



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS SERTÃO  
EIXO TECNOLOGIA



**CONSIDERAÇÕES NO PROJETO DE ESTRUTURAS  
EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS SERTÃO  
EIXO TECNOLOGIA



# ESTRUTURAS SUBMETIDAS AO FOGO

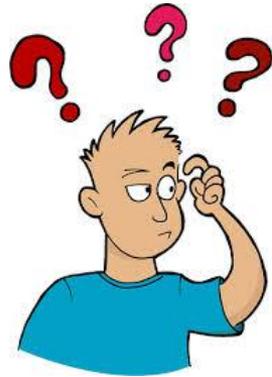
Prof. Dr. Alverlando Ricardo

**CONSIDERAÇÕES NO PROJETO DE ESTRUTURAS  
EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

**MOTIVAÇÃO**

# Motivação

- Por que dimensionar estruturas para a situação do incêndio?



# Motivação

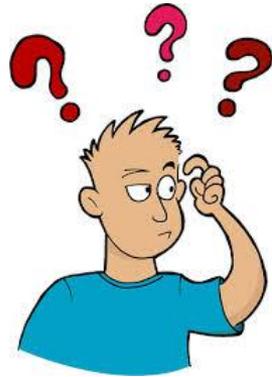
- Perdas Diretas e Mortes em Incêndios (OLIVEIRA, 2013).

País	Perdas Diretas (em bilhões de Euros)				Mortes em Incêndios			
	2005	2006	2007	%PIB	2005	2006	2007	Mor- tes/100.000 habitantes
<b>Alemanha</b>	2.9	3.3	3.4	0.13	605	510	-	0.68
<b>EUA</b>	8.3	9.0	11.4	0.10	4000	3550	3750	1.23
<b>França</b>	3.4	3.3	3.4	0.19	660	620	605	1.02
<b>Grã-Bretanha</b>	2.1	1.8	1.8	0.30	515	515	465	0.82
<b>Japão</b>	2.3	2.4	2.1	0.12	2250	2100	2050	1.67

*\*OLIVEIRA, Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de. Fire Resistance of Composite Columns Made of Concrete Filled Circular Hollow Sections and With Restrained Thermal Elongation. Tese de Doutorado, Universidade de Coimbra, 2013.*

# Motivação

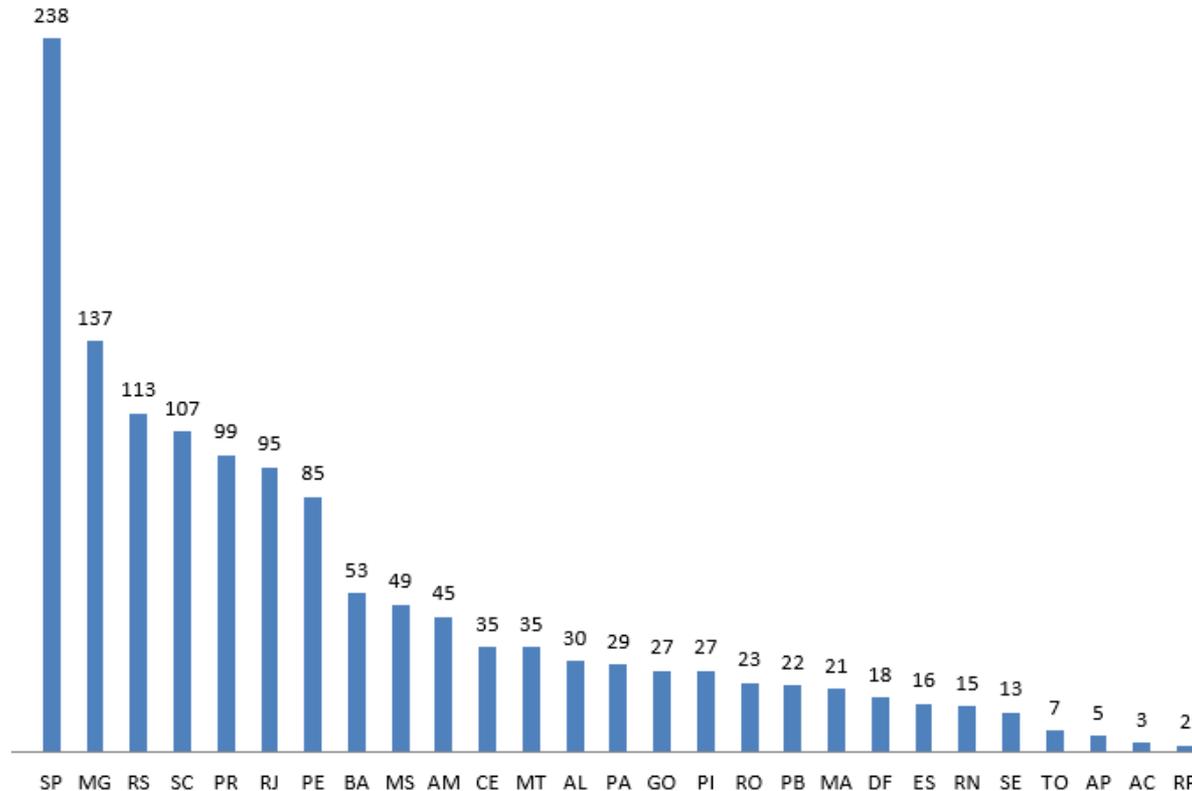
- Por que dimensionar estruturas para a situação do incêndio?



- Limitar os riscos ao indivíduo, à sociedade, às propriedades circunvizinhas e a própria propriedade exposta ao fogo;
- A capacidade de carga da edificação seja garantida por um período de tempo específico;

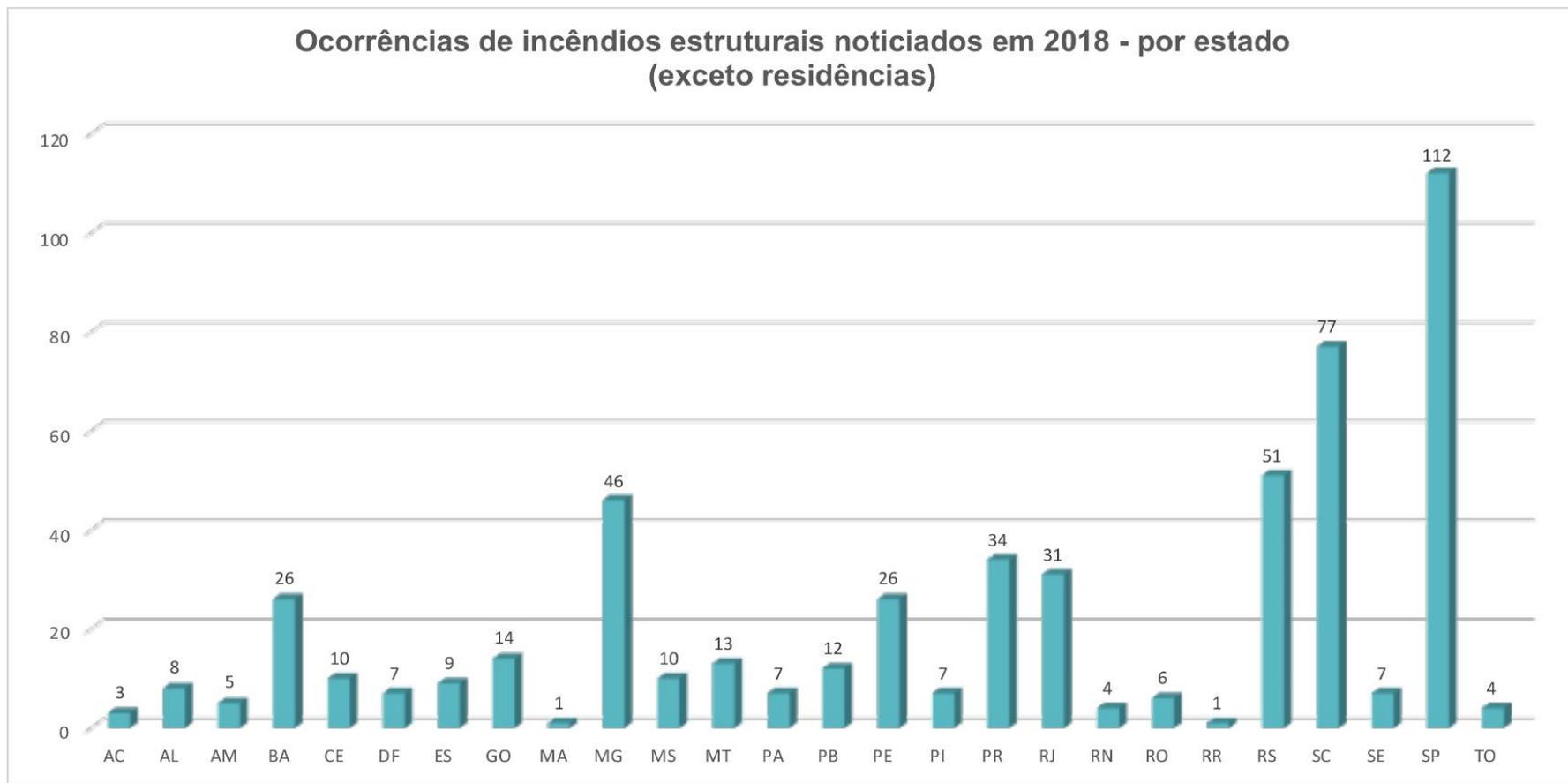
# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?
- ☐ Número de incêndios estruturais (exceto residenciais) noticiados na Internet em 2015 no Brasil



# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?



# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?

Em 2021, **Santa Catarina** foi o estado com maior número de ocorrências de incêndios estruturais noticiadas, com **455 ocorrências**, seguido por **São Paulo (340)** e **Rio grande do Sul, com 257**

NOTÍCIAS DE INCÊNDIOS ESTRUTURAIS POR ESTADO



# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?

## COMÉRCIO



**418**  
NOTÍCIAS  
18,2%

## EDIFICAÇÃO E EMPRESA PÚBLICA



**76**  
NOTÍCIAS  
3,3%

## DEPÓSITO



**350**  
NOTÍCIAS  
15,2%

## SERVIÇO DE HOSPEDAGEM



**55**  
NOTÍCIAS  
2,4%

## EDUCACIONAL E CULTURA FÍSICA



**77**  
NOTÍCIAS  
3,3%

## SERVIÇO DE SAÚDE E INSTITUCIONAL



**124**  
NOTÍCIAS  
5,4%

## INDÚSTRIA



**243**  
NOTÍCIAS  
10,6%

## SERVIÇO PROFISSIONAL



**246**  
NOTÍCIAS  
10,7%

## LOCAL DE REUNIÃO DE PÚBLICO



**336**  
NOTÍCIAS  
14,6%

## OUTROS



**376**  
NOTÍCIAS  
16,3%

# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?

Incêndios em edificações são noticiados cotidianamente.

## Outras notícias

**g1** G1

Fogo destrói escola municipal de Cruzeiro do Oeste; há suspeita de...

4 horas atrás



**m** Jornal Midiamax

Incêndio em Fort Atacadista de Campo Grande pode ter começado com explosão

1 dia atrás



Mais notícias

Google: 14/03/2022

## 📺 Vídeos



Bom Dia MS | Incêndio em supermercado: Atacadista estava ...

Globoplay  
1 hora atrás



Incêndio em prédio residencial deixa um morto e 12 feridos ...

YouTube · Diário do Nordeste  
4 horas atrás



Incêndios florestais na América do Sul lançam emissões ...

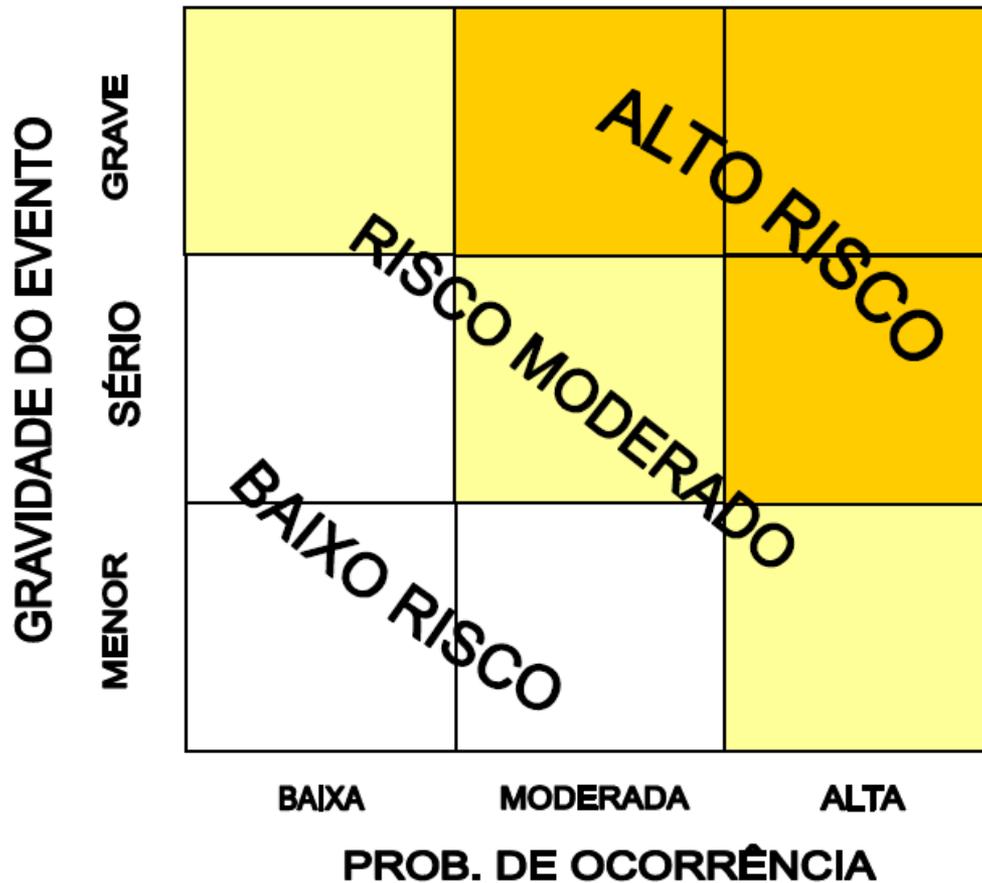
YouTube · AFP Português  
4 dias atrás



Ver tudo

# Motivação

- Mas a probabilidade de ocorrência de um incêndio é não é muito pequena?

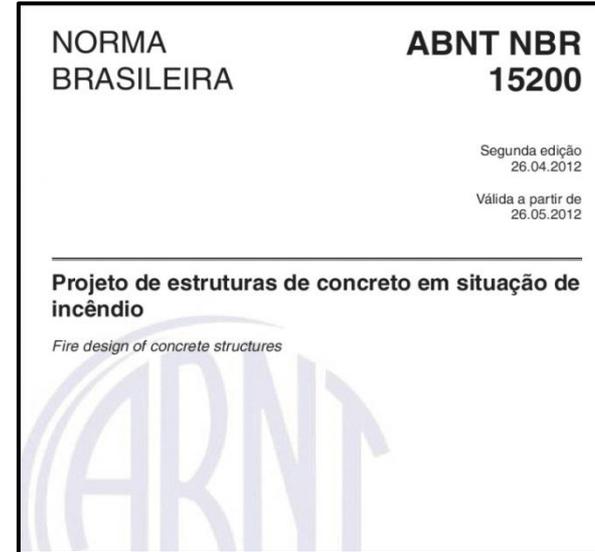
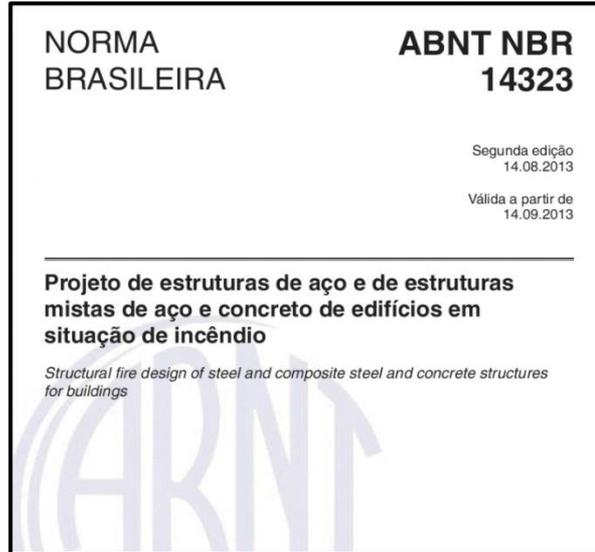


# Motivação

- Existe uma NBR para o dimensionamento de estruturas em incêndio?

# Motivação

- Existe uma NBR para o dimensionamento de estruturas em incêndio?
  - ❑ AÇO: 14323 (2013);
  - ❑ CONCRETO: 15200 (2012);
  - ❑ MADEIRA: em fase de elaboração.



# CONTEÚDO DO CURSO

# CONTEÚDO

<b>Informações gerais:</b>		
Curso:	<b>PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO</b>	
Carga Horária:	<b>2 horas</b>	<b>Ano: 2022</b>
Ministrante:	<b>Alverlando Ricardo</b>	E-mail: <a href="mailto:alverlando.ricardo@delmiro.ufal.br">alverlando.ricardo@delmiro.ufal.br</a>

## ➤ **Objetivo:**

Apresentar a **fundamentação necessária** para o projeto de estruturas (**com foco** em **estruturas de aço e concreto**) em situação de incêndio.

# CONTEÚDO

## *Ementa:*

1. Introdução
  - 1.1. Incêndios Históricos;
  - 1.2. Legislação E Normatização Brasileira;
2. Segurança Contra-Incêndio.
  - 2.1. Estruturas em incêndio;
  - 2.2. TRRF;
  - 2.3. Exemplo de Aplicação;

# CONTEÚDO

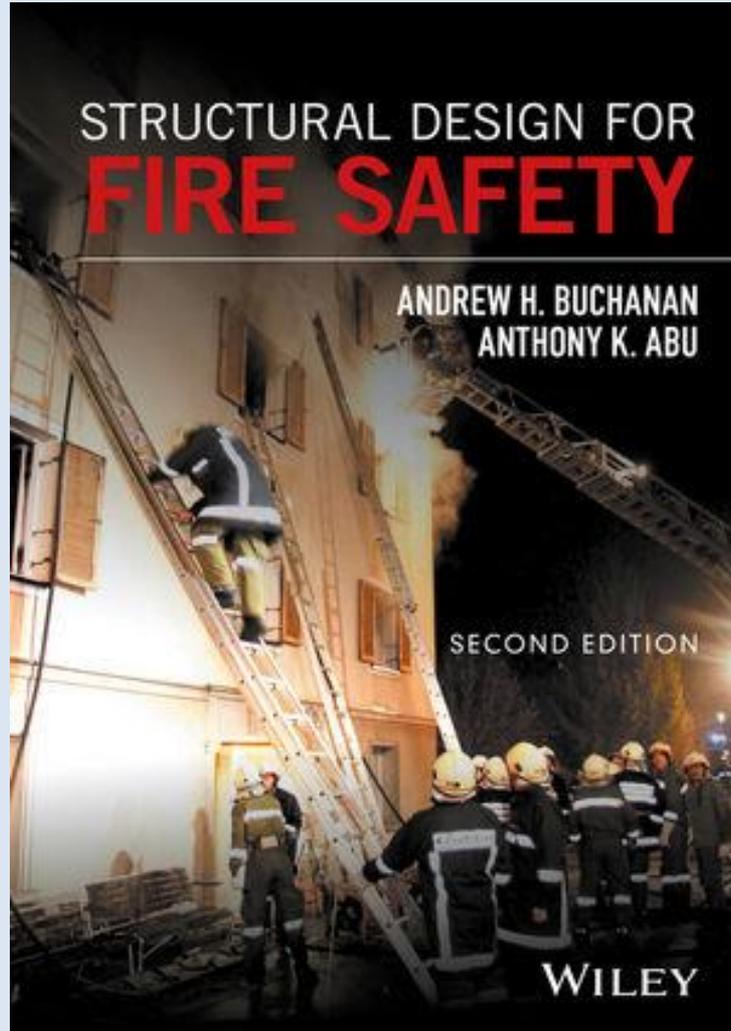
## *Ementa:*

3. Análise Estrutural em Situação de Incêndio
4. Ações e Segurança em Situação de Incêndio
5. Proteção Térmica
6. Projeto de Estruturas de Aço e Concreto
7. Avaliação Estrutural Pós-Incêndio
8. Considerações Finais

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



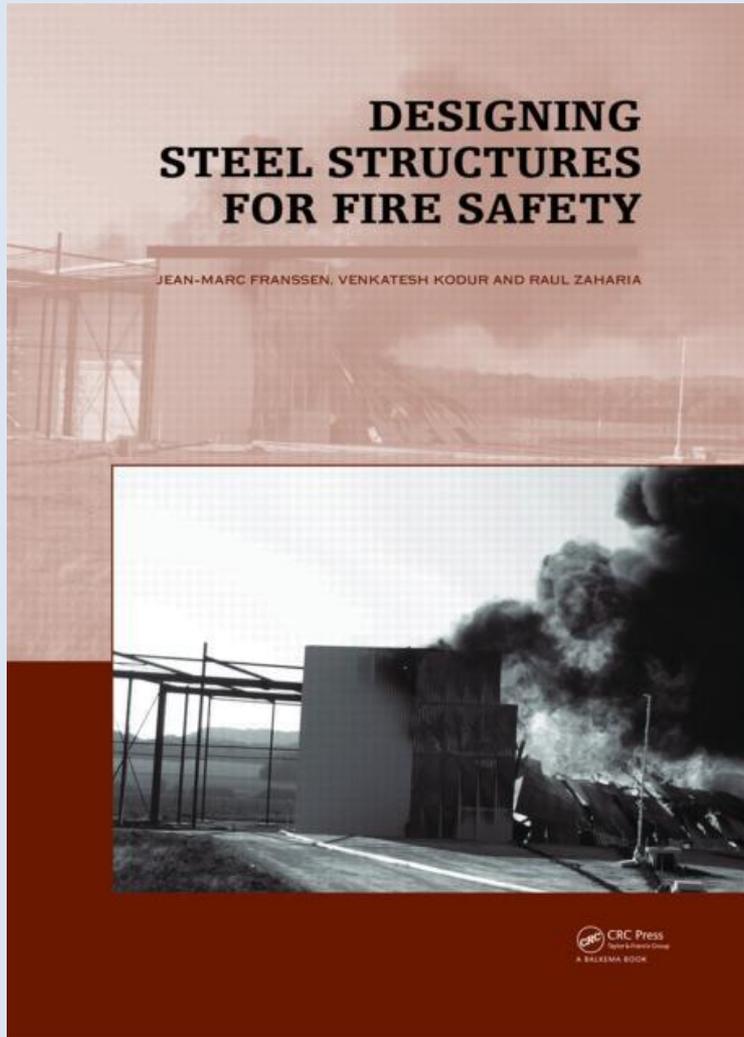
**Andrew H. Buchanan & Anthony Kwabena Abu**

“Structural Design for Fire Safety, 2<sup>a</sup> Edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom : John Wiley & Sons Inc., 2017”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



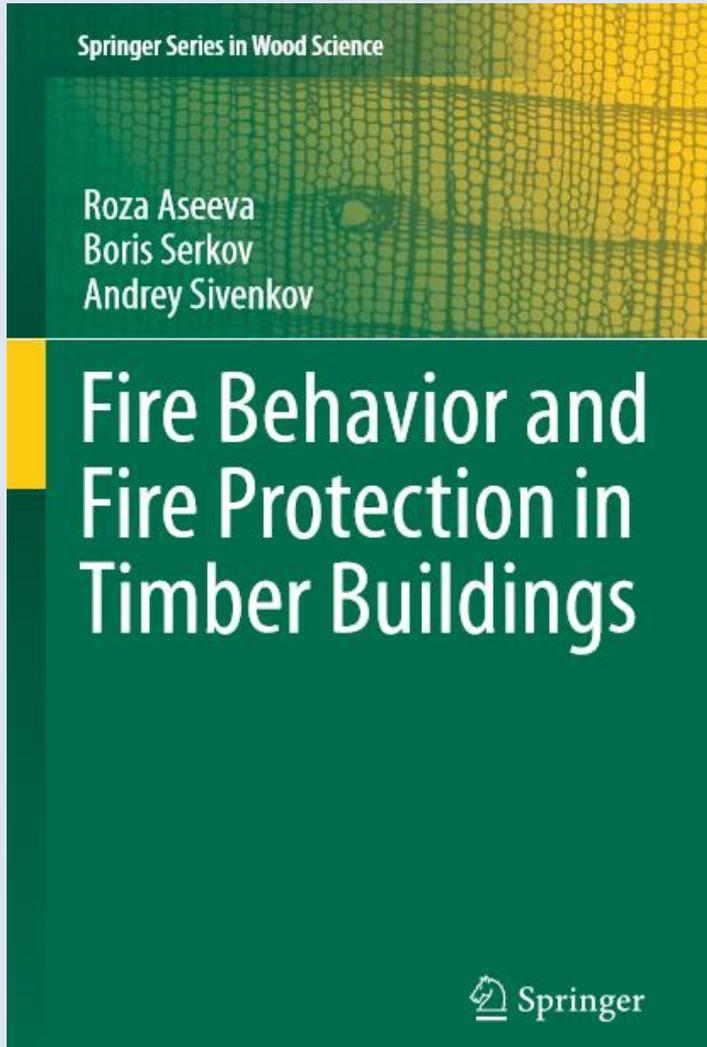
**Jean-Marc Franssen, Venkatesh Kodur, Raul Zaharia.**

“Designing Steel Structures for Fire Safety, Taylor & Francis Group, London, UK, 2009”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



**Roza Aseeva, Boris Serkov, Andrey Sivenkov.**

“Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings, Springer Series in Wood Science, Austria 2014”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



**Fire Safety  
and  
Concrete Structures**



Ir. J.F. Denoël

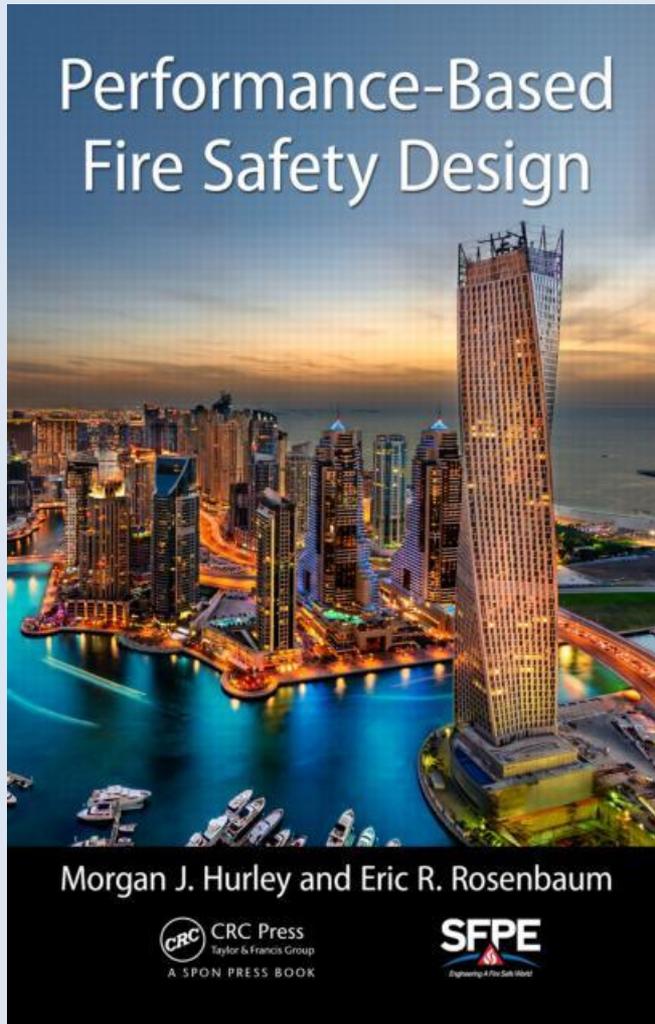
**Ir. J.F. Denoël**

“Fire Safety and Concrete Structures,  
2007”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



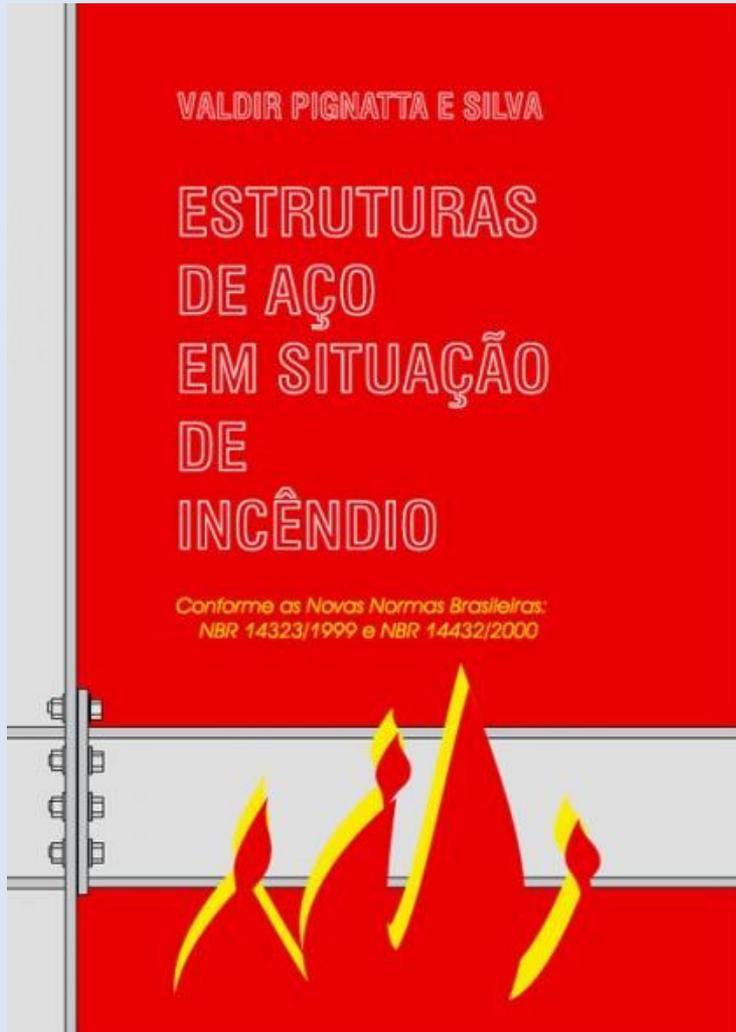
**Morgan J. Hurley, Eric R. Rosenbaum**

“Performance-Based Fire Safety Design, Taylor & Francis Group, LLC, 2015”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



**VALDIR PIGNATTA E SILVA**

“Estruturas de Aço em Situação de Incêndio, Zigurate Editora. São Paulo. 2004”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



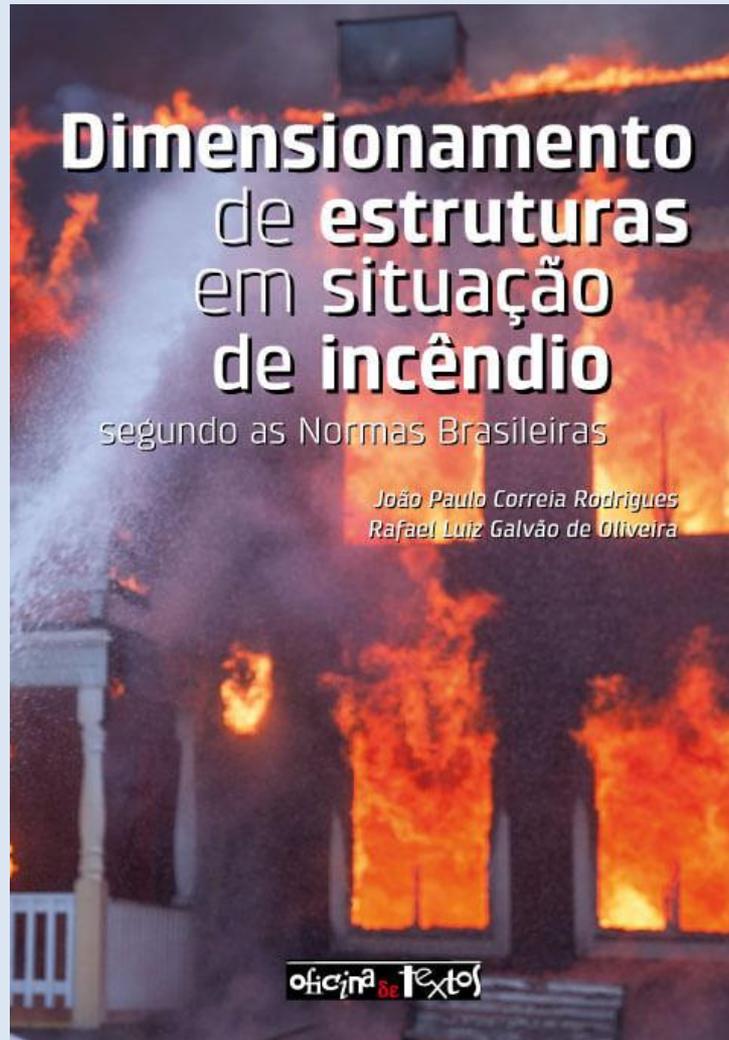
**VALDIR PIGNATTA SILVA**

“Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio, Blucher Editora. São Paulo. 2012”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



**João Paulo Correia Rodrigues**  
**Rafael Luiz Galvão de Oliveira**

“Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, Oficina de Textos. São Paulo. 2021”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Prof. Dr. Poliana Dias de Moraes

Florianópolis, setembro de 2015.  
Versão 4

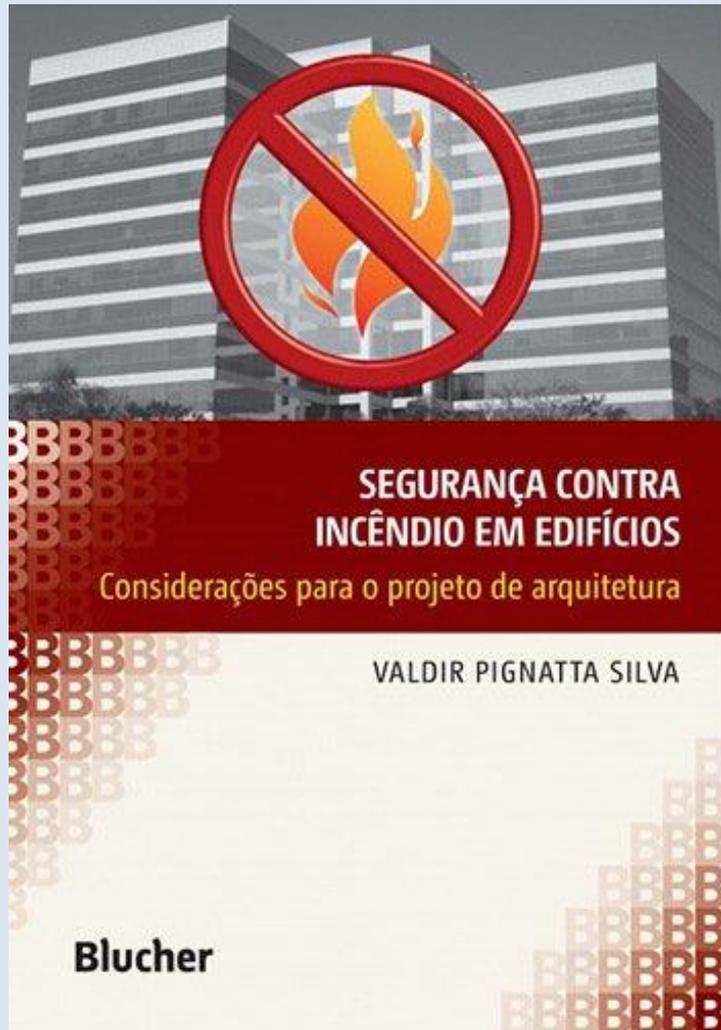
**Prof. Dr. Poliana Dias de Moraes**

“DIMENSIONAMENTO DE  
ESTRUTURAS DE MADEIRA EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO,  
FLORIANÓPOLIS-SC, 2015”.

# CONTEÚDO



## REFERENCIAS BÁSICAS



### VALDIR PIGNATTA SILVA

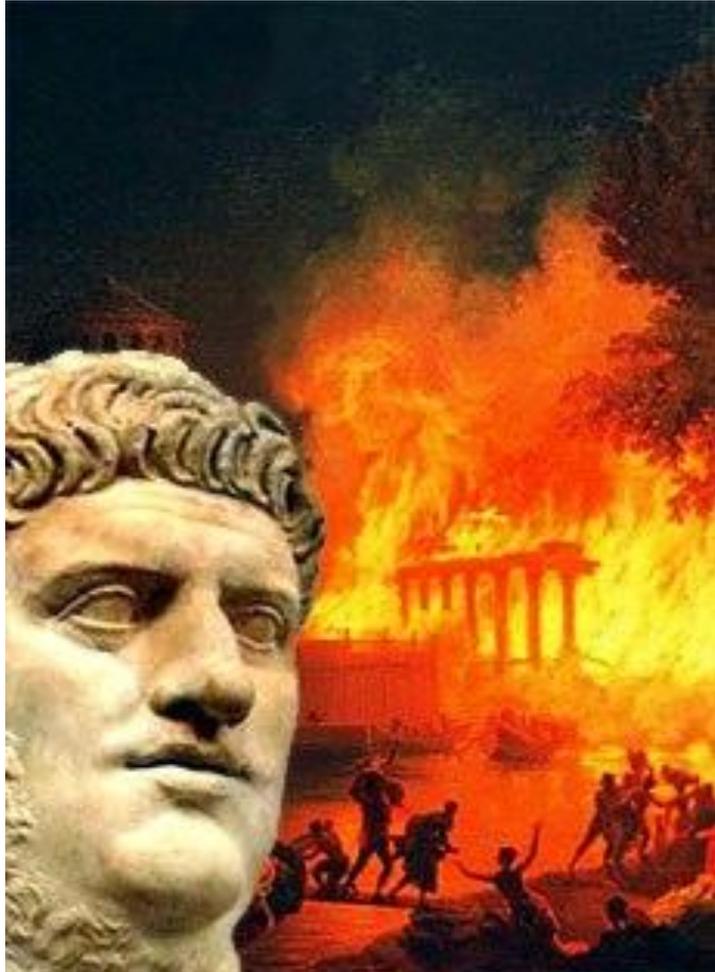
“Segurança Contra Incêndio em Edifícios - Considerações para o Projeto de Arquitetura, Blucher Editora. São Paulo. 2014”.

# **1. INTRODUÇÃO:**

## **1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS (d.C)**

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio de Roma (64 D.C.)



➤ **1º Grande Incêndio Registrado;**

➤ **Características da cidade:**

Residências de Madeira;

Ruas estreitas; Ventos Fortes;

➤ **Consequências:**

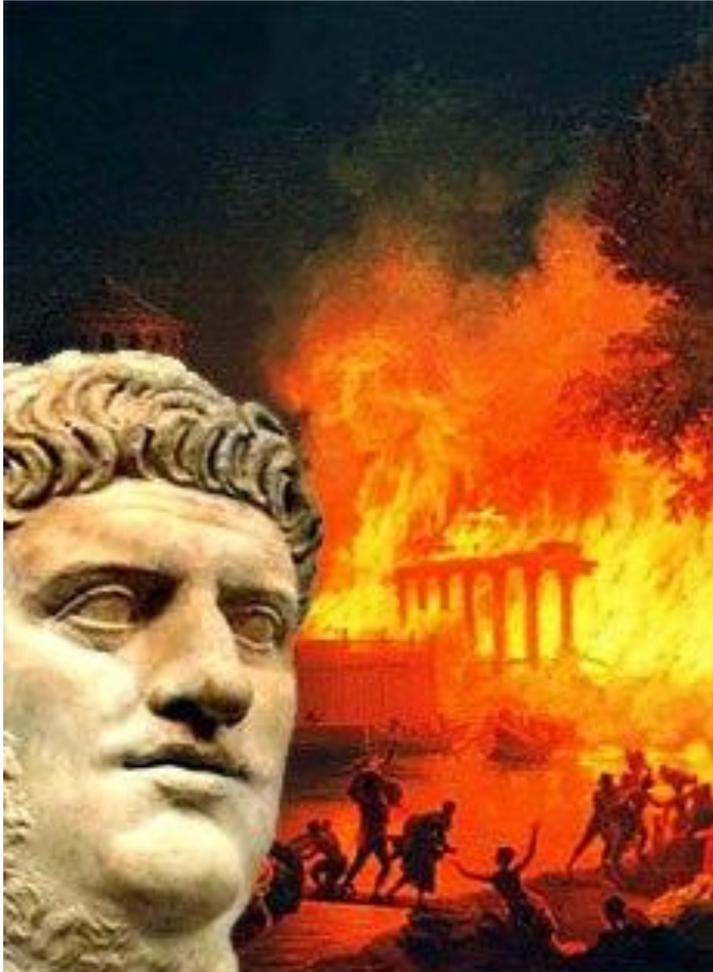
9 dias de incêndio;

Milhares de Mortos e

3/4 da cidade destruídos.

