



CERIS : Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability

Incêndio e Colapso do Edifício Wilton Paes de Almeida
Lições Aprendidas



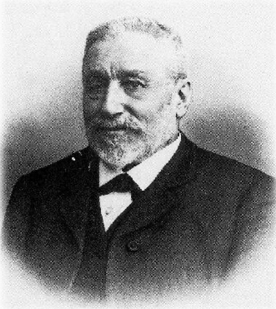
Paulo Helene
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional
Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU e SEESP

IST (sala V1.02, 1¼ piso) 09 de novembro de 2018 Lisboa /Portugal

1

Concreto Armado: como começou? *propaganda da época*

patente na Bélgica do concreto armado em 8 agosto de 1892



François Hennebique
25.04.1842
07.03.1921 (78 anos)

Il développe le *Système Hennebique*, qui vont constituer les précurseurs de béton armé. Installe son entreprise avec le slogan:

« plus d'incendies désastreux »

nunca mais incêndios desastrosos

2



Système Hennebique
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.900
30m

$f_{ck} = ?$
118 anos !

*edifício em concreto
armado mais antigo do
mundo*

3



4

Mortes em situação de Incêndio

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

4. Colapso (evacuação, rescaldo “bombeiros”)
proteção ao “patrimônio”

5



Edifício ANDRAUS

**São Paulo, Brasil
1972**

**Estrutura de Concreto
Armado**

**32 andares de escritórios
115 m**

**Construção: 1957-1962
Incêndio: 24 Fev. 1972**

***duração: 4h
240min***

***em uso
nada colapsou***

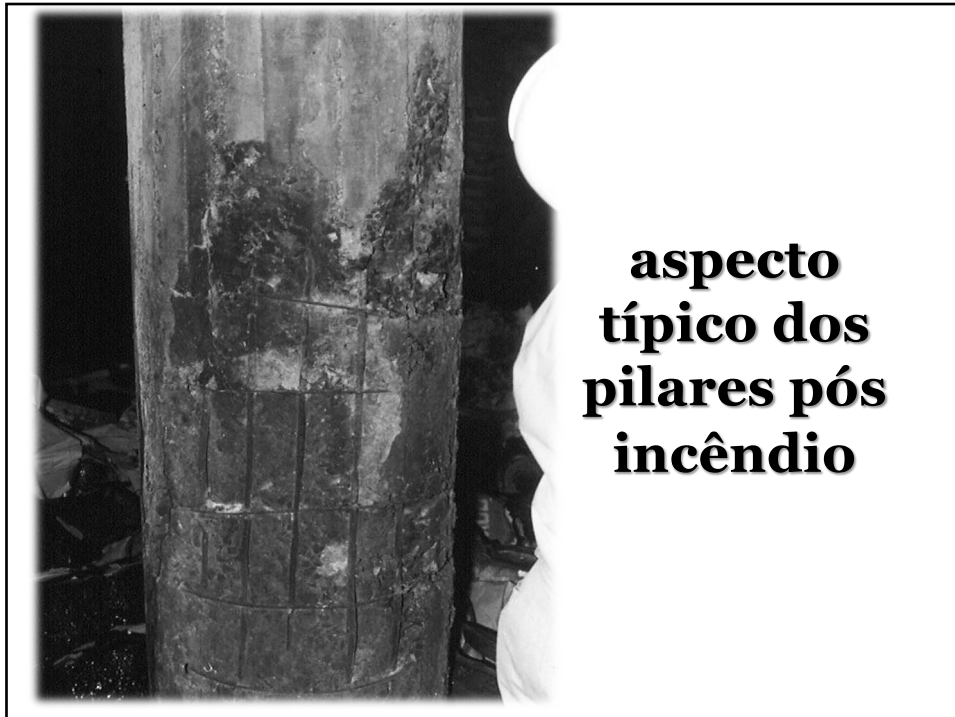
6



7



8



**aspecto
típico dos
pilares pós
incêndio**

9



aspecto típico das vigas

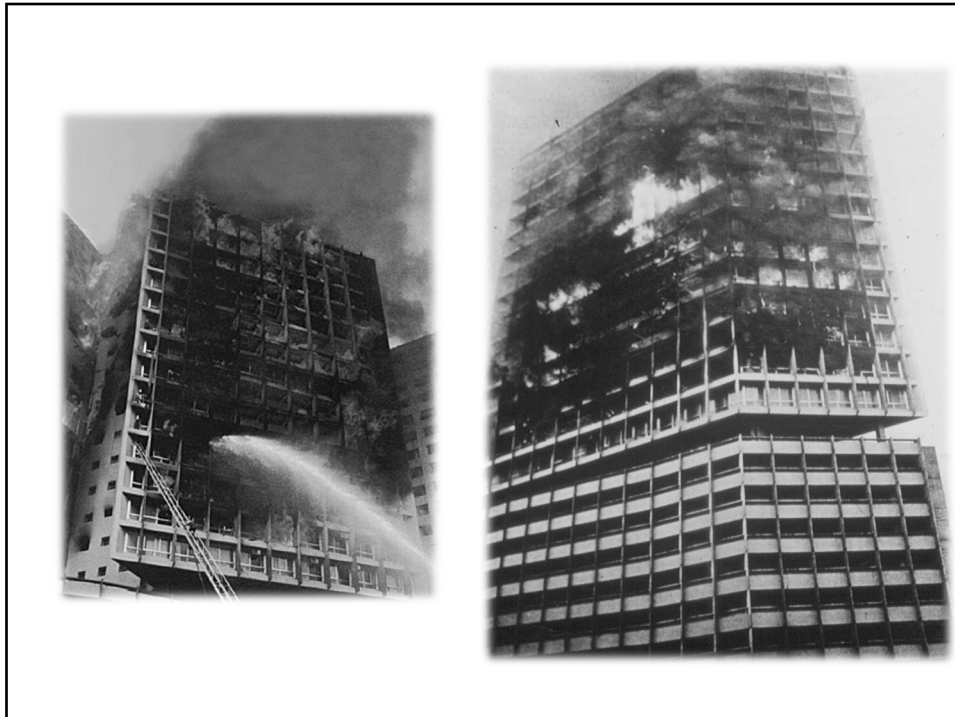
10



11



12



13



Edifício Grande Avenida

São Paulo, Brasil
1969 e 1981
Estrutura de Concreto Armado

22 andares
+ mezanino

Construção: 1962-1966
1º Incêndio: 13 Jan. 1969

2º Incêndio: 14 Fev. 1981
duração: 4h40min
280min

em uso
nada colapsou

http://f5.folha.uol.com.br/saiunonp/2015/01/1574606-incendio-no-grande-avenida-deixa-17-mortos.shtml#_=_

14

Incêndio de 1981



15

Incêndio de 1981



16

Incêndio de 1981



17



Edifícios da CESP

**São Paulo, Brasil
1987**

**Estruturas de concreto
armado
Inaugurada 1956**

**Sede I: 19 pavimentos,
80m de altura
Sede II: 21 pavimentos,
87m de altura**

Incêndio: 21 mai. 1987

**duração: 7h00
420min**

**em uso
Colapso parcial**

18



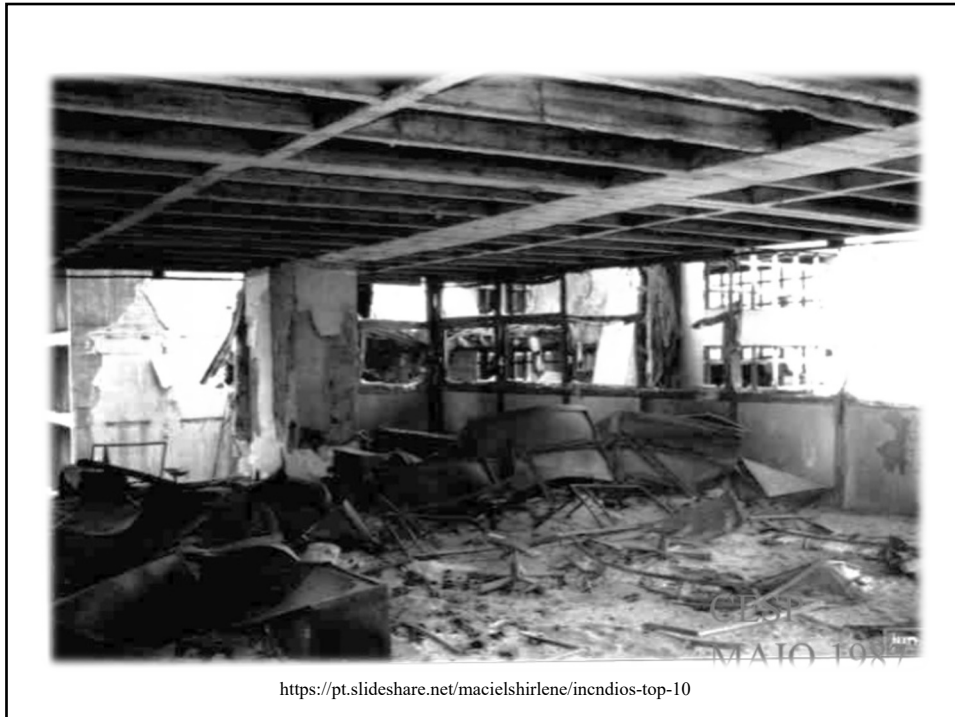
https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_edif%C3%ADcio_da_CESP

19



<https://pt.slideshare.net/macielsirlene/incndios-top-10>

20



21

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

WINDSOR

ARQUIVISTORIA

22



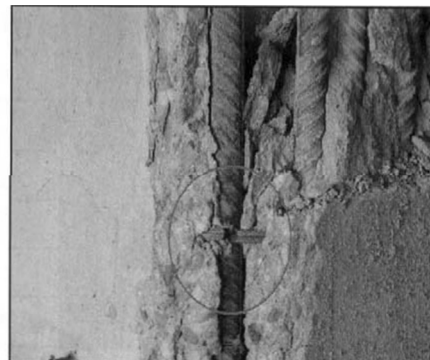
23



24



25



“ 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.

26



27



28

No domingo, 17 de outubro de 2004 às 00:05 da manhã, o incêndio 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.

