



# ***ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO***



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Presidente de Honor ALCONPAT*

*Prof. Titular Universidade de São Paulo USP  
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures*

*Diretor e Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

NGI

16 de Junho de 2014

São Paulo

1

## **Mortes em situação de Incêndio**

1. Asfixia / toxidez
2. Pânico / pisoteamento
3. Queimadura

**4. Colapso (bombeiros)**

2



**Edifício ANDRAUS**  
**São Paulo, Brasil**  
**1972**  
**Estrutura de Concreto Armado**

**32 andares de escritórios**

**Construção: 1962**  
**Incendio: 24 Fev. 1972**

***duração: 4h***  
***240min***

***perfeitas condições***  
***nada colapsou***

3



4



**aspecto  
típico dos  
pilares pós  
incendio**

5



**aspecto típico das vigas**

6



**aspecto típico das lajes**

7



**Edifício JOELMA**

**São Paulo, Brasil**

**1974**

**Estrutura de Concreto Armado**

**26 andares**

**10 andares de garagem**

**+ 15 andares de escritórios**

**Construção: 1971**

**Incendio: 1 Fev. 1974**

***duração: 6h30min***

***390min***

***perfeitas condições***

***nada colapsou***

8





9



**Edifício WINDSOR**  
**Madri, Espanha**  
**2005**  
**Estrutura mista aço-concreto**

**37 andares**  
**5 andares de garagem**  
**+ 31 andares de escritórios**

**Construção: 1991**  
**Incêndio: 12 Fev. 2005**


***Duração: 16h***  
***960min***

***somente as partes de***  
***aço colapsaram***  
***totalmente demolido***

10



11



*“the reinforced concrete structure, columns, beams and slabs under 16h severe fire condition , could perform well and no collapse”*

*... “the penetration of the damaged, is heterogeneus and vary from 1.5cm in 19 floor to 3 cm in 12 floor...”*

Dra. Cruz Alonso. IET.

12



13

## **As piores consequências do impacto**

**solto a proteção térmica**  
**comprometeu o sistema sprinkler**  
**comprometeu o abastecimento de água**  
**disseminou o combustível**  
**incrementou a ventilação**

14

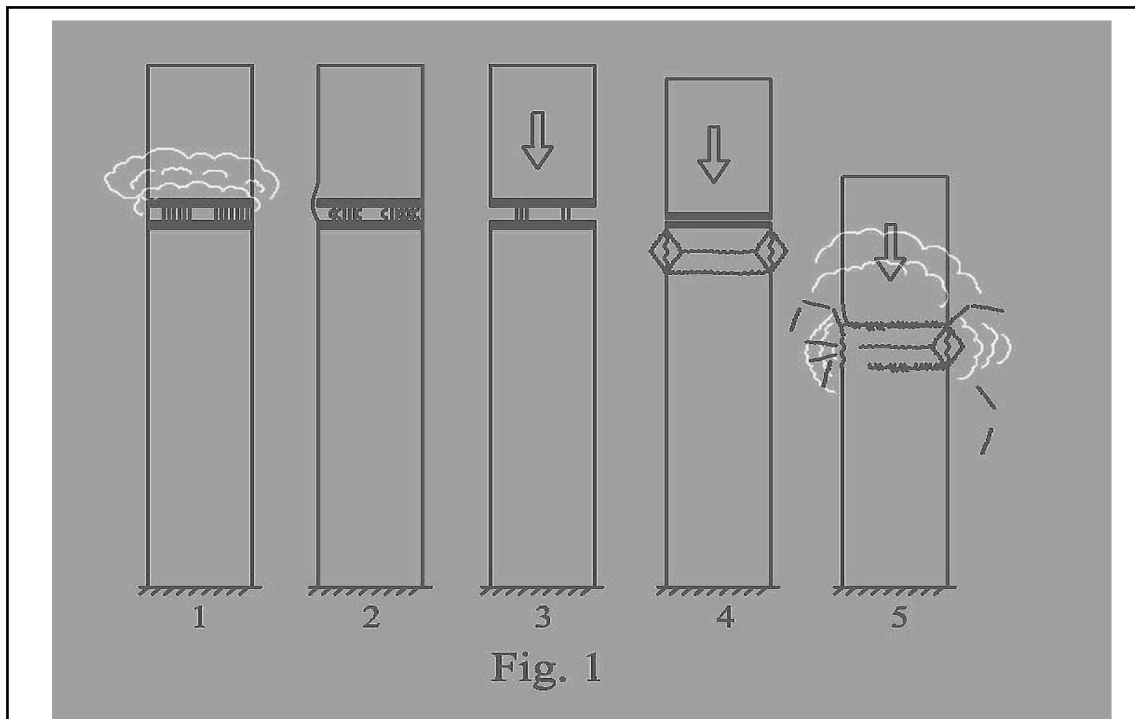
# Resistência e Estabilidade

Medidas indicaram que o impacto do Boeing 767-200 submeteu o edifício a vibrações semelhantes às de um sismo de índice 2,4 escala Richter

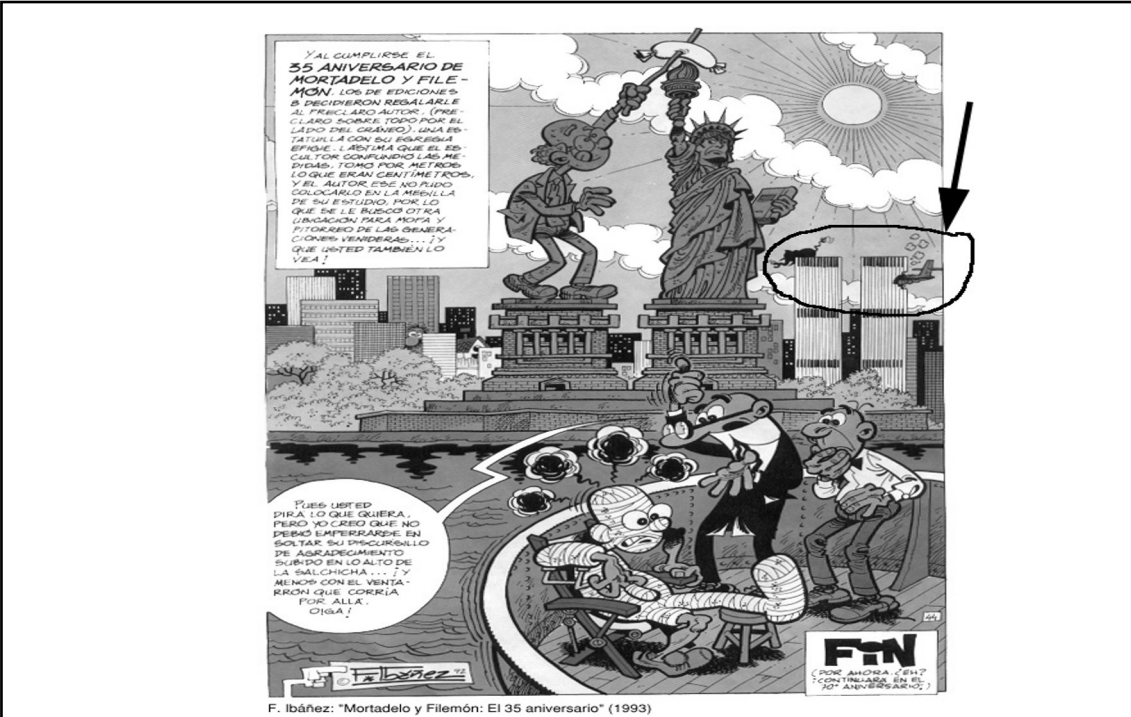
Essa vibração induzida, teve uma amplitude da ordem da metade da máxima considerada pelo efeito do vento

O período de oscilação foi equivalente ao período de oscilação de todo o edifício

