



ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO



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*

UNISINOS

11 de maio de 2018

São Leopoldo/RS

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



aspecto típico das lajes

8



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***

9



10



Edifício WINDSOR
Madri, Espanha
2005
Estrutura mista aço-concreto

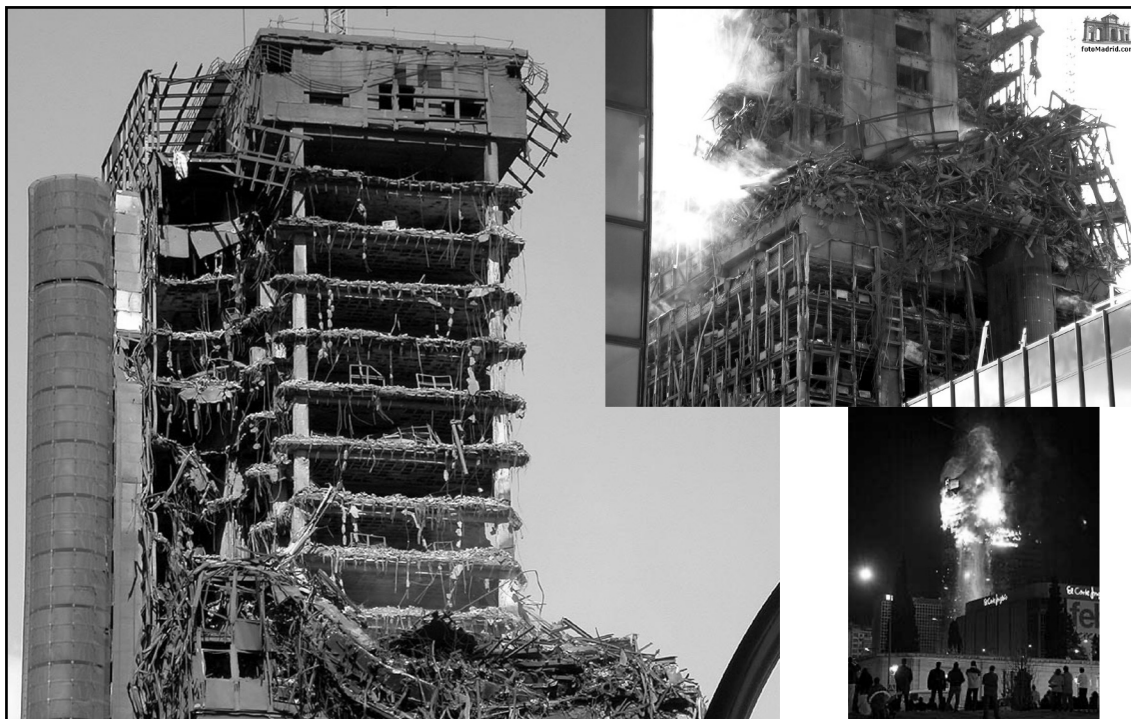
37 andares
5 andares de garagem
+ 31 andares de escritórios

Construção: 1991
Incêndio: 12 Fev. 2005

Duração: 16h
960min

somente as partes de
aço colapsaram
totalmente demolido

11



12



“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 heterogeneous and vary from 1.5cm in 19 floor to 3 cm in 12 floor...”

Dra. Cruz Alonso. IET.

13

Pós-incêndio

- ✓ Recuperação propriedades
- ✓ Impressões fortes × realidade
- ✓ Demolição × reabilitação



Incêndio no Edifício Windsor em Madrid, 2005 (Calavera Ruiz et al, 2007)

14



15

No domingo, 17 de outubro de 2004 às 00:05 da manhã, um incêndio se iniciou no 34º andar da Torre "Este" do Parque Central, Caracas, Venezuela. O incêndio se extinguiu por si mesmo no final do domingo, cerca de 8 h da noite.

Os bombeiros de Caracas trabalharam arduamente para controlar esse incêndio, múltiplas irregularidades nos sistemas de prevenção e extinção e falta de pressão de água para elevar a água para mais de 34 andares, motivaram a perda do controle da situação.

O incêndio transpassou uma macro laje de refúgio contra incêndio construída em concreto protendido no 39º andar e permaneceu descontrolado até o 56º andar, até que esgotou o material combustível.

