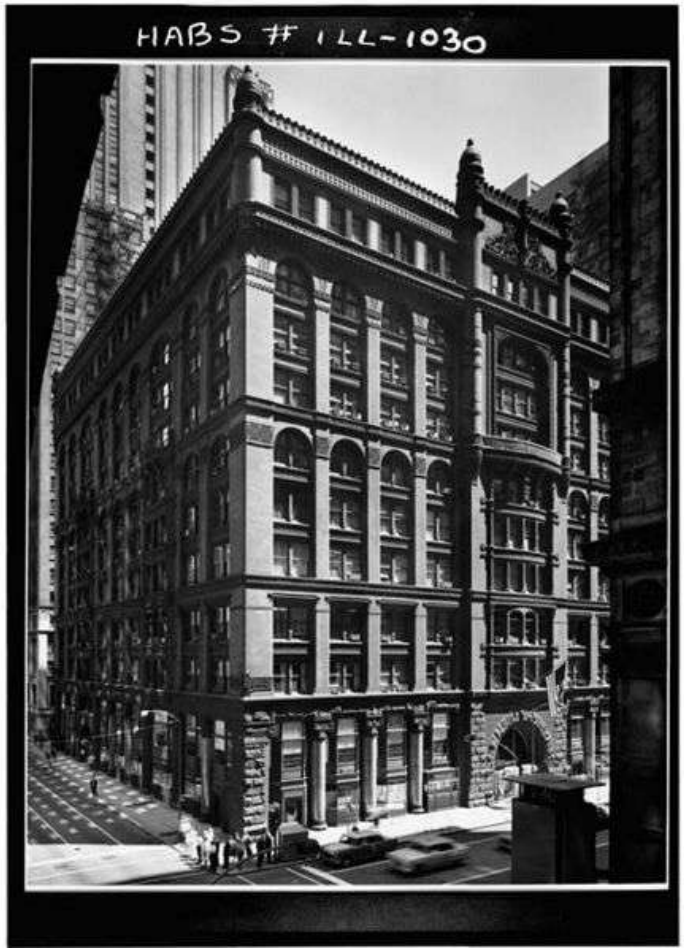
Instituto de Engenharia - São Paulo

Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio
Proposta de revisão da NBR 15200:2004

Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

- Autor de 4 livros e de mais de 100 artigos publicados
- Pesquisador CNPq
- Membro de: IAFSS – International Association for Fire Safety Science;
  ALBRASCI - Associação Luso-Brasileira para Segurança contra Incêndio
  GSI – Grupo de pesquisa em segurança contra incêndio da USP
- Coordenador do programa de pós-graduação em engenharia civil da EPUSP (2003-2005)
- Coordenador da comissão de estudos ABNT: "Segurança das estruturas em situação de incêndio" (1995-2002)

Rookery Building, 1888



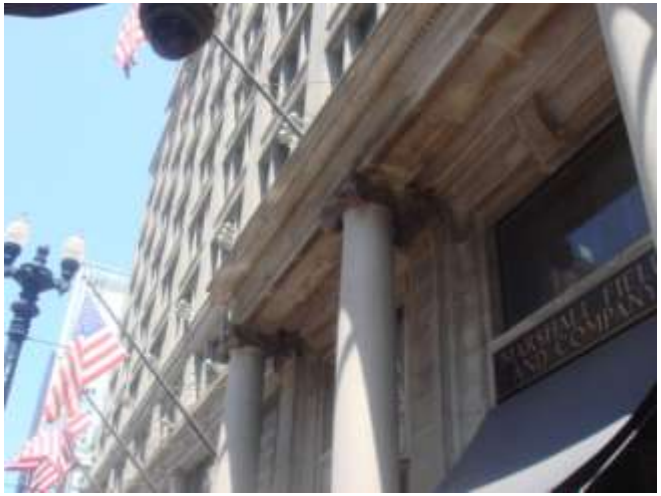
- Considerado o mais velho arranha-céu existente em Chicago

- O edifício representa a estrutura transitória na evolução para arquitetura moderna, uma vez que emprega tanto paredes de alvenaria em seu exterior, quanto o esqueleto de aço em seu interior.

- Seu lobby foi remodelado em 1907 por Frank Lloyd Wright

-Altura: 55m

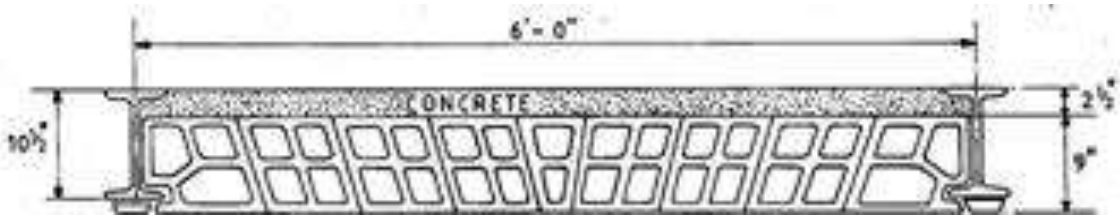
Reliance Building, 1890



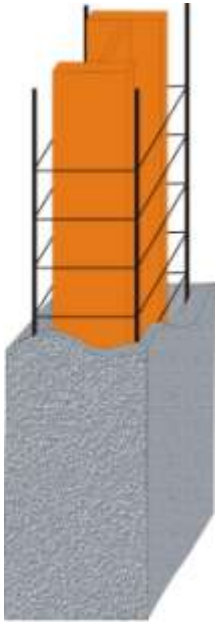
- Foi o primeiro arranha-céu a possuir fachada com grandes janelas de vidro

- Seus primeiros 4 andares foram erguidos em 1890. A adição de mais 10 andares em 1895 marcou a primeira conquista global do método construtivo da Escola de Chicago

- Desde 2006 abriga o Hotel Burnham



No século XIX, quando edifícios de múltiplos andares de aço começaram a ser construídos, o concreto era utilizado como material de revestimento do aço, sem função estrutural, mas, com grandes espessuras, em vista de o concreto não ser um isolante ideal.



Anos após, o concreto foi também aproveitado como elemento estrutural, trabalhando em conjunto com o aço para resistir aos esforços, inicialmente na função de piso.

Em histórica publicação, FREITAG (1899) comenta sobre o comportamento do concreto em altas temperaturas. Ensaios demonstraram que havia redução de resistência, mas, não era preocupante, em vista do uso para lajes de pequenos vãos.
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.

MÖRCH (1948) escreve interessante artigo alertando para a necessidade de verificação de estruturas de concreto armado em incêndio, associando-a apenas à armadura no seu interior.

Edifício
Nova Iguaçú, 2000?
8 pavimentos

Depósito das Lojas Zêlo S.A. – Barueri, 1995

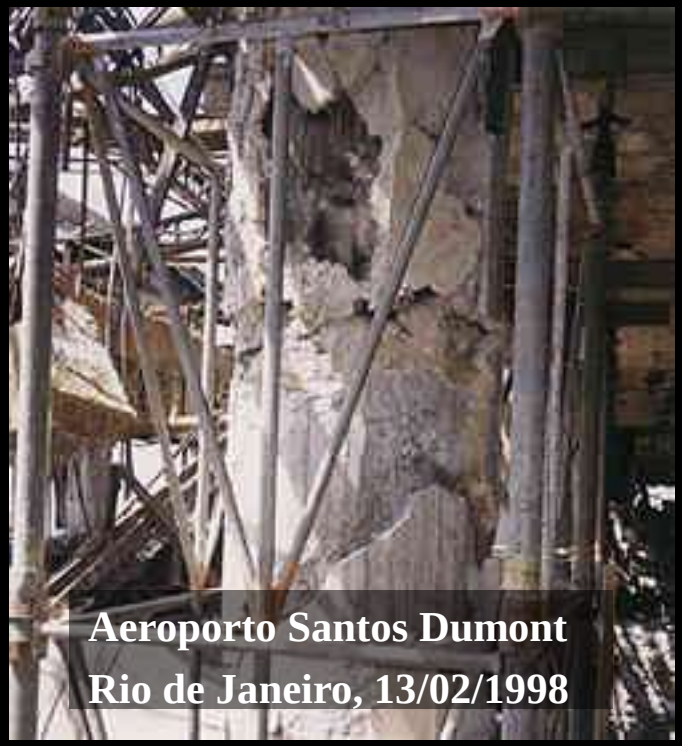
Ed. CESP – São Paulo, 21/05/1987

Sede I → 19 pavimentos

Sede II → 21 pavimentos

Condomínio Edifício Cacique – Porto Alegre
26/06/1996, 26 pavimentos

Ed. Eletrobrás
Rio de Janeiro
26/02/2004
22 pavimentos



Aeroporto Santos Dumont
Rio de Janeiro, 13/02/1998

Depósito Nestlé, São Bernardo do Campo, 2001

Katrantzos Sport– Atenas
19/12/1980
Loja de departamentos, 8 pav.

Edifício residendial
São Petersburgo
03/06/2003
9 pavimentos

Mercado Modelo
Montevidéo
04/12/1995

Alexandria
21/07/2000
Fábrica de roupas, 6 pav.

Overland
06/07/1973
Military Personnel Record Center
6 pavimentos

Fac. Arquitetura
Delft (Países Baixos)
13/08/2008
9 pavimentos

Edifício garagem – subsolo
Gretzenbach (Suiça)
27/11/2004

Biblioteca – subsolo
Linköping (Suécia)
21/09/2006

1972 - Andraus

1974 - Joelma

1975 – Dec. Lei n 8266, de 20 de junho de 1975 - Art. 92 – “Para o efeito da segurança contra incêndio, os elementos componentes da estrutura de sustentação do edifício e da escada de segurança deverão ter resistência ao fogo de 4 (quatro) horas, no mínimo.”

1975 – Dec. Lei nº 684, de 30 de setembro de 1975 - Autoriza o Poder Executivo a celebrar convênios com Municípios, sobre Serviços de Bombeiros.

(1975/1976 Dec. Lei n 897 - RJ – Segurança Contra Incêndio e Pânico)

1980 – NBR 5627 “Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo – Procedimento”

$q_{fi} \leq$ 60 kg/m^2 -> TRRF = 120 min para elementos essenciais à estabilidade global da estrutura (pilares/vigas de transição)

-> TRRF = 60 min para os demais

q_{fi} > 60 kg/m^2 ->TRRF = 2 $\times$ q_{fi} (60 min – 240 min)

Obs. altura $\leq$12 m ->TRRF = 60 min

11/9/1990 - Lei N.º 8.078 - Código de defesa do consumidor

Seção IV - Das Práticas Abusivas, Art. 39.
É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços:

VIII –

"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 ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro".