15



16



## Normalização nacional

- **NBR 5628:2001**  
Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo
- **NBR 14432:2001**  
Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento
- **NBR 15200:2012**  
Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio

# ABNT NBR 5628:2001

- Trata das prescritivas do **método de ensaio** destinado a determinar a resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais representada pelo tempo em que respectivas amostras, submetidas a um **programa térmico**, atendem a exigências mínimas pré-estabelecidas

- Baseada na **curva de incêndio-padrão ISO 834**

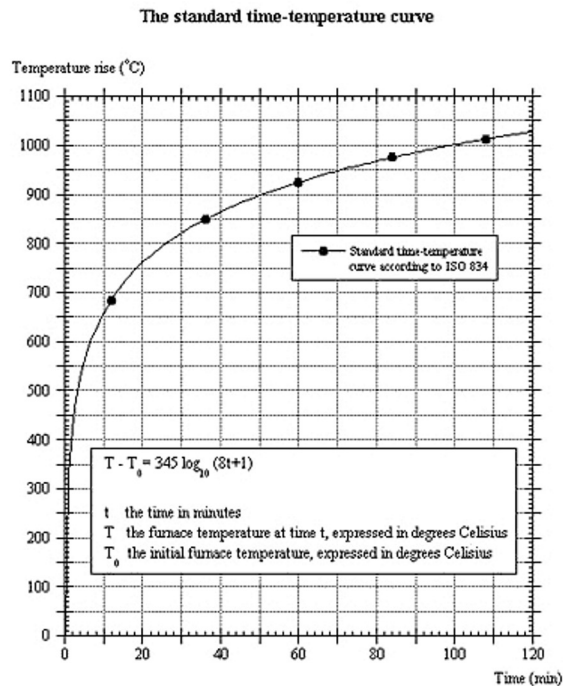
Normalização para experimentos

19

## Incêndio padrão

Crescimento da temperatura

Curva ISO 834



20

## ABNT NBR 14432:2001

- Define um dos principais conceitos quando se trata de exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos:

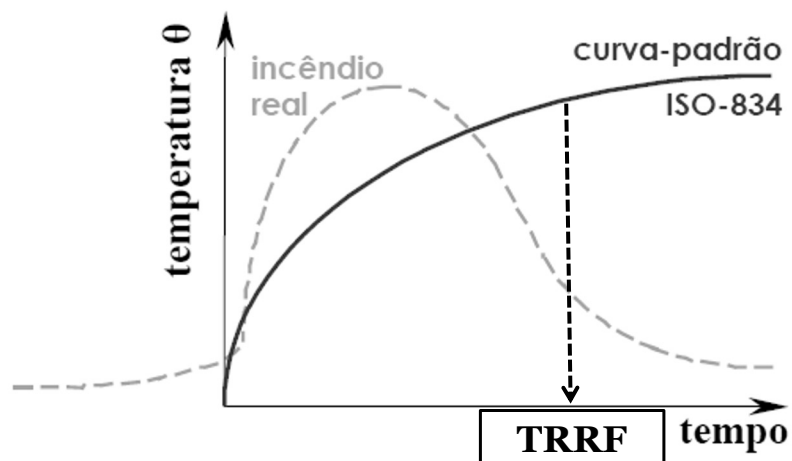
### ***TRRF***

### **Tempo Requerido de Resistência ao Fogo**

*Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio-padrão*

21

## Incêndio real *versus* Incêndio padrão



(Costa e Silva, 2003)

22

## **ABNT NBR 15200:2012**

**O projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio tem por base a correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura à temperatura ambiente (considerada próxima a 20° C) com o que ocorre em situação de incêndio**

23

## **ABNT NBR 15200:2012**

- Válida para pré-moldados, pré-fabricados e protendidos na ausência de normas específicas
- Permite o uso de procedimentos e normas internacionais desde que demonstrado o atendimento ao nível de segurança da norma brasileira
- Verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio: Método tabular, método analítico, método simplificado, métodos avançados, método experimental
- Inclusão de Anexos de A a G (destaque para o Método do tempo equivalente – Anexo A)

24



# O fogo, o concreto e o incêndio



Isolamento térmico e estanqueidade do concreto  
(Jacobs, 2007)

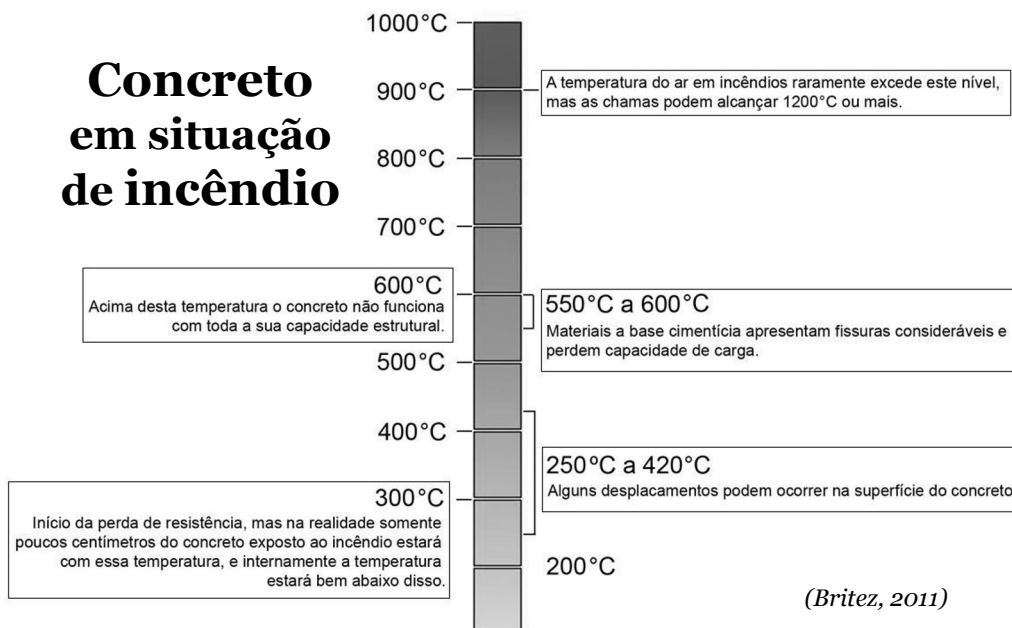
## Concreto

- material estrutural incombustível
- possui baixa condutividade térmica
- não exala gases tóxicos ao ser aquecido
- não é um elemento do tetraedro do fogo
- não é um combustível em forma sólida

