Coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade transversal

Para  $\sigma_c \leq 0,5 f_c$  ou  $f_{ct}$   $\nu = 0,2$   
 $G_c = 0,4 E_{cs}$

## 8.2.10 Diagramas tensão-deformação

$\sigma_c \leq 0,5 f_c$

Estado limite último



29

# Propriedades dos materiais

## 8.2.11 Fluência e Retração

Para  $\sigma_c \leq 0,5 f_c$  quando do primeiro carregamento, quando não é necessária grande precisão, o coeficiente de fluência e a deformação específica de retração da tabela abaixo podem ser usados ( T entre 10 e 20 °C, podendo-se admitir entre 0 e 40°C; concreto plástico) – Valores iguais aos da NBR 7197-89

Umidade Ambiente (%)		40		55		75		90	
Espessura Equivalente $2A_c/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\phi(t, t_0)$	$t_0$ (dias) 5	4,4	3,9	3,8	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1
	30	3,0	2,9	2,6	2,5	2,0	2,0	1,6	1,6
	60	3,0	2,6	2,2	2,2	1,7	1,8	1,4	1,4
$\epsilon_{cs}(t, t_0)$ ‰	$t_0$ (dias) 5	-0,44	-0,39	-0,37	-0,33	-0,23	-0,21	-0,10	-0,09
	30	-0,37	-0,38	-0,31	-0,31	-0,20	-0,20	-0,09	-0,09
	60	-0,32	-0,36	-0,27	-0,30	-0,17	-0,19	-0,08	-0,09

30

# **Resistência a Incêndio**

31

*NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001*

*HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa*

- 1. High-strength mixtures made with very low w/cm (0.22) showed less strength loss than with 0.33 w/cm.**
- 2. Explosive spalling was observed when the temperature of the specimen center was in the range of 200 and 325 °C.**