16



17



18



17h

19



17 / 3.00

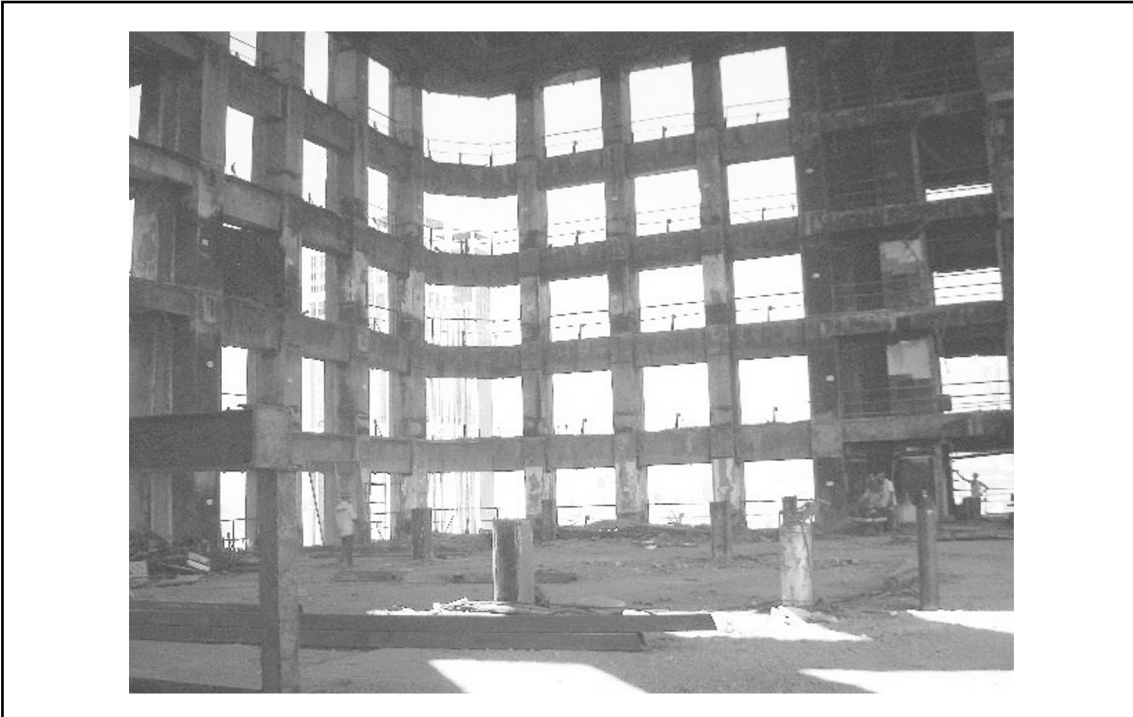
20



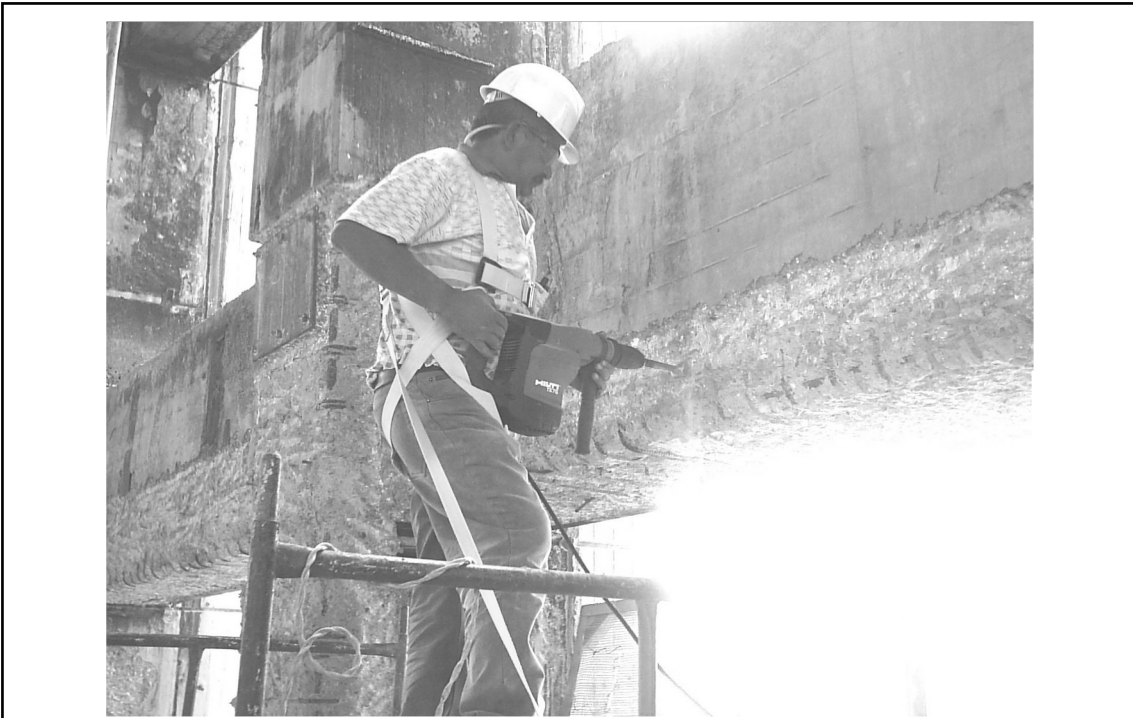
21



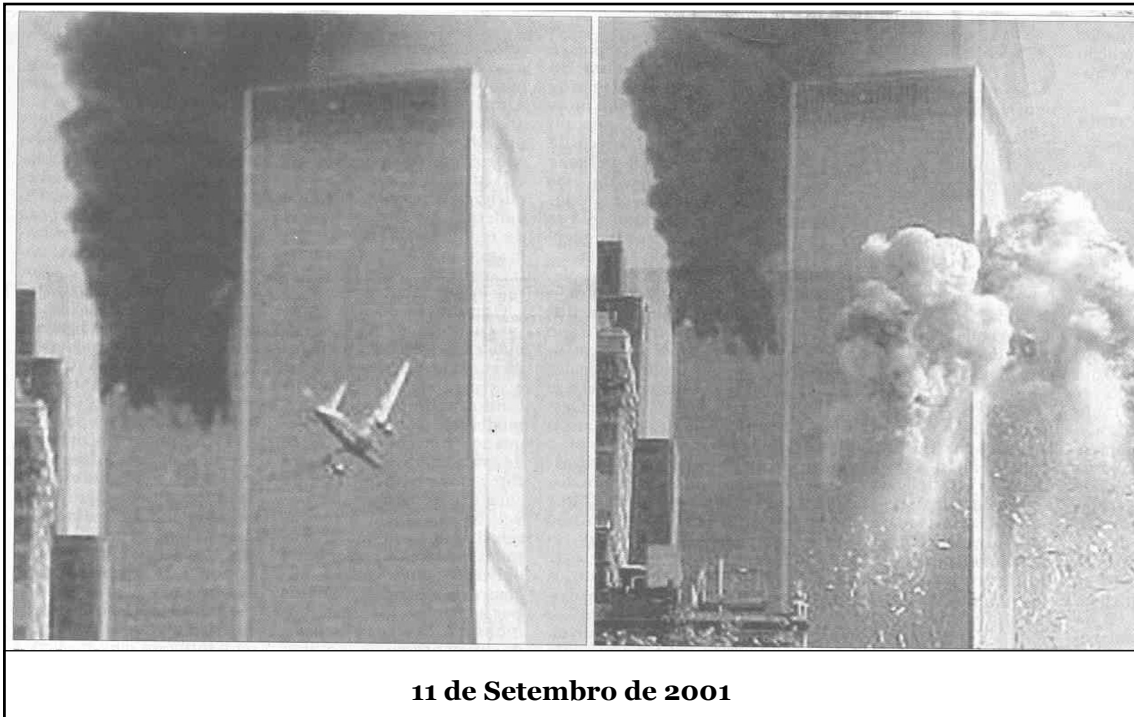
22



23



24



25

As piores consequências do impacto

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

26

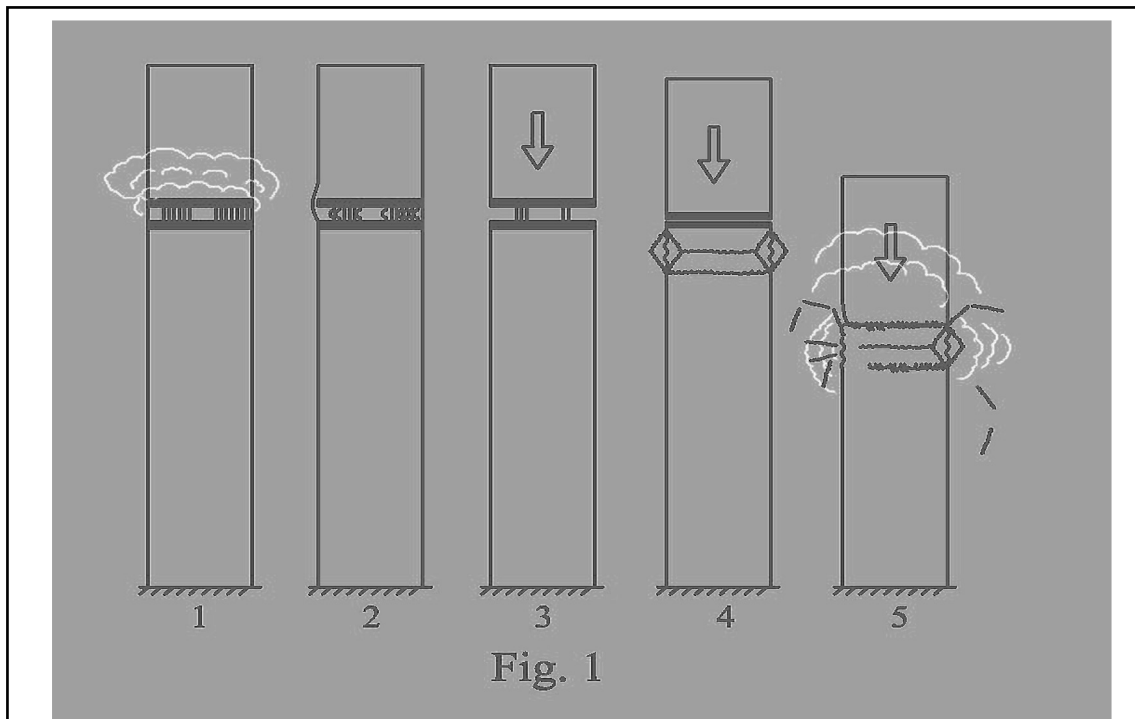
Resistência e Estabilidade

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

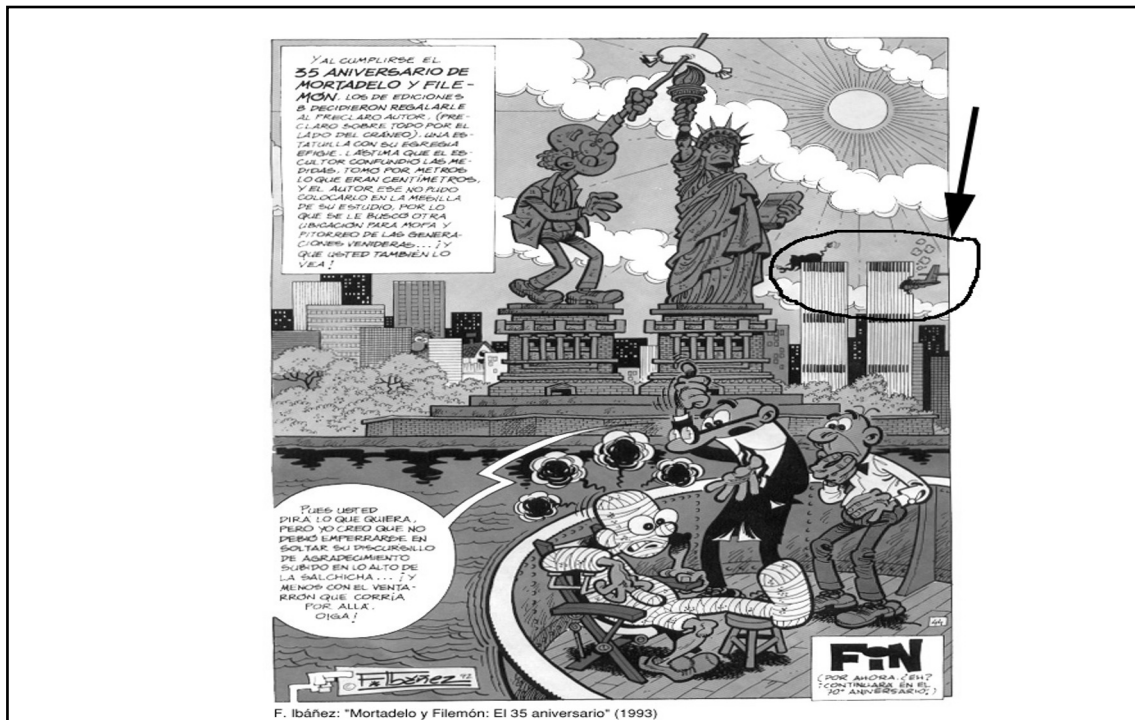
Essa vibração induzida, teve uma amplitude da ordem da metade da máxima considerada pelo efeito do vento