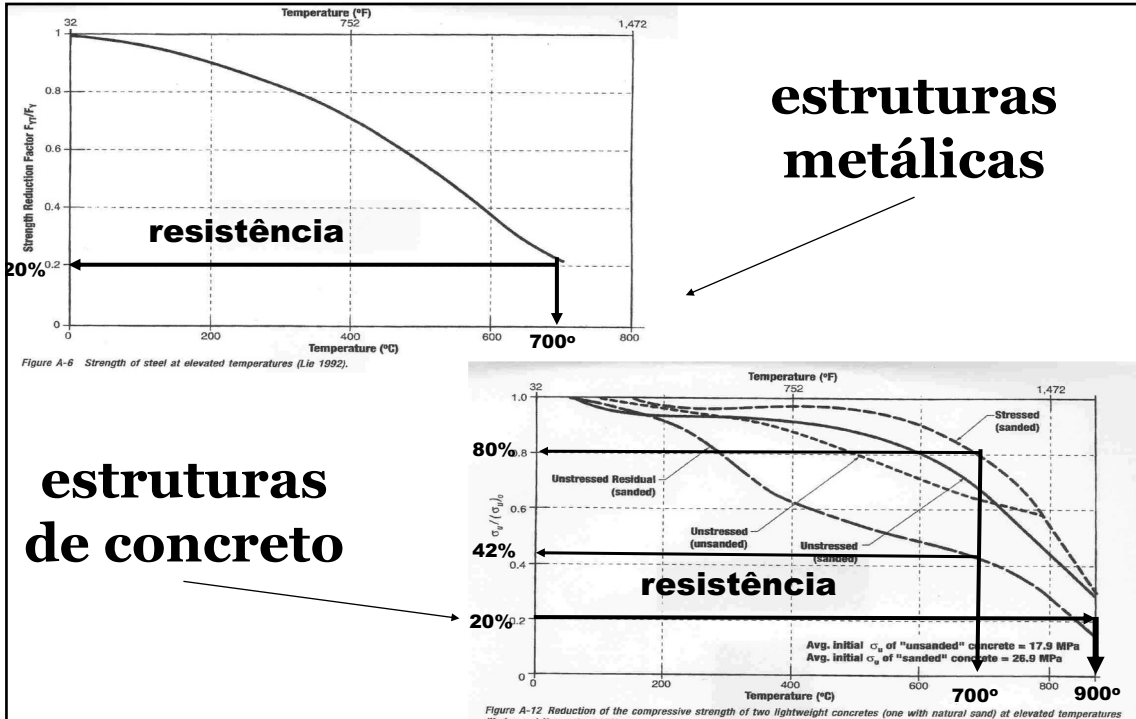
25

## O que acontece com o aumento da temperatura?

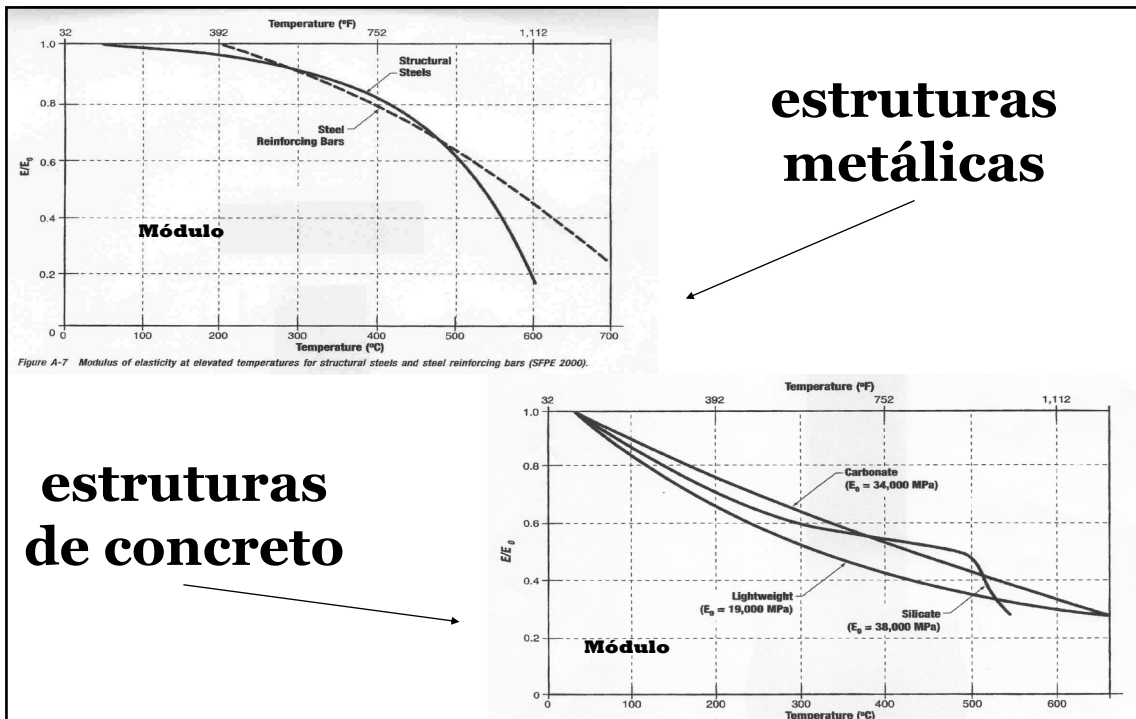
### Concreto em situação de incêndio



26



27



28

## Distribuição da temperatura em perfis metálicos

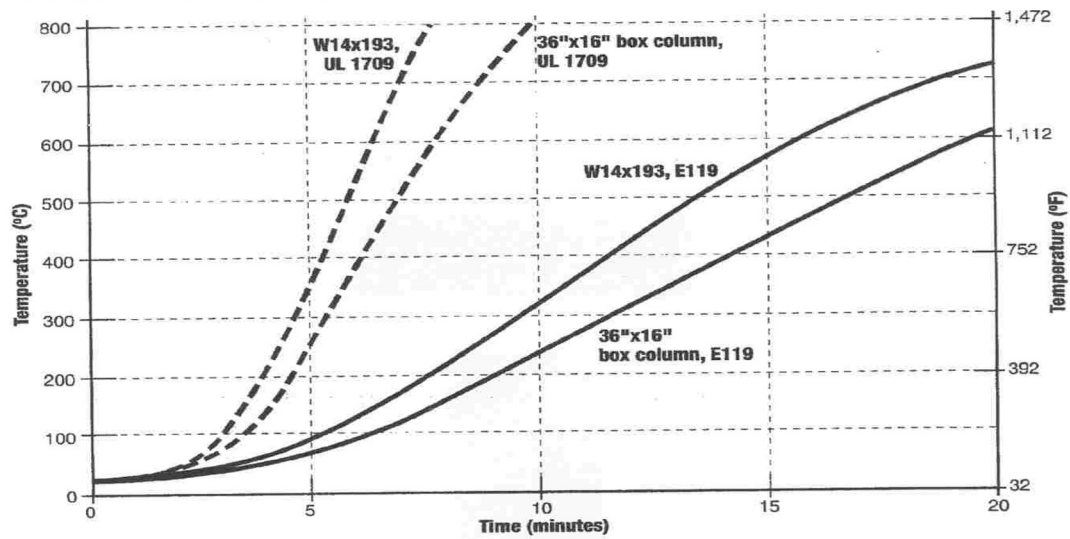


Figure A-9 Steel temperature rise due to fire exposure for unprotected steel column.

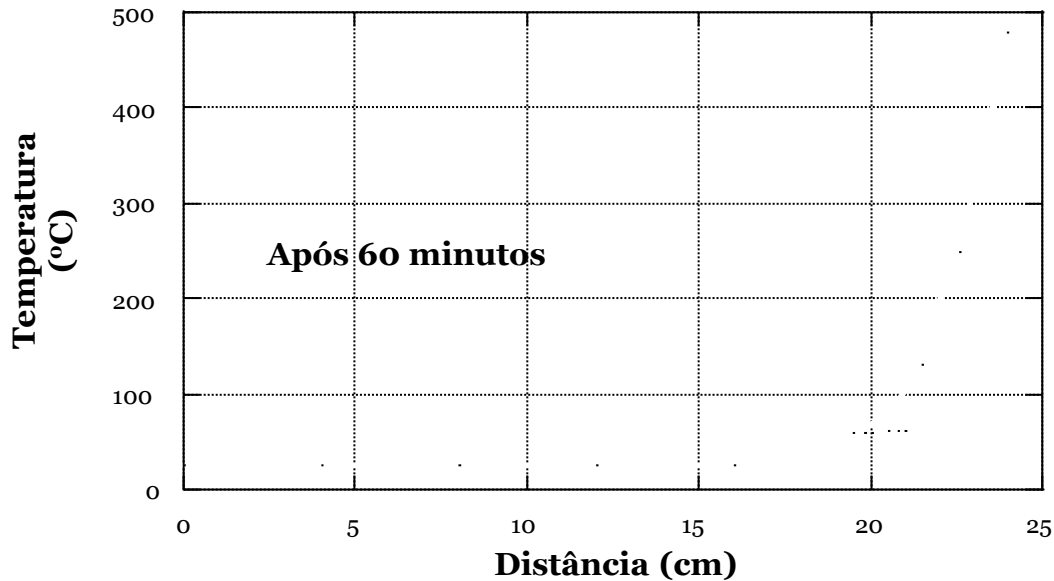
29

## Distribuição da temperatura em um pilar de concreto de 50 x 50 cm



30

## Distribuição da temperatura em um pilar de concreto de 50 x 50 cm



31

## O concreto e o incêndio

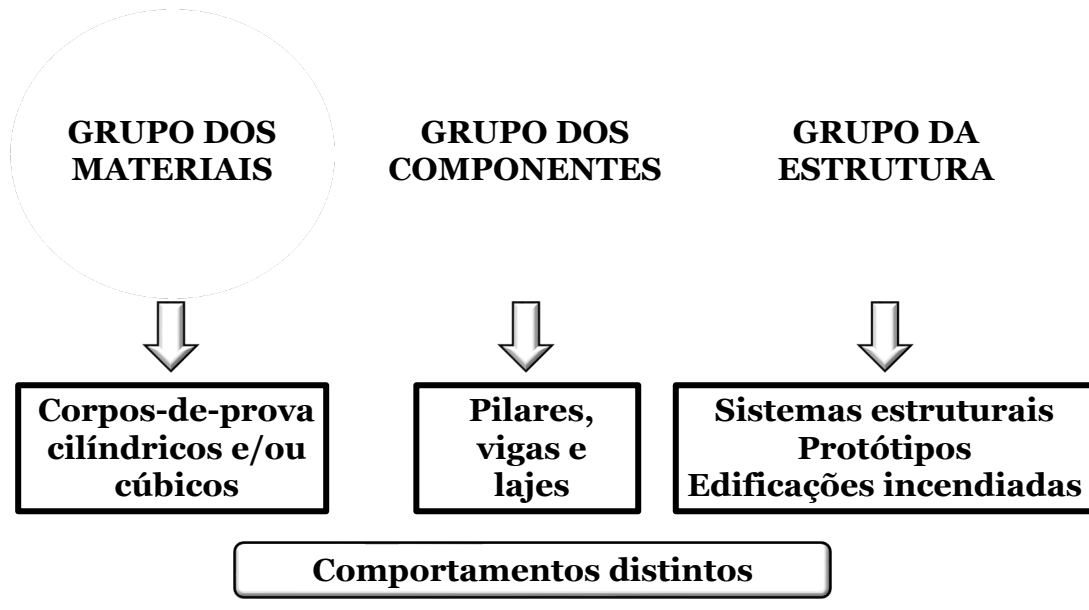
**Concreto é versátil**  
**Concreto não é inflamável**  
**Concreto é incombustível**  
**Concreto é resistente**  
**Concreto é isolante térmico**

**Concreto perde resistência**  
**Concreto pode explodir (*spalling*)**

0 a 100 °C → umidade → vapor d'água → íntegro  
100 a 350 °C → CSH perde água → pode explodir  
350 a 900 °C →  $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO}$  → agregados soltam  
900 a 1200 °C → fusão parcial,  $\text{CO}_2$

32

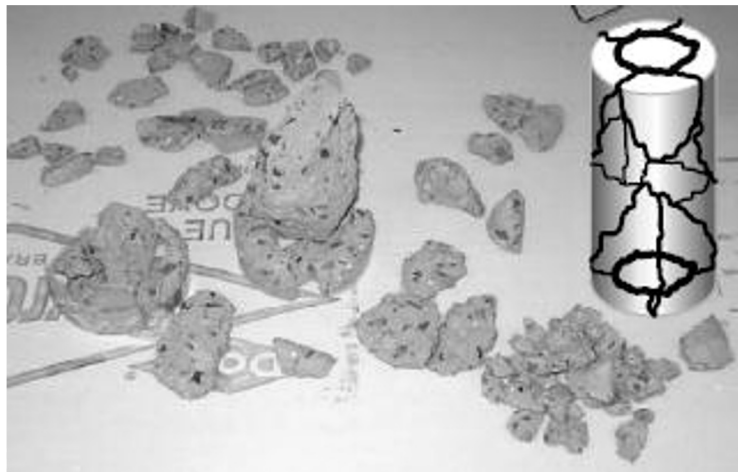
# Universo das amostras



33

# Discussões

O **tipo** e as **dimensões** da **amostra**, influenciam potencialmente nos resultados obtidos referentes ao **material** que está sendo avaliado, independentemente de sua **classe de resistência**, por exemplo

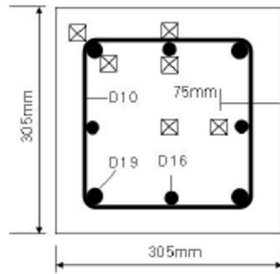


(Phan, 2002)

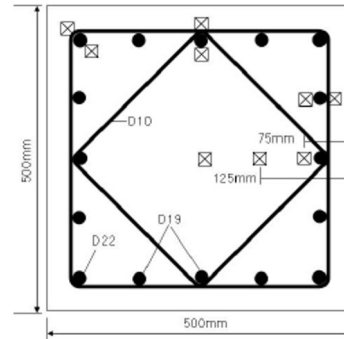
34

## Discussões

## Tamanho da seção transversal



30,5 cm x 30,5 cm x 3,4 m



50 cm x 50 cm x 3,4 m

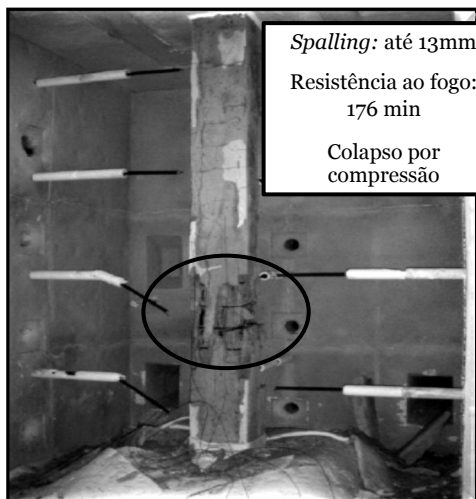
**pilares de 120 MPa  
(mesmo concreto, taxa de aço e  
intensidade de carregamento)**

(Park et al., 2007)

35

## Discussões

## Tamanho da seção transversal $f_{ck}$ 120 MPa



*Spalling*: até 13mm  
Resistência ao fogo:  
176 min  
Colapso por  
compressão

30,5 cm x 30,5 cm x 3,4 m



*Spalling*: de 0mm  
até 5mm  
Resistência ao fogo:  
240 min  
Não houve colapso

50 cm x 50 cm x 3,4 m

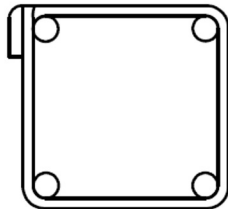
(Park et al., 2007)

36

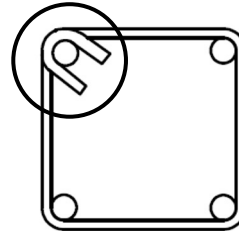
# Discussões

Presença de **aço** na amostra

Elemento de concreto armado (pilar)



(a) Configuração convencional de estribos



(b) Configuração modificada de estribos

**espaçamento de estribos:  
0,75 vezes do convencional**

*(Kodur, 2005)*

37

# Discussões

Presença de **aço** na amostra



Configuração Convencional de Estribos

*(Kodur, 2005)*

**$f_{ck}$  83 MPa**



Configuração Modificada de Estribos

**Corpos-de-prova não tem armadura...**

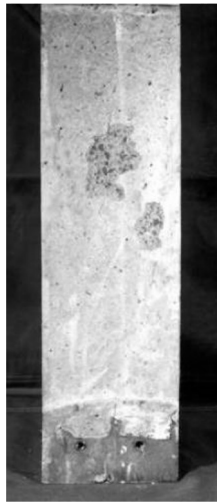
38

## Discussões

Presença de  
fibras de polipropileno



*Sem fibras*



*Com fibras*

**maiores  
quantidades com  
menores  
diâmetros e  
maiores  
comprimentos,  
diminuem o  
*spalling***

*(Kawai, 2005)*

39

## Discussões

- A presença de **carregamento** na amostra é favorável ou desfavorável quando em ensaios em elevadas temperaturas? Parece conduzir a menos ***spalling***...

- **Depende de diversos fatores**
- **Resultados sempre específicos**
- **Deve haver comparativo direto**
- **Sem resposta precisa, sem padrão**

***... Fenômeno aleatório***

40



## The Cardington Fire Test

By Pal Chana and Bill Price, British Cement Association  
Jul 15, 2003, 09:00

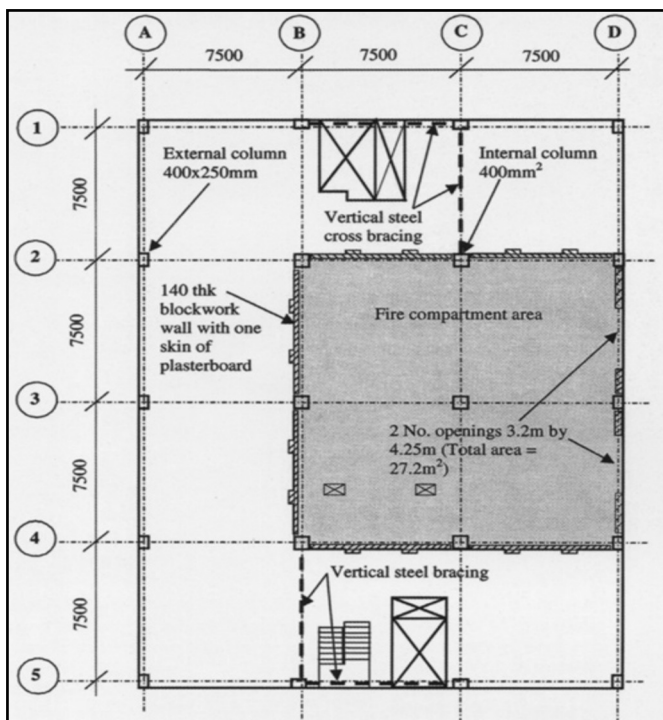
Email this article  
Printer friendly page

- ✓ 7 pisos
- ✓ 25m de altura
- ✓ 3 x 4 de 7,5m por 7,5m
- ✓ Laje → espessura 15cm
- ✓ Laje →  $f_{ck} = 37\text{MPa}$
- ✓ Vigas →  $f_{ck} = 74\text{MPa}$
- ✓ Cobrimento → 2cm
- ✓ Pilares →  $f_{ck} = 100\text{MPa}$
- ✓ Cobrimento → 4cm
- ✓ Agregados calcita e granito
- ✓ 2,7% fibras propileno
- ✓ umidade alta



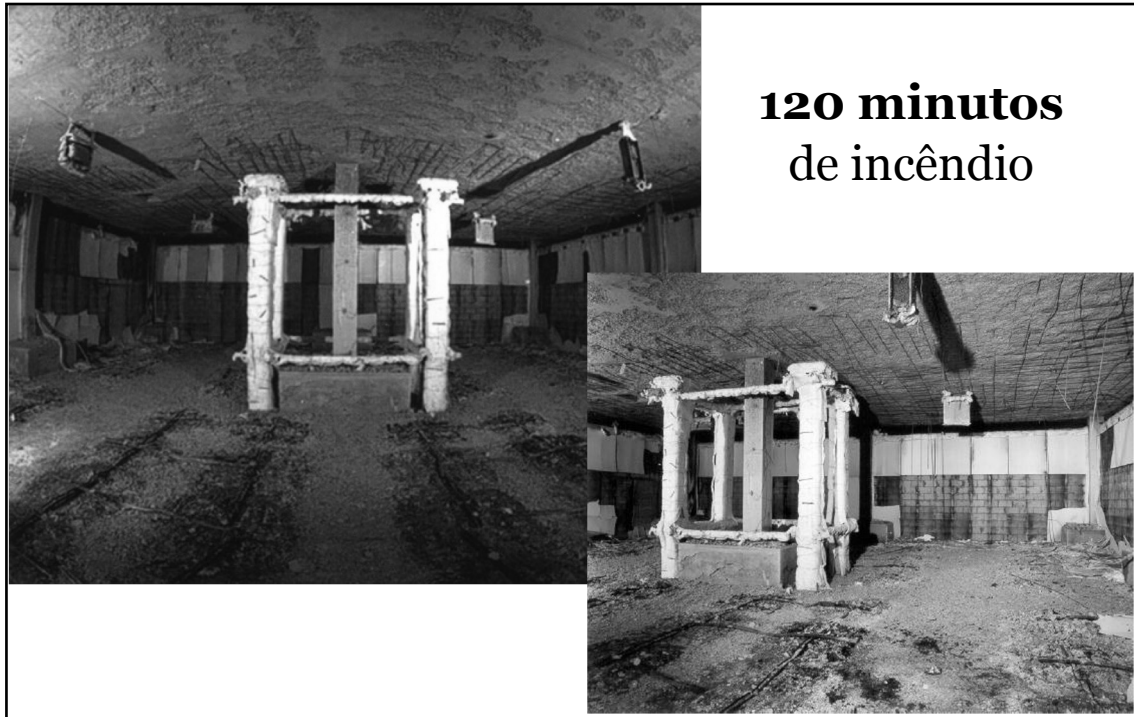
Cardington Concrete Building Frame

41



Croqui  
mostrando a  
localização do  
compartimento  
do incêndio na  
construção

42



43

- 1. A estrutura de concreto suportou um fogo intenso sem colapsar;**
- 2. A estrutura satisfaz a critérios de desempenho relevantes da função de suporte de carga, de isolamento e de integridade, quando submetida a um incêndio real;**
- 3. Observou-se extenso *spalling* na laje do 1º pavimento, mas isto não comprometeu a integridade estrutural dos andares sob cargas impostas;**
- 4. O deslocamento horizontal da laje de piso foi de 6cm;**
- 5. Os pilares HPC (103MPa), que continham fibras de propileno, tiveram excelente desempenho;**
- 6. A laje conseguiu suportar os carregamentos impostos mesmo com deslocamentos verticais residuais (7cm).**

44

# INVESTIGAÇÃO

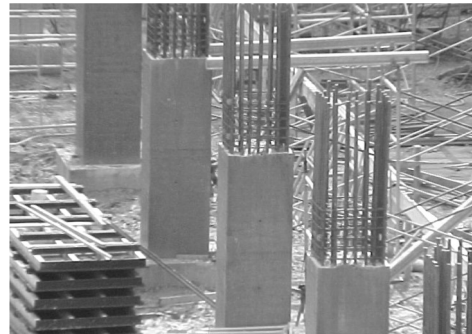
## Universidade de São Paulo

**Brasil**  
**2002 → 2010**

*PhD student:* Carlos Britez  
*Supervisor:* Paulo Helene

45

### *História*



**Edifício e-Tower**

**São Paulo, Brasil**

**2002**

**$f_{ck} = 125\text{MPa}$**

***world record***

**6 pilares em 7 pisos**

46



47

## **“ HPCC in Brazilian Office Tower”**

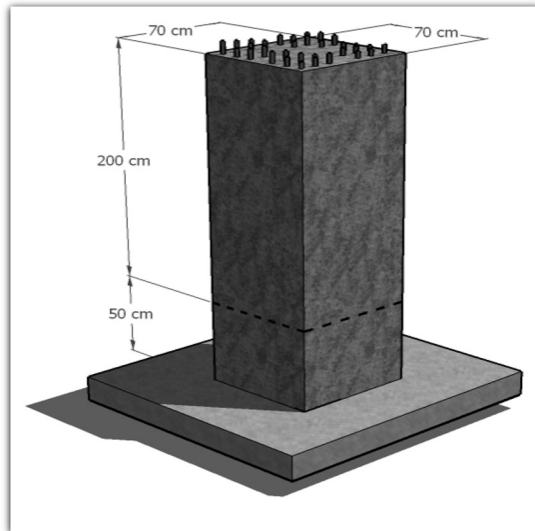
*Concrete International. ACI,  
American Concrete Institute, v. 25, n.  
12, p. 64-68, 2003*

HELENE, Paulo & HARTMANN,  
Carine



48

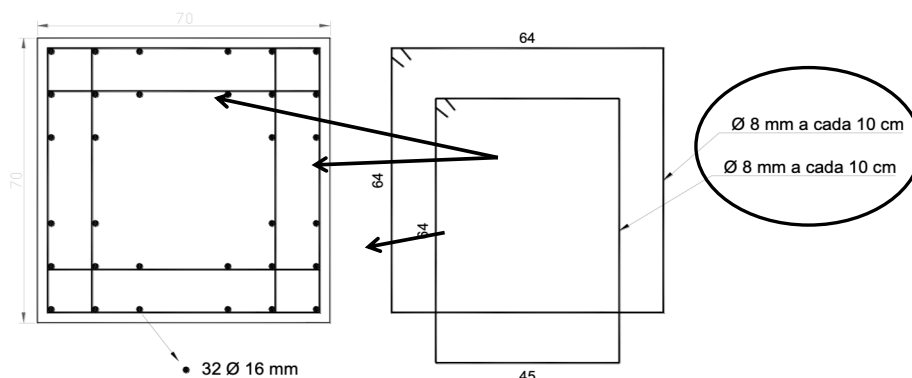
## *Pilar ensaiado*



- ✓ 70cm x 70cm
- ✓ altura: 2m
- ✓ peso: 2500kg
- ✓ idade: 8 anos
- ✓  $f_{ck} = 140\text{MPa}$
- ✓ Cobrimento: 25mm

49

## *Seção transversal*



**Geometria e configuração da armadura**

50

## ***Condições similares às reais***

*Pilar mantido em ambiente externo*



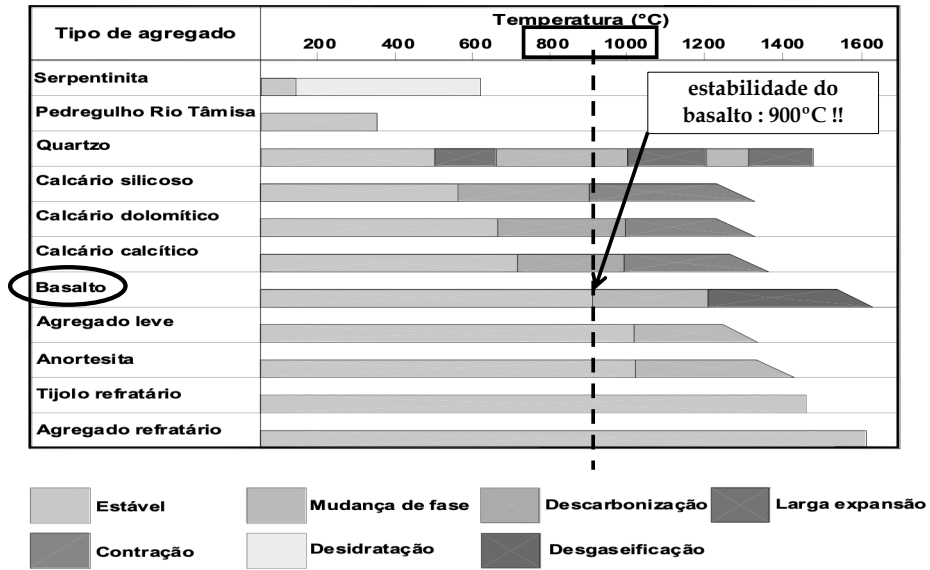
51

## ***Originalidades da investigação***

- ✓ **Petrografia dos agregados (basalto)**
- ✓ **Envelhecimento natural**
- ✓ **Concreto colorido (pigmentado)**
- ✓ **Concreto de alta resistencia**

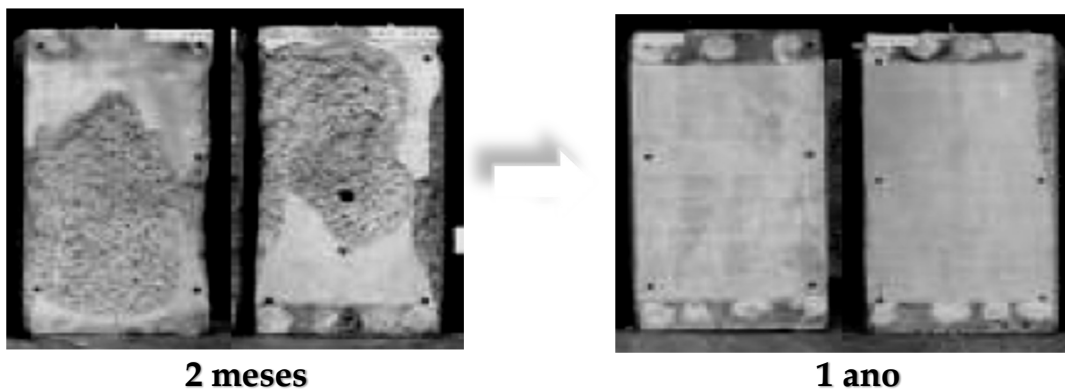
52

## Agregados (fib bulletin 38, 2007)



53

## Influência da idade



(Morita et al, 2002)