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

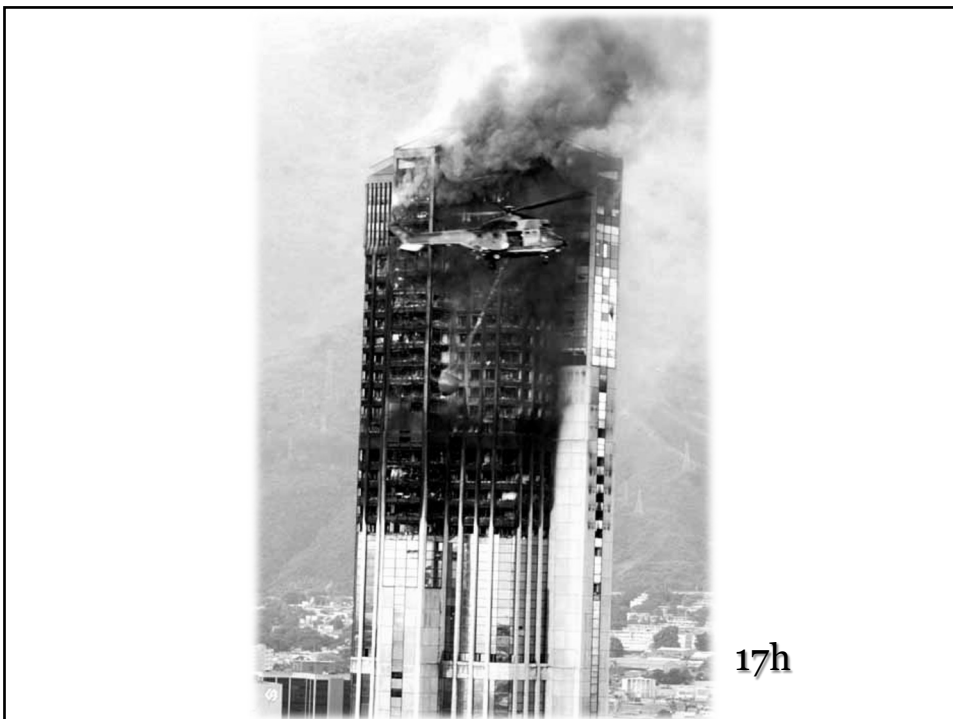
29



30



31



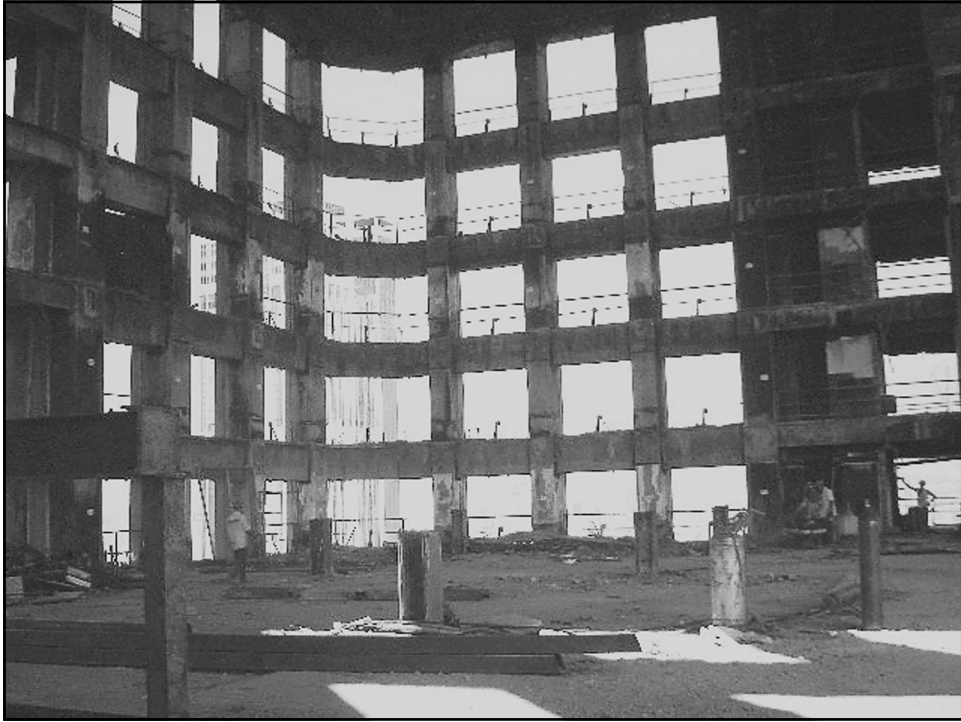
32



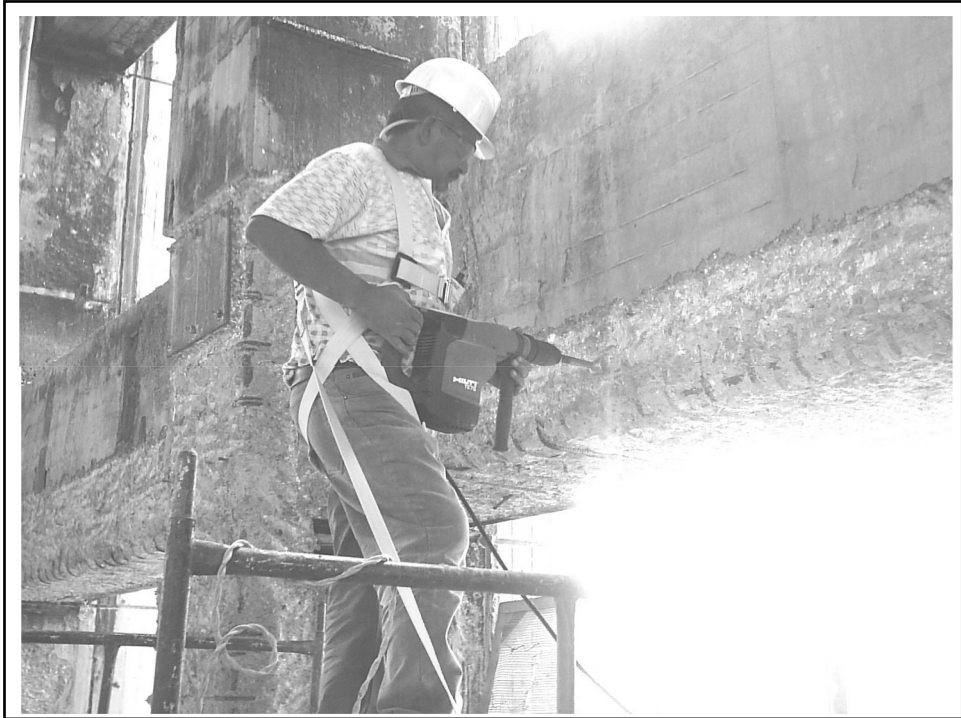
33




34



35



36



**World Trade Center
2001**

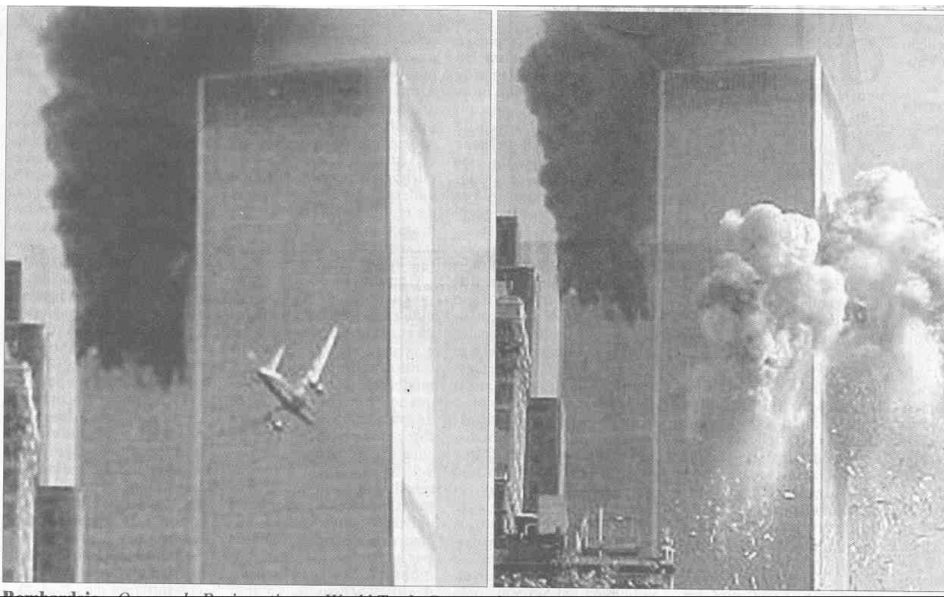
**Nova Iorque, EUA
Construção: 1973
Estrutura metálica
110 andares
6 subsolos**

**Construção: 1966 a 1973
incêndio 11 Set. 2001**

***Duração do incêndio
Torre NorteWTC1: 102min
Torre SulWTC2: 56min
TorreWTC 7: 8h***

colapsaram

37



11 de Setembro de 2001

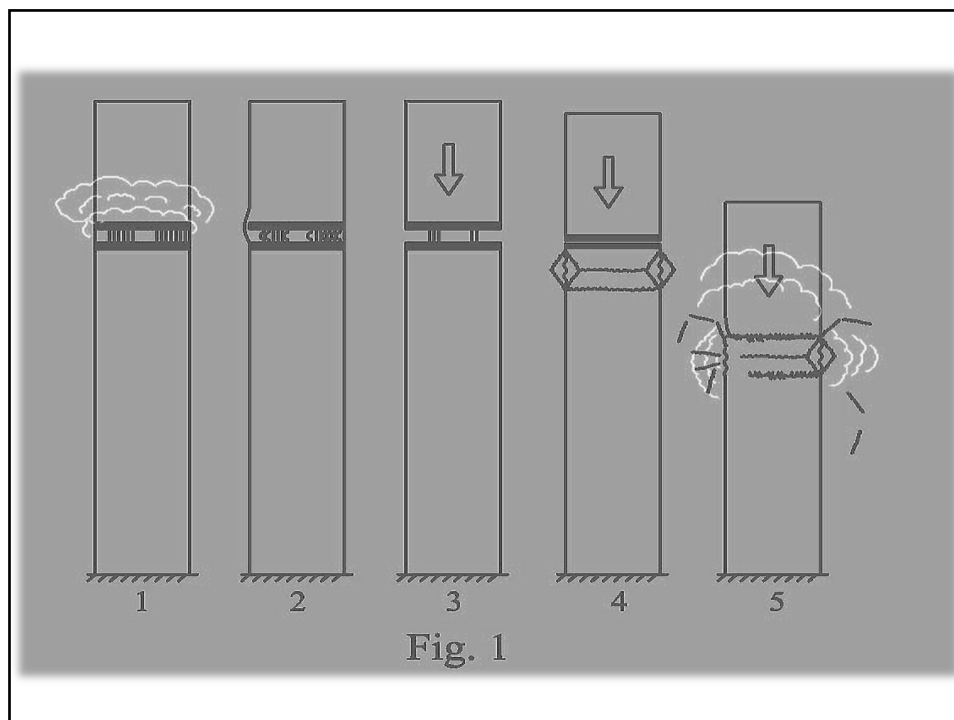
38

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

39



40

Normalização nacional

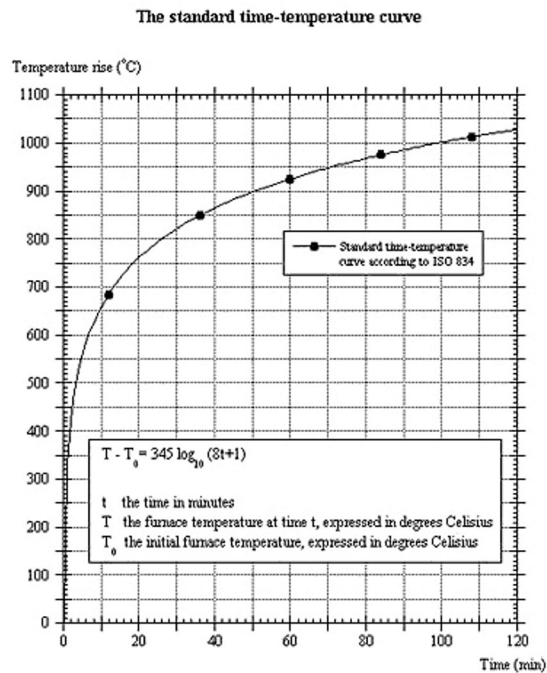
- **ABNT NBR 5628:2001**
Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo
- **ABNT NBR 14432:2001**
Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento
- **ABNT NBR 15200:2012**
Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio
- **INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08/2011**
Resistência ao fogo dos elementos de construção

41

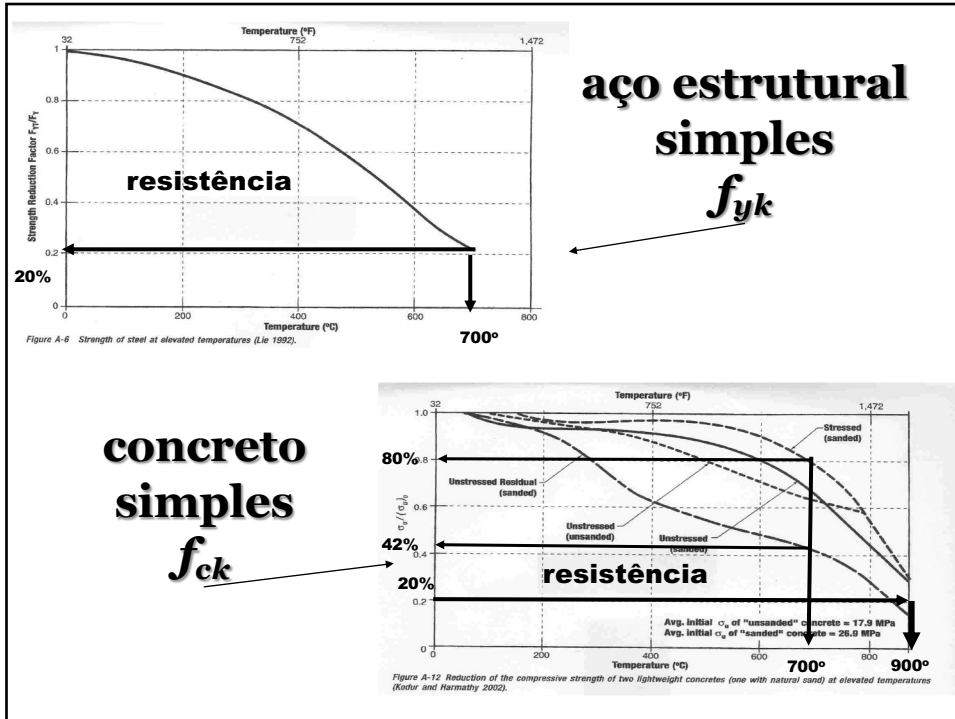
Incêndio padrão

Crescimento da temperatura

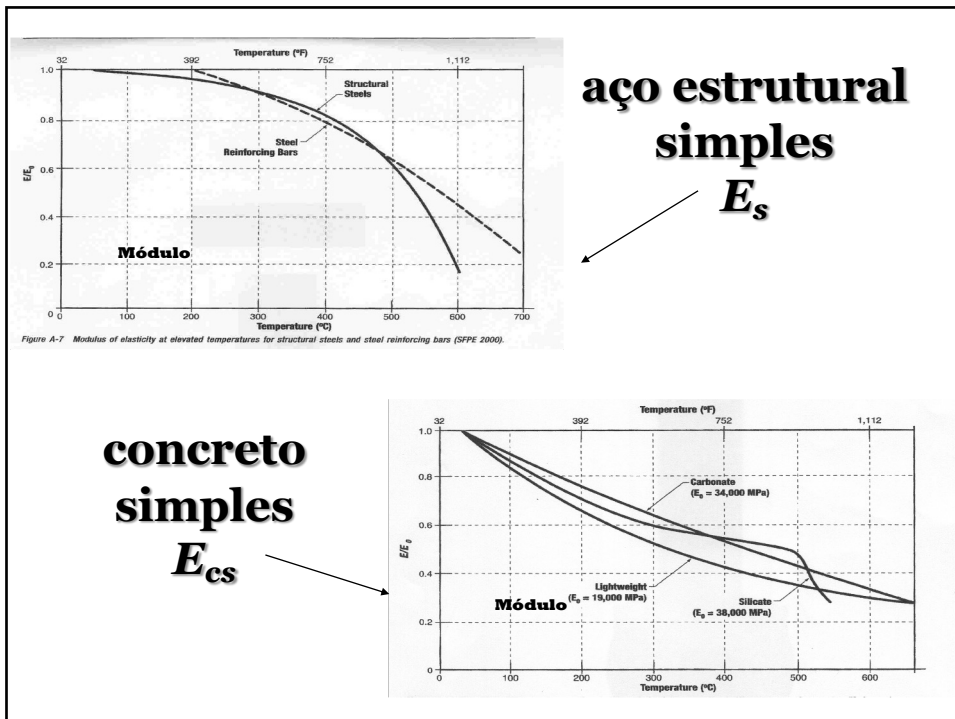
Curva ISO 834



42



43



44

Distribuição da temperatura em perfis de aço

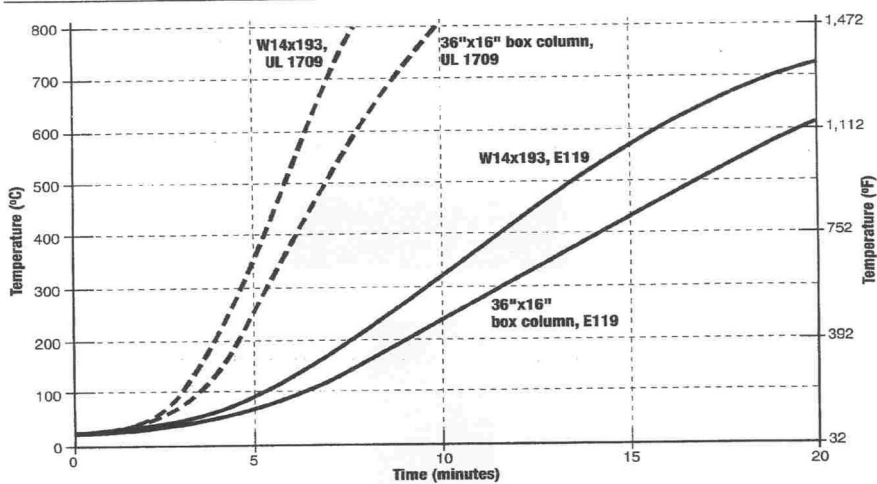


Figure A-9 Steel temperature rise due to fire exposure for unprotected steel column.