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

27



28



29

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

30

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**

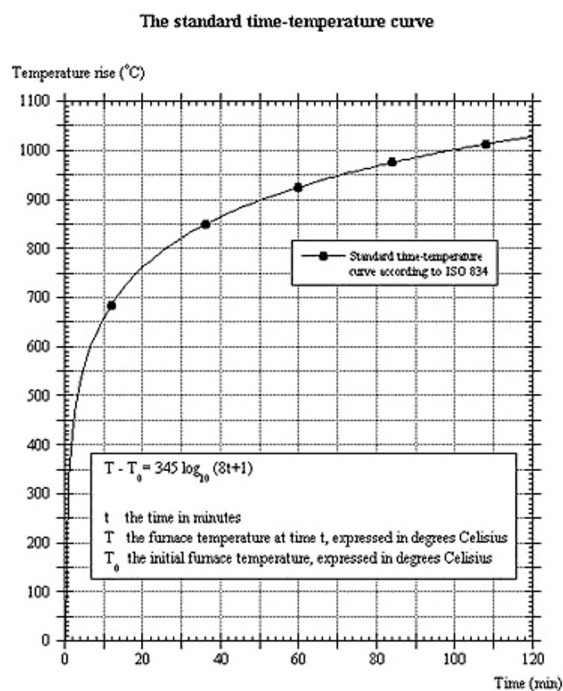
Normalização para
experimentos

31

Incêndio padrão

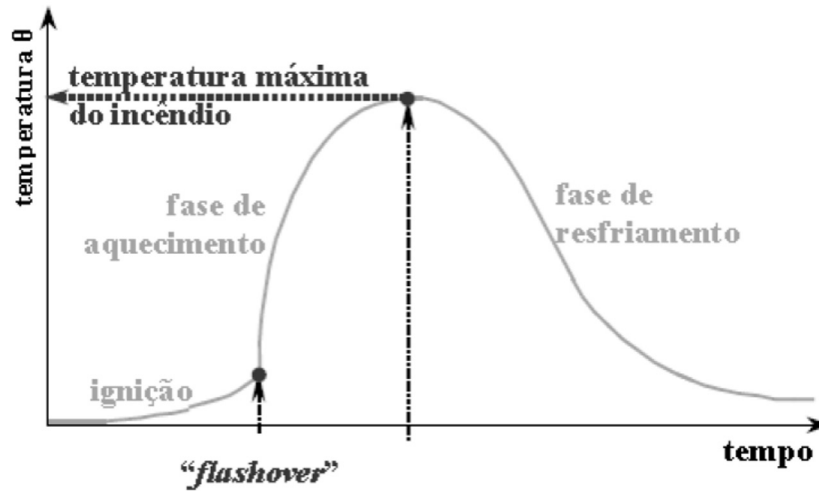
Crescimento da temperatura

Curva ISO 834



32

Incêndio real (genérico)



Estágios principais de um incêndio real (Costa e Silva, 2003)

33

ABNT NBR 14432:2001

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

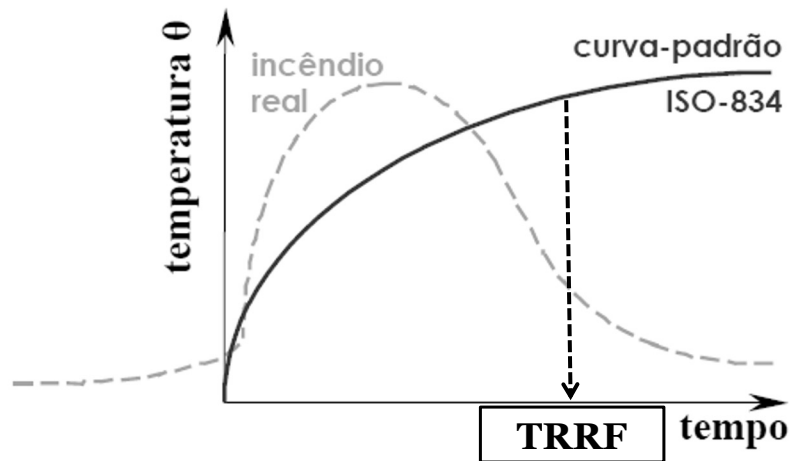
TRRF

Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

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

34

Incêndio real *versus* Incêndio padrão



(Costa e Silva, 2003)

35

ABNT NBR 15200:2012

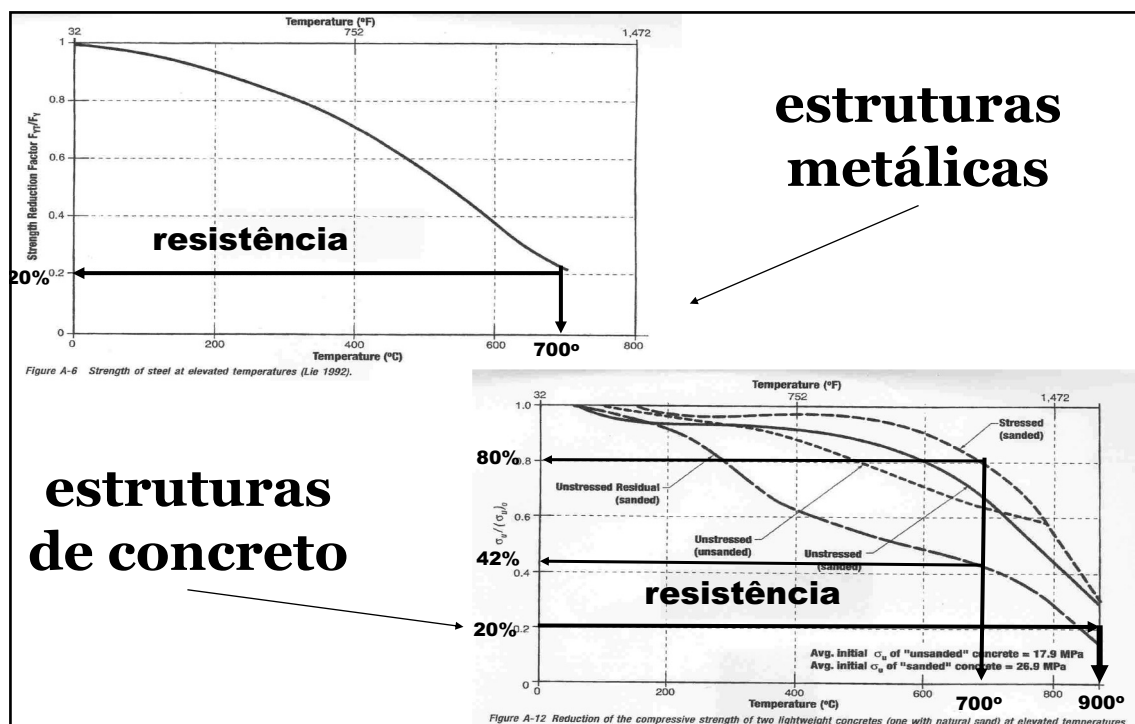
O projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio tem por base a correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura à temperatura ambiente (considerada próxima a 20° C) com o que ocorre em situação de incêndio