54

## Concreto colorido



55

## *Pilar: corte, içamento e transporte*



**Fio diamantado**



56



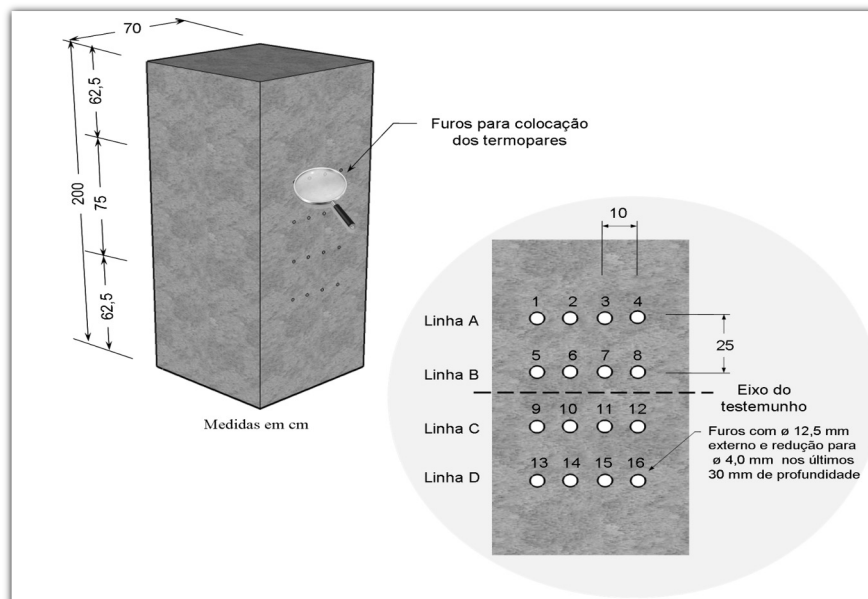
## Testemunhos extraídos



Após 8 anos  
**140 MPa**

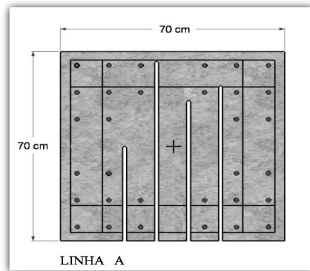
57

## Esquema dos termopares

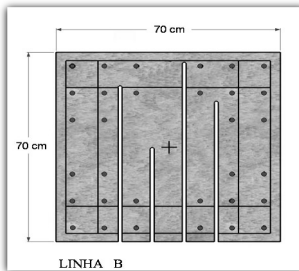


58

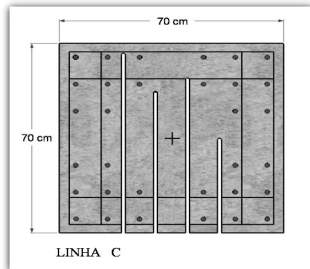
## *Inserindo os termopares*



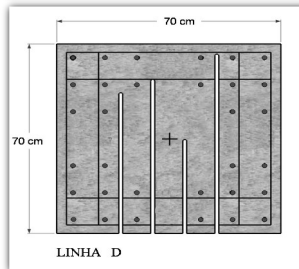
LINHA A



LINHA B



LINHA C

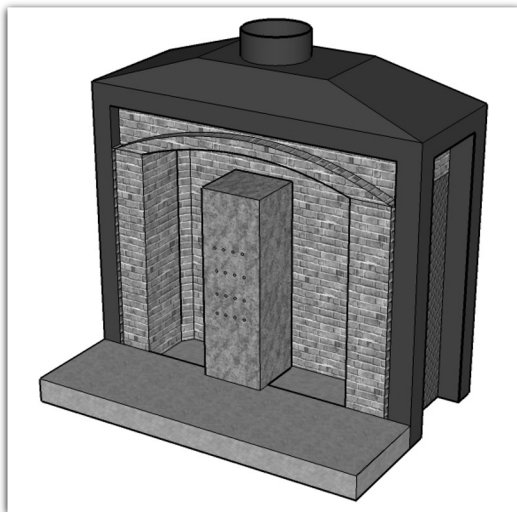


LINHA D



59

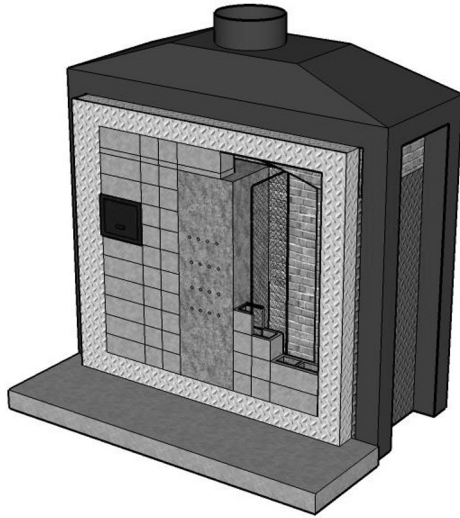
## *Esquema geral do experimento*



- ✓ forno IPT (tradição)
- ✓ sem carregamento
- ✓ Exposição: 3 faces
- ✓ Curva padrão ISO 834
- ✓ Simulação: 180 minutos

60

## ***Esquema geral do experimento***



- ✓ alvenaria fechamento
- ✓ gaiola de segurança
- ✓ fibra cerâmica interna
- ✓ grauteamento
- ✓ preenchimento com areia
- ✓ janelas de alívio

61

61



***Laboratório***  
***forno de alta temperatura***



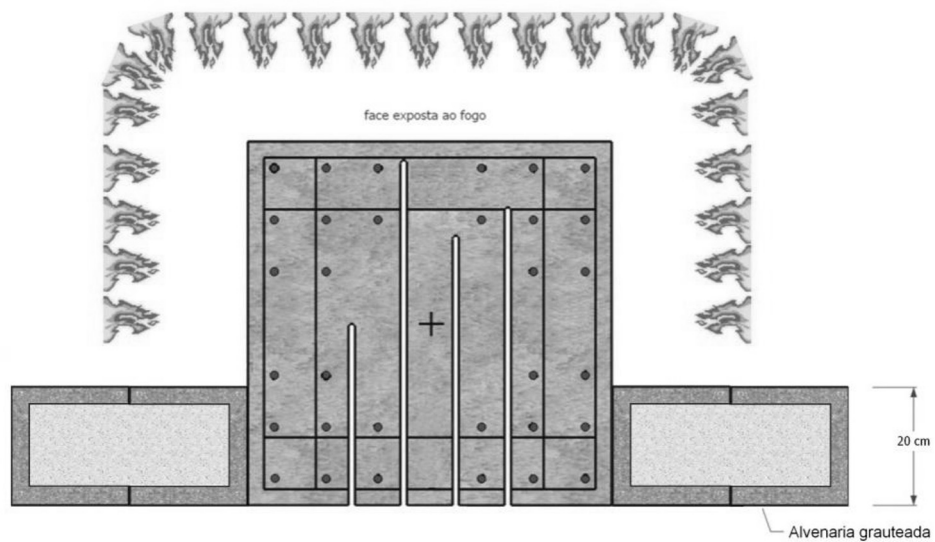
62

## *Proteção com fibras ceramicas*



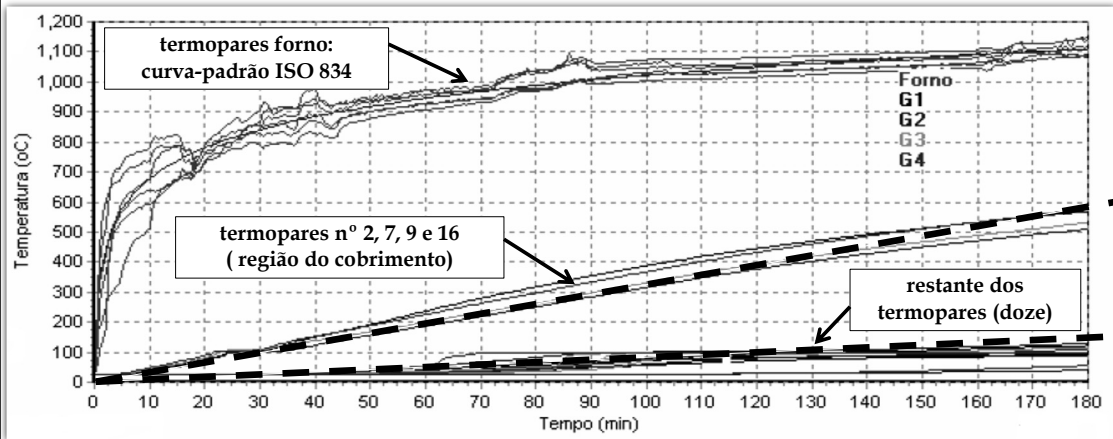
63

## *Esquema da simulação (planta)*



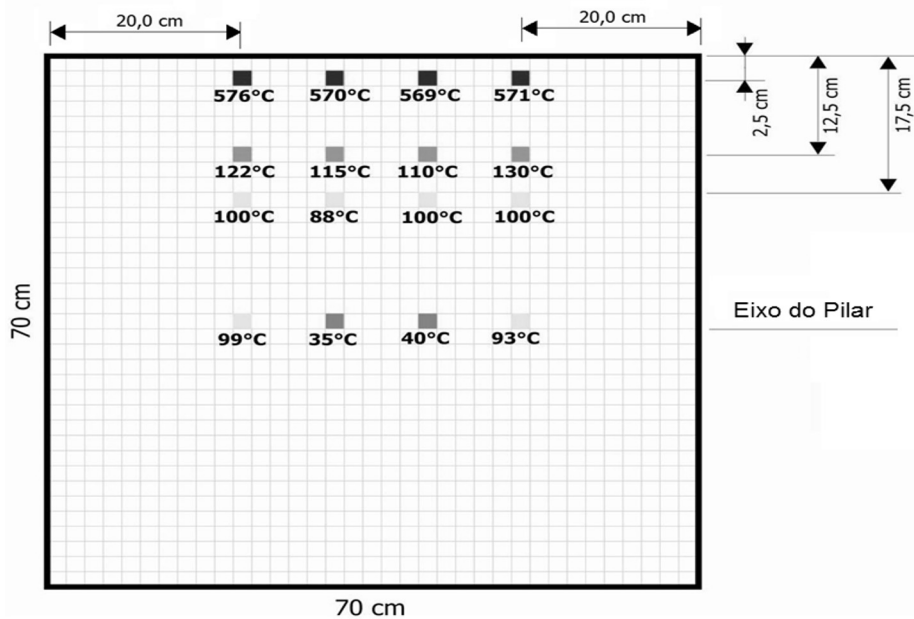
64

## Evolução das temperaturas



65

## Temperaturas aos 180min



66

***Depois do ensaio...***  
*180min de fogo + 3 dias*



67

***Integridade***



***arestas perfeitas***

68

## ***Integridade depois de 180min***



- ✓ Spalling superficial
- ✓ Ocorrência: 36 min (inicial)
- ✓ Som “pipocamento”
- ✓ Arestas intactas
- ✓ Tipo: deslocamento
- ✓ Profundidade: de 0 a 48 mm (em um único ponto), média de 9,3 mm)