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio de Roma (64 D.C.)



➤ ***Atribui-se a Nero a responsabilidade do incêndio:***

- Para Reconstruir Roma;
- E Culpa os Cristãos;

➤ ***Após o incêndio:***

- Criação de uma patrulha para o alarme de incêndio;

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio de Londres (1666)

- **2 de setembro de 1666.**
- **13 mil casas destruídas;**

- ❑ Residências de Madeira;
- ❑ Ruas estreitas; Ventos Fortes;



## ➤ Incêndio de Chicago (1871)



- ❑ Residências de Madeira;
- ❑ Ruas estreitas; Ventos Fortes;

- **8 de outubro de 1871;**
- **2 dias de incêndio;**
- **300 morte.**

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Teatro Iroquois em Chicago (1903)

- *3 meses após a abertura.*
- *Das 1600 vítimas, 600 morreram;*



## ➤ Lake View Elementary School, Ohio (1908)



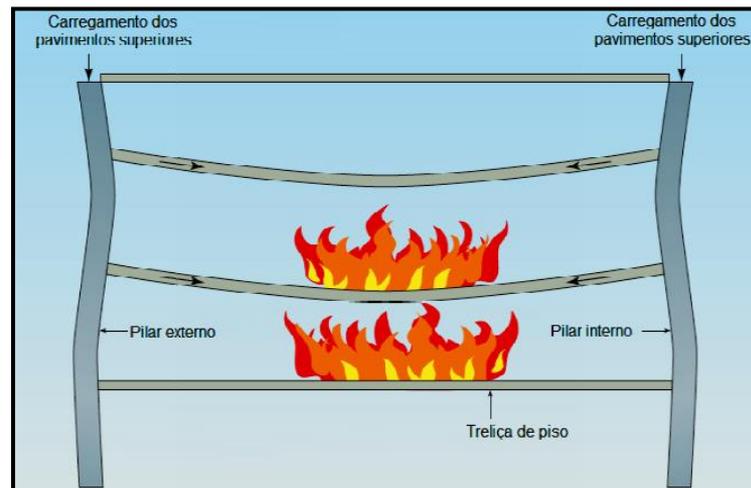
- *172 crianças e 2 professores mortos devido ao incêndio;*

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ World Trade Center (2001)



- 2753 mortes;
- Foi realizada uma investigação para avaliar houve erro de engenharia:
- Danos graves devido ao impacto, **somado ao incêndio.**



# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Gran Circo Norte-Americano, Niterói/RJ (1961)



### ➤ *Maior incêndio com perdas de vida no Brasil:*

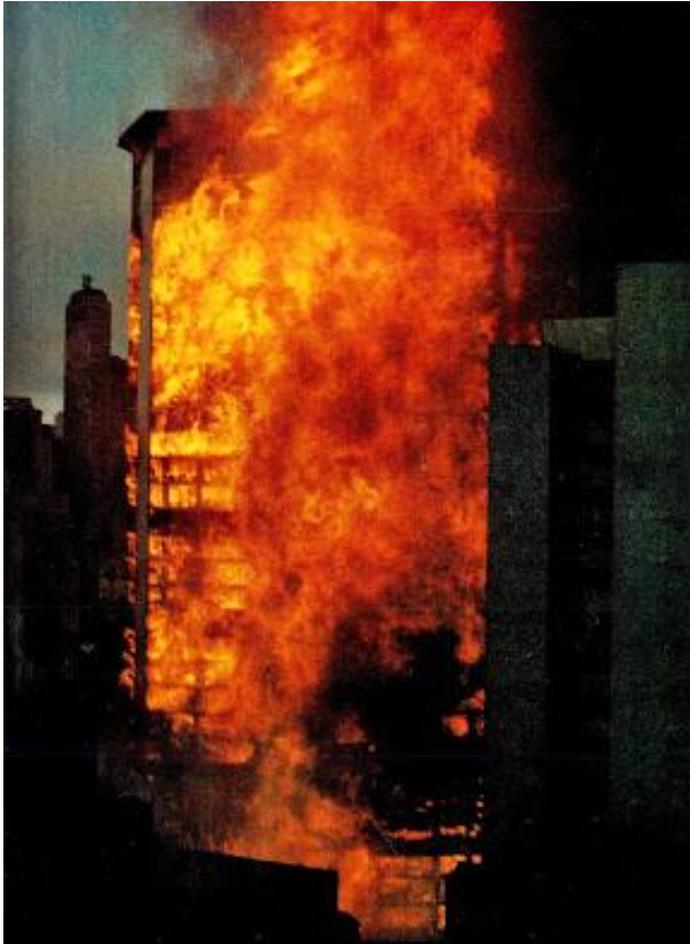
- ❑ 503 pessoas morreram,;
- ❑ 2500 espectadores;

### ➤ *Motivos da tragédia:*

- ❑ Vingança;
- ❑ Ausência de uma brigada de incêndio;
- ❑ Falta de saídas de emergência.

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio no Edifício Andraus, São Paulo (1972)



### ➤ *1º incêndio em um prédio elevado no Brasil:*

- Ed. Comercial com 31 andares,;
- 16 mortes;
- Ausência de Escadas de Emergência;
- Porém, possuía Laje no último andar capaz de suportar o pouso de um helicóptero;
- Os que lá chegaram foram resgatados.

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio no Edifício Joelma, São Paulo (1974)



### ➤ *2º incêndio em um prédio elevado no Brasil:*

- ❑ Ed. Comercial com 23 andares,;
- ❑ 179 mortes e 320 feridos;
- ❑ Ausência de Escadas de Emergência;
- ❑ Não possuía Laje no último andar capaz de suportar o pouso de um helicóptero;

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Incêndio na Boate Kiss, RS (2013)



- ❑ O fogo se alastrou rapidamente devido ao material usado como revestimento acústico, que era bastante inflamável.
- ❑ 242 jovens morreram por causa do incêndio, 100% deles por asfixia;

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Ed. Wilton Paes Almeida, SP (01/05/2018)

<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/05/incendio-de-grandes-proporcoes-atinge-um-edificio-no-largo-do-paissandu.shtml>



CURSOS LOJA VIRTUOL



## FOLHA DE S.PAULO



equilíbrio febre amarela rio de janeiro mortes tragédia no museu

TRAGÉDIA DOS SEM-TETO

### Prédio invadido desaba em incêndio no largo do Paissandu, centro de SP

Bombeiros buscam desaparecidos nos escombros com auxílio de cães farejadores

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## ➤ Ed. Wilton Paes Almeida, SP (01/05/2018)



Parte de prédio desaba durante incêndio no largo do Paissandu - João Wainer/Folhapress

- Ed. Comercial com 24 andares,;
- Foi sede da PF e do INSS;
- Ocupação irregular;
- Causa: Brica de casal ou sobre carga elétrica;
- Estrutura aço e concreto sem proteção.
- 1h20 de incêndio.

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

**1**  
À **1h30**, um curto-circuito numa tomada provocou uma **explosão no 5º andar**

**2**  
O **fogo se alastrou** pelos outros andares do prédio rapidamente

**3**  
Por volta das **2h50**, o prédio desabou; um homem caiu do 9º andar e morreu

**4**  
Durante a madrugada, o incêndio **atingiu outros prédios**

**5**  
Às **9h**, o **fogo voltou** a consumir o prédio da frente, mas foi apagado

## Raio-x do edifício

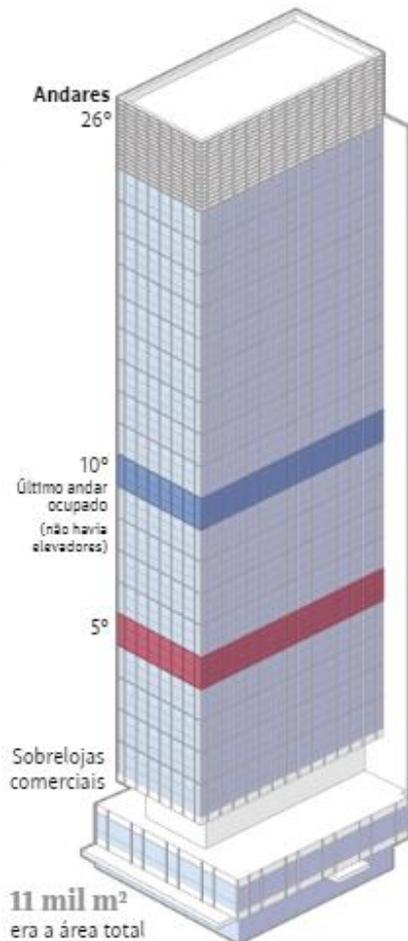
**Dono**  
União, cedido temporariamente à prefeitura

**Ocupação**  
MLSM (Movimento Social de Luta por Moradia); moravam **455 pessoas de 171 famílias**



**10%** estrangeiros

**Interior**  
Cada família tinha um quarto, e banheiros ficavam no corredor



Infografia: Carolina Daffara, Fabiana Martins e Luciano Veronezi

## O que pode ter feito o prédio desabar

A estrutura do prédio tinha concreto e aço, dois materiais que perdem resistência em altas temperaturas. Segundo engenheiros, com o calor, os pilares que sustentavam a edificação perderam a capacidade de suportar os andares



## Reportagem:

<https://www.youtube.com/watch?v=FLqZUvVbGkQ>

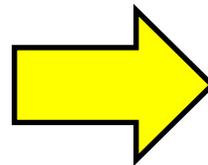
# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS



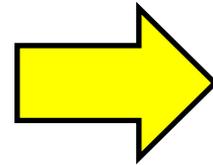
# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS



# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

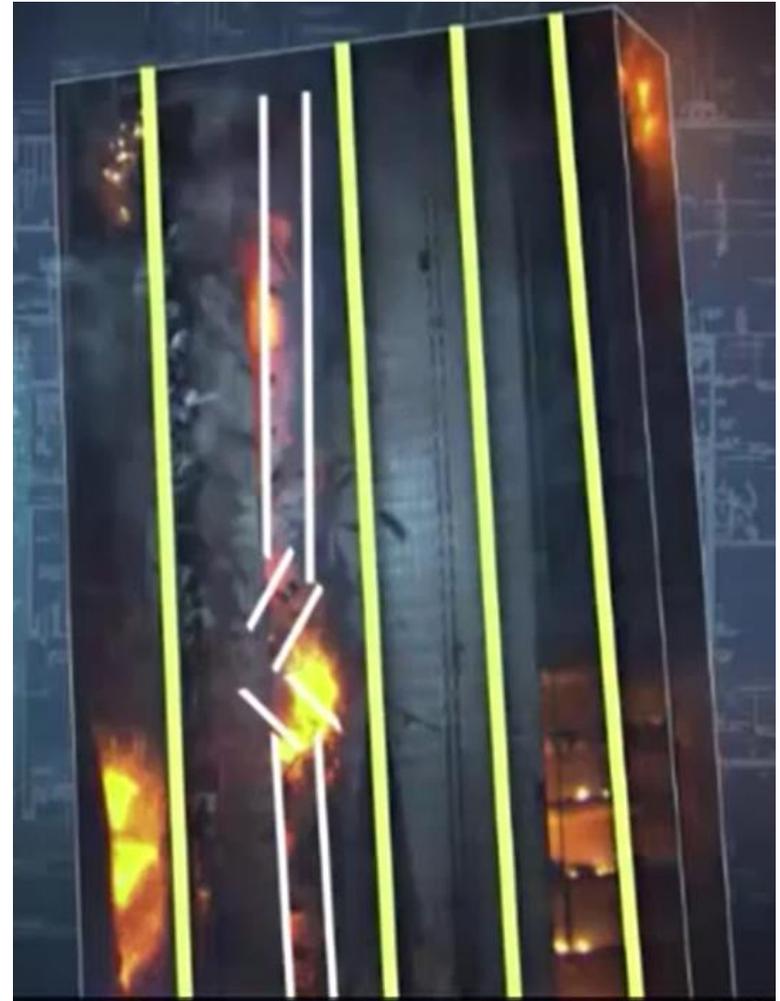
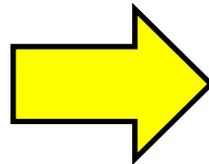


# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

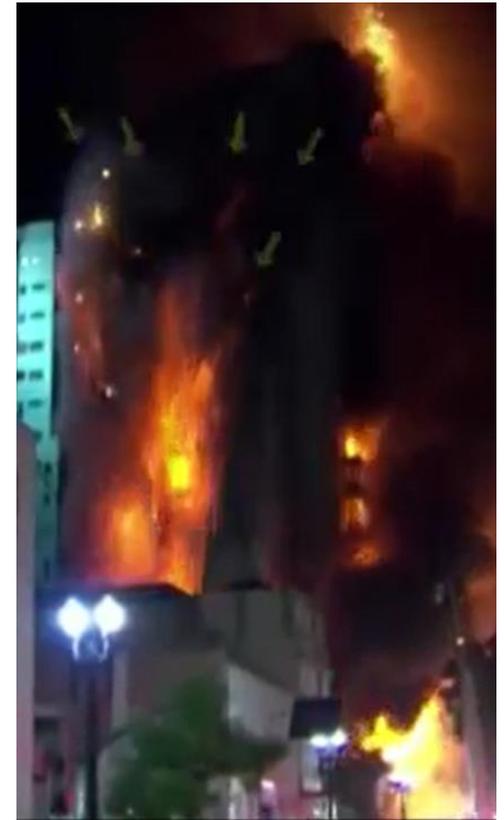


O rompimento do poço de elevador sobre carregou os pilares:

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS



# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS



# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## FOLHA DE S.PAULO



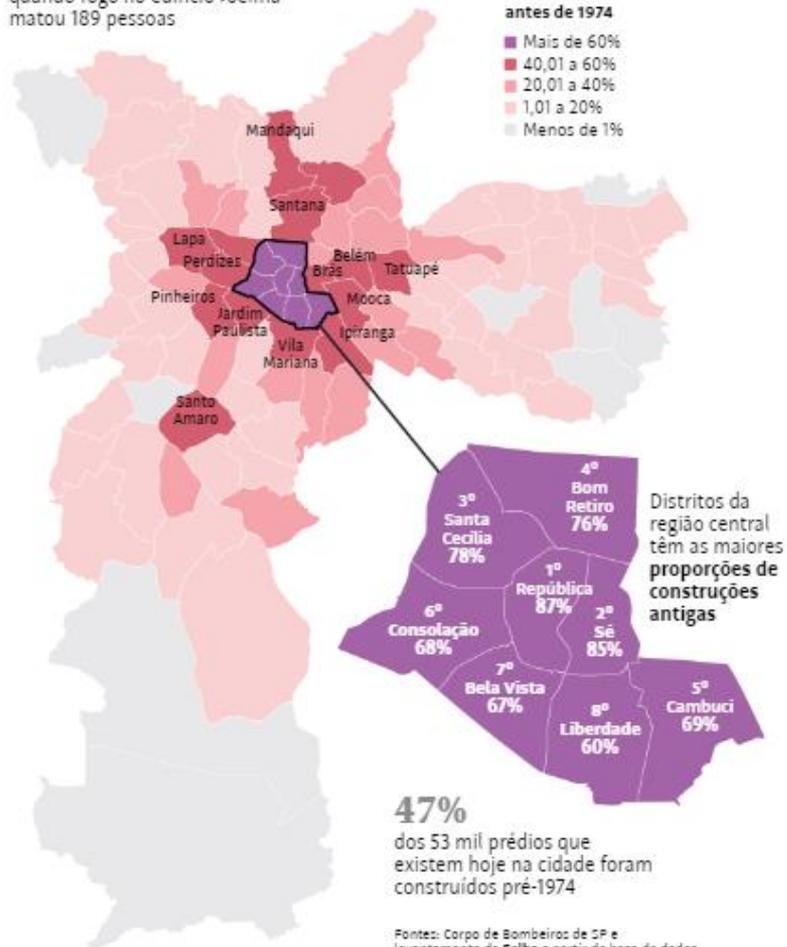
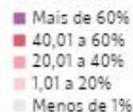
A capital paulista tem 53 mil prédios, conforme consta na base de dados do IPTU de 2017, da Prefeitura de São Paulo, tabulada pela **Folha**. Destes, 24,7 mil foram construídos antes de 1974, período em que os edifícios precisavam ter pouco mais que extintores e hidrantes como equipamentos de prevenção e combate a incêndios.

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## Quase metade dos prédios de São Paulo foi construída antes de 1974

Uma série de normas anti-incêndio foi imposta **depois daquele ano**, quando fogo no edifício Joelma matou 189 pessoas

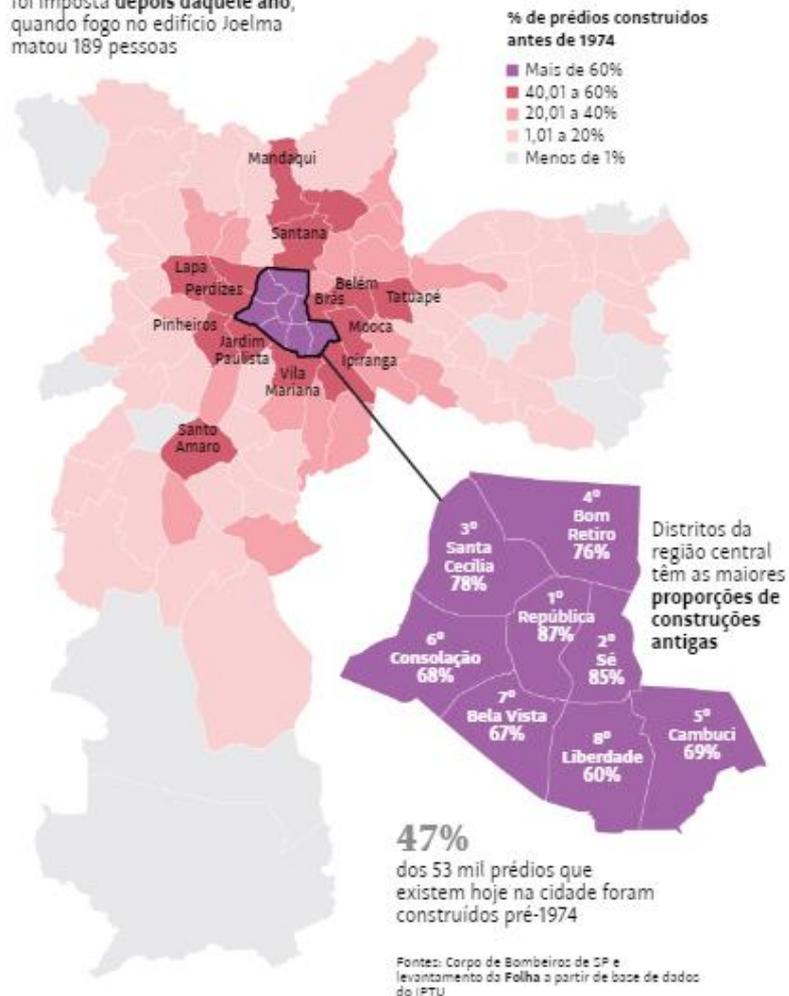
% de prédios construídos antes de 1974



# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## Quase metade dos prédios de São Paulo foi construída antes de 1974

Uma série de normas anti-incêndio foi imposta **depois daquele ano**, quando fogo no edifício Joelma matou 189 pessoas



### O que era exigido antes de 1974:



Extintores de incêndio



Hidrantes

Hoje, mesmo que seu prédio seja antigo, ele também precisa ter outros equipamentos básicos, como:



Alarme de incêndio



Iluminação e sinalização de emergência



Treinamento em caso de incêndio



Saída de emergência

Se houver ampliação do prédio ou mudança no uso, pode ser necessário instalar:

- > Chuveiros automáticos
- > Detectores de fumaça e calor
- > Adaptação de escada de segurança

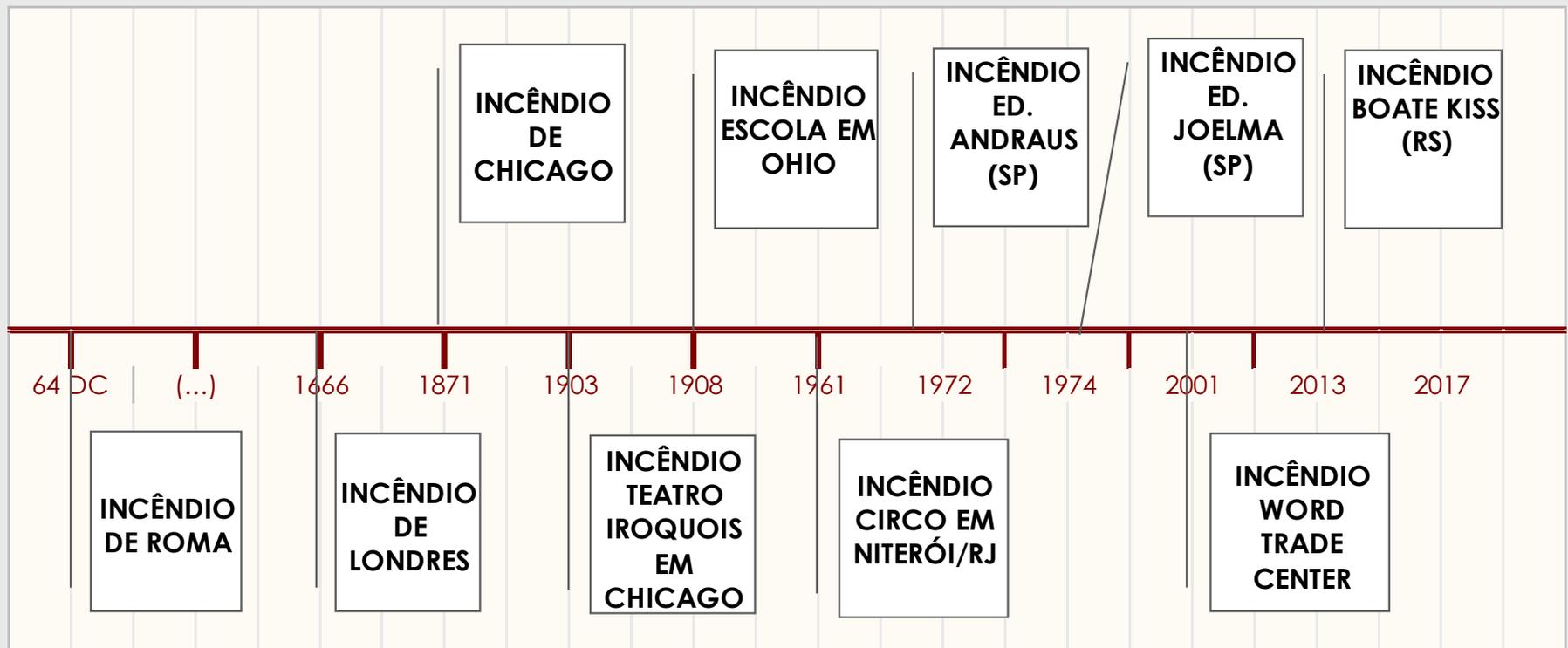
Todo prédio precisa ser vistoriado pelos Bombeiros:

- > Exija com o síndico do seu prédio o documento de vistoria dentro da validade, que costuma ser de 3 anos
- > É possível solicitá-lo no site dos Bombeiros
- > Edifícios sem o documento ou com ele fora da validade podem receber de advertência a multa de R\$ 257 mil

Fontes: Corpo de Bombeiros de SP e levantamento da Folha a partir de base de dados do IPTU

# 1.1. INCÊNDIOS HISTÓRICOS

## INCÊNDIOS HISTÓRICOS

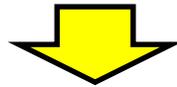


# **1. INTRODUÇÃO:**

## **1.2. LEGISLAÇÃO E NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA**

## 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- O incêndio do *Andraus + Joelma = Grande impacto* na sociedade brasileira:



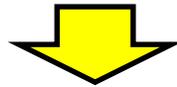
❑ REFORMULAÇÃO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NO BRASIL.

- **ANTES: PRIORIDADE = PATRIMÔNIO**

- **DEPOIS: PRIORIDADE = VIDAS**

# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

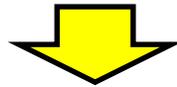
- O incêndio do *Andraus + Joelma = Grande impacto* na sociedade brasileira:



- ❑ **São Paulo (1974):** institui normas especiais para a segurança dos edifícios;
- ❑ **Rio de Janeiro (1974):** Realiza o Simpósio de segurança contra Incêndio;
- ❑ **Brasília (1974):** Realiza o Simpósio de sistema de prevenção contra Incêndio;
- ❑ **ABNT (1974):** NB 208 – Saídas de Emergências em edifícios altos;
- ❑ **NR 23 (1978):** Proteção contra Incêndios (atualizada 2016)

# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

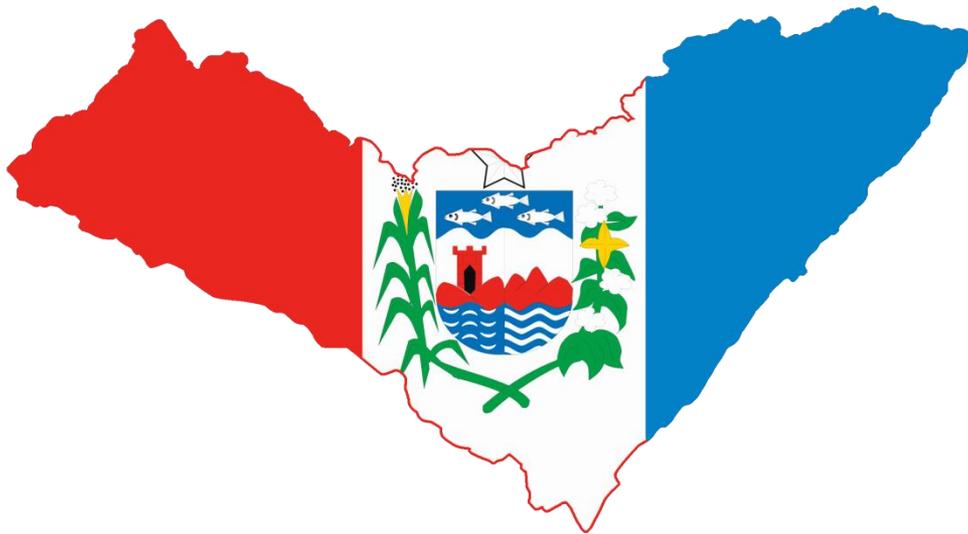
- O incêndio do *Andraus + Joelma = Grande impacto* na sociedade brasileira:



- ❑ **NBR 9.077 (1991):** Saídas de emergência em edifícios;
- ❑ **NBR 12.693 (1993):** Sistema de Proteção por Extintores;
- ❑ **NBR 13.434 (1995):** Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico;
- ❑ **NBR 10.898 (1998):** Sistema de Iluminação de Emergência;
- ❑ **NBR 14.276 (1999):** Brigada de Incêndio.

# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- No Brasil, as exigências de segurança contra incêndio das edificações são definidas em legislação estadual.



# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- No Brasil, as exigências de segurança contra incêndio das edificações são definidas em legislação estadual.

## ALAGOAS:

- Lei 7.456 (2013) (após Kiss)
- Decreto 26.414 - COSCIP (Código Contra Incêndio e Pânico);
- Instrução Técnica 01;
- Instrução Técnica 40.



# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- O passo primordial para se evitar solicitações estruturais adicionais, é o combate eficiente ao sinistro:



**SPRINKLERS**  
EFICIENTE, DISCRETO E NÃO  
DEPENDE DA FORÇA HUMANA



# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- O passo primordial para se evitar estruturas adicionais, é o combate ao sinistro:

**Caso contrário uma análise comportamental das estruturas em situação de incêndio deverá ser realizada!!!**



**SPRINKLERS**

EFICIENTE, DISCRETO E NÃO  
DEPENDE DA FORÇA HUMANA

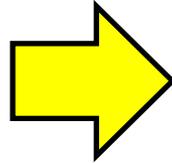


# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

- Na ausência de uma norma específica para Estruturas em incêndio em Alagoas vale:



Recomenda:

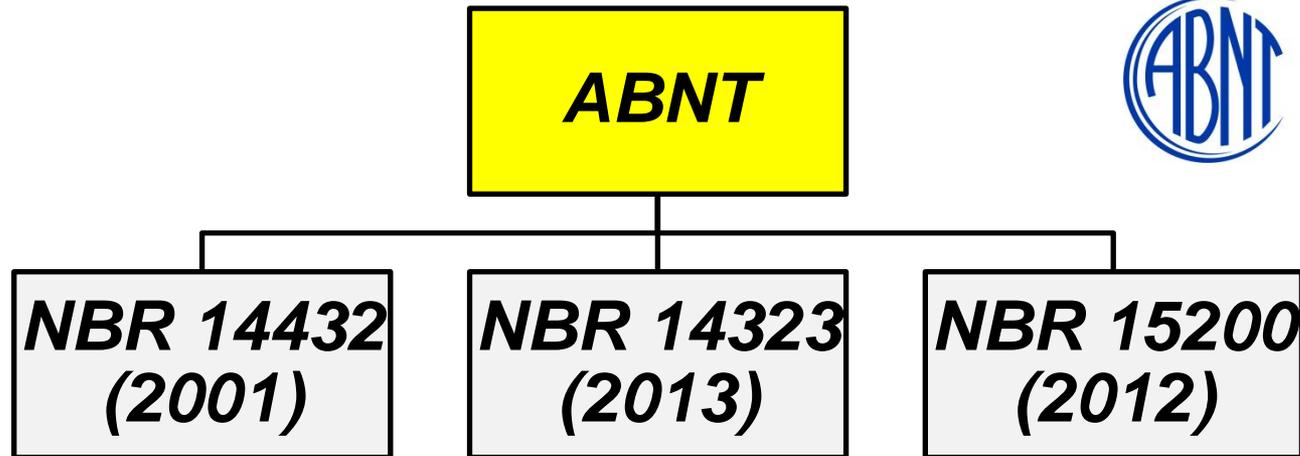


ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

# 1.2. NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS



	NOV 2001	<b>NBR 14432</b>
<b>Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento</b>		
<small>Origem: Projeto de Emenda NBR 14432:2000 ABNT/CB-24 - Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio CE-24:301.06 - Comissão de Estudo de Segurança de Estruturas em Situação de Incêndio NBR 14432 - Fire-resistance requirements for building construction elements - Procedure Descriptors: Fire, Building, Safety, Structure Esta Norma substitui a NBR 14432:2000 Válida a partir de 31.12.2001</small>		
<small>Palavras-chave: Incêndio. Segurança. Edificação. Estrutura</small>		<small>14 páginas</small>

<b>NORMA BRASILEIRA</b>	<b>ABNT NBR 14323</b>
	<small>Segunda edição 14.08.2013 Válida a partir de 14.09.2013</small>
<b>Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio</b>	
<small>Structural fire design of steel and composite steel and concrete structures for buildings</small>	

<b>NORMA BRASILEIRA</b>	<b>ABNT NBR 15200</b>
	<small>Segunda edição 26.04.2012 Válida a partir de 26.05.2012</small>
<b>Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio</b>	
<small>Fire design of concrete structures</small>	



## 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo: Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.**

## 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo: Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.**

### SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO:

**PROTEÇÃO ATIVA:**

**PROTEÇÃO PASSIVA:**

# 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo: Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.**

## SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO:

### PROTEÇÃO ATIVA:

- CHUVEIROS AUTOMÁTICOS;
- DETECÇÃO DE FUMAÇA;
- EXTINTORES;
- BRIGADA CONTRA INCÊNDIO;
- ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA;
- ETC.



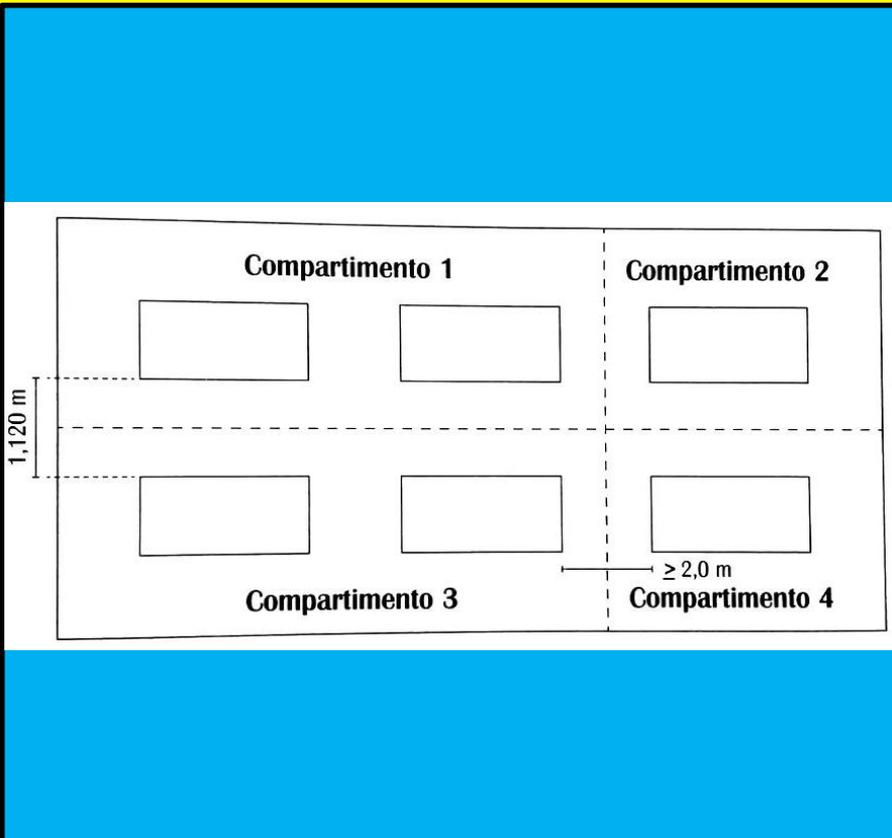
## 2.2. TRRF

- Conforme o decreto nº 56.819 (2011) (SP), é exigida a formação de brigada de incêndio em todos edifícios residenciais multifamiliares, escolas, de escritórios e hotéis, com qualquer número de andar;
- A detecção de incêndio automática é exigida para hotéis a partir de 6 m de altura, em edifícios para escritórios com mais de 30 m de altura e em escolas a partir de 23 m;
- A instalação de chuveiros automáticos é exigida para hotéis com mais de 23 m e para edifícios escolares ou de escritórios com mais de 30 m de altura.

# 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo:** Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.

## SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO:



### PROTEÇÃO PASSIVA:

- ESCADAS DE EMERGÊNCIA;
- ROTAS DE FULGA;
- COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL;
- RESISTÊNCIA AO FOGO DAS ESTRUTURAS

## 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo: Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.**

### SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO:

#### *GARANTIR:*

- **ISOLAMENTO: 140 C EXTERNO**

- **ESTAQUEIDADE:  
(FISSURAS,  
ABERTURAS)**

#### PROTEÇÃO PASSIVA:

- ESCADAS DE EMERGÊNCIA;

- ROTAS DE FULGA;

- COMPARTIMENTAÇÃO

VERTICAL E HORIZONTAL;

- RESISTÊNCIA AO FOGO DAS  
ESTRUTURAS

# 2. SEGURANÇA CONTRA O INCÊNDIO

- **Objetivo: Minimizar o risco a VIDA! E reduzir a perda patrimonial.**

## SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO:

### PROTEÇÃO ATIVA:

- CHUVEIROS AUTOMÁTICOS;
- DETECÇÃO DE FUMAÇA;
- EXTINTORES;
- BRIGADA CONTRA INCÊNDIO;
- ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA;
- ETC.

### PROTEÇÃO PASSIVA:

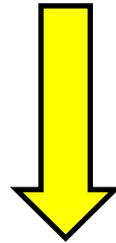
- ESCADAS DE EMERGÊNCIA;
- ROTAS DE FULGA;
- COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL;
- RESISTÊNCIA AO FOGO DAS ESTRUTURAS**

## **2. Segurança contra incêndio:**

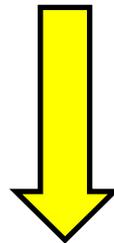
### **2.1. ESTRUTURAS EM INCÊNDIO**

## 2.1. ESTRUTURAS EM INCÊNDIO

- A capacidade resistente das estruturas (alvenaria estrutural, concreto, aço, madeira, ...) submetidas ao fogo é reduzida:

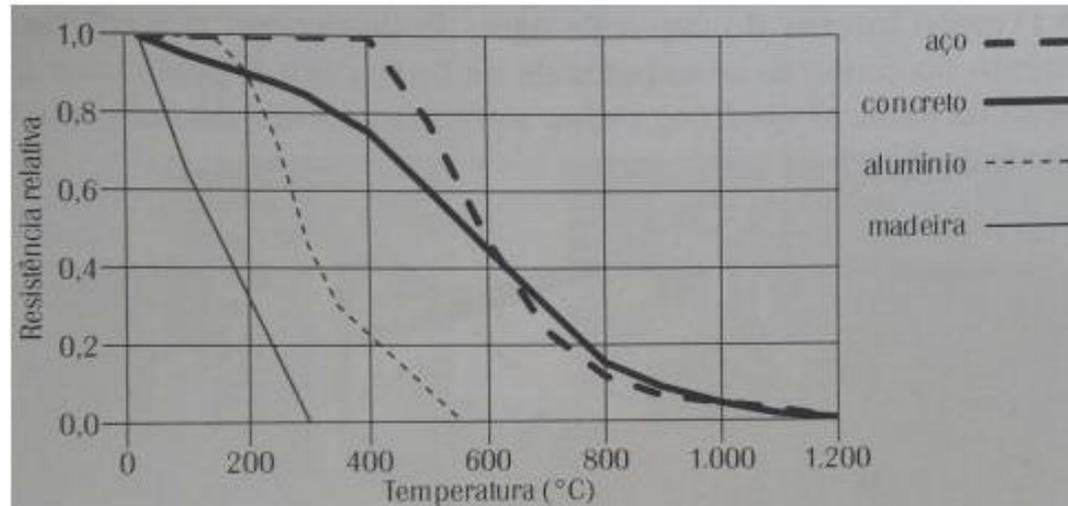


*Variação da resistência dos materiais em função da temperatura*

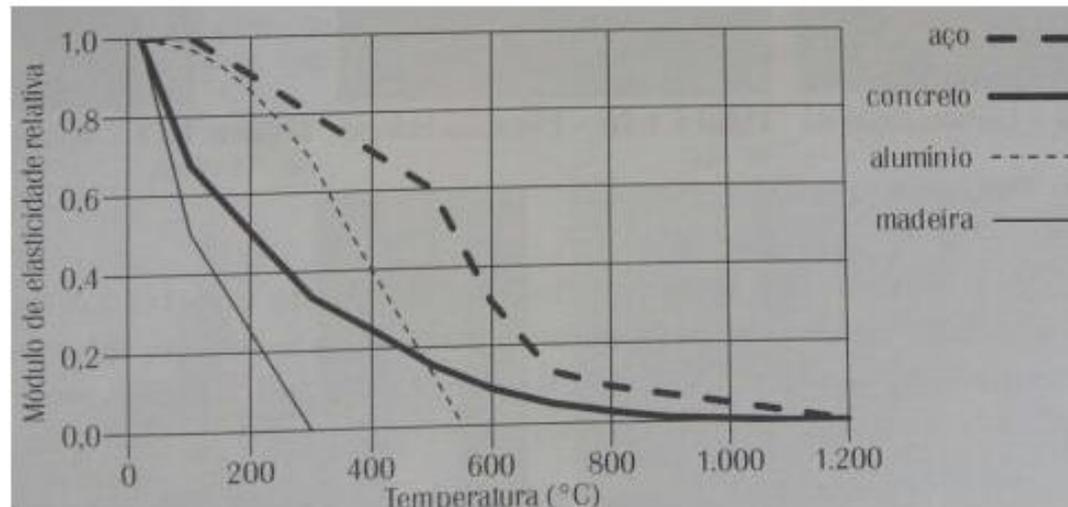


*Variação do módulo de elasticidade dos materiais em função da temperatura*

# 2.1. ESTRUTURAS EM INCÊNDIO



***Variação da resistência dos materiais em função da temperatura***



SILVA (2012)

***Variação do módulo de elasticidade dos materiais em função da temperatura***

## 2.1. ESTRUTURAS EM INCÊNDIO

➤ Quais verificações o Projetista deve realizar?



## 2.1. ESTRUTURAS EM INCÊNDIO

➤ Quais verificações o Projetista deve realizar?

