



**PROJETO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Conforme ABNT NBR 15200:2012

VALDIR PIGNATTA SILVA

**Blucher**

# **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**

**Conforme ABNT NBR 15200:2012**

**Blucher**

**Valdir Pignatta Silva**

Professor doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica  
da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
[www.lmc.ep.usp.br/people/valdir](http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir)

# **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**

**Conforme ABNT NBR 15200:2012**

*Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio:  
conforme ABNT NBR 15200:2012*

© 2012 Valdir Pignatta e Silva

Editora Edgard Blücher Ltda.

## Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1.245, 4º andar  
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel.: 55 (11) 3078-5366  
contato@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quais-  
quer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela  
Editora Edgard Blücher Ltda.

### Ficha catalográfica

Silva, Valdir Pignatta  
Projeto de estruturas de concreto em  
situação de incêndio: conforme ABNT NBR  
15200:2012 / Valdir Pignatta e Silva. -- São  
Paulo: Blucher, 2012.

#### Bibliografia

ISBN 978-85-212-0684-2

1. Concreto – efeito da temperatura  
2. Engenharia de estruturas 3. Construção de  
concreto armado 4. Engenharia de estruturas  
5. Incêndio 6. Engenharia de segurança contra  
incêndios 7. Segurança contra incêndios  
I. Título

12-0120

CDD-620.13642

#### Índices para catálogo sistemático:

1. Concreto – efeito da temperatura	620.13642
2. Engenharia de estruturas	624.1535
3. Engenharia de segurança contra incêndio	628.92203

# Prefácio

---

No Brasil, as exigências de segurança contra incêndio das edificações são definidas em legislação estadual. A legislação de diversos estados brasileiros exige que as estruturas das edificações sejam verificadas para a situação de incêndio. Nos estados em que não há essa exigência explícita, deve-se considerar o CDC – Código de Defesa do Consumidor. A Lei n.º 8.078 (CDC), de 11 de setembro de 1990, determina na Seção IV – Das Práticas Abusivas, art. 39, que é vedado ao fornecedor de produtos ou serviços colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Portanto, na ausência de lei específica, vale a norma brasileira ABNT NBR 14432:2001 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações”.

Seja por lei ou por norma, um engenheiro, de certo, não desejaria descobrir o desempenho de uma estrutura calculada por ele somente na ocasião de um incêndio. É melhor respeitar a legislação/normatização em vigor.

Em 2004, foi publicada a norma brasileira ABNT NBR 15200 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”. Após mais de sete anos de uso, notou-se que ela necessitava de atualização para fins de mais bem colaborar com o meio técnico. Recentemente, foi publicada a ABNT NBR 15200:2012.

O objetivo deste livro é colaborar com o engenheiro de estruturas de concreto, procurando esclarecer a norma brasileira. Para efeito de detalhamento do projeto de estruturas em situação de incêndio, a ABNT NBR 15200 deve sempre ser consultada.

Neste livro, são incluídas algumas das recomendações do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, úteis ao engenheiro, na determinação das exigências de resistência ao fogo das edificações. Na elaboração do projeto, o engenheiro deve tomar ciência da legislação do Estado em que o edifício será construído, pois poderá haver algumas diferenças da legislação paulista. Para efeito de projeto, a legislação estadual sobre o assunto, também, deve ser sempre consultada.

Trata-se de uma publicação inédita em língua de origem latina. Pode haver conceitos ou métodos que devam ser mais bem esclarecidos. O autor agradece ao leitor que lhe comunicar sobre tópicos que mereçam maior aprofundamento.



# Conteúdo

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	11
1.1	Incêndios históricos.....	11
1.2	Legislação e normatização brasileiras .....	16
1.3	Estruturas em incêndio .....	17
<b>2</b>	<b>Segurança contra incêndio</b> .....	23
2.1	Considerações gerais .....	23
2.2	Compartimentação.....	24
2.2.1	Isolamento de risco .....	30
2.3	Resistência ao fogo .....	32
2.4	Proteção ativa .....	34
<b>3</b>	<b>O incêndio</b> .....	35
3.1	Introdução.....	35
3.2	Incêndio-padrão.....	38
<b>4</b>	<b>Comportamento dos materiais estruturais</b> .....	41
4.1	Concreto .....	41
4.1.1	Resistência à compressão do concreto a altas temperaturas .....	41
4.1.2	Alongamento .....	46
4.1.3	Calor específico .....	47
4.1.4	Condutividade térmica.....	48
4.1.5	Densidade .....	49

