



Patología de Estructuras sometidas a fuego

4ª JORNADA DE AVANCES EN DISEÑO Y TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN
Lunes 19 de noviembre de 2018 - 8 a 13 hs - Facultad de Ingeniería

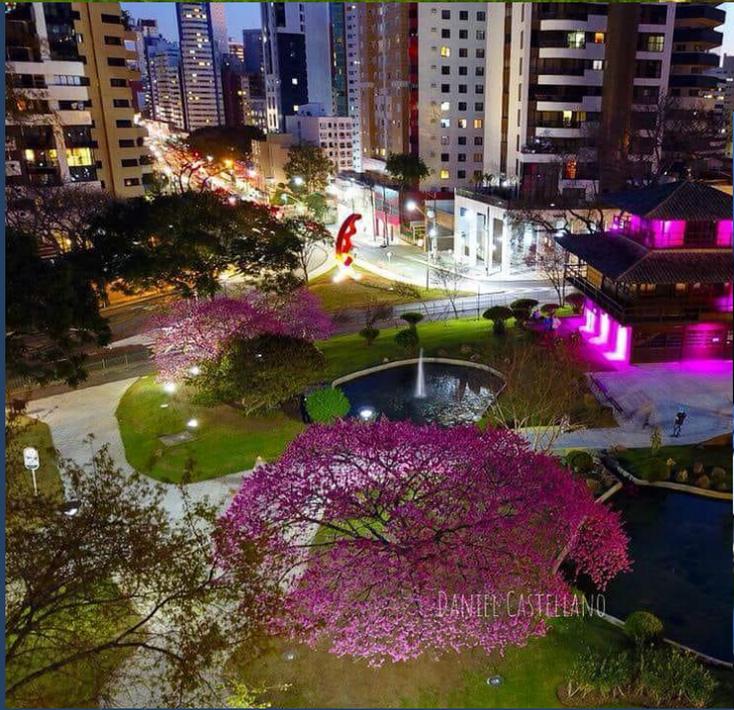
Anfitrieteatro del Edificio Polifuncional José L. Massera, anexo a la Facultad de Ingeniería (UdelaR) Senda Nelson Landoni esq. Julio Herrera y Reissig, Montevideo



Prof. Roberto Dalledone Machado
Universidade Federal do Paraná – BRASIL

Localização do Paraná





DANTELL CASTELLANO



UNIVERSIDADE DO PARANÁ

Resumen

1. Acciones Excepcionales
2. Casos impactantes
3. Incendio
4. Mecanismos de transmisión de calor
5. Efecto Térmico en el Concreto
6. Efecto Térmico en los Aceros
7. Estructuras de Madera
8. Simulación Computacional
9. Cierre

Acciones Excepcionales





(a) TORNADO / FURACÁN



(b) TERREMOTO



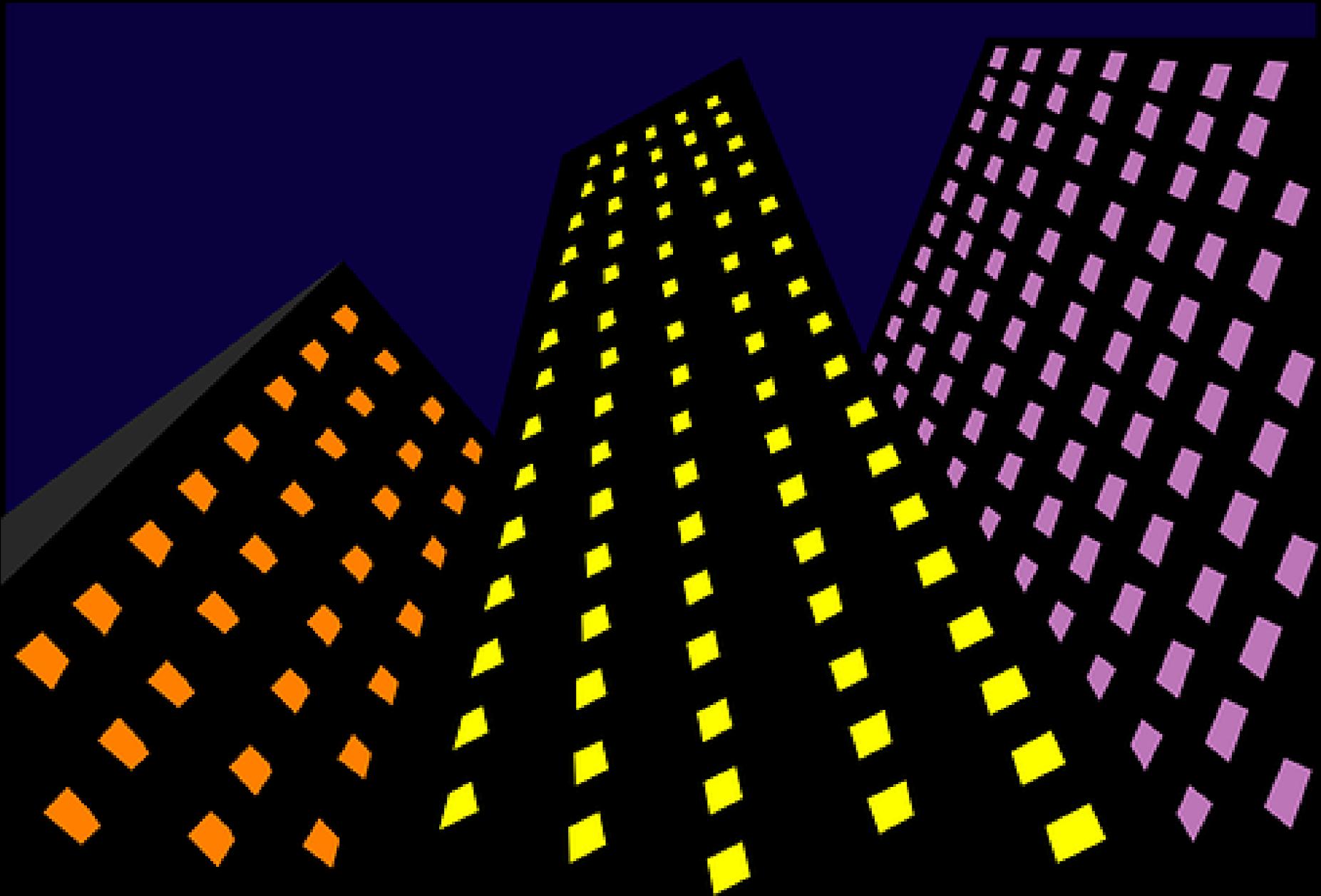
(c) EXPLOSIÓN



(d) INCENDIO

CALIFORNIA – USA – NOVEMBRO 2018





MUSEU NACIONAL – RIO DE JANEIRO (02/09/2018)















Incendio en SP (01/05/2018)











INCÊNDIO DE GRANDES PROPORÇÕES NO CENTRO DE SÃO PAULO

A night-time photograph of a multi-story building on fire. The building is illuminated by a reddish-orange glow from the fire. A person is visible on the right side of the building, possibly a firefighter or a person in distress. The sky is dark, and the overall scene is dramatic and urgent.

INCÊNDIO DE GRANDES PROPORÇÕES NO CENTRO DE SÃO PAULO

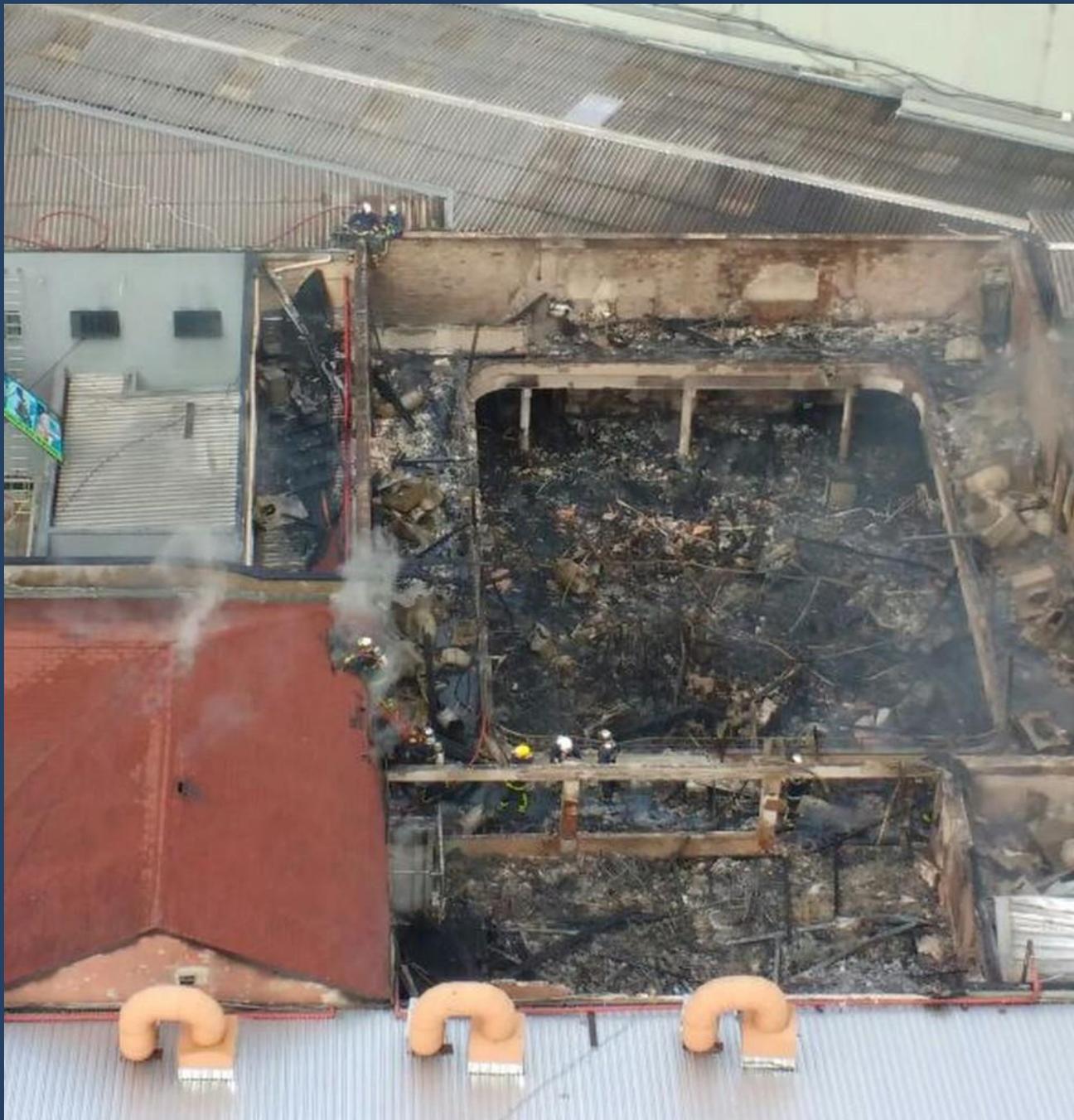
Sociedad Verde Agua - Curitiba PR (11/11/2017)











Incendio en el Edificio Grenfell en Londres (14/06/2017 - 12 muertos)









Incendio en el edificio Eletrobrás - RJ

(2004)



Incendio en el Shopping Total - Porto Alegre - RS (2007)

EDIFICIO JOELMA (1974 Y HOY)



EDIFICIO ANDRAUS (1972 y HOY)



INICIO DE INCENDIO

Incendio "Experimental"

Cardington Fire Tests



Incendio "Experimental"

Cardington Fire Tests





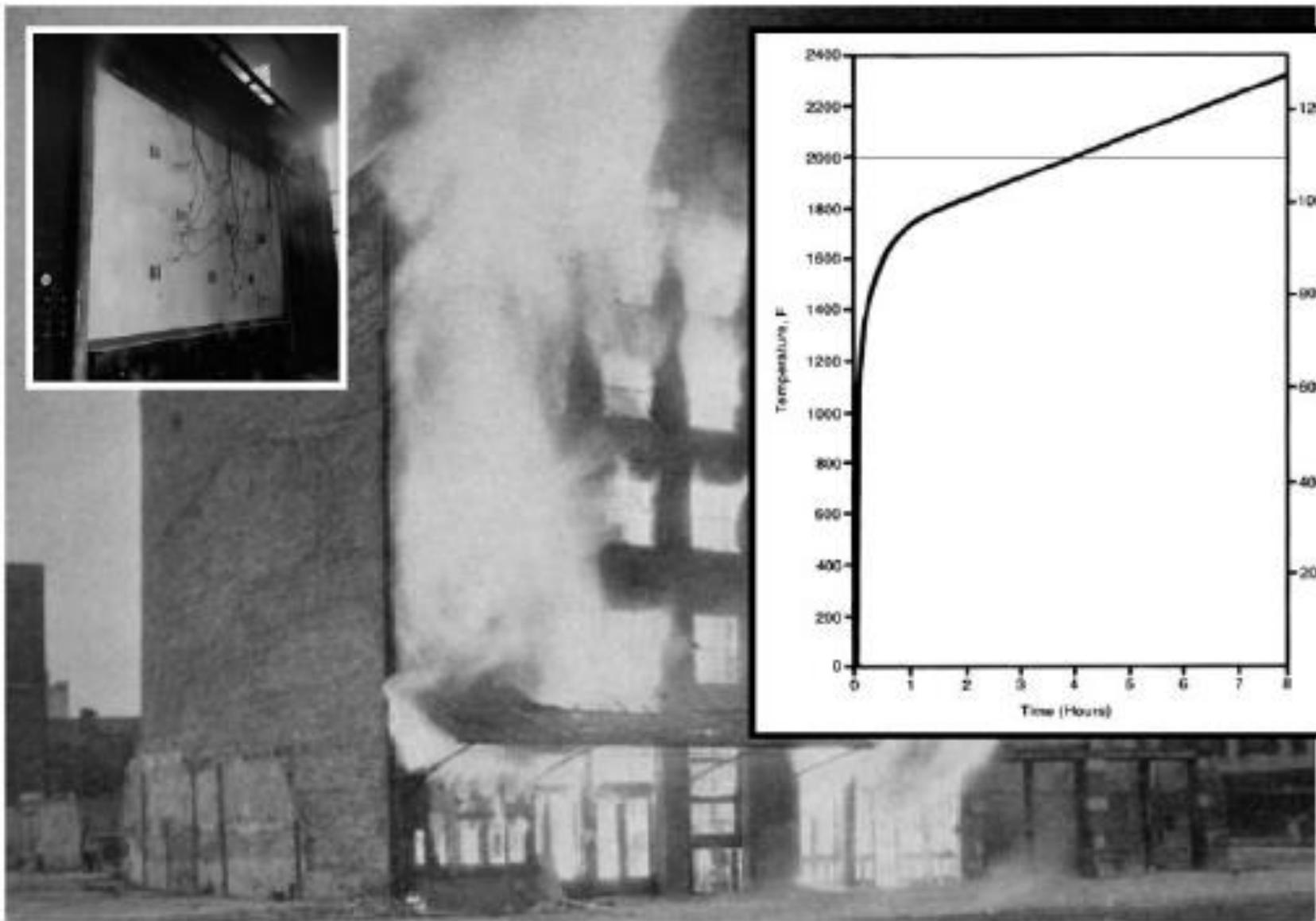


Figura 2.19 – Edifício em chamas como parte de uma série de testes realizados para desenvolver a curva temperatura x tempo (Fonte: NISTIR 6890, 2002).