32

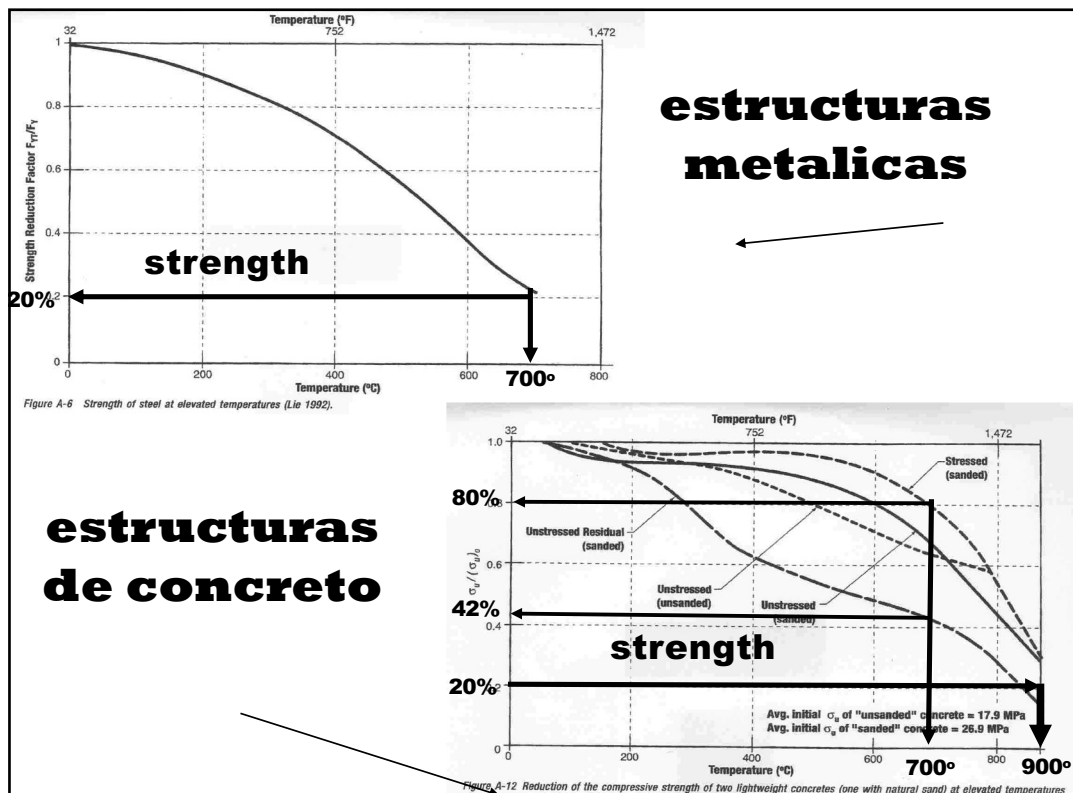


NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001

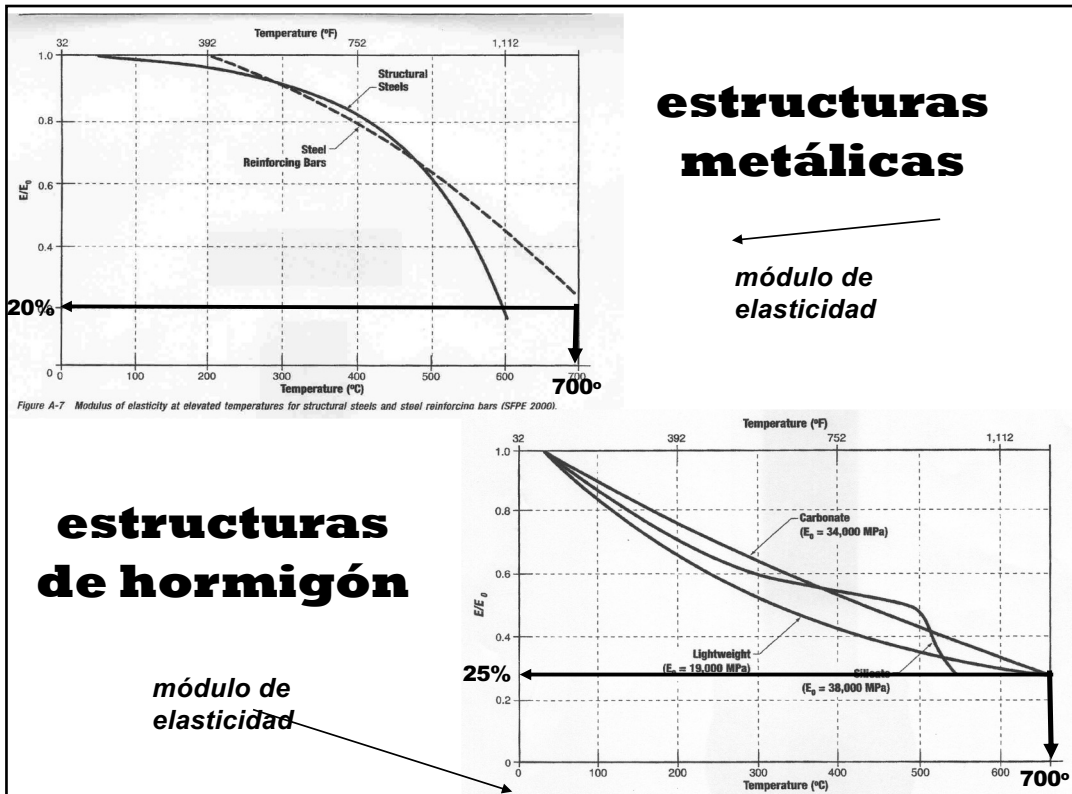
HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa.

- 3. Preload seems to have a mitigating effect on the development of explosive spalling.
- 4. For concrete samples casted with 0.22 w/cm, tested under restrained conditions, explosive spalling never occurred. Only occurred with some samples casted with 0.33 w/cm.