36

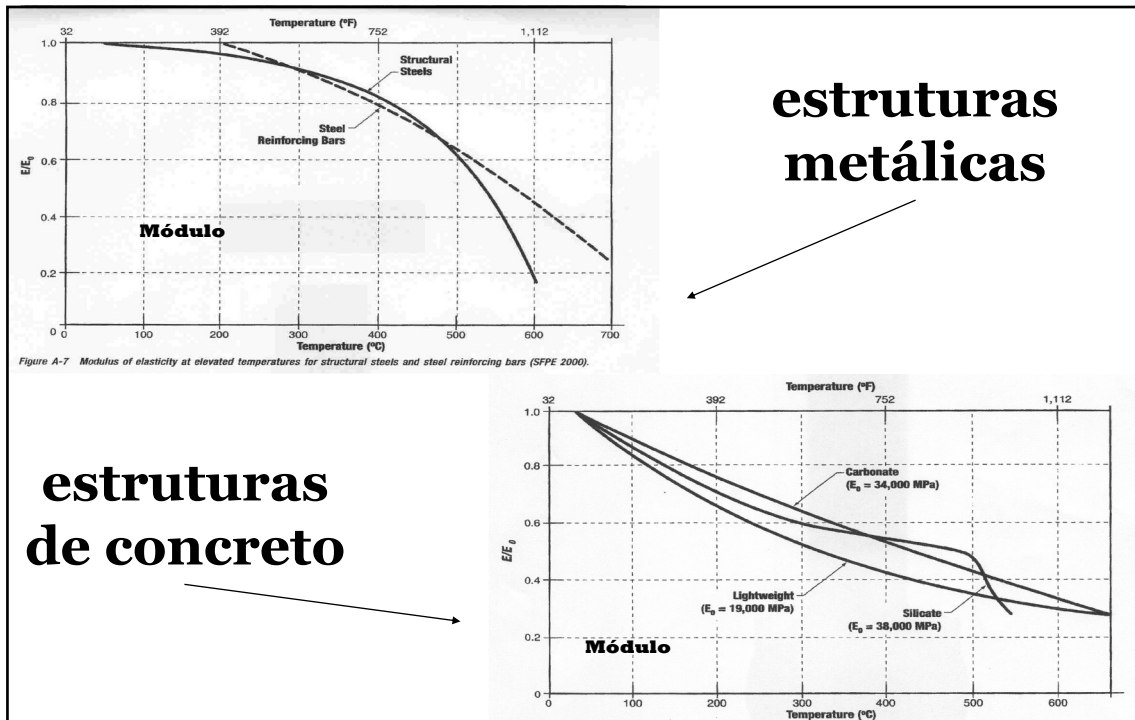
ABNT NBR 15200:2012

- 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)

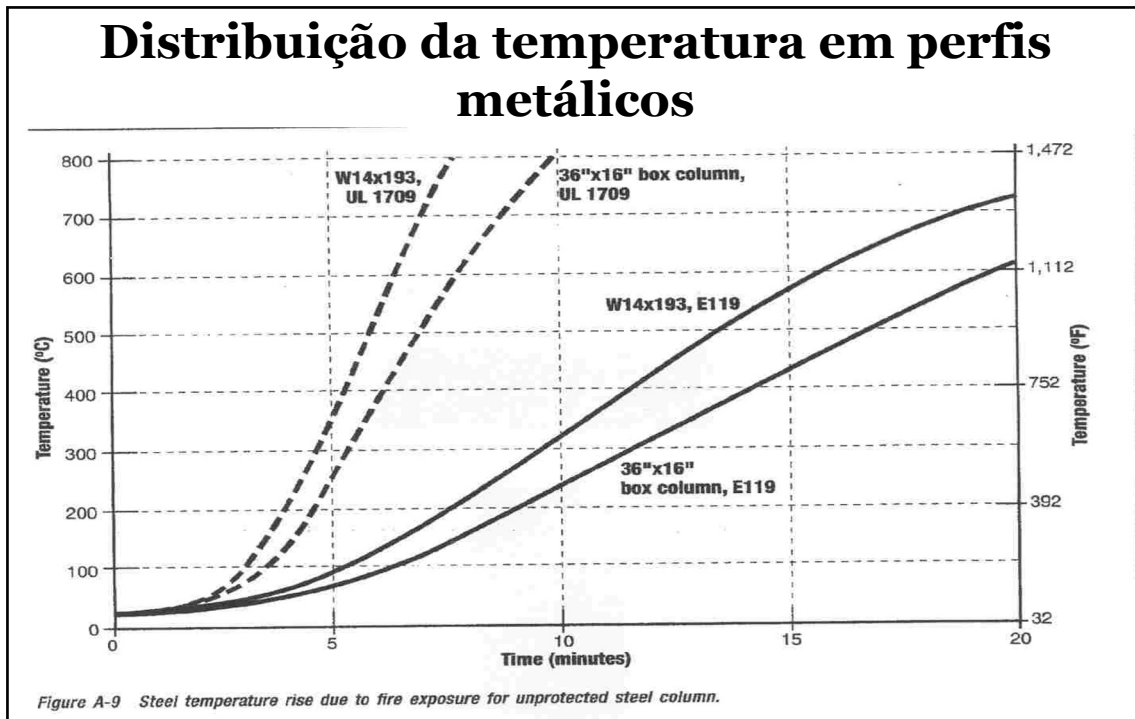
37



38



39



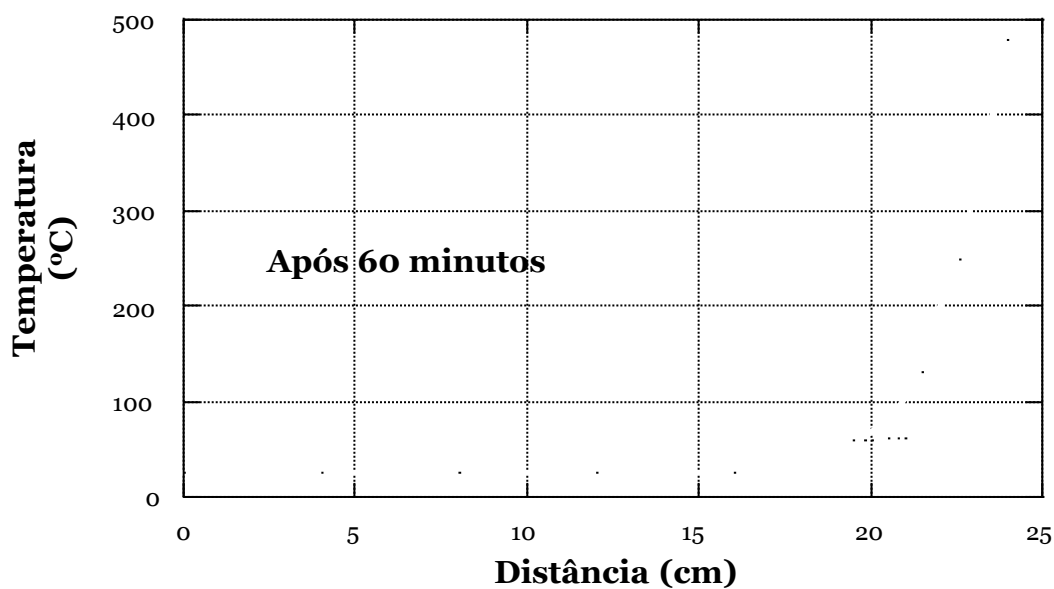
40

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



41

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



42

O concreto e o incêndio

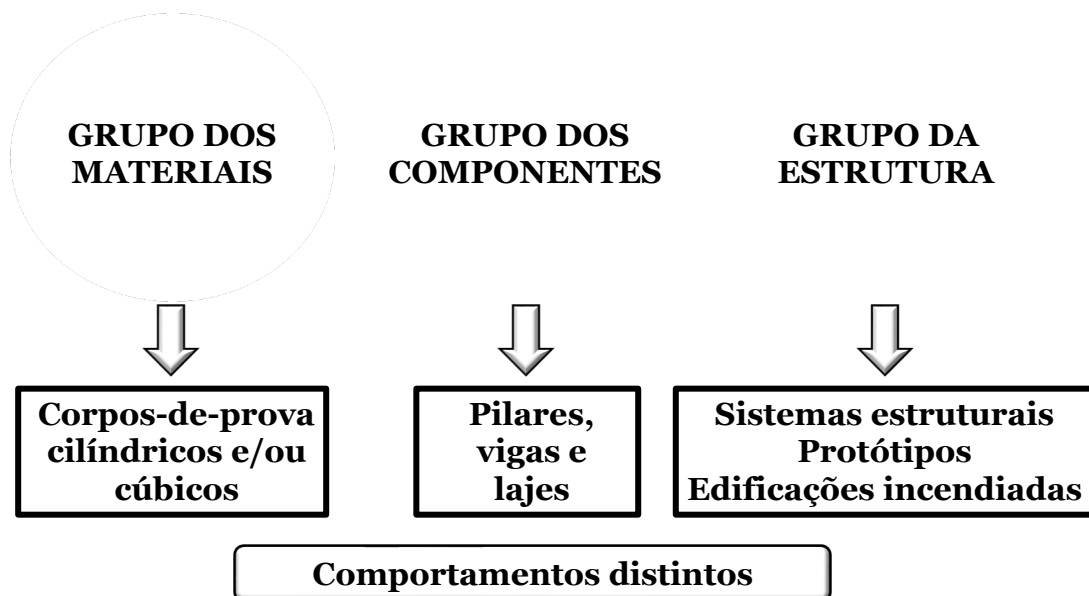
Concreto é versátil
Concreto não é inflamável
Concreto é incombustível
Concreto é resistente
Concreto é isolante térmico