45

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



46

Concreto e Incêndio

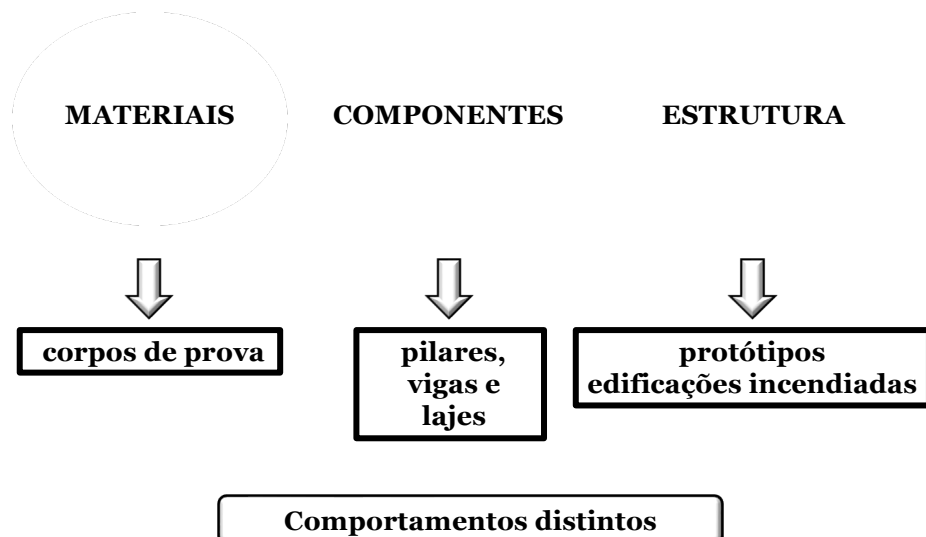
Concreto é versátil
Concreto não é inflamável
Concreto é incombustível
Concreto é resistente
Concreto é isolante térmico

Concreto perde resistência
Concreto pode destacar/desplacar (*spalling*)

0 a 100 °C → umidade → vapor d'água → íntegro
100 a 350 °C → CSH perde água → pode deslocar
350 a 900 °C → Ca(OH)_2 → CaO → agregados soltam
900 a 1200 °C → fusão parcial, CO_2

47

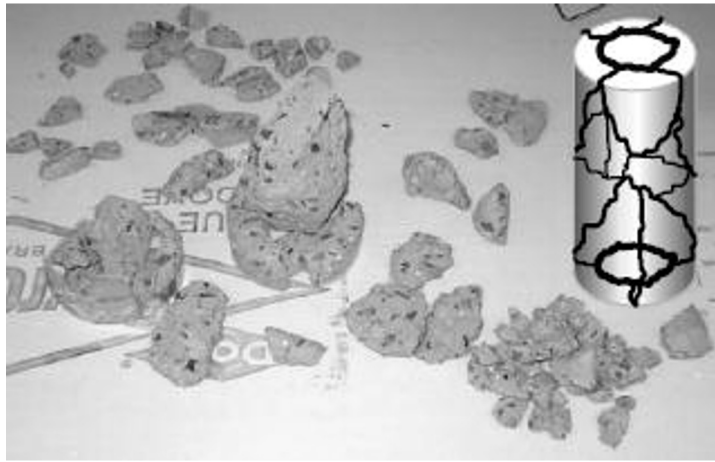
Ensaio



48

Constatações

ensaios
em
corpos
de
prova !



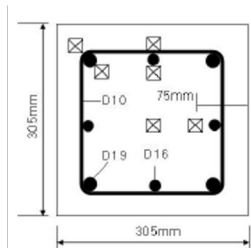
(Phan, 2002)

ensaios < 91 dias

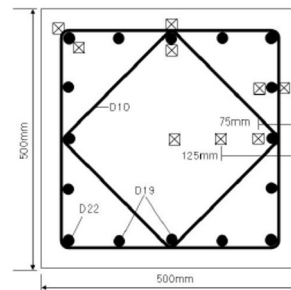
49

Constatações

dimensões/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
(mesmos concreto, taxa de aço
e intensidade de
carregamento)**

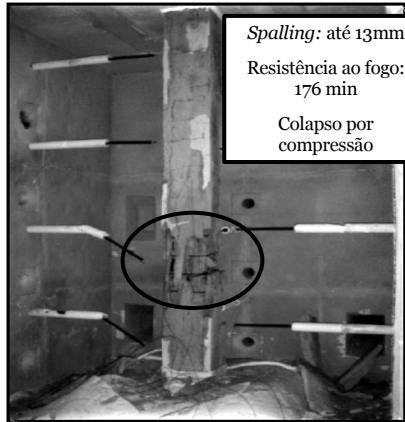
(Park et al., 2007)

ensaios < 91 dias

50

Constatações

dimensões / 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)

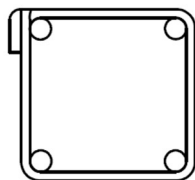
ensaios < 91 dias

51

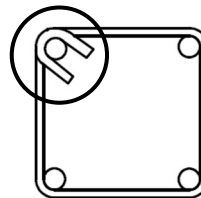
Constatações

detalhes / armadura

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)

ensaios < 91 dias

52

Constatações

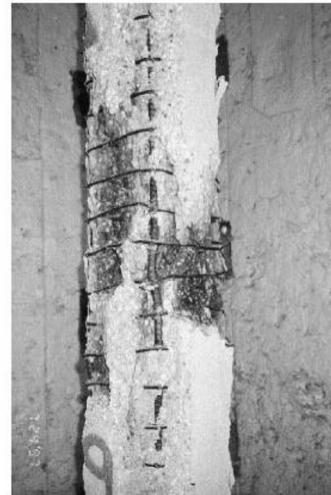
detalhes / **armadura**



Configuração Convencional de Estribos

(Kodur, 2005)

f_{ck} 83 MPa



Configuração Modificada de Estribos

ensaios < 91 dias

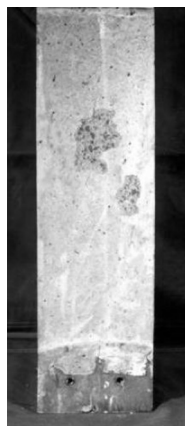
53

Constatações

fibras de polipropileno



Sem fibras



Com fibras

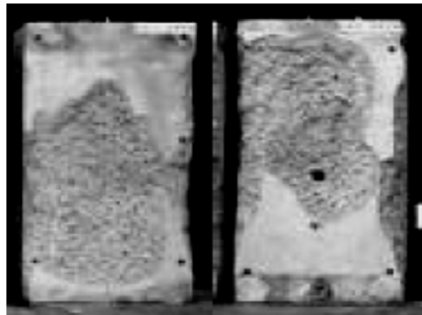
**maiores
quantidades com
menores
diâmetros e
maiores
comprimentos,
diminuem o
*spalling***

(Kawai, 2005)

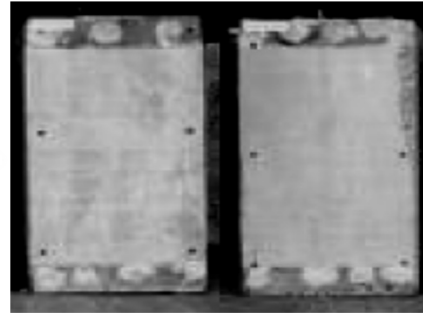
ensaios < 91 dias

54

constatações experimentais



63 dias



1 ano

(Morita et al, 2002)

influência da idade, do grau de hidratação e da umidade

55

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

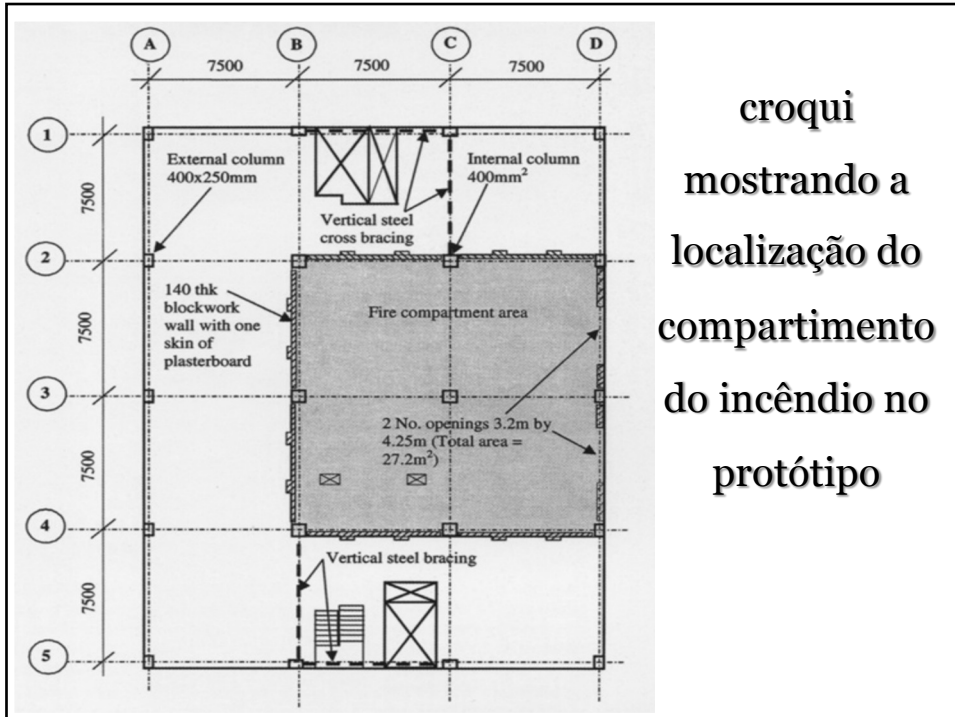
[Email this article](#)
[Printer friendly page](#)

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



Cardington Concrete Building Frame

56



57



58

1. estrutura de concreto suportou sem colapsar;
2. satisfaz a critérios de desempenho, estabilidade, isolamento/compartimentação e integridade;
3. *spalling* na laje do piso e teto;
4. pilares HPC (103 MPa) tiveram excelente desempenho;
6. laje conseguiu suportou cargas de projeto com flechas residuais da ordem de 70mm

59

INVESTIGAÇÃO

Universidade de São Paulo

Brasil
2002 → 2010

PhD student: Carlos Britez
Supervisor: Paulo Helene

60

História



Edifício e-Tower

São Paulo, Brasil

2002

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

world record

6 pilares em 7 pisos

2 meses jan/fev 2002

61



62

“ HPCC in Brazilian Office Tower”

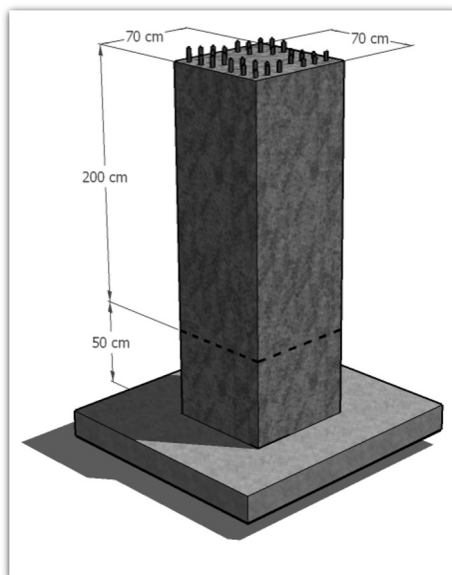
Concrete International.
ACI, American Concrete
Institute, v. 25, n. 12, p.
64-68, 2003

HELENE, Paulo &
HARTMANN, Carine



63

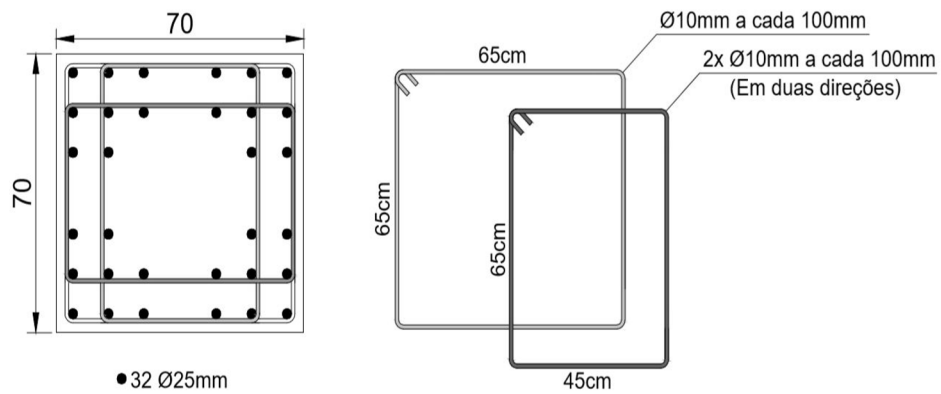
Pilar



- ✓ **70 cm x 70 cm**
- ✓ **altura: 2 m**
- ✓ **massa: 2.500kg**
- ✓ **idade: 8 anos**
- ✓ **$f_{ck,est} = 112$ MPa**
- ✓ **$f_{cm} = 125$ MPa**
- ✓ **cobrimento: 25 mm**
- ✓ **relação a/c = 0,19**