Curva Temperatura - Tempo

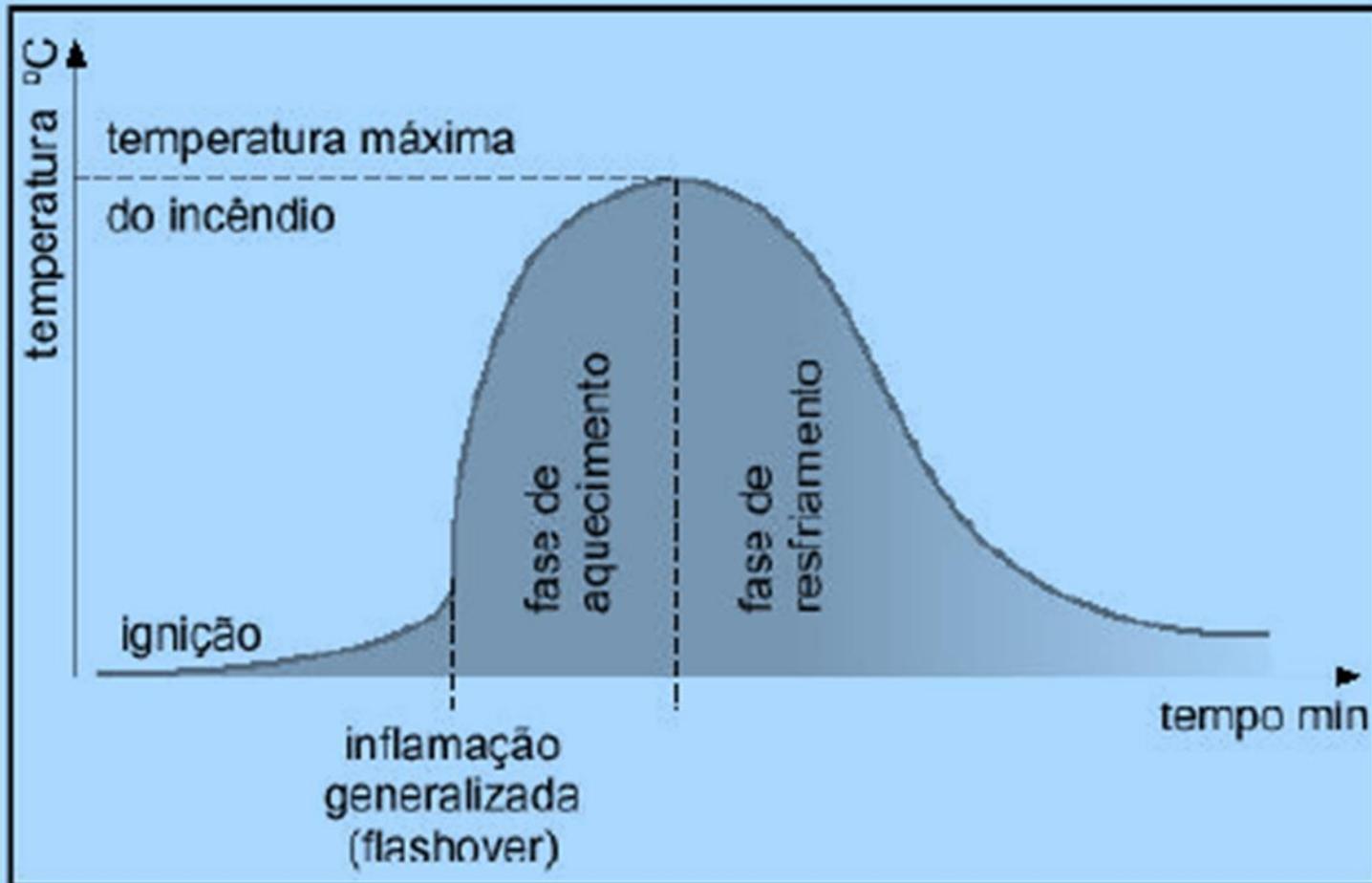


Figura 2.4 - Curva temperatura-tempo para incêndios naturais

Curvas Estándar de Incendios

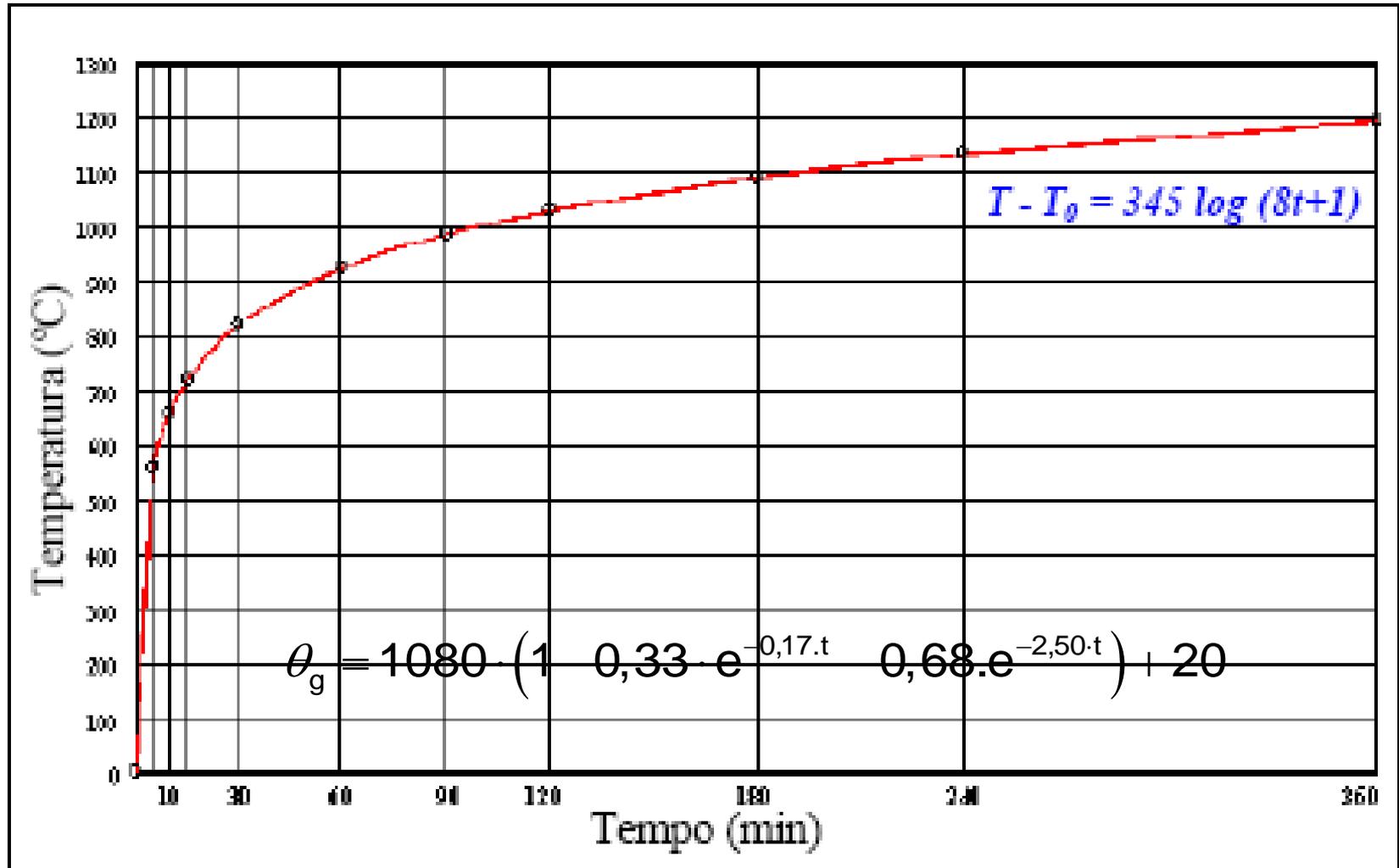
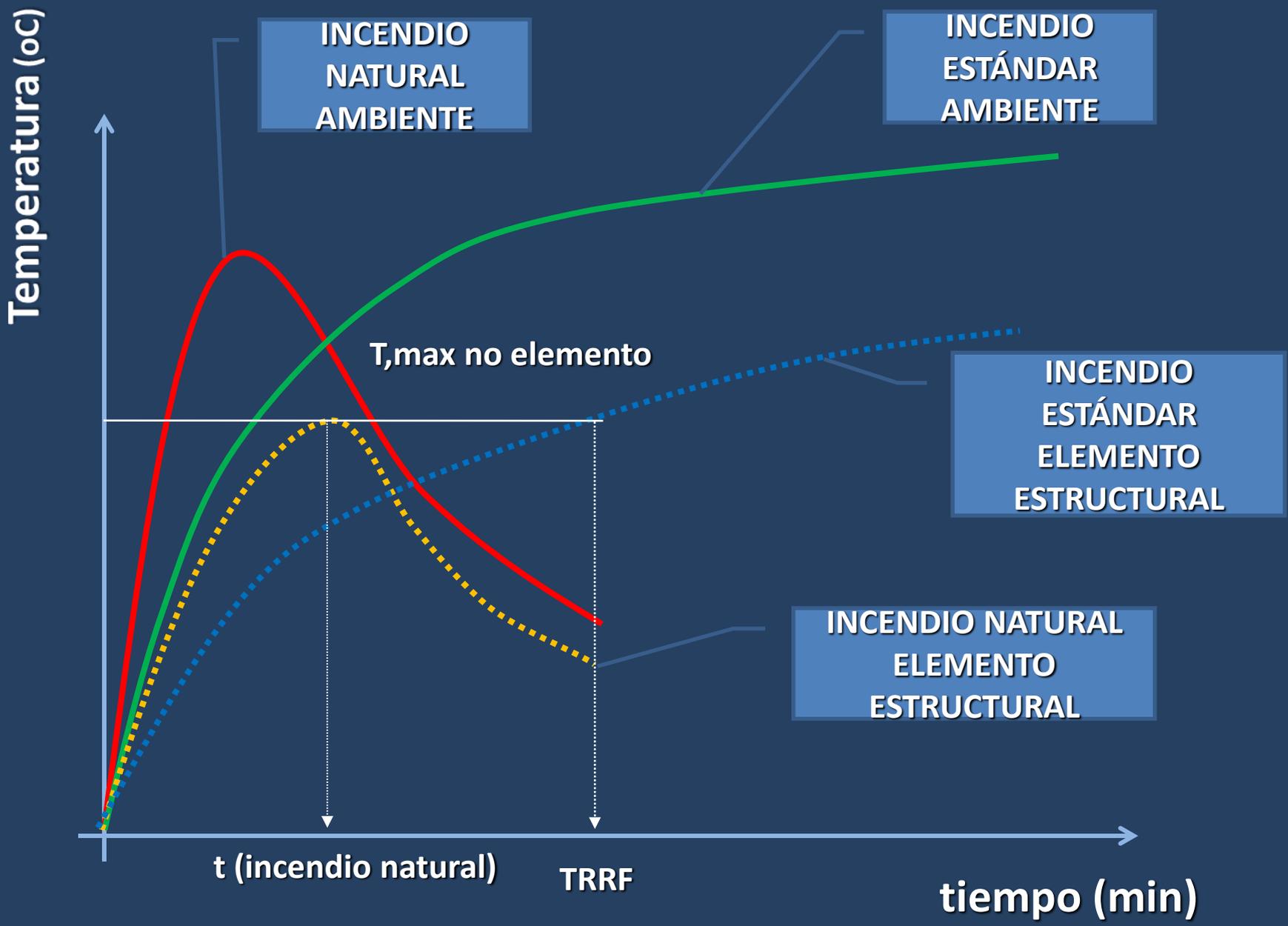


Figura 2.5 - Curvas temperatura-tempo para incêndio padrão



TRRF - TIEMPO REQUERIDO DE RESISTENCIA AL FUEGO

OCUPAÇÃO/ USO	ALTURA DA EDIFICAÇÃO				
	$h \leq 6m$	$6m \leq h \leq 12m$	$12m \leq h \leq 23m$	$23m \leq h \leq 30m$	$h > 30m$
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60	60	90	120
Supermercado	60	60	60	90	120
Escritório	30	60	60	90	120
Shopping	60	60	60	90	120
Escola	30	30	60	90	120
Hospital	30	60	60	90	120
Igreja	60	60	60	90	120

Mecanismos de transmisión de calor

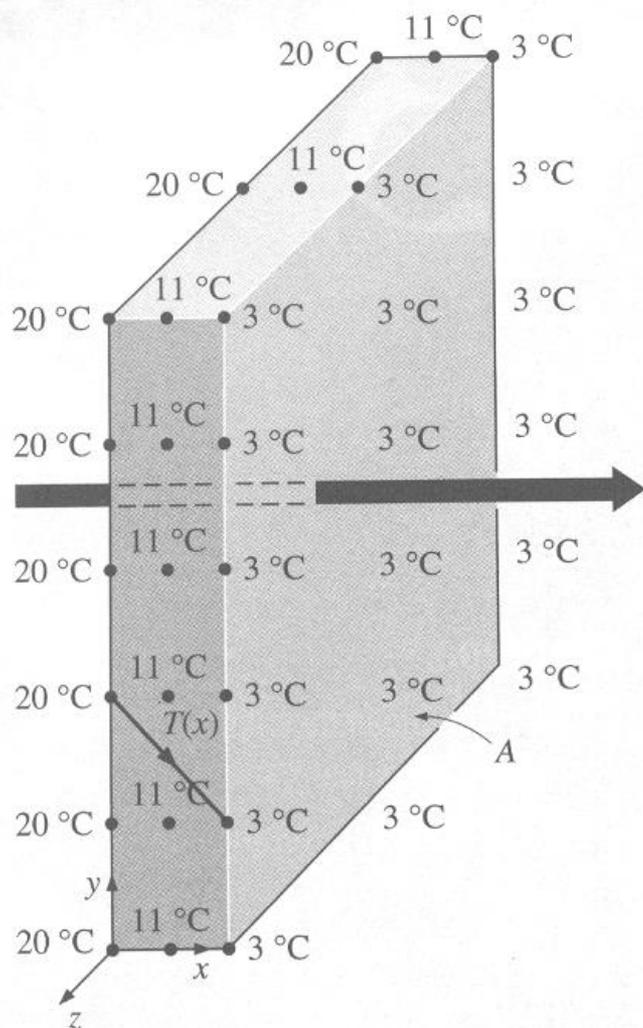
RADIACIÓN



CONVECCIÓN

CONDUCCIÓN

Coef. Conductividade Térmica - k

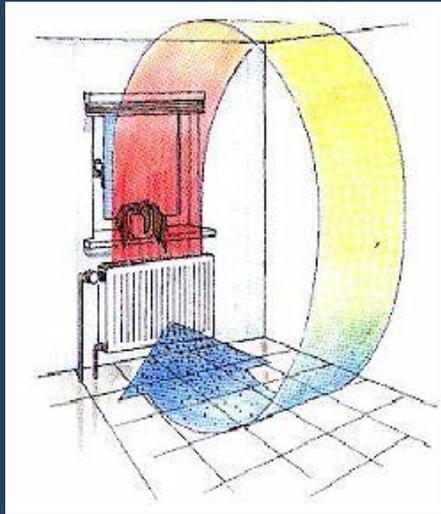


Material	k (W/m°C)
Diamante	2300
Prata	429
Cobre	401
Ouro	317
Alumínio	237
Ferro	80,2
Mercúrio (l)	8,54
Vidro	0,78
Tijolo	0,72
Água (l)	0,607
Pele humana	0,37
Madeira (carvalho)	0,17
Hélio (g)	0,152
Borracha	0,13
Fibra de vidro	0,043
Ar, espuma rígida	0,026