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, CO_2

43

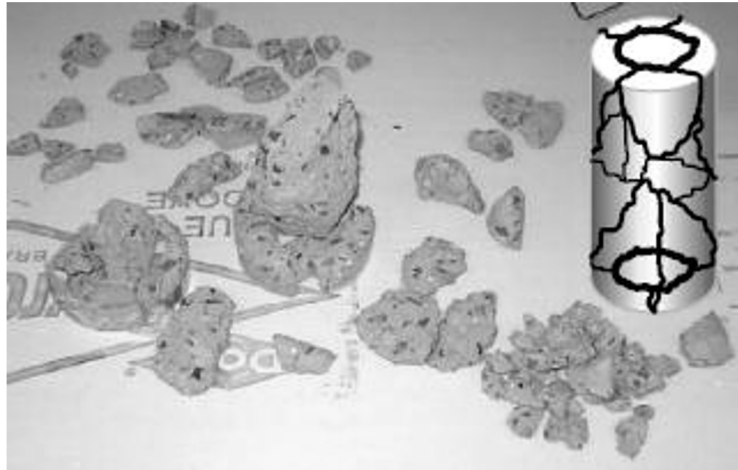
Universo das amostras



44

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

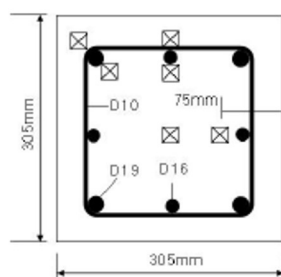


(Phan, 2002)

45

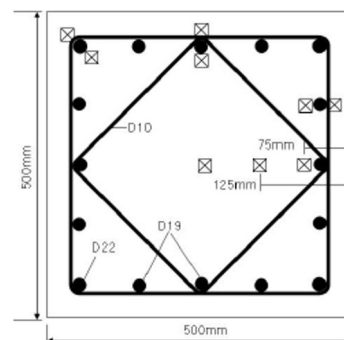
Discussões

Tamanho da **seção transversal**



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

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



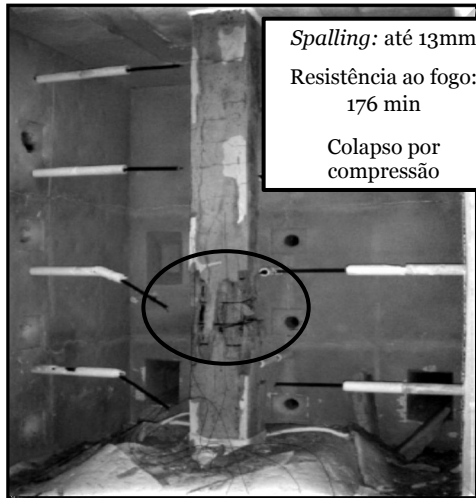
50 cm x 50 cm x 3,4 m

(Park et al., 2007)

46

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

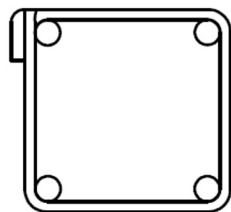
(Park et al., 2007)

47

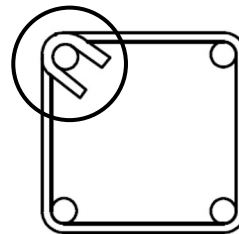
Discussões

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)

48

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...

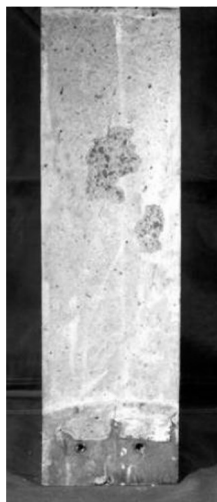
49

Discussões

Presença de
fibras de polipropileno



Sem fibras



Com fibras

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

(Kawai, 2005)

50

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

51

BETTER BUILT WITH CONCRETE

Last Updated: Aug 31st, 2004 - 18:25:55

The Cardington Fire Test

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

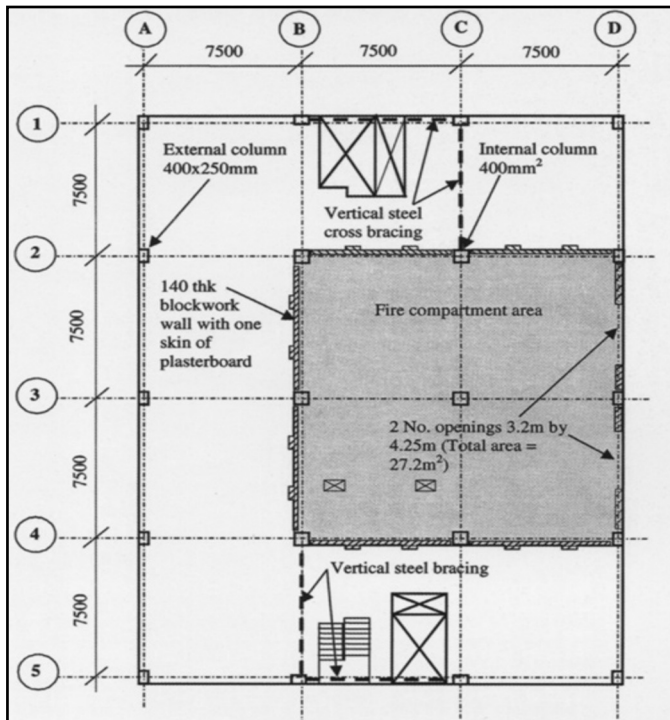
[Email this article](#)
[Printer friendly page](#)

- ✓ 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

52



Croqui
mostrando a
localização do
compartimento
do incêndio na
construção

53



120 minutos
de incêndio



54

- 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).**

55

INVESTIGAÇÃO

Universidade de São Paulo

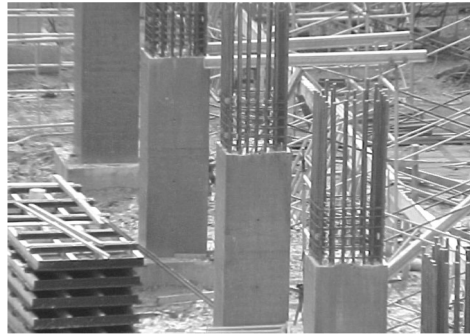
Brasil

2002 → 2010

PhD student: Carlos Britez
Supervisor: Paulo Helene

56

História



Edifício e-Tower

São Paulo, Brasil

2002

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

world record

6 pilares em 7 pisos

57

concreto



58

“ HPCC in Brazilian Office Tower”

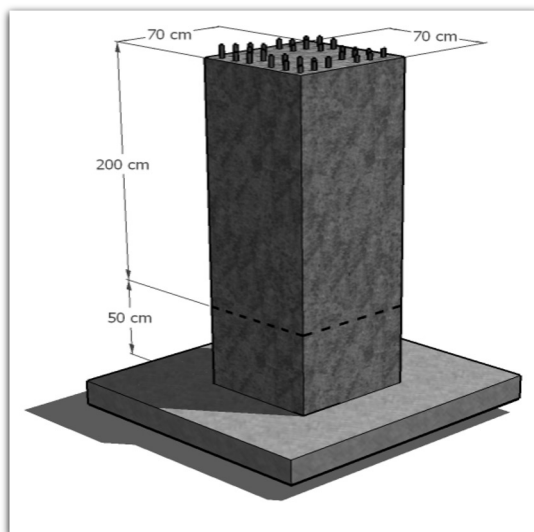
*Concrete International. ACI,
American Concrete Institute, v. 25, n.
12, p. 64-68, 2003*