4.2	Aço .....	50
4.2.1	Resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura passiva a altas temperaturas....	50
4.2.2	Resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura ativa a altas temperaturas.....	53
4.2.3	Diagramas tensão-deformação dos aços.....	55
4.3	Resfriamento e pós-incêndio.....	58
<b>5</b>	<b>Segurança das estruturas em situação de incêndio .....</b>	<b>61</b>
5.1	Edifícios de baixo risco à vida .....	61
5.2	Ações e segurança .....	63
5.2.1	Determinação dos esforços solicitantes .....	64
5.2.2	Determinação dos esforços resistentes .....	67
<b>6</b>	<b>Tempo requerido de resistência ao fogo.....</b>	<b>69</b>
6.1	Método tabular.....	70
6.2	Redutor de TRRF (método do tempo equivalente).....	70
<b>7</b>	<b>Dimensionamento de vigas de concreto.....</b>	<b>77</b>
7.1	Método tabular para dimensionamento .....	77
7.1.1	Vigas biapoiadas .....	78
7.1.2	Vigas contínuas e redistribuição de momentos .....	78
7.1.2.1	Armaduras negativas.....	80
7.1.3	Armaduras de canto .....	81
7.1.4	Redução de $c_1$ .....	81
7.1.5	Armaduras em várias camadas .....	83
7.1.6	Vigas com largura variável .....	84
7.1.7	Armaduras ativas.....	85
7.1.8	Revestimento.....	85
7.2	Métodos alternativos .....	85

<b>8</b>	<b>Dimensionamento de lajes de concreto</b> .....	87
8.1	Método tabular para dimensionamento .....	87
8.2	Métodos alternativos .....	91
<b>9</b>	<b>Dimensionamento de pilares de concreto</b> .....	93
9.1	Método analítico para a determinação do tempo de resistência ao fogo de pilares.....	93
9.2	Método tabular geral para dimensionamento de pilares retangulares ou circulares .....	96
9.3	Outras situações de pilares e tirantes .....	107
<b>10</b>	<b>Métodos alternativos de dimensionamento</b> .....	109
10.1	Métodos avançados.....	109
10.2	Métodos simplificados.....	110
10.3	Lajes .....	112
10.3.1	Lajes maciças.....	112
10.3.2	Lajes nervuradas .....	114
10.3.2.1	Lajes nervuradas à temperatura ambiente .....	114
10.3.2.2	Lajes nervuradas em situação de incêndio .....	114
10.4	Vigas .....	119
10.5	Pilares .....	123
<b>11</b>	<b>Exemplos de aplicação</b> .....	125
<b>Anexo A</b>	Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação .....	137
<b>Anexo B</b>	Cargas de incêndio específicas (ABNT NBR 14432:2001) .....	141
<b>Anexo C</b>	Incêndio natural compartimentado – curvas paramétricas .....	143
<b>Anexo D</b>	Interação entre elementos estruturais.....	149

<b>Anexo E</b>	Método gráfico para dimensionamento de vigas de concreto armado .....	159
<b>Anexo F</b>	Isotermas de seções transversais de pilares sujeitas ao incêndio-padrão nas quatro faces .....	219
<b>Anexo G</b>	Concreto de alta resistência (CAR) .....	229
<b>Referências bibliográficas</b>	.....	233

---

# 1 Introdução<sup>1</sup>

---

## 1.1 Incêndios históricos

O primeiro grande incêndio da Era Cristã, historicamente registrado, foi o de Roma em 19 de julho de 64. O fogo propagou-se pela cidade por nove dias. As residências, feitas com madeira, as ruas estreitas e os ventos colaboraram para a grande destruição. Foram milhares de mortos e três quartos da cidade foram destruídos (Figura 1.1). Há controvérsias quanto a Nero ter sido o mandante do incêndio ou ter-se aproveitado dele para reconstruir Roma e culpar os cristãos. O fato é que, após esse incêndio, Nero idealizou um sistema de alarme formado pelos *vigiles*, que eram pessoas que patrulhavam várias áreas da cidade a fim de alertar em caso de incêndio. Assim, Roma tornou-se a primeira cidade do mundo a adotar um sistema de alarmes anti-incêndios (COSTA, 2002).