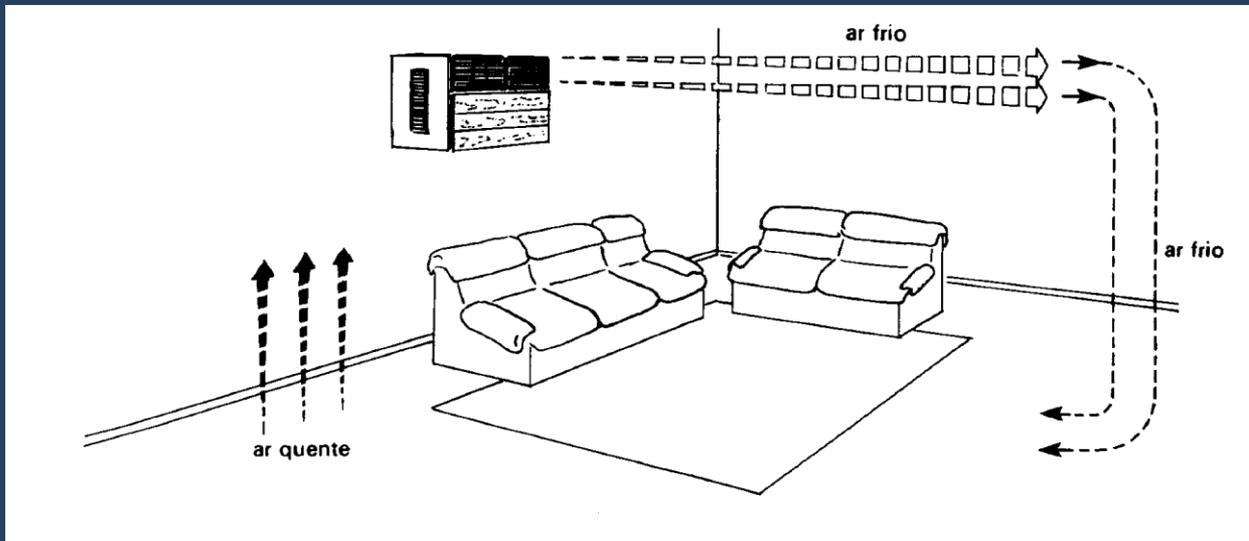
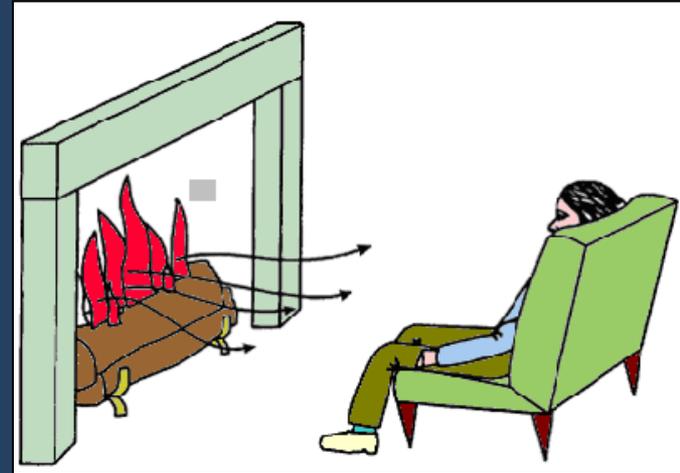
↑
Condutores

↓
Isolantes

Convección



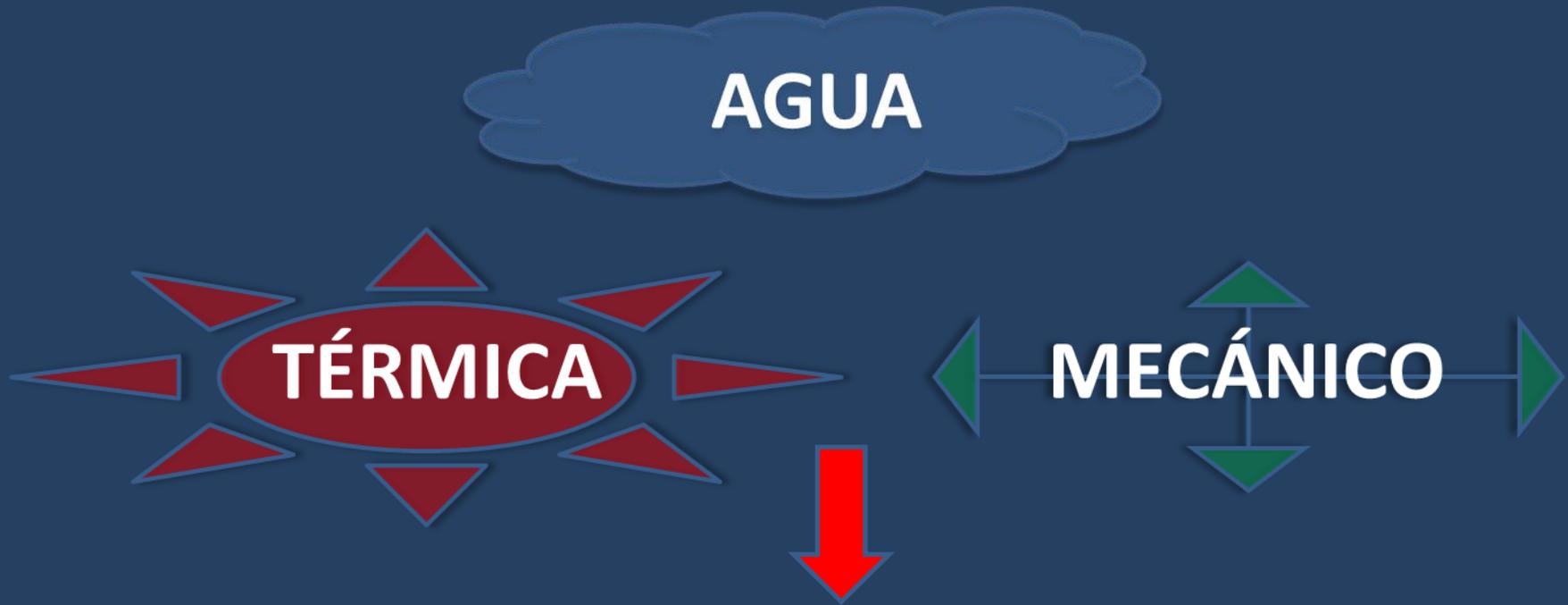
Radiación Térmica o Irradiación



EFECTO TÉRMICO EN EL CONCRETO

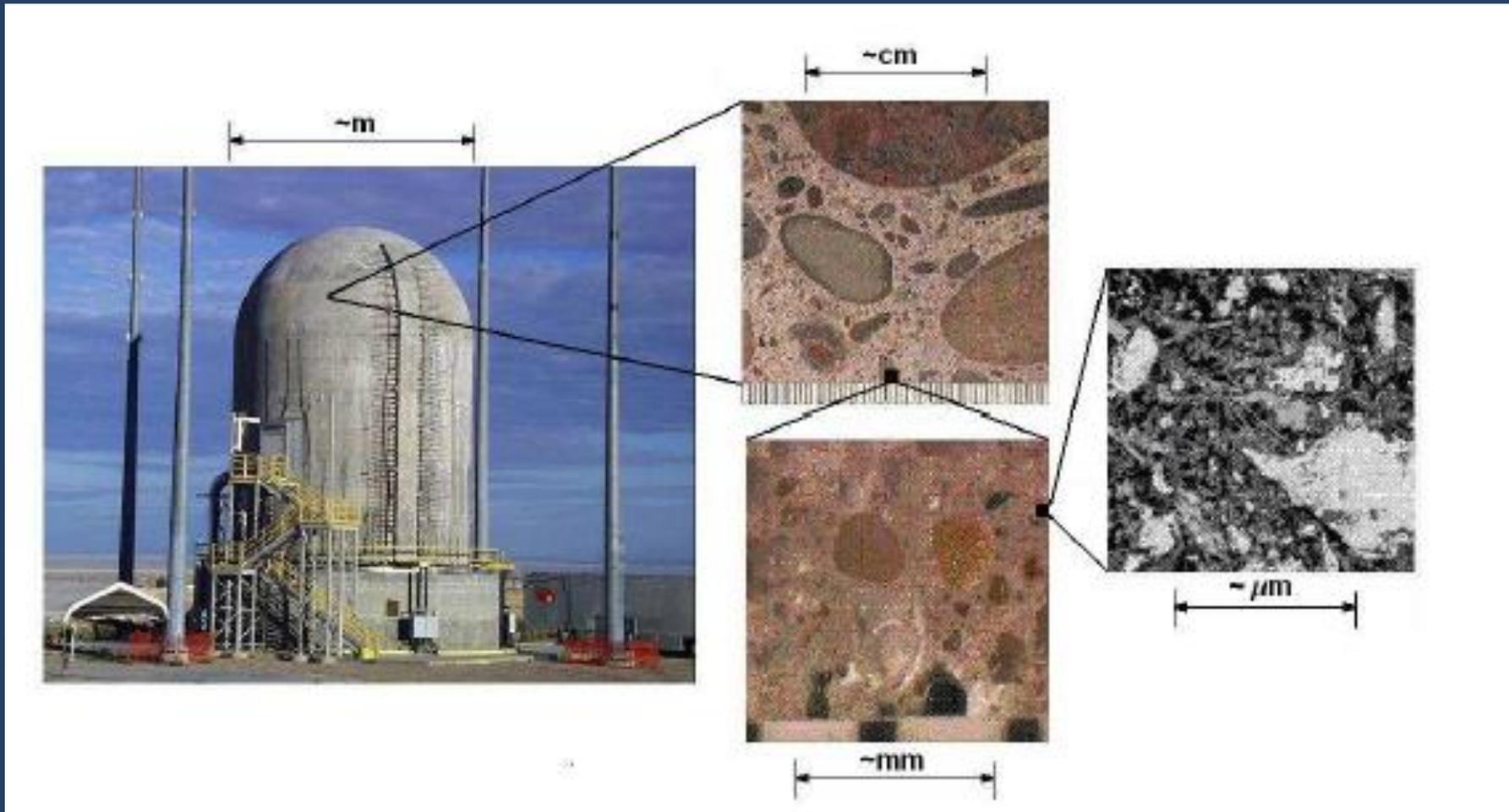


Efectos Acoplados en el Concreto

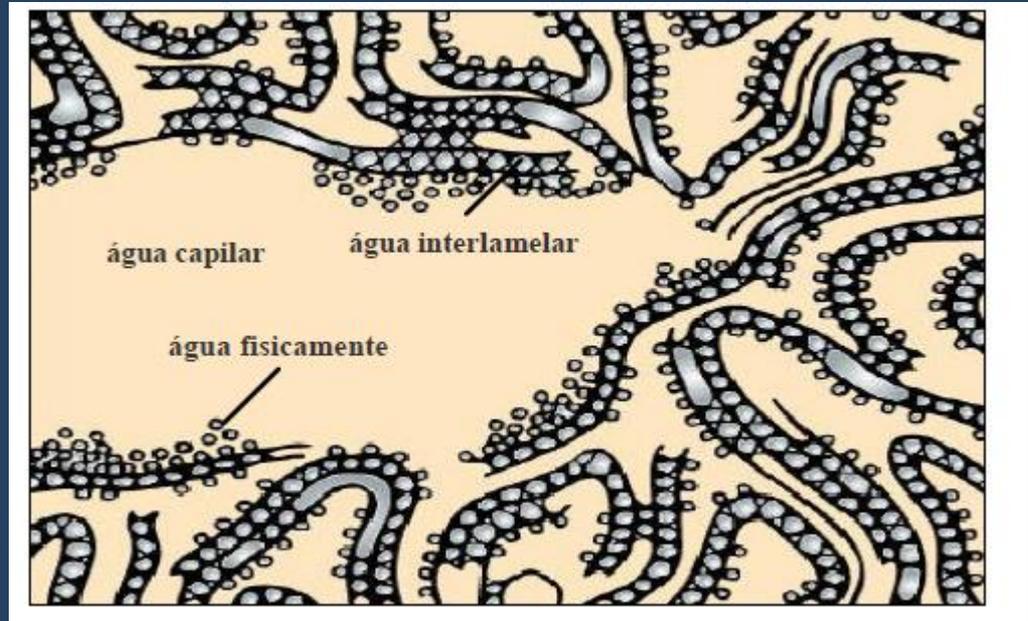
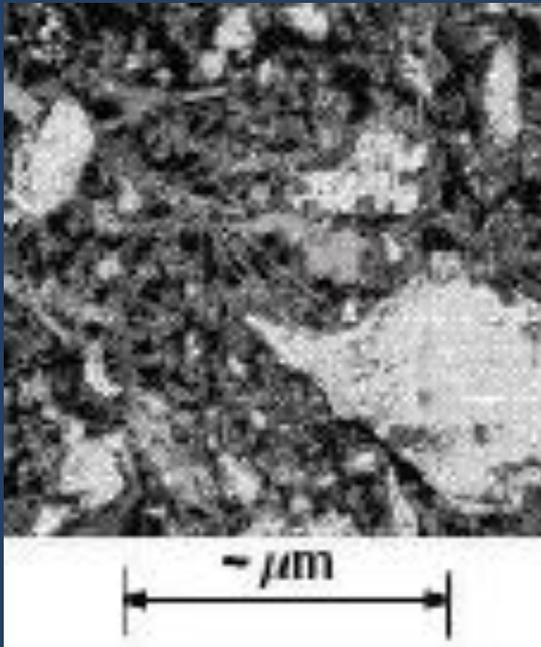


COMPORTAMIENTO
Termo-hidro-MECÁNICO

Diferentes escalas en el concreto



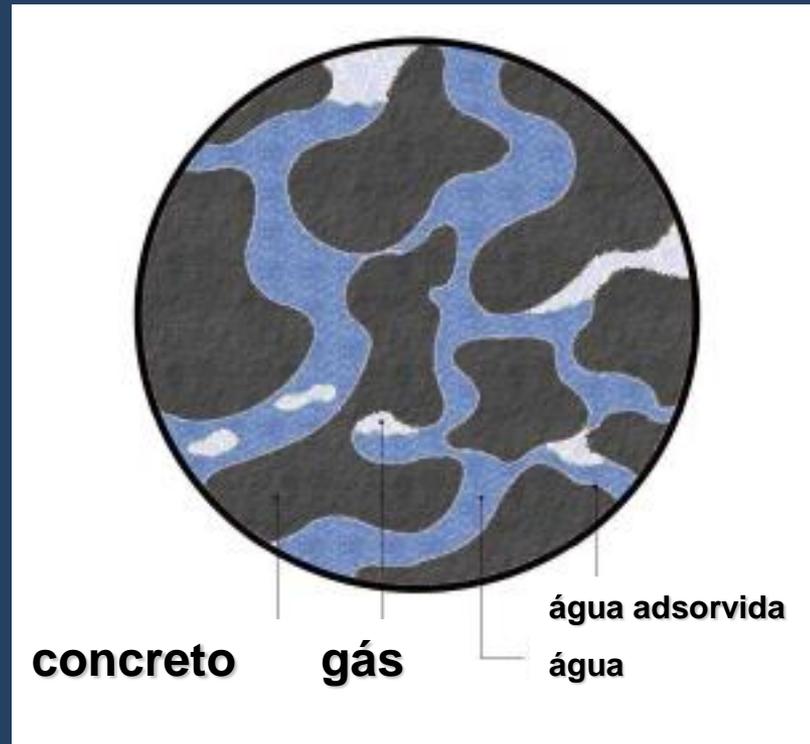
Influencia del agua en la pasta de cemento