64

Seção transversal



geometria e configuração da armadura

65

Condições similares às reais

Pilar mantido em ambiente externo



66

Pilar: corte, içamento e transporte



fio diamantado



67

Testemunhos extraídos

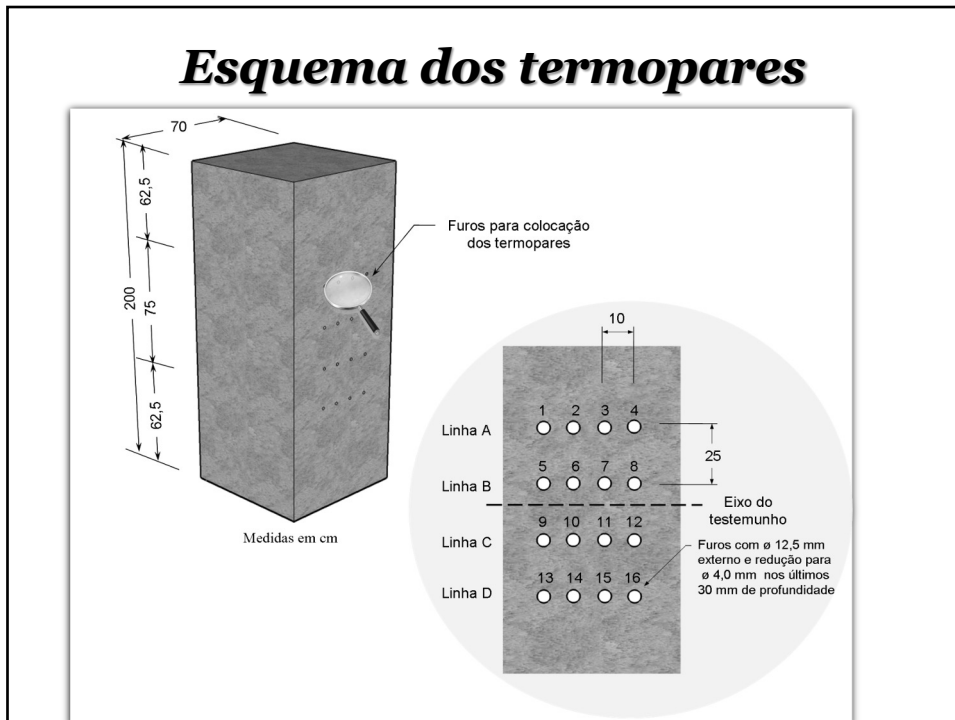


Após 8 anos
140 MPa



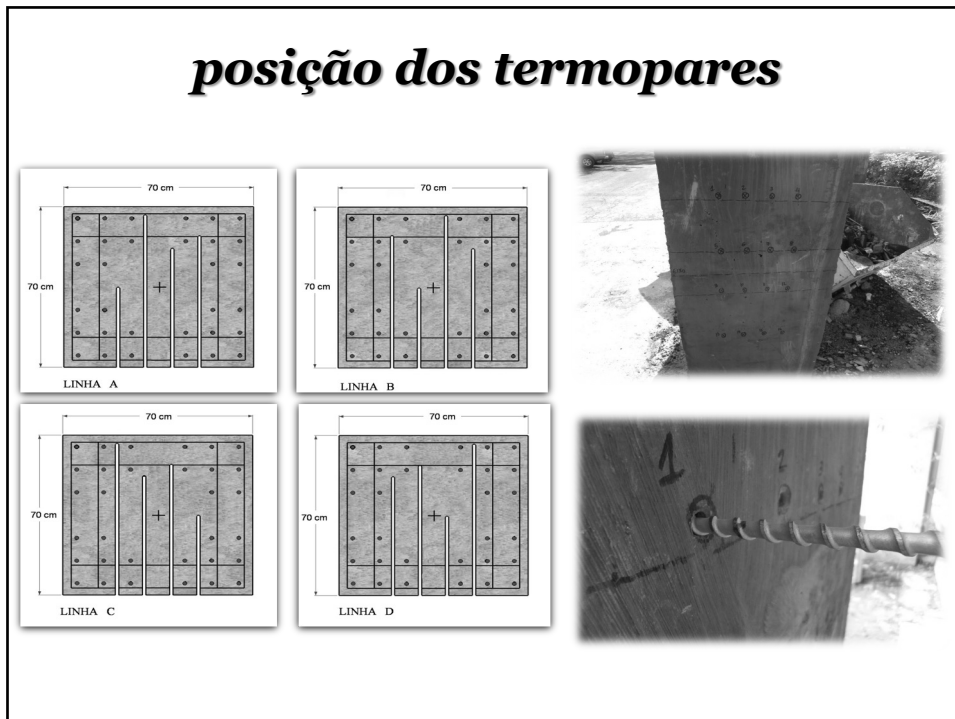
68

Esquema dos termopares



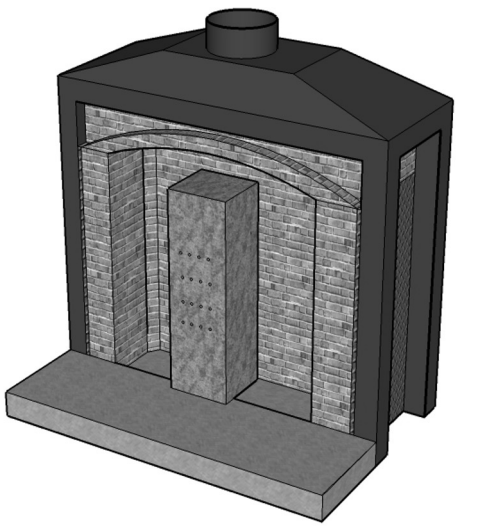
69

posição dos termopares



70

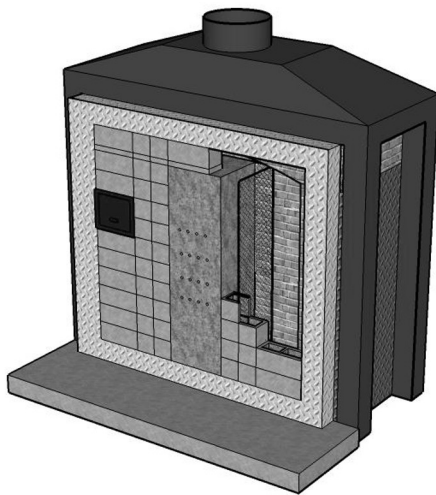
posicionamento no forno



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

71

forno de labareda a gás

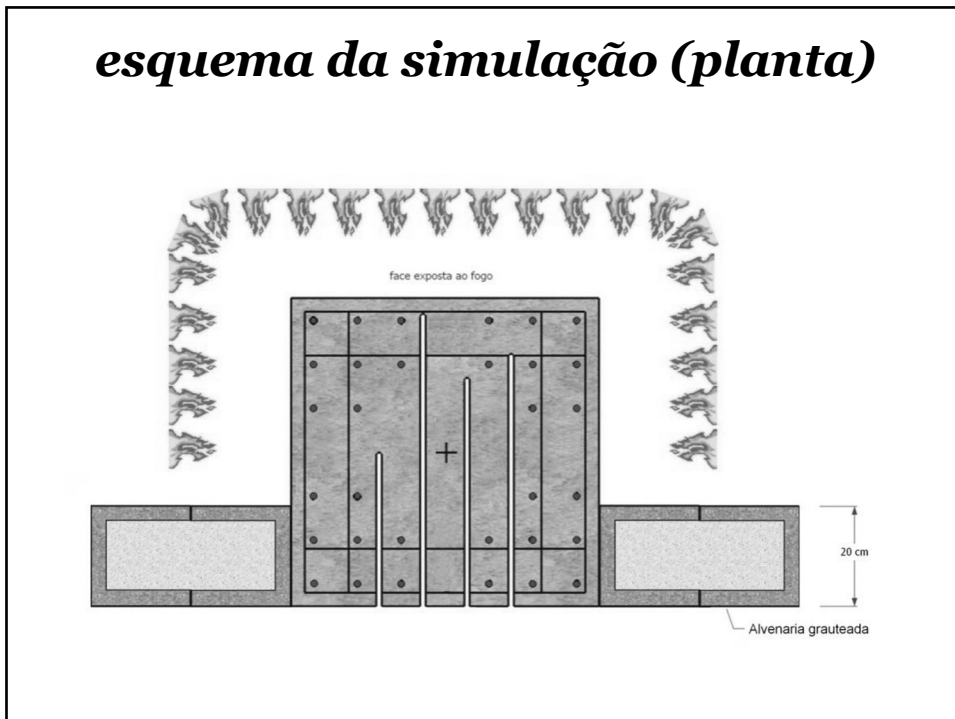


- ✓ alvenaria fechamento refratário
- ✓ gaiola de segurança
- ✓ fibra cerâmica interna
- ✓ grauteamento
- ✓ preenchimento com areia
- ✓ janelas de alívio

72

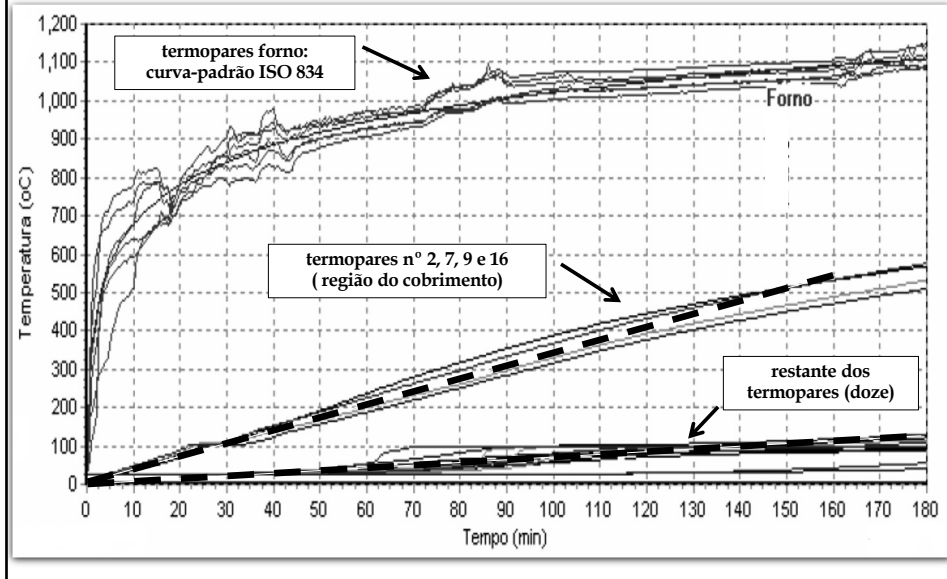


73



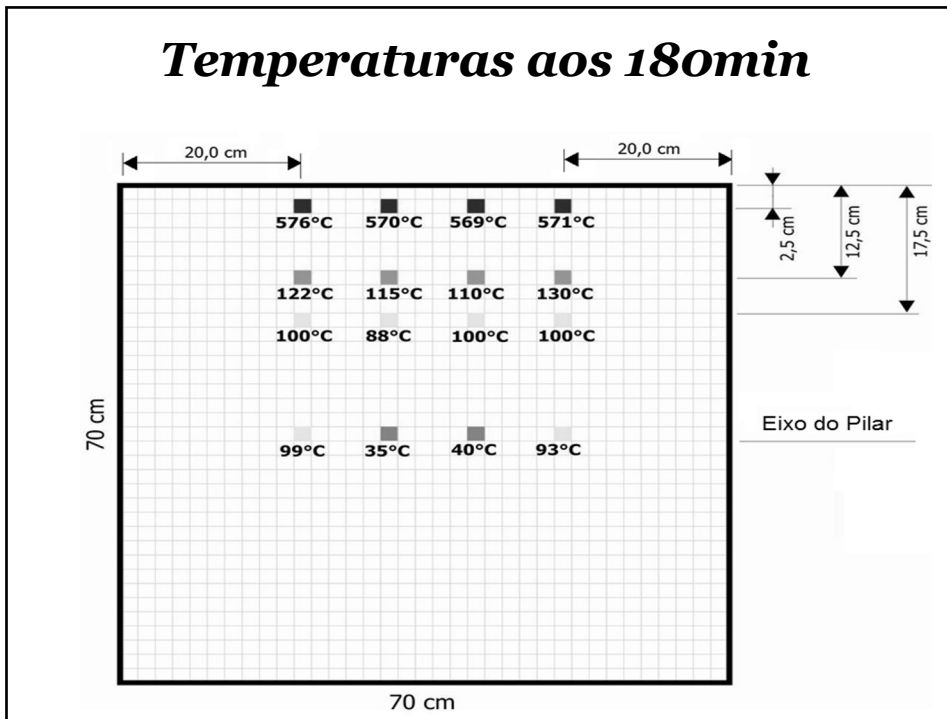
74

Evolução das temperaturas



75

Temperaturas aos 180min



76

Integridade



arestas perfeitas

77

Integridade depois de 180min



- ✓ spalling muito superficial
- ✓ ocorrência: 36 min (inicial)
- ✓ som “pipocamento”, depois parou
- ✓ arestas intactas
- ✓ profundidade: de 0 a 48 mm
- ✓ média do deslocamento superficial 9,3 mm

78

Conclusões

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

Pilares de concreto de alta resistência (140MPa), com 8 anos de idade, bem armados, e cobrimento nominal $c = 25mm$ e com $c_1 = 47mm$ resistem bem ao incêndio padrão por até 3h (180 minutos)

79



80

Ficha Técnica

- Projeto arquitetônico: Roger Zmekhol
- Construção: Morse & Bierrenbach
- **Projeto estrutural: ????**
- Execução: 1961 - 1965
- Andares: 24
- Área do terreno: 650 m²
- Área construída: 12.000 m²
- Tombamento: 1992
- Desabamento: 01.05.2018

81

anamnese *pesquisa*

ROBERTO NOVELLI FIALHO

Edifícios de escritórios na cidade de São Paulo

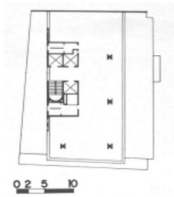
Tese apresentada à FAUUSP para obtenção do título de doutor
Área de concentração: Projeto de Arquitetura
Orientador: Prof. Dr. Rafael A. C. Perrone

SÃO PAULO
2007

82

anamnese *pesquisa*

Capítulo 5



fonte:
Arquitetura Moderna Paulistana, pg.59

Coroamento

Ático
Escritórios

Corpo

22 pavimentos tipo
3 elevadores
Planta livre
Volume único
Prisma de base retangular
Pele de vidro
Caixilharia em alumínio
Estrutura de concreto

Subsolo

2 pavimentos
Garagem



Base

Térreo livre
Acesso restrito e controle
Loja
Pé-direito duplo

028

Centro

Edifício Wilton Paes de Almeida

1961

autor:

Roger Zmekohl

endereço:

Rua Antonio de Godoy x Av. Rio Branco - Centro

área do terreno: 650,00 m²

área construída: 10.000,00m²



O edifício com 22 pavimentos e 2 subsolos, segue os princípios do edifício "miesiano", adotando em seu grande volume prismático a solução de "curtain wall" e estrutura metálica com perfis metálicos tipo "H" com lajes de concreto. O edifício se beneficia das amplas visuais propiciadas pelo Largo do Paissandu.