1993 - Decreto Estadual Nº 38069/93

1994 - IT- CB-002/33/94 - Exigências para edifícios com estrutura metálica (just.: NBR 5627:1980)

1999- IT- CB-011/33/99 – “Segurança Estrutural dos Edifícios - Resistência ao Fogo dos Elementos Construtivos” (explicitamente: NBR 5627:1980)

2000 – NBR 14432 - “Exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações”

2001 - Decreto Estadual N 46.076/01

IT CB N 08/2001 (NBR 14432:2000, NBR 5627:1980)

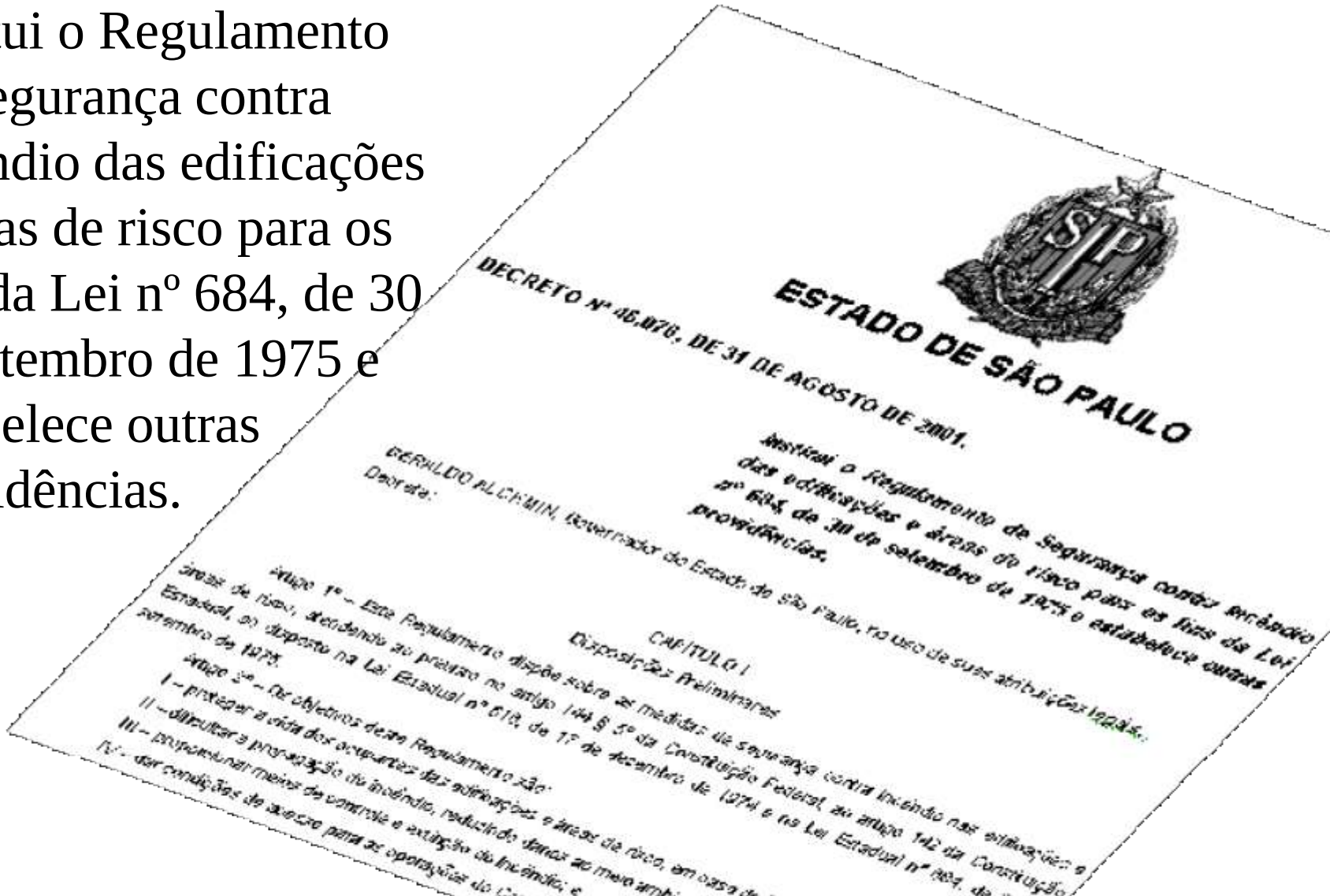
2002 – cancelada a NBR 5627:1980

2004 - NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio

2004 - IT CB Nº 08/2004 (ref.: NBR 14432:2000, NBR 15200:2004, NBR 14323:1999, Eurocode)

Decreto-Lei n° 46.076/2001 de São Paulo

- Institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei nº 684, de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências.



ESTADO DE SÃO PAULO

DECRETO Nº 46.076, DE 31 DE AGOSTO DE 2001.

Institui o Regulamento de Segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei nº 684, de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências.

GERALDO ALCKMIN, Governador do Estado de São Paulo, no uso de suas atribuições legais,

Decreta:

CAPÍTULO I

Disposições Preliminares

Artigo 1º – Este Regulamento dispõe sobre as medidas de segurança contra incêndio nas edificações e áreas de risco, atendendo ao previsto no artigo 144 § 5º da Constituição Federal, ao artigo 142 da Constituição Estadual, ao disposto na Lei Estadual nº 616, de 17 de dezembro de 1974 e na Lei Estadual nº 684, de 30 de setembro de 1975.

Artigo 2º – Os objetivos deste Regulamento são:

I – preservar a vida dos ocupantes das edificações e áreas de risco, em caso de incêndio;

II – dificultar a propagação do incêndio, reduzindo danos ao meio ambiente;

III – proporcionar meios de controle e extinção do incêndio; e

IV – dar condições de acesso para as operações de

38 Instruções Técnicas

- Procedimentos Administrativos
- Conceitos Básicos de Proteção Contra Incêndio.
- Terminologia de Proteção Contra Incêndio.
- Símbolos Gráficos para Projeto de Segurança Contra Incêndio.
- Segurança Contra Incêndio - Urbanística.
- Acesso de Viatura na Edificação e Área de Risco.
- Separação entre Edificações.
- **Segurança Estrutural nas Edificações - Resistência ao fogo dos elementos de construção**
- Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical.
- Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento.
- Saídas de Emergência em Edificações.
- Dimensionamento de Lotação e Saídas de Emergência em Recintos Esportivos e de Espetáculos Artístico - Culturais.
- Pressurização de Escada de Segurança.
- Carga de Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco.
- Controle de Fumaça.
- Brigada de Incêndio
- Iluminação de Emergência.
- Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndio.

- Sinalização de Emergência.
- Sistema de Proteção por Extintores de Incêndio.
- Sistema de Hidrantes e de Mangotinhos para Combate a Incêndio.
- Sistema de Chuveiros Automáticos.
- Sistema de Resfriamento para Líquidos e Gases Inflamáveis e Combustíveis.
- Sistema de Proteção por Espuma.
- Sistema Fixo de Gases para Combate a Incêndio.
- m de Líquidos Inflamáveis e
- s.
- Manipulação, Armazenamento, Comercialização e Utilização de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).
- Comercialização, Distribuição e Utilização de Gás Natural.
- Fogos de Artifício.
- Heliponto e Heliporto.
- Medidas de Segurança para Produtos Perigosos.
- Cobertura de Sapé, Piaçava e Similares.
- Hidrante de Coluna.
- Túnel Rodoviário.
- Pátios de Contêineres.
- Subestações Elétricas.
- Proteção Contra Incêndios em Cozinhas Profissionais.

SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Corpo de Bombeiros

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08/2004

Segurança Estrutural nas Edificações
Resistência ao fogo dos elementos de construção

SUMÁRIO

1 Objetivo

2 Aplicação

3 Referências normativas e bibliográficas

4 Definições

5 Procedimentos

ANEXOS

A Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

B Tabela de resistência ao fogo para alvenarias

C Método do tempo equivalente de resistência ao fogo

1 OBJETIVO

1.1 Esta Instrução Técnica estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram as edificações, quanto aos Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo, para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para possibilitar o cumprimento dos objetivos descritos no art 2º do Decreto Estadual nº 46.076/01 – Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco.

2 APLICAÇÃO

2.1 Esta Instrução Técnica se aplica a todas as edificações e áreas de risco onde for exigida a segurança estrutural contra incêndio, conforme exigências do Decreto Estadual nº 46.076/01.

2.2 Na ausência de norma nacional sobre dimensionamento das estruturas em situação de incêndio, adota-se o Eurocode em sua última edição, ou norma similar reconhecida internacionalmente. No momento da publicação de norma nacional sobre o assunto, esta passará a ser adotada nos termos desta IT.

3 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E BIBLIOGRÁFICAS

Para mais esclarecimentos, consultar as seguintes normas técnicas:

NBR 5628:1980 - Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo

NBR-6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

NBR-6120:1980 - Cargas para cálculo de estruturas de edifícios – Procedimento

NBR 6479:1992 – Portas e vedadores – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio

NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento

NBR 8800:1986 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios - Procedimento

NBR 9062:1985 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado - Procedimento

NBR 9077:1993 - Saídas de emergência em edifícios - Procedimento

NBR 10636:1989 - Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio

NBR 11711:1992 – Porta e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de riscos em ambientes comerciais e industriais - Especificação

NBR 11742:1992 – Porta corta-fogo para saída de emergência - Especificação

NBR 14323:1999 - Dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio – Procedimento

NBR 14432:2000 – Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações - Procedimento

NBR 14762:2001 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento

NBR 15200:2004 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento

Regulamentação de MARGARET LAW and TURLOGH O'BRIEN - "Fire Safety of Bare External Structure Steel".

4 DEFINIÇÕES

4.1 Para os efeitos desta Instrução Técnica, aplicam-se as definições constantes da Instrução Técnica nº 03 – Terminologia de segurança contra incêndio.