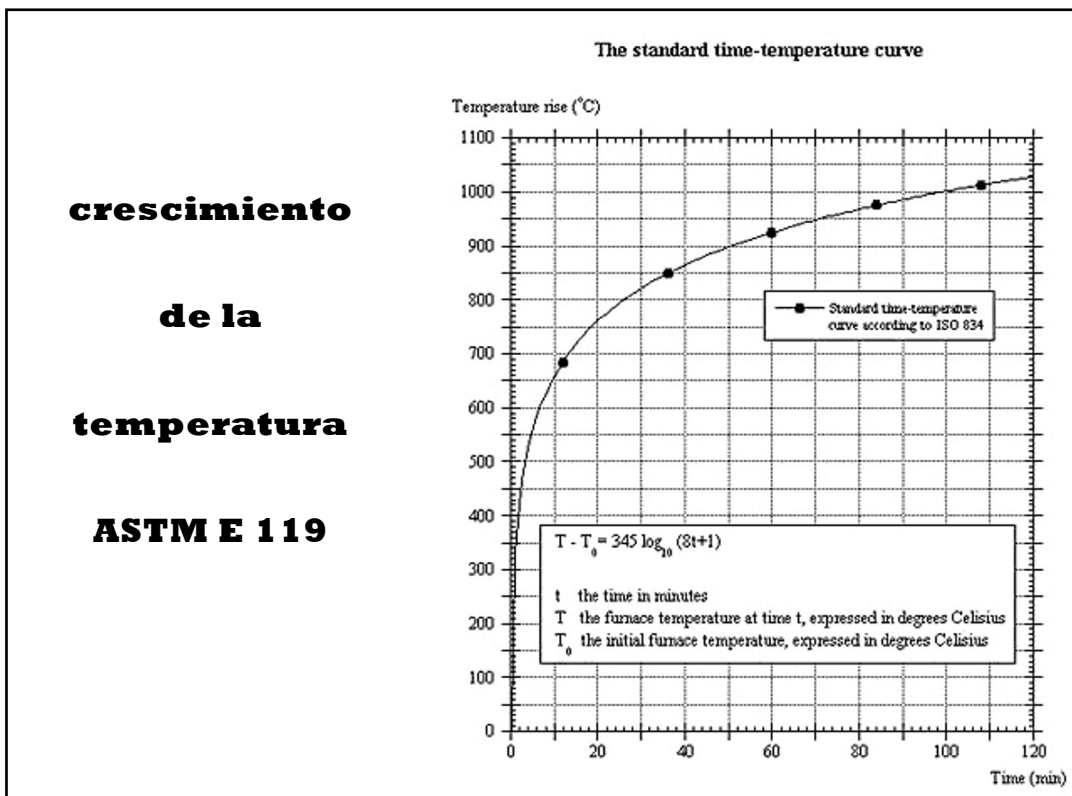
33



34



35



36

## Distribución de la temperatura en los perfiles metálicos

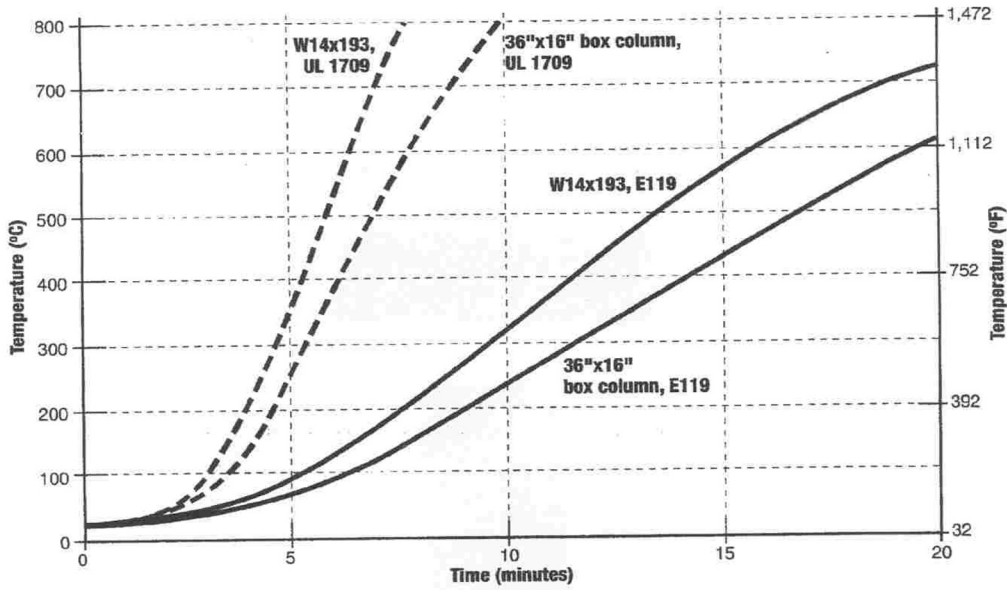
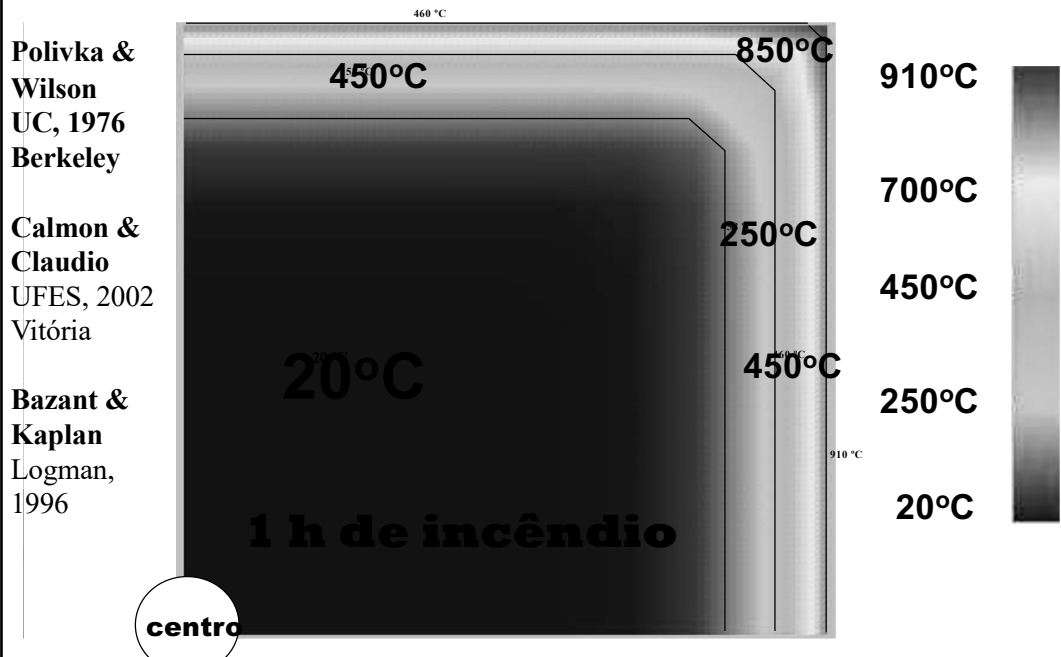


