

IBRACON
Instituto Brasileiro do Concreto

Projeto de Estruturas
de Concreto *Procedimento*
NBR 6118 Março 2003.2004

Paulo Helene

Prof. Titular, Universidade de São Paulo. Brasil

Eng. Paulo Helene

Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Chairman Red Rehabilitar CYTED XVI

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
Estrutural

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

2

Projeto de Estruturas de Concreto *Procedimento*

NBR 6118 Março 2003

Materiais

→ Concreto

→ Aço

Paulo Helene

Prof. Titular, Universidade de São Paulo. Brasil

3

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

4

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

5

Concreto 12.3.3 resistência de cálculo do concreto

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \rightarrow 28d \text{ de idade}$$

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

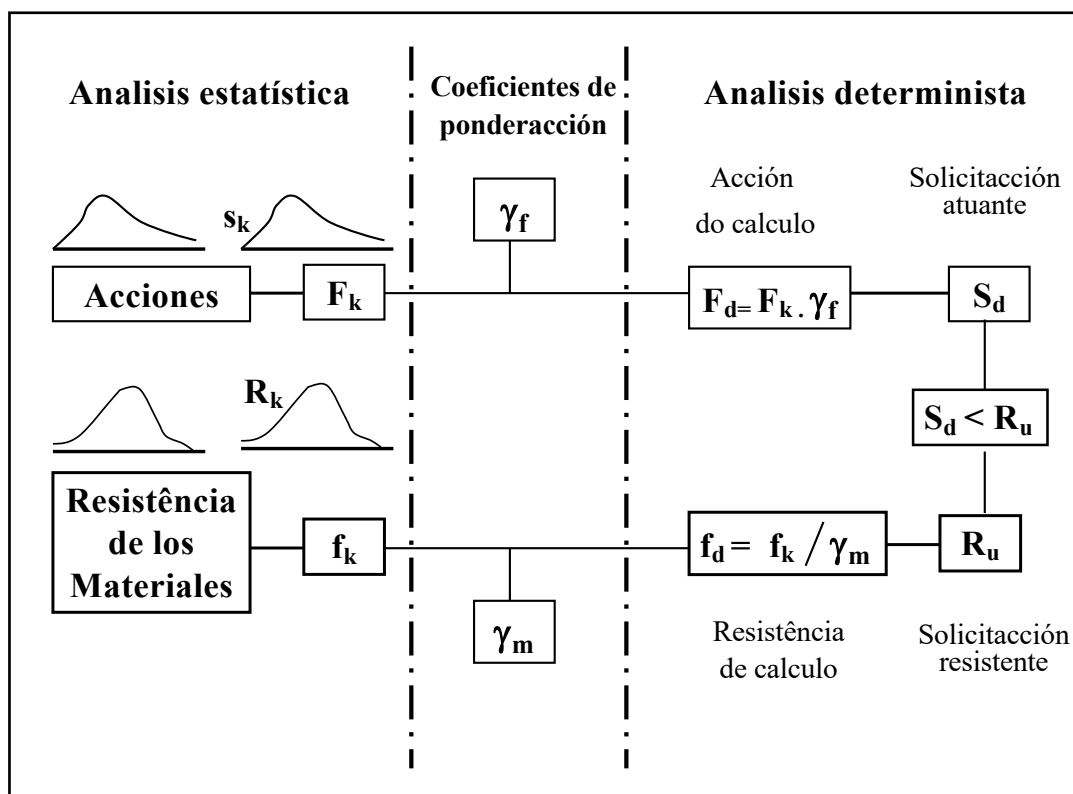
$S = 0,38 \rightarrow \text{CP III e CP IV}$
 $S = 0,25 \rightarrow \text{CP I e CP II}$
 $S = 0,20 \rightarrow \text{CP VARI}$
 $t, j \rightarrow \text{idade em dias}$

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 $\mathbf{f}_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow$
 $\mathbf{f}_{c,ef} \text{ (estrutura)} \approx 17.8 \text{ MPa}$

9

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

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

$(1.05) \cdot \gamma_{c2} \rightarrow \mathbf{f}_{c,ef} \text{ (est.)} \neq \mathbf{f}_c \text{ (c.p.)}$

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

10

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

$\rightarrow f_{cd} = 17.8 \text{ MPa}$

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

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

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

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

11

f_{ck}

25 MPa

80MPa

γ_c

17.8 MPa

57 MPa

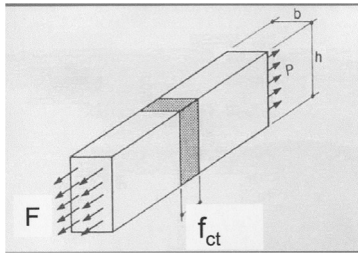
7.2 MPa

23 MPa

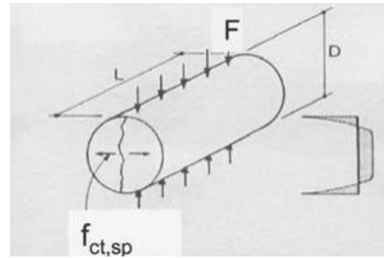
?