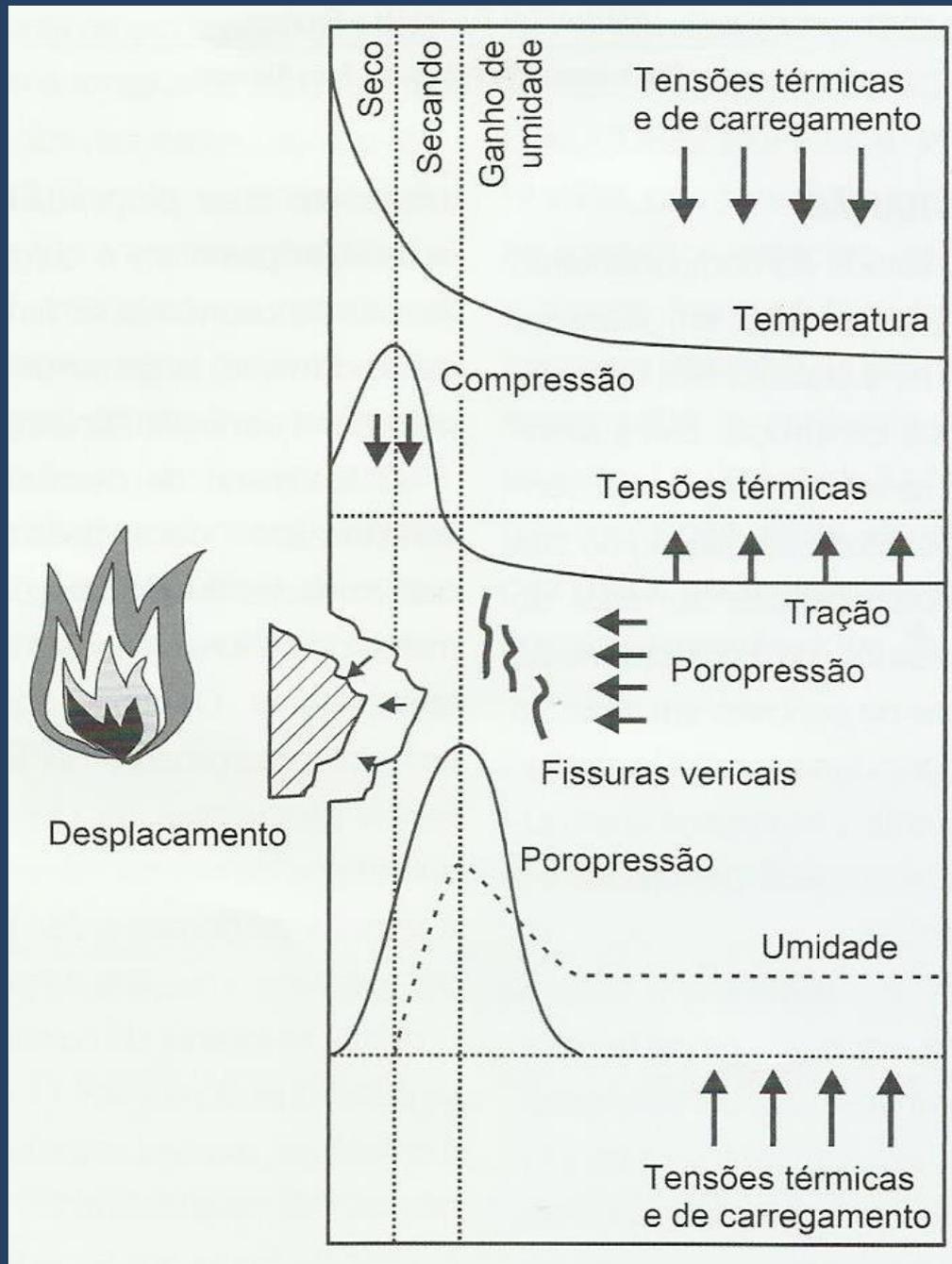
Representação dos tipos de água na pasta

[Fonte: MEHTA & MONTEIRO, 1994]

Composición del concreto



**VOLUMEN REPRESENTATIVO DEL
CONCRETO**



Variación Micro-Estructural

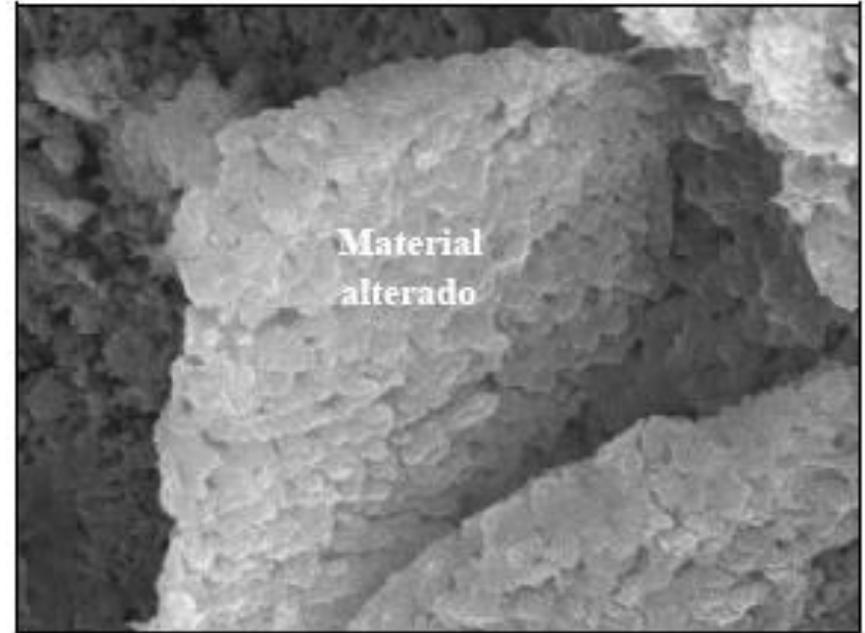
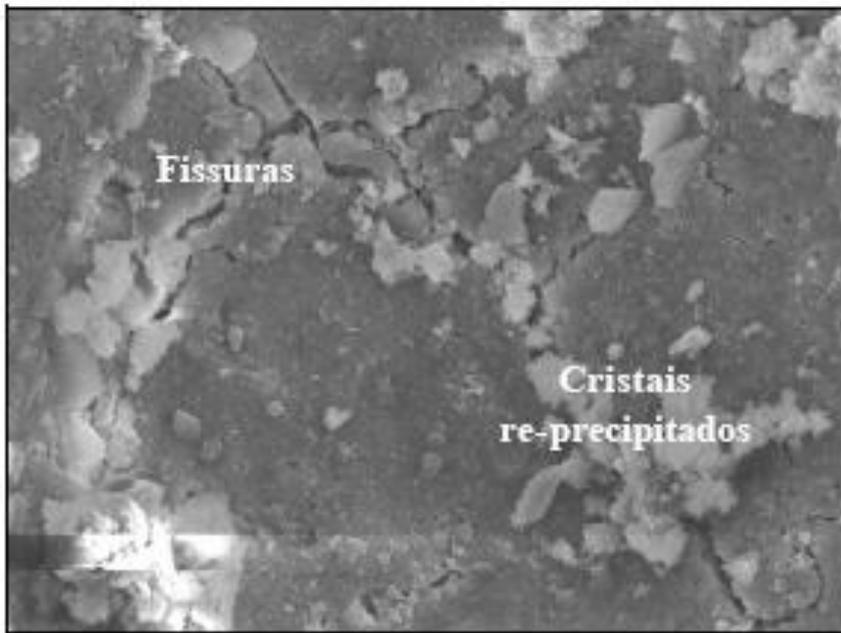


Figura 5.48 - Concreto de alta resistência à 900°C
(x1000)

Figura 5.49 - Concreto de alta resistência à 900°C
(x11000)



Porção interna de amostra de concreto em relação a face exposta ao fogo, observada em MEV, onde a presença de cristais aciculares de etringita indica que amostra não superou 100 °C durante o incêndio

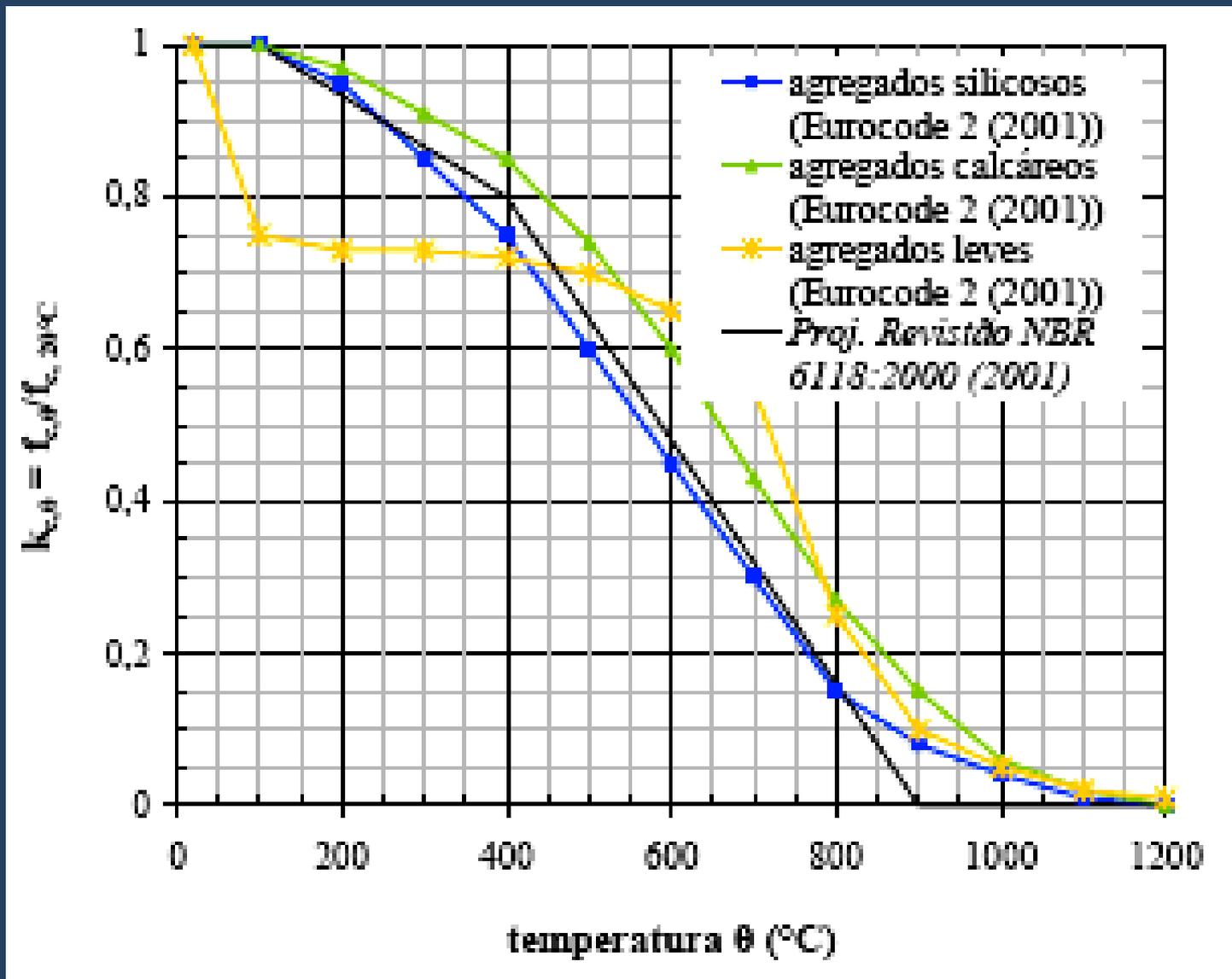


Amostra de concreto coletada após incêndio e observada sob MEV, com presença de cristais fraturados de quartzo e fraturas nas suas interfaces cristalinas oriundas de suas transformações alotrópicas, sugerindo que a temperatura foi superior a 570 °C

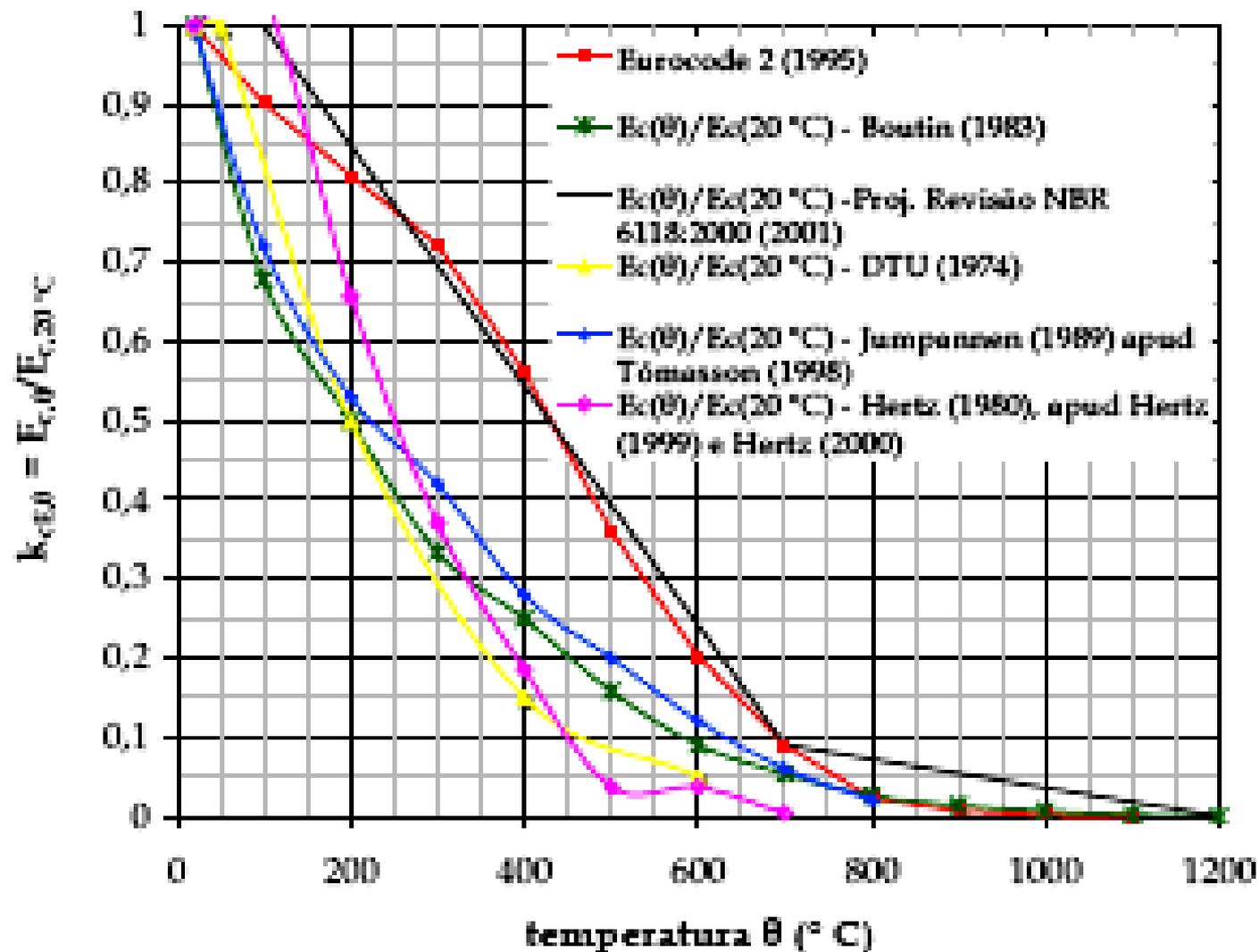


Amostra de concreto coletada após incêndio, sob observação em MEV, onde a presença de portlandita na região central indica que a temperatura não atingiu 480 °C