HELENE, Paulo & HARTMANN,
Carine



59

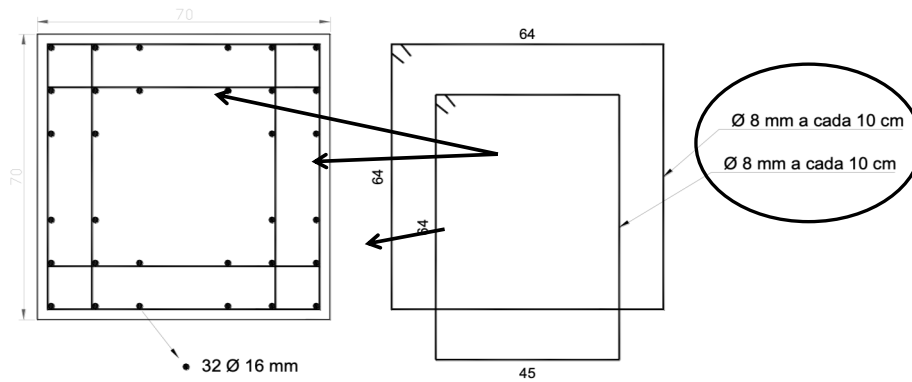
Pilar ensaiado



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

60

Seção transversal



Geometria e configuração da armadura

61

Condições similares às reais

Pilar mantido em ambiente externo



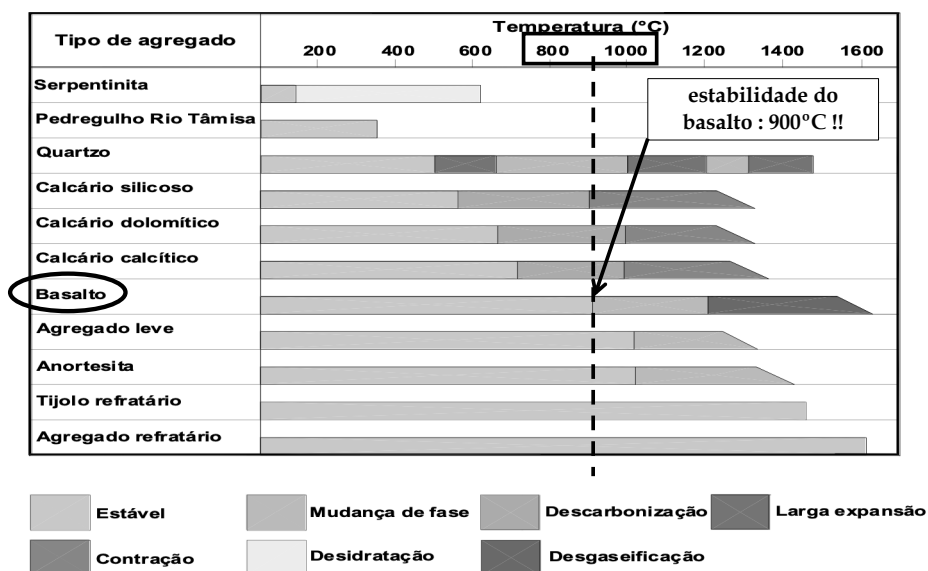
62

Originalidades da investigação

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

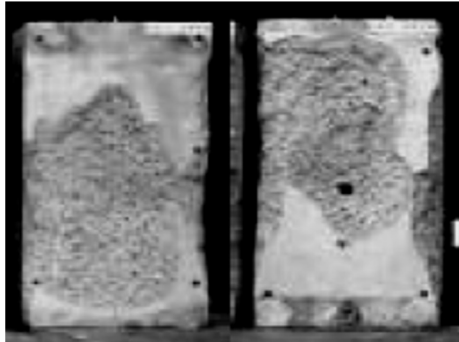
63

Agregados (*fib bulletin 38, 2007*)

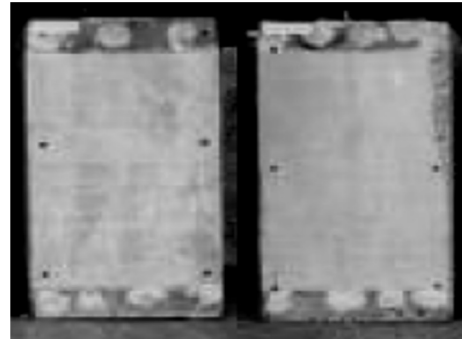


64

Influência da idade



2 meses



1 ano

(Morita et al, 2002)