83

Capítulo 3

Edifício Wilton Paes de Almeida (1961): projeto de Roger Zmekohl localizado na Rua Antonio de Godoy esquina com Avenida Rio Branco. O edifício com 22 pavimentos e 2 subsolos, segue os princípios do edifício "miesiano", adotando em seu grande volume prismático a solução de "curtain wall" e estrutura metálica com perfis metálicos tipo "H" com lajes de concreto.

anamnese *pesquisa*



Edifício Wilton Paes de Almeida (fig.80)

84

ARQUIVO

HOME PROJÉTOS ARQUITET_S SOBRE CONTATO

<http://www.arquivo.arq.br/edificio-wilton-paes-de-almeida>



Edifício Wilton Paes de Almeida

ARQUITETO: Roger Zmekhol
ANO: 1961
ÁREA DO TERRENO: 650 m²
ÁREA CONSTRUÍDA: 12.000 m²
Nº DE PAVIMENTOS: 2
USO: Serviços
PAISAGISMO: Não possui
ARTE:
CONSTRUÇÃO: Morse & Bierrenbach
LOCAL: Rua Antonio de Godói (esq. Av. Rio Branco) - nº 22 - República - São Paulo - SP - Brasil
ESTRUTURA: Metálica com lajes em concreto
PROJETO ESTRUTURAL:
PERÍODO DE CONSTRUÇÃO: 1961 - 1968
ESTADO DE CONSERVAÇÃO: Péssimo
DESCARACTERIZAÇÃO: Baixa
CONCURSO:
PUBLICAÇÕES:
- Acrópole, nº 323, p 34-37, nov 1965.
- FIALHO, Roberto Novelli. Edifícios de escritórios na cidade de São Paulo. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. 2007.

85

anamnese
pesquisa

Aleteia

CURIOSIDADES

A trajetória do prédio que desabou no centro de São Paulo

São Paulo Antiga | Maio 02, 2018



Edifício Wilton Paes de Almeida - Espandópolis

Compartilhar 511 f t G+ e Comentar 1

Conheça a história e veja fotos inéditas do Edifício Wilton Paes de Almeida

<https://pt.aleteia.org/2018/05/02/a-trajetoria-do-predio-que-desabou-no-centro-de-sao-paulo/>



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:
O Estado de S. Paulo – 28/02/1961
O Estado de S. Paulo – 03/07/1965
O Estado de S. Paulo – 12/05/1979

86

We use cookies to improve our website and your experience when using it. By continuing to navigate this site, you agree to the cookie policy. To find out more about the cookies we use and how to delete them, see our [cookie policy](#).

CURIOSIDADES

A trajetória do prédio que desabou no centro de São Paulo

São Paulo Antiga | Maio 02, 2018

Conheça a história e veja fotos inéditas do Edifício Wilton Paes de Almeida

Quando pensamos em edifícios modernos e arrojados logo vislumbramos regiões como a Avenida Paulista, Berrini e Faria Lima. Entretanto o centro de São Paulo também possui exemplos notórios de arquitetura de vanguarda.

São construções que debutaram principalmente na década de 1960, época em que São Paulo ainda crescia a passos largos e ainda carregava o apelido de "Paliteiro da América Latina".

Curiosamente das 5ª principais construções desta época, três foram palco de tragédias: Os Edifícios Joelma, Andraus e, em 2018, o Wilton Paes de Almeida. E é este último que iremos abordar neste artigo:

Ousado projeto arquiteto Roger Zmekhol, o Wilton Paes de Almeida partiu de uma obra onde foi aproveitado o máximo do pequeno espaço disponível para se erguer um arranha-céu, em uma área da cidade já densa e com poucos terrenos ainda disponíveis para a construção de edifícios.

Zmekhol projetou em um terreno de 650 m², um gigante de estrutura metálica com lajes de concreto.

Sua construção foi iniciada em 1961 e concluída em 1968, já no final da década, sendo realizada pela Morse & Bierrenbach. O prédio leva o nome do banqueiro Wilton Paes de Almeida, um de seus idealizadores e investidores que faleceu em 1965, antes da inauguração do edifício.

87

Estrutura mista de concreto e aço contribuiu para que prédio caísse mais rápido, diz especialista

Renata Moura
Da BBC Brasil em Londres

Há 1 hora



O incêndio e o subsequente desabamento de um prédio de 24 andares no centro de São Paulo nesta terça-feira foram uma "tragédia anunciada" pela falta de sistemas de proteção antifogo, por falta de ação do poder público e pela estrutura mista de concreto e aço do edifício, menos resistente ao fogo.

A análise é do professor de engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e especialista na área há 30 anos, Paulo Helene.

Projetado nos anos 1960 para uso comercial, o edifício Wilton Paes de Almeida já funcionou como sede da Polícia Federal e do INSS. Abandonado há pelo menos 17 anos, ele foi

BBC

1º
maio
2018
14:30h

88

16h do dia 1 de maio de 2018 metálicos !?!



89

BRASIL

Especialistas ainda tentam decifrar por que prédio em SP desabou em tão pouco tempo

Renata Moura e João Fellet
Da BBC Brasil em Londres e São Paulo

4 maio 2018



O texto e o título da reportagem foram alterados após o professor Paulo Helene, ex-presidente da Associação Latino-Americana de Patologias das Construções, ter revisado sua avaliação anterior e afirmado não ter encontrado vestígios das estruturas de metal que poderiam ter levado à queda do edifício em tão pouco tempo. Após ser alertada pelo professor sobre a mudança em sua avaliação, a BBC Brasil fez alterações no texto original.

Conforme os bombeiros avançam nas buscas por desaparecidos do incêndio no edifício Wilton Paes de Almeida, na última terça-feira - na manhã dessa sexta, o corpo da primeira vítima foi encontrado. Os bombeiros concluíram as buscas em outros pontos do prédio.

90

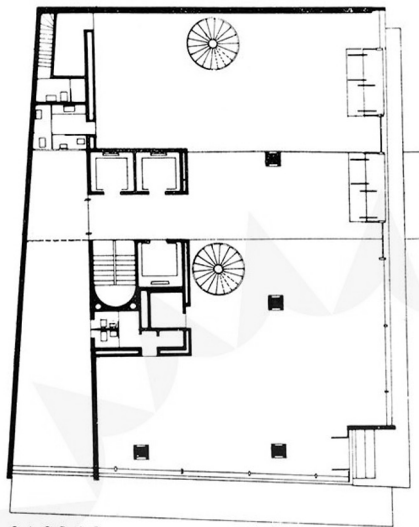
anamnese *pesquisa*



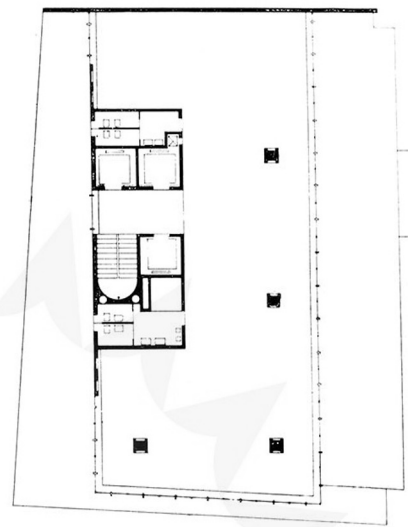
Revista Acrópole Número 323 Ano 27 Novembro 1965

91

anamnese *pesquisa*



Pavimento térreo

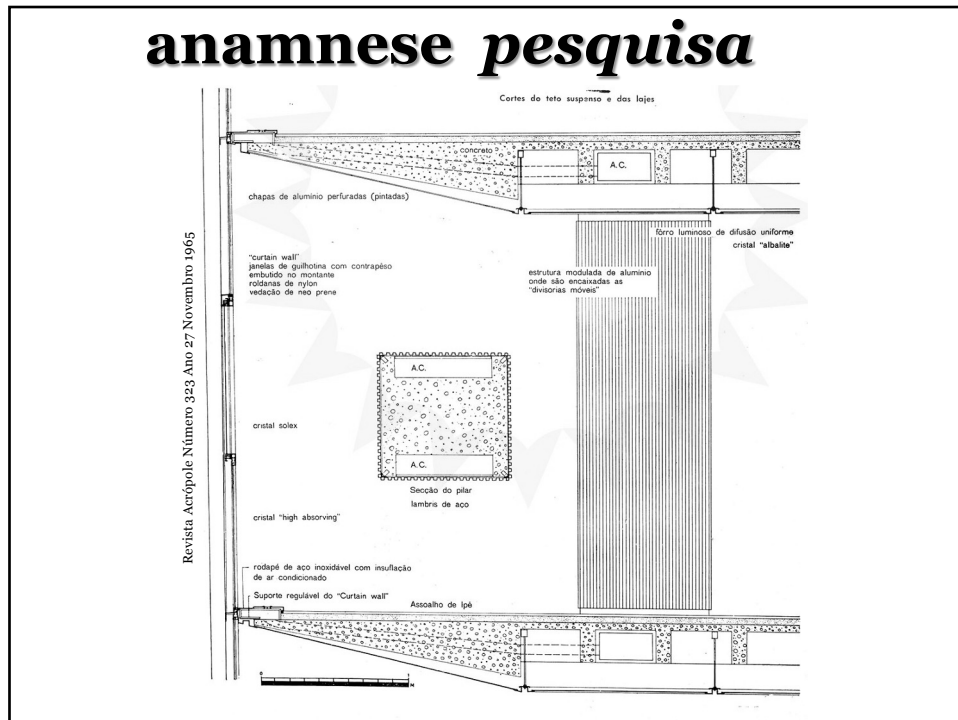


Pavimento tipo

Revista Acrópole Número 323 Ano 27 Novembro 1965

92

anamnese *pesquisa*



93



94



95



96



97

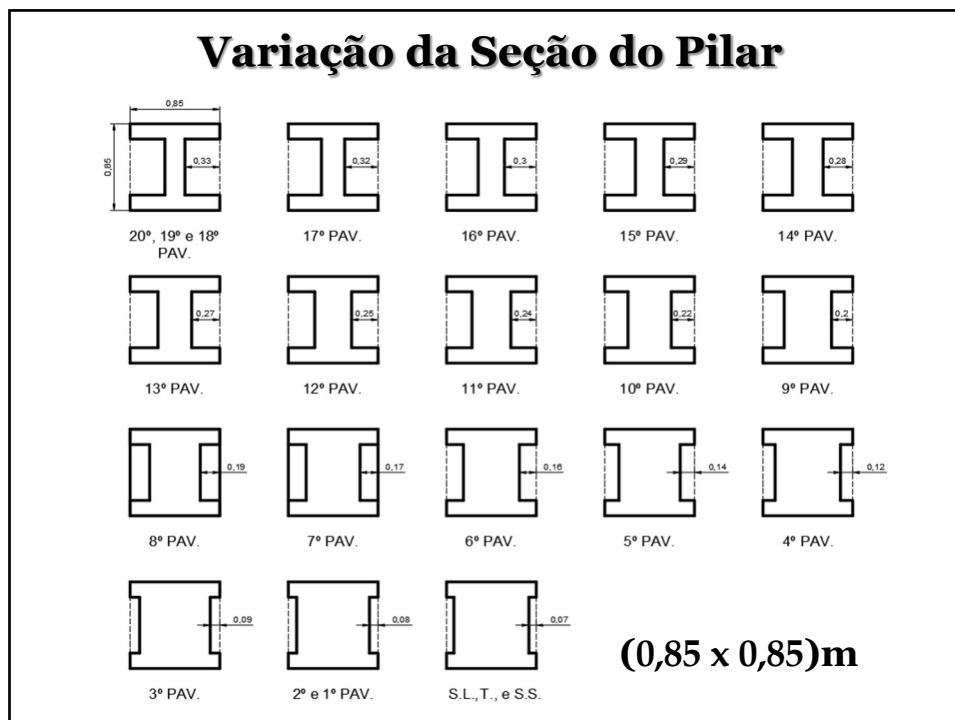


Estruturas de madeira na casa de máquinas

98

Geometria dos pilares

99



100

Histórico



101

Histórico de Usuários

Cronologia:

- 1968 – 1977: Companhia Comercial de Vidros do Brasil (ou CVB), Socomin, Banco Nacional do Comércio de São Paulo, Banco Mineiro do Oeste S/A e a Oleogazas
- 1980 – 2000: Caixa Econômica Federal
- 2000 – 2003: fechado SPU
- 2003 – 2006: Polícia Federal
- 2007 – 2013 : fechado (SPU)
- 2013 – 2018: invadido pelo MLSM

102

Invasão



103

Invasão



104

Invasão



105

Invasão



106

O Incêndio

Madrugada de 01/05/2018, 01:30h: incêndio que iniciou-se no 5º andar do prédio e alastrou-se pelos demais andares



107

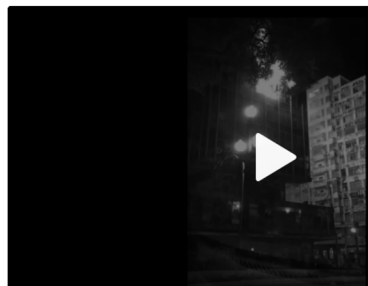
SÃO PAULO

Incêndio em prédio de SP foi causado por curto-circuito em tomada no 5º andar, diz secretário

Em depoimento, moradora disse que fogo começou em tomada onde estavam ligados TV, micro-ondas e geladeira.



Por César Galvão, TV Globo, São Paulo
03/05/2018 16h27 - Atualizado 03/05/2018 21h33



Edifício Wilton Paes de Almeida



108

Início às 1h30 (vídeo)



109

Desabamento às 2h50 (vídeo)



110



111



112

Após o desabamento...



113

Após o desabamento...



114

Após o desabamento...



115

Após o desabamento...



116

Após o desabamento...



117

Análise dos escombros

Diretor-técnico do Instituto Brasileiro do Concreto, Helene diz ter obtido autorização da prefeitura para colher materiais nos escombros. Os itens serão analisados em laboratório para que se elabore um diagnóstico sobre as causas da queda. Ele estima que a análise possa levar até um mês.

"Estamos falando de uma estrutura da década de 60 sobre a qual se tem pouca informação até agora. Queremos medir, por exemplo, a resistência e a porosidade do concreto, características que são importantes para conhecermos melhor o projeto e podermos chegar a alguma conclusão".