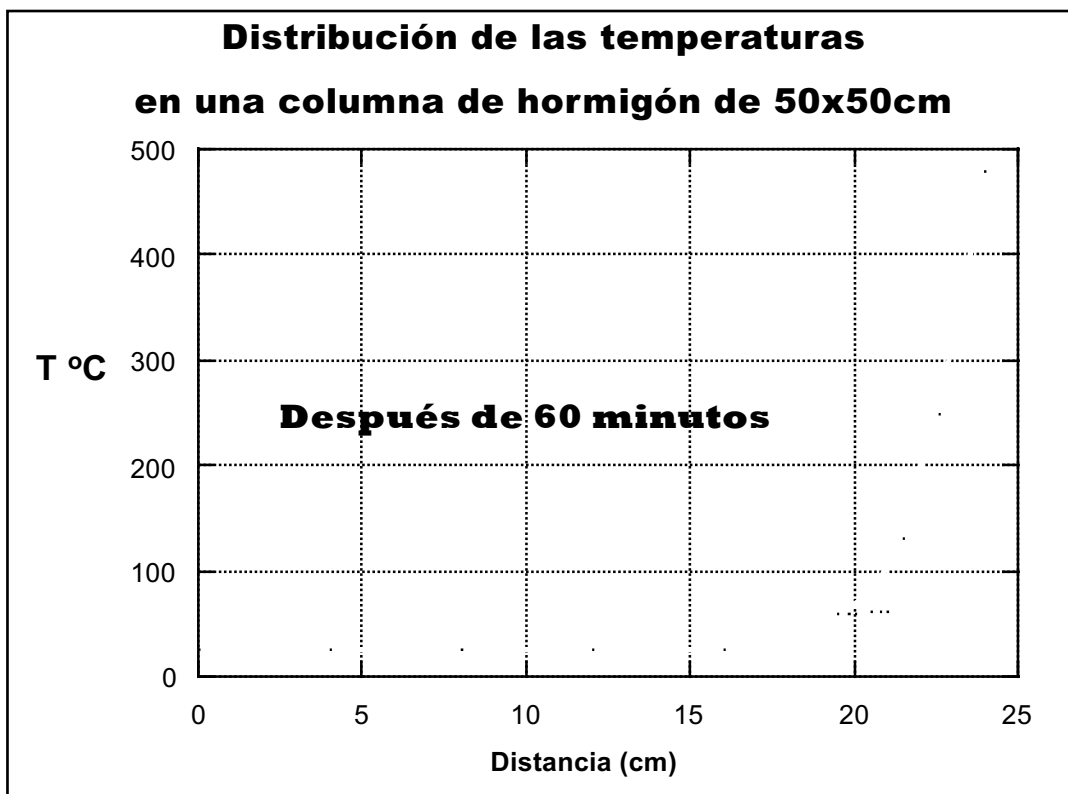
Figure A-9 Steel temperature rise due to fire exposure for unprotected steel column.

37

## Distribución de las temperaturas en una columna de hormigón de 50x50cm



38



39