12

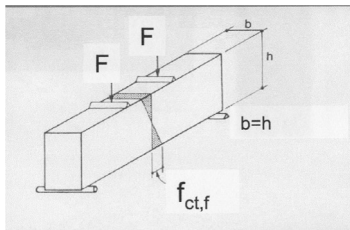
Resistência a tração



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}

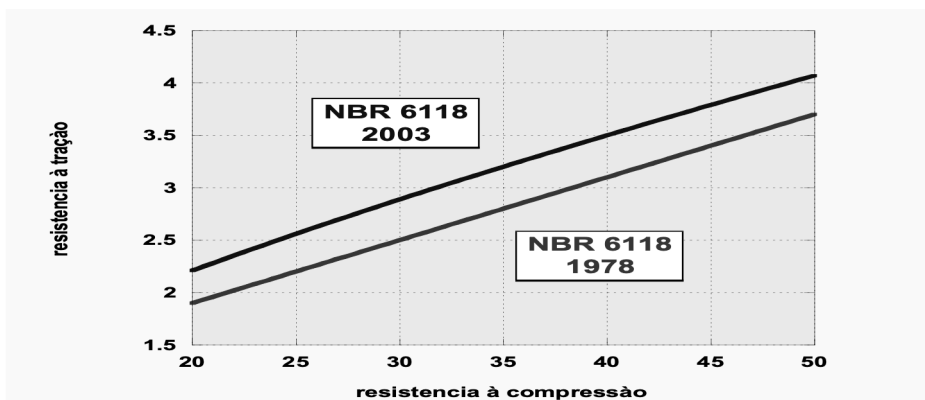
14

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

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

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

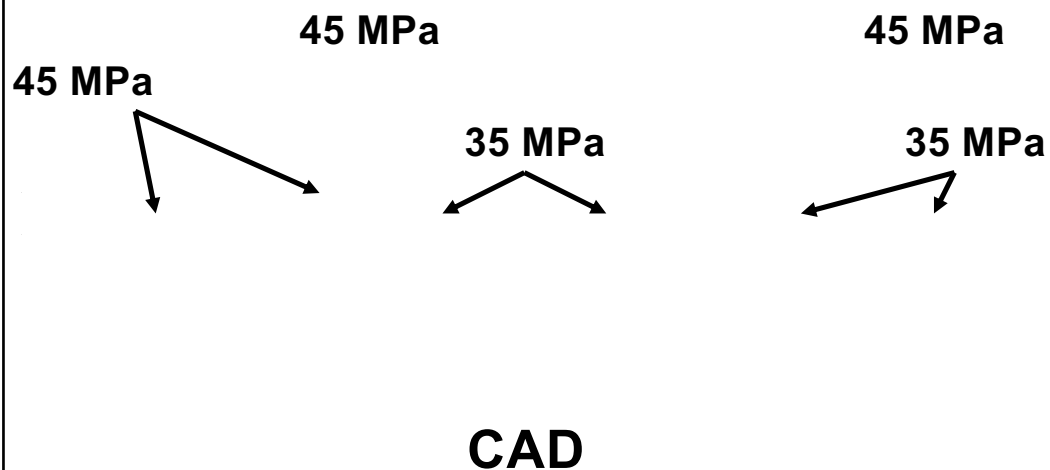
$$\text{para } f_{ck} = 50\text{ MPa} \rightarrow \sigma_3 \leq 66\text{MPa}$$

16

Concreto

resistência à compressão

Resistência no estado multiaxial de tensões



17

Dutibilidade

18

Dutibilidade



19

Confinament

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

f_c

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

20

Itens 11.4.2.3 e 23.5.4

21

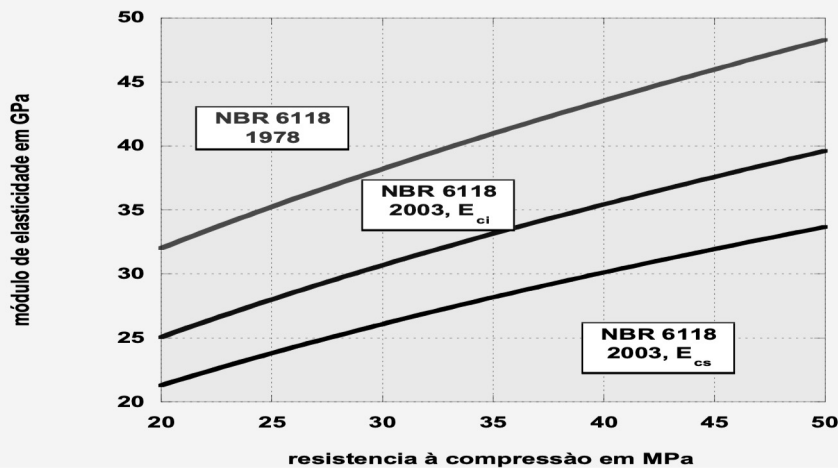
 $E_{ci} \equiv$ inicialespecificado no
projeto ou
controlado em obra **$E_{cij} = 5600 f_{ckj}^{0,5}$** $j \geq 7d$ tensões e deformações de tração
comportamento global
perdas de protensão **$E_{cs} \equiv$ secante** **$E_{cs} = 0,85 \cdot E_c$** tração e compressão
estados limites de serviço**variação** **$E_c = a_1 \cdot a_2 \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$**
tabela A.1

22

concreto

módulo de elasticidade NBR 6118 / 78

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



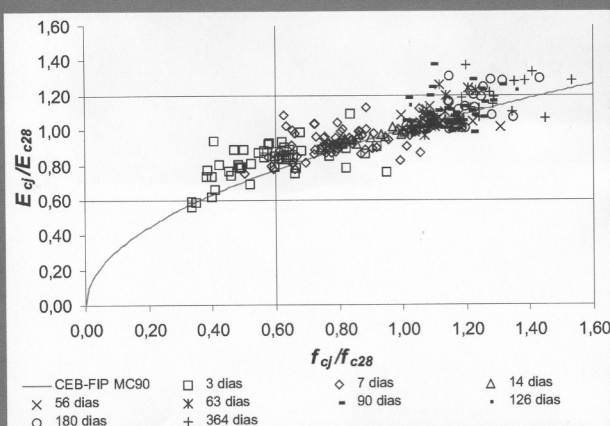
23

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	α_1
Basalto, diabásio, calcário sedimentar, denso	1,1 a 1,2
Granito e Gnaiss	1,0
Calcário metafórfico, metasedimento	0,9
Arenito	0,7