Incêndio no edifício Grenfell, em Londres, no ano passado: revestimento derivado de plástico teria contribuído para que o fogo se espalhasse rápido

**Termo de
Cooperação
(técnica e
científica)
entre a
Prefeitura
Municipal de
São Paulo,
SPObras,
Secretaria de
Infra
estrutura
Urbana e
IBRACON
Maio 2018**

118

coleta de amostras para ensaios



119

Plano de ensaios e investigação

- Levantamento geométrico laje, viga e pilar
- Conhecimento da armadura: ensaio de tração, dobramento, alongamento e ductilidade, composição química e metalografias
- Caracterização mineralógica do agregado
- Extração e ensaio de resistência à compressão, à tração e módulo de elasticidade
- Pacometria
- Ultrassom e módulo dinâmico
- Absorção de água, índice de vazios permeáveis e massas específicas
- Caracterização mineralógica por difratometria de raios X e análises térmicas por ATD-TG
- Reconstituição de traço e consumo de cimento
- Profundidade de carbonatação
- Análise do material granular
- Verificação (“especulação”) estrutural



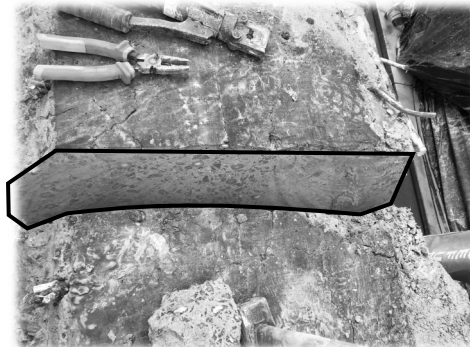
120

preparação da amostra



- ✓ Corte das barras com maçarico de acetileno
- ✓ Corte do concreto com fio diamantado

UPM Universidade
Presbiteriana Mackenzie



121

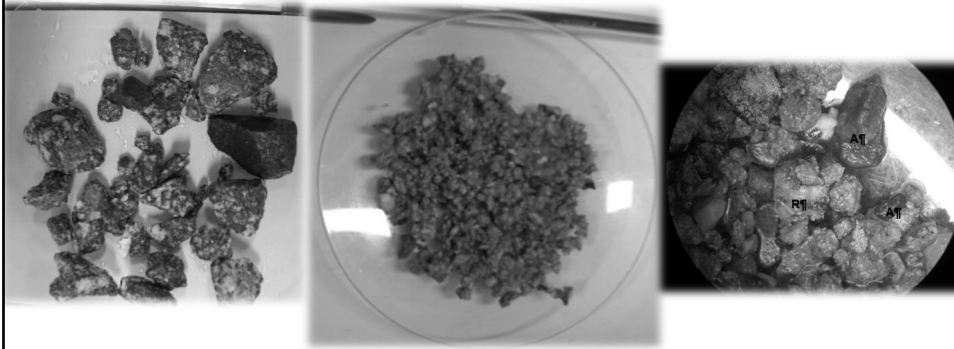
extração de testemunhos



**Universidade
Presbiteriana
Mackenzie
UPM**

122

análise petrográfica *Cláudio Sbrighi Neto*



- granito britado: rocha ígnea, $D_{max} = 25\text{mm}$
- areia grossa lavada de rio
- quartzo preservado: o concreto deve ter experimentado temperaturas inferiores a 573°C ;
- agregados não estavam fissurados ou lascados

123

reconstituição de traço

As amostras de concreto foram submetidas ao tratamento térmico e químico, seguindo procedimento da ABCP (POT-GT 3016).

TABELA 1- Reconstituição do traço em partes de massa

Identificação da amostra	Composição	
	Cimento	Agregados
Pilar	1	5,9
Estrutura	1	6,2

124

consumo de cimento e propriedades do concreto

TABELA 2 – Determinação da absorção, índice de vazios e massa específica – NBR 9778

Ensaio	Amostra		
	Pilar	Estrutura	Concreto Carlos Britez
Absorção após imersão e fervura (%)	6,52	6,68	
Índice de vazios após saturação e fervura (%)	14,75	15,21	17,75
Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	2,26	2,28	2,21

considerando água de hidratação igual a 0,3

→ consumo de **309 kg/m³**

125

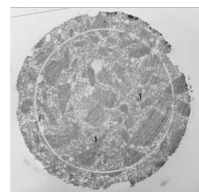
compressão



- ✓ ABNT NBR 7680 e NBR 5739
- ✓ Resistência média de 21,8MPa

$$f_{ck} = 15\text{MPa}$$

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland



126

tração



- ✓ ABNT NBR 7222
- ✓ Resistência média de 2,1MPa

ABCP Associação Brasileira de
Cimento Portland



127

ultrassom e módulo de elasticidade

Laboratório da PhD Engenharia, ensaio de ultrassom e calculado o módulo de elasticidade dinâmico, que em média foi de **27GPa** (equivalente a $E_{ci 0,3 f_c} = 24GPa$)

CP	Elongitudinal (GPa)	±	Eflexional (GPa)	±	Ultrassom (m/s)
08	19,8	0,13	12,31	0,13	3663
09	-	-	-	-	3788
10	-	-	-	-	3669

$$Vp = \sqrt{\frac{E(1 - \nu)}{\rho(1 - 2\nu)(1 + \nu)}}$$

Onde:

- ✓ Vp é a velocidade de onda longitudinal,
- ✓ E é o módulo de elasticidade,
- ✓ ν é o coeficiente de Poisson, e
- ✓ ρ é a massa específica do concreto.

128

espessura de carbonatação

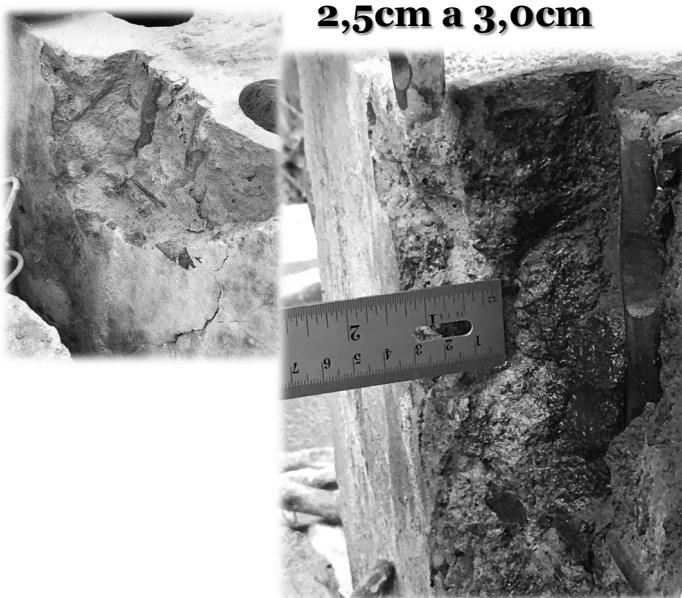


2,5cm a 3,0cm

**Universidade
Presbiteriana
Mackenzie
UPM**

129

espessura de carbonatação



2,5cm a 3,0cm

**Universidade
Presbiteriana
Mackenzie
UPM**

130

armadura

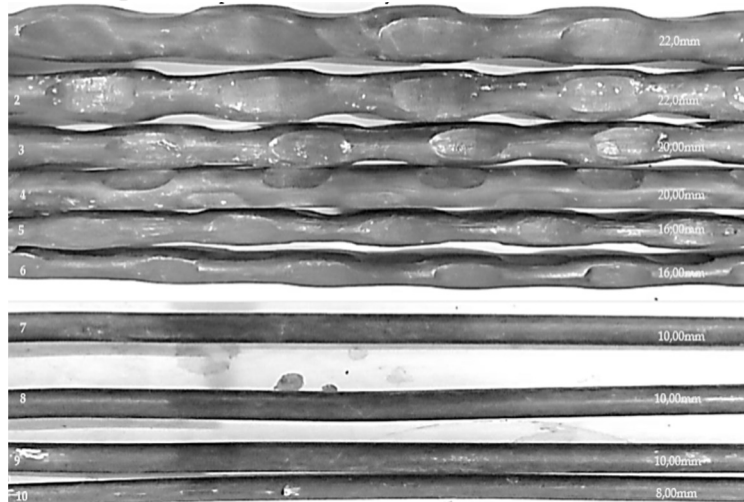
Barras longitudinais entalhadas com bitolas de 22, 20, e 16 mm. CA 60

Barras transversais lisas com bitola de 10 mm

CA 32

Barras complementares lisas com bitola de 8 mm.

CA 32

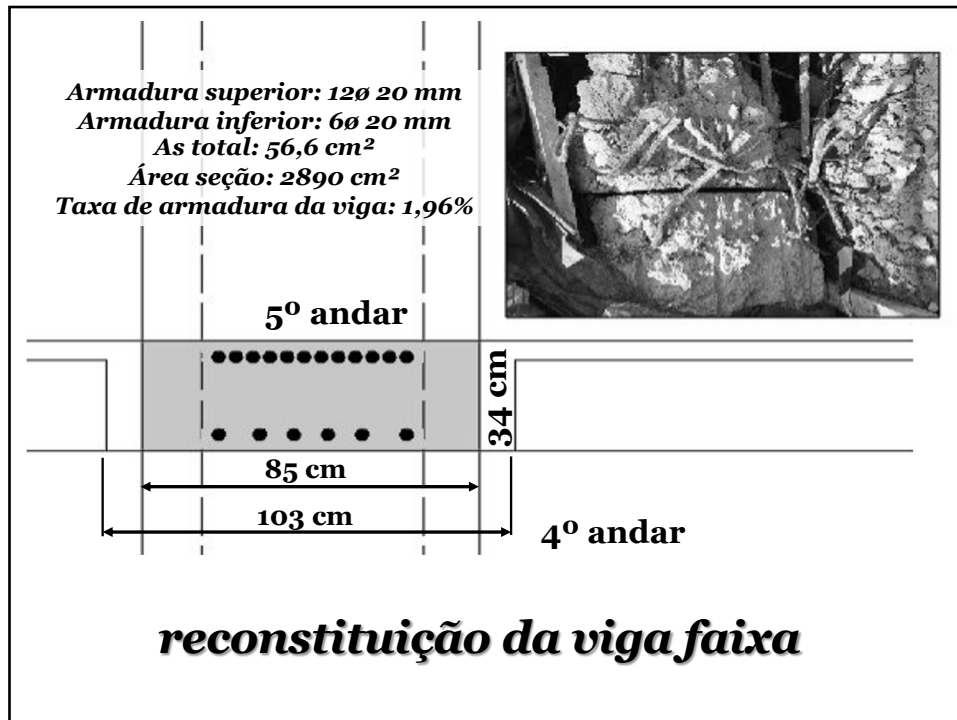


*Laboratórios
da
ArcelorMittal*

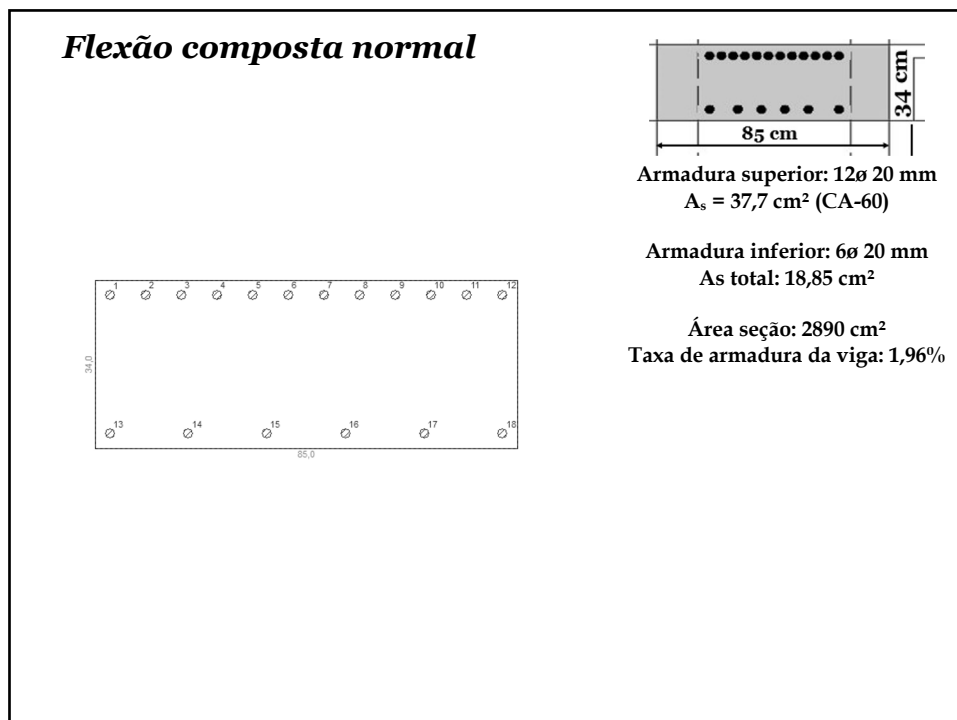
131

***reconstituição
da seção do pilar
e da viga faixa***

132

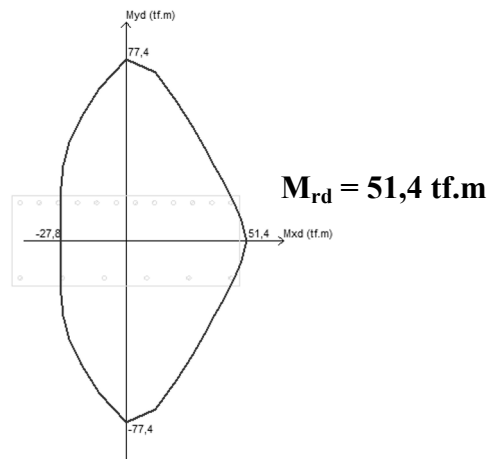


133



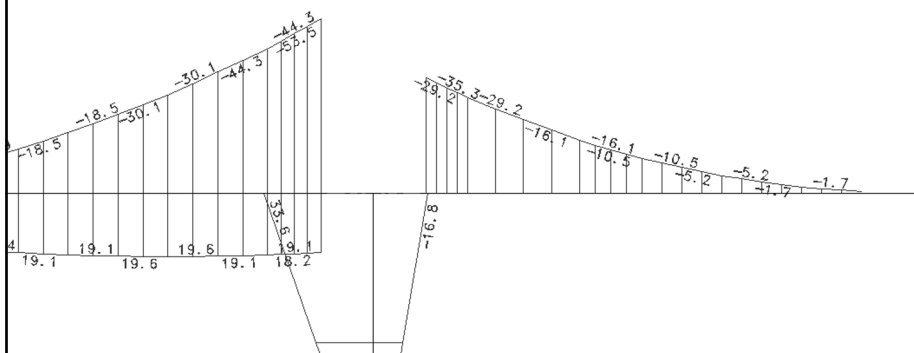
134

Envoltória N, Mx, My



135

Verificação do diagrama (com vento)