Verificações em TERMOS de:

- Solicitações:  $(S < R)$
- Temperatura;  $(T_{fi} < T_{proj})$
- Tempo;  $(t_{fi} < t_{falha})$ : **TRRF**



## **2. Segurança contra incêndio:**

### **2.2. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)**

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos estruturais dependem do tipo de ocupação e da altura de incêndio do edifício;
- A altura de incêndio do edificio = distância entre a saída de descarga ao piso do último pavimento;

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)
- Para Vigas secundarias das edificações  $h < 45 \text{ m}$ , pode-se adotar  $\text{TRRF} < 60 \text{ min}$ .
- Para Vigas secundarias das edificações  $h > 45 \text{ m}$ , pode-se adotar  $60 < \text{TRRF} < 90 \text{ min}$ .

**NBR 14432 (2001) – Anexo A item (h)**

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)
- O TRRF de elementos secundários pode ser reduzido de 30 min em relação aos determinados conforme método do tempo equivalente, mantendo-se um valor mínimo de 15 min.

**IT 8(AL) - A.2.6**

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)
- Há determinados elementos para os quais se exige um valor mínimo de TRRF, independente do TRRF da edificação. Elementos de compartimentação de escadas e elevadores de segurança (mínimo 120 min), elementos de isolamento de risco (mínimo 120 min).

**IT 8(SP)**

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)
- Para Vigas secundarias das edificações entre  $6\text{ m} < h < 30\text{ m}$ , pode-se adotar  $\text{TRRF} < 60\text{ min}$ .
- Para Vigas secundarias das edificações entre  $30\text{ m} < h < 80\text{ m}$ , pode-se adotar  $\text{TRRF} < 90\text{ min}$ .

**IT 8 (SP) - A.2.5:**

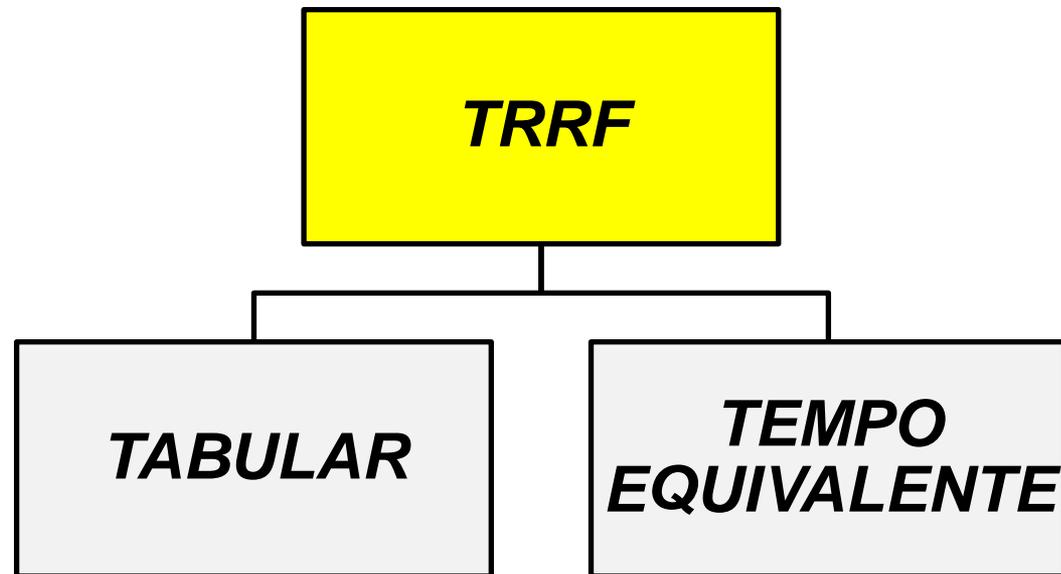
## 2.2. TRRF

- O elemento estrutural situado no exterior da edificação pode ser considerado isento de TRRF, quando o seu afastamento das aberturas existentes na fachada for suficiente para garantir que a sua elevação de temperatura não superará a temperatura crítica considerada.
- Os TRRF dos elementos estruturais do subsolo, cujo dano possa causar colapso progressivo das estruturas dos pavimentos acima do solo, não poderão ser inferiores ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo. **NBR 14323 (2001), IT 8 AL e IT 8 SP**
- **Admite-se o procedimento para a redução do TRRF (Anexo D), excetuando-se as edificações do Grupo L (explosivos) e das Divisões M-1 (túneis), M-2 (parques de tanques) e M-3 (centrais de comunicação e energia).**

➤ **IT 8 CBM-AL**

## 2.2. TRRF

- TRRF: Tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.
- Os TRRF dos elementos construtivos são fornecidos pela ITs do Corpo de Bombeiros. Na ausência usa-se a NBR 14432 (2001)



## 2.2. TRRF: TABULAR

Ocupação/uso	Altura da edificação (em metro)						
	$h \leq 6$	$6 < h \leq 12$	$12 < h \leq 23$	$23 < h \leq 30$	$30 \leq h \leq 80$	$80 < h \leq 120$	$120 < h \leq 150$
Residência	30	30	60	90	120	120	150
Hotel	30	60	60	90	120	150	180
Supermercado	60	60	60	90	120	150	150
Escritório	30	60	60	90	120	120	150
Shopping	60	60	60	90	120	150	150
Escola	30	30	60	90	120	120	150
Hospital	30	60	60	90	120	150	180
Igreja	60	60	60	90	120	150	180

TRRF = 120 min

**RESUMO DAS INSTRUÇÕES TÉCNICAS (ITs) DO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO.**

# 2.2. TRRF: TABULAR

Tabela A.1 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S <sub>2</sub> h <sub>s</sub> > 10 m	Classe S <sub>1</sub> h <sub>s</sub> ≤ 10 m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6 m	Classe P <sub>2</sub> 6 m < h ≤ 12 m	Classe P <sub>3</sub> 12 m < h ≤ 23 m	Classe P <sub>4</sub> 23 m < h ≤ 30 m	Classe P <sub>5</sub> h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

*"Os tempos entre () parênteses podem ser usados em subsolo nos quais a área bruta de cada pavimento seja menor ou igual a 500 m<sup>2</sup> e em edificações nas quais cada pavimento acima do solo tenha área menor ou igual a 750 m<sup>2</sup>" - NBR 14432*

# 2.2. TRRF: TABULAR

## Anexo B (normativo) Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Tabela B.1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral ( <i>shopping centers</i> )

# 2.2. TRRF: TABULAR

Tabela A

Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

Para a classificação detalhada das ocupações (Grupo e Divisão), consultar a Tabela 1 do Regulamento de Segurança contra Incêndio.

Grupo	Ocupação/Use	Divisão	Profundidade do subsolo h		Altura da edificação h							
			Classe S2 hs > 10m	Classe S1 hs ≤ 10m	Classe P1 h ≤ 6m	Classe P2 6m < h ≤ 12m	Classe P3 12m < h ≤ 23m	Classe P4 23m < h ≤ 30m	Classe P5 30m < h ≤ 80m	Classe P 6 80m < h ≤ 120m	Classe P 7 120m < h ≤ 150m	Classe P8 150m < h ≤ 250m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	ver item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	-	-	-
		J-3	90	60	30	60	60	120	120	-	-	-
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	-	-	-	-	-	-	
M	Especial	M-1	150	150	150	-	-	-	-	-	-	
		M-5	120	90	60	60	90	120	-	-	-	
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	

## ANEXO A - INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08/2020 – CBM/AL

O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo

# 2.2. TRRF: TABULAR

## CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E TABELAS DE EXIGÊNCIAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO QUANTO À OCUPAÇÃO

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais.
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos. Capacidade máxima de 16 leitos.
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos, e assemelhados.
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais).
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Armarinhos, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, armarinhos, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Centro de Compras	Centros de compras em geral (Shopping Center)

TABELA 1 - INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 01/2020, PARTE 2 – CBM/AL

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

- O TRRF pode ser reduzido em até 30 min, se  $(t_e) < \text{TRRF} - 30$ .
- O TRRF resultante não pode ser inferior a 15 min.
- O método do tempo equivalente apresentado pela NBR 15200 e 14432 é um método semelhante ao original apresentado pelo Eurocode.
- O tempo equivalente  $(t_e)$  é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot q_{fi,k} \cdot W \text{ (min)}$$

$$t_{eq} = 0,77 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot q_{fi,k} \cdot W \text{ (min)} \quad \text{CBM-AL}$$

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot \underbrace{q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W}_{\text{Deve ser maior que } 300 \text{ MJ/m}^2} \text{ (min)}$$

Deve ser maior que 300 MJ/m<sup>2</sup>

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$



Tabela C.1 - Valores das cargas de incêndio específicas

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_f$ ) MJ/m <sup>2</sup>
Residencial	Alojamentos estudantis	A-1	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300

**NBR 14432 (2001)**

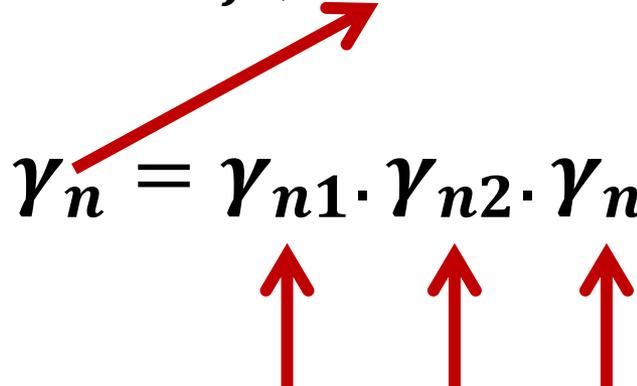
**IT 14 – CBM/AL**

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3}$$



Chuveiros automáticos	Brigada contra incêndio	Detector automático
$\gamma_{n1}$	$\gamma_{n2}$	$\gamma_{n3}$
0,6	0,9	0,9

*Obs.:  $\gamma_{n1}, \gamma_{n2}, \gamma_{n3} = 1$  (caso não existam as proteções)*

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$$

$$\gamma_{s1} \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{A_f \cdot (h + 3)}{100000} \\ 1 < \gamma_{s1} < 3 \end{array} \right.$$

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$$

Área de Piso do Compartimento ( $m^2$ )

altura até o piso habitável mais alto do edifício (m)

$$\gamma_{s1} = \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{A_f \cdot (h + 3)}{100000} \\ 1 < \gamma_{s1} < 3 \end{array} \right.$$

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$$

Valores de $\gamma_{s2}$	Risco de ativação do Incêndio	Exemplo
0,85	Pequena	Biblioteca, correio, escola, galeria de arte, igreja, museu, livraria, frigorífico, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral.
1	Normal	Cinema, escritório, consultório médico, farmácia, hotel, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas.
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$$

Tabela D2 - Risco de ativação ( $\gamma_{s2}$ )

Valores de $\gamma_{s2}$	Risco de ativação do incêndio	Exemplos de ocupação
0,85	Pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu
1,0	Normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, supermercado, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

*Nota: as ocupações não relacionadas poderão ser enquadradas por similaridade.*

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$


$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left\{ 0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \left[ 1 + 10 \frac{A_v}{A_f} \right] \frac{A_h}{A_f}} \right\} \geq 0,5$$

$H$ : é a altura do compartimento, em metros;

$A_v$ : é a área das aberturas verticais, em  $m^2$ ;

$A_h$ : é a área das aberturas horizontais, em  $m^2$ ;

$A_f$ : é a área de piso, em  $m^2$ .

# TRRF: MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left\{ 0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \left[ 1 + 10 \frac{A_v}{A_f} \right] \frac{A_h}{A_f}} \right\} \geq 0,5$$

$$0,025 < A_v/A_f < 0,3$$

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ Determinar o TRRF pelos métodos Tabular e Equivalente de um edifício de escritórios (*São Paulo*) com as seguintes características:

- ❑ **Altura do edifício:** 63 m;
- ❑ **Altura do andar:** 3,20 m;
- ❑ **Área do andar:** 820 m<sup>2</sup>;
- ❑ **Área de ventilação do andar:**

$$A_v/A_f = 0,17 \text{ m}^2/\text{m}^2$$



*Existe chuveiro chuveiros automáticos, brigada contra incêndio, e detecção automática.*

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

## ➤ Método Tabular: Instruções Técnicas IT 8 (CB-SP)

Ocupação/uso	Altura da edificação (em metro)						
	$h \leq 6$	$6 < h \leq 12$	$12 < h \leq 23$	$23 < h \leq 30$	$30 \leq h \leq 80$	$80 < h \leq 120$	$120 < h \leq 150$
Residência	30	30	60	90	120	120	150
Hotel	30	60	60	90	120	150	180
Supermercado	60	60	60	90	120	150	150
Escritório	30	60	60	90	120	120	150
Shopping	60	60	60	90	120	150	150
Escola	30	30	60	90	120	120	150
Hospital	30	60	60	90	120	150	180
Igreja	60	60	60	90	120	150	180

TRRF = 120 min

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \text{ (min)}$$



Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2	300
	Agências de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	100
	Consultórios médicos ou odontológicos	D-1	200
	Copiadora	D-3	400
	Encadernadoras	D-3	1 000
	<b>Escritórios</b>	D-1	<b>700</b>
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
	Lavanderias	D-1	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
Processamentos de dados	D-1	400	

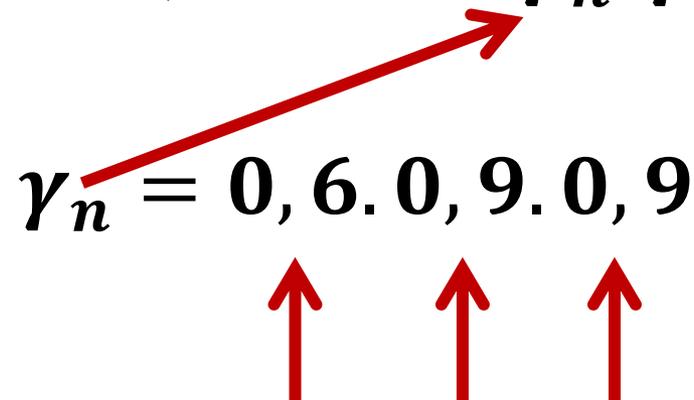
**NBR 14432 (2001)**

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot 700 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W$$

$$\gamma_n = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$



Chuveiros automáticos	Brigada contra incêndio	Detector automático
$\gamma_{n1}$	$\gamma_{n2}$	$\gamma_{n3}$
0,6	0,9	0,9

*Obs.:  $\gamma_{n1}, \gamma_{n2}, \gamma_{n3} = 1$  (caso não existam as proteções)*

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot 700 \cdot 0,486 \cdot \gamma_s \cdot W$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$$

Área de Piso do Compartimento ( $m^2$ )

$$\gamma_{s1} = \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{A_f \cdot (h + 3)}{100000} \\ 1 < \gamma_{s1} < 3 \end{array} \right.$$

Altura da edificação (m)

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07.700.0,486.\gamma_s.W$$

$$\gamma_s = 1,54.\gamma_{s2}$$

$$\gamma_{s1} \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{820.(63 + 3)}{100000} \\ 1 < \gamma_{s1} < 3 \end{array} \right.$$

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

$$t_{eq} = 0,07.700.0,486.\gamma_S.W$$

(min)

$$\gamma_S = 1,54.1$$

Valores de $\gamma_{s2}$	Risco de ativação do Incêndio	Exemplo
0,85	Pequena	Biblioteca, correio, escola, galeria de arte, igreja, museu, livraria, frigorífico, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral.
1	Normal	Cinema, escritório, consultório médico, farmácia, hotel, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas.
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) é dado por.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot 700 \cdot 0,486 \cdot 1,54 \cdot 1,05$$


$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left\{ 0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \left[ 1 + 10 \frac{A_v}{A_f} \right] \frac{A_h}{A_f}} \right\} \geq 0,5$$

$H$ : é a altura do compartimento, em metros;

$A_v$ : é a área das aberturas verticais, em  $m^2$ ;

$A_h$ : é a área das aberturas horizontais, em  $m^2$ ;

$A_f$ : é a área de piso, em  $m^2$ .

# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 1 - SILVA (2012)

➤ O tempo equivalente ( $t_e$ ) será:

$$t_{eq} = 39 \text{ min}$$

➤ A norma diz que se:

$TRRF - 30 < "t_e" < TRRF \rightarrow$  Adota-se o " $t_e$ ";

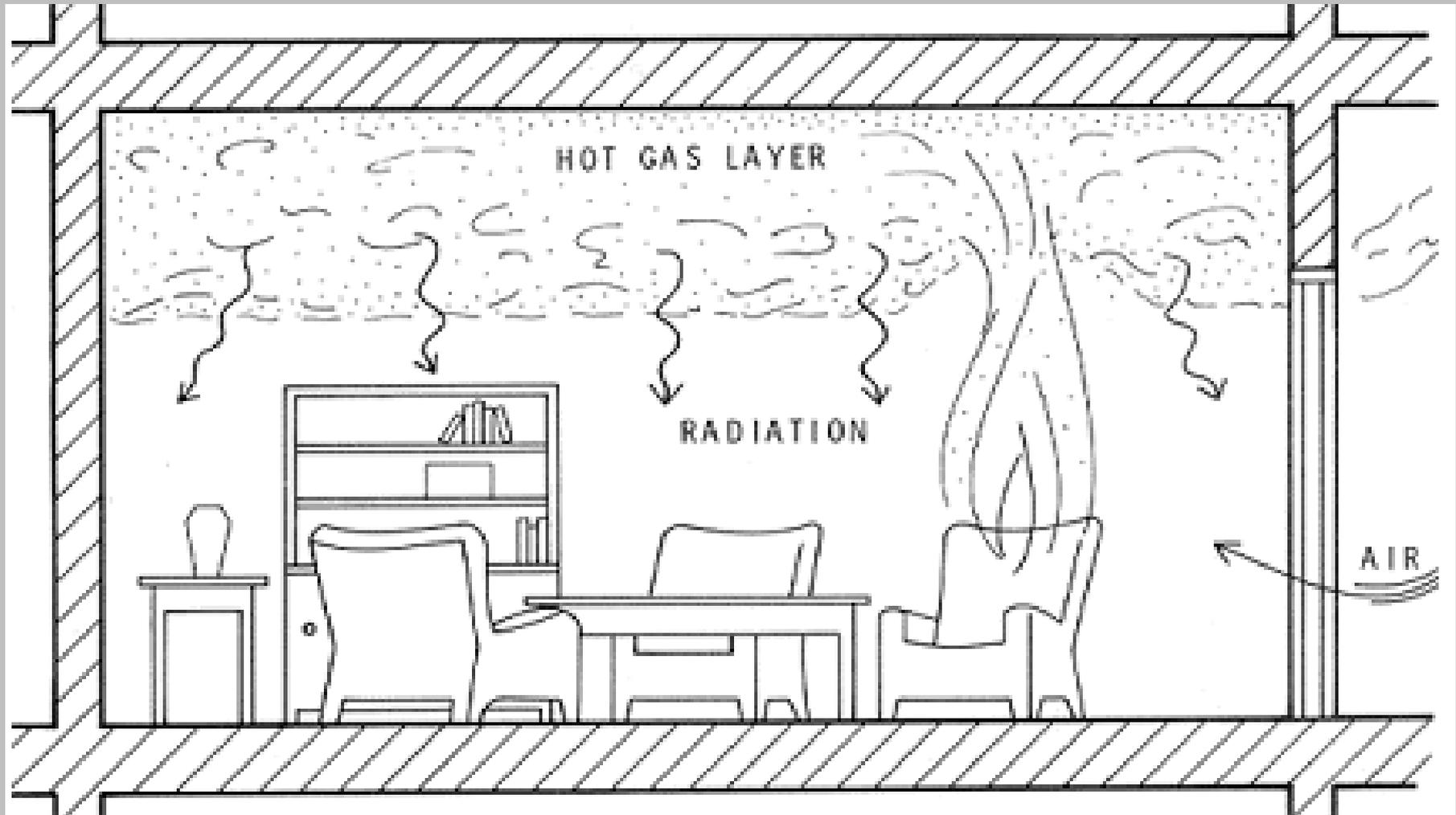
Se " $t_e$ "  $< TRRF - 30 \rightarrow$  Adota-se o " $TRRF - 30$ ";

Se " $t_e$ "  $> TRRF \rightarrow$  Adota-se o " $TRRF$ ";

➤ ***Logo o TRRF poderá ser = 90 min***

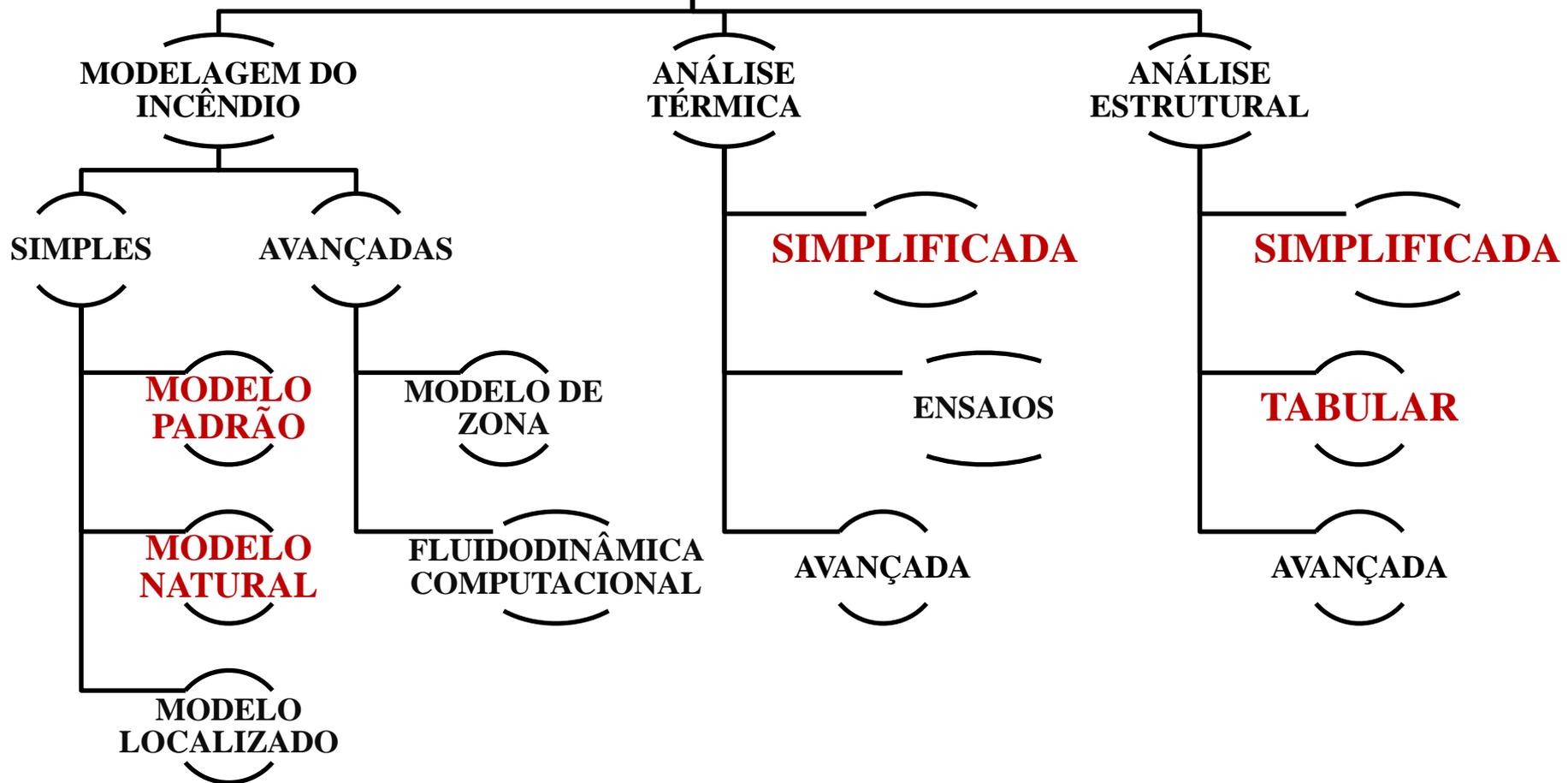
# **3. ANÁLISE ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

# 3. ANÁLISE ESTRUTURAL EM INCÊNDIO



# 3. ANÁLISE ESTRUTURAL EM INCÊNDIO

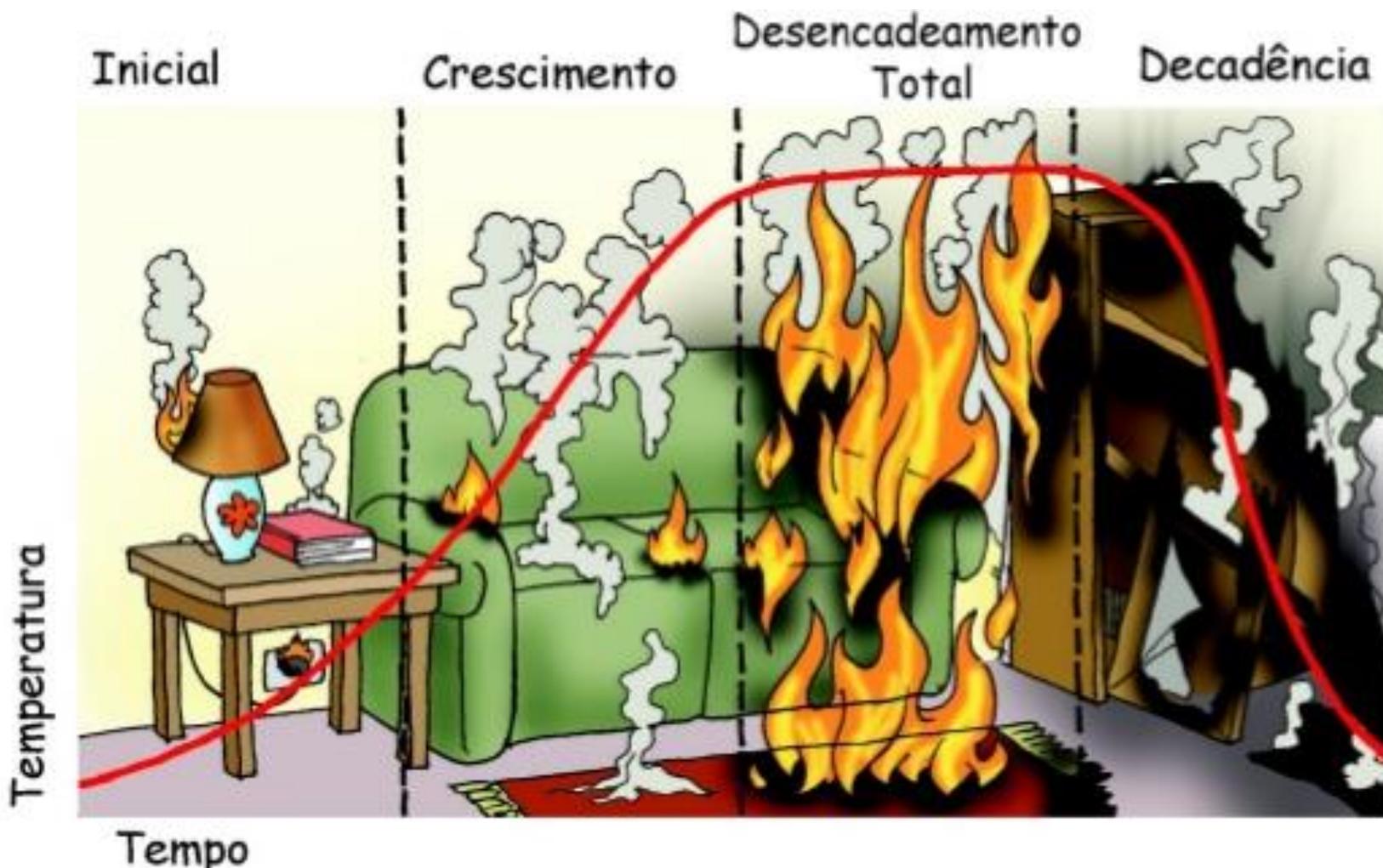
## ETAPAS DA ANÁLISE ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO



## **3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO**

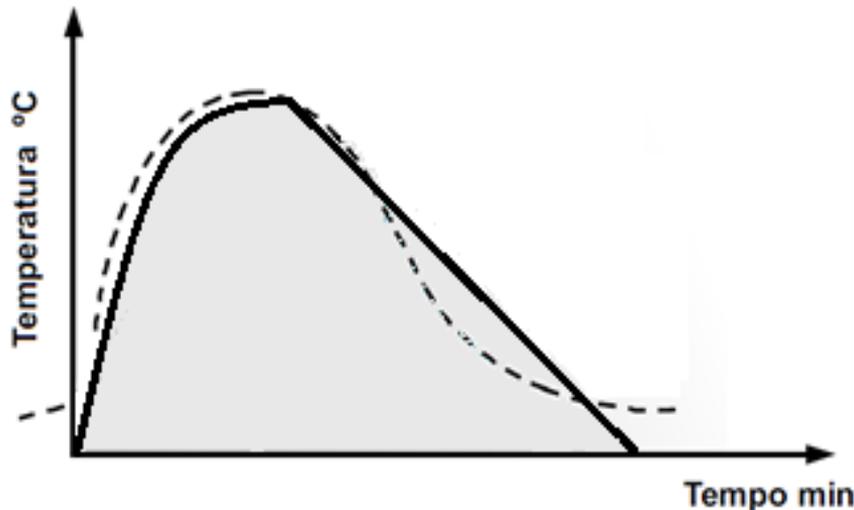
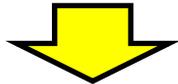
# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

## ➤ CURVA INCÊNDIO REAL:



# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

## ➤ INCÊNDIO NATURAL



### Modelo Natural Compartimentado/Paramétrico

- Depende:** Carga de incêndio; grau de ventilação; da vedação; área e altura.
- Cada compartimento tem um modelo paramétrico.
- Mais utilizado em estudos acadêmicos e em projetos de alto porte.

# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

## ➤ INCÊNDIO NATURAL

- $q_{fi,d}$  – valor de cálculo da carga de incêndio relacionada à área total do compartimento, respeitando os limites de  $50 \leq q_{fi,d} \leq 1000$  [MJ/m<sup>2</sup>];
- $b$  – inércia térmica das vedações do compartimento em J/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>°C, calculado por  $b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$ , sendo  $\rho$  a massa específica, em kg/m<sup>3</sup>,  $c$  o calor específico, em J/kg° C, e  $\lambda$  a condutividade térmica, em W/m° C, do material de vedação do ambiente, o intervalo  $100 < \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda} \leq 2200$  deve ser atendido;
- $O_{máx}$  – grau de ventilação, também expresso como fator de abertura,  $O_{máx} = (A_v / A_t) \cdot \sqrt{h}$  [m<sup>1/2</sup>], sendo  $h$  a altura média das aberturas no compartimento,  $A_v$  a área de ventilação e  $A_t$  a área total do compartimento avaliado. Deve-se respeitar os limites:  $0.02 \leq O_{máx} \leq 0.20$ ;
- $t_{lim}$  – tempo-limite mínimo, determinado pela velocidade de desenvolvimento do incêndio: 25 min para lento (espaço público), 20 min para médio (residência, hospital, hotel, escritório, sala de aula) e 15 min para rápido (biblioteca, shopping, cinema, teatro);

# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

## ➤ INCÊNDIO NATURAL

Na primeira etapa, determina-se o tempo em que ocorre a temperatura máxima dos gases ( $t_{máx}$ ) dentro de um compartimento, segundo a Equação 2.2.

$$t_{\max} = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{q_{fi,d}}{O_v} \right) \geq t_{\lim} \quad (2.2)$$

Nos casos em que  $t_{max} = t_{lim}$ , o incêndio é considerado como controlado pelo combustível e quando  $t_{max} > t_{lim}$ , o incêndio é considerado controlado pela ventilação.

No segundo passo, determina-se o ramo ascendente da curva natural até o tempo  $t_{max}$ , conforme a Equação 2.3;

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot \left( 1 - 0.324 \cdot e^{-0.2t^*} - 0.204 \cdot e^{-1.7t^*} - 0.472 \cdot e^{-19t^*} \right), \quad (2.3)$$

# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

Na Equação 2.3, o  $\theta_g$  é a temperatura dos gases dentro do compartimento, expressa em °C, e  $t^*$  é o tempo fictício em horas, calculado segundo a Equação 2.4 (para incêndio controlado pela ventilação) e calculado conforme a Equação 2.5 (para incêndio controlado pelo combustível).

$$t^* = t \cdot \Gamma, \quad (2.4)$$

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\text{lim}}, \quad (2.5)$$

onde  $t$  é o tempo em horas e os parâmetros  $\Gamma$  e  $\Gamma_{\text{lim}}$  são determinados pelas Equações 2.6 e 2.7:

$$\Gamma = \frac{(O_v/b)^2}{(0.04/1160)^2}, \quad (2.6)$$

$$\Gamma_{\text{lim}} = k \cdot \frac{(O_{\text{lim}}/b)^2}{(0.04/1160)^2}, \quad (2.7)$$

$O_{\text{lim}}$  é o grau de ventilação-limite determinado por  $O_{\text{lim}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot (q_{f,i,d}/t_{\text{lim}})$  e  $k$  é um coeficiente que é tomado igual a 1, ou calculado conforme Equação 2.8 caso sejam atendidas todas as seguintes condições:  $O_v > 0.04$ ;  $q_{f,i,d} < 75$ ; e  $b < 1160$ .

# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

$$k = 1 + \left( \frac{O - 0.04}{0.04} \right) \cdot \left( \frac{q_{fi,d} - 75}{75} \right) \cdot \left( \frac{1160 - b}{1160} \right), \quad (2.8)$$

No terceiro passo, determina-se o ramo de resfriamento descendente da curva paramétrica, conforme as Equações 2.9, 2.10 ou 2.11;

$$\theta_g = \theta_{g,max} - 625 \cdot (t \cdot \Gamma - \phi \cdot \chi), \quad \text{para } \phi \leq 0.5; \quad (2.9)$$

$$\theta_g = \theta_{g,max} - 250 \cdot (3 - t_d) \cdot (t \cdot \Gamma - \phi \cdot \chi), \quad \text{para } 0.5 < \phi \leq 2; \quad (2.10)$$

$$\theta_g = \theta_{g,max} - 250 \cdot (t \cdot \Gamma - \phi \cdot \chi), \quad \text{para } \phi > 2; \quad (2.11)$$

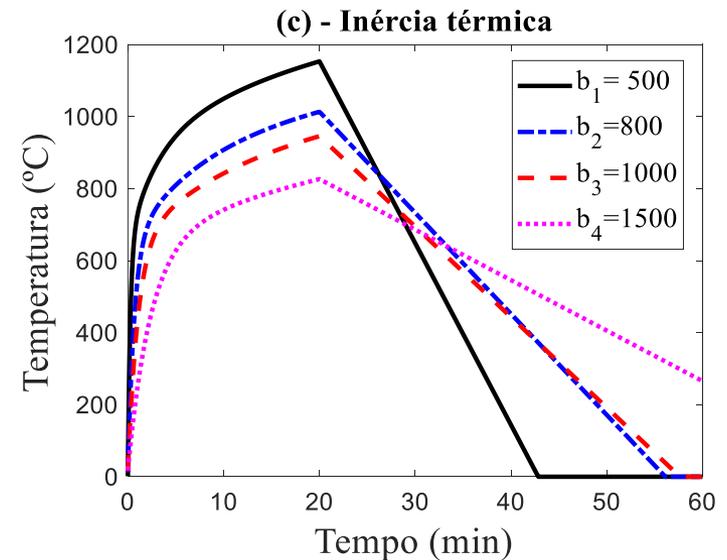
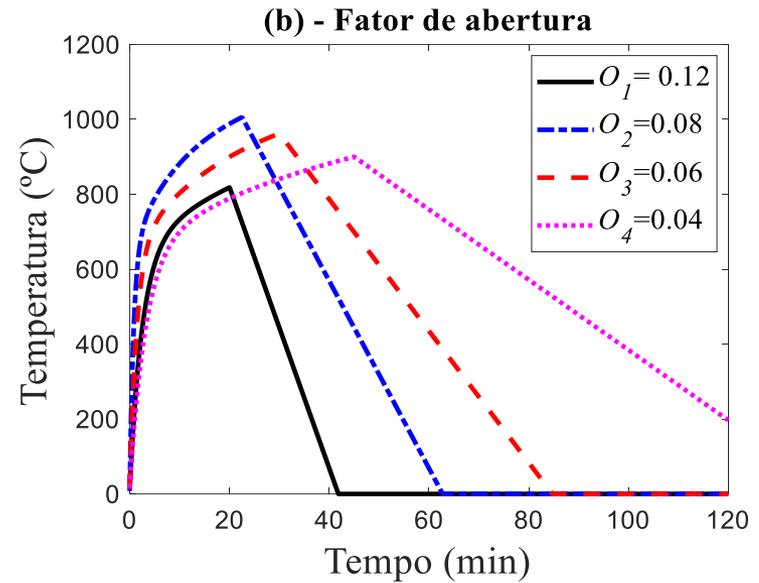
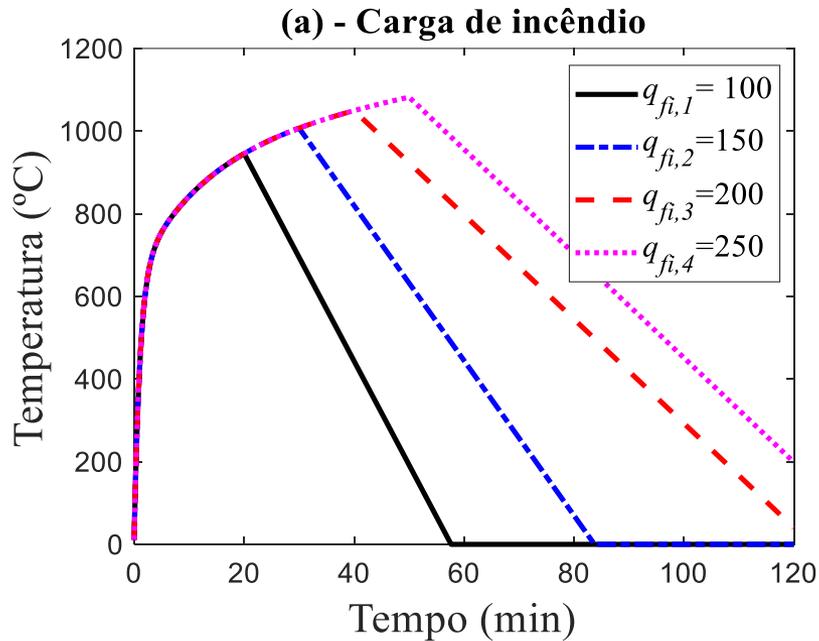
sendo o parâmetro  $\chi = 1$ , para o incêndio controlado pela ventilação, ou dado pela Equação 2.12, caso o incêndio seja controlado pelo combustível. O parâmetro  $\phi$  é determinado pela Equação 2.13 e  $\theta_{g,max}$  é a temperatura máxima dos gases obtida adotando o tempo  $t_{máx}$ .

$$\chi = \frac{t_{lim}}{0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{q_{fi,d}}{O} \right)}, \quad (2.12)$$

$$\phi = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{q_{fi,d}}{O} \right) \cdot \Gamma, \quad (2.13)$$

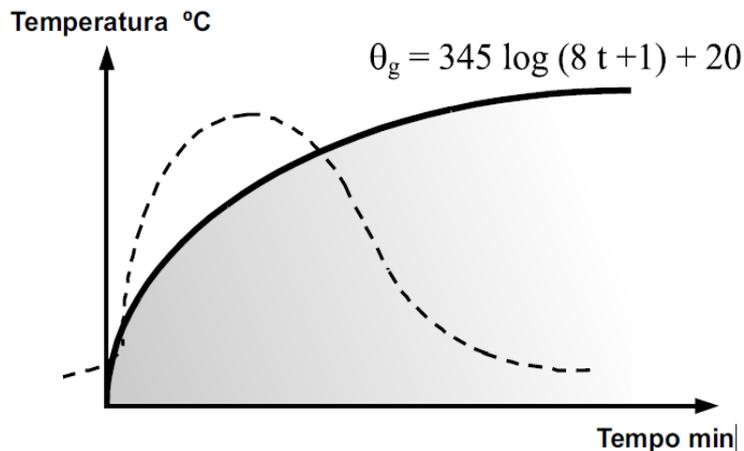
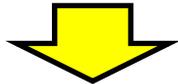
# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