**Figura 1.1** – Ilustração que representa o incêndio de Roma.

Fonte: Greatest-Mysteries. Disponível em: <<http://greatest-mysteries.blogspot.com/2007/04/great-fire-of-rome.html>>.



**Figura 1.2** – Ilustração que representa o incêndio de Londres.

Fonte: National Geographic. Disponível em: [http://news.nationalgeographic.com/news/2009/11/photogalleries/maya-2012-fai-led-apocalypses/#/great-fire-london-1666\\_11739\\_600x450.jpg](http://news.nationalgeographic.com/news/2009/11/photogalleries/maya-2012-fai-led-apocalypses/#/great-fire-london-1666_11739_600x450.jpg).

---

1 As Seções 1.1 e 1.2 deste capítulo são uma transcrição adaptada de Gill et al. (2008). A seção 1.3 é, em grande parte, transcrição de Silva et al. (2008).

Outro incêndio histórico é o de Londres, iniciado em 2 de setembro de 1666 (Figura 1.2). Nesse incêndio, mais de 13 mil casas foram destruídas. Oficialmente, o número de mortes é pequeno, no entanto, historiadores alegam que o número pode ter sido bastante grande, em vista da dificuldade de registro na época, além de as pessoas pobres nem sempre entrarem nas estatísticas.<sup>2</sup>

Um grande incêndio de dimensões urbanas foi o de Chicago, iniciado em 8 de outubro de 1871 (Figura 1.3). Foram dois dias de incêndio e mais de 300 mortes.<sup>3</sup>



**Figura 1.3** – Ilustração que representa o incêndio de Chicago.

Fonte: Arquiline's Blog. Disponível em: <<http://arqline.files.wordpress.com/2010/10/great-fire-chicago-pintura-da-epoca.jpg>>.



**Figura 1.4** – Incêndio no Teatro Iroquois.

Fonte: Chicago Now. Disponível em: <<http://www.chicagonow.com/blogs/chicago-halloween-haunted-blog-photos/2009/10/iroquois-theater.html>>.

Esses incêndios tomavam grande parte das cidades antigas, em virtude de as edificações serem contíguas, com estruturas de madeira e ruas estreitas. Após a modernização das cidades, os incêndios passaram a se restringir ao edifício.

Nos Estados Unidos, antes que ocorressem incêndios com grande perda de vidas, a segurança contra incêndio tinha por ênfase a proteção ao patrimônio. O primeiro Handbook, publicado por Everett U. Crosby em 1896 – ainda não editado pela National Fire Protection Association (NFPA) –, predecessor do atual *Fire protection handbook*, buscou facilitar o trabalho dos inspetores das companhias de seguros. Cerca de metade do manual de 183 páginas se dedicava a chuveiros automáticos e a suprimento de água. O marco divisório na segurança contra incêndio aconteceu no início do século XX, após ocorrerem quatro grandes incêndios com vítimas. São os seguintes:

- **Teatro Iroquois** em Chicago (Figura 1.4) em 30 de dezembro de 1903, aproximadamente um mês após a abertura do Teatro. O Teatro Iroquois era tido

<sup>2</sup> Fonte: Wikipedia. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Fire\\_of\\_London](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Fire_of_London)>.

<sup>3</sup> Fonte: ChicagoHistoryMuseum. Disponível em: <<http://www.chicagohs.org/history/fire.html>>.

como seguro contra incêndios. O fogo vitimou 600 das 1600 pessoas na plateia. Como diversos incêndios já haviam ocorrido em teatros, tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, sem a mesma magnitude, as precauções necessárias eram conhecidas, porém, não foram tomadas pelos proprietários do Teatro.

- **Opera Rhoads** em Boyertown, Pensilvânia (Figura 1.5), em 13 de janeiro de 1908, provocado pela queda de uma lâmpada de querosene. Situava-se em um segundo pavimento e as saídas, fora de padrão ou obstruídas, não foram suficientes; 170 pessoas pereceram.
- **Lake View Elementary School** em Cleveland, Ohio (Figura 1.6), em 4 de março de 1908, em que 172 crianças e dois professores morreram. Esse incêndio reforçou a consciência americana sobre a necessidade de melhoria dos códigos, das normas e dos exercícios de escape e de combate ao fogo.
- **Triangle Shirtwaist Company**, Nova York (Figura 1.7), em 25 de março de 1911, em que 146 jovens trabalhadores morreram no fogo ou se atirando do edifício em chamas.



**Figura 1.5** - Incêndio na Opera Rhoads.

Fonte: AllAroundPhilly. Disponível em: <[http://www3.allaroundphilly.com/blogs/reporter/2chrisas2/uploaded\\_images/wboy3-713179.jpg](http://www3.allaroundphilly.com/blogs/reporter/2chrisas2/uploaded_images/wboy3-713179.jpg)>.



**Figura 1.6** - Incêndio na Lake View Elementary School.

Fonte: Dead Ohio. Disponível em: <<http://www.deadohio.com/collinwood.htm>>.

Quatro edições do *Manual de proteção contra incêndios (Fire protection handbook)* da NFPA haviam sido publicadas, com evoluções técnicas, até que surgiu aquele considerado um marco divisório: a quinta edição, de 1914. A importância dessa edição decorre dos incêndios anteriormente citados, em especial do então recente incêndio com vítimas da Triangle Shirtwaist, que ampliou a missão da NFPA para a proteção de vidas e não somente de propriedades. Foi após esse incêndio, que a NFPA criou o Comitê de Segurança da Vida. O mesmo comitê, posteriormente, gerou recomendações para a construção de escadas e a disposição

de saídas de emergência em fábricas, escolas etc., que até hoje constituem a base desse código.



**Figura 1.7** – Incêndio na Triangle Shirtwaist Company.

Fonte: Wikipedia. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Triangle\\_Shirtwaist\\_Factory\\_fire](http://en.wikipedia.org/wiki/Triangle_Shirtwaist_Factory_fire)>.

Pela ausência de grandes incêndios no Brasil até início dos anos 70 do século passado, a segurança contra incêndio era relegada a segundo plano. A regulamentação relativa ao tema era esparsa, contida nos códigos de obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas e escadas e da incombustibilidade de escadas e estruturas de prédios elevados. O corpo de bombeiros possuía alguma regulamentação, advinda da área de seguros, indicando em geral a obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos.

As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tratavam de assuntos ligados à produção de extintores de incêndio. A situação do País era semelhante à dos Estados Unidos em 1911. O Brasil não colhe o aprendizado decorrente dos grandes incêndios ocorridos nos Estados Unidos e em outros países.

Inicia-se então a sequência de tragédias no Brasil.

- **Gran Circo Norte-Americano, Niterói, RJ.** O maior incêndio em perda de vidas aconteceu em 17 de dezembro de 1961, tendo como resultado 250 mortos e 400 feridos. Vinte minutos antes de terminar o espetáculo, um incêndio tomou conta da lona. Em três minutos, o toldo em chamas caiu sobre os dois

mil e quinhentos espectadores. A ausência dos requisitos de escape para os espectadores, como o dimensionamento e posicionamento de saídas, a inexistência de pessoas treinadas para conter o pânico e orientar o escape etc. foram as causas da tragédia. As pessoas morreram queimadas e pisoteadas. A saída foi obstruída pelos corpos amontoados. A tragédia teve repercussão internacional. O incêndio teve origem criminosa. Seu autor foi julgado e condenado.



**Figura 1.8** - Incêndio no edifício Andraus.

Fonte: RTB - Rescue Training Brasil. Disponível em: <<http://www.rtbrasil.com.br/site/casos-famosos/casos-famosos-edificio-andraus>>.



**Figura 1.9** - Incêndio no edifício Joelma.

Fonte: tumblr. Disponível em: <[http://29.media.tumblr.com/tumblr\\_ljgd6eaKng1qg4igfo1\\_400.jpg](http://29.media.tumblr.com/tumblr_ljgd6eaKng1qg4igfo1_400.jpg)>.

- **Incêndio no edifício Andraus, Av. São João, São Paulo.** O primeiro grande incêndio em prédios elevados ocorreu em 24 de fevereiro de 1972. Tratava-se de um edifício comercial com 31 andares. No térreo havia uma loja de departamentos. Acredita-se que o fogo tenha começado nos cartazes de publicidade dessa loja colocados sobre a marquise do prédio. Do incêndio, resultaram 16 mortos e 336 feridos. Apesar de o edifício não possuir escada de segurança, mais pessoas não pereceram pela existência de um heliponto na cobertura, o que permitiu que as pessoas que para lá se deslocaram permanecessem protegidas pela laje e pelos beirais desse equipamento. Muitos foram retirados por helicópteros.

Esse incêndio gerou grupos de trabalho em São Paulo. Com o passar do tempo, esses trabalhos foram perdendo o seu ímpeto inicial e acabaram por ser engavetados.

- **Incêndio no edifício Joelma, Praça da Bandeira, São Paulo.** O incêndio, ocorrido em 1º de fevereiro de 1974, gerou 179 mortos e 320 feridos. O edifício com 23 andares de estacionamentos e escritórios não possuía escada de segurança. Nesse incêndio, como ocorrera no da Triangle Shirtwaist Company, pessoas se projetaram pela fachada do prédio, gerando imagens fortes e de grande

comoção. Muitos ocupantes do edifício pereceram no telhado, provavelmente buscando um escape semelhante ao que ocorrera no edifício Andraus. Durante o incêndio, o comandante do corpo de bombeiros revela à imprensa as necessidades de aperfeiçoamento da organização.

## 1.2 Legislação e normatização brasileiras

Somado ao incêndio do edifício Andraus, o do Joelma causou grande impacto, dando início ao processo de reformulação das medidas de segurança contra incêndios no Brasil. Houve, finalmente, o reconhecimento de que os grandes incêndios com vítimas, até então distantes, passam a ser entendidos como fatos reais.

A Prefeitura Municipal de São Paulo, uma semana depois do incêndio no Edifício Joelma, edita o Decreto Municipal n.º 10.878, que “institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário”. Logo após, as regras estabelecidas nessa regulamentação são incorporadas à Lei n.º 8 266 de 1975, o novo Código de Edificações para o Município de São Paulo.

A primeira manifestação técnica ocorreu entre 18 e 21 de março de 1974, quando o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou o Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três linhas mestras de raciocínio: (i) como evitar incêndios, (ii) como combatê-los, (iii) como minimizar os efeitos.

Em Brasília, na Câmara dos Deputados, a Comissão Especial de Poluição Ambiental, de 3 a 7 de julho de 1974, promoveu o Simpósio de Sistemas de Prevenção contra Incêndios em Edificações Urbanas. Ao final, foram apresentadas proposições, recomendações e solicitações.

O Instituto de Engenharia de São Paulo também produziu um relatório sobre o incêndio, indicando que haviam sido seguidas as normas vigentes e que elas deveriam ser aperfeiçoadas.

Ainda em 1974, a ABNT publicou a NB 208 – Saídas de Emergência em Edifícios Altos.

Em 1975, o governador do Rio de Janeiro apresenta o Decreto-Lei n.º 247, que dispõe sobre Segurança Contra Incêndio e Pânico.

Em dezembro de 1975 ocorreu a reestruturação do Corpo de Bombeiros de São Paulo, quando se criou o Comando Estadual, enfatizando que sua principal missão é evitar incêndios, como recomendava a NFPA.

O Ministério do Trabalho editou a Norma Regulamentadora 23 (NR-23) – Proteção Contra Incêndios, em 1978, dispondo regras de proteção contra incêndio na relação entre empregador e empregado.

Em São Paulo, uma legislação estadual somente ocorreu em 1983 (Decreto n.º 20.811). Esse decreto indicava exigências sobre saídas de emergência, compartimentação horizontal e vertical, sistemas de chuveiros automáticos, alarme, detecção, iluminação de emergência etc. A regulamentação do Estado de São Paulo foi atualizada em 1993 (Decreto n.º 38.069) e, novamente, com grande crescimento técnico em 2001 (Decreto n.º 46.076). Finalmente, o Decreto n.º 56.819 de 10 de março de 2011 veio substituir o anterior.