5 PROCEDIMENTOS

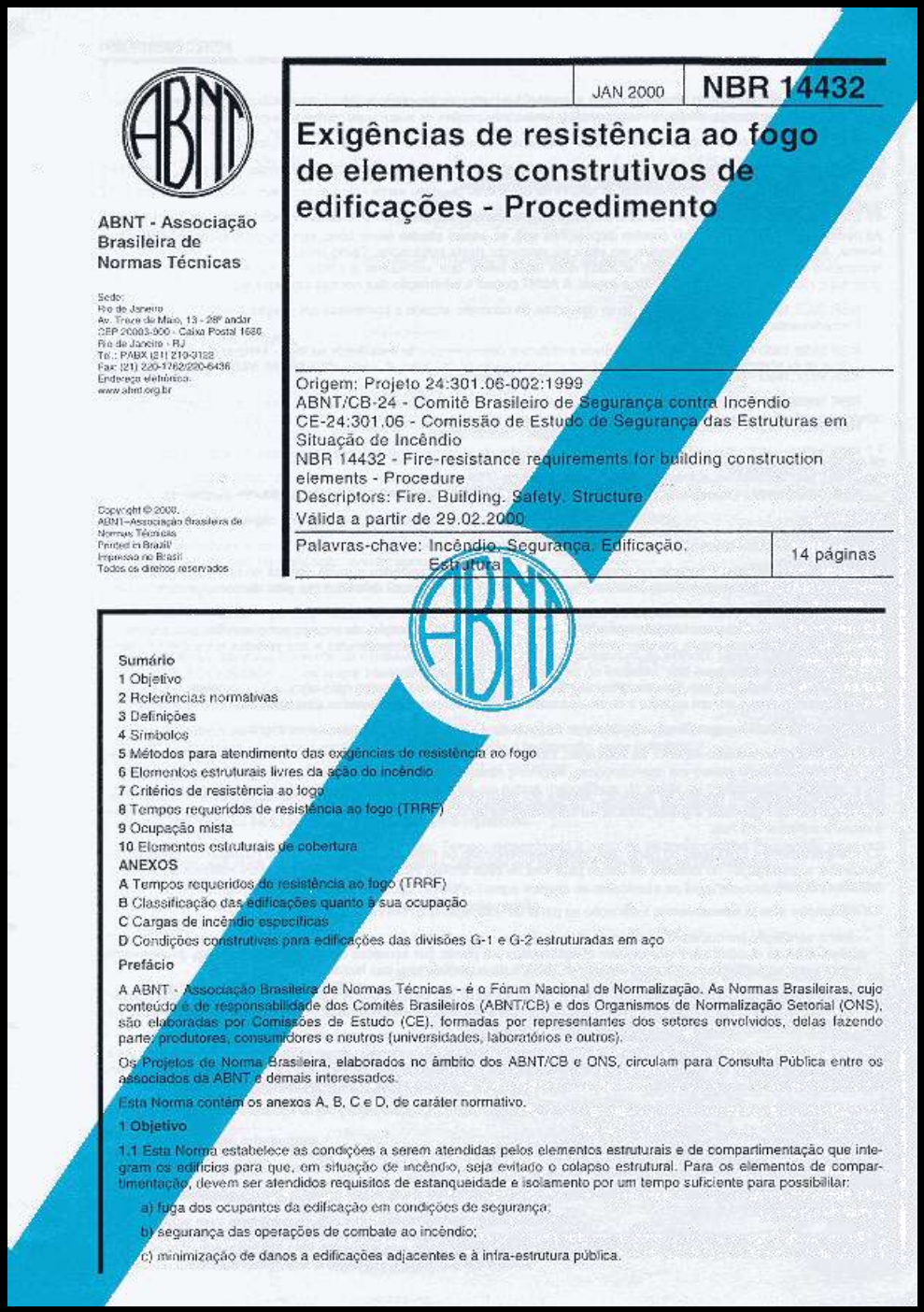
5.1 Os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) são aplicados aos elementos estruturais e de compartimentação, conforme os critérios estabelecidos nesta

NBR 14323:1999 - Dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio – Procedimento

NBR 14432:2000 – Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações - Procedimento

NBR 15200:2004 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento

ABNT NBR 14432:2000 elementos estruturais de quaisquer materiais (concreto, aço, madeira, etc.)



ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (21) 210-3122
Fax: (21) 220-1762/220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2000,
ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas
Printed in Brasil
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

JAN 2000 | **NBR 14432**

Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento

Origem: Projeto 24:301.06-002:1999
ABNT/CB-24 - Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio
CE-24:301.06 - Comissão de Estudo de Segurança das Estruturas em Situação de Incêndio
NBR 14432 - Fire-resistance requirements for building construction elements - Procedure
Descriptors: Fire. Building. Safety. Structure
Válida a partir de 29.02.2000

Palavras-chave: Incêndio. Segurança. Edificação. Estrutura | 14 páginas

Sumário

1 Objetivo
2 Referências normativas
3 Definições
4 Símbolos
5 Métodos para atendimento das exigências de resistência ao fogo
6 Elementos estruturais livres da ação do incêndio
7 Critérios de resistência ao fogo
8 Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)
9 Ocupação mista
10 Elementos estruturais de cobertura
ANEXOS
A Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)
B Classificação das edificações quanto à sua ocupação
C Cargas de incêndio específicas
D Condições construtivas para edificações das divisões G-1 e G-2 estruturadas em aço

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma contém os anexos A, B, C e D, de caráter normativo.

1 Objetivo

1.1 Esta Norma estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural. Para os elementos de compartimentação, devem ser atendidos requisitos de estanqueidade e isolamento por um tempo suficiente para possibilitar:

a) fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;

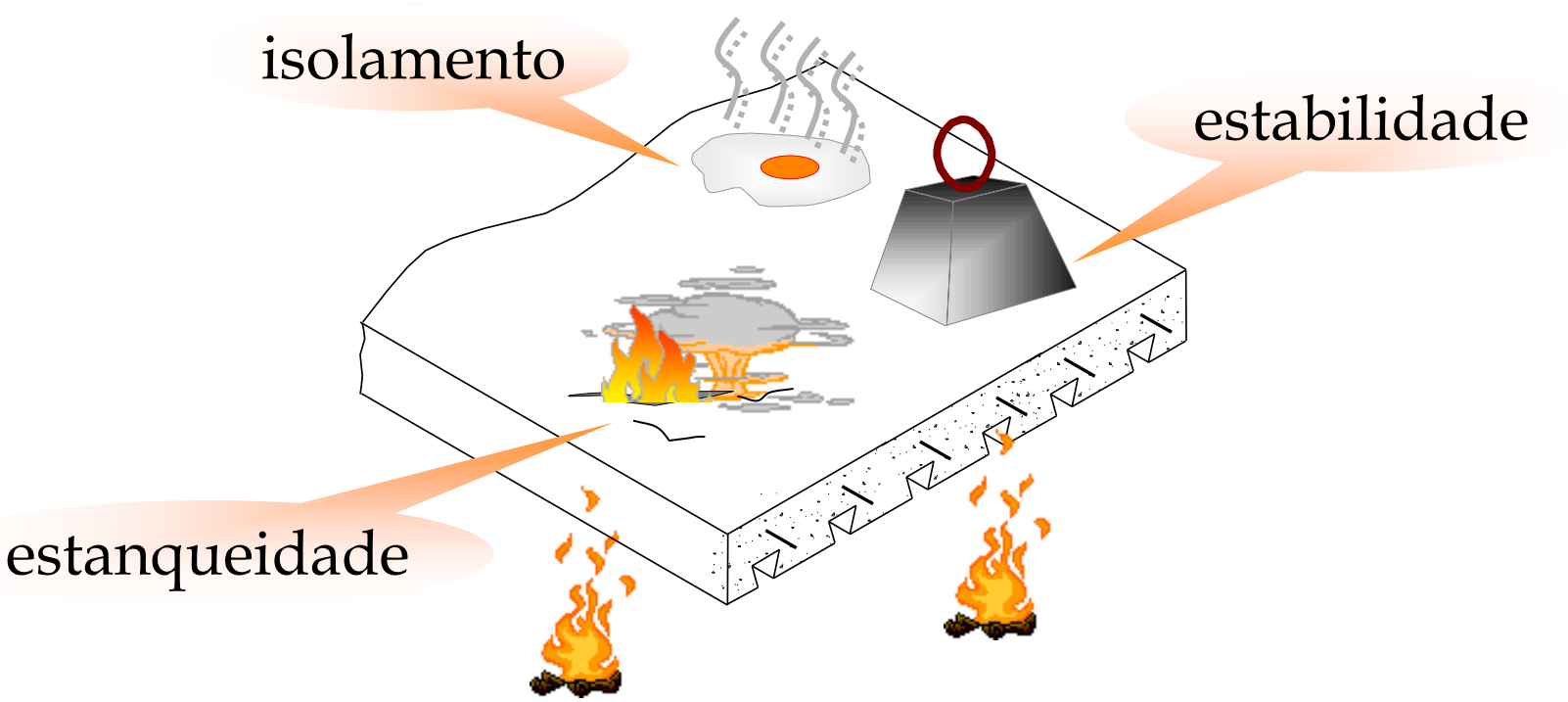
b) segurança das operações de combate ao incêndio;

c) minimização de danos a edificações adjacentes e à infra-estrutura pública.

Tempos requeridos de resistência ao fogo – TRRF (resumo)

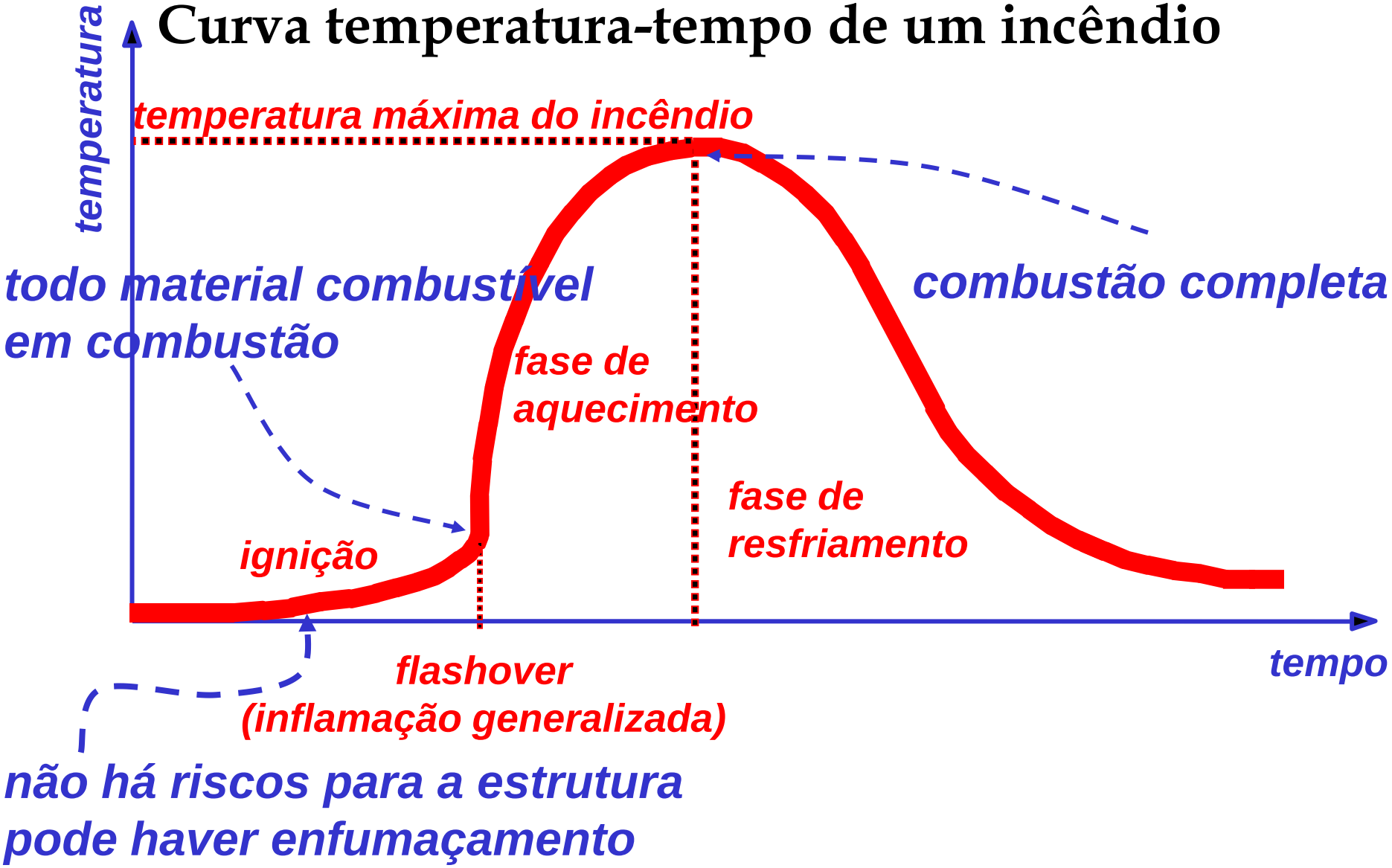
Ocupação/uso	Altura da edificação				
	h≤6m	6m≤h≤12m	12m<h≤23m	23m<h≤30m	h>30m
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60	60	90	120
Supermercado	60	60	60	90	120
Escritório	30	60	60	90	120
Shopping	60	60	60	90	120
Escola	30	30	60	90	120
Hospital	30	60	60	90	120
Igreja	60	60	60	90	120