65

Concreto colorido



66

Pilar: corte, içamento e transporte



Fio diamantado



67

Testemunhos extraídos

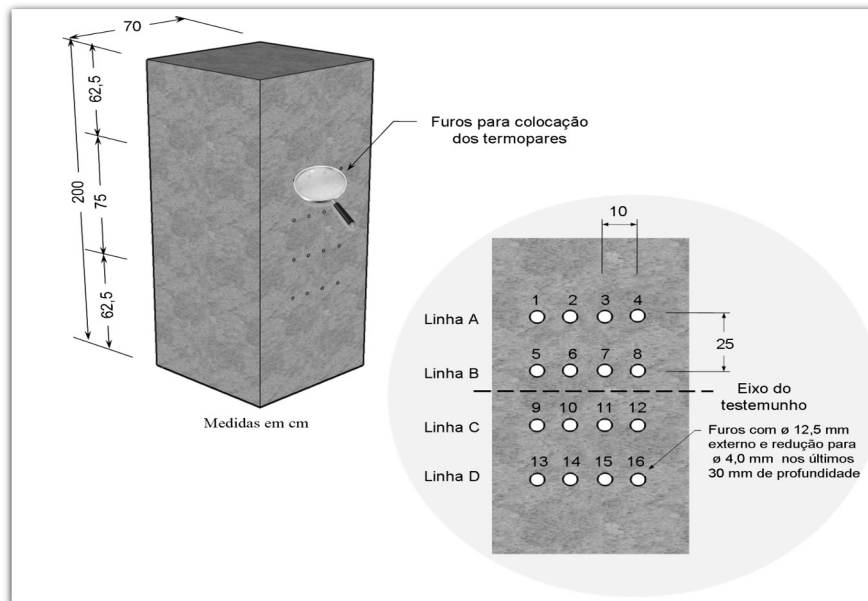


Após 8 anos
140 MPa



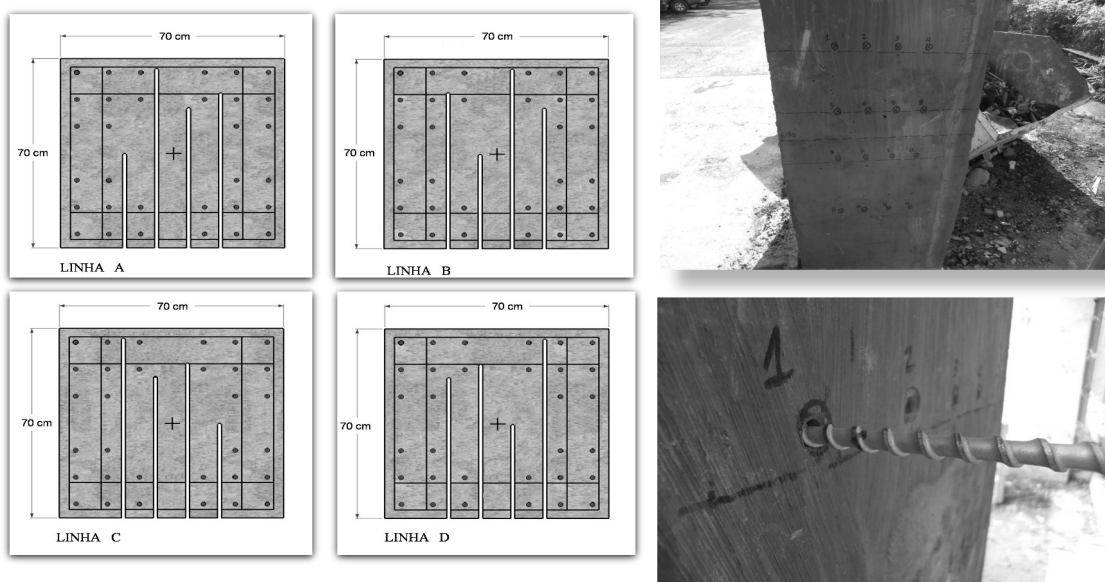
68

Esquema dos termopares



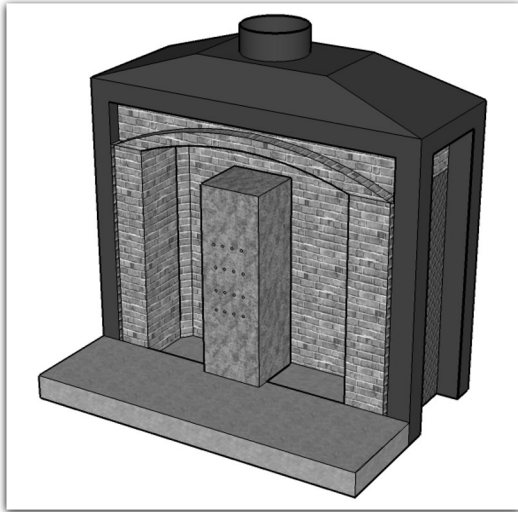
69

Inserindo os termopares



70

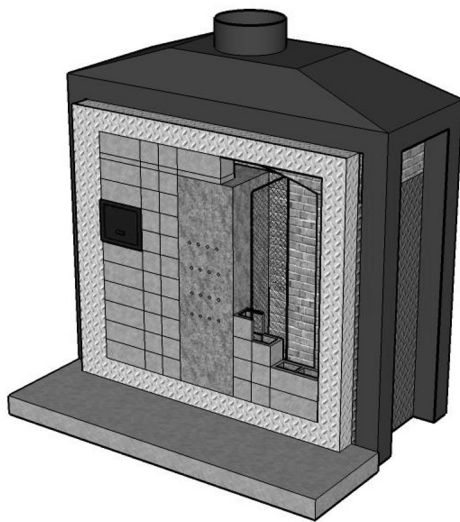
Esquema geral do experimento



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

71

Esquema geral do experimento



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

72

72



Laboratório
forno de alta temperatura



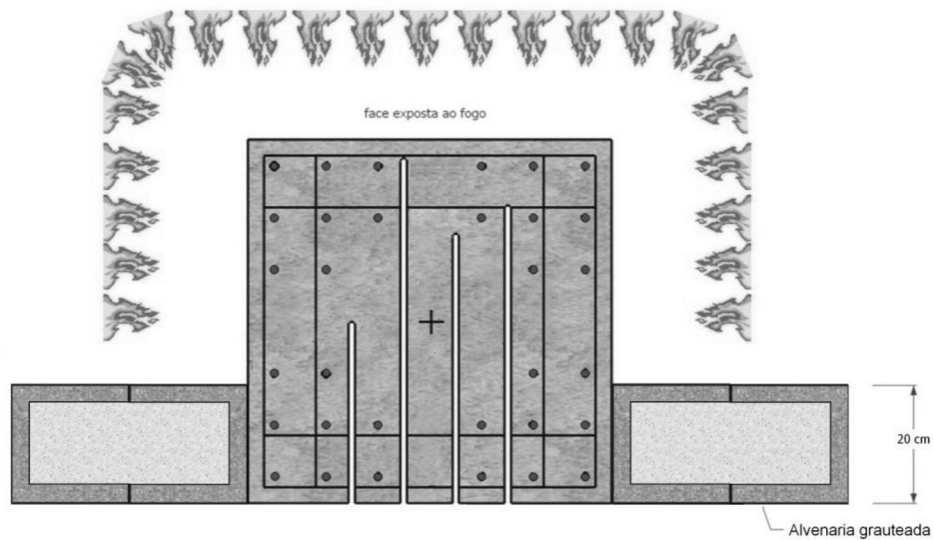
73

*Proteção com fibras
ceramicas*



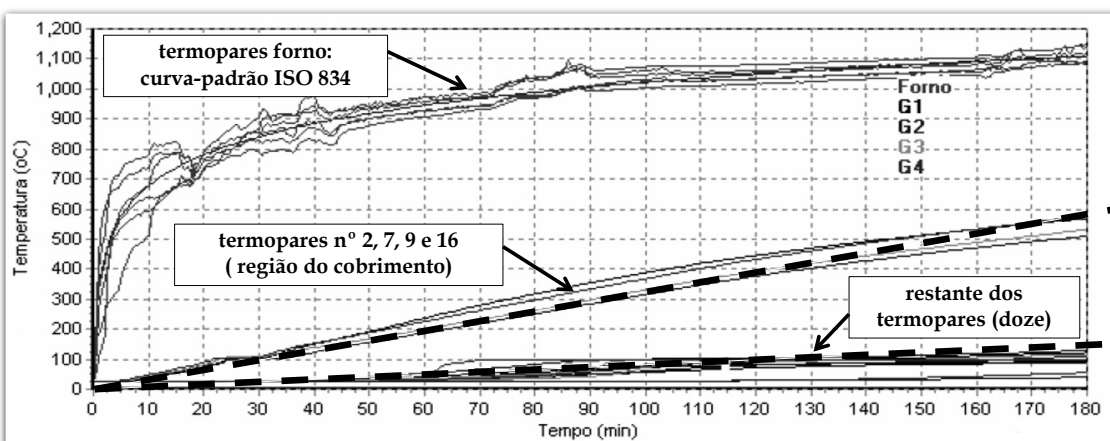
74

Esquema da simulação (planta)



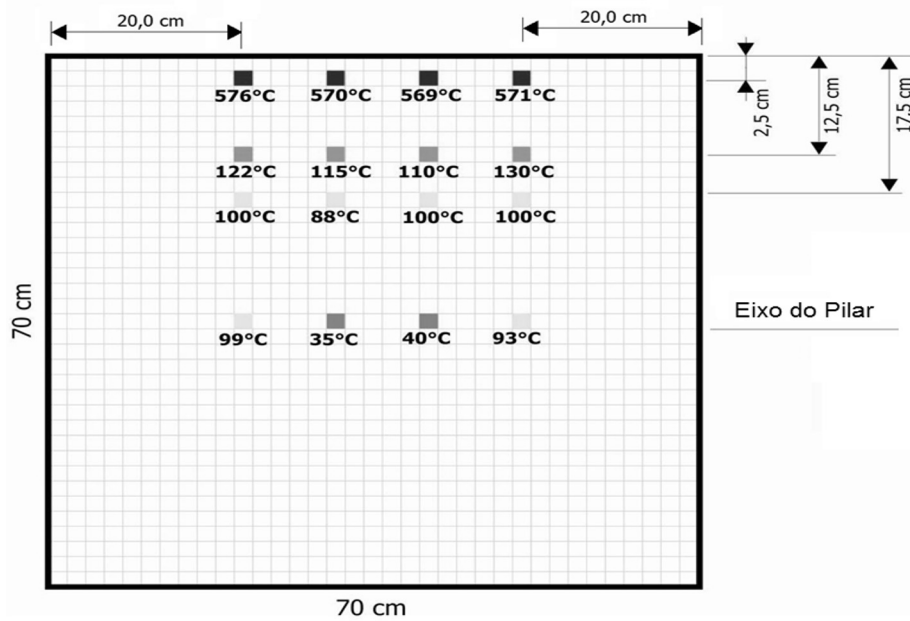
75

Evolução das temperaturas



76

Temperaturas aos 180min



77

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



78

Integridade



arestas perfeitas

79

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)