## ➤ INCÊNDIO NATURAL



# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

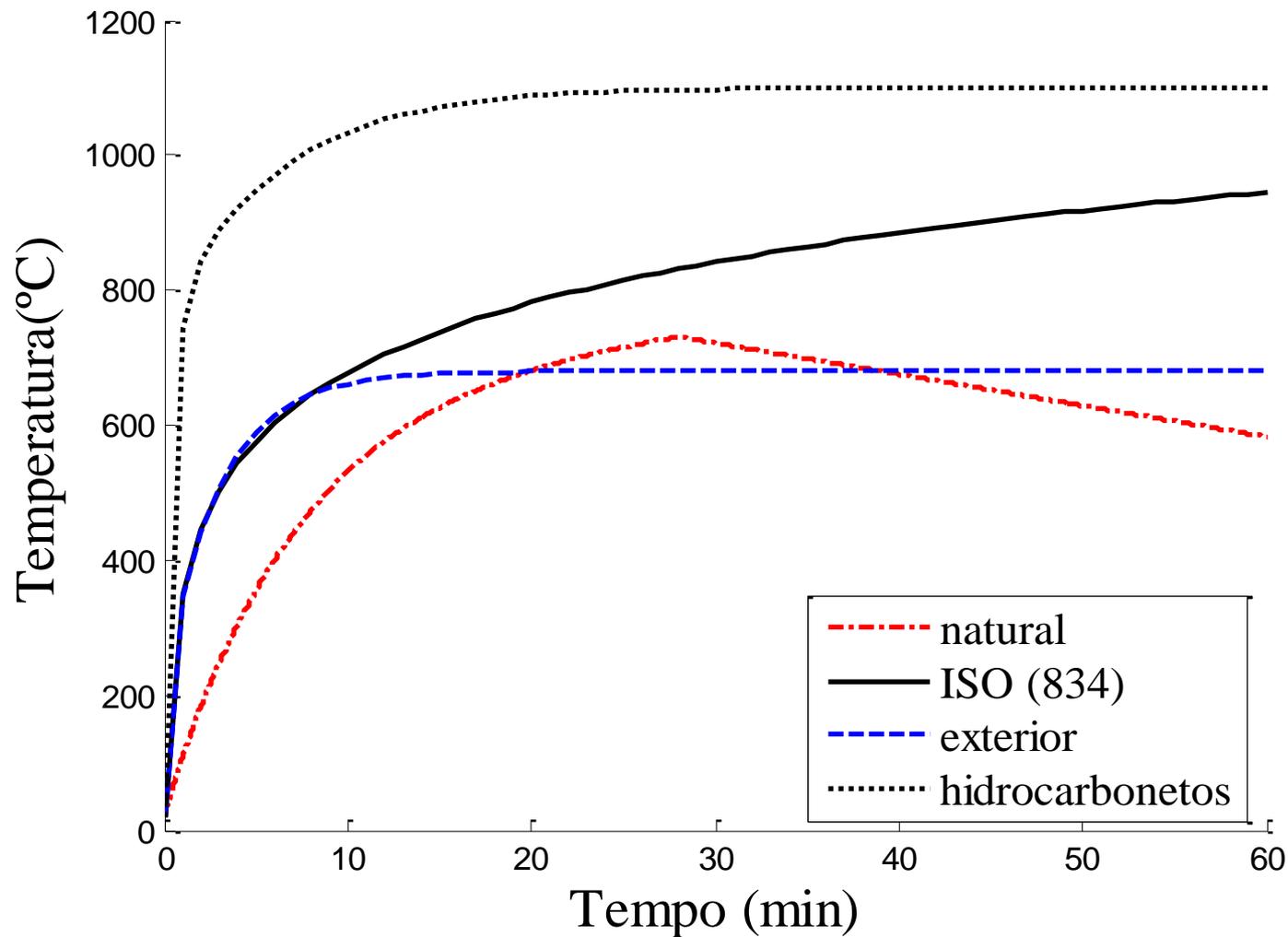
## ➤ INCÊNDIO PADRÃO



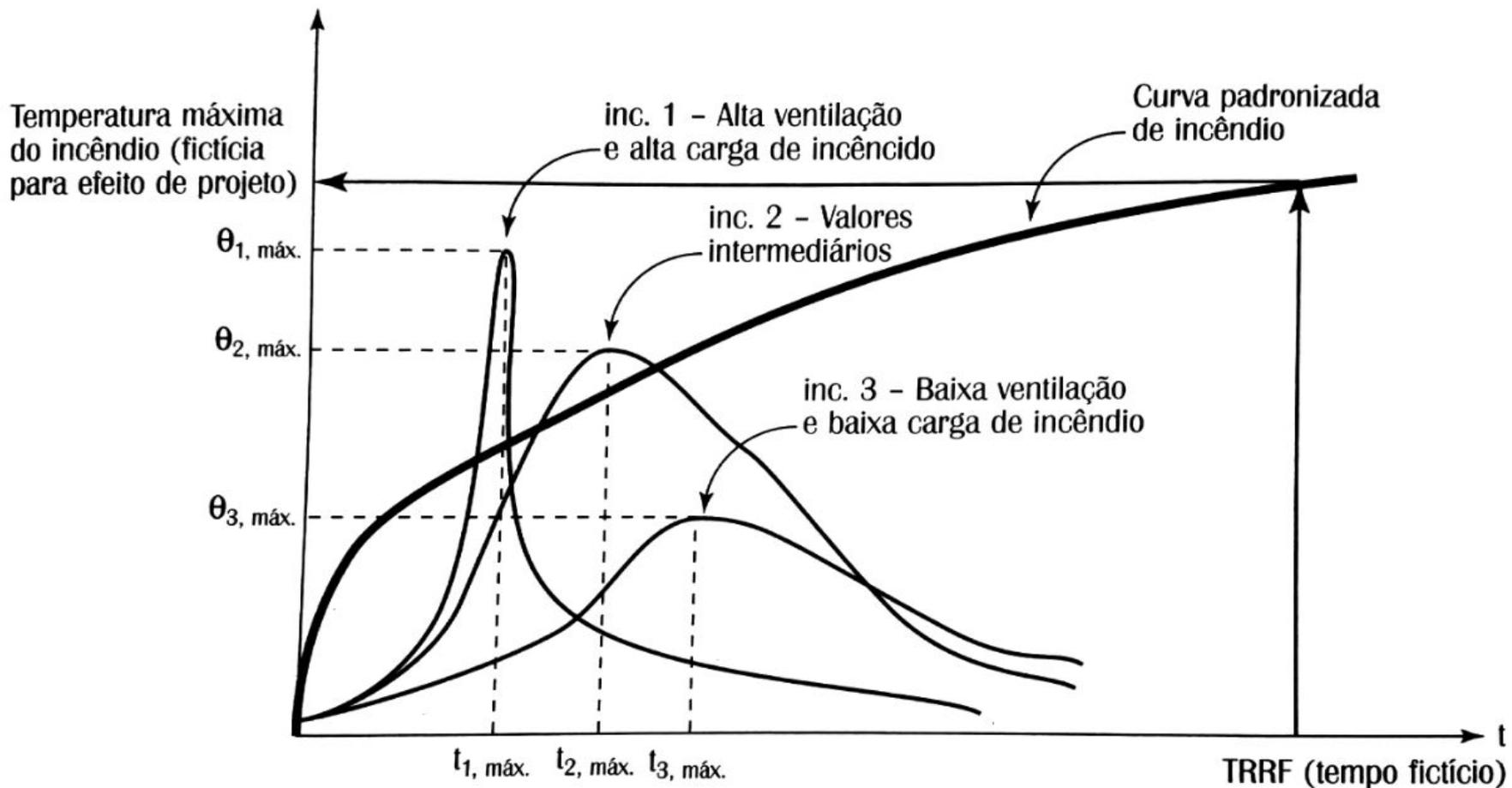
- ❑ **Obtidas:** Ensaios de materiais de construção em fornos com temperatura padronizada.
- ❑ As NBR 14432 e 5628 recomendam a equação ISO 834 (1990):

$$\theta_g = \theta_o + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1)$$

# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO

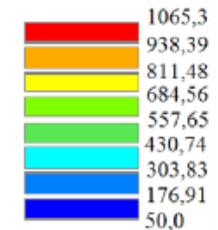
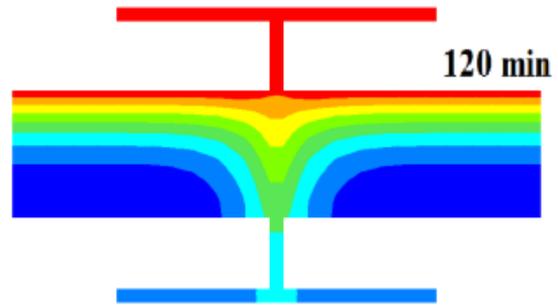
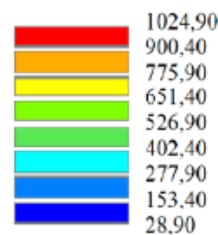
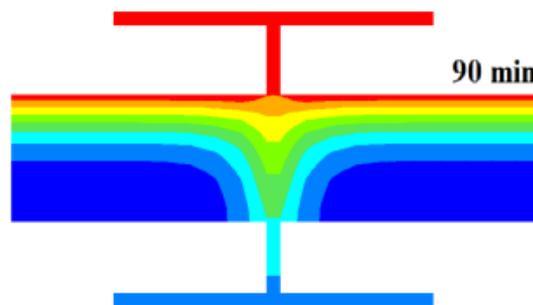
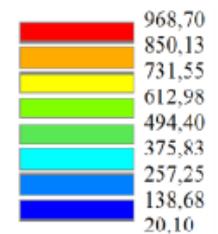
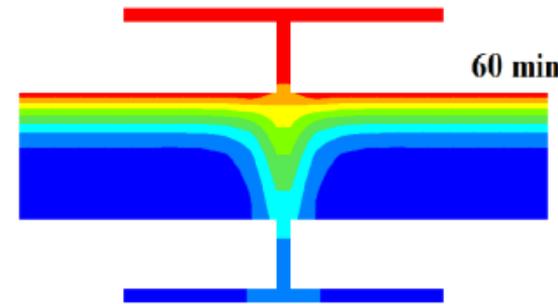
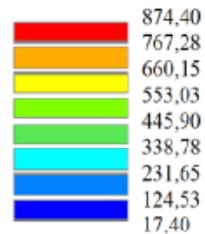
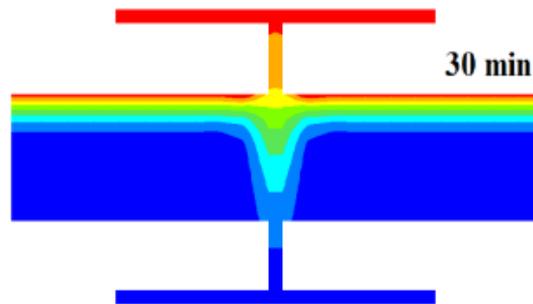
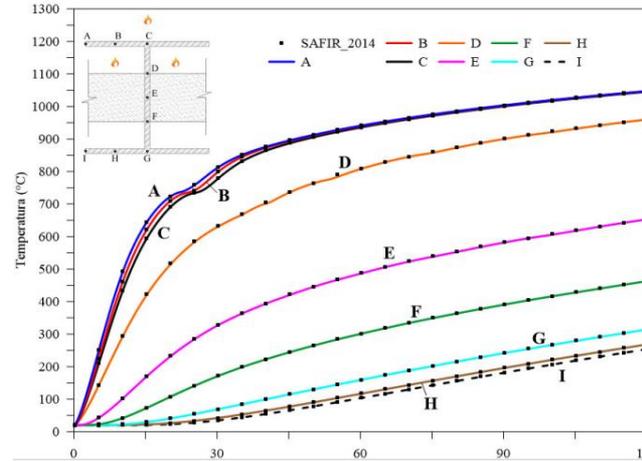


# 3.1. MODELAGEM DO INCÊNDIO



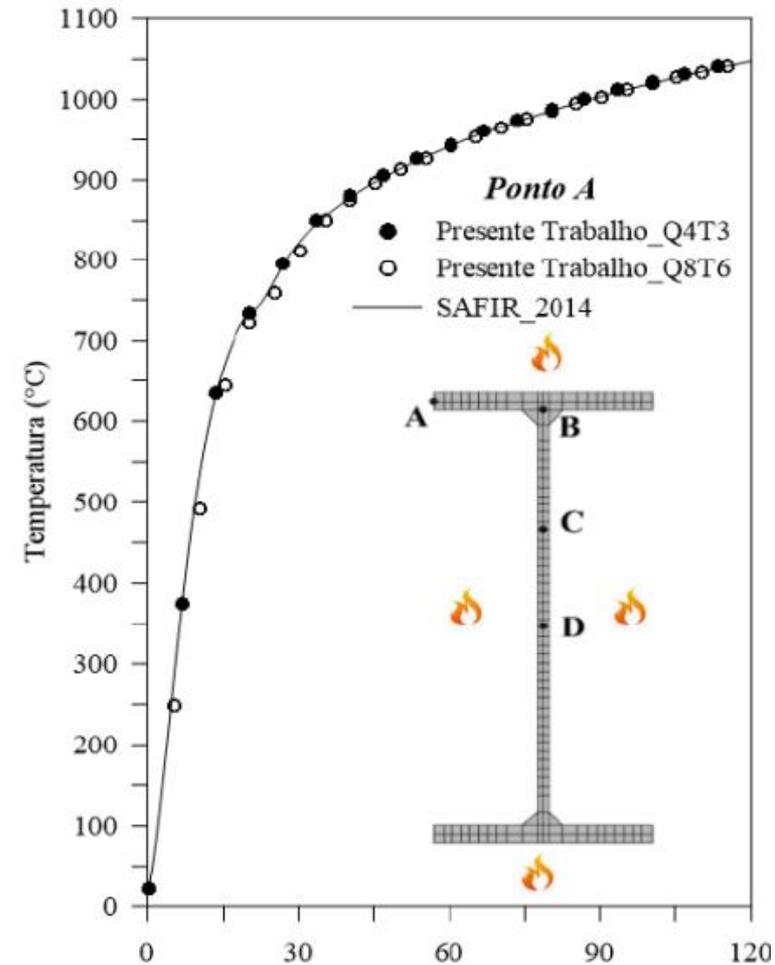
## **3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA**

# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA



## 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

- Os conhecimentos de transferência de calor permitem a determinação da temperatura no elemento sujeito ao modelo de incêndio.



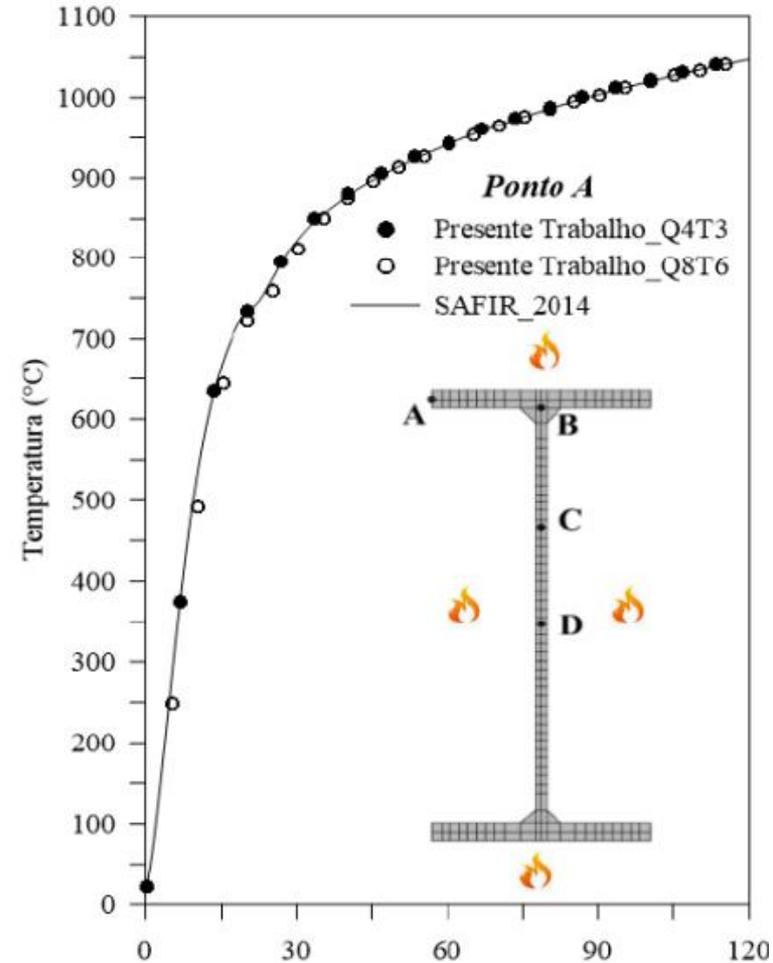
*Pires et al. (CILAMCE 2015)*

## 2.2. ANÁLISE TÉRMICA

- Os conhecimentos de transferência de calor permitem a determinação da temperatura no elemento sujeito ao modelo de incêndio.

**A NBR 14323 fornece duas expressões distintas:**

- Estruturas sem proteção térmica;
- Estruturas com proteção térmica.



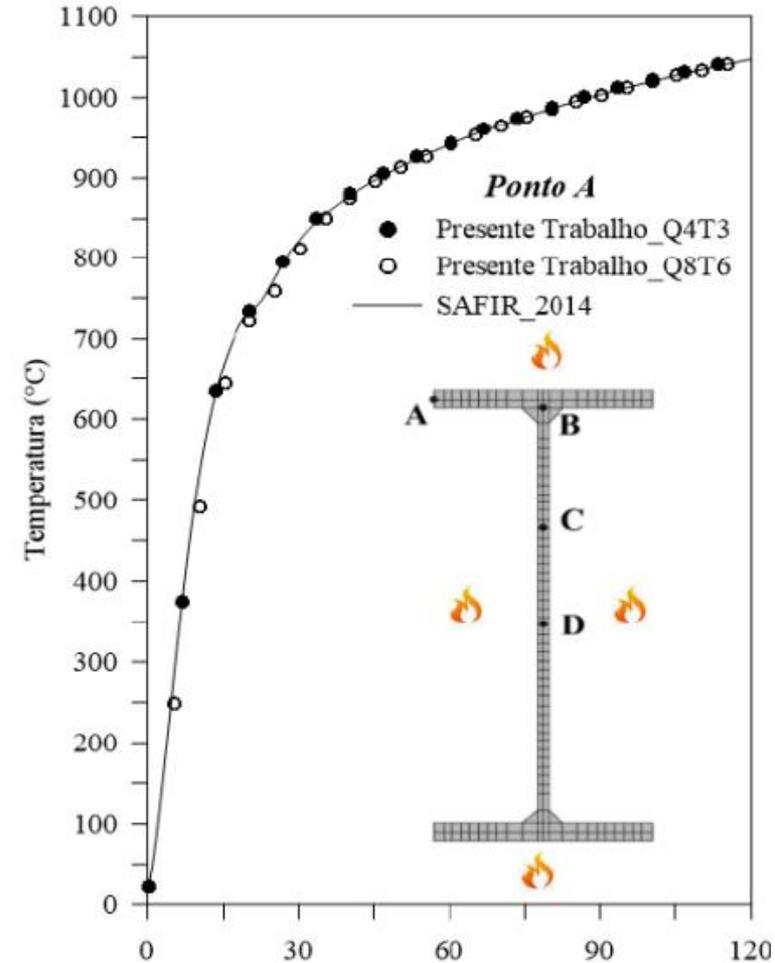
Pires et al. (CILAMCE 2015)

# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

## ➤ ESTRUTURAS SEM PROTEÇÃO TÉRMICA:

$$\Delta\theta_a = k_{sh} \frac{F}{ca \cdot \rho a} \cdot h \cdot \Delta t$$

- ❑ F - é o fator de massividade em m<sup>-1</sup>;
- ❑ ca - é o calor específico da estrutura, (J/(kg°C));
- ❑ pa - é a massa específica da estrutura (kg/m<sup>3</sup>);
- ❑ h - é o valor do fluxo de calor por unidade de área, em W/m<sup>2</sup>;
- ❑ Δt: é o intervalo de tempo, em minutos. O valor dessa variável em segundos não pode ser maior que 25.000F. Entretanto, a norma recomenda um Δt ≤ 5 s.



Pires et al. (CILAMCE 2015)

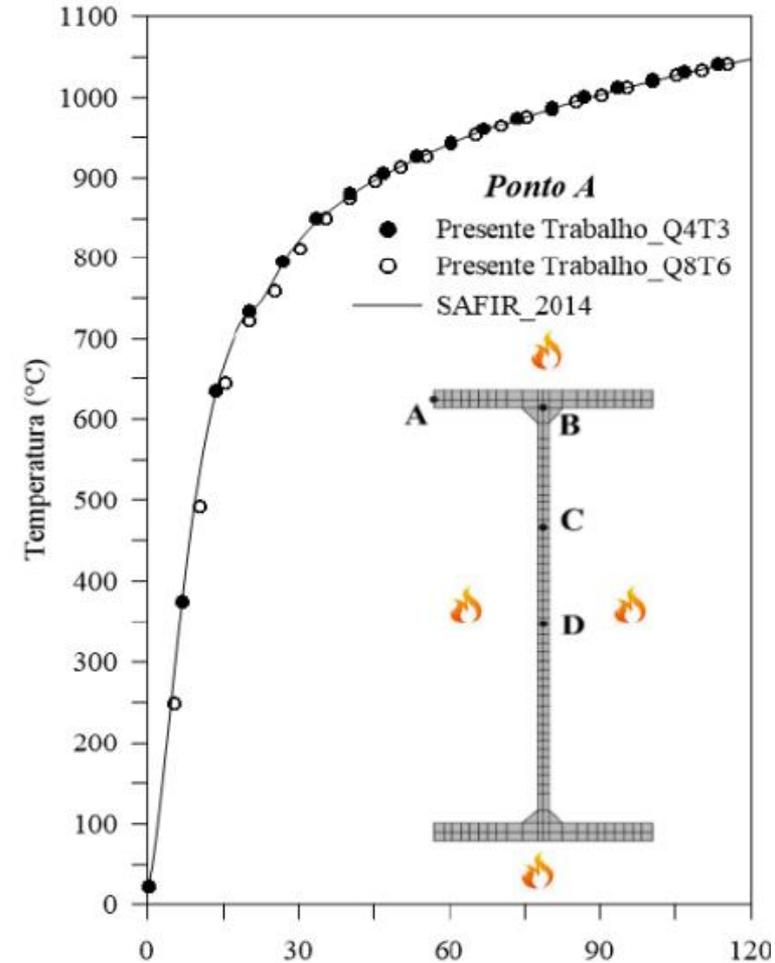
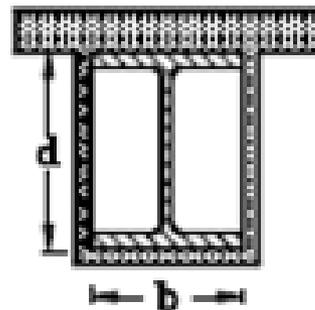
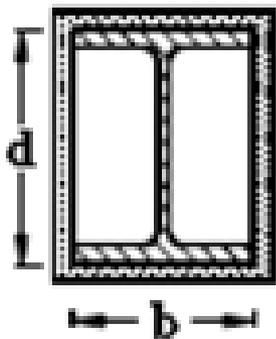
# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

## ➤ ESTRUTURAS SEM PROTEÇÃO TÉRMICA:

$$\Delta\theta_a = k_{sh} \frac{F}{ca. \rho a} \cdot h \cdot \Delta t$$

***Ksh***: Fator de correção igual a 1 ou (para perfis I e H) determinado conforme:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{(u/A_g)_b}{(u/A_g)}$$



*Pires et al. (CILAMCE 2015)*

## 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

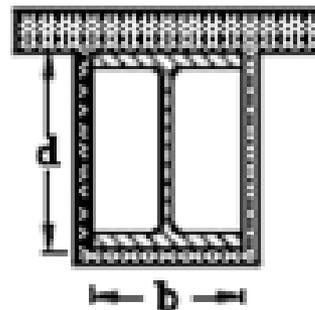
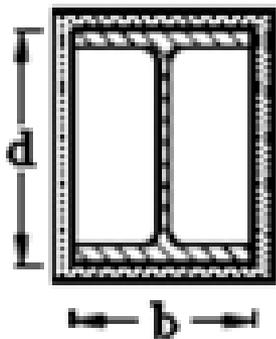
### ➤ ESTRUTURAS SEM PROTEÇÃO TÉRMICA:

$$\Delta\theta_a = k_{sh} \frac{F}{ca. \rho a} \cdot h \cdot \Delta t$$

***Ksh: Fator de correção igual a 1 ou (para perfis I e H) determinado conforme:***

$$k_{sh} = 0,9 \frac{(u/A_g)_b}{(u/A_g)}$$

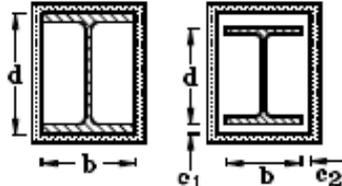
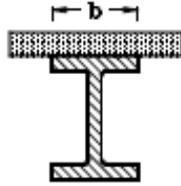
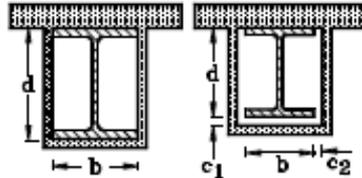
*Fator de massividade calculado como se o perfil tivesse uma proteção em caixão*



# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

- **Fator de massividade/forma (F):** relação entre a área exposta ao fogo e o volume aquecido do corpo.

$$F = \frac{u}{A} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

<p>Proteção tipo contomo de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $F = \frac{\text{perímetro da seção da peça de aço}}{\text{área da seção da peça de aço}}$ 	<p>Proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $F = \frac{2(b + d)}{\text{área da seção da peça de aço}}$ 
<p>Proteção tipo contomo, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados:</p> $F = \frac{\text{perímetro da seção da peça de aço} - b}{\text{área da seção da peça de aço}}$ 	<p>Proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados:</p> $F = \frac{2d + b}{\text{área da seção da peça de aço}}$  <p>Para <math>c_1</math> e <math>c_2</math> superior a <math>d/4</math>, deve-se utilizar bibliografia especializada</p>

## 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

1. Adotar  $\theta_a(0) = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ;
2. Toma-se  $t = 5\text{ segundos} = 5/60\text{ minutos}$ ;
3. Determina-se  $\theta_g = \theta_a(t) + 345 \log(8t + 1)$
4. Determina-se o *fluxo radiante*:  
 $hr(t) = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \text{emis} \cdot [(\theta_g(t) + 273)^4 - (\theta_a(t - \Delta t) + 273)^4]$   
**emis = (0,3-0,7) (NBR recomenda 0,5)**  
Para  $\Delta t = \frac{5}{60}\text{ minutos}$ ;
5. Determina-se o *fluxo convectivo*:  
 $hc(t) = (25\text{ (padrão) ou } 35\text{ (natural)}) \cdot [\theta_g(t) - \theta_a(t - \Delta t)]$ ;

6. Determina-se  $h = hr + hc$ ;
7. Determina-se o  $F$ ,  $\rho a$  ( $\text{kg/m}^3$ ) e  $ca$  ( $\text{J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ );
7. Determina-se:  
$$\Delta\theta_a = \frac{F}{ca \cdot \rho a} \cdot h \cdot \Delta t$$
9. Determina-se  $\theta_a(t) = \theta_a(t - \Delta t) + \Delta\theta$ ;
9. Volta-se ao item 3, com  $t + \Delta t$  no lugar de  $t$ .

## 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

- A tabela abaixo é um exemplo da aplicação da expressão, para um elemento de aço com  $F=150 \text{ m}^{-1}$ ,  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$  e  $c_a = 600 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ .

$t(s)$	$t(\text{min})$	$\theta_g(t) (^\circ\text{C})$	$\theta_a(t) (^\circ\text{C})$	$hr (W/m^2)$	$hc (W/m^2)$	$h (W/m^2)$	$\Delta\theta (^\circ\text{C})$
0	0,0	20	20	0	0	0	0
5	0,1	97	20	321	1913	2235	0
10	0,2	147	20	675	3165	3840	1
15	0,3	185	21	1037	4091	5128	1
20	0,3	215	22	1397	4822	6219	1
25	0,4	240	23	1751	5423	7174	1
30	0,5	261	24	2098	5931	8029	1
35	0,6	280	25	2438	6368	8806	1
40	0,7	297	27	2770	6749	9519	2
45	0,8	312	28	3094	7086	10180	2
50	0,8	325	30	3410	7386	10796	2
55	0,9	338	31	3719	7656	11375	2
60	1,0	349	33	4021	7899	11920	2
65	1,1	360	35	4316	8119	12435	2

## 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

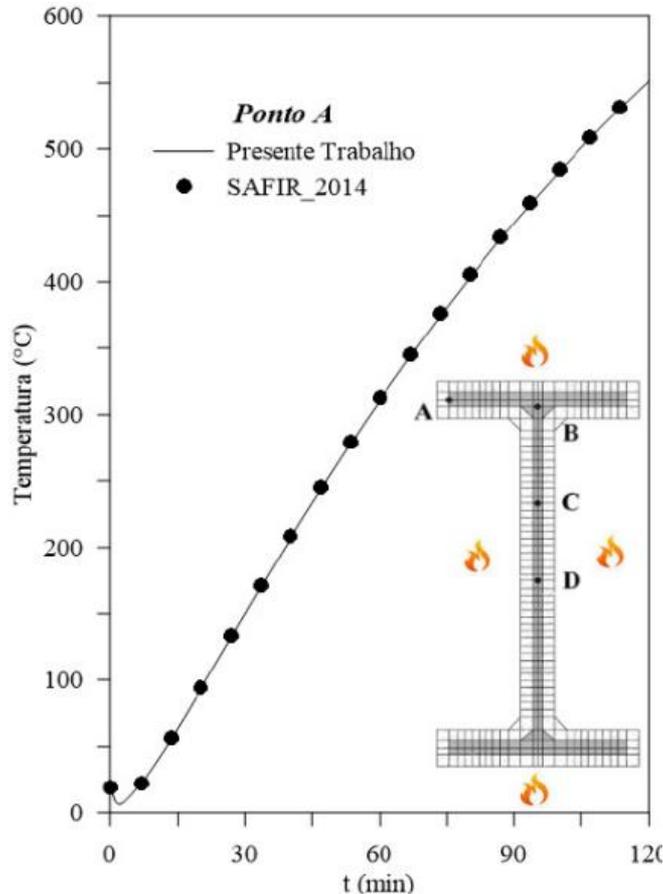
- A tabela abaixo é um exemplo da aplicação da expressão, para um elemento de aço com  $F=150 \text{ m}^{-1}$ ,  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$  e  $c_a = 600 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ .

t(s)	t(min)	$\theta_g(t)$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\theta_a(t)$ ( $^\circ\text{C}$ )	hr (W/m <sup>2</sup> )	hc (W/m <sup>2</sup> )	h (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta\theta$ ( $^\circ\text{C}$ )
760	12,7	713	526	15377	4689	20066	3
765	12,8	714	529	15297	4633	19931	3
770	12,8	715	532	15216	4578	19794	3
775	12,9	716	535	15133	4523	19656	3
780	13,0	717	539	15049	4469	19518	3
785	13,1	718	542	14963	4415	19378	3
790	13,2	719	545	14877	4361	19238	3
795	13,3	720	548	14789	4308	19098	3
800	13,3	721	551	14701	4255	18956	3
950	15,8	747	631	11735	2880	14616	2
955	15,9	747	634	11633	2842	14474	2
960	16,0	748	636	11530	2804	14334	2
965	16,1	749	638	11428	2766	14194	2
970	16,2	750	641	11326	2729	14054	2
975	16,3	750	643	11224	2692	13916	2
980	16,3	751	645	11122	2655	13778	2
985	16,4	752	647	11021	2619	13640	2

# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

## ➤ ESTRUTURAS COM PROTEÇÃO TÉRMICA:

$$\theta_a(t + \Delta t) - \theta_a(t) = \left\{ \frac{F \cdot [\theta_g(t) - \theta_a(t)] \cdot \Delta t}{\frac{tm}{\lambda m} ca \cdot \rho a \cdot \left(1 + \frac{\Phi}{3}\right)} - [\theta_g(t + \Delta t) - \theta_g(t)] \cdot \left(e^{\frac{\Phi}{10}} - 1\right) \right\}$$



$$\Phi = \frac{\rho m \cdot cm}{\rho a \cdot ca} tm \cdot F$$

- ❑  $tm$  - é a espessura do material de proteção (m);
- ❑  $\lambda m$  - É a condutividade térmica do material de proteção ( $W/m^{\circ}C$ );
- ❑  $cm$  - é o calor específico do material de proteção, ( $J/(kg^{\circ}C)$ );
- ❑  $\rho m$  - é a massa específica do material de proteção, em  $kg/m^3$ .

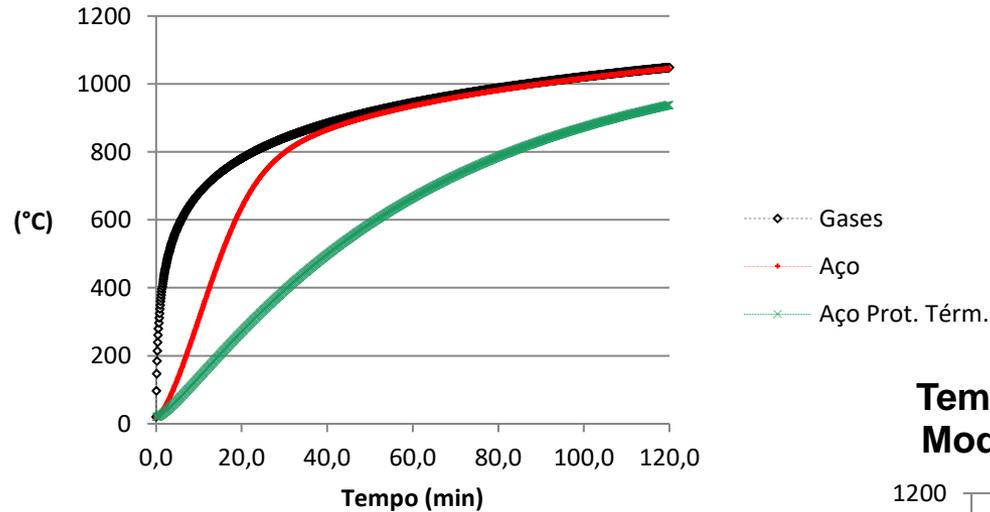
# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

Dados para a determinação das curvas **TEMPO X TEMPERATURA** do elemento de aço com e sem proteção térmica

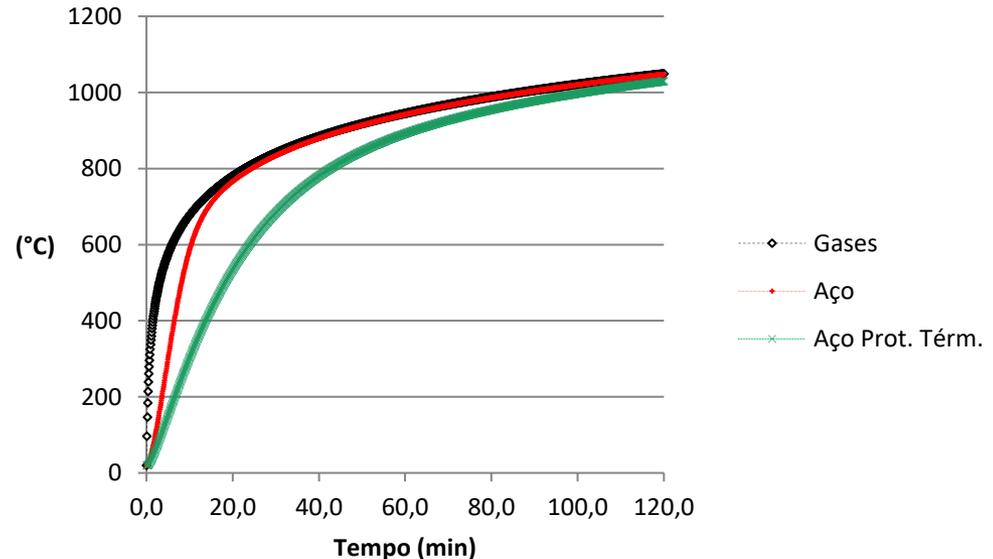
<b>Calor Específico do AÇO</b>	ca	600	J/kg°C
<b>Densidade do Aço</b>	$\rho_a$	7850	kg/m <sup>2</sup>
<b>Temperatura Ambiente</b>	tamb	20	°C
<b>Calor Específico do Material de Proteção</b>	cm	1130	J/kg°C
<b>Densidade do Material de Proteção</b>	$\rho_m$	64	kg/m <sup>2</sup>
<b>Espessura do Material de Proteção</b>	t <sub>m</sub> (MENOR POSSÍVEL)	0,01	M
<b>Condutividade Térmica do Material</b>	$\lambda_m$	0,2	W/m°C
	$\Phi$	0,046	Adimensional

# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

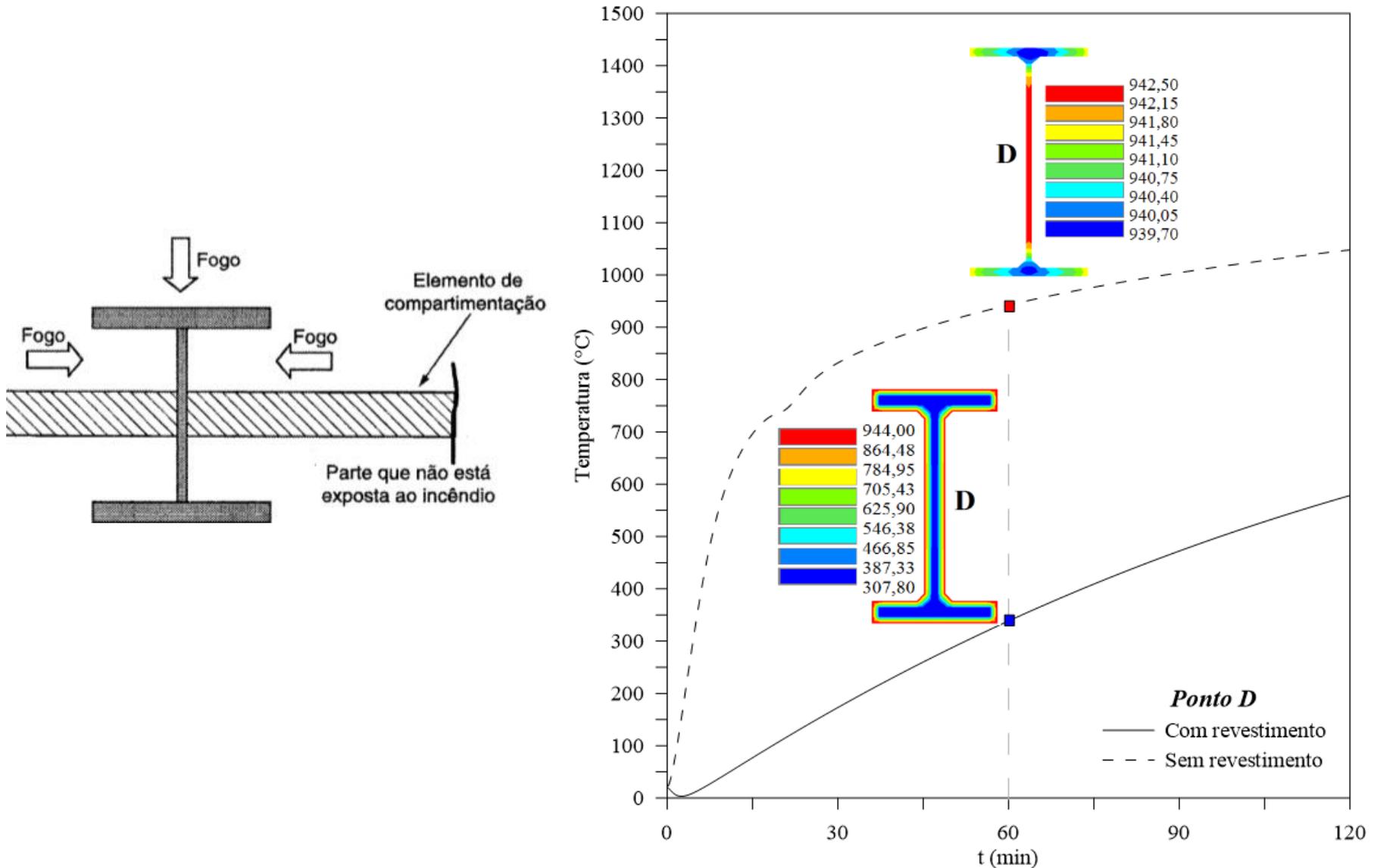
Temperatura do Elemento de Aço, segundo o Modelo de Incêndio Padrão para:  $F= 100 \text{ m}^{-1}$ .



Temperatura do Elemento de Aço, segundo o Modelo de Incêndio Padrão para:  $F= 300 \text{ m}^{-1}$ .



# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA

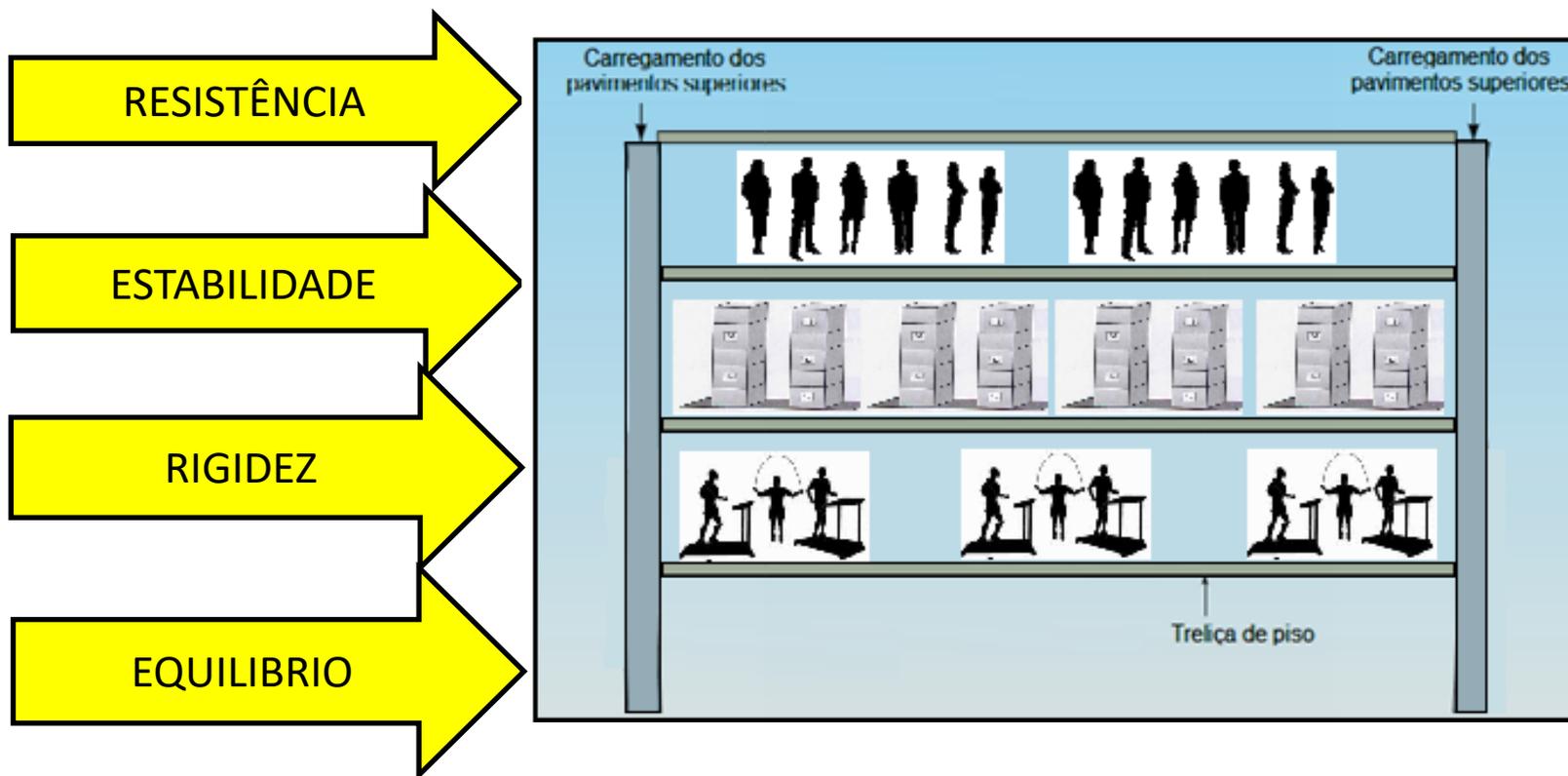


\*Pires et al. (CILAMCE 2015)

## **3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL**

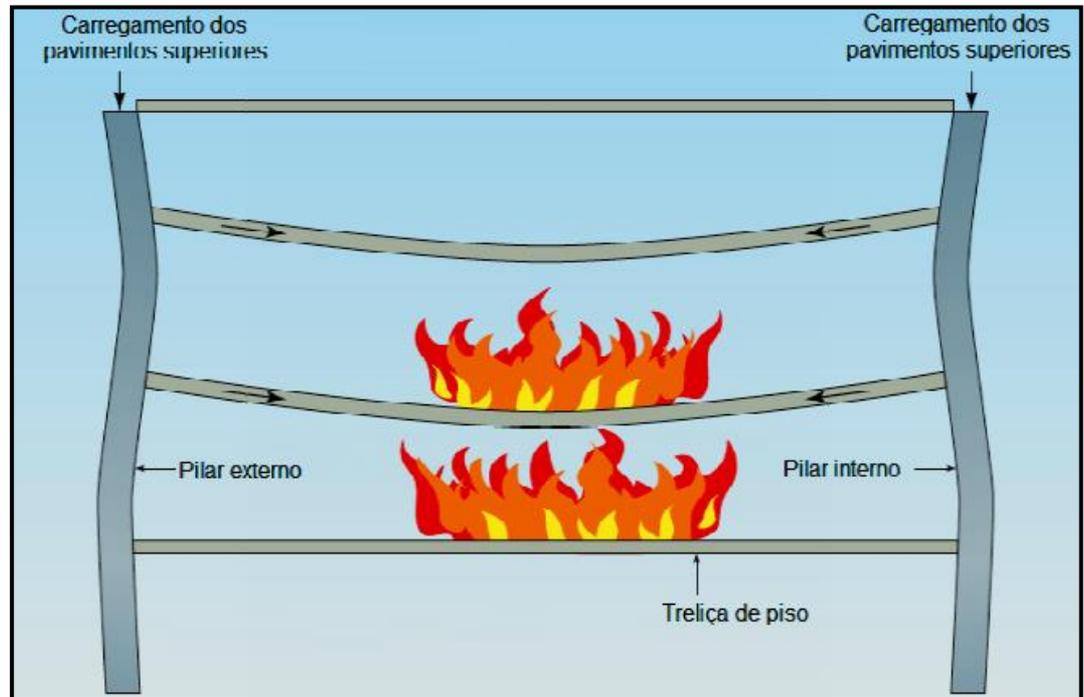
# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ CRITÉRIOS DE PROJETO À TEMPERATURA AMBIENTE:



# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ ESTRUTURA EM INCÊNDIO:



Fonte: (RIGOBELLO, 2011)

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)

❑ CONCRETO CONVENCIONAL;

❑  $f_{cK} \leq 50$  MPa;

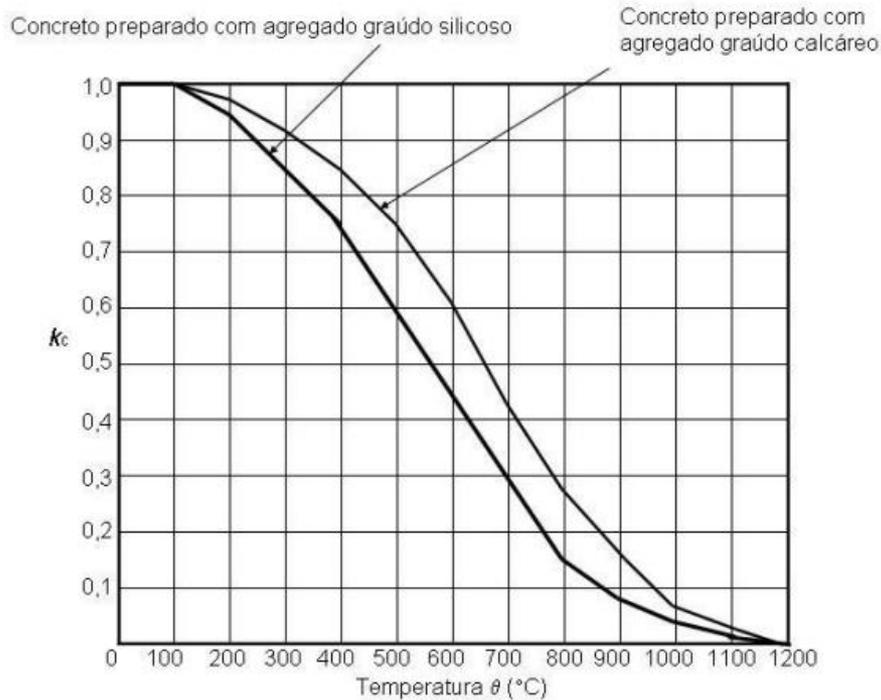
❑ Resistência à compressão incêndio:  $f_{c,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{cK}$

Tabela 1 — Valores das relações  $f_{c,\theta}/f_{cK}$  e  $E_{c,\theta}/E_c$  para concretos de massa específica normal (2 000 kg/m<sup>3</sup> a 2 800 kg/m<sup>3</sup>) preparados com agregados predominantemente silicosos ou calcáreos

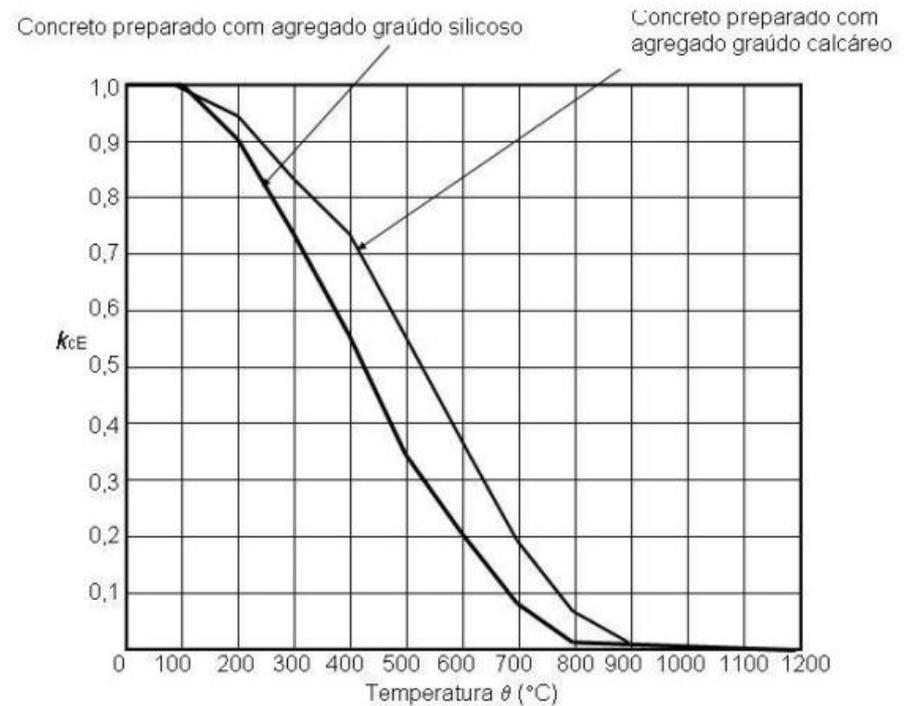
Temperatura do concreto, $\theta$ °C	Agregado silicoso		Agregado calcáreo	
	$f_{c,\theta}/f_{cK}$	$E_{c,\theta}/E_c$	$f_{c,\theta}/f_{cK}$	$E_{c,\theta}/E_c$
1	2	3	4	5
20	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00
200	0,95	0,90	0,97	0,94
300	0,85	0,72	0,91	0,83
400	0,75	0,56	0,85	0,72
500	0,60	0,36	0,74	0,55
600	0,45	0,20	0,60	0,36
700	0,30	0,09	0,43	0,19
800	0,15	0,02	0,27	0,07
900	0,08	0,01	0,15	0,02
1 000	0,04	0,00	0,06	0,00
1 100	0,01	0,00	0,02	0,00
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)



**Redução da resistência do concreto**



**Módulo de elasticidade do concreto**

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)

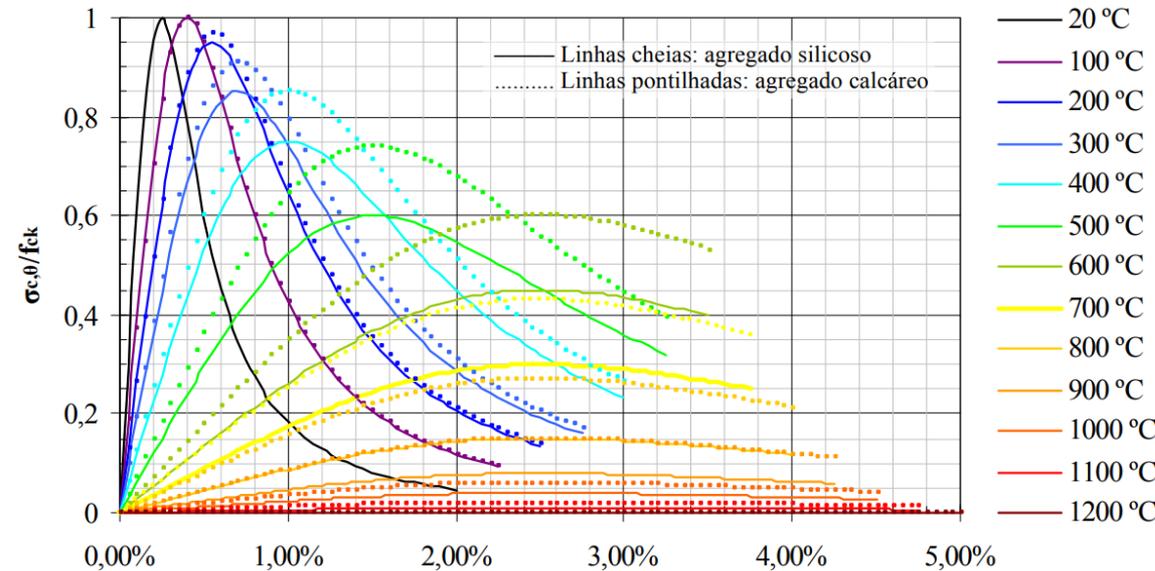
$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \cdot \frac{3 \cdot \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cl,\theta}} \right)}{2 + \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cl,\theta}} \right)^3}$$

Temperatura do concreto (°C)	Agregados Silicosos			Agregados Calcários		
	$f_{ck,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{cl,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{ck,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{cl,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00			0,00		

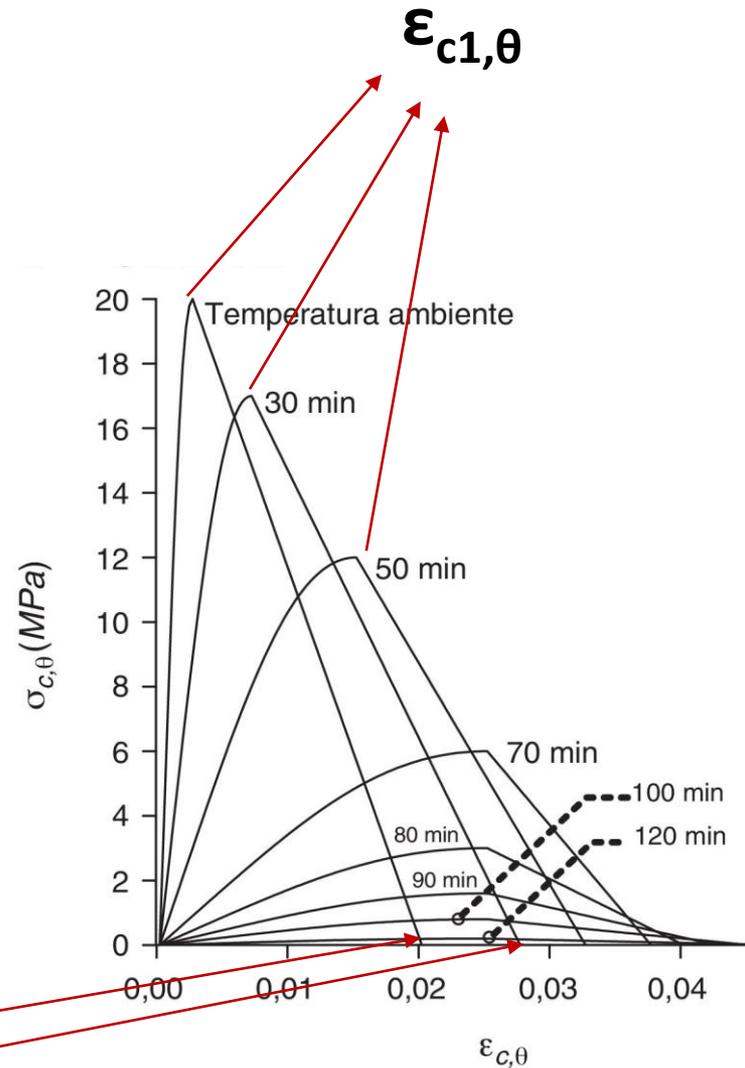
# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \cdot \frac{3 \cdot \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)}{2 + \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3}$$



$\varepsilon_{cu,\theta}$



$\varepsilon_{c,\theta}$

## 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

### ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)

#### **OBSERVAÇÃO:**

❑ A RESISTÊNCIA A TRAÇÃO É GERALMENTE DESPREZADA;

❑ CASO QUEIRA-SE CONSIDERA a Redução:

$$k_{ct} = 1 - (\theta - 100)/500$$

## 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

### ➤ CONCRETO: NBR 15200 (2012)

#### OBSERVAÇÃO:

❑ A RESISTÊNCIA A TRAÇÃO É GERALMENTE DESPREZADA;

$$f_{ct,\theta} = \left[ 1 - \left( \frac{\theta - 100}{500} \right) \right] f_{ct} \quad \text{para } 100 \text{ °C} \leq \theta \leq 600 \text{ °C}$$

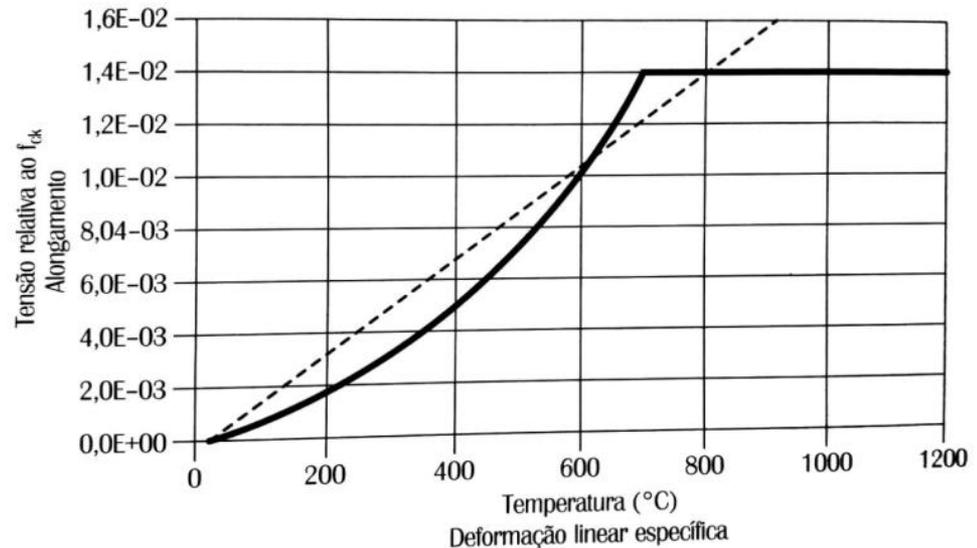
Onde,

$f_{ct,\theta}$  = resistência a tração do concreto à temperatura elevada  $\theta$  [MPa];

$f_{ct}$  = resistência a tração do concreto à temperatura ambiente [MPa];

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ Concreto: Alongamento



para  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$

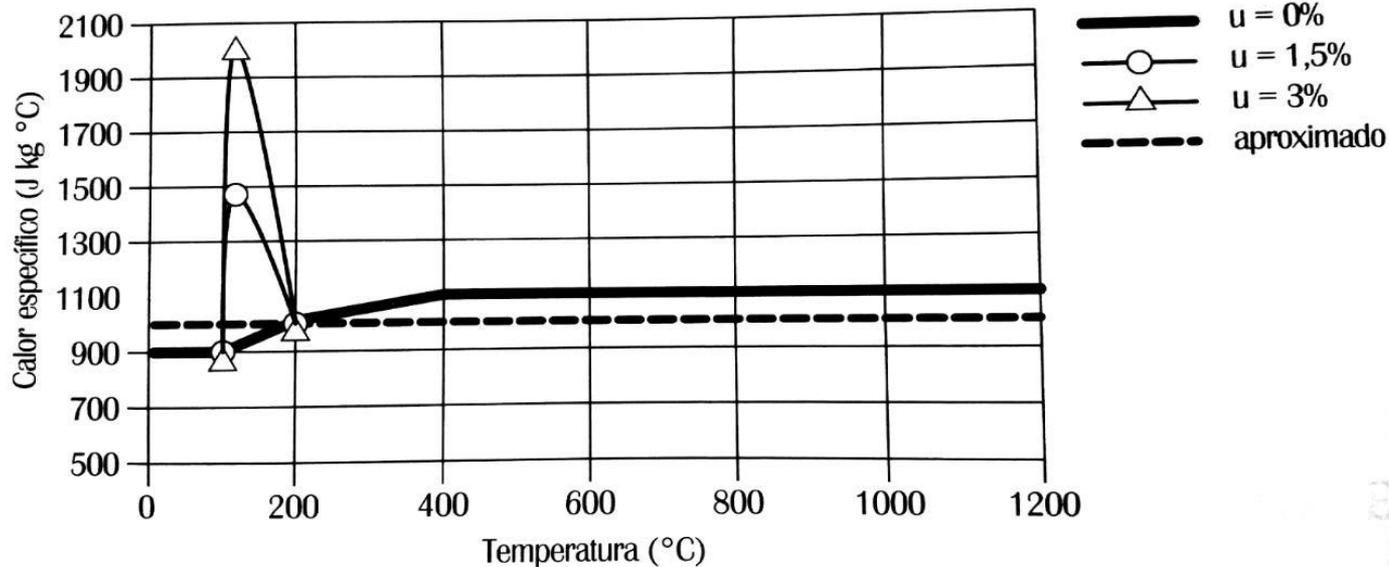
$$\frac{\Delta l}{l} = -1,8 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \theta_c + 2,3 \times 10^{-11} \theta_c^3$$

para  $700\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 14 \times 10^{-3}$$

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ Concreto: Calor Específico



$$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)} \text{ para } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

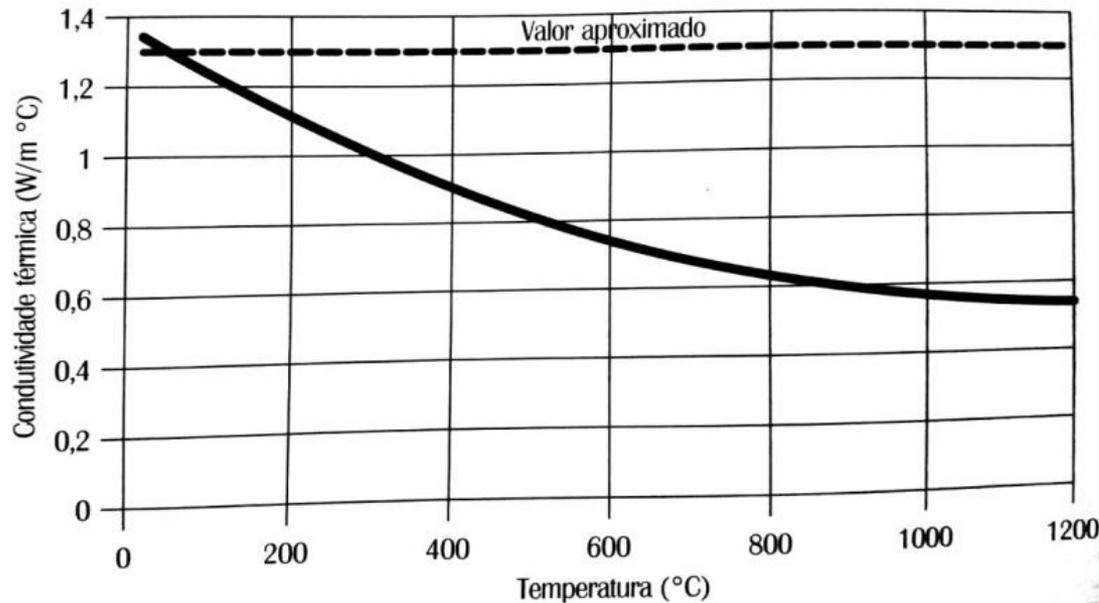
$$c_p(\theta) = 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)} \text{ para } 100 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta \leq 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_p(\theta) = 1.000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)} \text{ para } 200 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta \leq 400 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_p(\theta) = 1.100 \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)} \text{ para } 400 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta \leq 1.200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ Concreto: Condutividade



$$\lambda = 1,36 - 0,136 \frac{\theta_c}{100} + 0,0057 \left( \frac{\theta_c}{100} \right)^2$$

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ AÇO: NBR 14323 (2013)

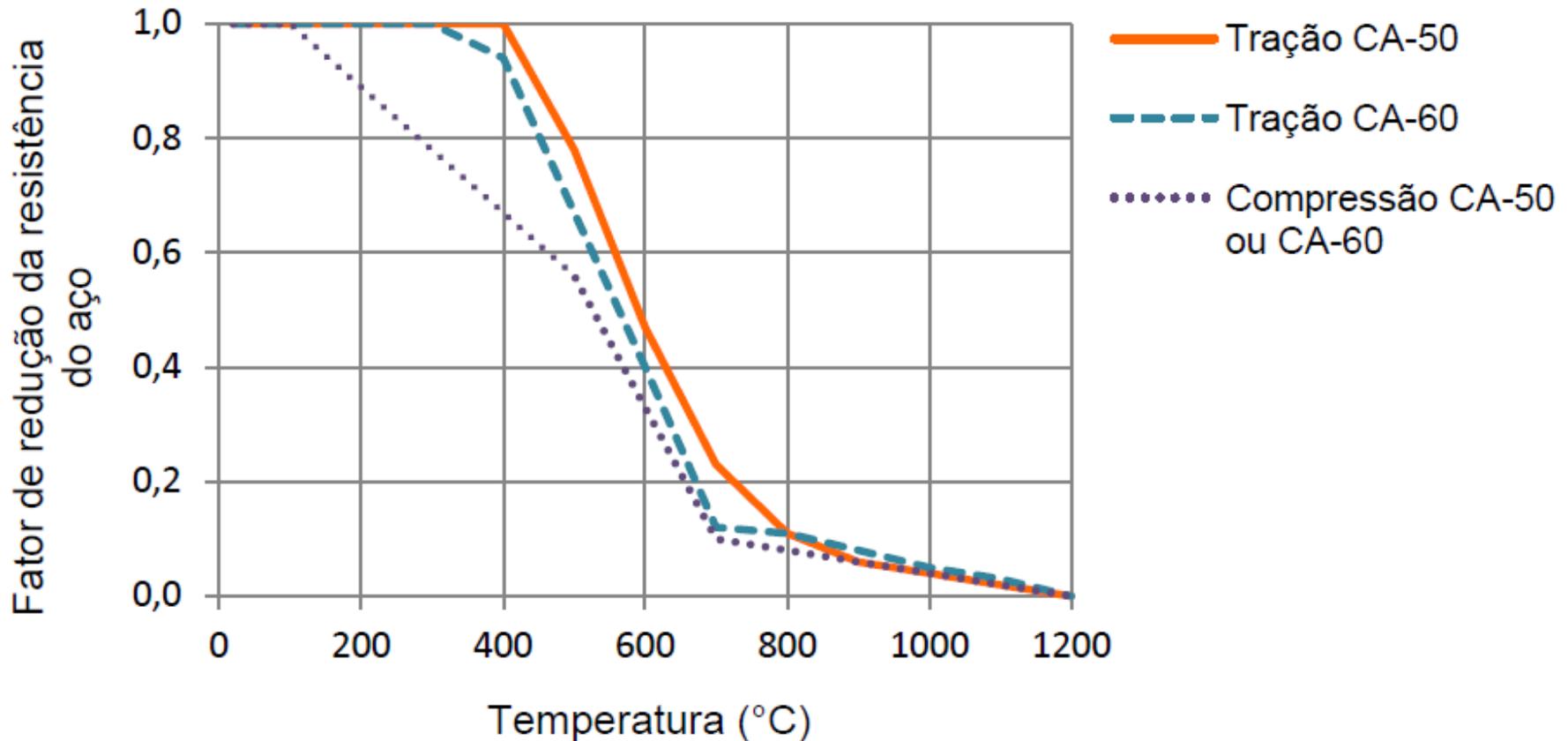
Tabela 1 – Fatores de redução do aço

Temperatura do aço $\theta_a$ °C	Fator de redução da resistência ao escoamento <sup>a</sup> $k_{y,\theta}$	Fator de redução do módulo de elasticidade <sup>a</sup> $k_{E,\theta}$
20	1,000	1,000
100	1,000	1,000
200	1,000	0,900
300	1,000	0,800
400	1,000	0,700
500	0,780	0,600
600	0,470	0,310
700	0,230	0,130
800	0,110	0,090
900	0,060	0,068
1 000	0,040	0,045
1 100	0,020	0,023
1 200	0,000	0,000

<sup>a</sup> Para valores intermediários da temperatura do aço, pode ser feita interpolação linear.

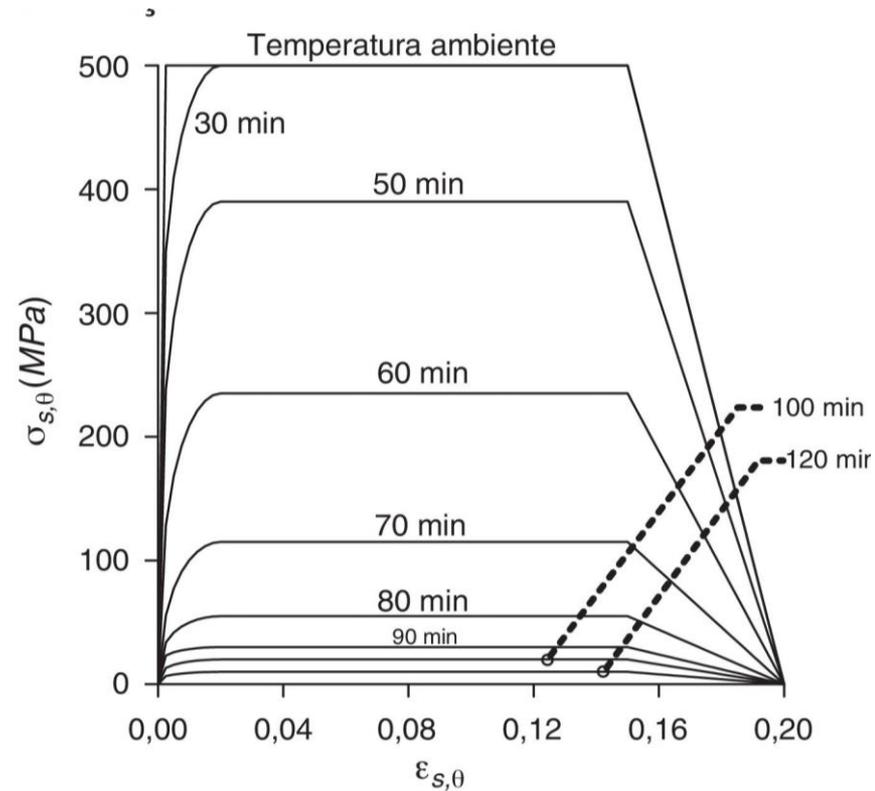
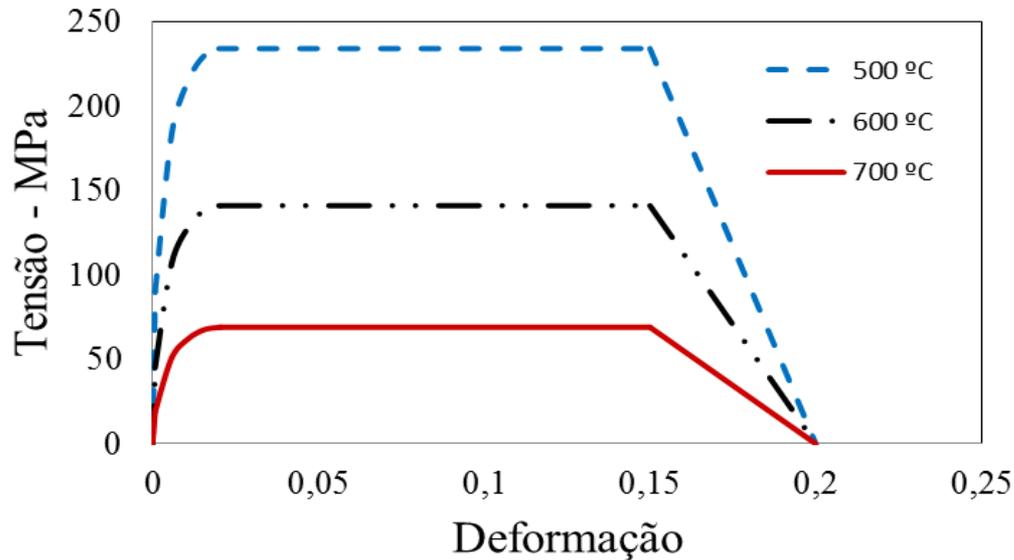
# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ AÇO: NBR 14323 (2013)



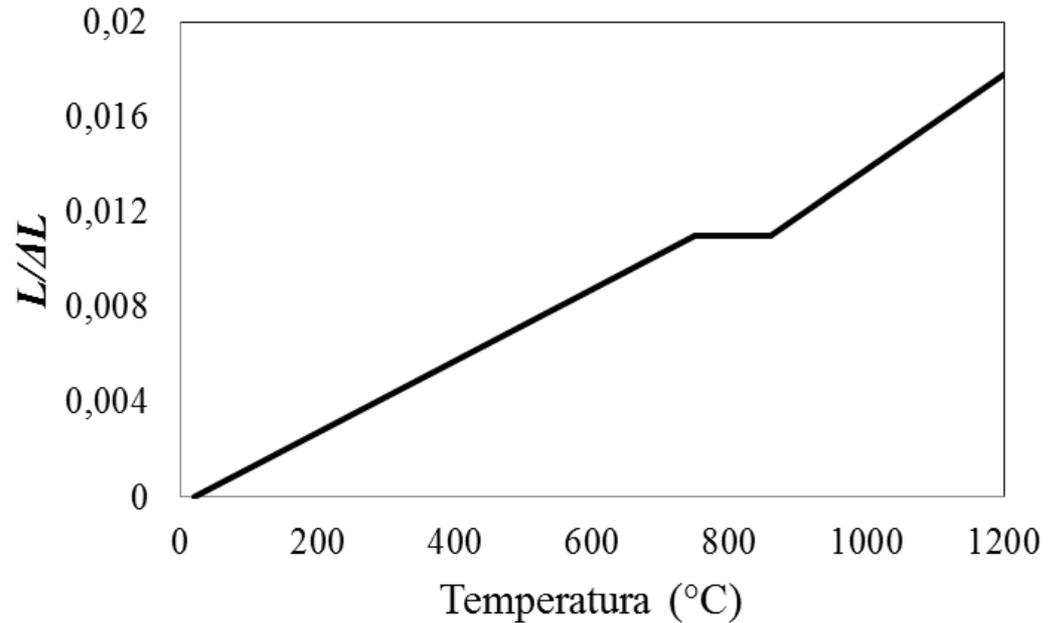
# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ AÇO: NBR 14323 (2013)



# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ AÇO: Alongamento



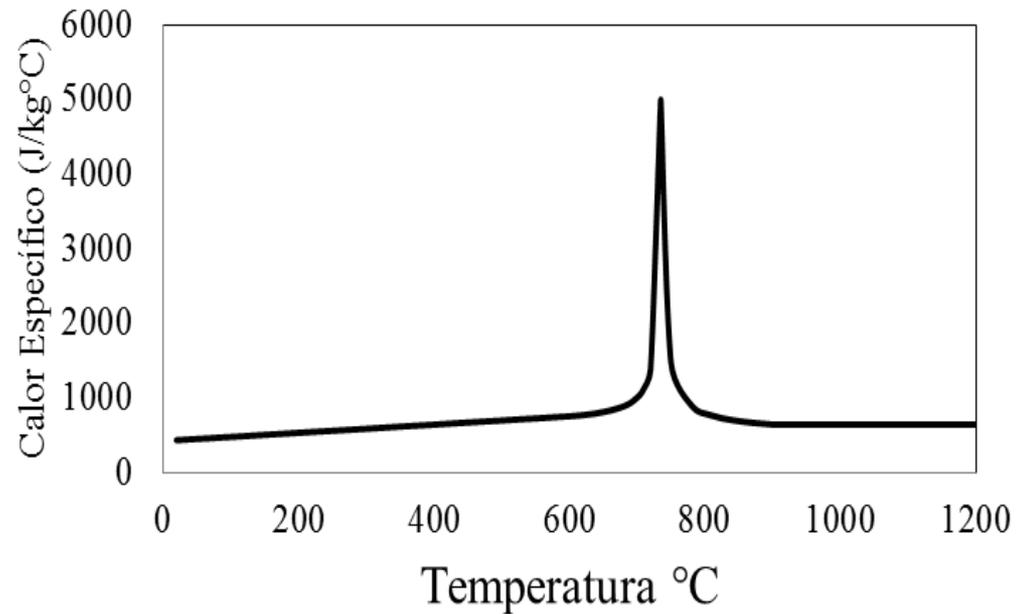
Para  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 750^{\circ}\text{C}$ : 
$$\frac{\Delta l}{l} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} - 2,416 \cdot 10^{-4}$$

para  $750^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 860^{\circ}\text{C}$ : 
$$\frac{\Delta l}{l} = 1,1 \cdot 10^{-2}$$

para  $860^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$ : 
$$\frac{\Delta l}{l} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_a - 6,2 \cdot 10^{-3}$$

# 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

## ➤ AÇO: Calor Específico



$$c_a = 425 + 7.73 \cdot 10^{-1} \cdot \theta_a - 1.69 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_a^2 - 2.22 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_a^{-3}$$

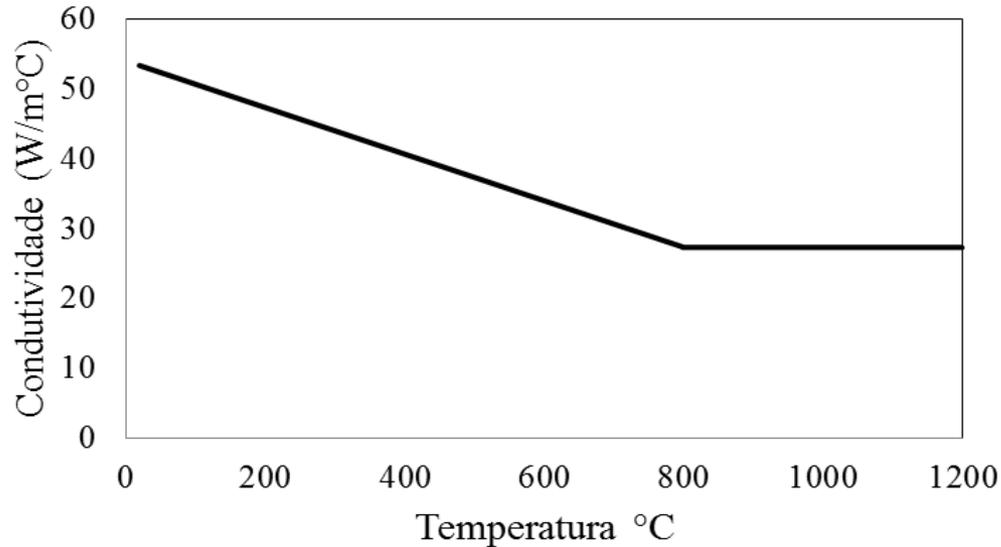
$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}$$

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}$$

$$c_a = 650$$

## 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

### ➤ AÇO: Condutividade



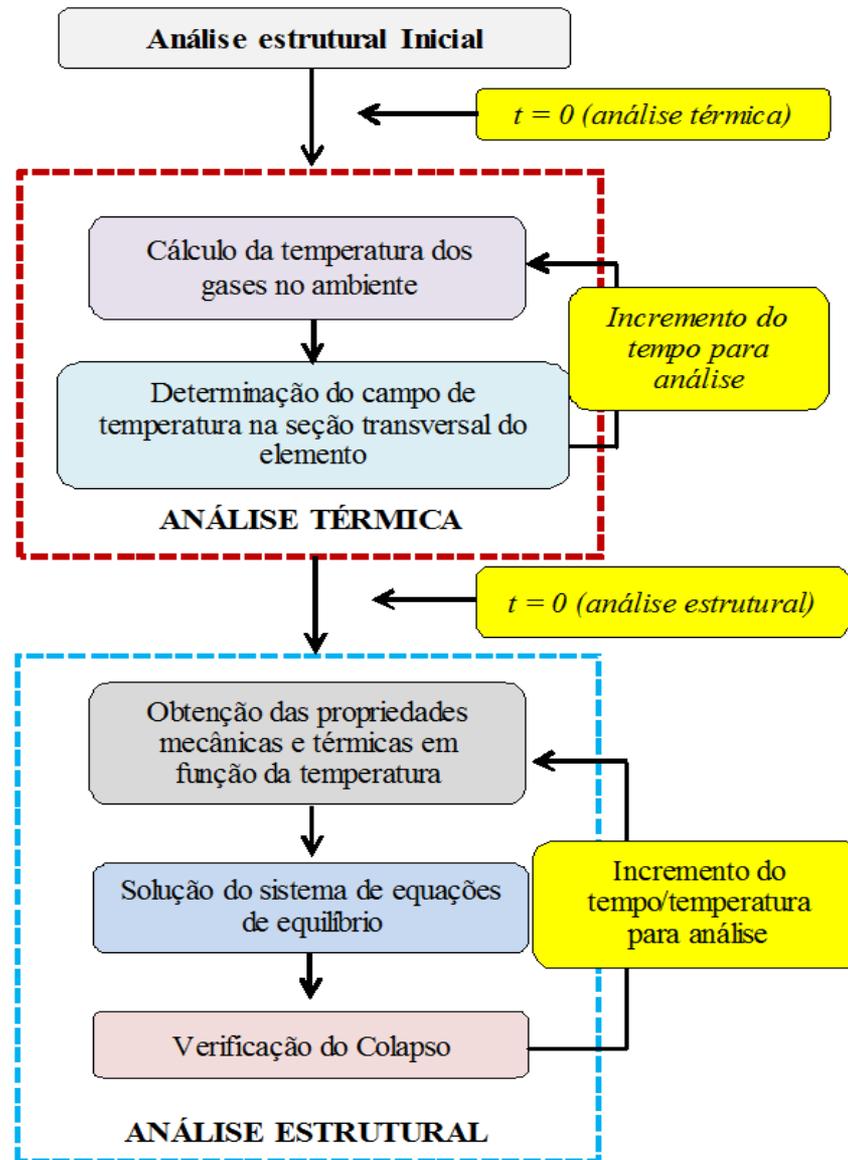
para  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 800^{\circ}\text{C}$ :

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \cdot 10^{-2} \cdot \theta_a,$$

para  $800^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$ :

$$\lambda_a = 27.3,$$

# 3.2. ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA



# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

- Em situação de incêndio, a segurança estrutural é verificada quando:



$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$



Combinação Última  
Excepcional em incêndio

**NBR 8681 (2003):**

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ AÇO/CONCRETO:  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$

$$S_{d,fi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{g,fi,i} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_{q,fi} \cdot F_{Q,fi} + \gamma_{q,fi} \cdot \sum_{j=1}^m 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qj,k}$$

NBR 8681 (2003):

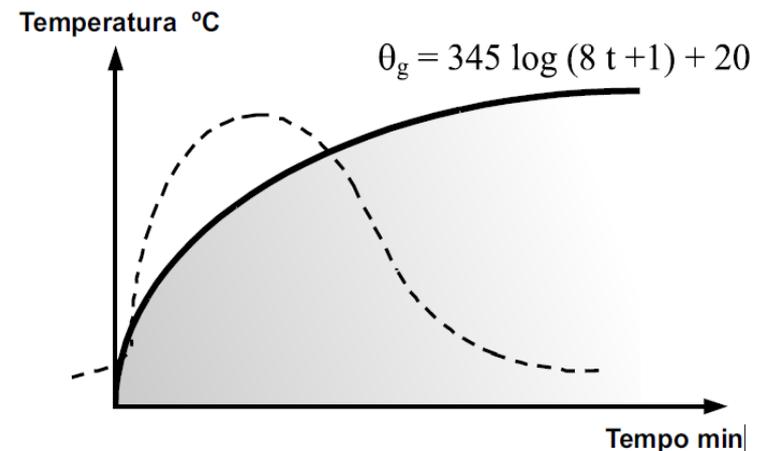
Recomenda a redução de  $\psi_2$  em 70%.