Resistência ao fogo



.TRRF.
tempo requerido de resistência ao fogo

Curva temperatura-tempo de um incêndio



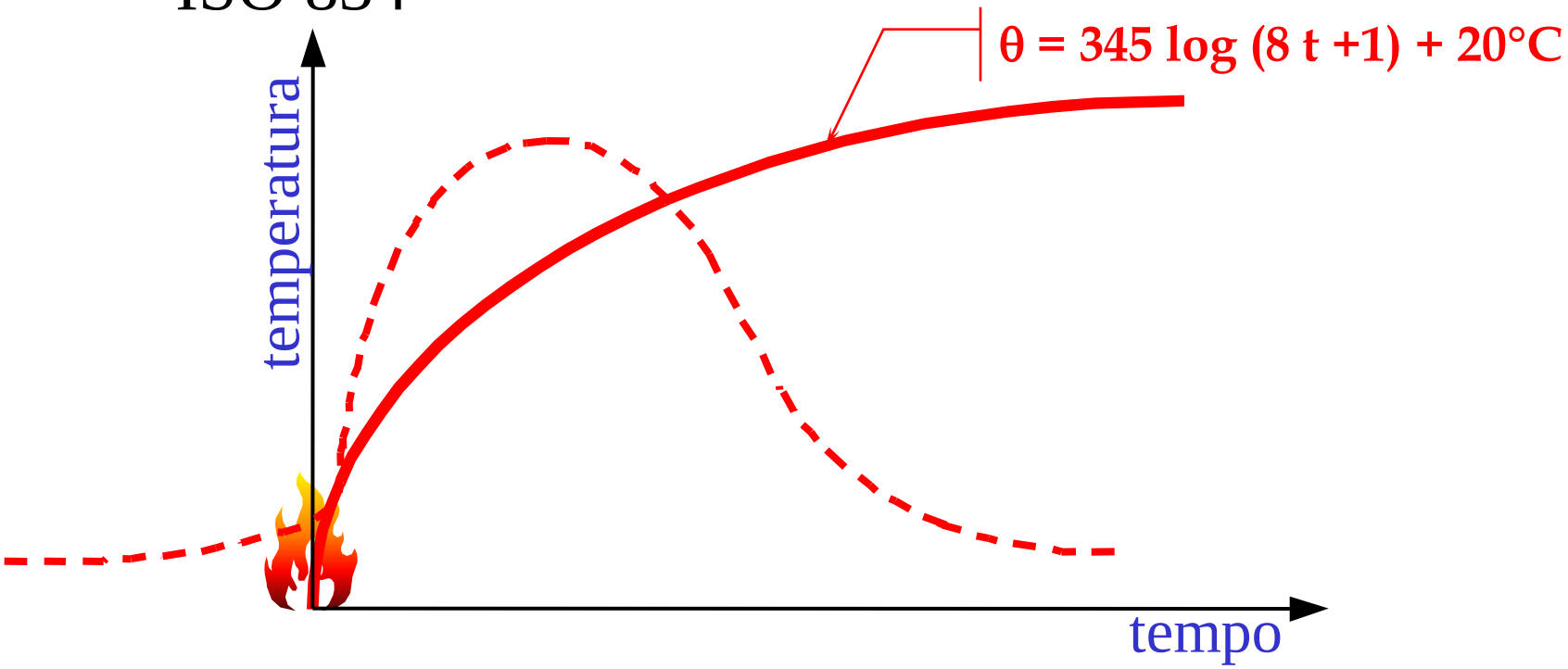
Equilíbrio térmico

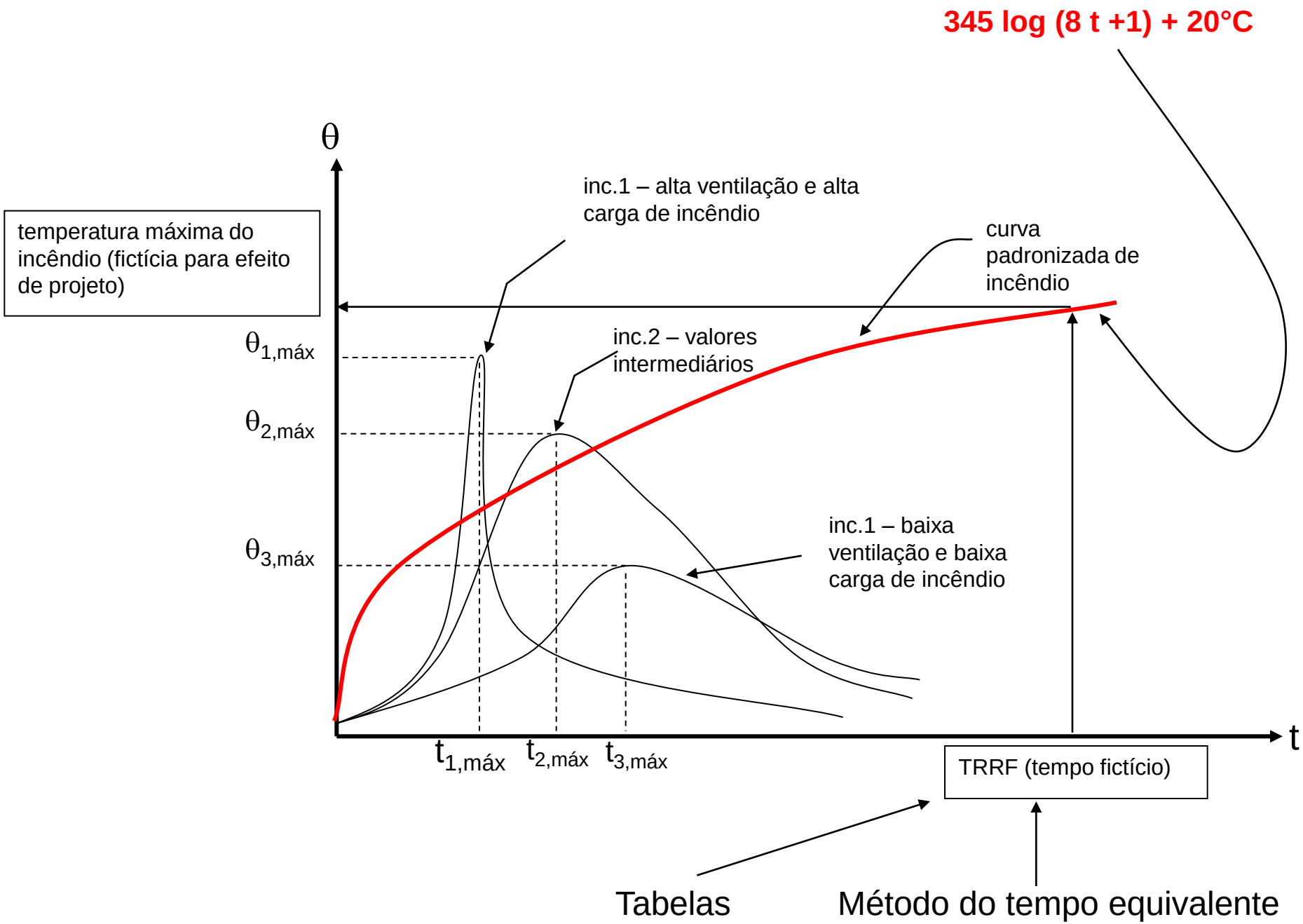
$$\dot{Q}_{comb} = \dot{Q}_{conv+rad} + \dot{Q}_{troca} + \dot{Q}_{rad/jan}$$

- carga de incêndio (MJ/m² , kg madeira equivalente/m²)
- grau de ventilação
- características térmicas do material do elemento de compartimentação

Modelo do incêndio-padrão

- NBR 5628/NBR 14432
- ISO 834




345 log (8 t +1) + 20°C
θ
temperatura máxima do incêndio (fictícia para efeito de projeto)
inc.1 – alta ventilação e alta carga de incêndio
curva padronizada de incêndio
inc.2 – valores intermediários
θ1,máx
θ2,máx
θ3,máx
inc.1 – baixa ventilação e baixa carga de incêndio
t
t1,máx
t2,máx
t3,máx
TRRF (tempo fictício)
Tabelas
Método do tempo equivalente

TRRF

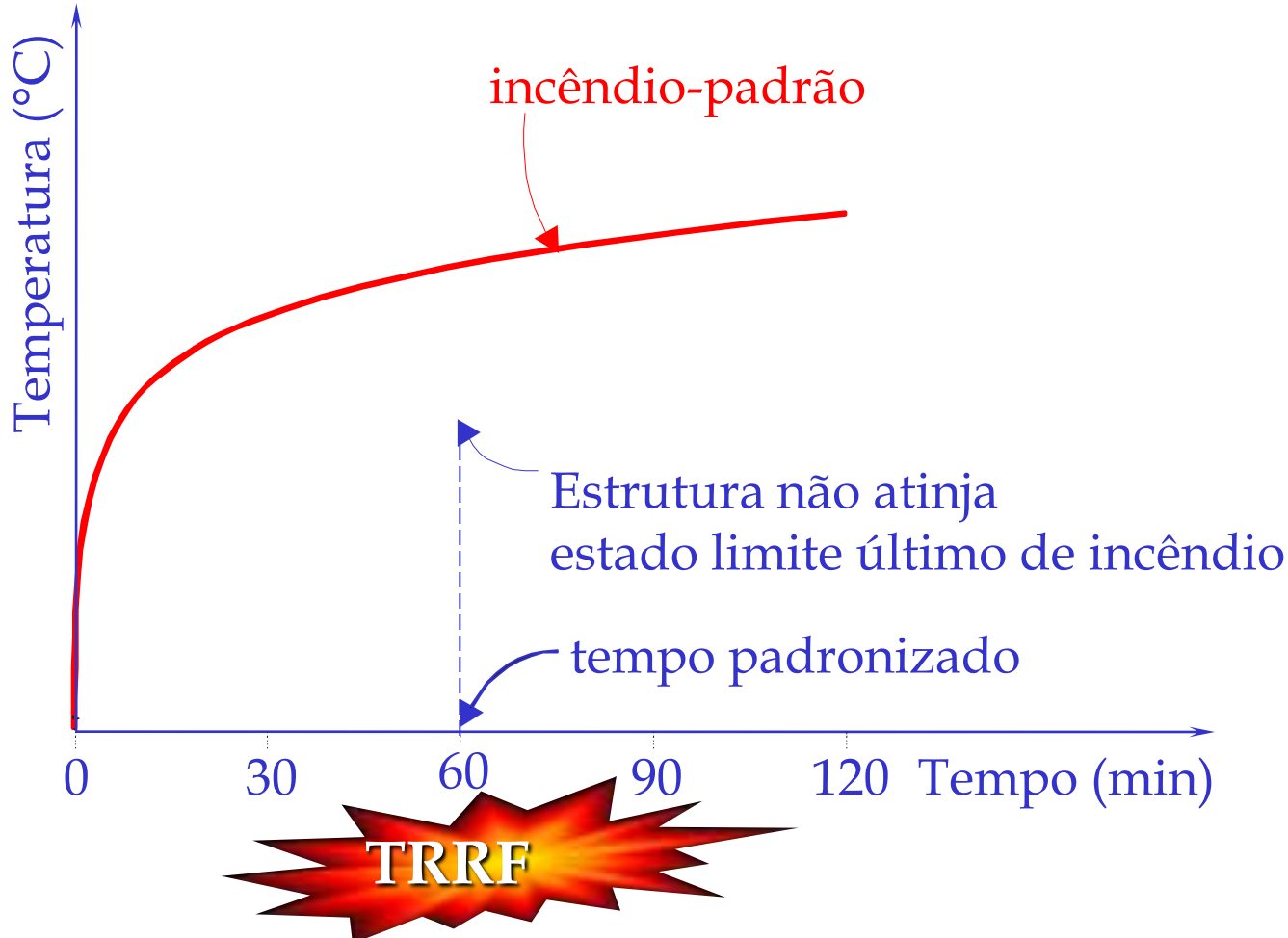
- O TRRF é dedutível pela engenharia
  - mecânica das estruturas, fenômenos de transporte, ciência dos materiais, dinâmica do fogo

- Não confundir TRRF com valores subjetivos fixados pelo poder público, tais como: horário de silêncio, velocidade máxima nas vias públicas, idade mínima recomendada para espetáculos, etc.

- O TRRF **não é** tempo de desocupação, tempo de duração do incêndio ou tempo-resposta do Corpo de Bombeiros ou brigada de incêndio
- Dificuldade para dedução levou ao consenso
  - NBR 14432

Segurança estrutural

- Incêndio-padrão



ABNT NBR 15200:2004

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ICS 91.080.40	NOV 2004	NBR 15200

Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio

Procedimento

Origem: Projeto 02:124.15-005:2004

ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:124.15 - Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto Simples, Armado e Protendido

Projeto 02:124.15-005 – Fire design of concrete structures – Procedure

Descriptors: Fire. Design. Concrete Structure.

Palavra(s)-chave: Projeto. Incêndio. Estrutura Concreto. | 14 páginas

Copyright © 2006, ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

Sumário

Prefácio
1 Objetivo
2 Referências normativas
3 Definições e simbologia
4 Requisitos gerais
5 Propriedades dos materiais em situação de incêndio
6 Ação correspondente ao incêndio
7 Verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma foi elaborada a partir do Eurocode 2 – *Design of concrete structures. Part 1-2 General rules – Structural fire design*, adaptando-o à realidade brasileira, considerando os produtos e a experiência no Brasil.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento.

Esta Norma se aplica às estruturas de concreto projetadas de acordo com as NBR 6118 e NBR 9062.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento.

Esta Norma se aplica às estruturas de concreto projetadas de acordo com as NBR 6118 e NBR 9062.

4.2

Os objetivos gerais da verificação de estruturas em situação de incêndio são:

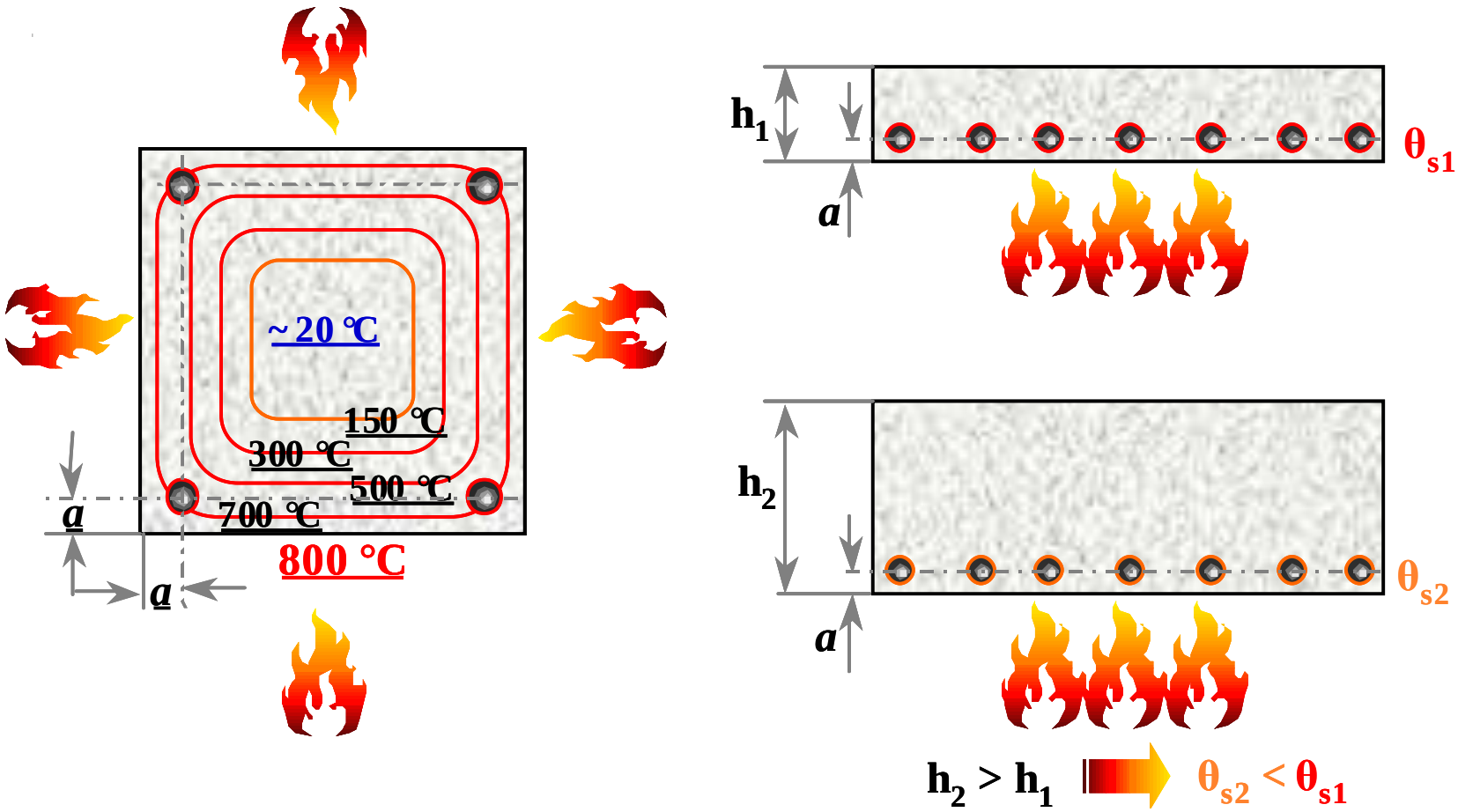
limitar o risco à vida humana;

limitar o risco da vizinhança e da própria sociedade;

limitar o risco da propriedade exposta ao fogo.

- **Método tabular**
- **Método simplificado de cálculo**
- **Métodos gerais de cálculo**
- **Método experimental**

MÉTODO TABULAR


~ 20 ℃
150 ℃
300 ℃
500 ℃
700 ℃
800 °C
a
a
h1
a
θs1
h2
a
θs2
h2 > h1
θs2 < θs1

Dimensões mínimas para lajes apoiadas em vigas

TRRF (min)	**h** (mm)‡	**c_1** (mm)		
		Armada em duas direções		**Armada numa direção**
		$\frac{\ell_y}{\ell_x} \leq 1{,}5$	$1{,}5 < \frac{\ell_y}{\ell_x} < 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40

‡ Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo

Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo

TRRF (min)	**h** (mm)	**c_1** (mm)
30	150	10
60	180	15
90	200	25
120	200	35

Dimensões mínimas para lajes nervuradas biapoiadas

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{min}/c_1 [1] mm/mm			Capa* h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			80/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20

[1] b_{min} corresponde à largura mínima da nervura.
[2] h corresponde à altura da laje.
* Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.

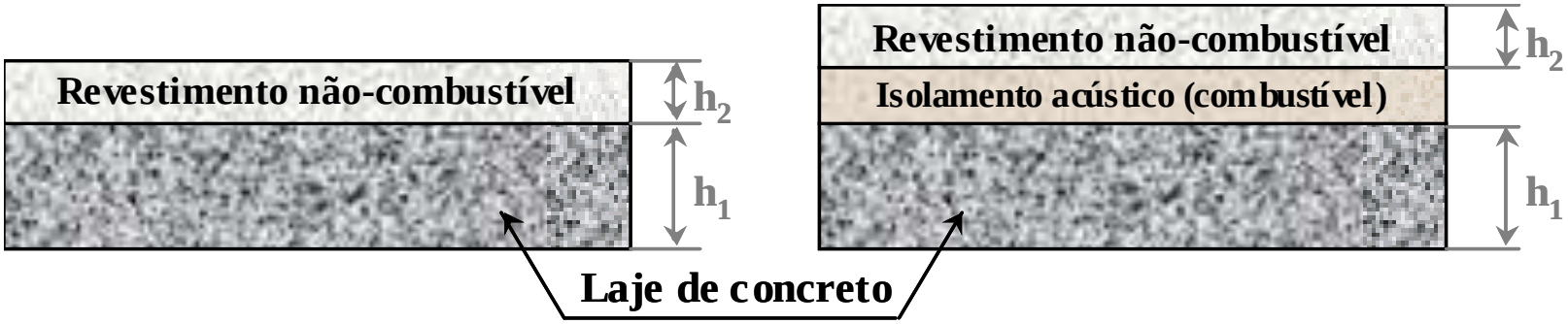
Dimensões mínimas para lajes nervuradas apoiadas em três ou quatro lados ou contínuas

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{min}/c_1 [1] mm/mm			Capa* h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			80/10
60	100/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20

[1] b_{min} corresponde à largura mínima da nervura.
[2] h corresponde à altura da laje.
* Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.

Os valores de h (espessura da laje) indicado nas tabelas são os mínimos para garantir a função corta-fogo.

Caso não haja essa exigência a espessura das lajes poderá ser a calculada para a temperatura normal conforme ABNT NBR 6118.



revestimento	espessura total da laje
argamassa de cal & areia	$h = h_1 + 0{,}67.\ h_2$
argamassa de cimento Portland & areia	$h = h_1 + h_2$
revestimento de gesso, fibra de amianto ou vermiculita	$h = h_1 + 2{,}5.h_2$

no cálculo das espessuras mínimas e distâncias à face do concreto (c_1) pode-se considerar o revestimento, respeitadas as seguintes prescrições:

- revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia (aderência à tração de acordo com a NBR 13528 maior ou igual a 0,2 MPa) têm 67% de eficiência relativa ao concreto;

- revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes (aderência à tração de acordo com a NBR 13528 maior ou igual a 0,2 MPa) têm 100% de eficiência relativa ao concreto;

- revestimentos protetores à base de gesso, vermiculita ou fibras com desempenho equivalente, desde que aderentes (aderência à tração de acordo com a NBR 13528 maior ou igual a 0,2 MPa), têm 250% de eficiência relativa ao concreto; isto é, pode-se majorar essas espessuras de 2,5 vezes antes de somá-las à dimensão do elemento estrutural revestido;

Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				b_{wmin} mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/55	190/45	300/40	400/35	100
120	190/65	240/60	300/55	500/50	120

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm			b_{wmin} mm
	1	2	3	
30	80/15	160/12	190/12	80
60	120/25	190/12	300/12	100
90	140/35	250/25	400/25	100
120	200/45	300/35	450/35	120

Tabela 4 - Valores de Δc_1 em mm, para armadura passiva

Os valores de c_1 indicados nas tabelas foram determinados admitindo-se

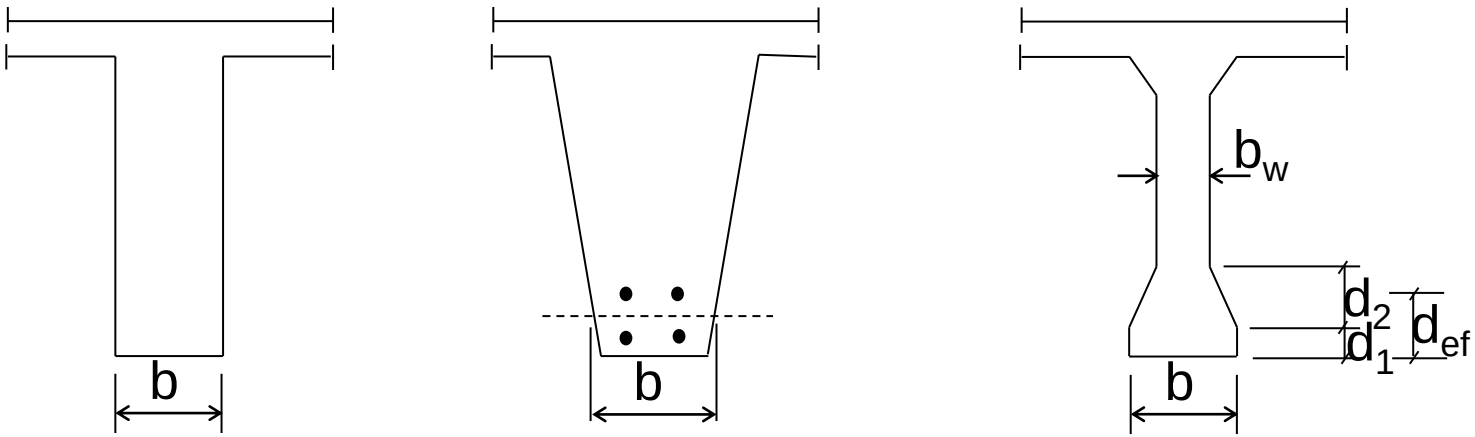
$$\frac{S_{d,fi}}{S_d} = 0{,}7$$

$$A_{s,calc} / A_{s,ef} = 1$$

Para valores menores, c_1 pode ser reduzido de Δc_1

Valores de Δc_1 em mm, para armadura passiva

$S_{d,fi} / S_d$	$A_{s,calc} / A_{s,ef}$						
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
0,7	0	1	2	4	5	6	7
0,65	2	3	4	5	6	7	9
0,6	4	5	6	7	8	9	10
0,55	5	6	7	8	9	10	11
0,5	7	8	9	10	10	11	12
0,45	9	10	10	11	12	13	13
0,4	10	11	12	13	13	14	15

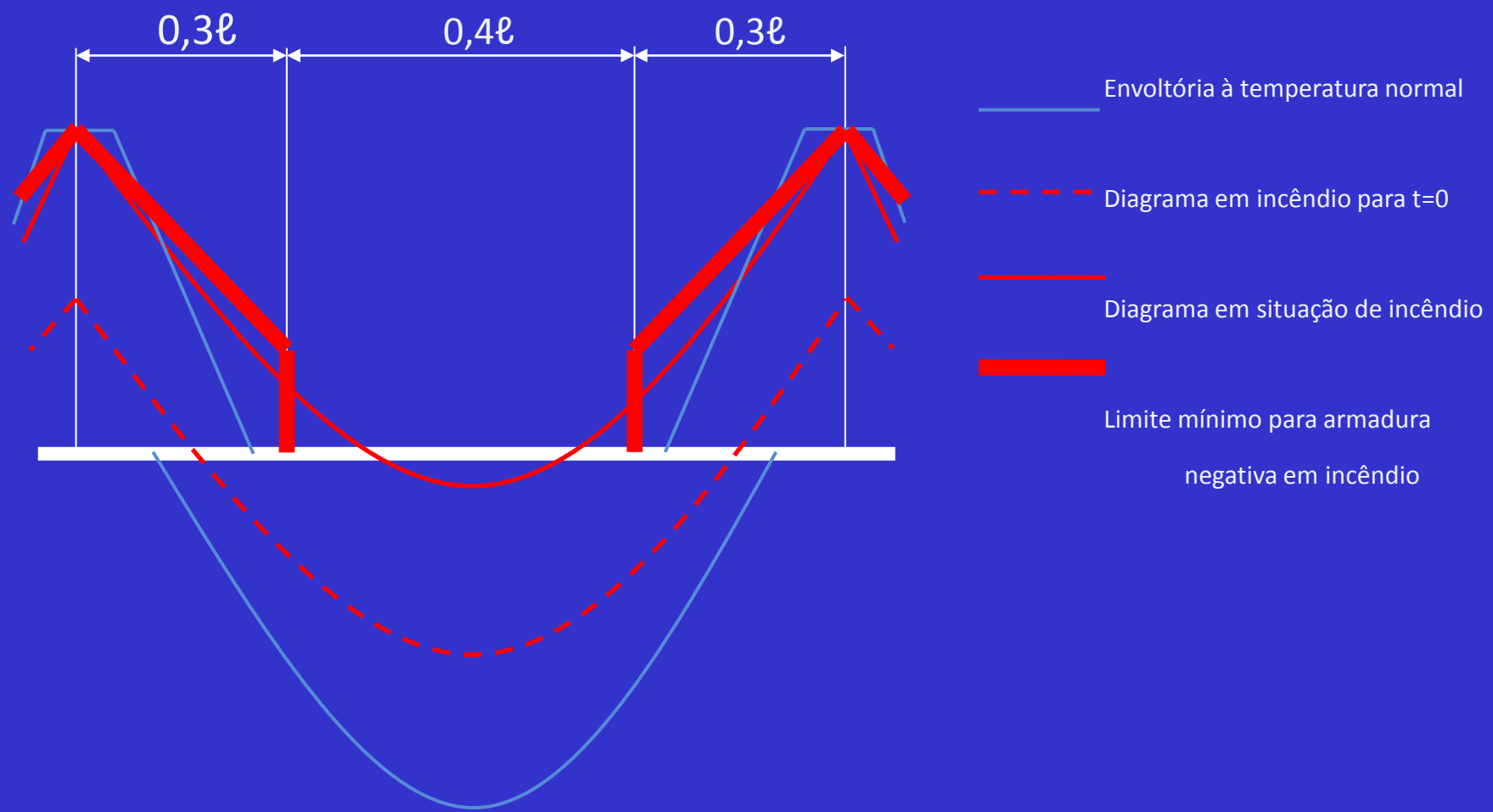


(a) Largura constante (b) Largura variável (c) Seção I

Para vigas contínuas com TRRF ≥ 90 min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio e 0,3 ℓ não deve ser menor do que:

$$A_{s,calc}(x) = A_{s,calc}(0) \times (1 - 2{,}5\, x/\ell_{ef})$$

"x" é a distância entre a linha de centro do apoio e a seção considerada



As tabelas que fornecem as dimensões mínimas das vigas e o valor de c_1 das armaduras inferiores, em função dos TRRF, foram construídas com a hipótese de vigas com aquecimento em 3 lados, sob laje.

Os valores indicados nessas tabelas poderão ser empregados também para o caso de vigas aquecidas nos 4 lados, desde que sua altura não seja inferior a $b_{mín}$ e a área da seção transversal da viga não seja inferior a 2 $b^2_{mín}$.

Dimensões mínimas para pilares

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm			Uma face exposta
	Mais de uma face exposta			
	μ_{fi} = 0,2	μ_{fi} = 0,5	μ_{fi} = 0,7	μ_{fi} = 0,7
	1	2	3	
30	190/25	190/25	190/30	140/25
60	190/25	190/35	250/45	140/25
90	190/30	300/45	450/40	155/25
120	250/40	350/45	450/50	175/35
Nota – μ_{fi} é a relação entre o esforço normal de cálculo na situação de incêndio e o esforço resistente normal de cálculo do pilar em questão em situação de temperatura normal.				