α_1 depende do agregado

α_2 depende da consistência

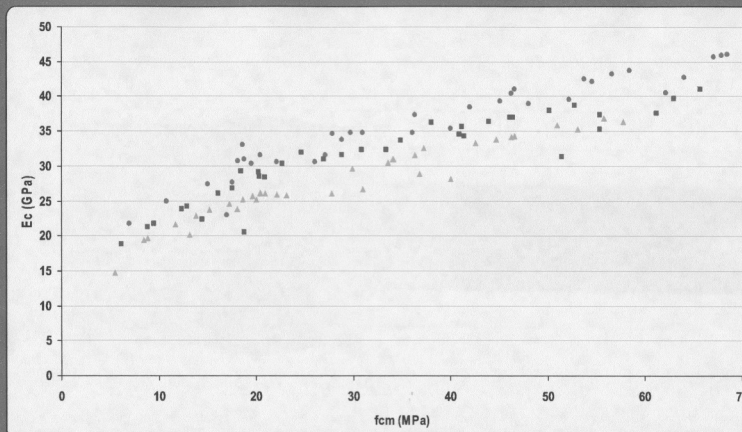
Consistência	α_2
Fluída	0,9
Plástica	1,0
Seca	1,1

Consistência obtida sem aditivos

25

Módulo de Elasticidade

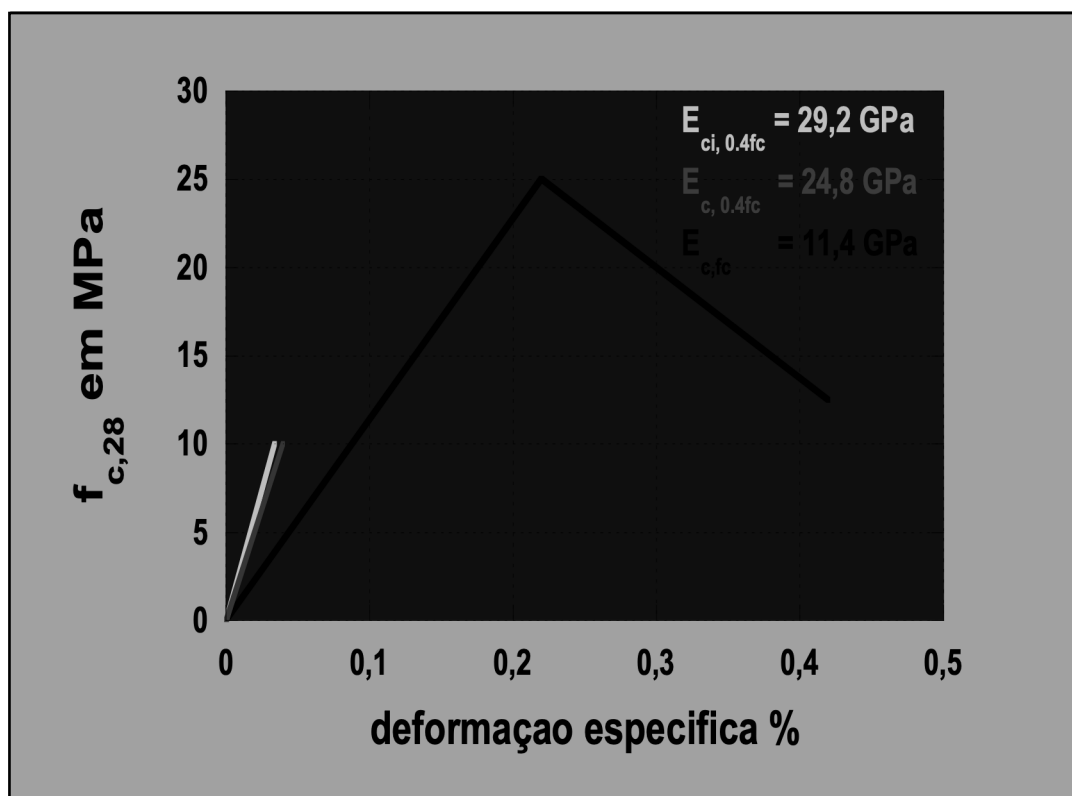
Concretos com agregados de São Paulo (brita de granito)



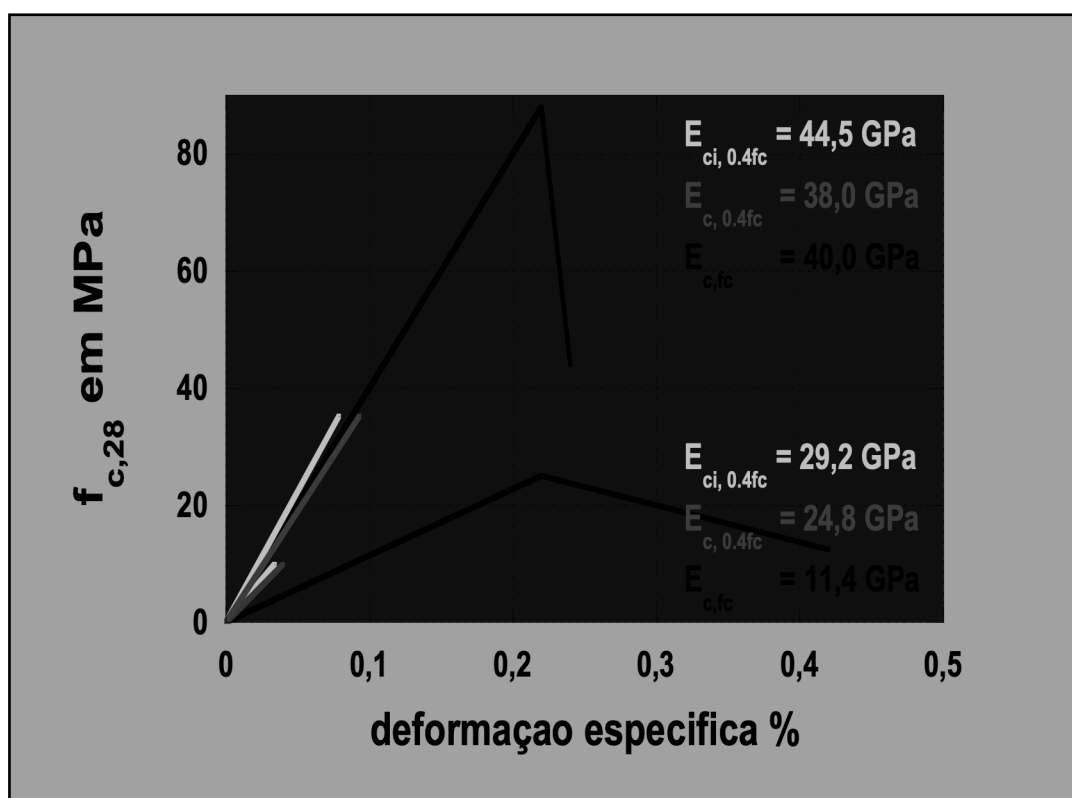
j = 3 a 364 dias
Teor de argamassa
seca constante
 $f_{c,28} = 26$ a 62 MPa