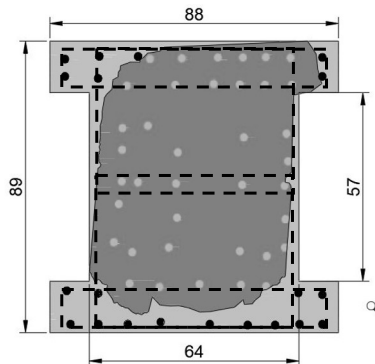
$$0,8 \cdot 53,5 = 42,8 \text{ tf.m}$$

$$(53,5 + 35,3) / 2 = 44,4 \text{ tf.m}$$

$$\rightarrow M_{rd} / M_{sk} = 1,15 (\gamma_f)$$

136

reconstituição da seção transversal



- Seção da amostra
- Possível seção original
- Barras presentes na amostra
- Possível posição das barras faltantes

$$A_c \sim 6464 \text{ cm}^2$$
$$A_s \sim 216,7 \text{ cm}^2 \text{ (CA-60 57 } \phi \text{ 22 mm)}$$

$$c = 0,5\text{cm a } 4,0\text{cm}$$

tramo de pilar do 5º andar

*espessura calcinada
obtida por análise
termodiferencial,
termogravimétrica e
difratometria de raios X*

$$< 1,0\text{cm}$$

137

verificação estrutural

área de influência $\approx 47,4\text{m}^2$

espessura média $\approx 22,9 \text{ cm}$

peso próprio = $2.500 \text{ kgf/m}^3 \rightarrow 572,5 \text{ kgf/m}^2$

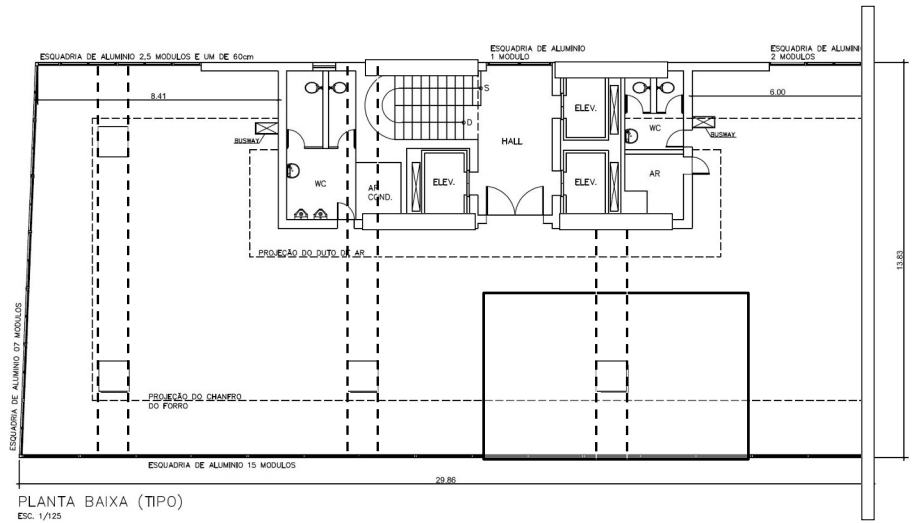
carga permanente estimada $\approx 150 \text{ kgf/m}^2$

sobrecarga estimada $\approx 250 \text{ kgf/m}^2$

carga total: $972,5 \text{ kgf/m}^2$

138

verificação estrutural

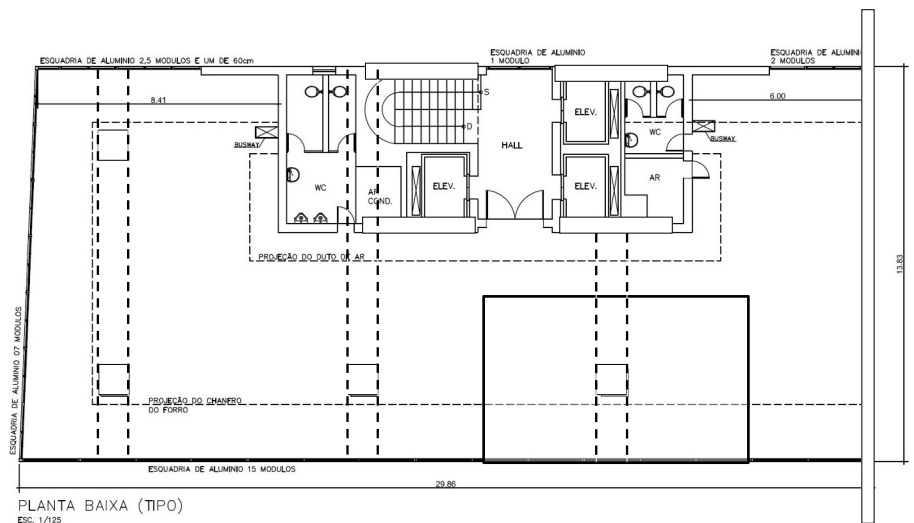


PLANTA BAIXA (TIPO)
ESC. 1/125

área de influência (CAD) = ~47,4m²

139

verificação estrutural

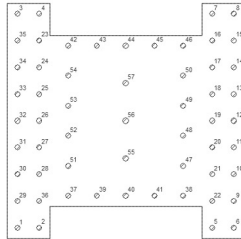


PLANTA BAIXA (TIPO)
ESC. 1/125

Estimado pelos desenhos carga de ~ 46 tf / pav.

140

verificação estrutural



$$N_d = A_c \times \sigma_{cd} + A_s \times \sigma_{sd}$$

$$\sigma_{sd} = E_s \times \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_{sd} = 21000 \times 2\text{‰}$$

$$\sigma_{sd} = 42 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_d = 6464 \times 0,85 \times \frac{1,5}{1,4} + 216,7 \times 42$$

$$N_d = 13800 \text{ kN ou } 1380 \text{ tf}$$

$$N_k = 9857 \text{ kN ou } 986 \text{ tf}$$

141

verificação estrutural

capacidade do pilar sem momentos:

$$N_k \approx 986 \text{ tf}$$

***correspondente a cerca de 20
pavimentos → geometria condiz
com tramo entre 4º e 5º Pav.***

142



143



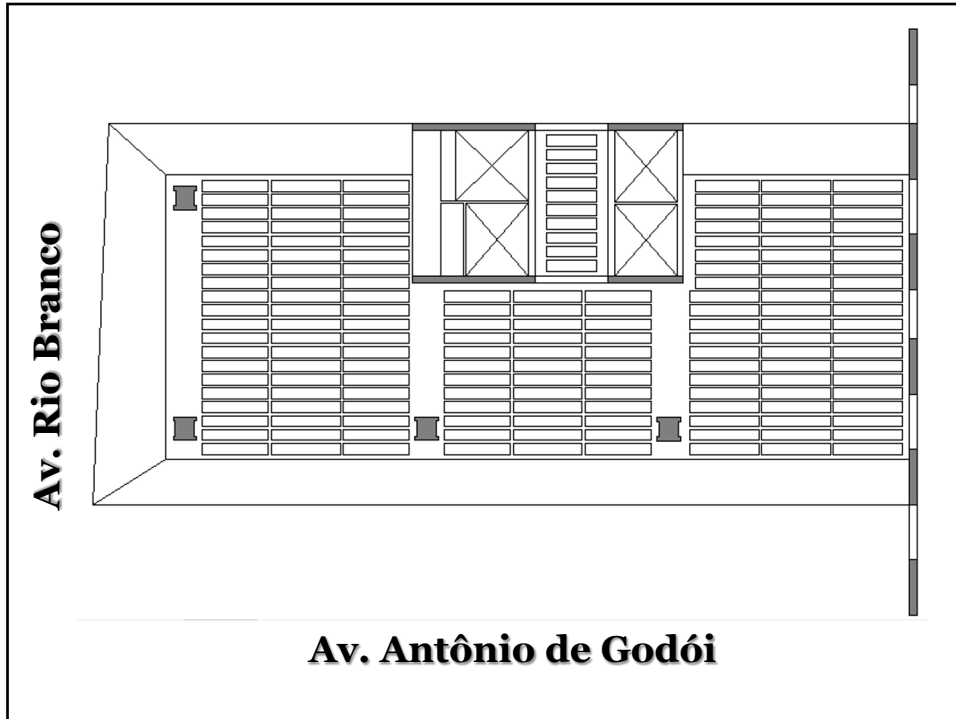
144



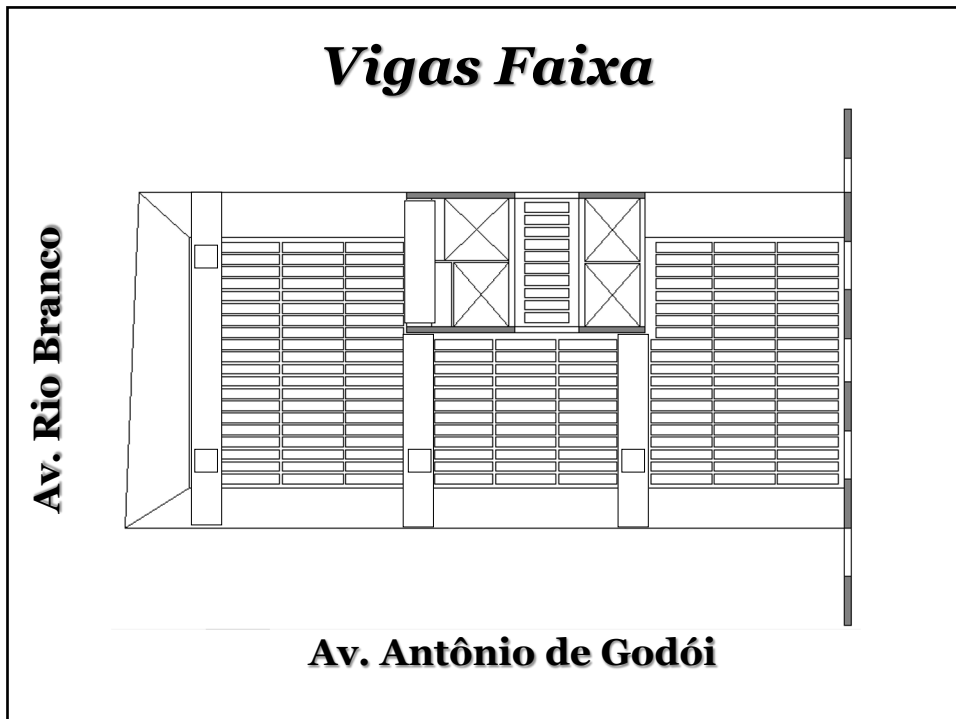
145



146



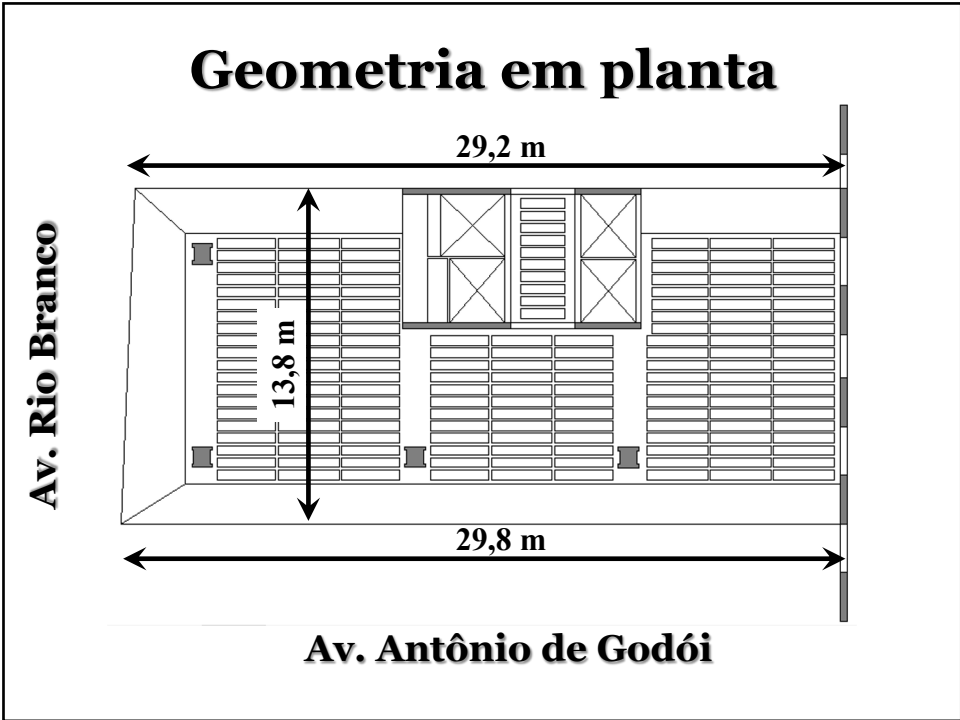
147



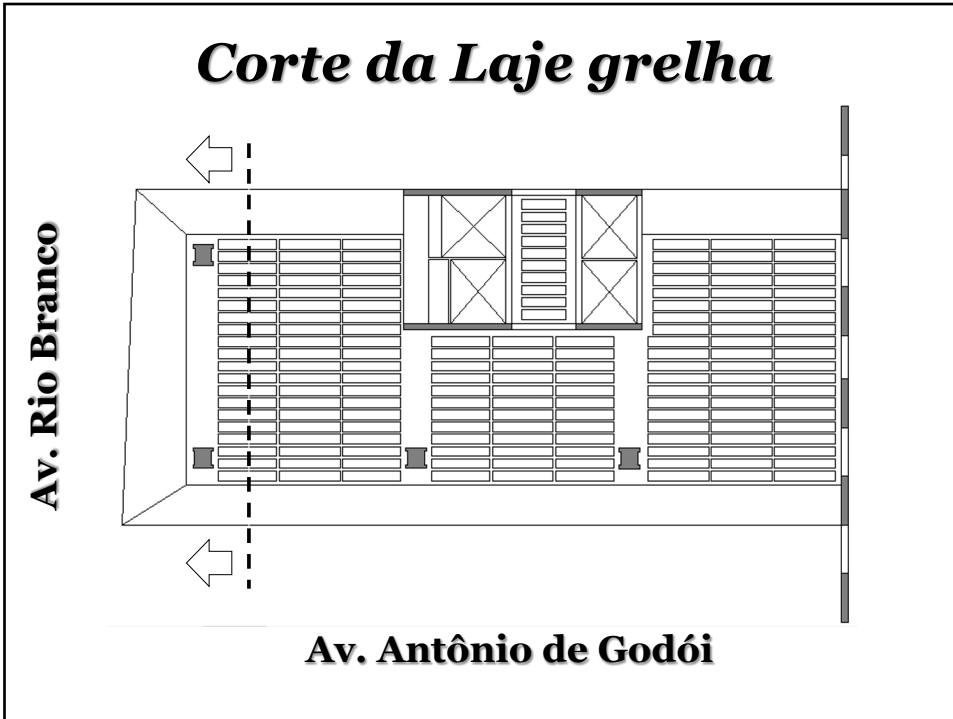
148



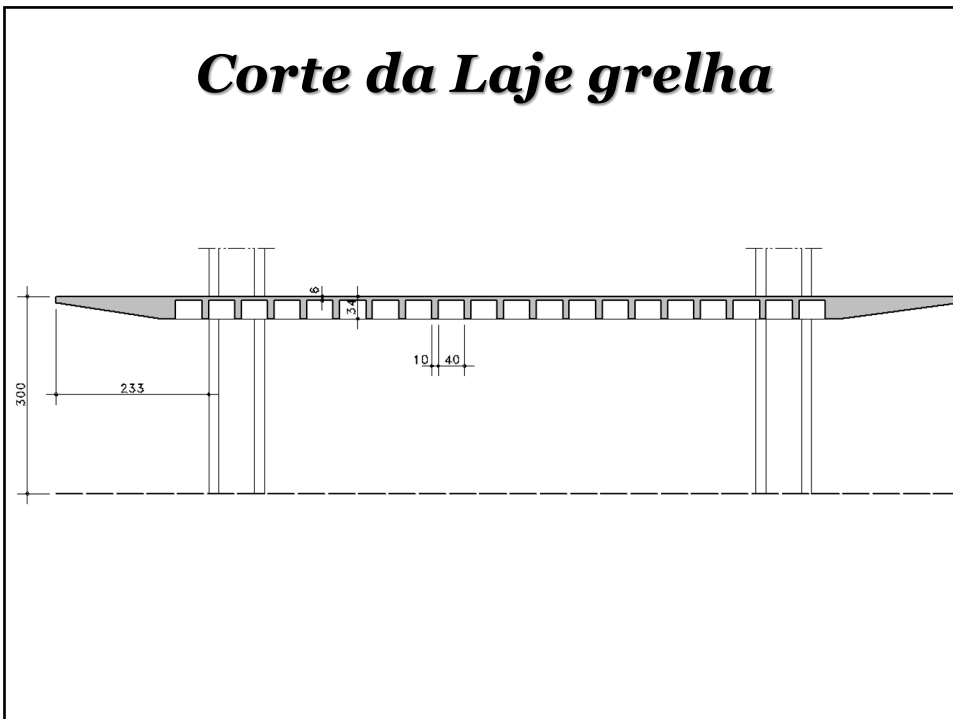
149



150



151



152

Critérios assumidos

Carga permanente: 150 kgf/m² → Baseado no revestimento existente declarado pela SPU (regularização + piso de madeira);

Sobrecarga: 250 kgf/m² → Baseado nas edificações da época e relatos da SPU;

Ferramenta de análise: CAD/TQS;

Modelo utilizado: Modelo VI (único que “convergiu”);

Adotados critérios da norma **NB-1:1978** (mais próxima a da época de projeto e também devido a geometria dos elementos estruturais);

Feito um modelo **com vento** segundo a **ABNT NBR 6123:1988** e outro modelo **sem vento** pois nessa época alguns projetistas não consideravam vento;

Feito outro modelo apenas com **variação térmica** para avaliar os deslocamentos da estrutura devido a dilatação térmica durante o incêndio;

Estabilidade Global avaliada via processo P-Delta.

153

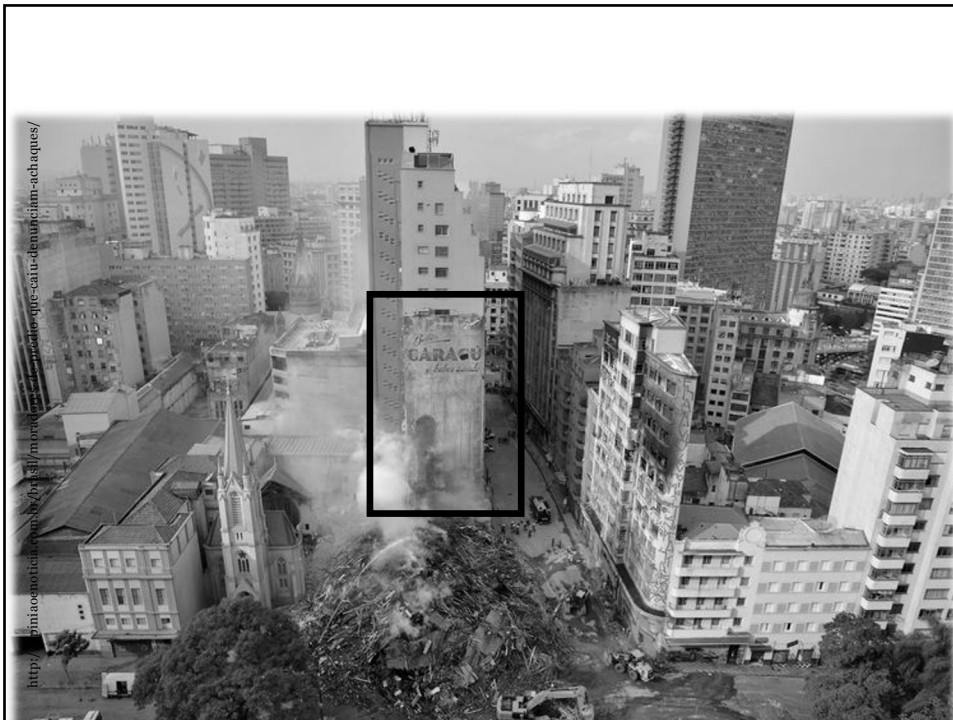
DESLOCAMENTOS ÚLTIMOS

**Modelo ELU com
variação térmica
sem vento**

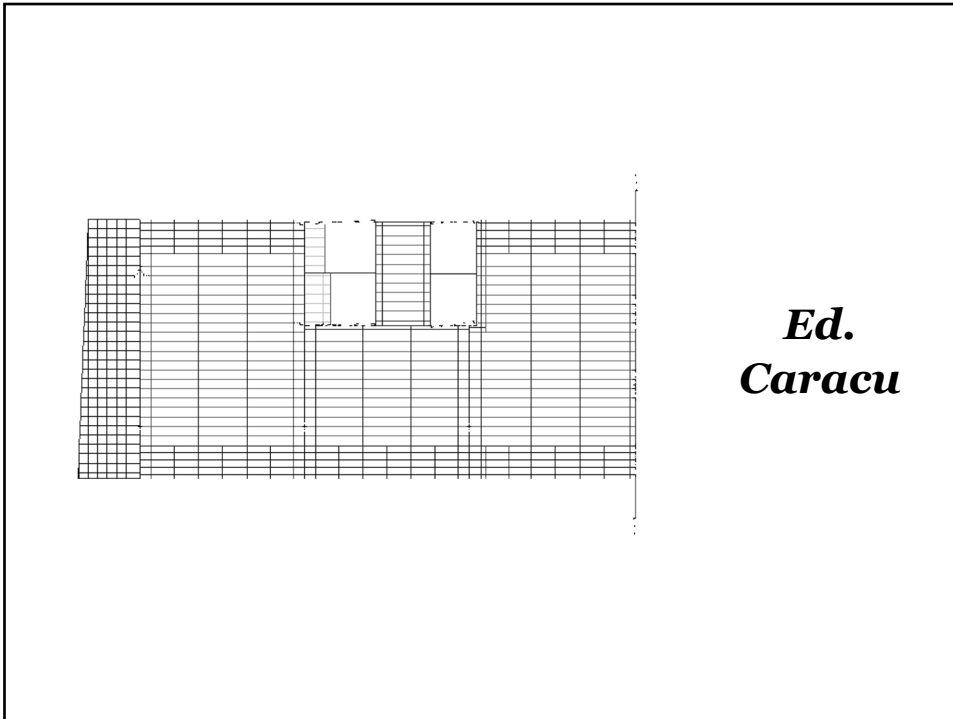
154



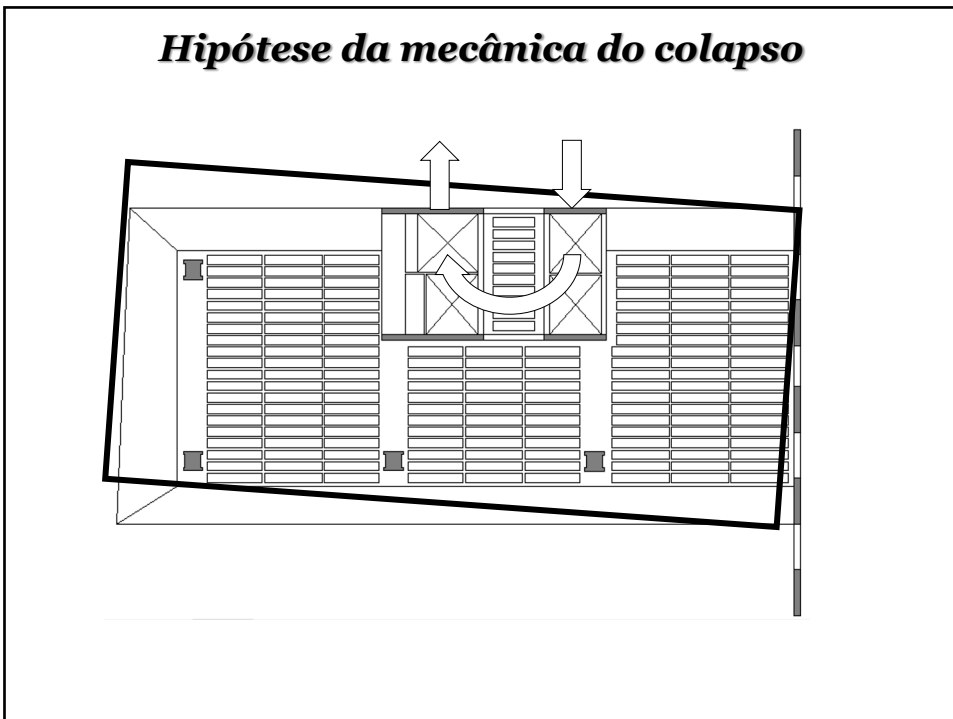
155



156



157



158

Variação de 200° C:

ELS -> 21 cm

ELU -> 28 cm

Variação de 500° C:

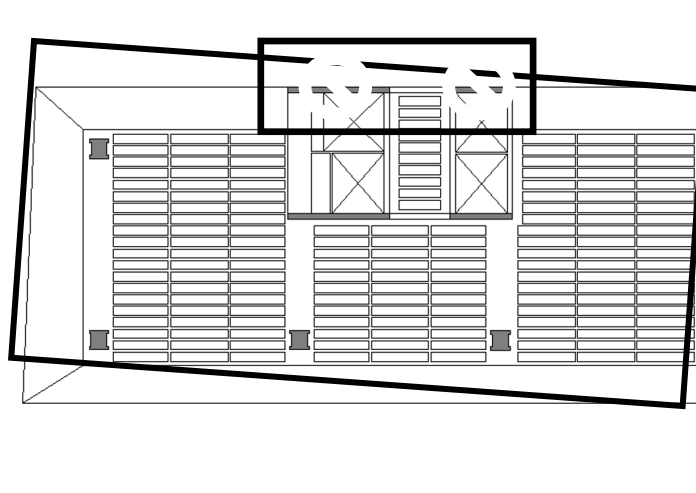
ELS -> 36 cm

ELU -> 58 cm

temperatura → aumento de mais de 10 vezes no momento dos pilares da caixa de elevador, quando comparado com o momento apenas devido a carga vertical.

159

Hipótese da mecânica do colapso



160

Hipótese da mecânica do colapso



161

Hipótese da mecânica do colapso



162



163



164



165

Lições aprendidas

1. Estrutura de Concreto mal projetada pode colapsar em pouco tempo;
2. Nunca desprezar ou minimizar ação do fogo – “ser precavido”;
3. Cuidado com pele de vidro sem barreiras;
4. Muitos prédios em situação similar, apesar de “legalmente habitados / abandonados”;
5. Cabe ao proprietário a responsabilidade, mas a quem cabe fiscalizar?

166

Lições aprendidas (medidas)

- 1. Projeto Executivo Arquitetura (Prefeitura);**
- 2. Projeto Executivo Estrutural ou projeto “as built” no (*Habite-se*);**
- 3. Inspeção Periódica;**
- 4. Proteção Passiva e Ativa obrigatória;**
- 5. Redundância & Robustez no projeto**

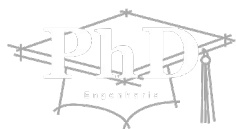
167

Obrigado !

Prof. Alfonso Pappalardo Júnior	Eng. Leandro Coelho
Geol ^a , MSc. Ana Livia Silveira	Sr. Luiz Adauto Moraes Mazarin
Dr. Antonio Fernando Berto	Prof ^a . Magda Salgueiro Duro
Sr. Antonio Paulo Pereira	Sr. Matheus Moreira
Geol. Arnaldo Forti Battagin	Sr. Mauricio Brun Bucker
Prof. Bernardo Tutikian	Perita Mônica Bernardi Urias
Eng. Dr. Carlos Britez	Sr. Nelson Candido Rosa
Sr. Cesar Augusto dos Santos	Major Oscar Samuel Crespo
Eng. MSc. Douglas Couto	Prof. Oswaldo Cascudo
Perito Edgar Rezende Marques	Eng. Me. Pedro Bilesky
Sr. Eduardo Antonio Franca	Dr. Rogério Cattelan de Lima
Prof. Enio Pazini Figueiredo	Sr. Ronald M. Nascimento
Sr. Francisco Pereira Souza	Prof. Sérgio Lex
Sr. Gustavo de Andrade Silva	Prof. Simão Prizskulnik
Eng ^a . Jéssika Pacheco	Sra. Thamyris Torsani Pimentel
Eng. Jefferson Dias de Souza Junior	Prof. Valdir Pignatta e Silva
Sr. José Luiz de Moraes Andrade	Prof. Vitor Levy Castex Aly
Eng. José Luiz Varela	Sr. Waldir Aparecido dos Santos
Sr. Lázaro de Castro	Sr. Waldir Aparecido dos Santos Filho

168

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

paulo.helene@concretophd.com.br

www.concretophd.com.br

www.phd.eng.br

55-11-2501-4822 / 4823

55-11-95045-4940