Reducción en la resistencia del hormigón



Reducción en el módulo de elasticidad del hormigón



Variación del color y la resistencia del hormigón con la temperatura

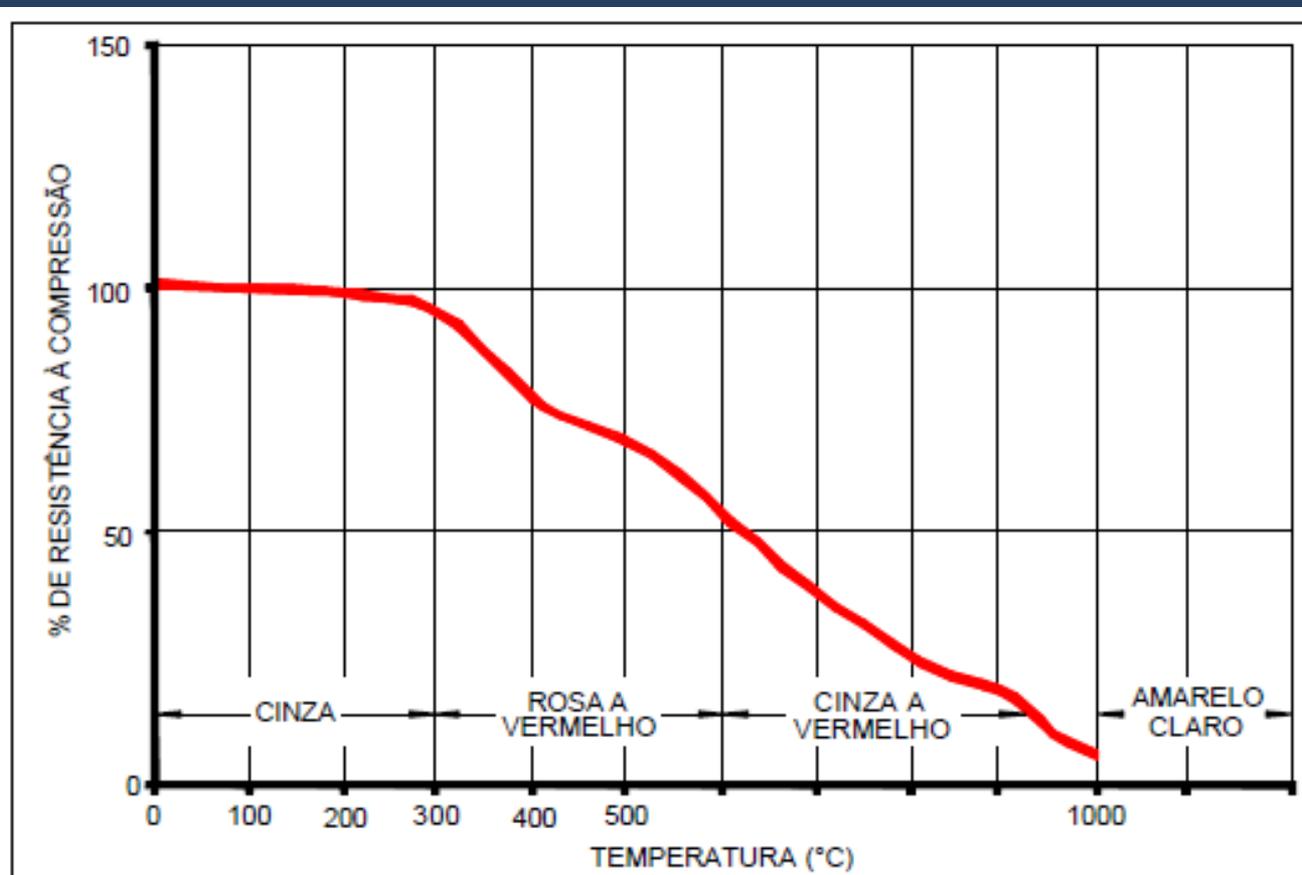


Figura 3.8 - Alteração na resistência e coloração do concreto

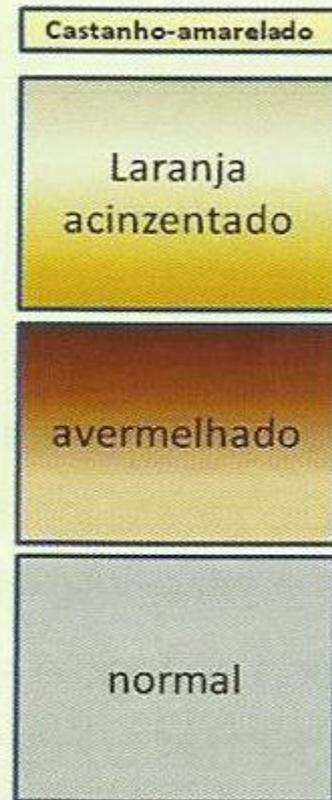
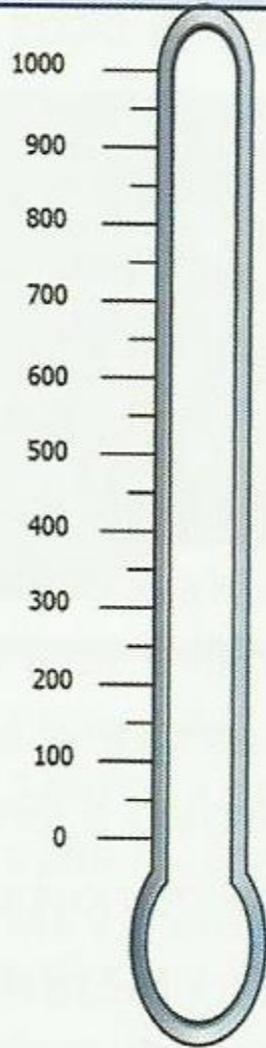
[Fonte: CÁNOVAS, 1998]

Temperatura (°C)

Mudança de cor

Efeitos físicos

Efeitos químicos



Esfarelamento e
desagregação

Fissuração
generalizada

573°C : popout
agregado quartzoso
550°C:
Fissuração Profunda

300°C :
Fissuração superficial
spalling

nenhum

1100°C: formação de wollastonita
a partir do C-S-H original

Acima de 800°C:
decomposição do
carbonato de cálcio

Acima de 600°C:
decomposição completa
das fases de C-S-H

573°C : Transformação do
quartzo α em quartzo β

480°C – Decomposição da
portlandita

300°C : Decomposição dos
aluminatos hidratados

a partir de 100 °C : Perda de
água livre e/ou adsorvida e
decomposição dos silicatos
hidratados

A partir de 80°C: transformação
dos sulfoaluminato

“Spalling”







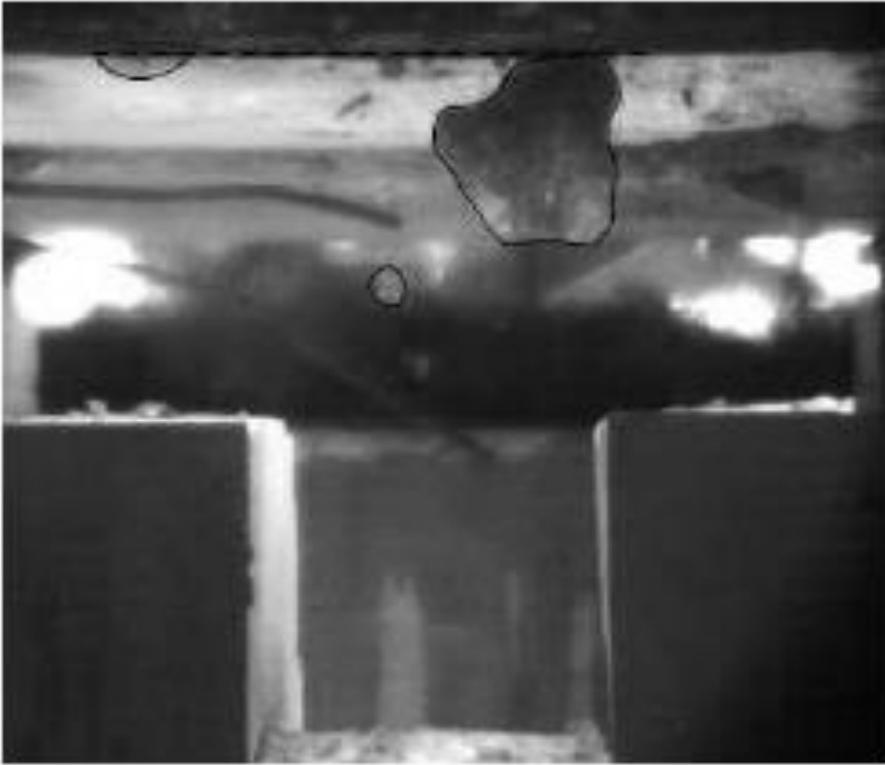




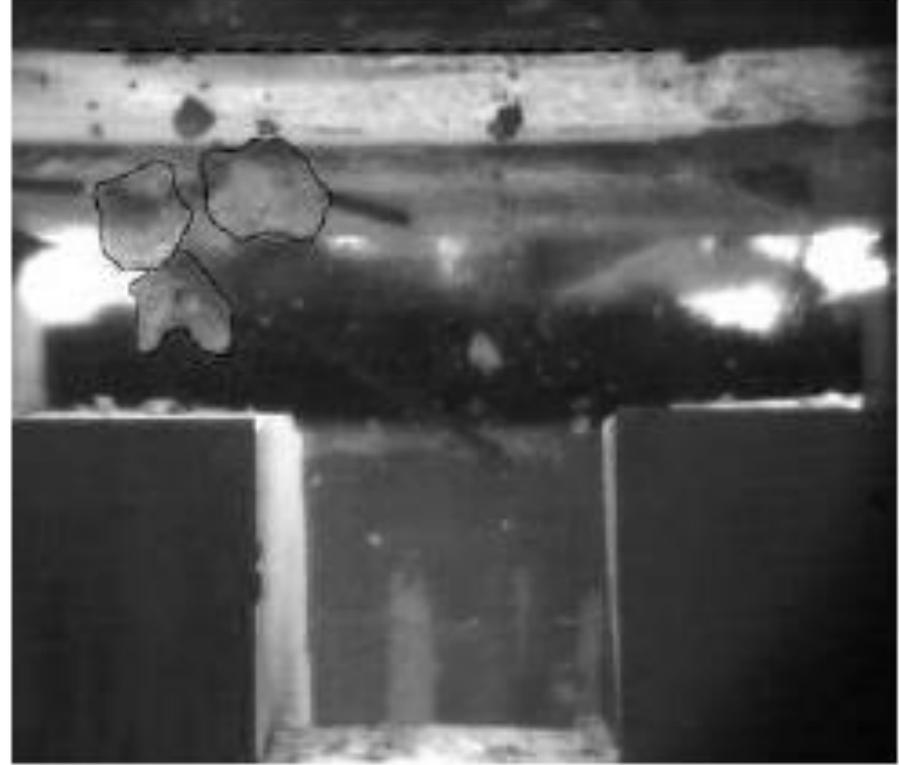




Spalling



(a)



(b)

Imágenes en super-cámaras del fenómeno del "spalling": (a) 12 ms; (b) 160 ms.



Fenômeno do *spalling* em viga de concreto (ABBASI; HOGG, 2006).



Figura 2.8 – *Spalling*, verificado após testes de exposição ao fogo, em vigas de concreto com alta resistência e resistência normal, respectivamente (DWAIKAT; KODUR, 2009).

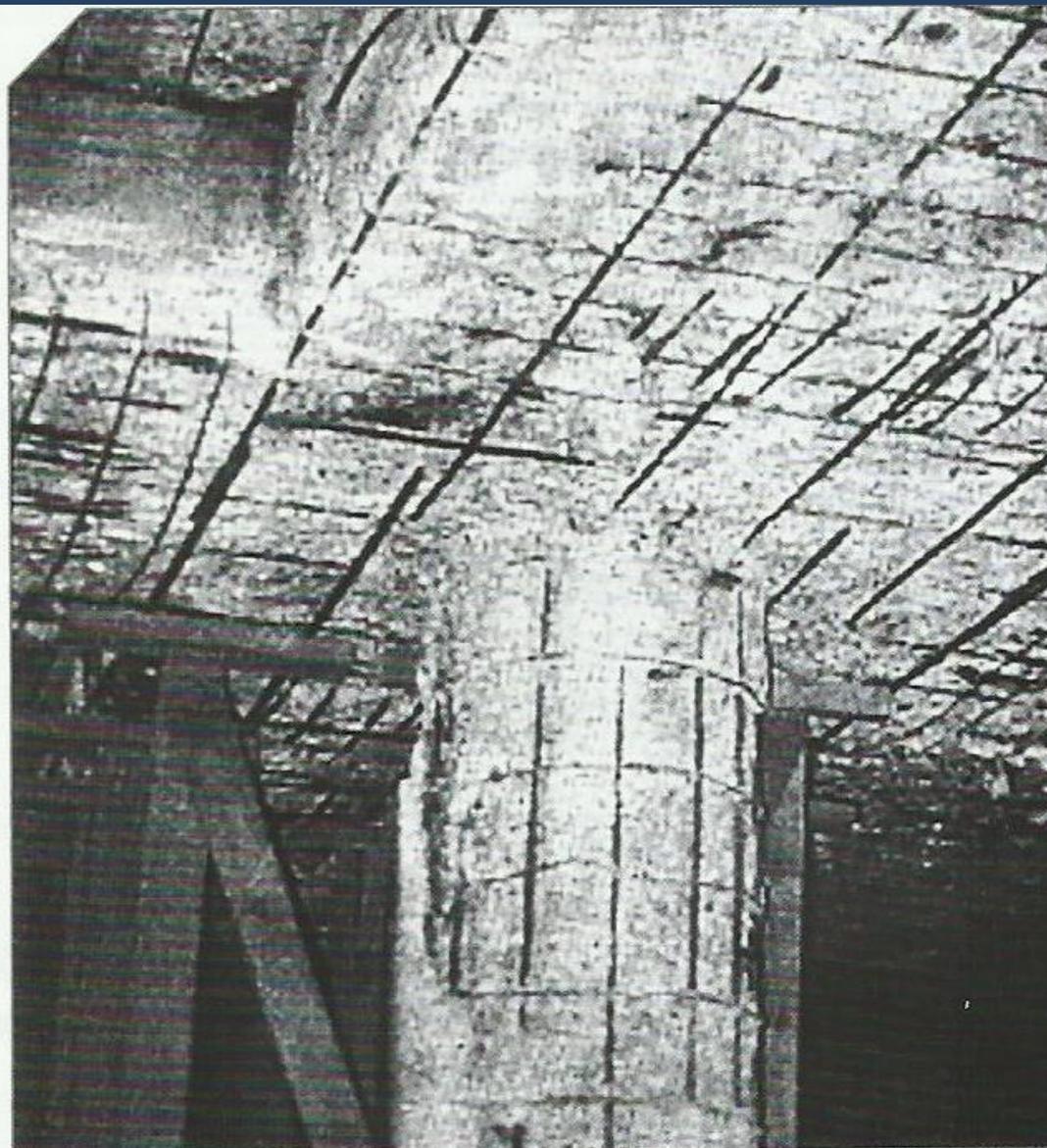


Foto 10 – Lascamento explosivo da estrutura de concreto do edifício Grande Avenida