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

26



27



28

Propriedades dos materiais

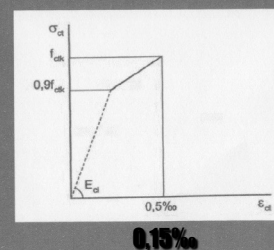
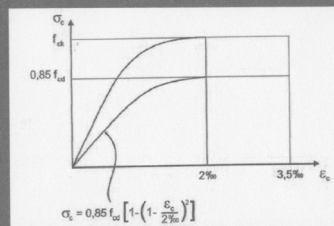
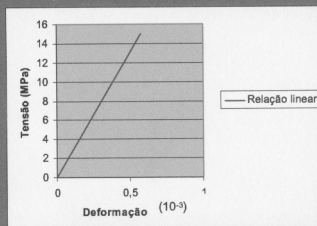
8.2.9 Coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade transversal

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
$\varphi(t, t_0)$	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
	%O 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

Aço

COMPONENTES

Principal componente não metálico: carbono (C)

Ligas de ferro: manganês (Mn), silício (Si), cromo (Cr), níquel (Ni), Cobre (Cu), alumínio (Al)

Microligas: vanádio (V), nióbio (Nb), titânio (Ti), boro (B)

Impurezas: fósforo (P), enxofre (S), nitrogênio (N)

- C, Si, N pioram a soldabilidade
- S fragiliza o aço durante a soldagem
- V e Nb melhoram a soldabilidade
- C e P são os componentes que mais aumentam f_y e f_{st} . Junto com Si, Mn e Cr, melhoram f_y e f_{st} , mas pioram a ductilidade. Ni melhora ambas as propriedades

PROPORÇÕES

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Laminação a quente, laminação a frio, trefilação, etc

31

Propriedades dos materiais

8.3 AÇO DE ARMADURA PASSIVA

8.3.1 CATEGORIA

CA-25, CA-50, CA-60

Diâmetros e seções nominais segundo a NBR 7480-96

8.3.2 TIPO DE SUPERFÍCIE

Conformação superficial, configuração e geometria de saliências ou mossas de acordo com NBR 7480-96 e, no caso de solicitações cíclicas importantes, também a seção 23.

Tipo de barra	Coeficiente de conformação superficial	
	η_b (ensaio)	η_1 (cálculo de f_{bd})
Lisa (CA 25)	1,0	1,0
Entalhada (CA 60)	1,2 (1,5?)	1,4
Alta aderência (CA 50)	$\geq 1,5$	2,25

32

Propriedades dos materiais

8.3.3 MASSA ESPECÍFICA

7850 kg/m³

8.3.4 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA

10x10⁻⁶/°C (T entre -20 e 150°C)

8.3.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na falta de ensaios ou de valor fornecido pelo fabricante, pode-se admitir $E_s = 210$ GPa

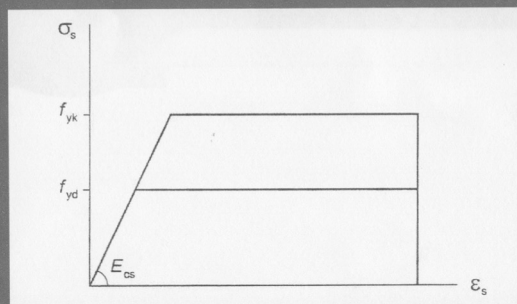
33

Propriedades dos materiais

8.3.6 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO, RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO E À TRAÇÃO

Diagrama, f_{yk} , f_{stk} , ϵ_{uk} devem ser obtidos de ensaios segundo a NBR 6152-88

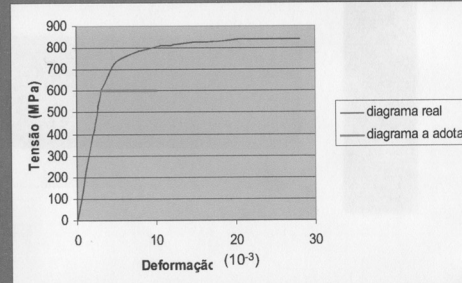
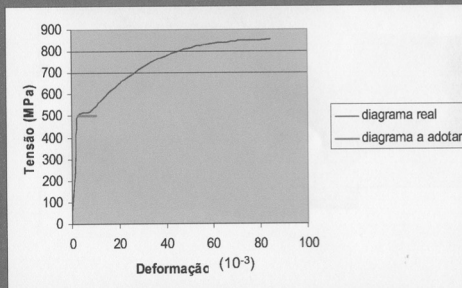
Para cálculo, nos estados-limite de serviço e último, pode-se adotar diagrama simplificado



34

Diagramas do aço de armadura passiva

Aço CA 50 pode ter ou não patamar de escoamento (laminado a quente)
Aço CA 60 não tem patamar de escoamento (laminado a frio ou trefilado)



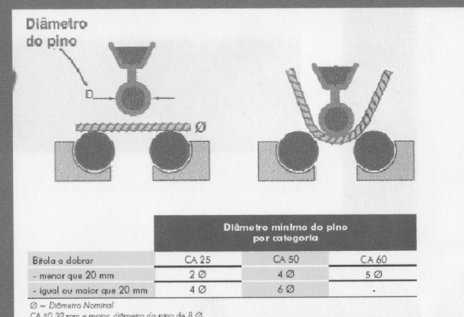
35

Propriedades dos materiais

8.3.7 CARACTERÍSTICAS DE DUCTILIDADE

f_{stk}/f_{yk} e ϵ_{yk} atendem NBR 7480-96, ensaios de dobramento segundo a NBR 6153-88 sem ocorrer fissuração e ruptura

Aço	f_y	f_{st}/f_y	ϵ_{su} em 10ϕ (%)
CA 25	250	1,20	18
CA 50	500	1,10	8
CA 60	600	1,05	5



CA-25 e CA-50 considerados de alta ductilidade
CA-60 ductilidade normal

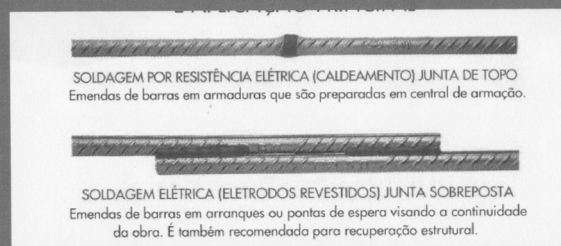
36

Propriedades dos materiais

8.3.9 SOLDABILIDADE

Composição do aço de acordo com limites estabelecidos na NBR 8965-85

Emenda deve ser ensaiada segundo a NBR 8548-84 e atender condições de carga de ruptura e deformação plástica mínima



37

Propriedades dos materiais

8.4 AÇO DE ARMADURA ATIVA

8.4.1 CLASSIFICAÇÃO

De acordo com NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

8.4.2 MASSA ESPECÍFICA

7850 kg/m³

8.4.3 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA

10x10⁻⁶/°C (T entre -20 e 100°C)

8.4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na falta de ensaios ou de valor fornecido pelo fabricante, pode-se admitir $E_s = 200$ GPa

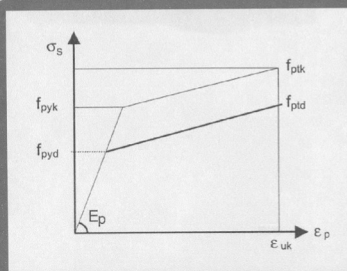
38

Propriedades dos materiais

8.4.5 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO, RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO E À TRAÇÃO

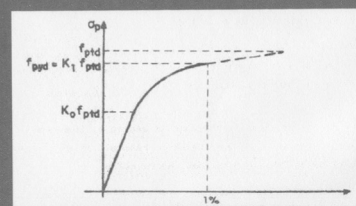
Diagrama deve ser obtido de ensaios segundo a NBR 6349-91 (fios, cordoalhas, barras) ou fornecido pelo fabricante. Os valores de f_{pyk} , f_{ptk} , ϵ_{uk} devem atender a NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

Para cálculo, nos estados-limite de serviço e último, pode-se adotar diagrama simplificado



?

NBR 7187-87



39

Propriedades dos materiais

8.4.6 DUCTILIDADE

ϵ_{uk} atendendo a NBR 7482-91 (fios) e a NBR 7483-91 (cordoalhas), aço de ductilidade normal

Ensaio de dobramento de fios segundo a NBR 6004-84 deve atender a NBR 7482-91

8.4.8 RELAXAÇÃO

Os resultados dos ensaios de relaxação segundo a NBR 7484-91 devem atender a NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

Para efeito de projeto pode-se considerar o que consta na tabela

Relaxação a 1000h a 20°C (%)

	Cordoalhas		Fios		Barras	NBR 7197-89	
Tensão	RN	RB	RN	RB		RN	RB
0,6 f_{ptk}	3,5	1,3	2,5	1,0	1,5	4,5	1,5
0,7 f_{ptk}	7,0	2,5	5,0	2,0	4,0	7,0	2,5
0,8 f_{ptk}	12,0	3,5	8,5	3,0	7,0	12,0	3,5

40

Resistência a Incêndio

41

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.**

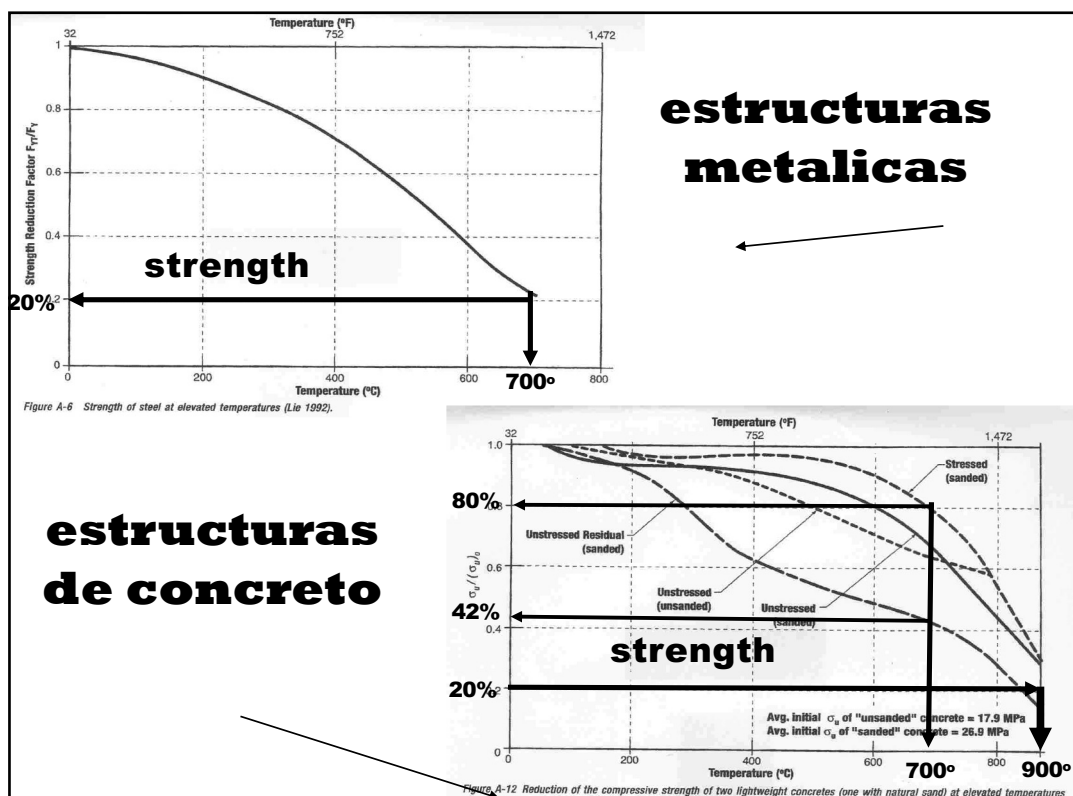
42

NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001

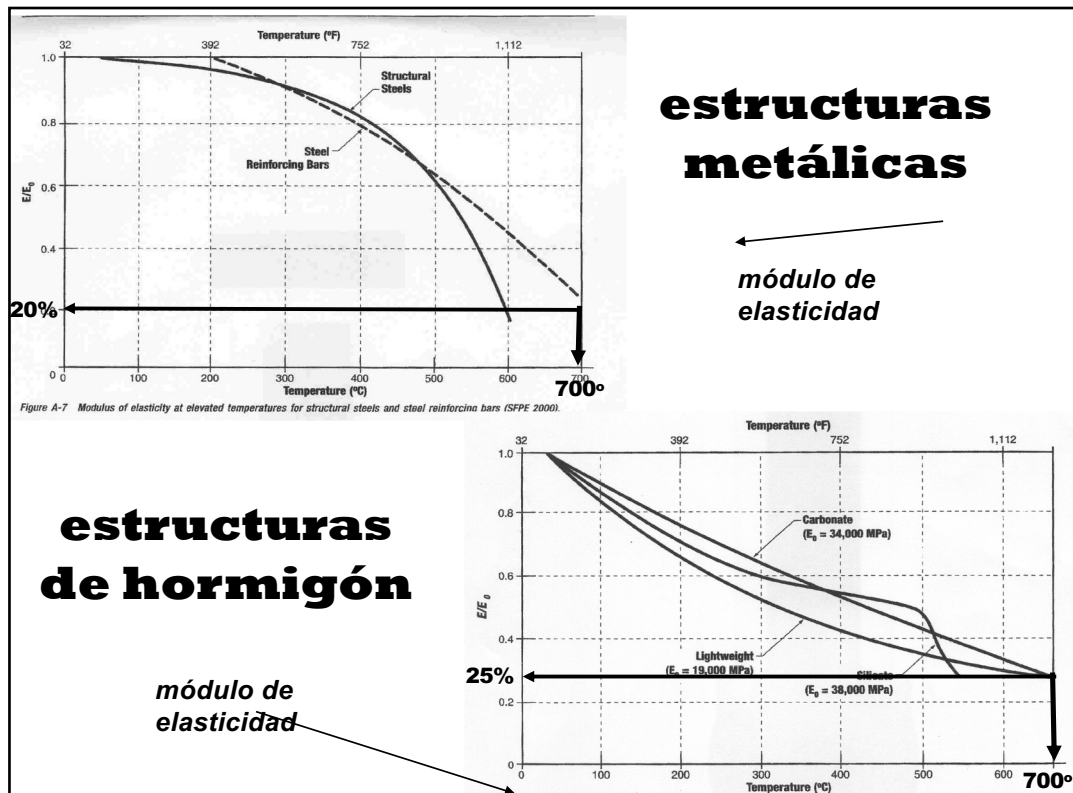
HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa.

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.

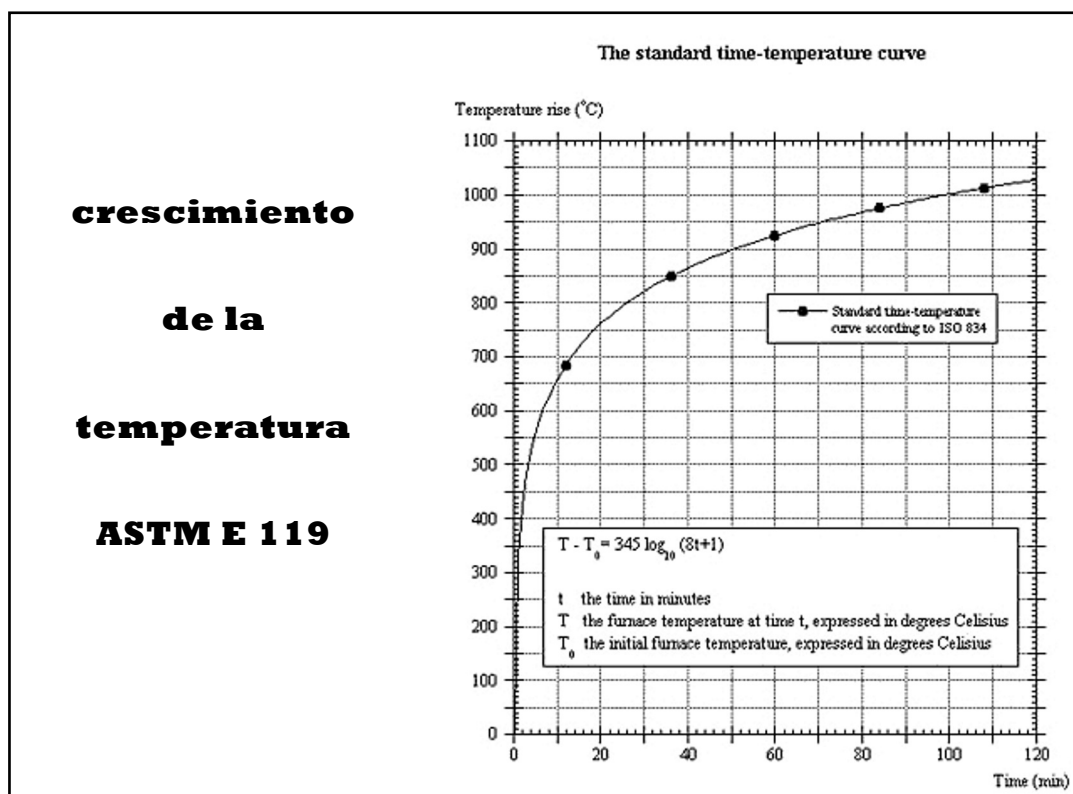
43



44



45



46

Distribución de la temperatura en los perfiles metálicos

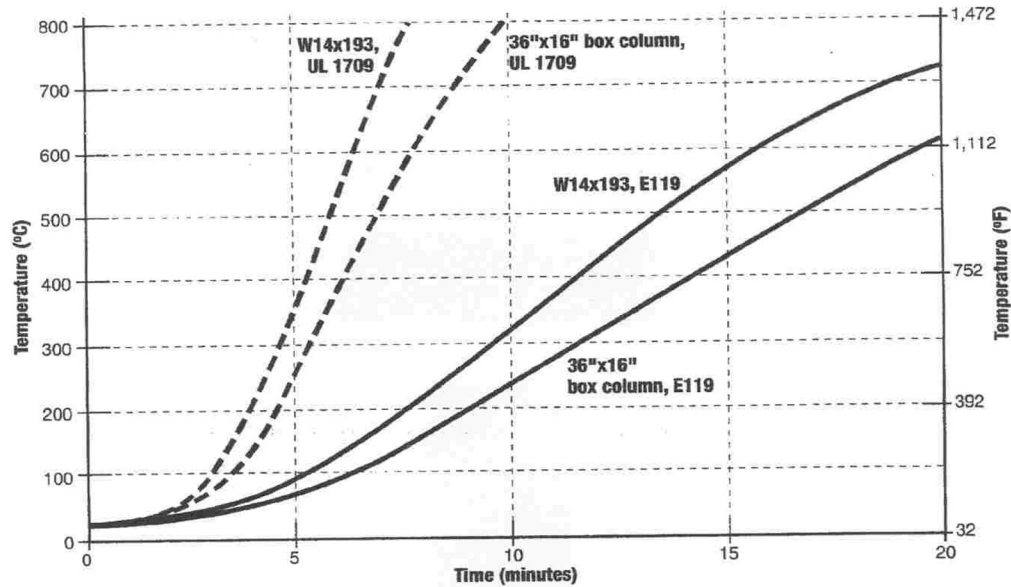
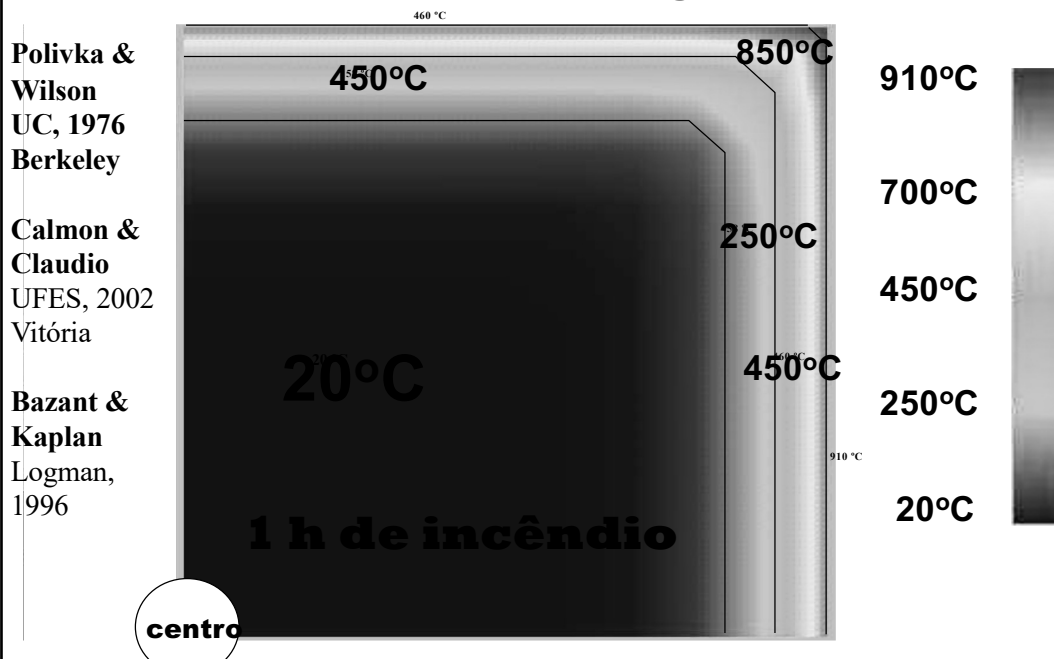


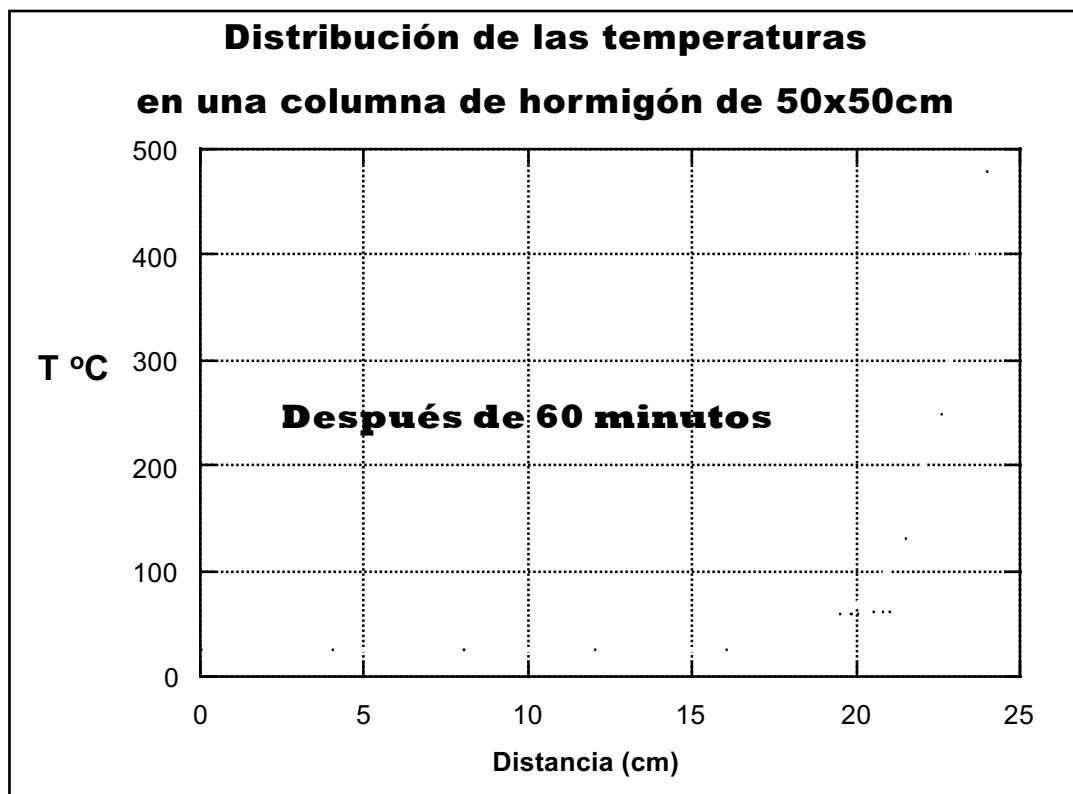
Figure A-9 Steel temperature rise due to fire exposure for unprotected steel column.

47

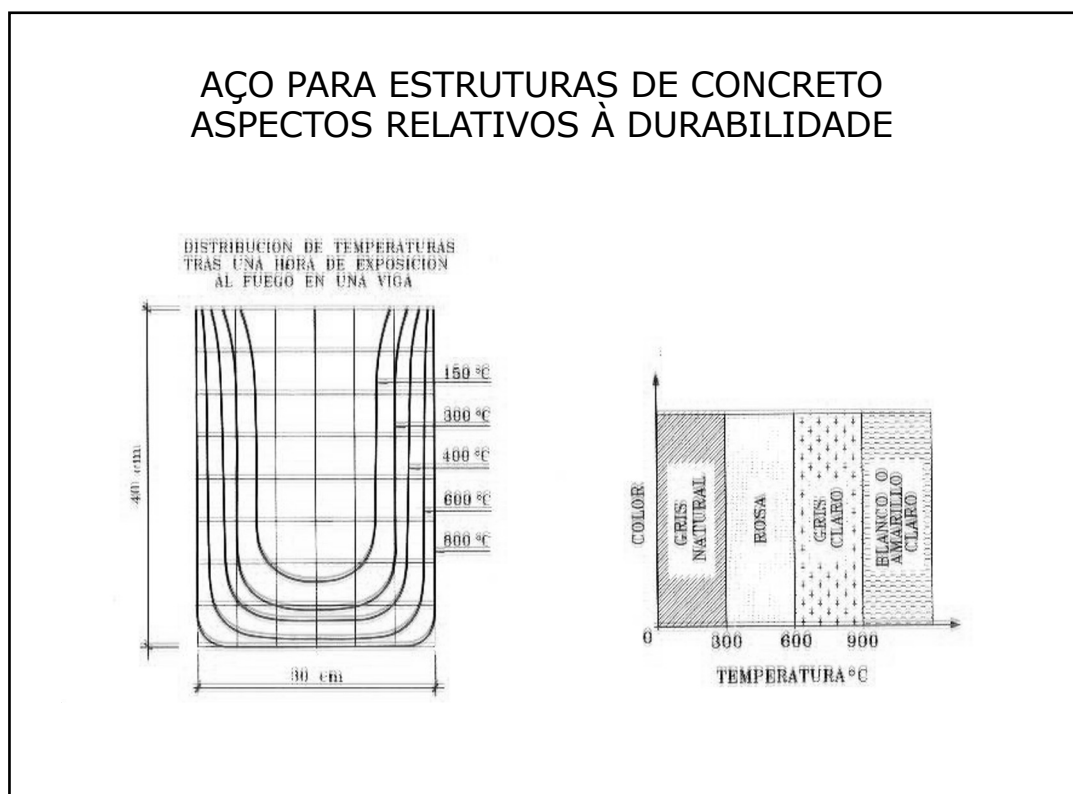
Distribución de las temperaturas en una columna de hormigón de 50x50cm



48



49



50

AÇO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ASPECTOS RELATIVOS À DURABILIDADE

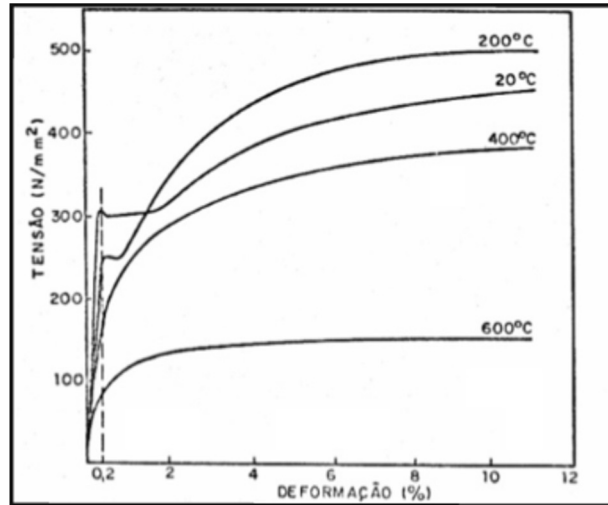


Diagrama **Tensão Deformação** em diferentes temperaturas Aço ASTM A36