80

Integridade



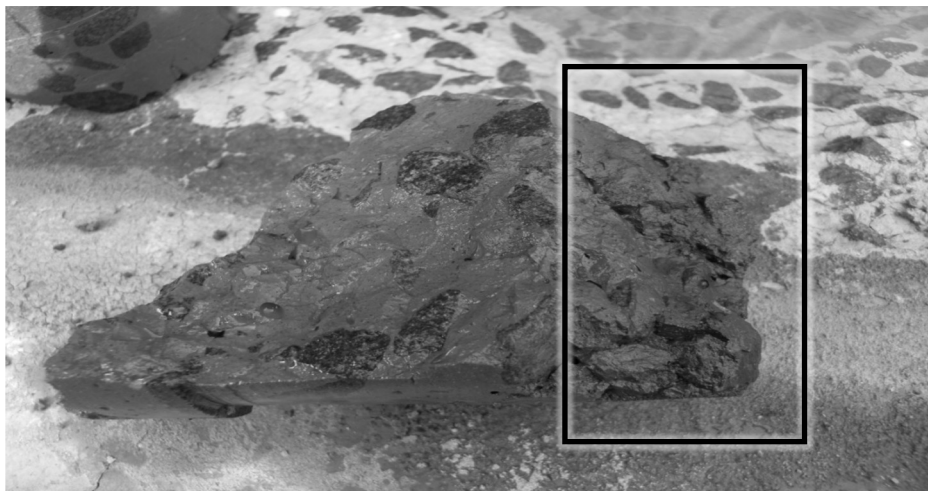
**armadura exposta
inferior a 5%**



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

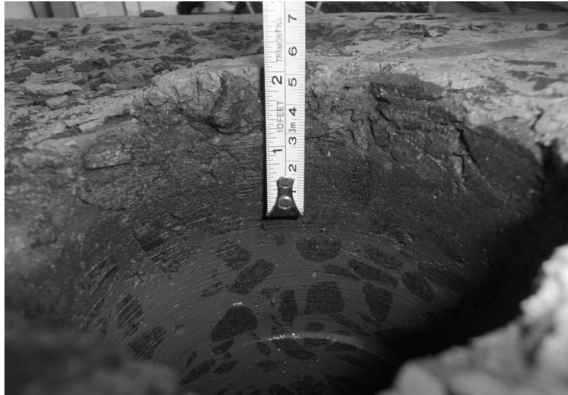
81

Indicador colorimétrico: faces



82

Termômetro natural

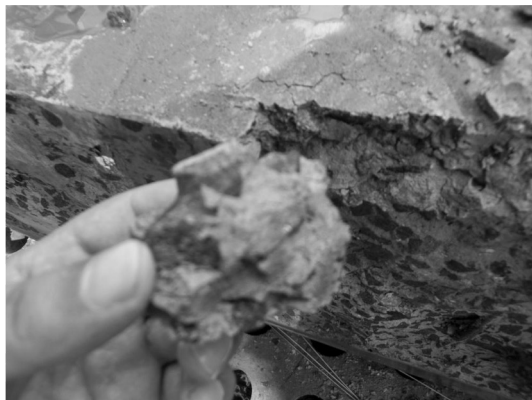


- ✓ Óxido de ferro (Fe_2O_3)
- ✓ Profundidade: $\approx 55\text{mm}$
- ✓ Centro das faces
- ✓ Arestas não evidentes
- ✓ Fe_2O_3 em Fe_3O_4
- ✓ hematita em magnetita

cerca de 600°C

83

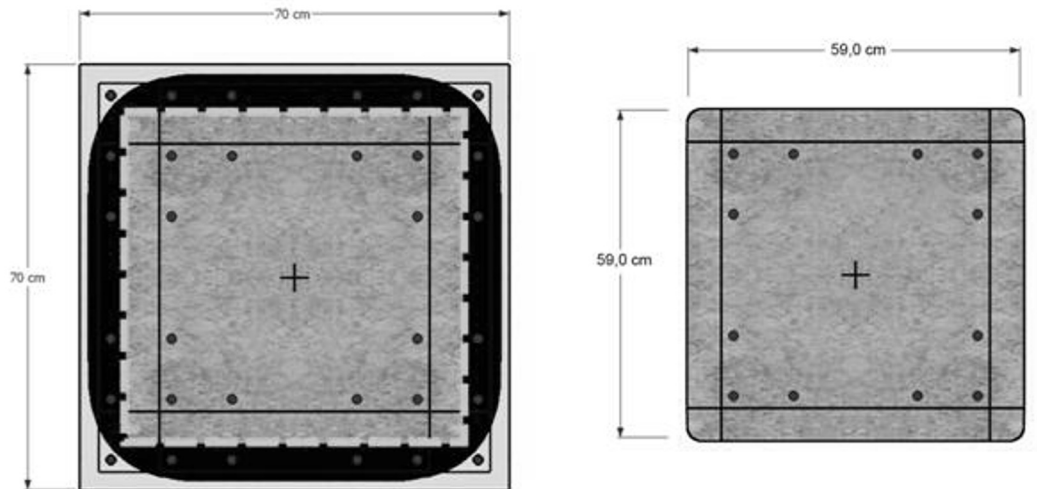
Indicador colorimétrico: arestas



Coloração resultante não tão evidente quanto na região da face central

84

Ensaaios residuais: resultado global



85

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

86

Bibliografia Recomendada INCÊNDIO

BRITEZ, Carlos A. **Avaliação de Pilares de Concreto Armado Colorido de Alta Resistência Submetidos a Elevada Temperatura**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. *(Disponível para download free em: www.concretophd.com.br)*

BRITEZ, Carlos; COSTA, Carla N. **Ações do Fogo nas Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 29, p. 1029-1068. ISBN 978-85-98576-20-6. *(Disponível para consulta free na Biblioteca PhD)*

SILVEIRA, Evanildo da. **Concreto durável: construções mais resistentes ao tempo também suportam bem o fogo**. Pesquisa Fapesp. São Paulo, out. 2011. Edição 188, p. 67-69. *(Disponível para download free em: www.concretophd.com.br)*

SILVA, Valdir P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012**. São Paulo: Editora Blucher, 2012. 237 p. ISBN 978-85-212-0684-2. *(Disponível para consulta free na Biblioteca PhD)*

SEITO, Alexandre I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 461 p. ISBN 978-85-61295-00-4. *(Disponível para consulta free na Biblioteca PhD)*

TUTIKIAN, B. F. ; MODESTI, L. . **Importância dos ensaios não destrutivos e semi destrutivos combinados com a análise do estado da estrutura para a tomada de decisão quanto à recuperação ou reforço de estrutura de concreto armado atingido por incêndio**. In: 1 congresso Brasileiro de Patologia, 2014, Foz do Iguaçu. 1 congresso Brasileiro de Patologia, 2014.

87

Ação do fogo

- Escurecimento da superfície do concreto: Deposição de fuligem (material carbonizado);
- Deterioração de revestimentos e destacamento;
- Calcinação do concreto de cobrimento;
- Aparecimento de fissuras (400°C);
- Perda de resistência mecânica;
- Desagregação e posterior destacamento do concreto de cobrimento (600°C);
- Exposição e rápida perda de resistência do aço;

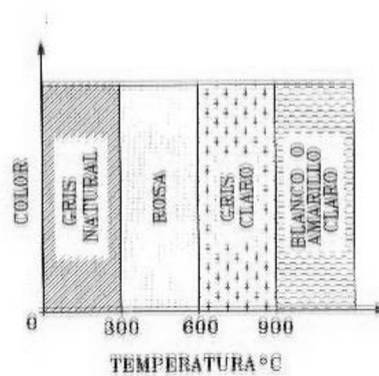
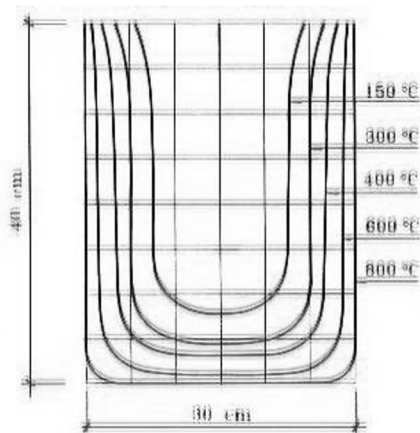
88

Ação do fogo

- Perda de aderência entre aço e concreto (descaracteriza comportamento estrutural previsto no projeto);
- Aumento de flechas e deformações;
- Ruptura parcial ou total.

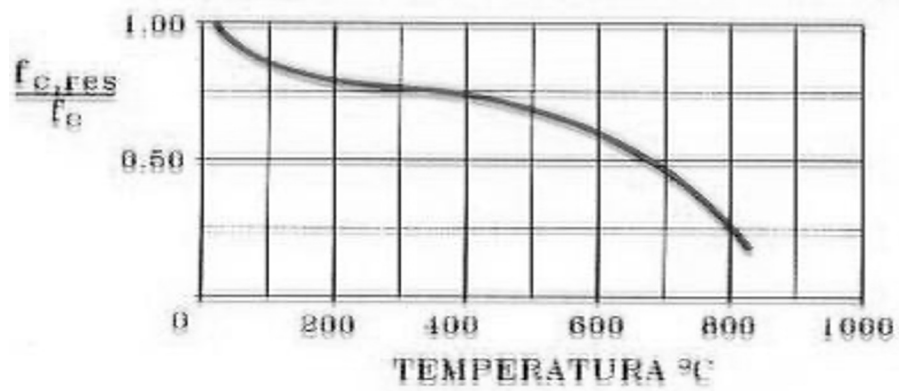
89

Ação do fogo



90

Ação do fogo



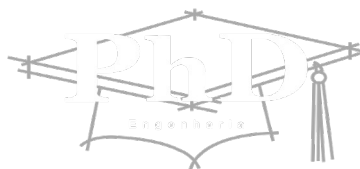
91

Ação do fogo



92

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

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