69

## ***Integridade***



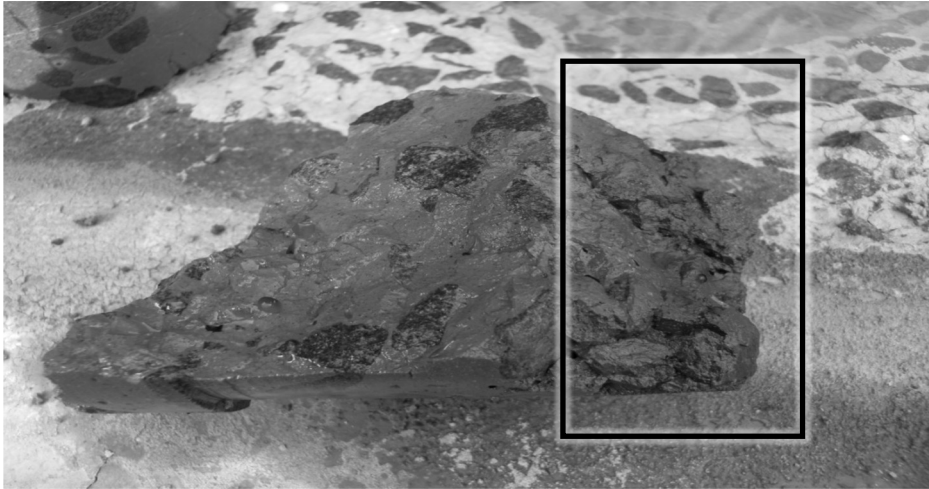
**armadura exposta  
inferior a 5%**



**Seção transversal  
perdida por *spalling*  
aproximadamente 5%**

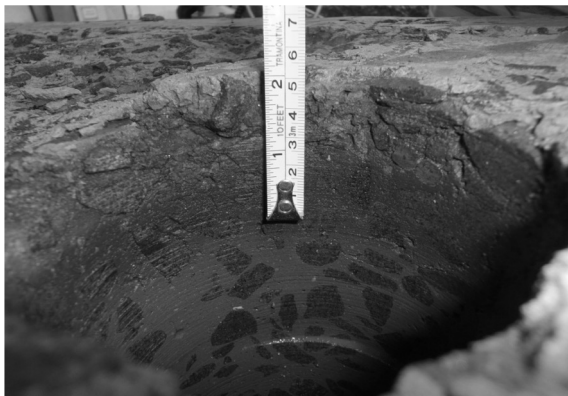
70

## *Indicador colorimétrico: faces*



71

## *Termômetro natural*



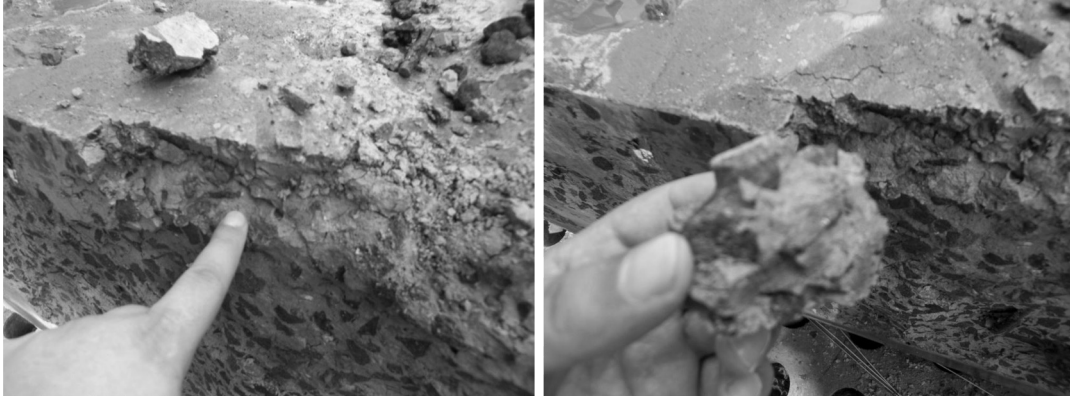
- ✓ Óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- ✓ Profundidade:  $\approx 55\text{mm}$
- ✓ Centro das faces
- ✓ Arestas não evidentes
- ✓  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
- ✓ hematita em magnetita

cerca de  $600^\circ\text{C}$

72



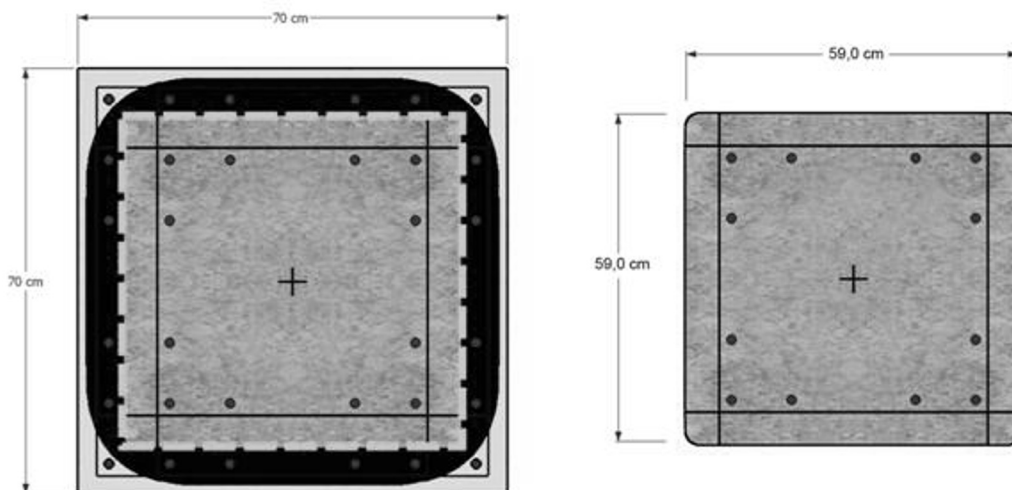
## ***Indicador colorimétrico: arestas***



**Coloração resultante não tão evidente quanto na região da face central**

73

## ***Ensaio residuais: resultado global***



74

## **Conclusões**

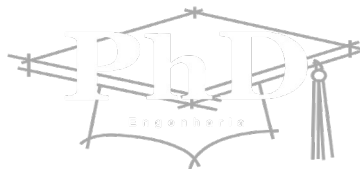
**Investigação baseada somente no comportamento dos materiais não é suficiente para explicar o efetivo comportamento das estruturas sob incêndio**

**Ainda desconhecemos todos os fatores intervenientes e necessitamos de mais estudos experimentais adequados e consistentes**

**Ainda não é possível controlar e prever com segurança o comportamento sob incêndio**

75

# **OBRIGADO!**



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)  
[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)**

**11-2501-4822 / 23  
11-7881-4014**

76