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ **AÇO/CONCRETO:**  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$

$$S_{d,fi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{g,fi,i} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_{q,fi} \cdot F_{Q,fi} + \gamma_{q,fi} \cdot \sum_{j=1}^m 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qj,k}$$

❑ **Caso seja utilizado o modelo de incêndio Padrão,  $F_{Q,fi}$  pode ser desconsiderado.**



# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ CONCRETO:

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

$$S_{d,fi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{g,fi,i} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_{q,fi} \cdot \sum_{j=1}^m 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qj,k}$$

**Tabela 5.2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações nas combinações excepcionais (ABNT NBR 8681:2003)**

Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>1, 2</sup> – Diretas			
Peso próprio de estruturas pré-moldadas, moldadas no local e de elementos construtivos industrializados <sup>3</sup>	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições in loco	Peso próprio de elementos construtivos em geral <sup>4</sup> e equipamentos	Efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais
1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
Ações variáveis ( $\gamma_q$ )			
Efeito da temperatura <sup>5</sup>	Ação do vento	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação	
1,00	1,00	1,00	

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ AÇO:

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

$$S_{d,fi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{g,fi,i} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_{q,fi} \cdot \sum_{j=1}^m 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qj,k}$$


Tabela 3 – Coeficiente  $\gamma_g$  para ações permanentes diretas consideradas separadamente

Ações permanentes diretas	$\gamma_g$
Peso próprio de estruturas metálicas	1,10
Peso próprio de estruturas pré-moldadas, estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	1,15
Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,20
Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1,30

**NBR 14323 (2013) - aço**

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ AÇO/CONCRETO:  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$

$$S_{d,fi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{g,fi,i} \cdot F_{Gi,k} + 1 \cdot \sum_{j=1}^m 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qj,k}$$



- ❑ **Pode-se adotar  $\gamma_{g,fi,i} = 1,15$  se  $\sum_{j=1}^m F_{Qj,k} > 5 \text{ kN/m}^2$ ;**
- ❑ **Pode-se adotar  $\gamma_{g,fi,i} = 1,2$  se  $\sum_{j=1}^m F_{Qj,k} < 5 \text{ kN/m}^2$ .**

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

➤ AÇO/CONCRETO:  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$

$$S_{d,fi} = 1,2 \cdot F_{Gk} + 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot F_{Qk}$$

**Tabela 5.3 – Fatores de combinação (ABNT NBR 8681:2003)**

Cargas acidentais nos edifícios	$0,7 \times \psi_2$
Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>1</sup>	0,21
Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>2</sup>	0,28
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,42
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0

<sup>1</sup> Edificações residenciais, de acesso restrito.

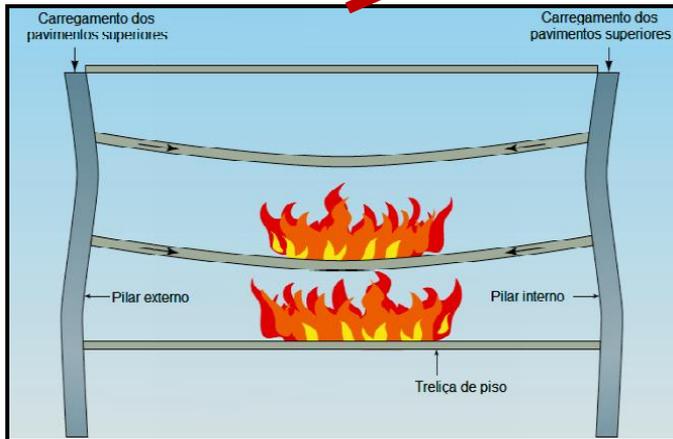
<sup>2</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

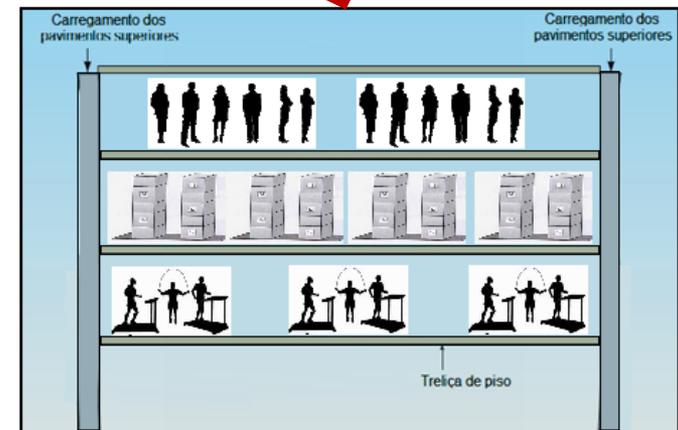
➤ AÇO/CONCRETO:  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$

❑ No caso do uso do modelo padrão, A NBR 15200 (concreto), permite assumir o cálculo de  $S_{d,fi}$  em função de  $S_d^*$  (sem o vento):

$$S_{d,fi} = 0,7 S_d^*$$



$$= 0,7x$$



# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

➤ **AÇO:** Resistência ao escoamento do aço:

$$f_{yd,fi} = \frac{f_y}{\gamma_{a,fi}}$$

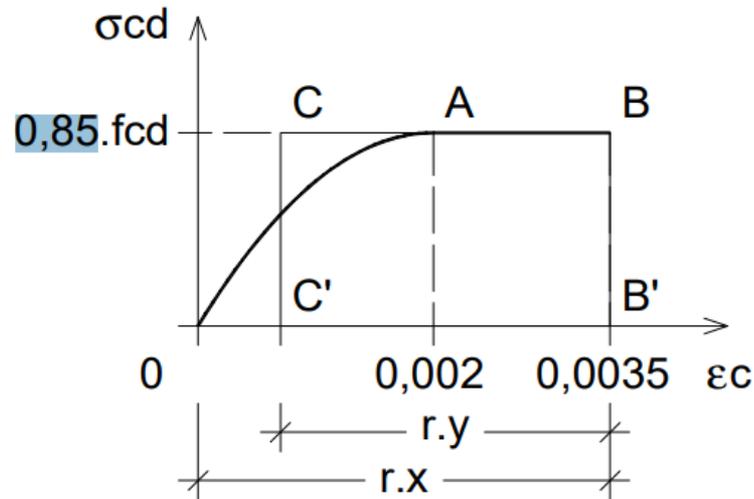
➤ **CONCRETO:** Resistência ao escoamento do concreto:

$$f_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}}$$

NBR 14323 e a NBR 15200  
recomendam = 1

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$



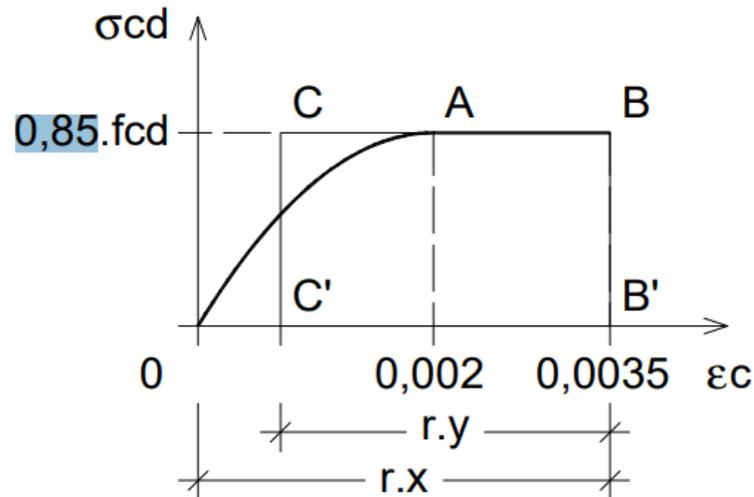
➤ **CONCRETO: Resistência ao escoamento do concreto:**

$$f_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}}$$

A temperatura ambiente o  $f_{cd}$  é multiplicado por  $\alpha=0,85$ .

# 4. AÇÕES E SEGURANÇA EM INCÊNDIO

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$



➤ **CONCRETO: Resistência ao escoamento do concreto:**

$$f_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}}$$

A temperatura ambiente o  $f_{cd}$  é multiplicado por  $\alpha=0,85$ .

**NBR 15200 (2013): adota-se  $\alpha=1$**

## **4.1 EDIFÍCIO DE BAIXO RISCO À VIDA**

# 4.1 EDIFÍCIOS COM BAIXO RISCO À VIDA

(TABELA DE ISENÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA ESTRUTURAL - NBR 14432 (2001))\*

ÁREA total (m <sup>2</sup> ) <	USO	CARGA ESPECÍFICA DE INCÊNDIO (MJ/m <sup>2</sup> )** <	ALTURA (m)	MEIOS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO
750	Qualquer	Qualquer	Qualquer	
1500	Qualquer	1000	6	
Qualquer	Centro Esportivo	Qualquer	23	
	Terminal de Passageiro			
Qualquer	Garagem aberta	Qualquer	30	
Qualquer	Depósitos***	Baixa	30	
Qualquer	Qualquer	500	Térrea	
Qualquer	Indústrias	1200	Térrea	
Qualquer	Depósitos	2000	Térrea	
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiro Automático
5000	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachada de Aproximação

\* AS ISENÇÕES NÃO SE APLICA PARA HOSPITAIS, ASILOS, PENITENCIÁRIAS,

\*\* SEGUNDO TABELA C1 DE CARGAS DA NBR 14 432

\*\*\* SEM RISCO DE INCÊNDIO EXPRESSIVO

# 4.1 EDIFÍCIO DE BAIXO RISCO À VIDA

- Quando não for possível verificar a segurança contra incêndio, torna-se necessário o emprego de revestimentos contra fogo;
  - **Exceto quando há interesse de proteção Patrimonial!!!**

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA PARA AÇO ESTRUTURAL

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

➤ Os materiais de proteção térmica devem apresentar:

- ❑ **Elevado calor específico;**
- ❑ **Reduzida condutividade térmica;**
- ❑ **Resistência mecânica adequada;**
- ❑ **Custo viável .**

Transferência de calor em Estruturas com Proteção:

$$\theta_a(t + \Delta t) - \theta_a(t) = \left\{ \frac{F \cdot [\theta_g(t) - \theta_a(t)] \cdot \Delta t}{\frac{tm}{\lambda m} ca \cdot \rho a \cdot \left(1 + \frac{\Phi}{3}\right)} - [\theta_g(t + \Delta t) - \theta_g(t)] \cdot \left(e^{\frac{\Phi}{10}} - 1\right) \right\}$$

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

- Os tipos de revestimento contra fogo mais empregados na construção civil brasileira são:
  - ❑ **Argamassas/Fibra Projetadas ;**
  - ❑ **Placas/Mantas;**
  - ❑ **Tintas Intumescente;**
  - ❑ **Enclausuramento em concreto;**

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

## ➤ Argamassas/Fibras Projetadas:



- Baixo custo;
- Não agride o aço e o protege contra corrosão;
- Baixo padrão estético;
- Baixa resistência mecânica.

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

## ➤ Placas (Gesso ou lã de rocha)/Mantas:



- Baixo custo;
- Aplicação bastante limpa (pouco resíduo gerado) ;
- Necessita de pinos soldados na estrutura;
- Aplicação lenta.

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

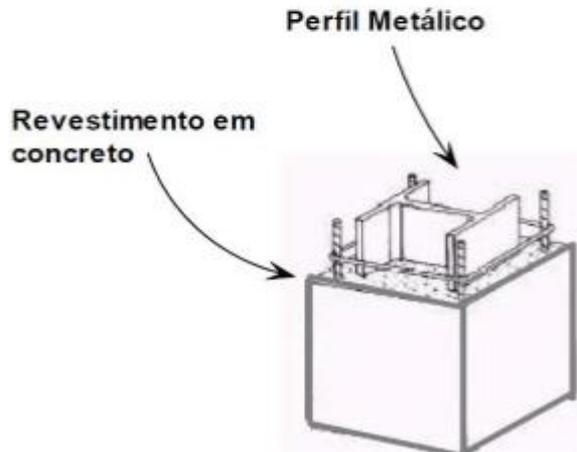
## ➤ Tintas Intumescente:



- Aumenta a espessura até em 50 vezes;
- Aplicação rápida e limpa;
- Elevado padrão estético;
- Custo elevado.

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

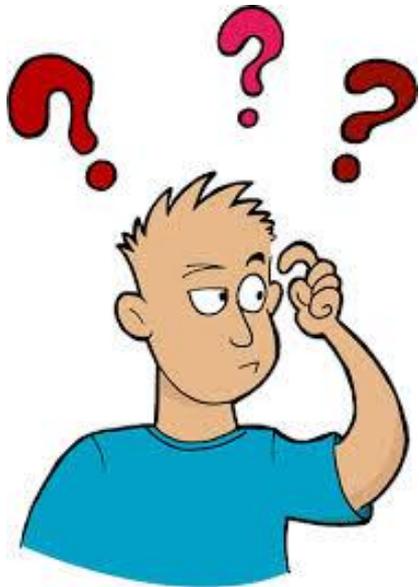
## ➤ Enclausuramento em concreto:



- Proteção à corrosão e incêndio ao mesmo tempo;
- Alta resistência mecânica;
- Custo mais elevado do que outras formas de proteção.

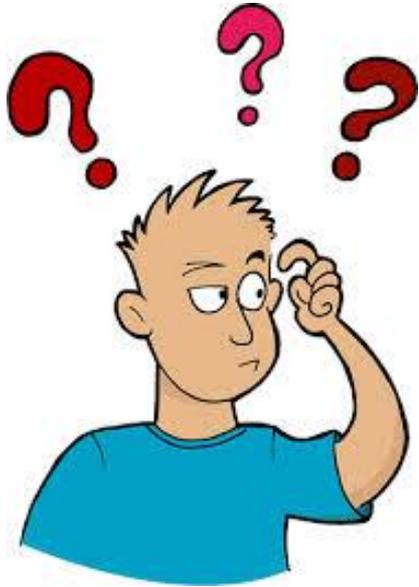
# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

- Qual espessura do material de revestimento aplicar?



# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

- Qual espessura do material de revestimento aplicar?



- Métodos numéricos;
- Analíticos;
- Experimentais (Geração de Tabela);

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

**TABELA 5.1** Espessura da película (mm) de tinta intumescente aplicadas em pilares de seção transversal de forma “I”, com os quatro lados expostos ao fogo, em função de F e do TRRF, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ .

F ( $\text{m}^{-1}$ )	TRRF (min)				TRRF (min)	
	Aplicado em ambiente externo				Aplicado em ambiente interno	
	30	60	90	120	30	60
30	0,25	0,74	1,48	2,47	0,20	0,44
100	0,25	0,74	1,48	2,47	0,20	0,44
105	0,25	0,74	1,48	2,47	0,20	0,64
110	0,32	0,74	1,48	2,47	0,20	0,64
120	0,32	0,74	1,48	2,47	0,20	0,64
125	0,32	0,74	1,48	3,22	0,20	0,64
130	0,32	0,74	1,48	3,22	0,20	0,64
135	0,32	0,85	1,48	3,22	0,20	0,64
140	0,32	0,85	1,48	3,22	0,20	0,64
145	0,32	0,85	1,48	3,96	0,20	0,64
150	0,49	1,27	1,73	3,96	0,20	0,88
160	0,49	1,27	1,73	3,96	0,20	0,88
165	0,49	1,27	1,73	4,7	0,20	0,88
170	0,49	1,27	2,31	4,7	0,20	0,88

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

TABELA Espessura da argamassa MK6 (mm), em função de F e TRRF -  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ .

F ( $\text{m}^{-1}$ )	TRRF (min)				
	30	60	90	120	190
30	10	10	10	10	15
40	10	10	10	13	20
50	10	10	12	16	24
60	10	10	14	18	27
70	10	10	15	21	31
80	10	11	17	23	34
90	10	12	18	25	37
100	10	13	20	26	40
110	10	14	21	28	42
120	10	15	22	30	45
130	10	16	23	31	47
140	10	16	25	33	49
150	10	17	26	34	52
160	10	18	27	36	53
170	10	18	28	37	55

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

Tabela 5: Características das proteções térmicas

Proteção Contra Incêndio	Calor Específico ( $J/Kg^{\circ}C$ )	Massa Específica ( $kg/m^3$ )	Condutividade Térmica ( $W/m^{\circ}C$ )
ARGAMASSA PROJETADA	1050	310	0,08
MANTA FIBROCERÂMICA	1130	128	0,087
PLACA DE GESSO ACARTONADO	1200	800	0,16
PLACA DE LÃ DE ROCHA	837,4	128	0,103

COCO & FERNANDES (2013), "DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO E ANÁLISE DAS PROTEÇÕES TÉRMICAS". FACULDADE BRASILEIRA - MULTIVIX, VITÓRIA 2013.

# 5. PROTEÇÃO TÉRMICA

COCO & FERNANDES (2013),  
“DIMENSIONAMENTO DE VIGAS  
DE AÇO EM SITUAÇÃO DE  
INCÊNDIO E ANÁLISE DAS  
PROTEÇÕES TÉRMICAS”.  
FACULDADE BRASILEIRA -  
MULTIVIX, VITÓRIA 2013.

**A Tinta  
Intumescente  
saiu em conta  
devido ter o  
menor custo de  
transporte de  
São Paulo para  
Vitória**

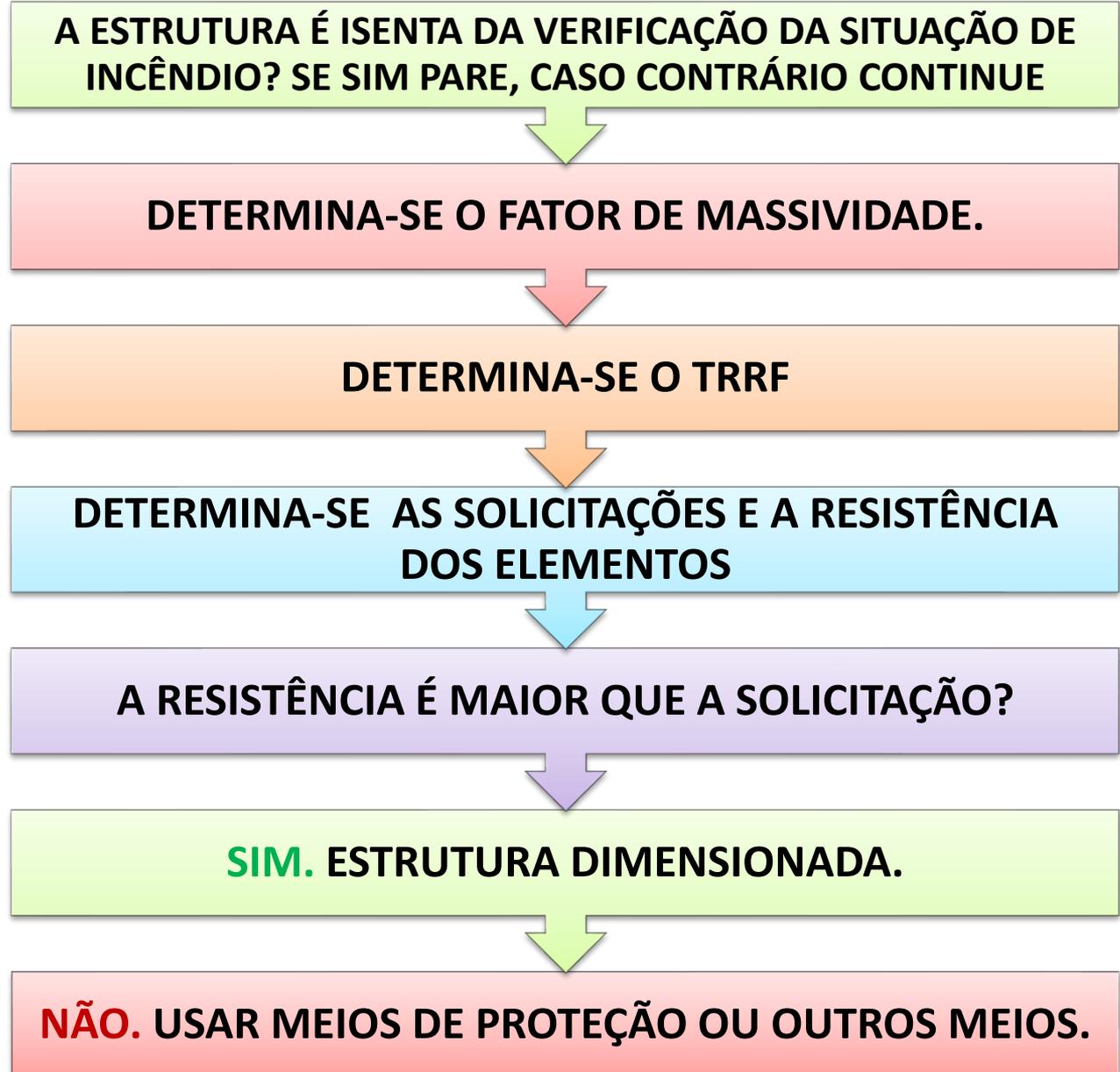
Planilha Orçamentária - Proteções Térmicas					
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR (R\$)
<b>ARGAMASSA PROJETADA</b>					
1	Fornecimento e aplicação para o Aço MR 250	m <sup>2</sup>	203,32	R\$ 80,87	R\$ 16.442,49
2	Fornecimento e aplicação para o Aço AR 350	m <sup>2</sup>	172,34	R\$ 80,87	R\$ 13.937,14
<b>MANTA FIBROCERÂMICA</b>					
3	Fornecimento e aplicação para o Aço MR 250	m <sup>2</sup>	203,32	R\$ 124,11	R\$ 25.234,05
4	Fornecimento e aplicação para o Aço AR 350	m <sup>2</sup>	172,34	R\$ 124,11	R\$ 21.389,12
<b>PLACAS DE LÃ DE ROCHA</b>					
5	Fornecimento e aplicação para o Aço MR 250	m <sup>2</sup>	143,46	R\$ 142,60	R\$ 20.457,40
6	Fornecimento e aplicação para o Aço AR 350	m <sup>2</sup>	126,06	R\$ 142,60	R\$ 17.976,16
<b>PLACAS DE GESSO ACARTONADO</b>					
7	Fornecimento e aplicação para o Aço MR 250	m <sup>2</sup>	143,46	R\$ 139,93	R\$ 20.074,36
8	Fornecimento e aplicação para o Aço AR 350	m <sup>2</sup>	126,06	R\$ 139,93	R\$ 17.639,58
<b>TINTA INTUMESCENTE</b>					
9	Fornecimento e aplicação para o Aço MR 250	m <sup>2</sup>	203,32	R\$ 89,78	R\$ 18.254,07
10	Fornecimento e aplicação para o Aço AR 350	m <sup>2</sup>	172,34	R\$ 89,78	R\$ 15.472,69

# **6. PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E CONCRETO**

# 6.1. ESTRUTURAS DE AÇO – NBR 14323/2013: (MÉTODO SIMPLIFICADO)

# 6.1. AÇO – MÉTODO SIMPLIFICADO

## ➤ PASSOS:

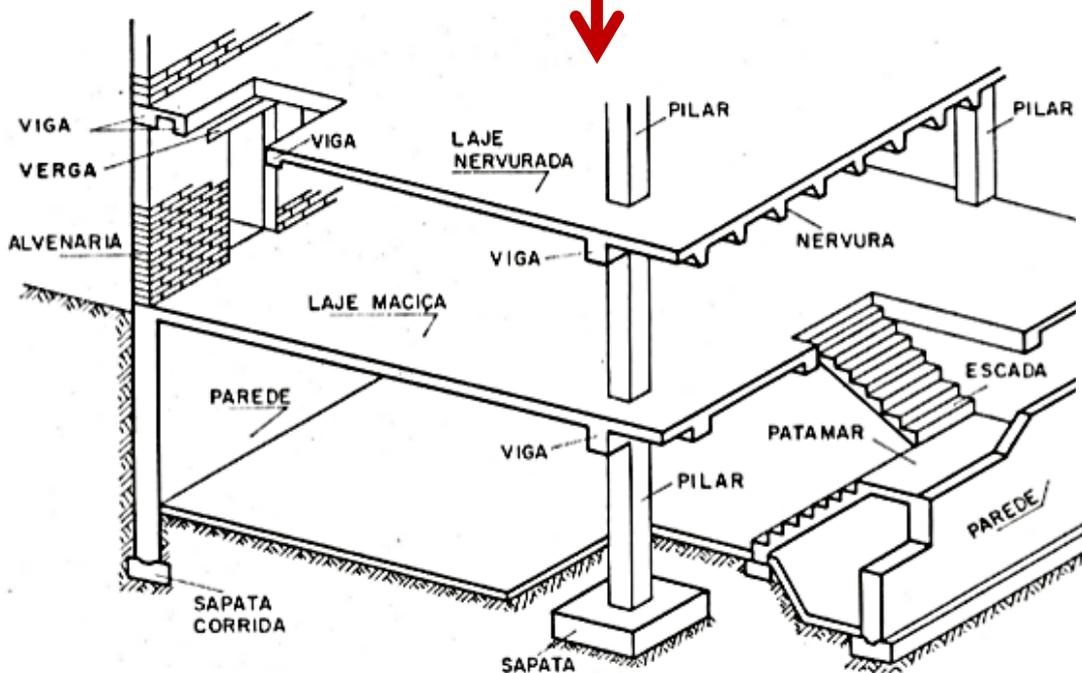


## 6.2. ESTRUTURAS DE CONCRETO – NBR 15200/2012: (MÉTODO TABULAR)

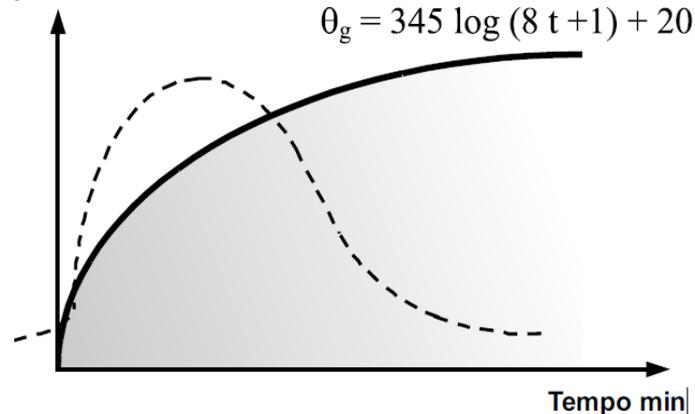
# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

➤ Método Tabular válido para:

$f_{ck} \leq 50 \text{ Mpa}$  e Incêndio-Padrão.

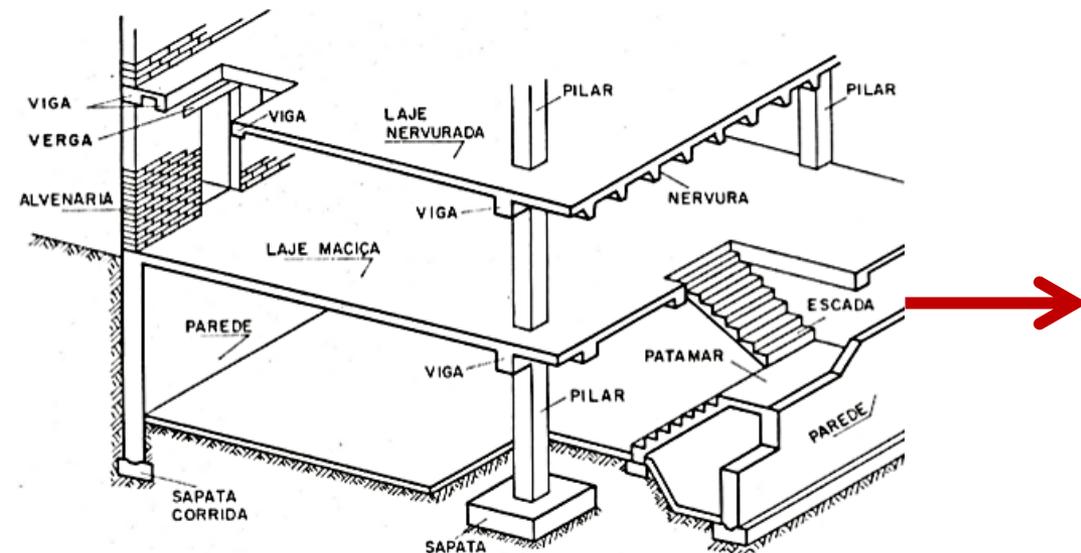


Temperatura °C



# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

## ➤ OBSERVAÇÕES:



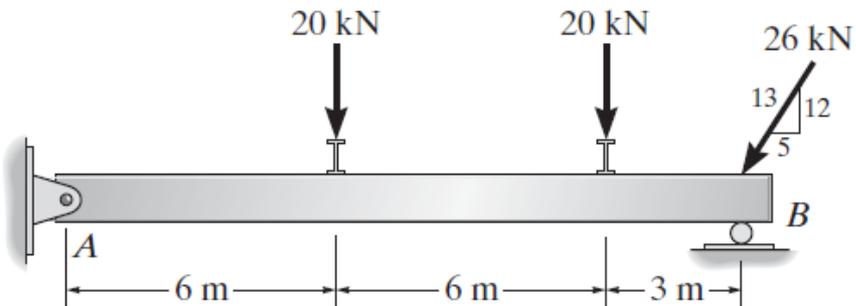
- ❑ Desconsiderar-se os estribos (Ruptura por flexão ou flexo compressão);
- ❑ Limita-se a temperatura na barra de aço em 500 °C (Eurocode 2, 2004)

## 6.2.1 VIGAS

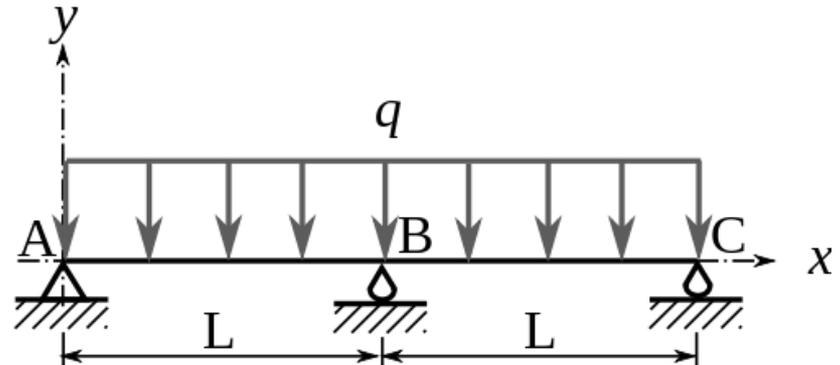
# VIGAS – MÉTODO TABULAR

## ➤ VIGAS:

### BIAPOIADA:

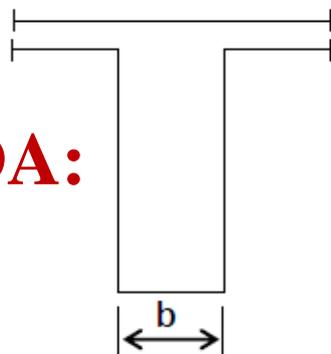


### CONTÍNUA:

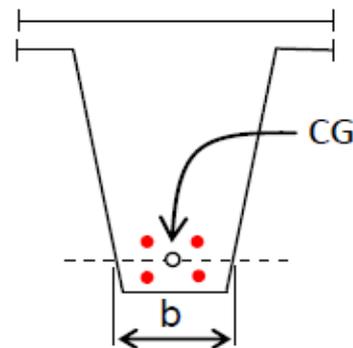


# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

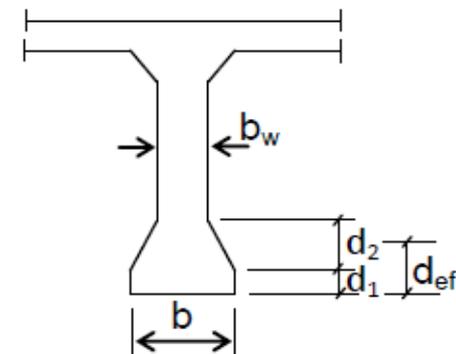
## BIAPOIADA:



(a) Largura constante



(b) Largura variável



(c) Seção I

### Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

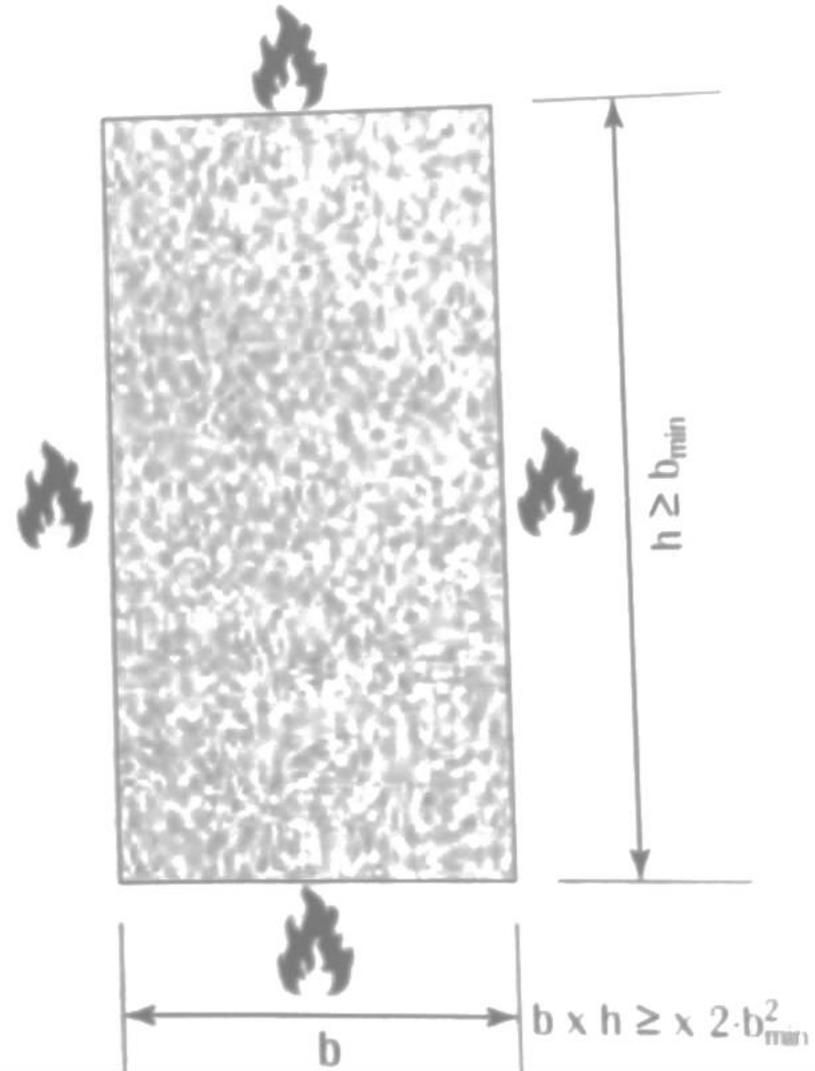
TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### BIAPOIADA:

A tabela anterior foi construída com a hipótese de aquecimento em **3 faces**.

Se  $b \cdot h \geq 2b_{min}^2$  e  $h \geq b_{min}$   
→ pode-se considerar também para **4 faces**.

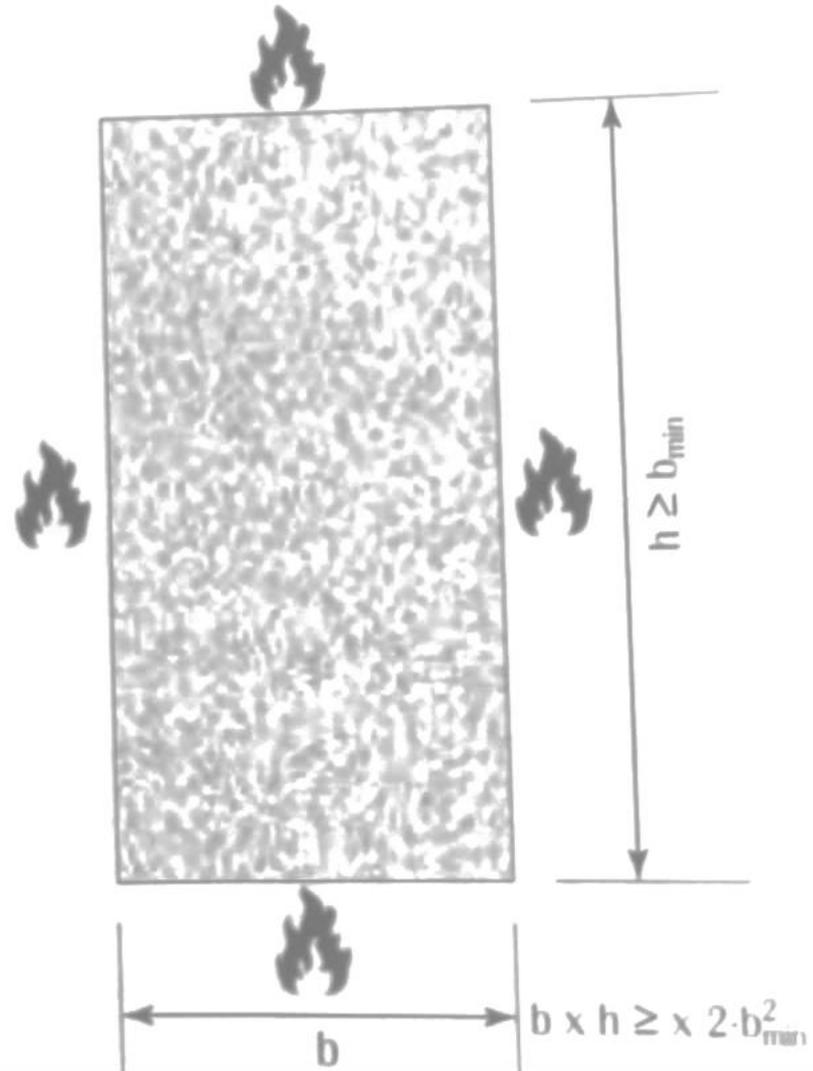


## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### BIAPOIADA:

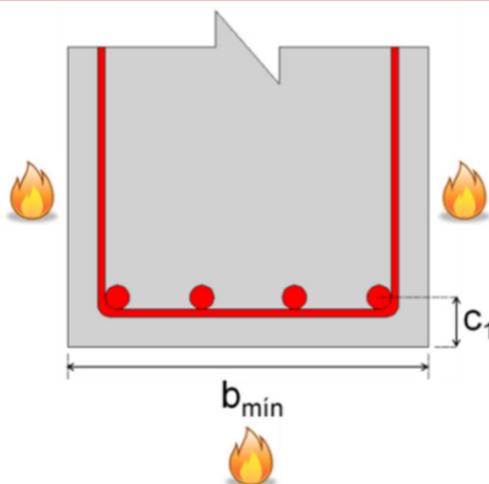
Respeitando esse limites, não há necessidade de limitar-se o  $c_1$  em armaduras negativas.