Dimensões mínimas para pilares-parede

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm			
	μ_{fi} = 0,35		μ_{fi} = 0,7	
	Uma face exposta	Duas faces expostas	Uma face exposta	Duas faces expostas
	1	2	3	4
30	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35

O tempo de resistência ao fogo de um pilar pode ser determinado por meio da seguinte equação:

$$TRF = 120\left(\frac{R_\mu + R_a + R_L + R_b + R_n}{120}\right)^{1,8}$$

Onde:

$R_\mu = 83[1-\mu_{fi}]$

$R_a = 1,60\ (c_1 - 30)$, c_1 em mm

$R_\ell = 9,60\ (5 - \ell_{fl,\theta})$

$R_b = 0,09\ b'$ para $190 \leq b' \leq 450$

$R_b = 40,5$ para $b' > 450$

$R_n = 0$ para $n = 4$, sendo n o número de barras longitudinais

$R_n = 12$ para $n > 4$

Para o uso dessa equação as seguintes limitações devem ser respeitadas:

$A_s/A_c \leq 0,04$

$25\ mm \leq c_1 \leq 80\ mm$

$190\ mm \leq b' \leq 450\ mm$

$e \leq 0,15\ b$

$\ell_{0,\theta} \leq 6\ m$

Onde

A_s é a área total das armaduras

"e" é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante à temperatura normal

Sendo:

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}}$$

$N_{Sd,fi}$ é o valor de cálculo da força axial em situação do incêndio

N_{Rd} é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar à temperatura ambiente calculado de acordo com ABNT NBR 6118, com γ_m para temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2ª. ordem).

c_1 é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo

$\ell_{0,\theta}$ o comprimento flambagem do pilar em situação de incêndio em metro

$b' = 2\ A_c/(b+h)$ para $h \leq 1,5\ b$

$b' = 1,2\ b$ para $h > 1,5\ b$

A_c é a área da seção transversal do pilar em milímetro quadrado

b é a menor dimensão da seção transversal do pilar em milímetro

h é a maior dimensão da seção transversal do pilar em milímetro

Tabela E1 - ω = 0,1

$e_{máx}$ = 10 mm para b ≤ 400 mm

$e_{máx}$ = 0,025 × b para b > 400 mm

TRRF (min)	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	200/25
60	30	150/25	150/25	200/25	200/30:250/25
	40	150/25	150/25	200/25	250/25
	50	150/25	200/25	250/25	300/25
90	30	150/25	200/25	200/50:250/25	250/30:300/25
	40	150/35:200/25	200/30:250/25	250/25	300/25
	50	200/25	250/25	300/25	350/50:400/25
120	30	200/25	250/25	250/25	300/45:350/25
	40	250/25	250/25	250/25	400/25
	50	250/25	300/25		
180	30	250/25	250/25		
	40	250/25	300/30:350/25		
	50	300/25	350/50:400/25		

Tabela E6 - ω = 0,5

$e_{máx}$ = 0,5 × b para b ≤ 400 mm

$e_{máx}$ = 200 mm para b > 400 mm

TRRF (min)	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
30	30	150/25	150/25	250/35:300/25	500/40:500/25
	40	150/25	150/30:200/25	300/35:450/25	550/30
	50	150/25	200/30:250/25	400/40:500/25	550/50:600/40
60	30	150/30:200/25	200/40:450/25	450/50:550/30	550/50:600/40
	40	150/35:250/25	250/40:500/25	500/40:550/35	600/60
	50	200/35:300/25	30/45:550/25	500/55:550/40	(1)
90	30	250/40:450/25	300/50:500/25	500/55:600/40	600/80
	40	200/50:500/25	350/50:550/35	550/60:600/50	(1)
	50	250/45:550/25	500/45:550/40	600/60	(1)
120	30	250/50:550/25	500/50:550/40	550/50	(1)
	40	300/50:600/25	500/55:550/45	550/60:600/55	(1)
	50	400/50:550/35	500/60:600/45	600/80	(1)
180	30	500/45:550/30	550/55	600/75	(1)
	40	500/50:600/40	550/60	(1)	(1)
	50	500:60:550/50	600/70	(1)	(1)

(1) Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida

$$n = \frac{N_{0Sd}}{A_c \cdot 0{,}85 f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}}$$

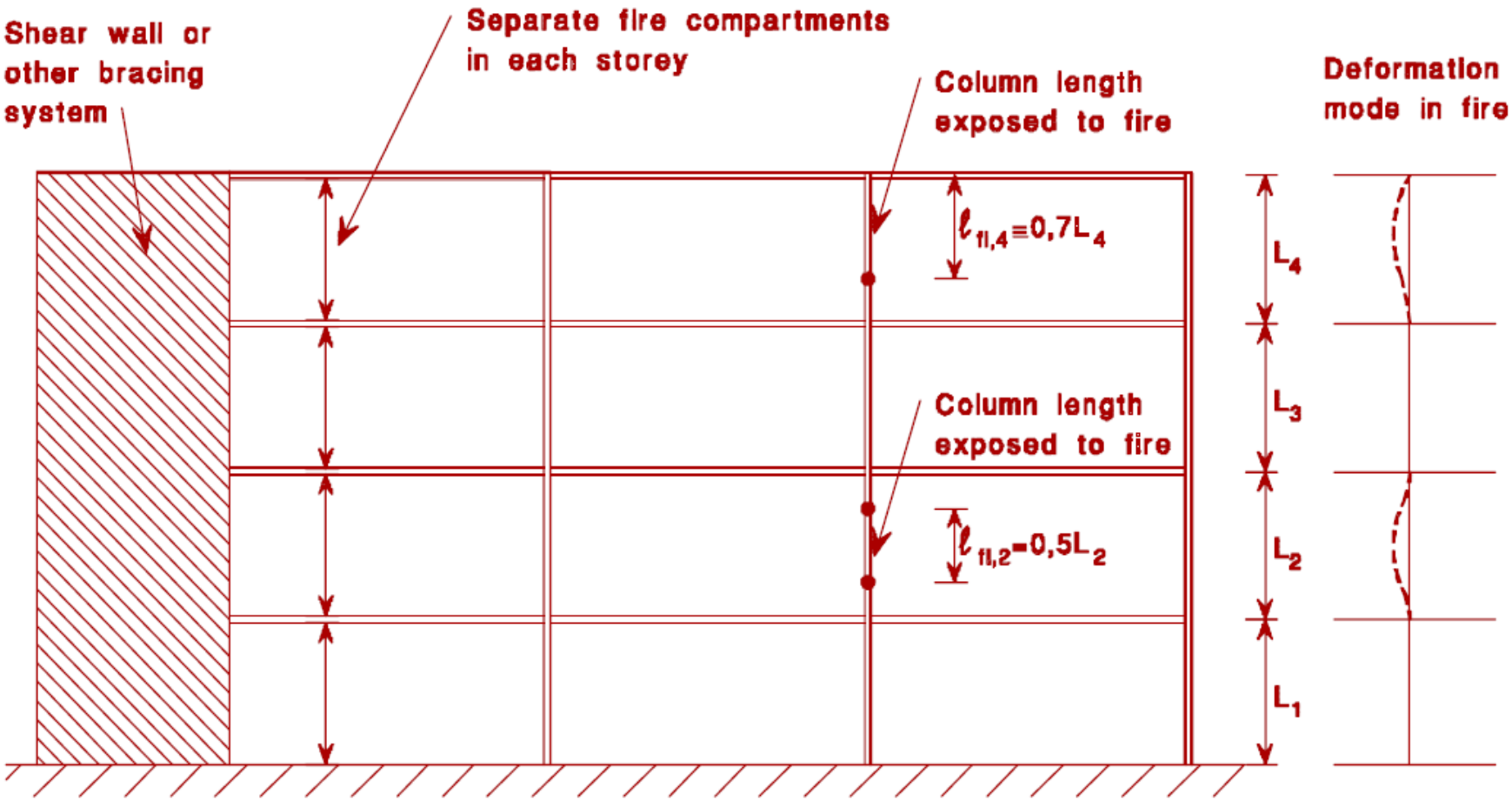


Figure 4.1: Buckling lengths l_{fi} of columns in braced frames

Deformação linear específica do concreto em situação de incêndio

$$\boxed{\varepsilon_{tr,tot}^{\theta,\sigma} = \varepsilon_{ct,elpl,i}^{\theta,\sigma} + \varepsilon_{tr,th}^{\theta,0} + \varepsilon_{tr,sh}^{\theta,0} + \underbrace{\varepsilon_{tr,TTS}^{\theta,\sigma} + \varepsilon_{tr,creep}^{\theta,0} + \varepsilon_{tr,\Delta el}^{\theta,\sigma}}_{\varepsilon_{tr,lits}^{\theta,\sigma}} + \varepsilon_{tr,crack}^{\theta,\sigma}}$$

$$\varepsilon_{tr,lits}^{\theta,\sigma} = \varepsilon_{tr,TTS}^{\theta,\sigma} + \varepsilon_{tr,creep}^{\theta,0} + \varepsilon_{tr,\Delta el}^{\theta,\sigma}$$

$$\boxed{\varepsilon_{tr,tot}^{\theta,\sigma} = \varepsilon_{ct,elpl,i}^{\theta,\sigma} + \varepsilon_{tr,th}^{\theta,0} + \varepsilon_{tr,sh}^{\theta,0} + \varepsilon_{tr,lits}^{\theta,\sigma} + \varepsilon_{tr,crack}^{\theta,\sigma}}$$

$\varepsilon_{ct,elpl,i}^{\theta,\sigma}$ Deformação elasto-plástica inicial à temperatura constante

$\varepsilon_{tr,th}^{\theta,0}$ Deformação térmica, independente do carregamento (dilatação)

$\varepsilon_{tr,sh}^{\theta,0}$ Deformação devido à retração, independente do carregamento

$\varepsilon_{tr,lits}^{\theta,\sigma}$ Lits – load induced thermal strain = diferença entre deformação medida durante o aquecimento sem carga e a durante o aquecimento sob carga

$\varepsilon_{tr,crack}^{\theta,\sigma}$ Deformação devido à fissuração

$\varepsilon_{tr,TTS}^{\theta,\sigma}$ TTS - Transient thermal strain

$\varepsilon_{tr,creep}^{\theta,0}$ Deformação devido à fluência (elementos igualmente carregados sob 2 taxas de aquecimento)

$\varepsilon_{tr,\Delta el}^{\theta,\sigma}$ Deformação devido à alteração do módulo de elasticidade com a temperatura

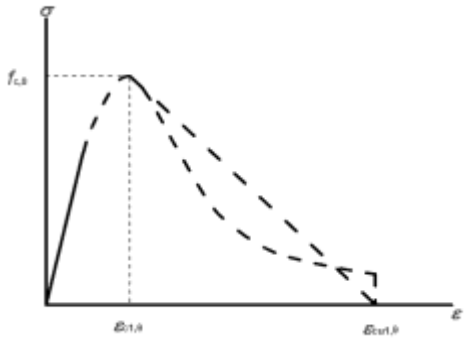
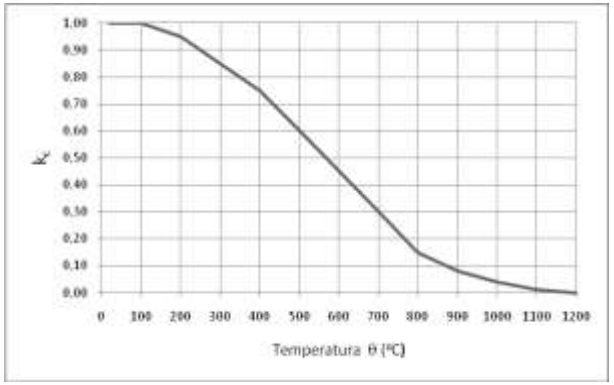
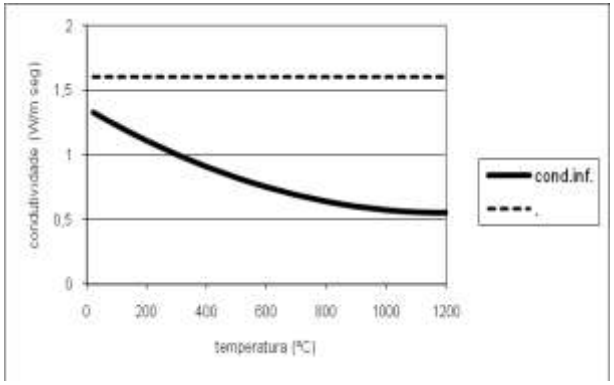