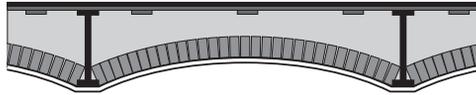
Associadas ao Decreto n.º 46.076/01, há 38 Instruções Técnicas que dispõem de exigências sobre compartimentação, separação entre edifícios, controle de materiais, controle de fumaça, saídas de emergência, chuveiros automáticos, segurança das estruturas etc. O decreto paulista inspirou a regulamentação sobre segurança contra incêndio de diversos estados brasileiros. O novo decreto paulista, de 2011, ampliou para 44 o número de Instruções Técnicas.

O objetivo das regulamentações modernas de segurança contra incêndio é proteger a vida e evitar que os incêndios, caso se iniciem, se propaguem para fora de um compartimento do edifício.

No que diz respeito à segurança das estruturas em situação de incêndio, em 2000, a ABNT publica a ABNT NBR 14432 sobre as exigências de resistência ao fogo. Para fins de dimensionamento, são publicadas a ABNT NBR 14323:1999 para estruturas de aço e a ABNT NBR 15200:2004 para estruturas de concreto. Essas normas são citadas na Instrução Técnica n.º 8 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP), bem como nas IT's de vários estados. Portanto, devem ser cumpridas por força de decreto estadual. Nos estados em que não há essa exigência explícita, deve-se considerar o Código de Defesa do Consumidor (CDC), que requer a obediência às normas ABNT.

## 1.3 Estruturas em incêndio

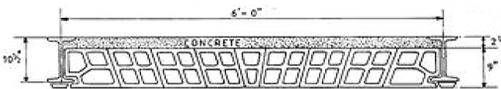
A revolução industrial começou há cerca de dois séculos nas tecelagens inglesas. Naquela época, todo o maquinário era instalado tão próximo quanto possível da máquina a vapor. A combinação de grandes edifícios completamente construídos em madeira, fibras têxteis depositadas por toda parte (inclusive em suspensão, no ar) e pisos de madeira encharcados de óleo com buchas, com rolamentos superaquecidos e chamas desprotegidas – empregadas para aquecimento da máquina e para a iluminação do ambiente – levou a uma série de incêndios terríveis no passado. Em resposta, o Eng. Charles Bage criou, em 1796, o chamado “edifício à prova de incêndios”, utilizando o ferro fundido no lugar das vigas e pilares de madeira e um arco de tijolos não combustíveis como piso. A Figura 1.10 mostra, de forma esquemática, a estrutura constituinte da laje.



**Figura 1.10** – O arco de tijolos como primeira forma de proteção de vigas metálicas.  
Fonte: Silva et al. , 2008

O desenvolvimento de novas formas de construção continuou nos anos seguintes. Já era conhecido que os elementos metálicos sofriam redução de resistência com o aumento de temperatura.

O primeiro edifício com estruturas metálicas dos Estados Unidos foi o edifício de propriedade de The Home Insurance Company, inaugurado em 1885 em Chicago (Figura 1.11). Esse edifício, concluído em 1885 e demolido em 1931, utilizava em suas lajes perfis metálicos imersos em concreto e blocos cerâmicos para sua proteção contra o fogo. Na própria Figura 1.11 vê-se a composição da laje desse edifício; as vigas metálicas eram protegidas por blocos cerâmicos e concreto. O Reliance Building (Figura 1.12) construído entre 1890 (4 andares) e 1895 (10 andares), também em Chicago, foi o primeiro edifício a possuir fachada com grandes janelas de vidro. Ele tinha suas estruturas metálicas protegidas por terracota.



**Figura 1.11** – The Home Insurance Company.

Fonte: Disponível em: <[http://farm4.static.flickr.com/3218/2983857174\\_e419ba756b.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3218/2983857174_e419ba756b.jpg)>.



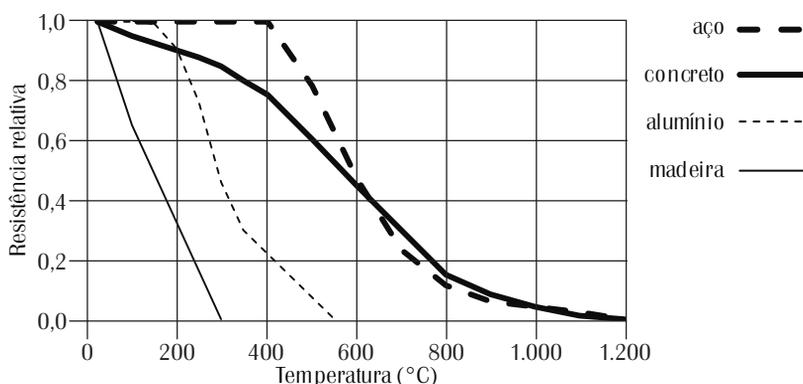
**Figura 1.12** – Reliance Building.

Fonte: Corbis'Images. Disponível em: <<http://www.corbisimages.com/images/67/900EB006-693B-4FD1-9283-8B3662B1297C/BE038394.jpg>>.

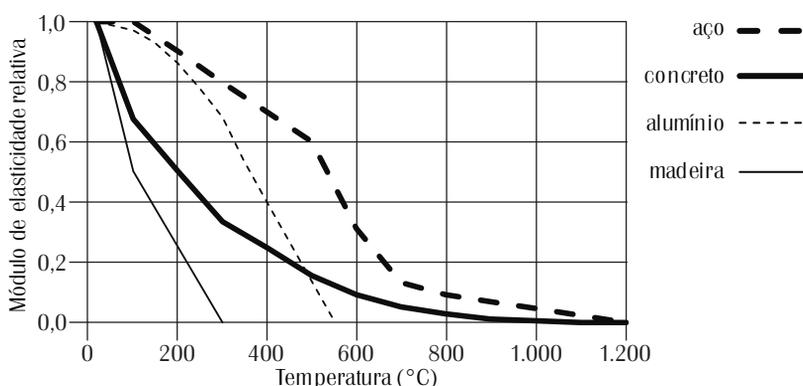
No século XIX, quando edifícios de múltiplos andares de aço começaram a ser construídos, o concreto era utilizado, sem função estrutural, como material de revestimento do aço, para proteção contra fogo e corrosão. As espessuras de concreto eram grandes, em vista de o concreto não ser um isolante ideal. Anos após, o concreto também foi aproveitado como elemento estrutural, trabalhando em conjunto com o aço para resistir aos esforços, inicialmente na função de piso. Em seguida, surgem as estruturas mistas (vigas e pilares) de aço e concreto. Mais tarde, iniciou-se a construção de edifícios de múltiplos andares de concreto armado.

Em publicação histórica, Freitag (1899) comenta sobre o comportamento do concreto a altas temperaturas. Ensaios demonstraram que havia redução de resistência, mas, não era preocupante, em vista do uso para lajes de pequenos vãos. Mörsch (1948) escreve um artigo interessante, alertando para a necessidade de verificação de estruturas de concreto armado em incêndio, associando-as apenas à armadura no seu interior.

Hoje, se reconhece que a capacidade resistente do concreto (EC2, 2004), do aço (EC3, 2003), das estruturas mistas (EC4, 2003), da madeira (EC5, 2004), da alvenaria estrutural (EC6, 2005) e do alumínio (EC9, 2007) em situação de incêndio é reduzida, em vista da degeneração das propriedades mecânicas dos materiais (Figuras 1.13 e 1.14) ou da redução da área resistente.



**Figura 1.13** - Variação da resistência dos materiais em função da temperatura.



**Figura 1.14** - Variação do módulo de elasticidade dos materiais em função da temperatura.

Os elementos de madeira sofrem carbonização na superfície exposta ao fogo, reduzindo a área resistente (Figura 1.15) e realimentando o incêndio. A região central recebe proteção proporcionada pela camada carbonizada, atingindo baixas

temperaturas. Nas Figuras 1.13 e 1.14 apresentam-se a redução de resistência à tração e do módulo de elasticidade paralela à grã para espécies de madeira coníferas.

O aço e o alumínio têm resistência e módulo de elasticidade reduzidos quando submetidos a altas temperaturas (Figura 1.16).

O concreto, além da redução da resistência, perde área resistente por causa do *spalling*. O *spalling* é um lascamento da superfície do elemento de concreto submetido a um incêndio. Em concretos com resistência convencional ( $f_{ck} \leq 50$  MPa), o *spalling* decorre do comportamento diferencial a altas temperaturas dos materiais componentes do concreto e da pressão interna da água ao evaporar-se, entre outros fatores. Sua ocorrência é aleatória, e é antieconômico tentar soluções para evitá-lo. Em concretos com alta resistência, a causa do *spalling* é, preponderantemente, a pressão interna do vapor de água. Pode ocorrer o *spalling* explosivo (desplacamento do concreto acompanhado de forte ruído), pela maior dificuldade de percolação da água. O *spalling* reduz a área resistente do concreto e expõe a armadura ao fogo (Figura 1.17).



**Figura 1.15** - Carbonização da madeira.  
Fonte: Silva et al., 2008.



**Figura 1.16** - Elemento isolado de aço.



**Figura 1.17** - Spalling em pilar de concreto.

Apesar de a redução das propriedades mecânicas do concreto e da madeira, em função da temperatura, ser mais acentuada do que a do aço, deve-se lembrar que a temperatura média atingida por um elemento isolado de aço em incêndio é geralmente maior do que a dos outros dois materiais.

Além da resistência ao escoamento e módulo de elasticidade, outras propriedades físicas do concreto são afetadas pela temperatura, conforme apresentado na Seção 4.1.

Em vista do reconhecimento tardio de que as estruturas de concreto devem ser verificadas para a situação de incêndio, há diversos exemplos de acidentes, tais como os apresentados nas Figuras 1.18 a 1.30.



(a)



(b)

**Figura 1.18** - Faculdade de Arquitetura, Delft (Países Baixos) - 13 de maio de 2008.

(a) Fonte: The Architect's Newspaper. Disponível em: <<http://www.archpaper.com/uploads/image/Delft1.jpg>>.

(b) Fonte: NAI - Netherlands Architecture Institute. Disponível em: <[http://en.nai.nl/mmbase/images/505060/fli\\_ckr\\_vahidG.jpg](http://en.nai.nl/mmbase/images/505060/fli_ckr_vahidG.jpg)>.



**Figura 1.19** - Edifício residencial, em São Peter-sburgo (Rússia) - 03 de junho de 2002.

Fonte: BBC News, 2002, apud Costa, 2008.



**Figura 1.20** - Fábrica de roupas, em Alexandria (Egito) - 21 de julho de 2000.

Fonte: BBC News, 2000, apud Costa, 2008.



**Figura 1.21** - Biblioteca Municipal de Linköping (Suécia) - 21 de setembro de 1996.

Fonte: Andersson, 2001 apud Costa, 2008; Cullhed, 2003, apud Costa, 2008.



**Figura 1.22** - Estacionamento subterrâneo, em Gretzenbach (Suíça) - 27 de novembro de 2004.

Fonte: Feuerwehrverein Hinwil, 2004, apud Costa, 2008.



**Figura 1.23** – Katrantzos Sport, em Atenas (Grécia) – 19 de dezembro de 1980.

Fonte: Papaioannou, 1986, apud Costa, 2008.



**Figura 1.24** – Edifício em Overland (Estados Unidos) – 06 de julho de 1973.

Fonte: Beitel; Wankiw, 2002.



**Figura 1.25** – Edifício Sede da CESP, em São Paulo – 21 de maio de 1987.

Fonte: Beitel; Wankiw, 2002.



**Figura 1.26** – Edifício em Nova Iguaçu (RJ) – 2000.

Fonte: Costa, 2008.



**Figura 1.27** – Depósito das lojas Zêlo S/A, em Barueri (SP) – 1994.

Fonte: Costa, 2002.



**Figura 1.28** – Edifício Caci-que, em Porto Alegre – 26 de junho de 1996.

Fonte: Klein et al., 2000.

**Figura 1.29** – Mercado Modelo, em Montevidéu (Uruguai) – 04 de dezembro de 1995.

Fonte: Costa, 2008.

**Figura 1.30** – Edifício Hern Stoltz, no Rio de Janeiro – 26 de fevereiro de 2004.

Fonte: Foto: G. Sepeda e F. Pannoni.