Pois, admite-se a hipótese de que o calor sempre sobe.



# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

**CONTÍNUA:**



**Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos**

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

❑ Essa tabela só pode ser usada se os coeficientes de redistribuição de momentos à temperatura ambiente não exceder aqueles indicados pela NBR 6118. Caso contrário, usa-se a Tabela para vigas biapoiadas.

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

- ❑ Para VIGAS CONTÍNUAS com  $TRRF \geq 90$  min, a área de ARMADURAS NEGATIVAS entre a linha de centro do apoio e  $0,3l_{ef}$  não deve ser menor que:

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

onde:

- “ $x$ ” é a distância entre a linha de centro do apoio e a seção considerada;  
 $A_{s,calc}(x)$  é a mínima área de armaduras negativas na seção localizada na distância “ $x$ ”;  
 $A_{s,calc}(0)$  é a área de armaduras negativas calculada conforme ABNT NBR 6118;  
 $l_{ef}$  é o comprimento efetivo do vão da viga determinado conforme ABNT NBR 6118.

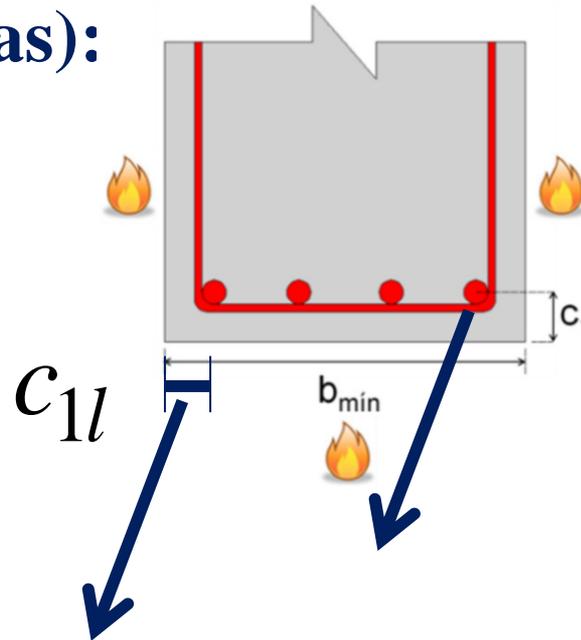
## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### OBSERVAÇÕES:

- Os valores de  $c_1$  indicados nas tabelas são válidos para **ARMADURAS PASSIVAS**. Para elementos **PROTENDIDOS**, deve-se acrescentar **10 mm para barras** e **15 mm para cordoalhas**.
- Isso ocorre pois as temperaturas limites são outras. Para **BARRAS (400 °C)** e **CORDOALHAS (350 °C)**

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

- **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b < b_{min}$  (coluna 2/3 das tabelas):



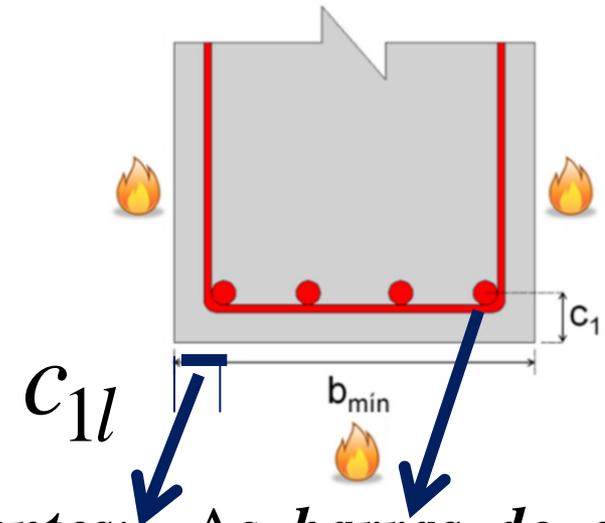
- ❑ Concentração de temperatura junto as bordas;
- ❑ Adota-se:

$$c_{1l} = c_1 + 10mm$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

➤ **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b < b_{min}$

$b_{min}$  retirado da coluna de combinações ( $b_{min}/c_1$ ) 3 (biapoiada) ou 2 (continua) das tabelas):

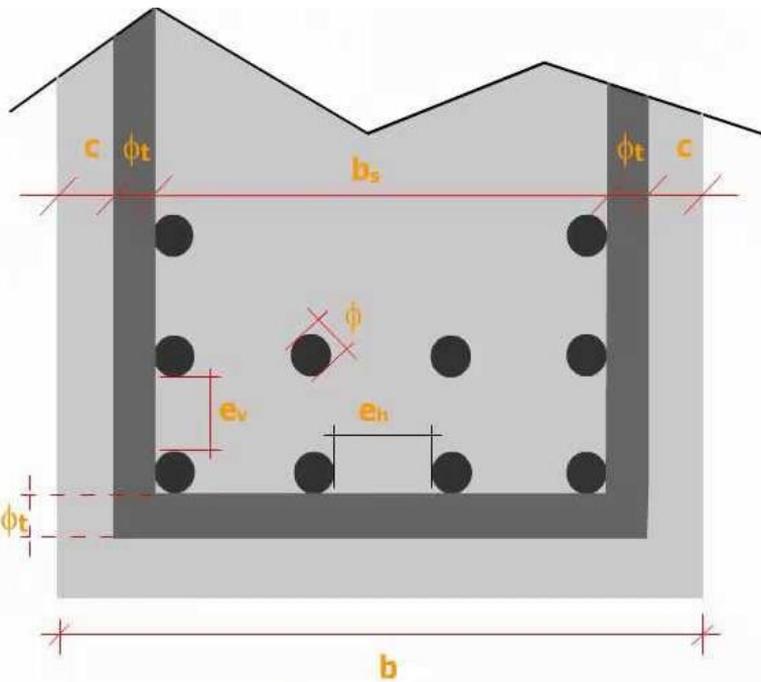


Para que **NÃO** haja 2 cobrimentos *diferentes*: As *barras do canto* **PODEM** ter seu *diâmetro* aumentado para o valor imediatamente *superior* ao valor *calculado* em temperatura ambiente.  $A_{s_{ef}} > A_{s_{cal}}$

Para **CONCRETO PROTENDIDO**, considerar para efeito de dimensionamento uma força de protensão igual a 0,7 da indicada para a obra.

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

- **ARMADURA EM VÁRIAS CAMADAS:** a distância média à face do concreto ( $c_{1m}$ ) deve respeitar o valor  $c_{1min}$  (tabelado).  $c_1 = c_{1m}$



$$c_1 = c_{1m} <$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n c_{1,vi} A_{si}}{\sum_{i=1}^n A_{si}}$$

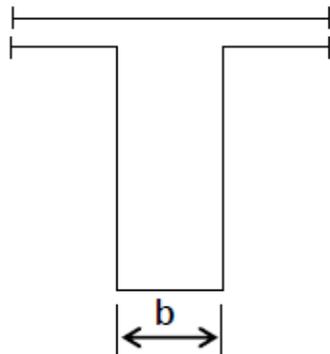
$$\sum_{i=1}^n A_{si}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n c_{1,hi} A_{si}}{\sum_{i=1}^n A_{si}}$$

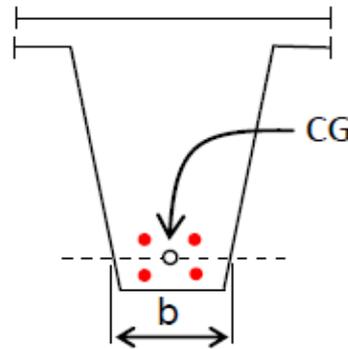
$$\sum_{i=1}^n A_{si}$$

# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

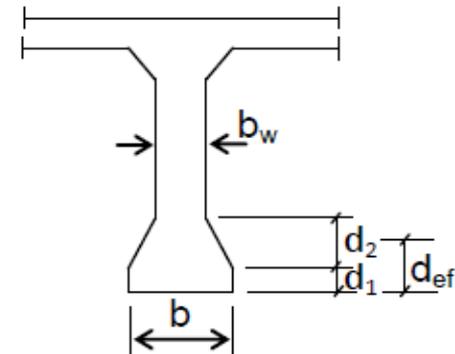
## ➤ VIGA COM LARGURA VARIÁVEL:



(a) Largura constante



(b) Largura variável



(c) Seção I

Na verificação de vigas com talão (Figura 7.5c), devem ser maiores do que  $b_{\min}$ , tanto a largura  $b$  quanto a altura efetiva  $d_{ef}$ , esta determinada da seguinte forma:

$$d_{ef} = d_1 + 0,5 d_2$$

No caso de  $b \geq 1,4 b_w$  e  $b \times d_{ef} < 2 b_{\min}^2$ , então,  $c_1$  deve ser acrescido de:

$$c_1 \left( 1,85 - \frac{d_{ef}}{b_{\min}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq c_1$$

# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

## ➤ REDUÇÃO DE $C_1$ :

☐ ABNT NBR 15200:2012

$$dc_1 = -24 + 35 \frac{S_{d,fi}}{S_d} \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

☐ Eurocode (2004) - armadura passiva

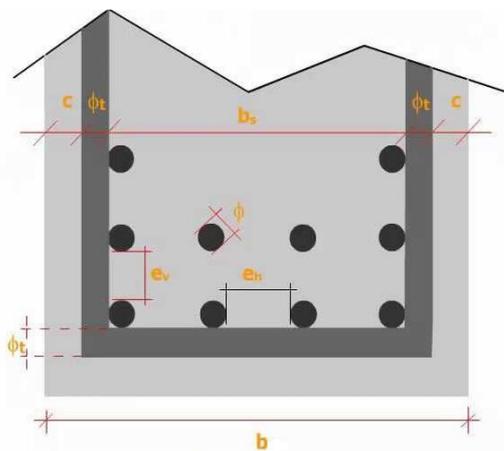
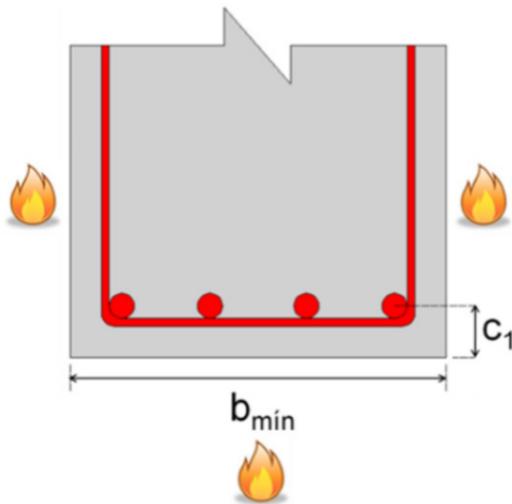


Tabela 7.3 – Valores de  $\Delta c_1$  em mm, para armadura passiva

$\frac{S_{d,fi}}{S_d}$	$\frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$						
	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

# 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

## ➤ REDUÇÃO DE $C_1$ :

☐ ABNT NBR 15200:2012

$$dc_1 = -24 + 35 \frac{S_{d,fi}}{S_d} \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

☐ Eurocode (2004) - armadura ativa

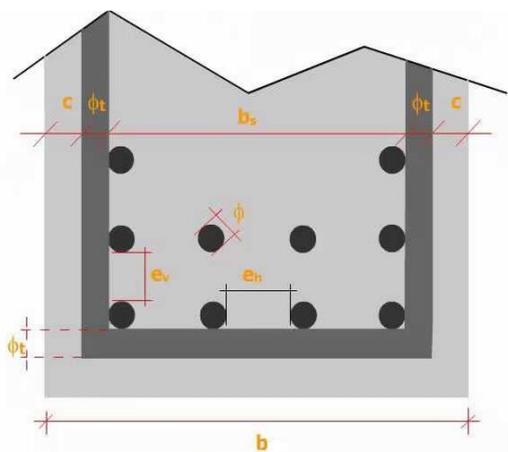
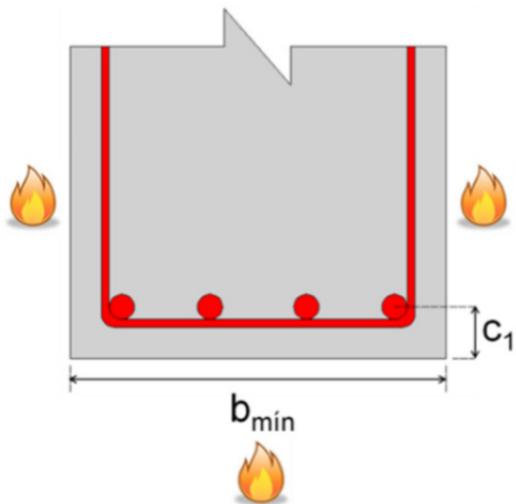


Tabela 7.4 – Valores de  $\Delta c_1$  em mm, para armadura ativa

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

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### ➤ REVESTIMENTO:

➤ No cálculo das dimensões mínimas pode-se considerar:

❑ Argamassa cal e areia:  $0,67 \times$  espessura;

❑ Argamassa de cimento e areia:  $1,0 \times$  espessura.

❑ revestimentos à base de gesso, vermiculita ou fibras :  $2,5 \times$  espessura.



## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### OBSERVAÇÕES:

- Nas tabelas apresentadas é possível a realização de uma **INTERPOLAÇÃO LINEAR** para obtenção de valores que não se encontram nas tabelas, por exemplo:

### EXEMPLO:

Determinar o valor de  $c_1$ , para um  $TRRF=90 \text{ min}$ ,  $b=180\text{mm}$ , viga biapoiada, com armaduras em várias camadas.

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Determina-se na tabela, para o  $TRRF=90min$ , o intervalo que encontra-se  $b=180mm$ :

Dimensões mínimas para vigas biapoiadas					
TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	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	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

$$b=180$$

$$b_a=140$$

$$c_a=60$$

$$b_b=190$$

$$c_b=45$$

$$c_1 = \frac{(c_b - c_a)}{(b_b - b_a)} (b - b_a) + c_a$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Aplica-se os valores na formula de interpolação linear

Dimensões mínimas para vigas biapoiadas					
TRRF (min)	Combinações $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{w\min}$
	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	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

$$b=180$$

$$b_a=140$$

$$c_a=60$$

$$b_b=190$$

$$c_b=45$$

$$c_1 = \frac{(45 - 60)}{(190 - 140)} (180 - 140) + 60$$

$$c_1 = 48 \text{ mm}$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Determinar, o TRRF que uma viga contínua, com uma única camada de armadura, com  $b=200\text{mm}$  e  $c_1=35\text{ mm}$ , pode suportar.

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos					
TRRF (min)	Combinações $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{w\min}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Para a determinar o TRRF é necessário duas interpolações. Primeiro encontramos a combinação mais próxima dos valores  $b/c_1$  (200/35)

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF (min)	Combinações $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{w\min}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Determina-se qual deveria ser o valor de  $c_1$  para o valor de  $b=200mm$ , tanto para um  $TRRF_1=90$ , Quanto o  $TRRF_2=120$  min;

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

$$c_1 = \frac{(c_b - c_a)}{(b_b - b_a)} (b - b_a) + c_a$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

$$TRRF1=90$$

$$b=200$$

$$b_a=140$$

$$c_a=37$$

$$b_b=250$$

$$c_b=25$$

$$c_1 = \frac{(25 - 37)}{(250 - 140)} (200 - 140) + 37$$

$$c_1 = 30,45 \text{ mm}$$

$$TRRF2=120$$

$$b=200$$

$$b_a=190$$

$$c_a=45$$

$$b_b=300$$

$$c_b=35$$

$$c_2 = \frac{(35 - 45)}{(300 - 190)} (200 - 190) + 45$$

$$c_2 = 44,1 \text{ mm}$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Por fim, faz-se mais um interpolação, considerando os valores de  $c_1$  encontrados e o  $c_{1viga}=35$  mm da viga em questão;

$$TRRF = \frac{(TRRF_2 - TRRF_1)}{(c_2 - c_1)} (c_{1viga} - c_1) + TRRF_1$$

$$TRRF = \frac{(120 - 90)}{(44,1 - 30,45)} (35 - 30,45) + 90$$

$$TRRF = 100 \text{ min}$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

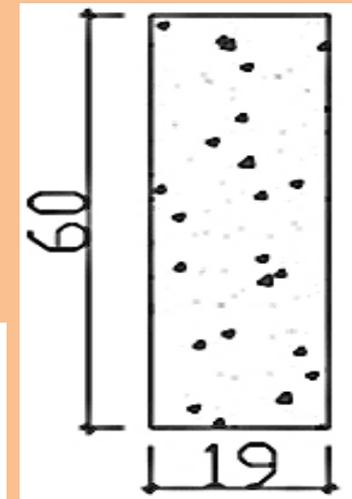
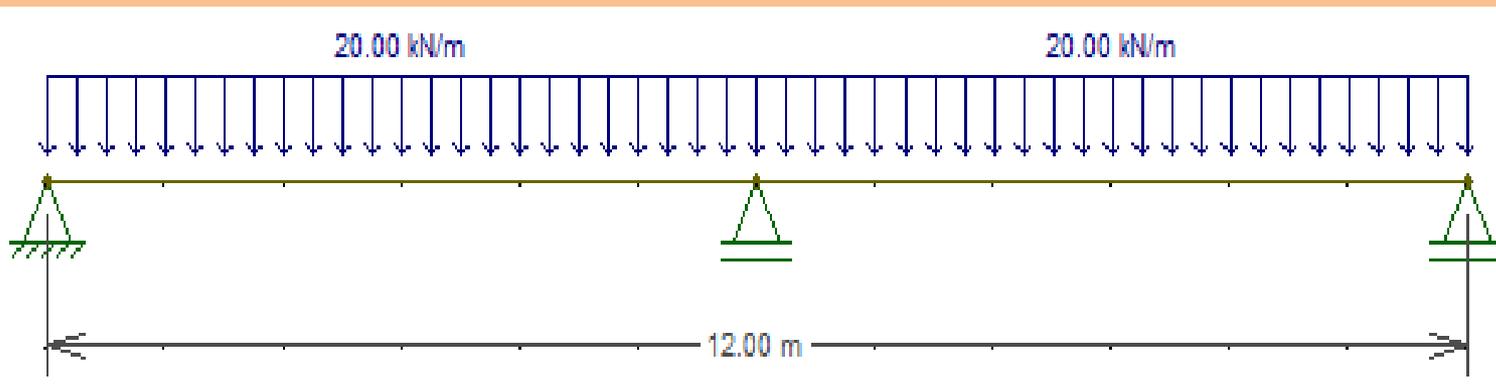
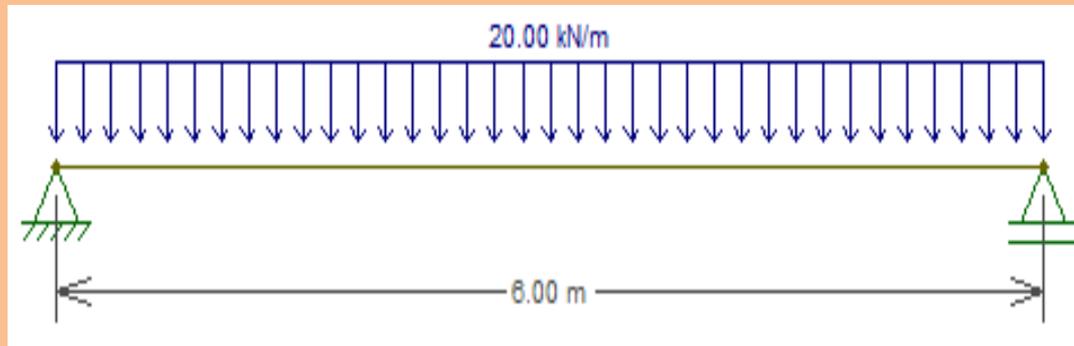
Para **VIGAS** com somente uma camada e com  $b < b_{min}$  indicado na coluna 2 ( $200 < 250$ ) deve-se aumentar em  $10\text{ mm}$  o  $c_{1l}$  no fundo da viga ou especificar barras de canto com um diâmetro imediatamente superior. Se isso não for feito, deve-se calcular o TRRF com  $c_1$  reduzido em  $10\text{ mm}$ . Nesse caso, TRRF será igual a 78 min.

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

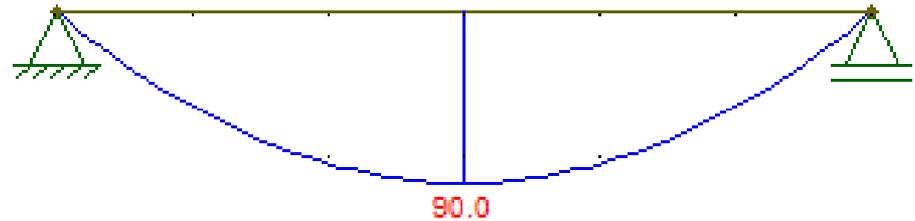
# EXEMPLO DE APLICAÇÃO 2 - SILVA (2012)

- Para as vigas apresentadas, com carregamento uniformemente distribuído, e considerando  $f_{ck}$  de 30 MPa e  $f_{yk}$  de 500 MPa para um ambiente urbano com cobrimento de 3 centímetros e estribos de 6,3mm:



## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

### ➤ VIGAS Biapoiada:



Considerando barras de aço de 16mm, tem-se:

$$d = 60 - 3 - 0,63 - (1,6/2) \rightarrow d = 55,57 \text{ cm}$$

$$A_s = M_s d / z \cdot f_{yd}$$

$$A_s = M_s d / (d - 0,5 \cdot \lambda x) \cdot f_{yd}$$

$$A_s = M_s d / [d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot (0,45d)] \cdot f_{yd}$$

$$A_s = 90 / \{[0,5557 - 0,4(0,45 \cdot 0,5557)] (500000/1,15)\}$$

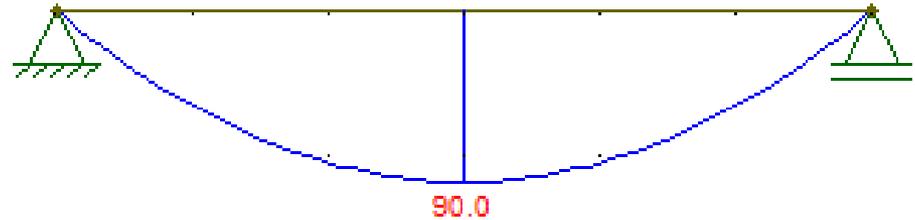
$$A_s = 90 / 198119,13$$

$$A_s = 4,54 \text{ cm}^2 \rightarrow A_s = 3 \phi 16 \text{ mm}$$

$$c_1 = c + \phi t + \phi b/2 \rightarrow c_1 = 30 + 6,3 + 16/2 \rightarrow c_1 = 44,3 \text{ mm}$$

# 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

## ➤ VIGAS Biapoiada:



Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	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	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

Com base na largura da viga fez-se a interpolação para:

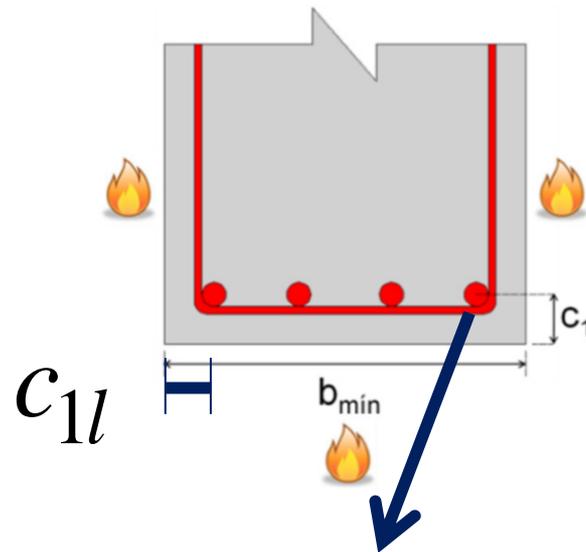
$$b_{min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 30\text{mm} \rightarrow \text{TRF} = 60\text{min}$$

$$b_{min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 45\text{mm} \rightarrow \text{TRF} = 90\text{min}$$

$$\left. \begin{array}{l} b_{min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 44,3\text{mm} \\ \text{TRF} = 88,6\text{min} \end{array} \right\}$$

## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

- **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b$  (190 mm) <  $b_{min}$  (300 mm) (coluna 3 das tabela):

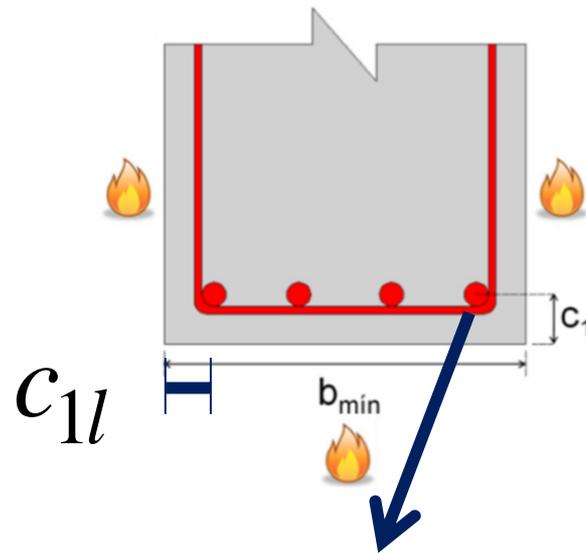


Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	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	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

- **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b$  (190 mm) <  $b_{min}$  (300 mm) (coluna 3 das tabela):

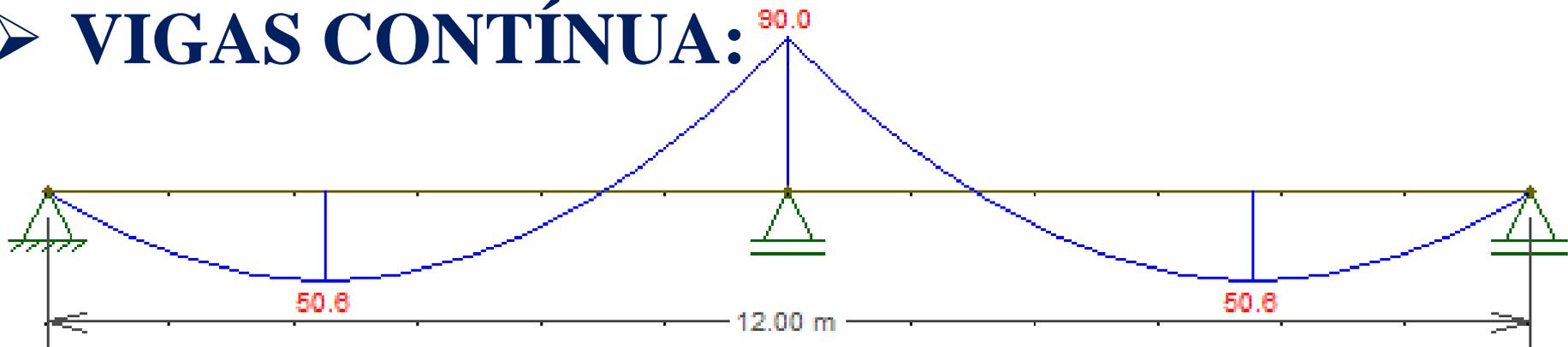


- ❑ Concentração de temperatura junto as bordas;
- ❑ Adota-se:

$$c_{1l} = 44,3 + 10mm \quad \text{ou} \quad A_{s_{ef}} = 20mm > A_{s_{cal}} = 16mm$$

## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

### ➤ VIGAS CONTÍNUA:



Msd de 50,6 kN:

$$A_s = M_{sd} / z \cdot f_{yd}$$

$$A_s = M_{sd} / (d - 0,5 \cdot \lambda x) \cdot f_{yd}$$

$$A_s = M_{sd} / [d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot (0,45d)] \cdot f_{yd}$$

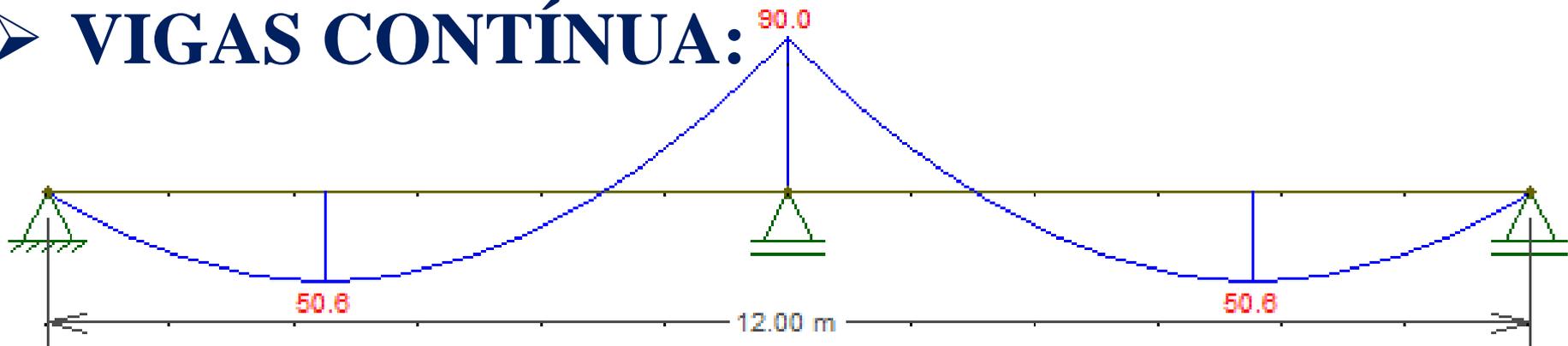
$$A_s = 50,6 / \{[0,5557 - 0,4(0,45 \cdot 0,5557)] (500000/1,15)\}$$

$$A_s = 50,6 / 198119,13$$

$$A_s = 2,55 \text{ cm}^2 \rightarrow A_s = 3 \phi 12,5 \text{ mm} \text{ ou } 2 \phi 16 \text{ mm}$$

# 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

## ➤ VIGAS CONTÍNUA:



Msd de -90 kN:

$$A_s = Msd / z.fyd$$

$$A_s = Msd / (d - 0,5 \cdot \lambda x) \cdot fyd$$

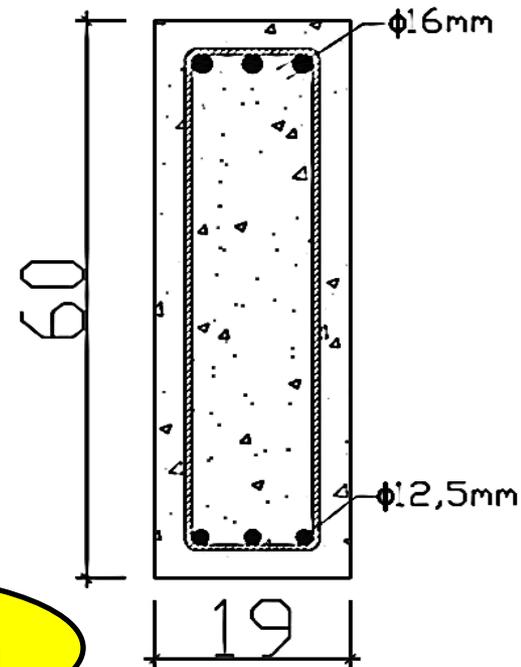
$$A_s = Msd / [d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot (0,45d)] \cdot fyd$$

$$A_s = 90 / \{[0,5557 - 0,4(0,45 \cdot 0,5557)] (500000/1,15)\}$$

$$A_s = 90 / 198119,13$$

$$A_s = 4,54 \text{ cm}^2 \rightarrow A_s = 3 \phi 16 \text{ mm}$$

$$c_1 = c + \phi t + \phi b/2 \rightarrow c_1 = 30 + 6,3 + 12,5/2 \rightarrow c_1 = 42,55 \text{ mm}$$



# 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

## ➤ VIGAS CONTÍNUA: (Considera apenas Barras Inferiores)

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF (min)	Combinações $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{w\min}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Interpolação para 3  $\phi$  12,5 mm

$$b_{\min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 12\text{mm} \rightarrow \text{TRF} = 60\text{min}$$

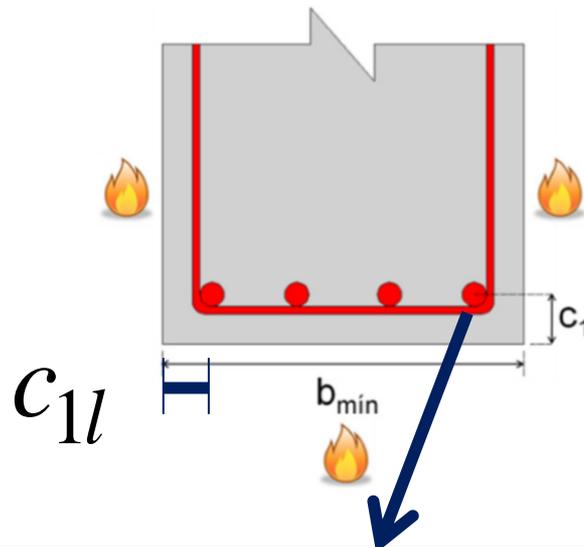
$$b_{\min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 45\text{mm} \rightarrow \text{TRF} = 120\text{min}$$

$$b_{\min} = 190\text{mm} \rightarrow c_1 = 42,55\text{mm}$$

$$\text{TRF} = 115,55\text{min}$$

## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

- **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b$  (190 mm) <  $b_{min}$  (300 mm) (coluna 2 da tabela):

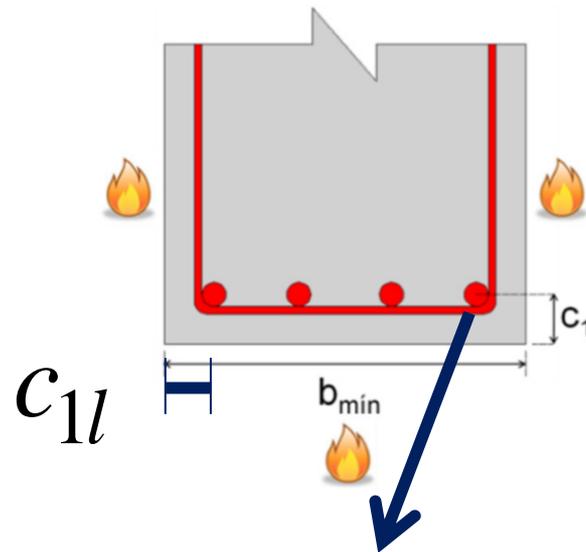


Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF (min)	Combinações $b_{min}/c_1$ (mm/mm)				$b_{wmin}$
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

## 6.3. CONCRETO – EXEMPLO

- **ARMADURA DE CANTO** (única camada e  $b$  ( $190\text{ mm}$ )  $< b_{min}$  ( $300\text{ mm}$ ) (coluna 2 da tabela):



- ❑ Concentração de temperatura junto as bordas;
- ❑ Adota-se:

$$c_{1l} = 42,55 + 10\text{mm}$$

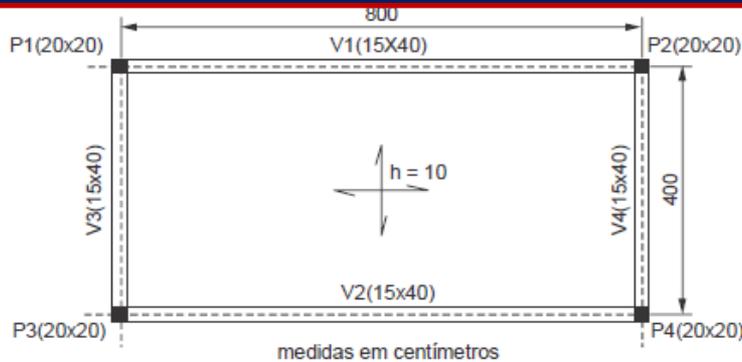
$$A_{s_{ef}} = 16\text{mm} > A_{s_{cal}} = 12,5\text{mm}$$

## 6.2.2 LAJES

# LAJES – MÉTODO TABULAR

- Aquecimento na face inferior, valor de  $c_1$  das armaduras inferiores;
- Os valores de  $c_1$  indicados nas tabelas são válidos para **ARMADURAS PASSIVAS**. Para elementos **PROTENDIDOS**, deve-se acrescentar **10 mm para barras** e **15 mm para cordoalhas**.
- Os valores de  $h^*$  são os mínimos para garantir a função corta fogo. Caso não haja a exigência de compartimentação, a espessura da laje pode ser aquela calculada para a temperatura ambiente.

# 1. LAJES SIMPLEMENTE APOIADAS



**\*\* Lajes apoiadas nas 4 bordas, caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.**

**Tabela 8.1 – Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas sobre vigas**

TRRF min	h* mm	$c_1$ mm		
		Armada em duas direções**		Armada numa direção $l_y/l_x > 2$
		$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

# 2. LAJES CONTÍNUAS SOBRE VIGAS



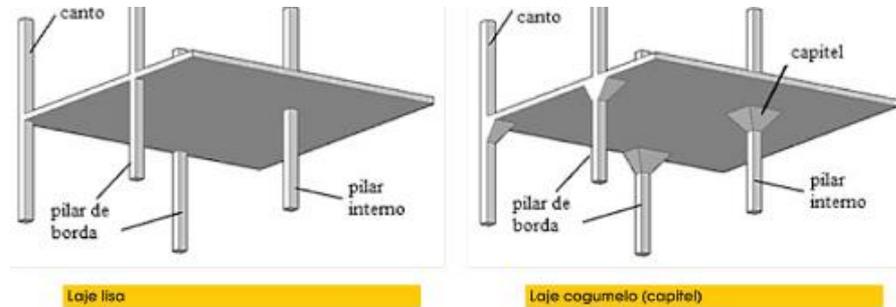
A redistribuição de momento e o prolongamento de armadura leva as mesmas exigências feitas para vigas. Caso não seja observada essas exigências, a laje deverá ser considerada como apoiada.

**Tabela 8.2 – Dimensões mínimas para lajes contínuas sobre vigas**

TRRF min	$h^*$ mm	$c_1$ mm
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30

(armadas em 1 ou 2 direções)

# 3. LAJES Lisas ou Cogumelos



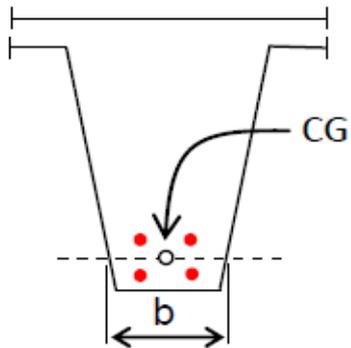
“LAJES SEM VIGAS”

A redistribuição de momento e o prolongamento de armadura leva as mesmas exigências feitas para vigas. Caso não seja observada essas exigências, deve-se adotar o  $c_1$  conforme a tabela 8.1, para laje armada numa só direção, e  $h$  conforme tabela abaixo (Pignatta, 2012)

**Tabela 8.3 – 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
180	200	45

# 4. LAJES NERVURADAS APOIADAS



(b) Largura variável



\* $b_{min}$  corresponde à largura mínima da nervura no nível do centro geométrico das armaduras.