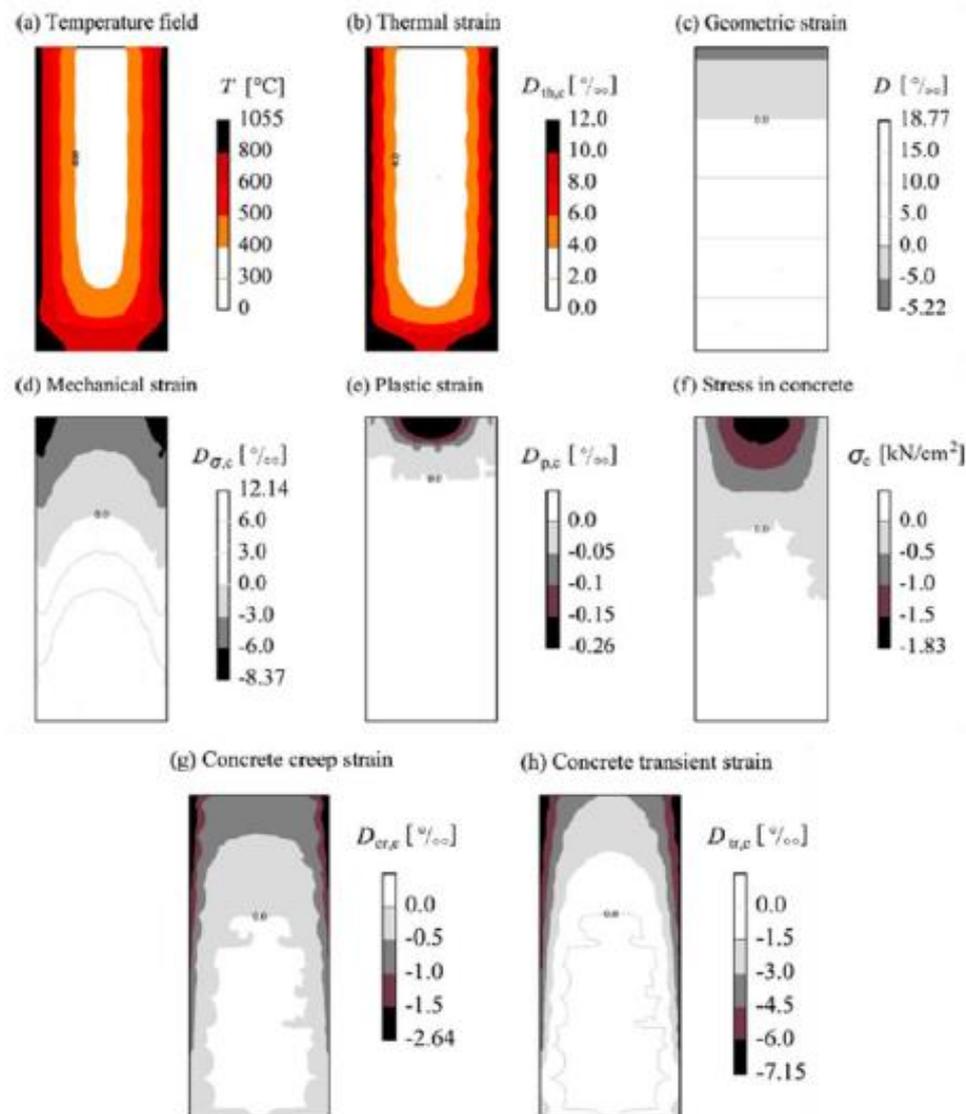


Figura 3.5 - Parâmetros obtidos ao longo da análise de uma seção transversal referente ao vão extremo de uma viga contínua: campo de temperaturas (a), deformações térmicas (b), deformações totais (c - *geometric*), deformações elásticas (d - *mechanical*), deformações plásticas (e), tensões de compressão no concreto (f), deformações devido à fluência (g) e deformações transientes (h) (BRATINA; SAJE; PLANINC, 2007).

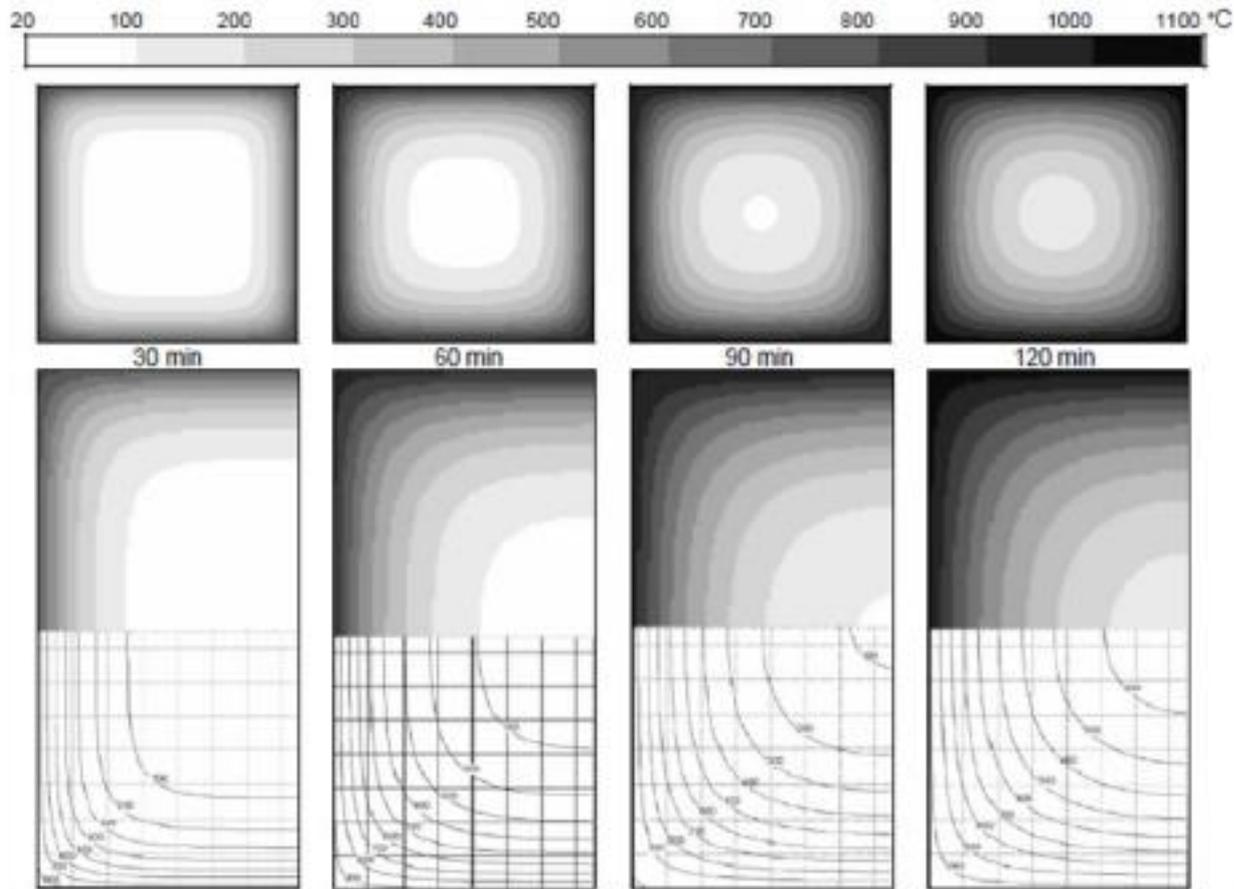


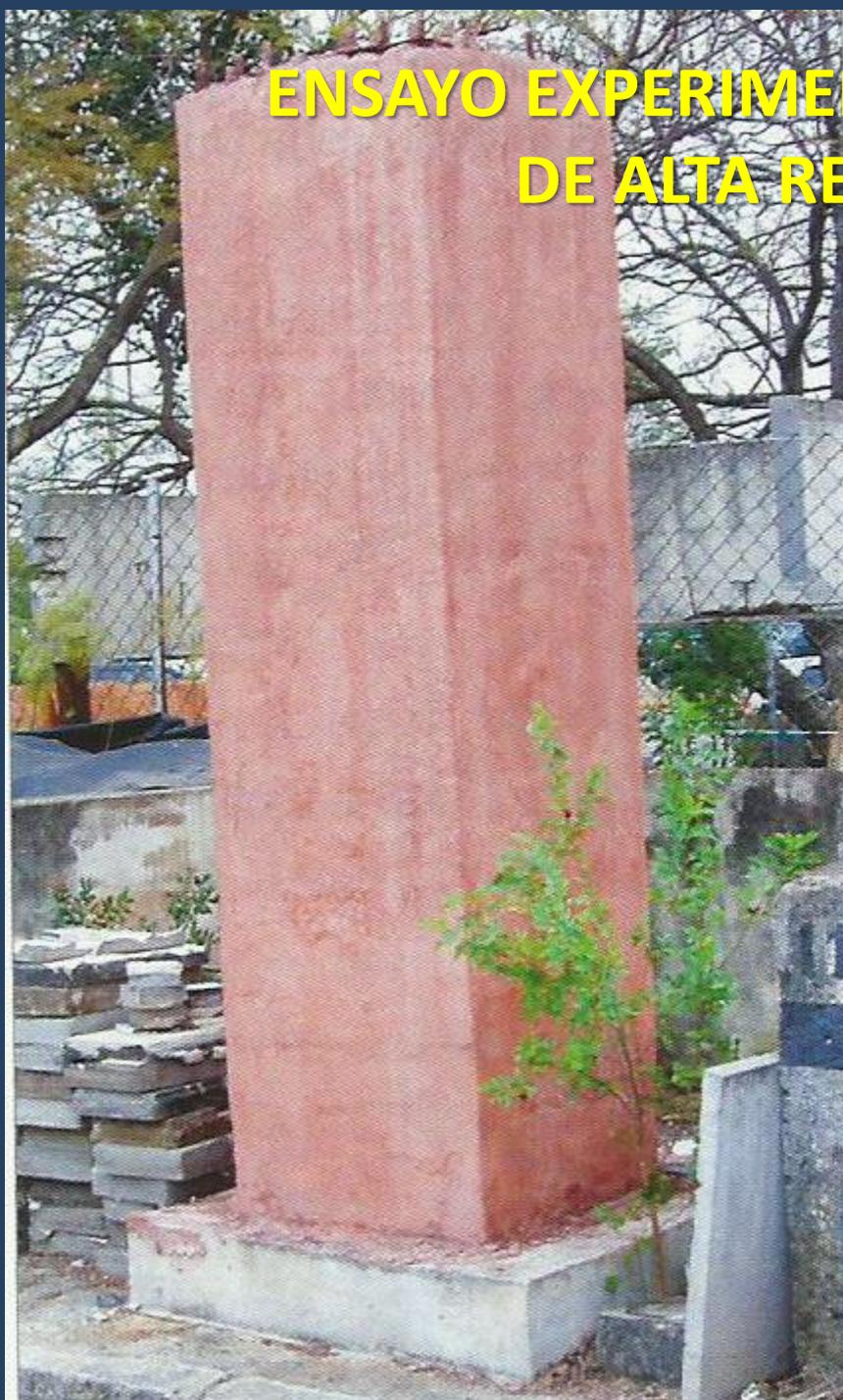
Figura 3.6 – Validação da análise térmica, realizada com o auxílio de autômatos celulares, por meio da comparação aos ábacos de isotermas fornecidos pela norma europeia (BIONDINI; NERO, 2006).



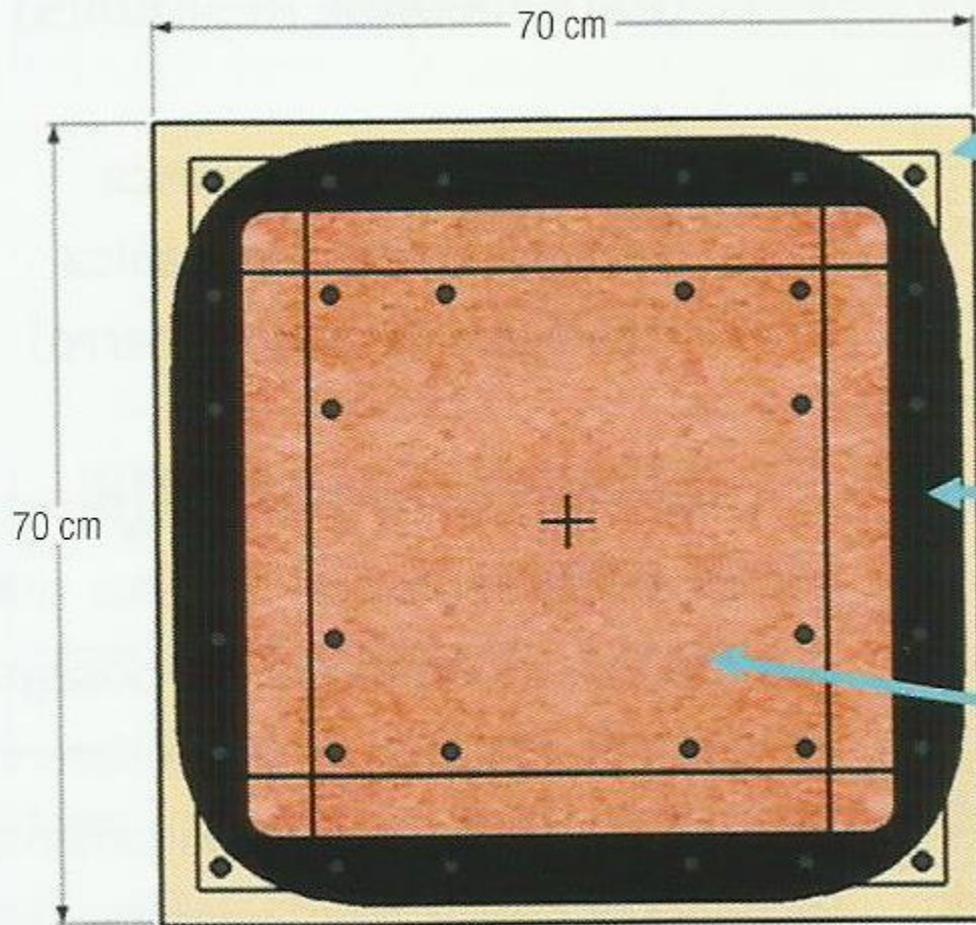
Figura 3.23 – Campo térmico da viga em análise em diferentes profundidades e intervalos de tempo, desconsiderando-se e, sem seguida, admitindo-se os efeitos do *spalling* (KIRCHHOF, 2010).

Fonte: Brites, C.; Helene, P. - Avaliação Experimental do Concreto Armado de Alta Resistência – Concreto & Construções, Ed 89, pag 64, 2018

ENSAYO EXPERIMENTAL - HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA



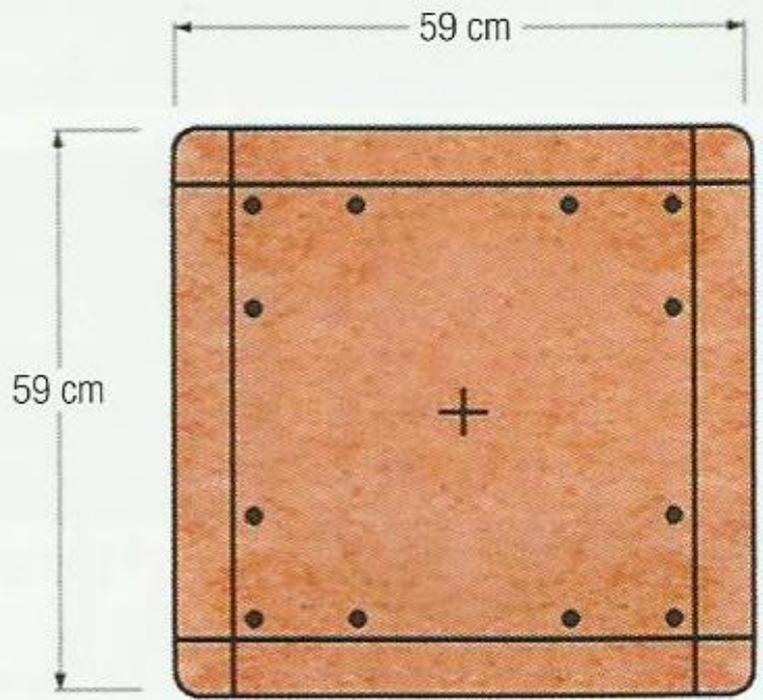
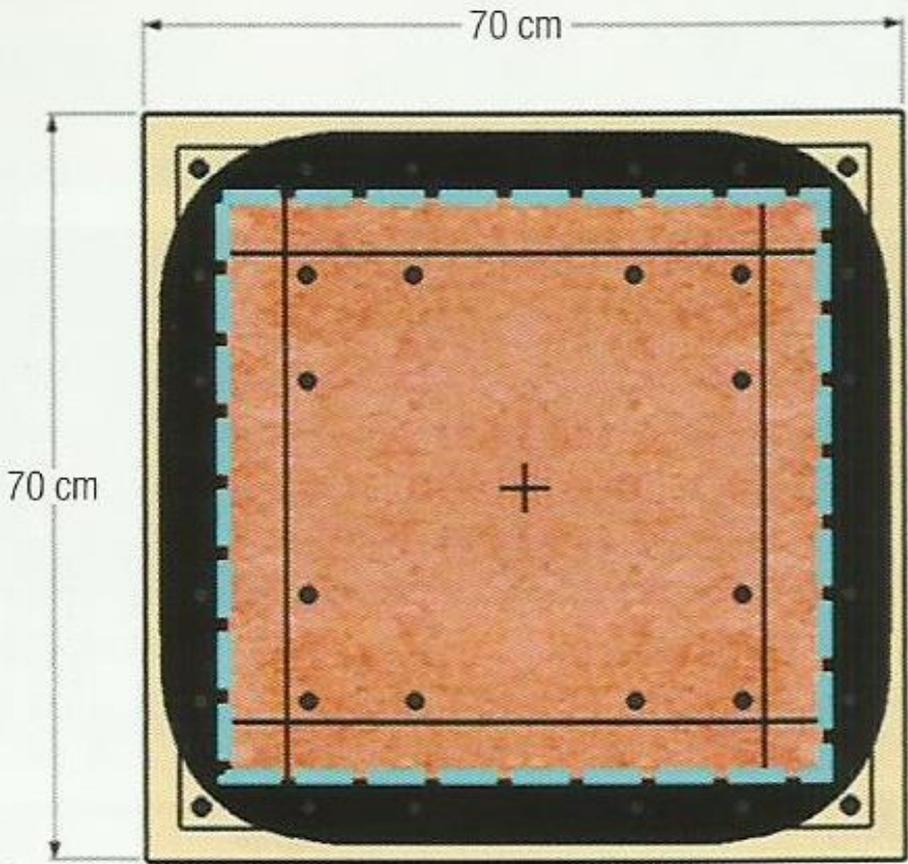


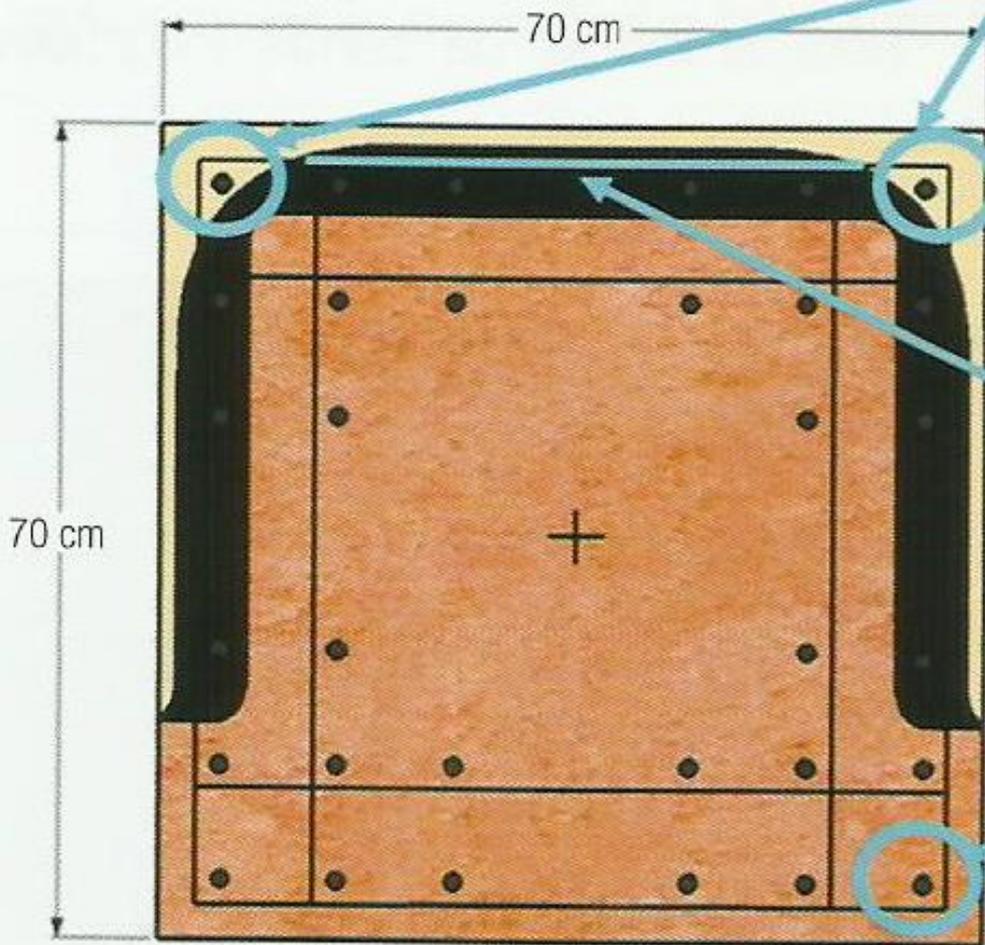


Resistência mecânica na parte laranja (0% ou desprezível)

Resistência mecânica na parte escura (0% ou desprezível)

Resistência mecânica na parte vermelha (da ordem de 100%)



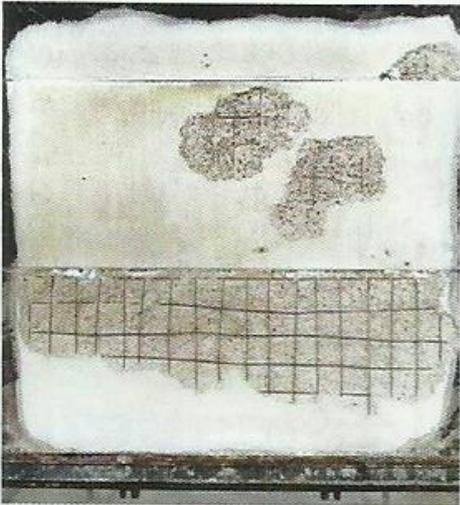
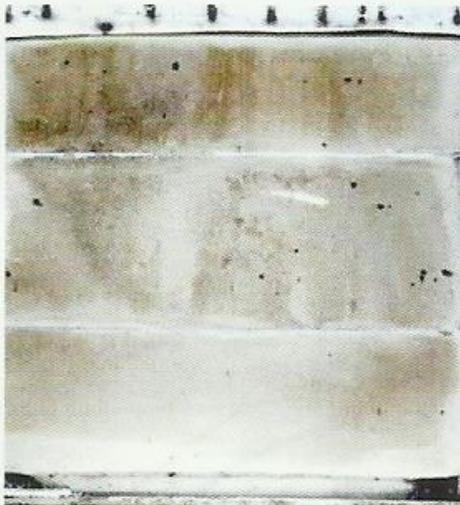
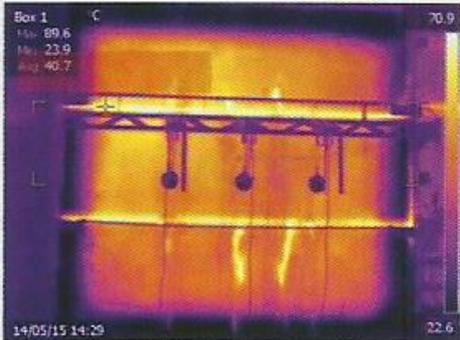
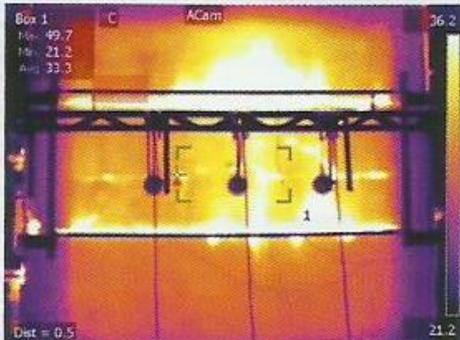


Resistência mecânica à tração (residual) do aço na parte laranja: 75%.
 Temperatura aproximada 900 °C (estimada).
 Barra de aço Ø 16 mm.

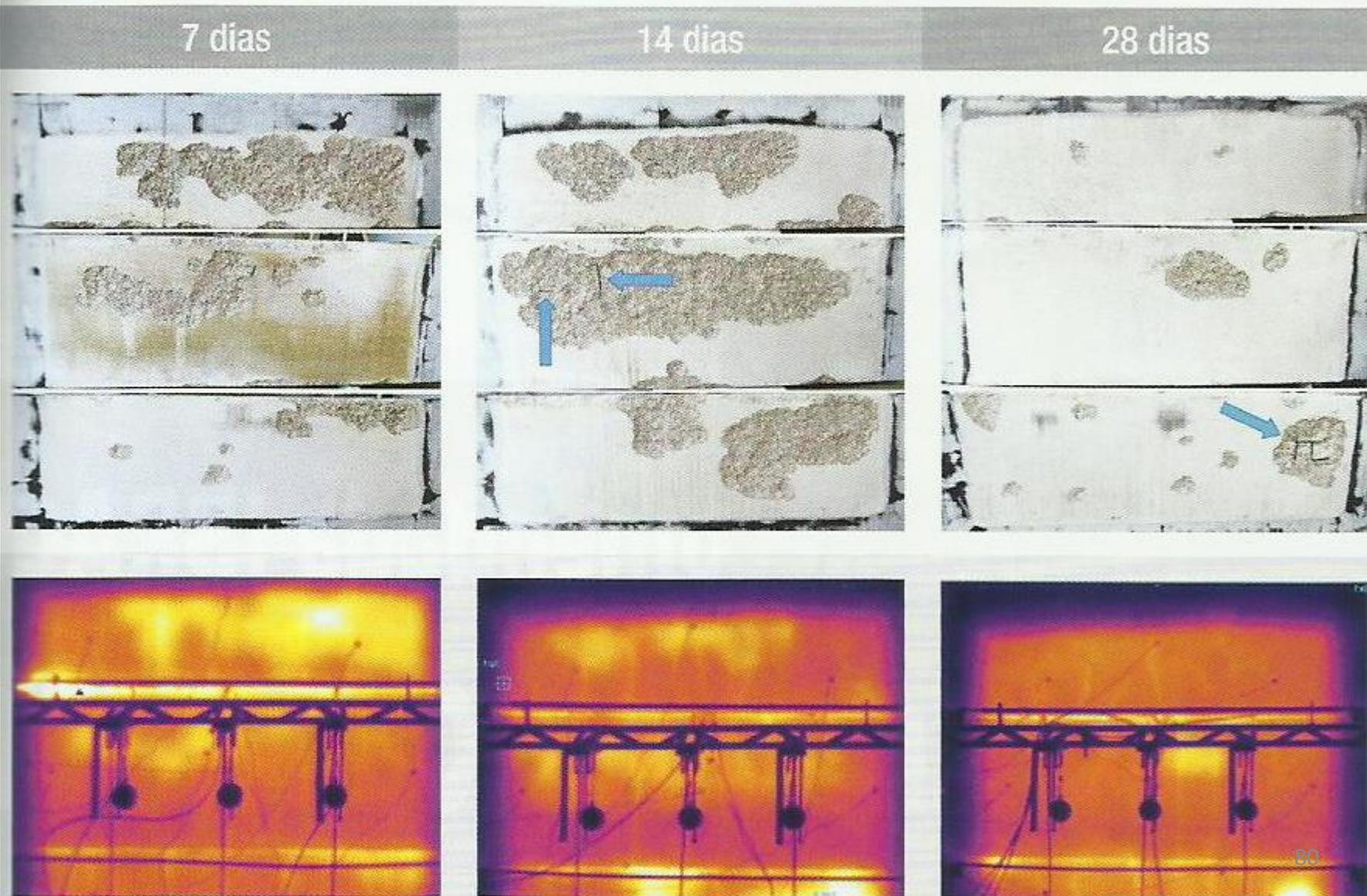
Resistência mecânica à tração (residual) do aço na parte escura (negra): 90%.
 Temperatura aproximada 600 °C (aferida).
 Barra de aço Ø 8 mm.

Resistência mecânica à tração na parte vermelha: 100% (amostra de referência).
 Temperatura ambiente 27 °C.
 Barra de aço 16 mm.

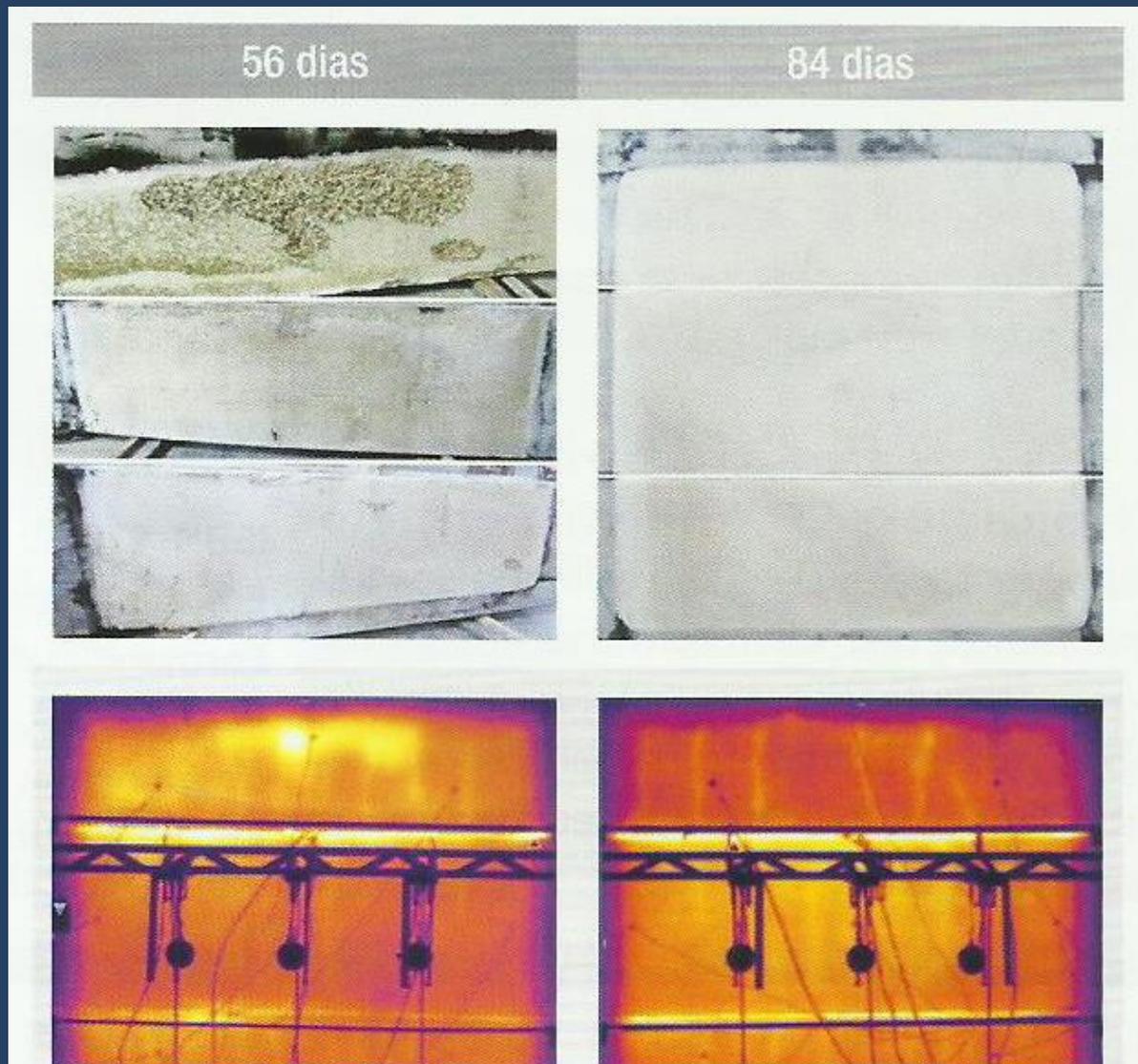
► Tabela 1 – Verificação da influência do tipo de reforço na resistência ao fogo de painéis de concreto

Tipo de painel		
Painel de concreto armado	Painel de concreto armado reforçado com fibras poliméricas	Painel de concreto protendido
		
		

► Tabela 2 – Verificação da influência do tempo de cura na resistência ao fogo de painéis de concreto



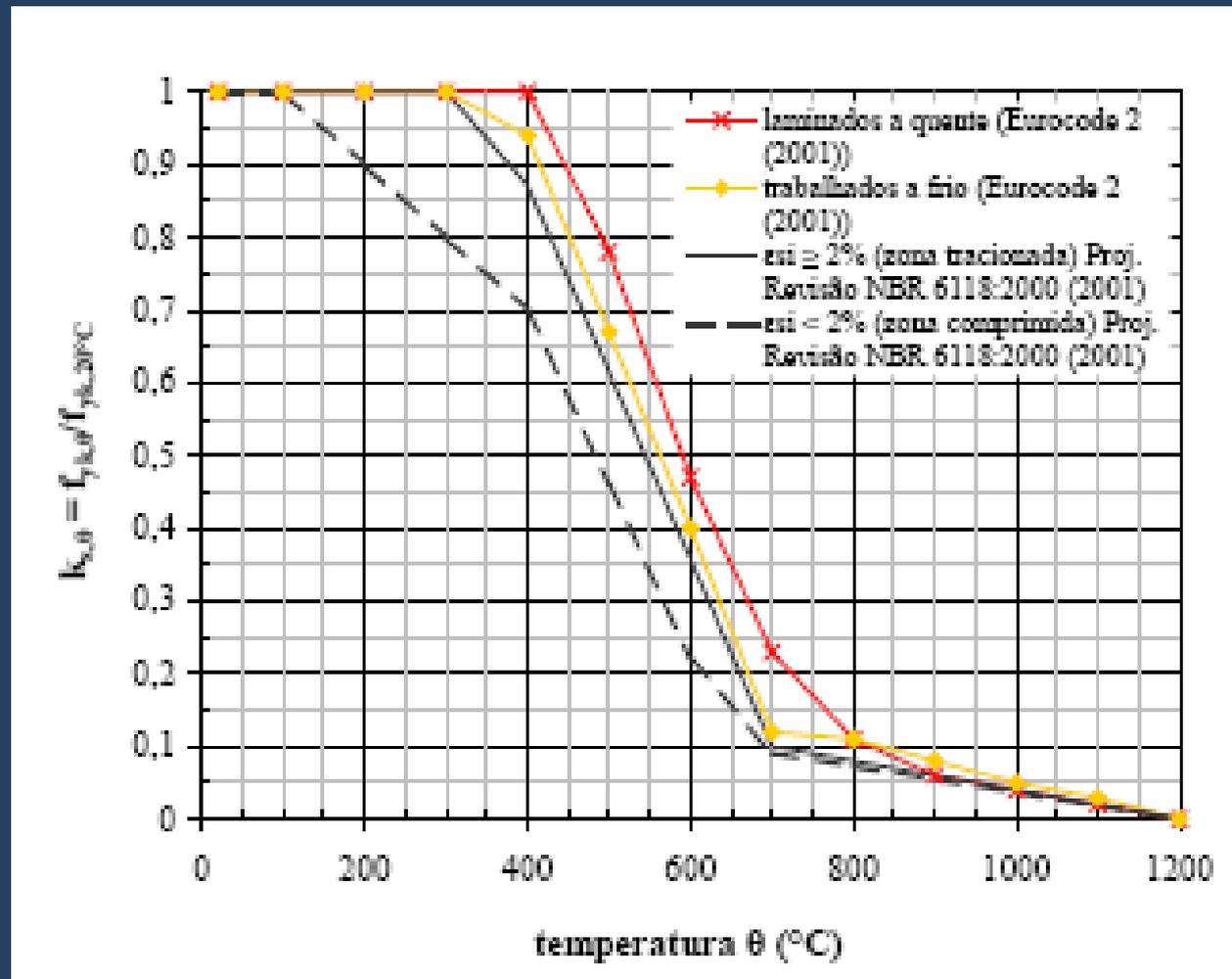
► Tabela 2 – Verificação da influência do tempo de cura na resistência ao fogo de painéis de concreto



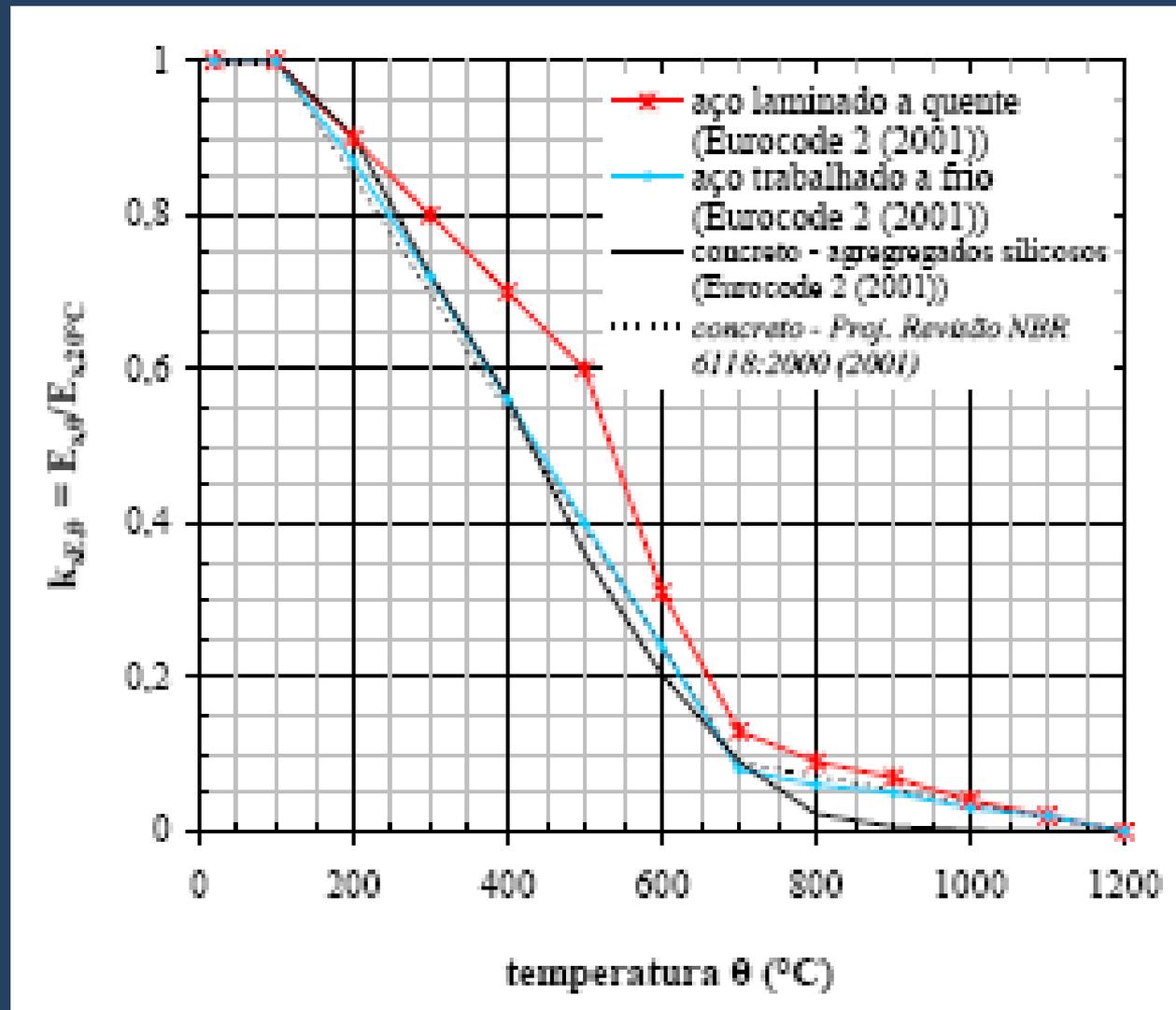
EFECTO TÉRMICO EN LOS ACEROS



Reducción de la resistencia de los aceros



Reducción del modulo de elasticidad de los aceros



Factor de Massividade

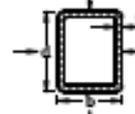
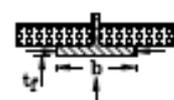
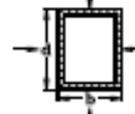
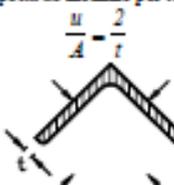
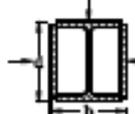
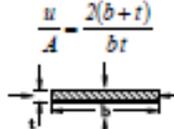
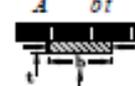
<p>Seção aberta exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{\text{perímetro}}{\text{área da seção transversal}}$ 	<p>Seção tubular de forma circular exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{d}{t(d-t)}$ 
<p>Seção aberta exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{\text{perímetro exposto ao incêndio}}{\text{área da seção transversal}}$ 	<p>Seção tubular de forma retangular (ou seção caixão soldada de espessura uniforme) exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+d}{t(b+d-2t)}$ 
<p>Mesa de seção I exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+2t_f}{bt_f}$ 	<p>Seção caixão soldada exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+d)}{\text{área da seção transversal}}$ 
<p>Cantoneira (ou qualquer seção aberta de espessura uniforme) exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2}{t}$ 	<p>Seção I com reforço em caixão exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+d)}{\text{área da seção transversal}}$ 
<p>Chapa exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+t)}{bt}$ 	<p>Chapa exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+2t}{bt}$ 

Tabela III.7- Fator de massividade para elementos estruturais sem proteção







Figura 2.4: Instabilidade localizada de um pilar após um incêndio (Lamont, 2001)







ESTRUCTURAS DE MADERA



MIKA GRÖNDAHL / THE NEW YORK TIMES









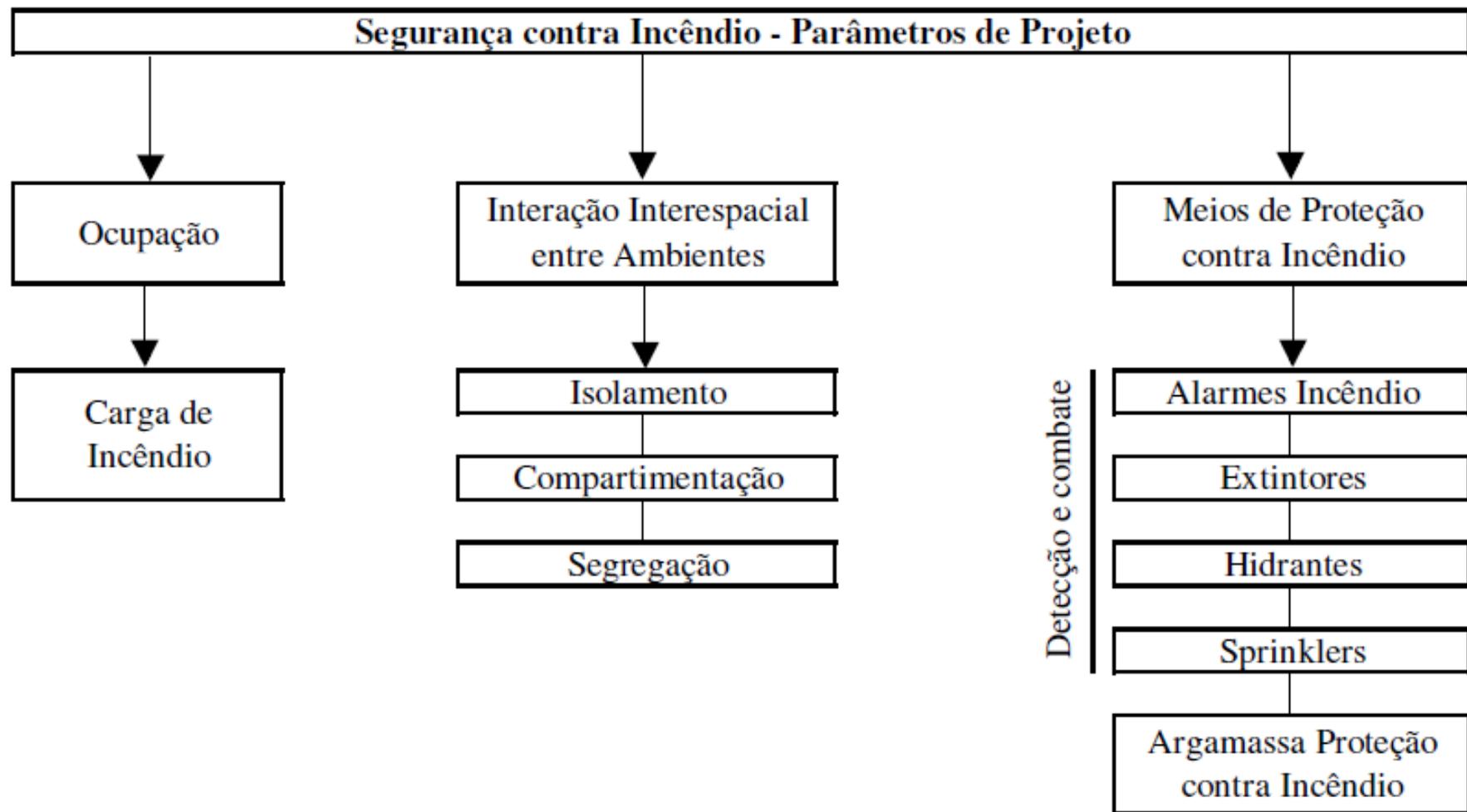


Figura 2.24 – Quadro representativo de parâmetros de projeto para proteção contra incêndio.

Simulación Computacional



Fire in the Torre Santa María

Santiago de Chile
March 21, 1981

EDIFICIO WILTON PAES DE ALMEIDA - SP





¡MUCHAS GRACIAS!

**Roberto Dalledone Machado
UFPR – CESEC
EMAIL: rdm@ufpr.br**