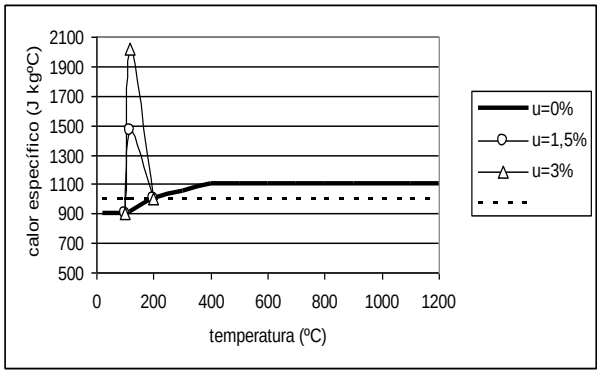
Diagrama tensão deformação do concreto



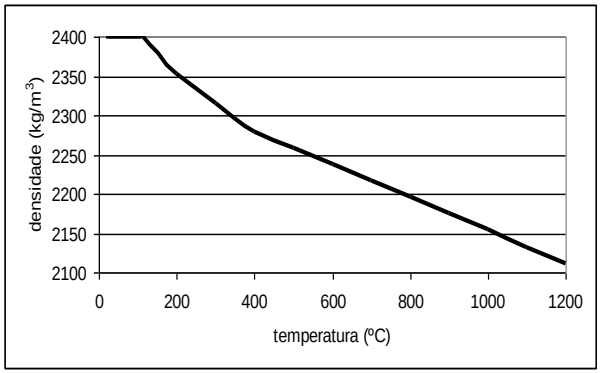
Redutor de resistência do concreto



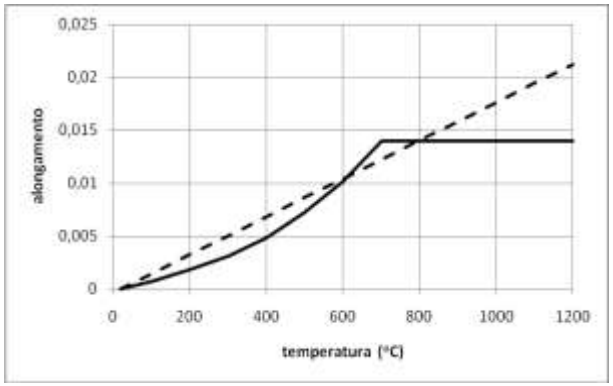
Condutividade térmica do concreto



Calor específico do concreto



Densidade do concreto



Alongamento do concreto

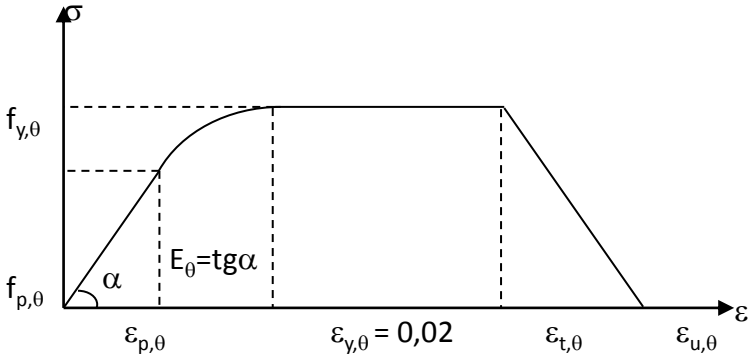
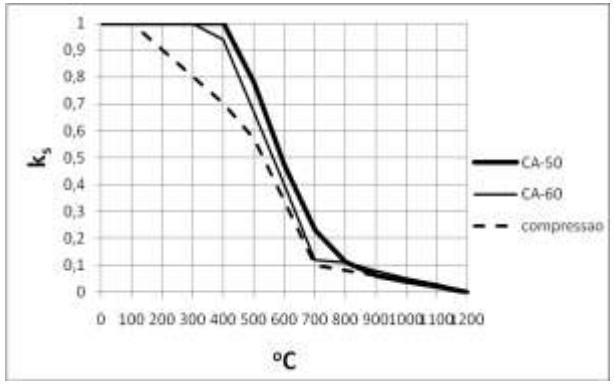
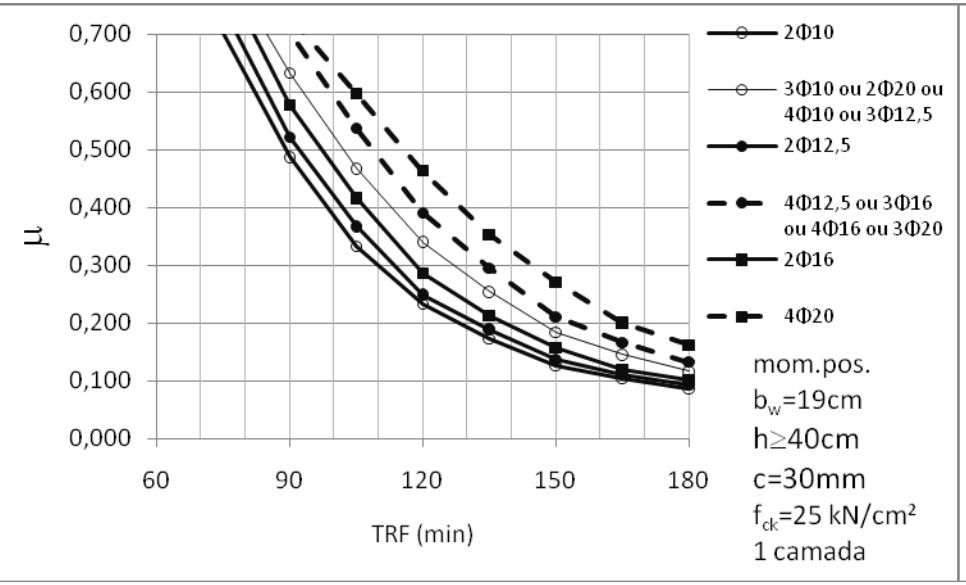
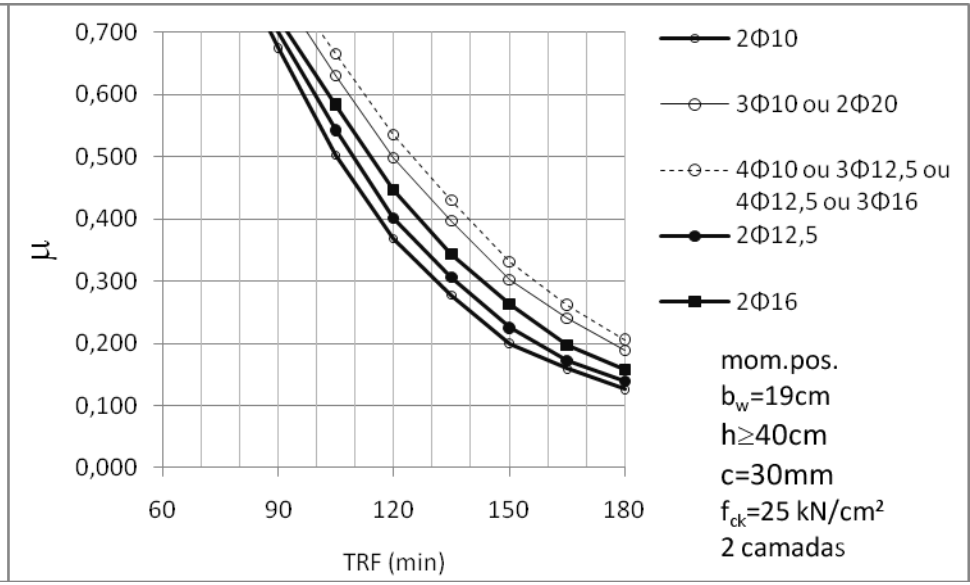


Diagrama tensão deformação do aço

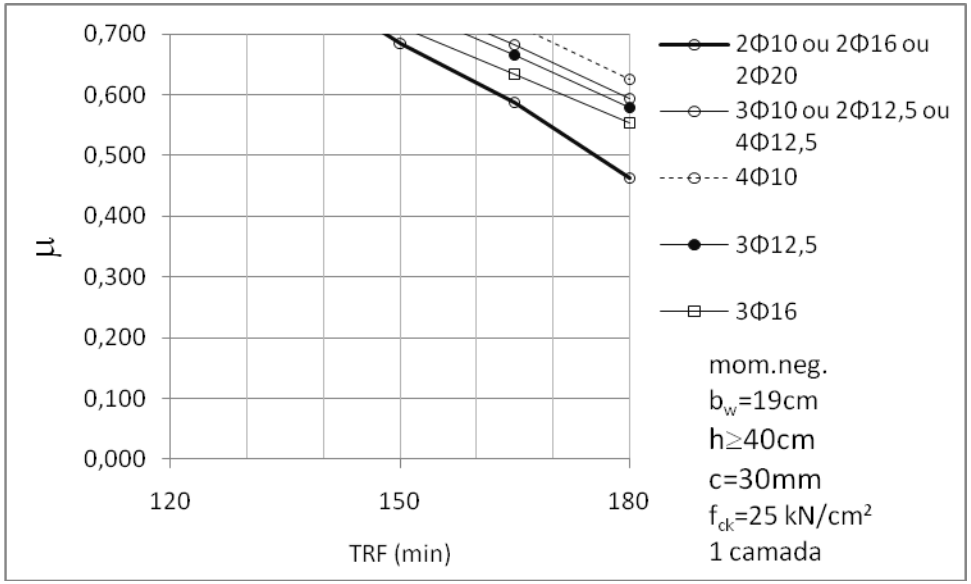


Redutor de resistência do aço





$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}}$$



Engenharia de estruturas em situação de incêndio

NBR 14432:2000
NBR 14323:1999
NBR 15200:2004

EPUSP
EESC/USP
UNICAMP
UNESP
UFMG
UFRGS
UFPE
UFOP
UFES
UNB
UFRJ
UFRN

Canadá
Estados Unidos

Inglaterra
Escócia
Bélgica
Países Baixos
França
Suécia
Noruega
Finlândia
Dinamarca
Suíça
Portugal

Japão
China
Singapura

Austrália
Nova Zelândia

Obrigado pela atenção!