\*\* $h$  é a altura mínima da laje para garantir a função corta fogo

**Tabela 8.4 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas**

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{min}/c_1^*$ mm/mm			Capa*** $h/c_1$ mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			60/10
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
180	220/75	260/70	410/60	150/30

# 5. LAJES NERVURADAS CONTÍNUAS



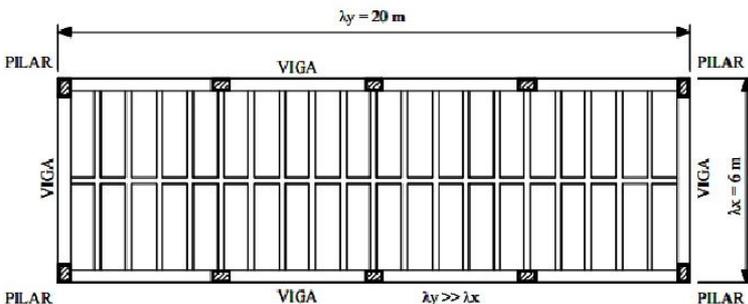
\* $b_{min}$  corresponde à largura mínima da nervura no nível do centro geométrico das armaduras.

\*\* $h$  é a altura mínima da laje para garantir a função corta fogo

**Tabela 8.5 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas**

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{min}/c_1$ mm/mm			Capa** $h/c_1$ mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			60/10
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
180	310/60	600/50		150/30

# 6. LAJES NERVURADAS - uma direção



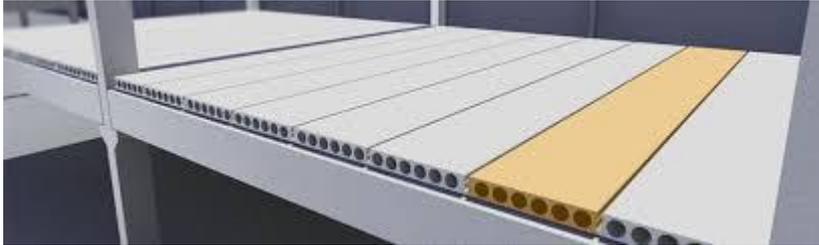
**Armada em uma direção com  
um nervura transversal**

*\*A tabela 8.6 (abaixo) aplica-se às nervuras e a Tabela 8.1, para laje armada numa só direção, aplica-se à capa*

**Tabela 8.6 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção**

TRRF (min)	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	

# 7. LAJES ALVEOLARES



Laje constituída por painéis de concreto protendido na sua base e na parte superior da peça.

A NBR 15200 (2012) se omite sobre esse tipo de lajes. Porém, a EN 1168 (2005) define a altura equivalente da laje pela média geométrica entre a espessura média da laje e a espessura da laje alveolar:

$$h_e = 0,7 \sqrt{\frac{A_c}{b} h_{laje}}$$

$h_e$  = altura equivalente da laje alveolar;

$A_c$  = área descontando os alvéolos;

$h_{laje}$  = altura da laje alveolar;

$b$  = largura da laje;

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### ➤ REVESTIMENTO:

### ➤ No cálculo do $c_1$ e $h$ pode-se considerar:

❑ No cálculo das espessuras mínimas das lajes ( $h$ ) para garantir a função corta fogo, é permitida a consideração do revestimento nas condições apresentadas na seção sobre vigas. Essa redução não é permitida para LAJES LISAS ou COGUMELOS.

❑ Na determinação de  $c_1$  é permitida a consideração do revestimento, respeitadas as prescrições indicadas na seção sobre vigas.

# EXEMPLO

➤ Verifique se as dimensões das seguintes lajes de um edifício são capazes de suportar um TRRF=120 min. Caso não seja, indique as providencias a serem tomadas.

a) Laje apoiada,  $l_x=3.0m$  e  $l_y=6,1m$ ,  $\phi 10mm$ , *cobrimento*=20 mm,  $h=140$  mm.

b) Laje nervurada contínua,  $b_{nervura}=180mm$ ,  $c_{1nervura}=45mm$ ,  $h_{capa}=160mm$ ,  $\phi_{capa} 8mm$ ,  $c_{capa}=20$  mm.

c) Laje nervurada armada em uma direção,  $b_{nervura}=200mm$ ,  $c_{1nervura}=45mm$ ,  $h_{capa}=200mm$ ,  $\phi_{capa} 12,5mm$ ,  $c_{capa}=20mm$ .

# EXEMPLO – LAJES

➤ Resolução item a:

Laje apoiada,  $l_x=3.0m$  e  $l_y=6,1m$ ,  $\phi 10mm$ ,  
cobrimento=20 mm,  $h=140$  mm.

$$c_1 = \phi a/2 + c + \text{revest}$$

$$c_1 = 10/2 + 20 = 25 \text{ mm}$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{6,1}{3} = 2,03 \rightarrow \frac{l_y}{l_x} > 2; \text{ armada numa direção}$$

\* Observando a tabela de lajes apoiadas:

$$h = 140 > h^* = 120 \text{ ok!}$$

$$c_1 = 25 < c_{1\text{tab}} = 40 \text{ não!}$$

Para resolver o problema pode-se aplicar um revestimento de 1,5 cm de areia+cimento.

Tabela 8.1 – Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas sobre vigas

TRRF min	h* mm	c <sub>1</sub> mm		
		Armada em duas direções**		Armada numa direção $l_y/l_x > 2$
		$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$	
120	120	20	25	40

# EXEMPLO – LAJES

➤ Resolução item b:

Laje Nervurada contínua,  $b_{nervura}=180\text{ mm}$ ,  $c_{1nervura}=45\text{ mm}$ ,  $h_{capa}=160\text{ mm}$ ,  $\phi 8\text{mm}$  (capa),  $c_{capa}=20\text{ mm}$ .

$$c_{1capa} = \phi a/2 + c + \text{revest}$$

$$c_{1capa} = 8/2 + 20 = 24\text{ mm}$$

\* Observando a tabela de lajes nervuradas contínuas:

Tabela 8.5 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{mn}/c_1^*$ mm/mm			Capa** $h/c_1$ mm/mm
	1	2	3	
120	160/45	190/40	300/30	120/20

$$h = 160 > h^* = 120 \quad \text{ok!}$$

$$c_{1capa} = 24 > c_{1tab} = 20 \quad \text{ok!}$$

Realizando uma interpolação para um  $b=180$ , temos que  $c_1 = 41,6\text{ mm} < c_{1nervura} = 45 \quad \text{ok!}$

# EXEMPLO – LAJES

➤ Resolução item c: Laje nervurada armada em uma direção,  $b_{nervura}=200\text{mm}$ ,  
 $c_{Inervura}=45\text{mm}$ ,  $h_{capa}=200\text{mm}$ ,  $\phi_{capa}12,5\text{mm}$ ,  
 $c_{capa}=30\text{mm}$ .

$$c_{1capa} = \phi a/2 + c + \text{revest}$$

$$c_{1capa} = 12,5/2 + 30 = 36,25 \text{ mm}$$

\* Observando tabela de lajes nervuradas em uma direção:

Tabela 8.6 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção

TRRF (min)	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)	
	1	2
120	160/65	220/50

$h = 200 > h^* = 120\text{mm}$  (tabela 8.1) ok!

$c_{1capa} = 36 < c_{1tab} = 40$  (tabela 8.1) **não!** Usar revestimento.

Realizando uma interpolação para um  $b=200$ , temos que  $c_1 = 55\text{mm} > c_{Inervura} = 45\text{mm}$  **não!** Considerar a aplicação de um revestimento de 1 cm de areia e cimento

## 6.2.3 PILARES

# MÉTODO TABULAR E ANALÍTICO

- Pilares retangulares ou circulares;
- Aplica-se as estruturas com nós fixos;
- Aplica-se nos casos de estruturas em que os deslocamentos não lineares (2ª ordem) decorrente do desaprumo puderem ser desconsiderados em situação de incêndio;
- Os efeitos globais de 2ª ordem à temperatura ambiente não podem ultrapassar 30% dos respectivos esforços de 1ª ordem ( $\gamma_z \leq 1,3$ )

## **6.2.3.1 MÉTODO TABULAR**

# 1 - MÉTODO TABULAR

- **UTILIZA-SE AS TABELAS FORNECIDAS PELA NBR 15200;**
- **O  $b_{min}$ , que se encontra nas tabelas, é a mínima dimensão estrutural (sem considerar o revestimento) da seção transversal do pilar em *mm*;**
- ***É permitida a interpolação dos valores apresentado nas tabelas, obedecidos os limites;***
- **Pilares nos quais  $A_s \geq 0,02A_c$ , é necessária uma distribuição uniforme das armaduras ao longo dos lados da seção para  $TRRF \geq 90$  min;**

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se a **Taxa mecânica de armadura ( $\omega$ )**:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

- $A_s$  = Área total da seção das barras de aço;
- $A_c$  = Área da seção de concreto;
- $f_{cd} = f_{ck}/1,0$  valor de cálculo da resistência à compressão do concreto à temperatura ambiente;
- $f_{yd} = f_{yk}/1,0$  valor de cálculo da resistência do aço à temperatura ambiente;

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se o parâmetro  $v_{fi}$  :

$$v_{fi} = \frac{N_{0Sd,fi}}{0,7(A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})}$$

- $N_{0Sd,fi}$  = valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% de  $N_{0Sd}$ , em que  $N_{0Sd}$  é o valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem à temperatura ambiente, desconsiderando o efeito das forças decorrentes do vento

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se o parâmetro  $e$ :

$$e = \frac{M_{0Sd,fi}}{N_{0Sd,fi}}$$

- $M_{0Sd,fi}$  = valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% de  $M_{0Sd}$ , em que  $M_{0Sd}$  é o valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem à temperatura ambiente, desconsiderando o efeito das forças decorrentes do vento

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se a **esbeltez em incêndio**  $\lambda_{fi}$  e o  $c_1$ :

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r}$$

- $l_{ef,fi}$  (m) = é o comprimento efetivo do pilar; em incêndio, e poderá ser considerado igual ao valor em temperatura ambiente ( $l_{ef}$ ) (conforme seção 15.6, NBR 6118 (2007)).
- $r = \sqrt{\frac{I}{Ac}}$  é o raio de giração, onde I é o momento de inércia da seção do concreto;

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se a **esbeltez em incêndio**  $\lambda_{fi}$  e o  $c_1$ :

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r}$$

- Os pilares dos andares intermediários de edifícios com compartimentação vertical e com efeitos globais de 2ª ordem (a  $T_{amb}$ )  $\leq 10\%$  do esforço de 1ª ordem (Ex.  $\gamma_z \leq 1,1$ ) pode-se adotar:

$$l_{ef,fi} = 0,5l_{ef}$$

$$l_{ef,fi} = 0,7l_{ef} \text{ para o pavimento mais alto}$$

# 1 – MÉTODO TABULAR

Nas Tabelas utiliza-se a **esbeltez em incêndio**  $\lambda_{fi}$  e o  $c_1$ :

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r}$$

- Para  $\gamma_z > 1,1$ , o  $l_{ef,fi}$  poderá ser determinado em uma análise estrutural avançada.
- $c_1$  = *distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo.*

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

### ➤ REVESTIMENTO:

- Na determinação de  $c_1$  conforme os métodos apresentados é permitida a consideração do revestimento, conforme as prescrições apresentadas no exemplo das vigas. NÃO É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO NA DETERMINAÇÃO DE  $b$  OU  $h$ .

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

- Considere um pilar de  $L=3m$ , com seção transversal quadrada de  $30\text{ cm}$  de lado, armado com 4 barras longitudinais de  $\phi 20$  e estribo  $\phi 5$  com cobrimento de  $3\text{ cm}$ . Admitindo que o pilar seja intermediário de edifício com compartimentação vertical. Adote  $f_{ck}=30\text{ Mpa}$ ,  $f_{yk}=500\text{ Mpa}$ ,  $TRRF=120\text{ min}$ ,  $N_{0sk}=1000\text{ KN}$  e  $M_{0sk}=1000\text{ KN}$ . Admitir  $\gamma_z=1,08$ . **Verifique se o  $c_1$  é suficiente para atingir o TRRF.**

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

➤ Dados:

Dados de Entrada	
fck (Mpa)	30
fyk(Mpa)	500
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
N <sub>0Sk</sub> (KN)	1000
M <sub>0Sk</sub> (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm)	0

$$A_c = bh = 30.30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{n\pi d^2}{4} = \frac{4\pi(2)^2}{4} = 12,6 \text{ cm}^2$$

$$N_{0Sd} = 1,4N_{0Sk} = 1,4.1000 = 1400 \text{ KN}$$

$$M_{0Sd} = 1,4M_{0Sk} = 1,4.1000 = 1400 \text{ KN}$$

$$N_{0Sd,fi} = 0,7N_{0Sd} = 0,7.1400 = 980 \text{ KN}$$

$$M_{0Sd,fi} = 0,7M_{0Sd} = 0,7.1400 = 980 \text{ KN}$$

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

➤ Dados:

Dados de Entrada	
fck (Mpa)	30
fyk(Mpa)	500
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
N0Sk (KN)	1000
M0Sk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm)	0

$$c_1 = \phi a/2 + \phi_{est} + c + \text{revest}$$

$$c_1 = 20/2 + 5 + 30 = 45 \text{ mm}$$

$$I = bh^3/12 = 67500 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{Ac}} = \sqrt{\frac{67500}{900}} = 8,66 \text{ cm}$$

*\* Para pilares dos andares intermediários de edifícios com compartimentação vertical..*

$$l_{ef.fi} = 0,5l_{ef} = 0,5.300 = 150 \text{ cm}$$

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

➤ Dados:

Dados de Entrada	
fck (Mpa)	30
fyk(Mpa)	500
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
N0Sk (KN)	1000
M0Sk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm)	0

$$\lambda_{fi} = l_{ef,fi} / r = 150 / 8,66 = 17,32$$

$$e = \frac{M_{0Sd,fi}}{N_{0Sd,fi}} = \frac{980}{980} = 1$$

Multiplica por 0,1 para transformar de Mpa para kN/cm<sup>2</sup>

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}(MPa) \cdot 0,1}{1,4} = 2,14 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}(MPa) \cdot 0,1}{1,15} = 43,48 \text{ KN/cm}^2$$

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

➤ Dados:

Dados de Entrada	
fck (Mpa)	30
fyk(Mpa)	500
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
N0Sk (KN)	1000
M0Sk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm)	0

$$v_{fi} = \frac{N_{0Sd,fi}}{0,7(A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})}$$

$$v_{fi} = \frac{980}{0,7(900 \cdot 2,14 + 12,6 \cdot 43,48)}$$

$$v_{fi} = 0,57$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{12,6 \cdot 43,48}{900 \cdot 2,14}$$

$$\omega = 0,28$$

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

- Para  $b_{min}/c_1 = 300/45$  e arredondando os valores de  $\omega$ ,  $\lambda$  e  $v_{fi}$  para valores mais próximos na tabela:

Tabela 9.4 (Pignatta, 2012) - Dimensões mínimas para pilares com  $\omega=0,5$  e  $e_{max} = 10 \text{ mm}$ , para  $b \leq 400 \text{ mm}$  e  $e_{max} = 0,025b$  para  $b > 400 \text{ mm}$

- $\omega=0,28$  arredonda para 0,5 (a favor da segurança)
- $\lambda=17,32$  arredonda para 30 (a favor da segurança)
- $v_{fi}=0,57$  arredonda para 0,6 (a favor da segurança)

# EXEMPLO – MÉTODO TABULAR

- Na tabela 9.4, para os valores de  $\omega=0,5$ ;  $\lambda=30$ ; e *um*  $TRRF=120$ ; tem-se:
- Para um  $v_{fi}=0,5 \rightarrow 250/45 : 300/25$
- Para um  $v_{fi}=0,7 \rightarrow 350/45 : 500/25$
- Para descobrir o  $c_1$  para um  $b_{min}=300$  e  $v_{fi}=0,6$  é necessário realizar duas interpolações, semelhante ao que foi feito para as vigas.

$$c_1 = \frac{(C_b - C_a)}{(b_b - b_a)} (b - b_a) + C_a$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Para  $v_{fi}=0,5$

$$b=300$$

$$b_a=250$$

$$C_a=45$$

$$b_b=300$$

$$C_b=25$$

$$C_1 = \frac{(25 - 45)}{(300 - 250)} (300 - 250) + 45$$

$$C_1 = 25 \text{ mm}$$

$$C_2 = \frac{(25 - 45)}{(500 - 350)} (300 - 350) + 45$$

$$C_2 = 51,7 \text{ mm}$$

$v_{fi}=0,7$

$$b=300$$

$$b_a=350$$

$$C_a=45$$

$$b_b=500$$

$$C_b=25$$

## 6.2. CONCRETO – MÉTODO TABULAR

Por fim, faz-se mais um interpolação, considerando os valores de  $C$  encontrados e o  $\nu_{fi}=0,6$ ;

$$c_1 = \frac{(C_2 - C_1)}{(\nu_{fi2} - \nu_{fi1})} (\nu_{fi} - \nu_{fi1}) + C_1$$

$$c_1 = \frac{(51,7 - 25)}{(0,7 - 0,5)} (0,6 - 0,5) + 25$$

$$c_1 = 38,4 \text{ mm} < 45 \text{ mm} \quad \text{OK!!!}$$

## **6.2.3.2 MÉTODO ANALÍTICO**

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

O Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) de um pilar pode ser determinado por meio da Equação abaixo:

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

onde:

$$R_{\mu} = 83(1 - \mu_{fi})$$

$$R_l = 9,60(5 - l_{ef,fi});$$

$$R_a = 1,60(c_1 - 30); c_1 \text{ em } mm$$

$$R_n = 0; \text{ para } n=4$$

$$R_n = 12; \text{ para } n>4$$

$n=n^{\circ}$  de barras longitudinais

$$R_b = 40 \text{ para } b' > 450mm;$$

$$R_b = 0,09b' \text{ para } 190mm \leq b' \leq 450mm;$$

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

onde:

$$R_{\mu} = 83(1 - \mu_{fi}) \rightarrow \mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}}$$

- $N_{Sd,fi}$  = valor de cálculo da força axial em situação de incêndio;
- $N_{Rd}$  = valor de cálculo do esforço normal resistente do pilar à temperatura ambiente, incluindo os efeitos de 2ª ordem e desconsiderando os efeitos das forças decorrentes do vento;

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

**onde:**

$$R_a = 1,60(c_1 - 30); c_1 \text{ em } mm$$

$$R_l = 9,60(5 - l_{ef,fi});$$

- $c_1$  = distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo;
- $l_{ef,fi}$  = comprimento efetivo do pilar conforme definido anteriormente no método tabular;

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

**onde:**

$$R_b = 40 \text{ para } b' > 450\text{mm};$$

$$R_b = 0,09b' \text{ para } 190\text{mm} \leq b' \leq 450\text{mm};$$

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

➤  $b' = 1,2b$ ; para  $h > 1,5b$

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

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

➤ *Para o uso da equação do TRF devem ser respeitadas as seguintes limitações:*

$$A_s/A_c \leq 0,04;$$

$$25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm};$$

$$b' \geq 190 \text{ mm}$$

$e \leq 0,15b$ ; *(excentricidade de 1ª ordem em incêndio, que pode ser assumida igual à excentricidade à temperatura ambiente, desconsiderando a ação do vento)*

$$l_{ef,fi} \leq 6m$$

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

### ➤ REVESTIMENTO:

- Na determinação de  $c_1$  conforme os métodos apresentados é permitida a consideração do revestimento, conforme as prescrições apresentadas no exemplo das vigas. NÃO É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO NA DETERMINAÇÃO DE  $b$  OU  $h$ .

## 2 - MÉTODO ANÁLITICO

- Considere um pilar de  $L=3m$ , com seção transversal quadrada de  $30\text{ cm}$  de lado, armado com 4 barras longitudinais de  $\phi 20$  e estribo  $\phi 5$  com cobrimento de  $3\text{ cm}$ . Admitindo que o pilar seja intermediário de edifício com compartimentação vertical. Adote  $f_{ck}=30\text{ Mpa}$ ,  $f_{yk}=500\text{ Mpa}$ ,  $TRRF=120\text{ min}$ ,  $N_{0sk}=1000\text{ KN}$ ,  $M_{0sk}=1000\text{ KN}$  e  $NR_k=1950\text{ KN}$ . Admitir  $\gamma_z=1,08$ . Verifique se o  $c_1$  é suficiente para atingir o TRRF.

# EXEMPLO – MÉTODO ANÁLITICO

➤ Dados:

Dados de Entrada	
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
NRk	1950
NOSk (KN)	1000
MOSk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm) Areia+cimento	0

$$A_c = bh = 30.30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{n\pi d^2}{4} = \frac{4\pi(2)^2}{4} = 12,6 \text{ cm}^2$$

$$N_{0Sd} = 1,4N_{0Sk} = 1,4.1000 = 1400 \text{ KN}$$

$$M_{0Sd} = 1,4M_{0Sk} = 1,4.1000 = 1400 \text{ KN}$$

$$N_{0Sd,fi} = 0,7N_{0Sd} = 0,7.1400 = 980 \text{ KN}$$

$$M_{0Sd,fi} = 0,7M_{0Sd} = 0,7.1400 = 980 \text{ KN}$$

# EXEMPLO – MÉTODO ANÁLITICO

➤ Dados:

Dados de Entrada	
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
NRk	1950
NOSk (KN)	1000
MOSk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm) Areia+cimento	0

$$c_1 = \phi a/2 + \phi_{est} + c + \text{revest}$$

$$c_1 = 20/2 + 5 + 30 = 45 \text{ mm}$$

$$N_{0Rd} = N_{Rk} / 1,4 = 1393 \text{ kN}$$

*\* Para pilares dos andares intermediários de edifícios com compartimentação vertical...*

$$l_{ef.fi} = 0,5l_{ef} = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ cm}$$

# EXEMPLO – MÉTODO ANÁLITICO

➤ Dados:

Dados de Entrada	
b (cm)	30
h(cm)	30
4φ20 mm	20
n	4
estφ5 (mm)	5
L (cm)	300
NRk	1950
NOSk (KN)	1000
MOSk (KN.m)	1000
cobri (cm)	3
Revest(cm) Areia+cimento	0

$$e = \frac{M_{0Sd,fi}}{N_{0Sd,fi}} = \frac{980}{980} = 1$$

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}} = \frac{980}{1393} = 0,7$$

# EXEMPLO – MÉTODO ANALÍTICO

➤ Aplicando os valores na fórmula do TRF:

<b>c1 (mm)</b>	<b>45,00</b>
<b>le,fi (cm)</b>	<b>150,00</b>
<b><math>\mu_{fi}</math></b>	<b>0,70</b>
<b><math>R_{\mu}</math></b>	<b>24,60</b>
<b>Ra</b>	<b>24,00</b>
<b>Rl</b>	<b>33,60</b>
<b>b' (mm)</b>	<b>300,00</b>
<b>Rb</b>	<b>27,00</b>
<b>Rn</b>	<b>0,00</b>
<b>TRF (min)</b>	<b>101,27</b>

<b>As/Ac=</b>	<b>0,013963</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO PODE SER APLICADO</b>
<b>c1=</b>	<b>45,00</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO PODE SER APLICADO</b>
<b>b'=</b>	<b>300,00</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO PODE SER APLICADO</b>
<b>e=</b>	<b>1</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO PODE SER APLICADO</b>
<b>lef,fi=</b>	<b>150,00</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO PODE SER APLICADO</b>

$$TRF = 120 \left( \frac{R_{\mu} + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} = 101,27$$

# EXEMPLO – MÉTODO ANÁLITICO

- Argamassa cal e areia: (eficiência de 0,67 x espessura) e Argamassa de cimento e areia:

Revest(cm) areia+cimento	1
c1 (mm)	55,00
le,fi (cm)	150,00
$\mu_{fi}$	0,70
$R_{\mu}$	24,60
Ra	40,00
RI	33,60
b' (mm)	300,00
Rb	27,00
Rn	0,00
TRF (min)	129,53

Revest(cm) cal+areia	1
c1 (mm)	51,70
le,fi (cm)	150,00
$\mu_{fi}$	0,70
$R_{\mu}$	24,60
Ra	34,72
RI	33,60
b' (mm)	300,00
Rb	27,00
Rn	0,00
TRF (min)	119,86

## **6.2.4. OUTRAS SITUAÇÕES DE PILARES E TIRANTES**

# OUTRAS SITUAÇÕES

## ➤ PILARES EXPOSTOS AO FOGO EM UMA FACE:

**Tabela 9.10 – Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta**

TRRF (min)	Combinações de $b_{\text{mín}}/c_1$ mm/mm
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	230/55

# OUTRAS SITUAÇÕES

## ➤ PILARES PAREDES:

Tabela 9.11 - Dimensões mínimas para pilares-parede

TRRF (min)	Combinações de $b_{\min}/c_1$ mm/mm			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	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
180	180/40	200/45	210/50	270/55

# OUTRAS SITUAÇÕES

## ➤ TIRANTES:

Os valores de  $b_{min}$  e  $c_1$  para tirantes podem ser os mesmos valores indicados na Tabela para vigas biapoiadas. A área da seção transversal do tirante não pode ser menor do que  $2b_{min}^2$ . Quando a excessiva deformação do tirante afeta a capacidade resistente da estrutura, os valores de  $c_1$  devem ser acrescidos de  $10\text{ mm}$ .

## 6. CONCRETO – MÉTODOS ALTERNATIVOS

### ➤ ALTERNATIVOS:

**A ABNT NBR 15200 (2012) permite, alternativamente, métodos avançados numérico-computacional ou simplificados sejam empregados no dimensionamento de vigas, lajes e pilares. (O livro do professor Valdir Pignatta (2012) trás alguns métodos alternativos)**

# 7. CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

# 7. CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

- São os concretos do grupo II (C55 a C90) de resistência, conforme classificação da ABNT NBR 8953.
- Para esse tipo de concreto pode ser aplicada as recomendações do Eurocode 2 parte 1.2 (2004).
  - *Considera-se apenas o modelo de incêndio padronizado.*

# 7. CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

➤ Os métodos tabulares apresentados aqui podem ser empregados para o CAR, se:

*1) As dimensões mínimas das seções transversais indicadas pelos métodos forem aumentadas em:*

- *$0,1 \times c_1$  para C55 e C60 e  $0,3 \times c_1$  para C70 e C80, para paredes e lajes de concreto exposta ao fogo em apenas uma face.*
- *$0,2 \times c_1$  para C55 e C60 e  $0,6 \times c_1$  para C70 e C80, para todos os outros elementos de concreto.*

# 7. CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

➤ Os métodos tabulares apresentados aqui podem ser empregados para o CAR, se:

*2) O valor de  $c_1$  indicado nas tabelas for multiplicado por 1,1 para C55 e C60 e 1,3 para C70 e C80;*

*3) Para C90, métodos mais precisos devem ser empregados.*

*Obs.: Para os pilares, a determinação de  $\mu_{fi}$  (analítico) ou  $v_{fi}$  (tabular) devem ser determinados sem o aumento da seção transversal.*

# **8. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PÓS-INCÊNDIO**

**Engenharia de Materiais e Tecnológica**

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- Após um incêndio é necessário realizar uma inspeção, o quanto antes, para a identificação dos danos. A avaliação pode ser:
  - *Qualitativa*: Por inspeção visual;
  - *Quantitativa*: Por ensaios *in situ* ou laboratoriais (nos elementos ou extraindo corpos de provas);

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

➤ Deve-se observar e documentar:

- *Duração do incêndio;*
- *Meios de extinção utilizados;*
- *Tipologia, uso e ocupação do edifício;*
- *Materiais utilizados nas estruturas e vedação;*
- *Tipo de carga de incêndio e sua distribuição;*
- *Número e dimensões das aberturas do compartimento (janelas e portas);*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

➤ Deve-se observar e documentar:

- *Os efeitos das temperaturas nos materiais: As características dos materiais após o incêndio permitem a estimação das temperaturas geradas;*

*Ex1.: Vidro amolece em aproximadamente 600 °C e flui em 800 °C;*

*Ex2.: Pintura das paredes carboniza e forma bolhas na faixa dos 100 °C;*

*Ex3.: Esquadrias e peças de alumínio fundem na faixa de 600;*

*Ex4.: Fios de cobre fundem na faixa dos 1100 °C;*

*Ex5.: Arestas vivas de fechaduras e trincos de latão tornam-se arredondadas entre 900 °C – 1000 °C.*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

Tab. 7.1 Efeitos da temperatura em materiais não estruturais

Material	Utilização	Fenômeno	Temperatura (°C)
Poliestireno	Contentores de plástico, espuma, persianas, cortinas, rádios	Colapso	120
		Amolecimento	120-140
		Escoamento	150-180
Polietileno	Malas, garrafas, baldes, tubos	Enrugamento	120
		Amolecimento e fusão	120-140
Polimetilmetacrílico	Coberturas, claraboias, vidrados	Amolecimento	130-200
		Bolhas	250
PVC	Cabos, tubos, forros, perfis, puxadores, utensílios domésticos, brinquedos, garrafas	Degradação	100
		Fumos	150
		Escurecimento	200
		Carbonização	400-500
Celulose	Madeira, papel, algodão	Escurecimento	200-300
Soldas	Juntas de tubos	Fusão	250
Chumbo	Canalização, instalações sanitárias, brinquedos	Fusão e arredondamento de bordas com arestas	300-350
		Formação de gotas	350-400
Alumínio e ligas de alumínio	Equipamentos, caixas, suportes, componentes mecânicos	Amolecimento	400
		Fusão	600
		Formação de gotas	650
Vidro	Envidraçados, janelas, portas, garrafas	Amolecimento e arredondamento de lados com arestas	500-600
		Fácil escoamento, viscosidade	800
Prata	Joalheria, talheres, utensílios de cozinha	Fusão	900
		Formação de gotas	950
Latão	Fechaduras, torneiras, puxadores de porta, abraçadeiras	Fusão das bordas	900-1.000
		Formação de gotas	950-1.050
Ferro fundido	Radiadores de calor, tubos	Fusão	1.100-1.200
		Formação de gotas	1.150-1.250
Zinco	Instalações sanitárias, tubos de queda	Formação de gotas	400
		Fusão	420
Bronze	Janelas, ornamentação	Lados arredondados	900
		Formação de gotas	900-1.000
Pinturas	Janelas, portas	Deterioração	100
		Destruição	250
Madeira	Móveis e revestimentos	Combustão	240

Fonte: Schneider (1989).

*Outros efeitos das temperaturas em materiais não estruturais.*

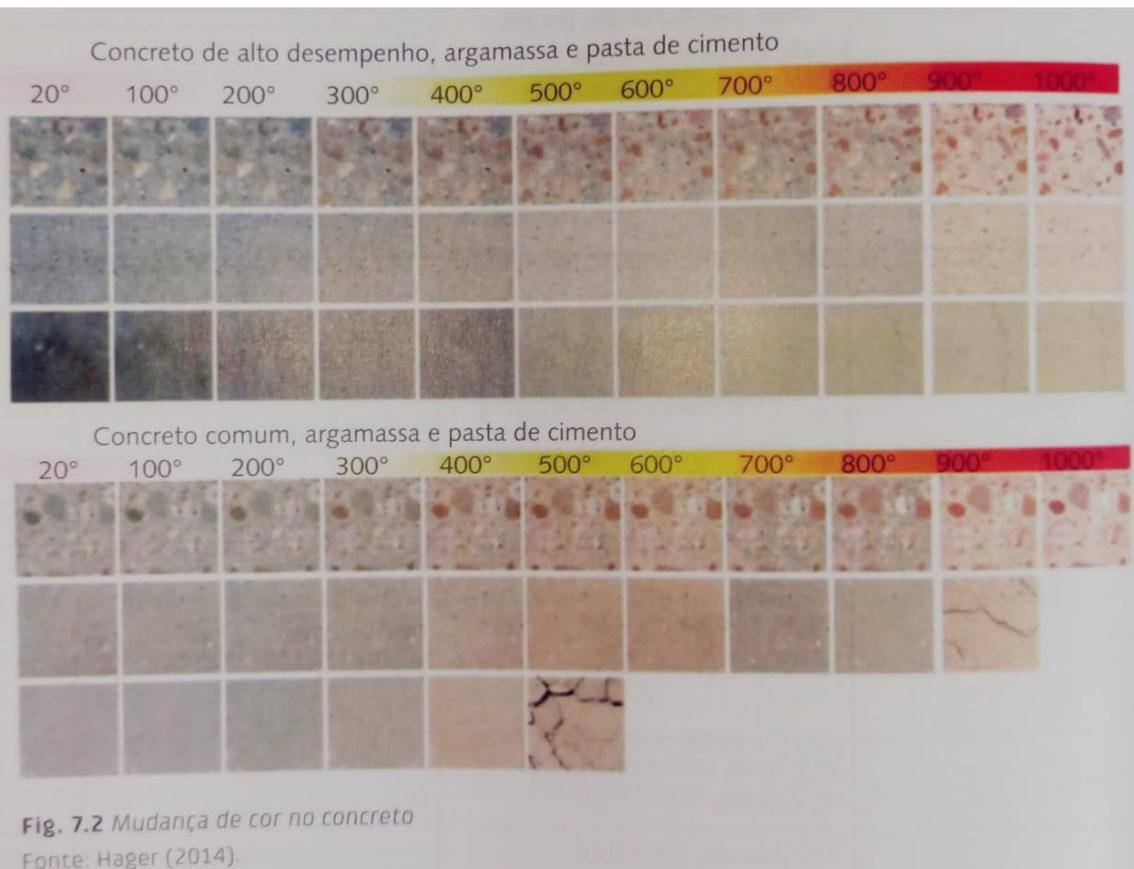
*\*João Paulo Correia Rodrigues & Rafael Luiz Galvão de Oliveira. "Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, Oficina de Textos. São Paulo, 2021".*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **Estruturas de concreto:** *após o incêndio as estruturas de concreto apresentam características que permitem a classificação do dano:*
  - Desse modo, os aspectos visuais (coloração, fissuração e *spalling*, deformação residual, flambagem, ataque químico nas armaduras dos cloretos resultante da combustão de plásticos);

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **Estruturas de concreto:** *alterações químicas dos constituintes do concreto estão associadas a diferentes colorações, assim, é possível estimar as temperaturas atingidas durante o incêndio.*



Essa avaliação qualitativa não é das mais confiáveis, pois as cores podem se alterar a medida que o tempo pós-incêndio passa.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **Estruturas de concreto:** *também é importante avaliar as fissurações no compartimento e em outros compartimentos devido a expansão térmicas das estruturas.*

A água utilizada para o combate ao incêndio pode resultar em fissuras de retração devidas ao choque térmico na superfície do concreto e, conseqüentemente, em *spalling*.

O *spalling* acarreta a exposição da armadura e a redução da seção transversal da estrutura.



# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ Estruturas de concreto:

*Geralmente, as lajes maciças de concreto estão sujeitas a maiores danos do que vigas e pilares.*

Pequena espessura e baixo cobrimento da armaduras.

*Nas estruturas protendidas de concreto, as armaduras ativas são mais afetadas pelas temperaturas do que as armaduras passivas.*

Devido a fluência ou relaxação do aço.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ Estruturas de aço:

*Devido a alta condutividade o aço tende a sofrer grades dilatações.*

*Elementos sujeitos a aquecimento diferencial podem sofrer empenamento.*

*As ligações podem sofrer falha pela ruptura por corte dos parafusos ou pela redução da resistência da solda.*

*O ataque químico na superfície do aço pelos cloretos resultante da combustão de plásticos pode gerar corrosão.*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ Estruturas de Madeira:

*As estruturas de Madeira apresentam comportamento relativamente bom em incêndio.*

*A parte carbonizada da madeira tem baixa condutividade e protege o material do núcleo.*

*Deve-se verificar se a seção residual é suficiente para resistir aos esforços solicitantes da estrutura.*

*As estruturas de madeira apresentam, após o incêndio, um cheiro intenso de queimado que pode durar por anos. Isso pode ser um fator impeditivo para uma futura reutilização.*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ ENSAIO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES (TÉRMICAS, MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS) RESIDUAIS:

### ➤ Concreto:

- ensaio dos corpos de prova (*core test*);
- ensaio de esclerômetro (*rebound, impact, Schmidt ou Swiss hammer test*);
- ensaio de propagação da velocidade por ultrassom (*ultrasonic pulse velocity test, Pundit*);
- ensaio de penetração (*penetration resistance ou Windsor probe test*);
- ensaio da fratura interna (*BRE internal fracture method*);
- teste de termoluminescência (*thermoluminescence test*);
- análises petrográficas (*petrography analysis*);
- determinação da densidade de fendas (*determination of crack density*);
- teste da carbonatação (*carbonation test*);
- teste da água química residual combinada;
- análises químicas.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **ENSAIO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES (TÉRMICAS, MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS) RESIDUAIS:**
- **Aço das armaduras e estruturas metálicas:**
  - Ensaio de tração em corpos de prova extraídos;
  - Ensaios de dureza;
  - Análise metalográfica da microestrutura do aço.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **CLASSIFICAÇÃO DE DANOS:**
- Cada engenheiro pode criar sua classificação qualitativa de danos (1 a 5, por exemplo);
- Se a quantidade de elementos com danos severos for muito grande, a decisão do engenheiro pode ser por demolição. Caso contrário, pode ser feita a restauração parcial ou total;
- Feito a classificação do dano, é necessário elaborar um relatório completo sobre os danos e indicando com clareza as estruturas a serem restauradas ou demolidas.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **CLASSIFICAÇÃO DE DANOS:**
- Os aspectos econômicos devem ser ponderados, pois, pode-se chegar a conclusão de que a reabilitação do edifício não é economicamente viável.
- Caso opte-se pela reabilitação, o relatório deve indicar as técnicas utilizadas para a reparação.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- **CRITÉRIOS GERAIS DE REPARAÇÃO:**
- Reparação total restituindo as funções originais do edifício.
- Reparação parcial com reconstrução de alguns elementos e restrição de funções de algumas áreas;
- Mudança de uso e ocupação da edificação.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- REPARAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE **CONCRETO**:
- Basicamente, a restauração de estruturas de concreto armado consiste em:
  - Remoção do concreto que esteve submetido a 300 °C (visual, ensaio ou expressões análíticas);
  - As zonas que sofreram *spalling* devem ser avaliadas para verificar se as armaduras foram expostas ao fogo;
  - As armaduras expostas deve ser substituídas ou reforçadas com armaduras adicionais;
  - Nos casos em que a estrutura apresenta deformação excessiva é necessário realizar a demolição;
  - As vezes pode ser necessário aumentar as dimensões dos elementos estruturais, logo questões arquitetônicas podem ser afetadas.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ REPARAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE AÇO:

- Elementos com grandes deformações podem ser corrigidos com técnicas de desempenamento do perfil. Porém, essa técnica geralmente, não é aplicada devido a complexidade e alto custo envolvido;
- Os perfis podem ser jateados com material abrasivo e pintados para melhorar a estética;
- No caso das ligações é recomendado a substituição dos parafusos e soldas, quando houver dificuldades para a avaliação das características pós incêndio;

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

## ➤ REPARAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE **MADEIRA**:

- Retirar a camada superficial carbonizada;
- Substituição das ligações, que geralmente são metálicas;
- A mão de obra cara e o cheiro de queimado podem ser fatores limitantes para reparação dessas estruturas;
- Assim, é comum a substituição do elemento ao invés da restauração;

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- O Concreto, pós-incêndio, geralmente, não recupera a resistência inicial:
  - *Podendo perder até 10% da sua resistência inicial; (GUO;SHI, 2011)\**
  - *A resistência dependerá da temperatura atingida durante o incêndio;*

\*GUO, Z.; SHI, X. EXPERIMENT AND CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE AT ELEVATED TEMPERATURES. ELSEVIER, 2011.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- O AÇO, pós-incêndio tem mudanças em sua cristalografia (720 °C):
  - *Até 720 °C pode-se considerar que ele recupera totalmente a resistência inicial;*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO

- A Estrutura, pós-incêndio, só pode ser reutilizada se for vistoriada;
  - *Verificando a capacidade remanescente;*
  - *A sua recuperação deve ser projetada e executada;*
    - Para que recupere toda capacidade de resistência ao ELU e ELS.

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO



# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO



**Torre Grenfell após incêndio: LONDRES (58 mortes)**

*<https://extra.globo.com/noticias/mundo/policia-de-londres-divulga-primeiras-imagens-de-dentro-da-torre-grenfell-apos-incendio-21490565.html>*

# 8. AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO



<https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/reforma-em-apartamento-pos-incendio-em-andamento>



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS



# OBRIGADO!

**Prof. Dr. Alverlando Silva Ricardo**

*Universidade Federal de Alagoas - Campus do Sertão*  
*Engenharia Civil/Produção*

*E-mail: [alverlando.ricardo@delmiro.ufal.br](mailto:alverlando.ricardo@delmiro.ufal.br)*



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS CAMPUS SERTÃO EIXO TECNOLOGIA



## CONSIDERAÇÕES NO PROJETO DE ESTRUTURAS EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO