

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL  
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC  
ENGENHARIA CIVIL

LUÍSA VITÓRIA SANTOS DOS ANJOS

**ANÁLISE DE PILARES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO  
DE INCÊNDIO**

MACEIÓ-AL  
2021

LUÍSA VITÓRIA SANTOS DOS ANJOS

**ANÁLISE DE PILARES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO  
DE INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas - CTEC/UFAL, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Barboza de Lima

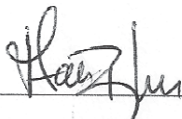
MACEIÓ-AL  
2021

## Folha de Aprovação

AUTORA: LUÍSA VITÓRIA SANTOS DOS ANJOS

Análise de pilares de concreto armado em situação de incêndio. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Alagoas.

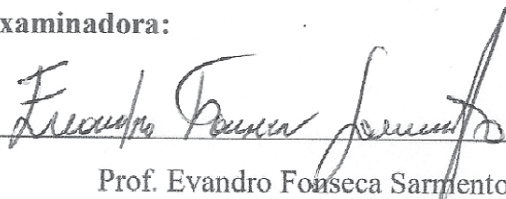
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovada em 28 de dezembro de 2020.



---

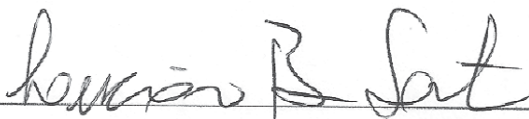
Prof. Dr. Flávio Barboza de Lima (Orientador)  
Universidade Federal de Alagoas

### Banca Examinadora:



---

Prof. Evandro Fonseca Sarmiento (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Alagoas



---

Prof. Luciano Barbosa dos Santos (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Alagoas

## RESUMO

ANJOS, L. V. S. d.. ANÁLISE DE PILARES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO. 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, 2021.

As edificações em concreto armado no Brasil são as mais usuais, sendo o concreto um material com boa resistência em relação ao fogo, pois não é combustível e possui baixa condutividade térmica. Porém a exposição contínua do material ao fogo pode ocasionar a ruína da estrutura. A elaboração de projetos estruturais de concreto armado é realizada segundo os critérios estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”. As ações ocasionadas por incêndios não são contempladas nesta norma, portanto a ABNT NBR 15200 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio” foi elaborada para que a estrutura fosse verificada também em situação de incêndio e atendendo aos requisitos da ABNT NBR 14432 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações”. Este trabalho apresenta a metodologia de cálculo para o dimensionamento de pilares de concreto em situação de incêndio e desenvolve um exemplo prático da análise dos pilares em um edifício, onde se pode verificar a segurança estrutural dos pilares em situação de incêndio.

**Palavras-chave:** Dimensionamento de Pilares de Concreto Armado. Situação de incêndio. ABNT NBR 15200.

## ABSTRACT

ANJOS, L. V. S. d.. FIRE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS. 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, 2021.

Reinforced concrete buildings in Brazil are the most common, with concrete being a material with good resistance to fire, as it is not combustible and has low thermal conductivity. However, continuous exposure of the material to fire can cause the structure to collapse. The design of reinforced concrete structures is based on the Brazilian standard ABNT NBR 6118: 2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento” (Design of concrete structures - Procedure). The actions caused by fire are not present in this standard, therefore the Brazilian standard ABNT NBR 15200 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio” (Fire Design of concrete structures) was designed so that the structure also be verified in a fire situation and compliance with the requirements of ABNT NBR 14432 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações” (Fire-resistance requirements for building construction elements - Procedure). This work presents the calculation methodology for the fire design of concrete columns and develops a practical example of the analysis of the columns in a building, where it is possible to verify the structural safety of the columns in a fire situation.

**Keywords:** Design of Reinforced Concrete Columns. Fire. Brazilian Standard NBR 15200.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Incêndio no Gran Circo Norte-Americano, no Rio de Janeiro . . . . .	13
Figura 1.2 – Incêndio no edifício Andraus, em São Paulo . . . . .	14
Figura 1.3 – Incêndio no edifício Joelma, em São Paulo . . . . .	14
Figura 2.1 – Curva temperatura-tempo de um incêndio . . . . .	18
Figura 2.2 – Curva padrão temperatura-tempo para material celulósico e hidrocarbonetos	19
Figura 2.3 – Fenômeno "explosive spalling" em laje . . . . .	21
Figura 2.4 – Fenômeno "sloughing" em pilar . . . . .	22
Figura 2.5 – Diagrama tensão-deformação do concreto a elevadas temperaturas . . . . .	25
Figura 5.1 – Modelo 3D da edificação . . . . .	68
Figura 5.2 – Planta de forma do pavimento tipo . . . . .	69
Figura 5.3 – TRRF determinado para a edificação . . . . .	70
Figura 5.4 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no pavimento térreo . . . . .	72
Figura 5.5 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no primeiro andar	72
Figura 5.6 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no segundo andar	73
Figura 5.7 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no terceiro andar	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores do fator de redução da resistência do concreto em função da temperatura $\theta$ para agregados silicosos e calcários . . . . .	23
Tabela 2.2 – Deformação específica do concreto em função da temperatura elevada . . . . .	24
Tabela 2.3 – Valores de $k_{s,\theta}$ para aços de armadura passiva . . . . .	26
Tabela 2.4 – Valores de $k_{Es,\theta}$ para aços de armadura passiva . . . . .	27
Tabela 2.5 – Valores da relação $f_{pyk,\theta}/(0,9f_{fpyk})$ para fios, cordoalhas e barras da armadura ativa . . . . .	28
Tabela 2.6 – Valores da relação $E_{p,\theta}/E_p$ para fios, cordoalhas e barras da armadura ativa . . . . .	29
Tabela 3.1 – Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação. . . . .	37
Tabela 3.2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos. . . . .	45
Tabela 3.3 – Fatores das medidas de segurança contra incêndio . . . . .	48
Tabela 3.4 – Risco de ativação ( $\gamma_{s2}$ ) . . . . .	49
Tabela 4.1 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{max} = 10\text{ mm}$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 0,025 * b$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	57
Tabela 4.2 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{max} = 0,25 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 100\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	58
Tabela 4.3 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{max} = 0,5 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 200\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	59
Tabela 4.4 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{max} = 10\text{ mm}$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 0,025 * b$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	60
Tabela 4.5 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{max} = 0,25 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 100\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	61
Tabela 4.6 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{max} = 0,5 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 200\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	62
Tabela 4.7 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{max} = 10\text{ mm}$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 0,025 * b$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	63
Tabela 4.8 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{max} = 0,25 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 100\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	64
Tabela 4.9 – Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{max} = 0,5 * b$ (para $b \leq 400\text{ mm}$ ) e $e_{max} = 200\text{ mm}$ (para $b > 400\text{ mm}$ ) . . . . .	65
Tabela 4.10–Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo . . . . .	66
Tabela 4.11–Dimensões mínimas para pilares-parede . . . . .	66
Tabela 5.1 – Dados do pilar P13 do pavimento térreo . . . . .	75
Tabela 5.2 – Dados e parâmetros dos pilares para verificação através do método tabular . . . . .	76
Tabela 5.3 – Verificação dos pilares através do método tabular . . . . .	77
Tabela A.1 – Cargas de incêndio específicas por ocupação. . . . .	82

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMAL	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Alagoas
CBMESP	Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
ELU	Estado Limite Último
Eurocode	European Committee for Standardization
IT	Instruções Técnicas
NBR	Norma Brasileira
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UFAL	Universidade Federal de Alagoas



## LISTA DE SÍMBOLOS

### Letras latinas maiúsculas

$A_c$	Área da seção transversal do pilar (área de concreto)
$A_f$	Área de piso do compartimento
$A_h$	Área de ventilação horizontal
$A_s$	Área total das armaduras
$A_v$	Área de ventilação vertical
$E_p$	Módulo de elasticidade do aço de armadura ativa à temperatura ambiente
$E_{p,\theta}$	Módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura $\theta$
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço de armadura passiva à temperatura ambiente
$E_{s,\theta}$	Módulo de elasticidade do aço de armadura passiva na temperatura $\theta$
$F_{d,fi}$	Valor de cálculo da ação na combinação excepcional
$F_{Gk}$	Valor característico da soma das ações permanentes
$F_{Gi,k}$	Valor característico da ação permanente "i"
$F_{Q,exc}$	Valor da ação excepcional
$F_{Qj,k}$	Valor característico da ação variável j
$H$	Altura do compartimento
$I$	Momento de inércia da seção transversal do pilar
$M_{0Sd}$	Valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem à temperatura ambiente
$M_{0Sd,fi}$	Valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem em situação de incêndio
$N_{Rd}$	Valor de cálculo da força normal resistente à temperatura ambiente
$N_{Sd,fi}$	Valor de cálculo da força normal em situação do incêndio
$N_{0Sd}$	Valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem à temperatura ambiente
$N_{0Sd,fi}$	Valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem em situação de incêndio

$R_{d,fi}$	Valor de cálculo do esforço resistente em situação de incêndio
$S_d$	Valor de cálculo do esforço atuante em situação normal
$S_{d,fi}$	Valor de cálculo do esforço atuante em situação de incêndio
$W$	Fator adimensional associado à ventilação do ambiente e à altura do compartimento

### **Letras latinas minúsculas**

$b$	Menor dimensão da seção transversal do pilar
$c_1$	Distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo
$c_{a,\theta}$	Calor específico por unidade de massa do aço em função da temperatura $\theta$
$c_p(\theta)$	Calor específico por unidade de massa do concreto em função da temperatura $\theta$
$c_{p,top}$	Calor específico máximo do concreto em função da umidade
$e$	Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio
$e_{mx}$	Máximo valor da excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio
$f_{c,\theta}$	Resistência à compressão do concreto à temperatura elevada $\theta$
$f_{cd}$	Resistência de cálculo à compressão do concreto à temperatura ambiente
$f_{cd,\theta}$	Resistência de cálculo do concreto à compressão na temperatura $\theta$
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto à temperatura ambiente
$f_{ck,\theta}$	Resistência característica à compressão do concreto na temperatura $\theta$
$f_{ct,\theta}$	Resistência à tração do concreto à temperatura elevada $\theta$
$f_{ctk}$	Resistência característica à tração do concreto em temperatura ambiente
$f_{pyd,\theta}$	Resistência de cálculo do aço de armadura ativa ao escoamento na temperatura $\theta$
$f_{pyk}$	Resistência característica do aço de armadura ativa à temperatura ambiente
$f_{pyk,\theta}$	Resistência característica ao escoamento do aço de armadura ativa na temperatura $\theta$

$f_{yd}$	Resistência de cálculo ao escoamento do aço de armadura passiva à temperatura ambiente
$f_{yd,\theta}$	Resistência de cálculo do aço de armadura passiva ao escoamento na temperatura $\theta$
$f_{yk}$	Resistência característica ao escoamento do aço de armadura passiva à temperatura ambiente
$f_{yk,\theta}$	Resistência característica ao escoamento do aço de armadura passiva à temperatura elevada $\theta$
$h$	Altura do piso habitável mais alto do edifício Maior dimensão da seção transversal do pilar
$k_{c,\theta}$	Fator de redução da resistência do concreto na temperatura $\theta$
$k_{Ep,\theta}$	Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura $\theta$
$k_{Es,\theta}$	Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva na temperatura $\theta$
$k_{p,\theta}$	Fator de redução da resistência do aço de armadura ativa na temperatura $\theta$
$k_{s,\theta}$	Fator de redução da resistência do aço na temperatura $\theta$
$l$	Comprimento inicial do elemento à temperatura ambiente Distância entre os eixos dos elementos estruturais que vinculam o pilar
$l_e$	Comprimento equivalente do pilar em temperatura ambiente
$l_{ef,fi}$	Comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio
$n$	Número de barras longitudinais
$q_{fi}$	Carga de incêndio específica
$r$	Raio de giração
$t$	Tempo
$t_{eq}$	Tempo equivalente de resistência ao fogo

### **Letras gregas maiúsculas**

$\frac{\Delta l}{l}$  Alongamento térmico específico do elemento

### **Letras gregas minúsculas**

$\gamma_g$	Coeficiente de ponderação das ações permanentes em incêndio;
$\gamma_{gi}$	Coeficiente de ponderação das ações permanentes "i"
$\gamma_m$	Coeficiente de ponderação das resistências
$\gamma_n$	Fator adimensional relacionado à medidas de proteção ativa
$\gamma_{n1}$	Fator adimensional relacionado à chuveiros automáticos
$\gamma_{n2}$	Fator adimensional relacionado à brigada contra incêndio
$\gamma_{n3}$	Fator adimensional relacionado à detecção automática
$\gamma_q$	Coeficiente de ponderação das ações variáveis
$\gamma_s$	Fator adimensional que depende do risco de incêndio Coeficiente de minoração da resistência característica do aço e do concreto
$\gamma_{s1}$	Fator adimensional relacionado à área do piso do compartimento e à altura da edificação
$\gamma_{s2}$	Fator adimensional relacionado ao risco de ativação do incêndio
$\gamma_z$	Coeficiente relacionado aos esforços globais de segunda ordem
$\varepsilon_{c,\theta}$	Deformação linear específica do concreto em função da temperatura $\theta$
$\varepsilon_{c1,\theta}$	Deformação linear específica correspondente à tensão de resistência máximo concreto à temperatura elevada $\theta$
$\varepsilon_{cu,\theta}$	Deformação linear específica última do concreto à temperatura elevada $\theta$
$\varepsilon_{yi}$	Deformação específica do aço no escoamento
$\theta$	Temperatura
$\theta_0$	Temperatura do ambiente antes do início do aquecimento
$\theta_c$	Temperatura do concreto
$\theta_g$	Temperatura dos gases no ambiente no instante t
$\lambda$	Condutividade térmica do concreto de densidade normal
$\lambda_{a,\theta}$	Condutividade térmica do aço em função da temperatura $\theta$
$\lambda_{fi}$	Esbeltez em situação de incêndio
$\mu_{fi}$	Nível do carregamento aplicado para a situação de incêndio

$\rho(\theta)$	Massa específica do concreto de densidade normal em função da temperatura $\theta$
$\rho(c)$	Massa específica do concreto de densidade normal em temperatura ambiente
$\rho(s)$	Massa específica do aço em temperatura ambiente
$\sigma_{c,\theta}$	Tensão à compressão do concreto à temperatura elevada $\theta$
$v_{fi}$	Força normal adimensional
$\psi_{2j}$	Fator de redução das ações variáveis
$\omega$	Taxa mecânica de armadura longitudinal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS	16
1.2	APRESENTAÇÃO	16
<b>2</b>	<b>EFEITO DO INCÊNDIO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO</b>	<b>17</b>
2.1	O INCÊNDIO	17
2.2	EFEITOS TÉRMICOS NOS MATERIAIS	19
2.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS	23
2.3.1	CONCRETO	23
2.3.1.1	Resistência à compressão	23
2.3.1.2	Relação tensão-deformação	24
2.3.1.3	Resistência à tração	25
2.3.2	AÇO	25
2.3.2.1	Resistência ao escoamento de armadura passiva	25
2.3.2.2	Módulo de elasticidade de armadura passiva	26
2.3.2.3	Resistência ao escoamento de armadura ativa	27
2.3.2.4	Módulo de elasticidade de armadura ativa	28
2.4	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	29
2.4.1	CONCRETO	29
2.4.1.1	Alongamento térmico	29
2.4.1.2	Calor específico	30
2.4.1.3	Condutividade térmica	31
2.4.1.4	Massa específica	31
2.4.2	AÇO	32
2.4.2.1	Alongamento térmico	32
2.4.2.2	Calor específico	33
2.4.2.3	Condutividade térmica	33
2.4.2.4	Massa específica	34
<b>3</b>	<b>RESISTÊNCIA AO FOGO</b>	<b>35</b>
3.1	TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRRF)	35
3.1.1	MÉTODO TABULAR	35
3.1.2	MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE	48
<b>4</b>	<b>VERIFICAÇÃO DE PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO</b>	<b>51</b>
4.1	AÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	52

4.2	REVESTIMENTOS . . . . .	53
4.3	MÉTODO ANALÍTICO . . . . .	53
4.4	MÉTODO TABULAR . . . . .	55
<b>5</b>	<b>EXEMPLO PRÁTICO . . . . .</b>	<b>67</b>
5.1	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO . . . . .	67
5.2	VERIFICAÇÃO DE PILARES EM INCÊNDIO . . . . .	69
5.2.1	MÉTODO ANALÍTICO . . . . .	69
5.2.2	MÉTODO TABULAR . . . . .	75
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>78</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>79</b>
	<b>Anexos . . . . .</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO A Cargas de incêndio específicas . . . . .</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Edificações de grande porte em concreto armado são recorrentes no Brasil e a verificação da segurança em situação de incêndio é cada vez mais importante para minimizar, principalmente, o risco à vida das pessoas. O projeto da edificação deve ser adequado a esta situação excepcional, contudo as diretrizes para seu desenvolvimento só foram estabelecidas após a ocorrência de alguns incêndios no país. Até o início dos anos 70, no quesito de segurança contra incêndio, o Brasil possuía pouca regulamentação nos Códigos de Obras dos municípios acerca do dimensionamento da largura das saídas e escadas de circulação, da incombustibilidade das escadas e da estrutura de prédios elevados, e nos Corpos de Bombeiros, quanto à necessidade de extintores e hidrantes e suas sinalizações. Já as normas da ABNT tratavam apenas da produção de extintores de incêndio, isto porque até essa época grandes incêndios e números de vítimas não haviam ocorrido no país (NEGRISOLO, 2011).

Após alguns incêndios de grandes proporções e comoção nacional, diversas medidas de segurança contra incêndios foram reformuladas nos Códigos de Obras e criadas pelos estados, como as Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros (SILVA, 2012). Dentre os eventos mais trágicos, podem-se citar: o incêndio no Gran Circo Norte-Americano (Figura 1.1), em Niterói, Rio de Janeiro, no ano de 1961, com um total de 317 mortes e quase 400 pessoas feridas e é conhecido como o maior incêndio em perdas de vida no Brasil; o incêndio no edifício Andraus (Figura 1.2), no ano de 1972, na cidade de São Paulo, que ficou conhecido como o primeiro grande incêndio em prédios altos (31 andares) e ocasionou 16 mortes e 336 feridos; o incêndio no edifício Joelma (Figura 1.3), também em São Paulo, em 1974. Este edifício possuía 23 andares e o incêndio resultou em 179 mortes e 320 feridos.

Figura 1.1 – Incêndio no Gran Circo Norte-Americano, no Rio de Janeiro



Fonte: O Globo (1961)



Figura 1.2 – Incêndio no edifício Andraus, em São Paulo



Fonte: Cultura Aeronáutica (2013)

Figura 1.3 – Incêndio no edifício Joelma, em São Paulo



Fonte: UOL (2014)

Em relação à segurança das estruturas em situação de incêndio, só em 1999 a ABNT publicou sua primeira norma, através da ABNT NBR 14323, relacionada ao dimensionamento de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. Em 2000 foi publicada a ABNT NBR 14432 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de

edificações”, atualizada em 2001 e por fim, somente em 2004, com adaptações da Eurocode 2 para o cenário nacional da construção civil, foi publicada a norma brasileira ABNT NBR 15200 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio” na qual teve sua última atualização em 2012, onde apresentou métodos de dimensionamento mais seguros e duráveis.

Nos estados em que há decretos estaduais relacionados à situação de incêndio, as normas citadas acima devem ser seguidas por estes decretos. Caso não haja decretos, considera-se o Código de Defesa do Consumidor que requer obediência às normas da ABNT (SOUSA; SILVA, 2015). No estado de Alagoas, em 2013, foi decretada e sancionada a lei nº 7456, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico. Também no ano de 2013 foi decretado o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (Coscip), este foi revogado e substituído pelo Código de Segurança Contra Incêndio e Emergência (Coscie), em 2017, que compreende as prescrições das Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros e da lei estadual nº 7456.

Segundo Silva (2012), a segurança contra incêndio era representada somente nos projetos de instalações elétricas e hidráulicas e nos projetos arquitetônicos e hoje em dia sabe-se que ela deve ser considerada também nos projetos de estruturas de edificações de maior porte, visto que os materiais estruturais perdem resistência quando em situação de incêndio e que o colapso localizado de um elemento estrutural pode ocasionar um colapso total ou parcial do edifício.

Geralmente os elementos estruturais quando dimensionados pela norma de incêndio necessitam de maior consumo de materiais como concreto e aço, principalmente os pilares, que se tornam mais robustos. Portanto a viabilidade econômica muitas vezes é questionada na aplicação da norma de incêndio.

A ABNT NBR 15200:2012 ainda é pouco aplicada pelos projetistas. Muitos deles não utilizam ou desconhecem a importância da verificação do dimensionamento estrutural na situação de incêndio junto à verificação pela consolidada ABNT NBR 6118:2014. Um dos principais motivos é a falta de fiscalização, além do preconceito de que a adequação da estrutura às condições estabelecidas na ABNT NBR 15200:2012 torna-se economicamente inviável (SANTOS, 2016).

São recomendados alguns métodos para o dimensionamento estrutural pela ABNT NBR 15200:2012: tabular, analítico, simplificado e avançado, ficando a critério do projetista a adoção do método em questão. Neste trabalho serão utilizados os métodos tabular e analítico.

A verificação da segurança estrutural em situação de incêndio é imprescindível para minimizar o risco à vida, à sociedade e ao patrimônio, sendo os pilares os principais elementos de capacidade de suporte de uma edificação. Porém há um grande desafio em tornar usual a ABNT NBR 15200 entre os engenheiros, portanto é cada vez mais importante estudos com base nesta norma para sua disseminação no meio técnico.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é apresentar a metodologia de cálculo para o dimensionamento de pilares de concreto em situação de incêndio conforme a norma ABNT NBR 15200:2012.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Apresentar detalhadamente os métodos Analítico e Tabular para pilares da ABNT NBR 15200:2012.
- Verificar a segurança estrutural de pilares em situação de incêndio, através do software TQS, para um edifício.

## 1.2 APRESENTAÇÃO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No primeiro capítulo, Introdução, é feito um breve resumo histórico da segurança contra incêndio no Brasil, o tema de estudo é introduzido e os objetivos são apresentados.

No capítulo 2, Efeito do Incêndio nas Estruturas de Concreto, são analisadas as características de um incêndio, os efeitos térmicos causados nos materiais e as alterações nas propriedades dos componentes do concreto armado.

No capítulo 3, Resistência ao Fogo, é apresentado o conceito de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) e são descritos os métodos tabular e equivalente para a determinação deste tempo.

No capítulo 4, Verificação de Pilares em Situação de Incêndio, são apresentados os métodos analítico e tabular para dimensionamento de pilares de concreto armado considerando a ação térmica.

No capítulo 5, Exemplo Prático, um edifício em concreto armado é dimensionado e posteriormente é feita a análise de seus pilares em situação de incêndio, utilizando os métodos analítico e tabular.

No capítulo 6, Considerações Finais, são feitas considerações sobre o tema discorrido e sobre os resultados obtidos no exemplo prático.

## 2 EFEITO DO INCÊNDIO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

### 2.1 O INCÊNDIO

O incêndio pode ser definido como o fogo de grandes proporções que foge ao controle do homem e que queima tudo aquilo que não estava destinado a queimar, podendo causar danos ao patrimônio e à vida, seja através da fumaça ou chama.

Toda e qualquer edificação está sujeita à situação de incêndio. Este tem as seguintes causas: humanas, naturais, acidentais e industriais. Em edificações, as causas mais recorrentes de incêndio são: curto circuitos na parte elétrica (causa acidental); panelas esquecidas no fogo (causa humana); crianças manipulando isqueiros, fósforos etc (causa humana) (SINDICONET, 2010).

Para que ocorra o fogo são necessários alguns elementos que geram a combustão: combustível, comburente, fonte de calor e reação em cadeia (MONTINI; GOMAZAKO, 2014). O combustível é qualquer substância no estado líquido, sólido ou gasoso capaz de queimar e que permanece queimando sem precisar adicionar mais calor. O comburente, comumente oxigênio, é o que reage com o combustível e conserva a combustão. A fonte de calor é o elemento que permite a reação entre o combustível e o comburente, ao aumentar a temperatura do ambiente ou local. E por fim, a reação em cadeia que transfere o calor de uma molécula em combustão para a molécula vizinha de combustível, sucessivamente.

A transmissão de calor ocorre de 3 maneiras. Convecção, onde os gases e ar quente produzidos pelo fogo têm suas densidades diminuídas, sobem e trocam calor com outros materiais. Radiação, cuja fonte de calor emite ondas eletromagnéticas, irradiando calor em todas as direções. Condução, onde a propagação de calor ocorre por partículas com diferentes temperaturas em um meio físico.

As fases do incêndio podem ser representadas por uma curva temperatura-tempo dos gases no ambiente (Figura 2.1). No ramo inicial, onde ocorre a ignição do material combustível, a temperatura aumenta de forma gradual e não causa risco à estrutura. Contudo, a formação de gases tóxicos é um grande risco à vida humana. Se o incêndio for detectado e extinto rapidamente, não é necessária a verificação estrutural. Para a detecção do fogo e desocupação dos usuários, se faz uso dos meios de proteção ativa (equipamentos e sistemas acionados manual ou automaticamente para funcionar em casos de incêndio) como hidrantes, chuveiros automáticos, extintores, sinalização e iluminação de emergência, sistema de alarme e detectores de fumaça.

Figura 2.1 – Curva temperatura-tempo de um incêndio



Fonte: Silva e Azevedo (2009)

A segunda fase é a de aquecimento, caracterizada por um ramo ascendente, iniciada com o fenômeno do "flashover" - instante em que toda a carga combustível entra em ignição quase que simultaneamente. A temperatura se eleva rapidamente atingindo o valor máximo do incêndio. Este é o momento mais crítico para a estrutura. Neste momento, as medidas de proteção passiva que são importantes. A ABNT NBR 14432 define proteção passiva como o conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio e não possibilita seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo pela estrutura, facilitando a desocupação humana e as ações de combate ao incêndio. Como exemplos de medidas passivas, citam-se a resistência estrutural, a compartimentação horizontal e vertical, rotas de fuga, entre outros (ALMEIDA, 2018).

A última fase é a do resfriamento e ocorre a redução gradual da temperatura dos gases no ambiente, assim que todo material combustível é extinto.

Para a determinação da curva real de incêndio (Figura 2.1) são necessárias características do ambiente e da carga de incêndio, com isso foram estabelecidos dois conceitos de incêndio pelas normas. O primeiro é o "incêndio natural", definido pela ABNT NBR 14432 como a variação de temperatura que simula o incêndio real, função da geometria, ventilação, características térmicas dos elementos de vedação e da carga de incêndio específica. Ele é representado pela curva temperatura-tempo e cada compartimento possui uma curva diferente. Esta curva é construída por análises experimentais ou computacionais, portanto este modelo não é prático e é mais utilizado em estudos acadêmicos.

O segundo conceito é o "incêndio padrão", representado por uma curva padronizada de aquecimento. Esta curva temperatura-tempo padronizada possui somente um ramo ascendente, não necessita de dados do ambiente e da carga de incêndio e é utilizada para a realização de testes de elementos construtivos e no dimensionamento de edifícios (COSTA; SILVA, 2002). O

incêndio padrão é definido pela ABNT NBR 15200 como a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, dada pela expressão 1:

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

Onde:

$t$  é o tempo, em minutos;

$\theta_0$  é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em graus Celsius, geralmente tomada igual a 20 °C;

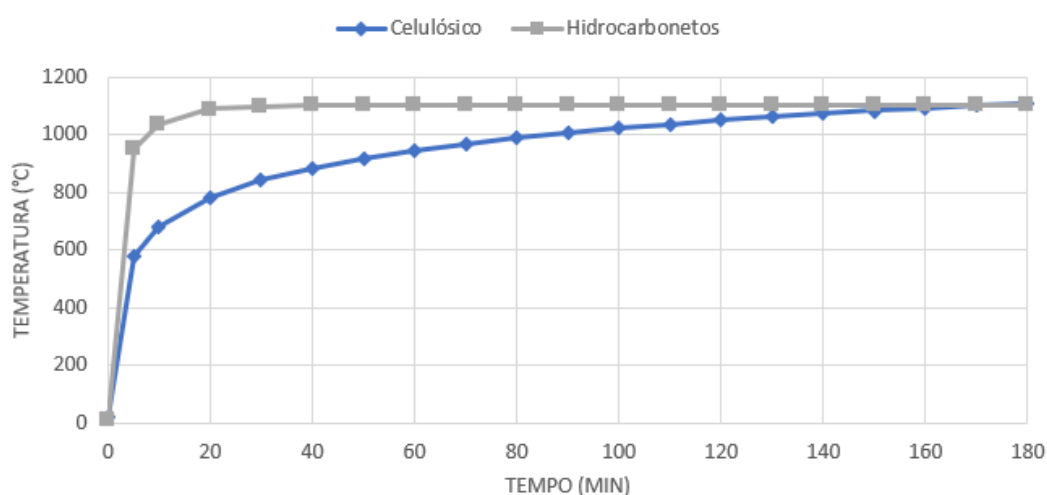
$\theta_g$  é a temperatura dos gases, em graus Celsius, no instante  $t$ .

Esta expressão acima pode ser usada quando a carga de incêndio é similar à madeira, em termos de potencial calorífico. Já quando a carga de incêndio é de material com origem de derivados do petróleo, o incêndio é mais severo e deve ser usada a Equação 2:

$$\theta_g = 1080(1 - 0,33e^{-0,17t} - 0,68e^{-2,50t}) + 20 \quad (2)$$

A partir dessas duas equações, para material celulósico (carga de incêndio similar à madeira) e material a base de hidrocarbonetos (carga de incêndio de material com origem de derivados do petróleo) são obtidas as curvas temperatura-tempo (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Curva padrão temperatura-tempo para material celulósico e hidrocarbonetos



Fonte: Autora (2020)

## 2.2 EFEITOS TÉRMICOS NOS MATERIAIS

O concreto possui grande vantagem frente aos outros materiais construtivos: alta resistência ao fogo, pois possui baixa condutividade térmica e não é um material combustível.

O concreto resiste às altas temperaturas, por um tempo considerável, sem perder sua função estrutural. Porém por ser um material composto, cada integrante reage de maneira diferente à ação do fogo, tornando complexa a análise desta ação na estrutura.

Sob altas temperaturas, os agregados, o aço e a pasta de cimento têm suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas alteradas. Essas alterações são causadas pela evaporação da água presente na matriz cimentícia, durante a elevação de temperatura (LIMA et al., 2004).

A estrutura do concreto é heterogênea e pode ser simplificada, numa visão macroscópica, por agregados dispersos em uma matriz cimentícia. As alterações na microestrutura do concreto são devido aos materiais utilizados na dosagem e suas proporções.

A pasta de cimento Portland é composta por água (capilar, adsorvida, interlamelar e quimicamente combinada) e por silicato de cálcio hidratado (representado por C-S-H e principal responsável pela resistência do concreto), hidróxido de cálcio e sulfoaluminato de cálcio hidratado.

Aos 100 °C, a água livre presente na pasta de cimento começa a evaporar e só então a temperatura do concreto se eleva. A partir desta temperatura, a água adsorvida e a água quimicamente combinada começam a evaporar e os silicatos de cálcio começam a desidratar. A água capilar evapora-se totalmente entre 200 °C e 300 °C e neste nível ainda não se tem grandes alterações nos compostos do cimento. Acima dos 700 °C, os silicatos de cálcio estão extintos e ocorre o aparecimento de fissuras superficiais (COSTA, 2008).

Os fenômenos mais comuns de degradação do concreto em situação de incêndio são lascamentos ("explosive spalling" e "sloughing") e esfarelamento da superfície calcinada. Este último enfraquece o concreto e reduz a resistência à abrasão ocasionando o esfarelamento superficial do elemento de concreto (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

Os concretos com alta densidade, onde a porosidade e a permeabilidade são menores, como concretos de alta resistência, impedem que o vapor de água gerado pelo aquecimento seja liberado na superfície, tornando os poros saturados e aumentando as pressões internas no concreto. Nesta situação, ocorre o fenômeno de "explosive spalling" ou lascamentos explosivos (Figura 2.3), que é o destacamento de placas de concreto, geralmente nos primeiros 30 minutos de ação do fogo, de forma abrupta.

Como consequência do "spalling", o elemento estrutural perde quantidade considerável de material e a armadura fica exposta ao fogo, conduzindo calor. Segundo Lima et al. (2004), a ocorrência de gradientes de temperatura elevados, soma-se ao acréscimo de pressão interna como causas do fenômeno citado. Não são apenas os concretos com alta densidade que sofrem lascamentos explosivos, os concretos usuais também estão suscetíveis, desde que possuam altas taxas de umidade livre.

Figura 2.3 – Fenômeno "explosive spalling" em laje



Fonte: Costa, Figueiredo e Silva (2002)

Outro fenômeno de lascamento decorrente da ação do fogo é o "sloughing" ou delaminação gradual (Figura 2.4), que é o processo de destacamento de placas de concreto com grandes extensões ao longo da superfície do elemento. Diferente do "explosive spalling", este fenômeno tem efeito progressivo e não instantâneo, deixando novas camadas de concreto à exposição do fogo (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

A principal razão para o "sloughing" é o aumento de volume dos agregados na massa de concreto. As deformações diferenciadas entre a pasta de cimento e os agregados, ocasionam microfissuras e vazios na zona de transição (a região da interface entre as partículas de agregado graúdo e a pasta de cimento endurecida). Taxas de aquecimento maiores induzem a ocorrência de gradientes de temperatura elevados (grandes diferenças de temperatura entre a superfície aquecida do elemento e o interior frio do concreto), outra causa do "sloughing".

As alterações nas propriedades dos agregados durante a elevação de temperatura podem modificar as características do concreto. Os agregados silicosos como granito, arenito e gnaisse, sofrem expansão súbita, causando pipocamentos ("pop outs") e lascamentos do tipo "sloughing" em temperaturas acima dos 500 °C.

Os agregados leves e os calcários são os que menos sofrem com a ação do fogo. Comumente, os concretos leves de resistências usuais não sofrem o efeito de lascamentos, a menos que o teor de umidade seja bem alto.



Figura 2.4 – Fenômeno "sloughing" em pilar



Fonte: Costa (2008)

Segundo Costa, Figueiredo e Silva (2002), pilares com armaduras de diâmetro maior estão mais sujeitos a lascamentos que barras com diâmetro menor. Devido aos lascamentos, há redução da seção transversal podendo ocorrer flambagem nas barras e por conseguinte o colapso do pilar. Se barras de diâmetro de 16 milímetros forem utilizadas como armadura principal, raramente ocorrerá lascamentos nos pilares.

Alguns estudos e ensaios indicam que seções mais esbeltas e seções com altas tensões de compressão são mais suscetíveis ao efeito de lascamentos (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011).

O aço, bom condutor térmico, permite a rápida propagação do calor ao longo das armaduras, enquanto o concreto continua com uma temperatura inferior. A temperatura em toda barra fica uniforme e ela se dilata mais que o concreto, ocasionando flambagem e compressão na área de interface aço-concreto, o que resulta na perda de aderência e ancoragem (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002). Aos 600 °C, há perda total de aderência entre o aço e concreto e o Eurocode 2 admite perda completa de resistência do aço aos 1200 °C.

## 2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

### 2.3.1 CONCRETO

#### 2.3.1.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto reduz com o aumento da temperatura através do coeficiente redutor  $k_{c,\theta}$ . A resistência característica do concreto para uma dada temperatura é dada pela Equação 3.

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{ck} \quad (3)$$

Onde:

$f_{c,\theta}$  é a resistência à compressão do concreto à temperatura elevada  $\theta$  (MPa);

$f_{ck}$  é a resistência característica à compressão do concreto à temperatura ambiente (MPa);

$k_{c,\theta}$  é o fator de redução da resistência do concreto na temperatura  $\theta$ , adimensional (Tabela 2.1);

A ABNT NBR 15200:2012 apresenta os valores dos fatores de redução da resistência de concretos de massa específica normal (2000 a 2800 kg/m<sup>3</sup>) para agregados silicosos. Caso os agregados sejam calcários, ela indica a consulta ao Eurocode 2, parte 1-2. Para valores intermediários de temperatura são aceitas interpolações lineares.

Tabela 2.1 – Valores do fator de redução da resistência do concreto em função da temperatura  $\theta$  para agregados silicosos e calcários.

Temperatura do concreto (°C)	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_{ck}$	
	Agregados silicosos	Agregados calcários
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	0,95	0,97
300	0,85	0,91
400	0,75	0,85
500	0,60	0,74
600	0,45	0,60
700	0,30	0,43
800	0,15	0,27
900	0,08	0,15
1000	0,04	0,06
1100	0,01	0,02
1200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2: parte 1-2 (2004)

Para o valor de cálculo da resistência do concreto considera-se  $\gamma_m = 1,0$ , ou seja:

$$f_{cd,\theta} = f_{ck,\theta} \quad (4)$$

### 2.3.1.2 Relação tensão-deformação

O diagrama tensão-deformação do concreto a altas temperaturas, segundo a ABNT NBR 15200:2012 e o Eurocode 2 (2004), pode ser representado pela Equação 5.

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \cdot \frac{3 \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)}{2 + \left( \frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3} \quad (5)$$

Onde:

$\sigma_{c,\theta}$  é o valor da tensão à compressão do concreto à temperatura elevada  $\theta$  (MPa);

$f_{c,\theta}$  é o valor da resistência à compressão do concreto à temperatura elevada  $\theta$  (MPa);

$\varepsilon_{c,\theta}$  é a deformação linear específica correspondente do concreto à temperatura elevada  $\theta$  (adimensional);

$\varepsilon_{c1,\theta}$  é a deformação linear específica correspondente à tensão de resistência máxima do concreto à temperatura elevada  $\theta$ , conforme a Tabela 2.2 (adimensional).

$\varepsilon_{cu,\theta}$  é a deformação linear específica última do concreto à temperatura elevada  $\theta$ , conforme a Tabela 2.2 (adimensional).

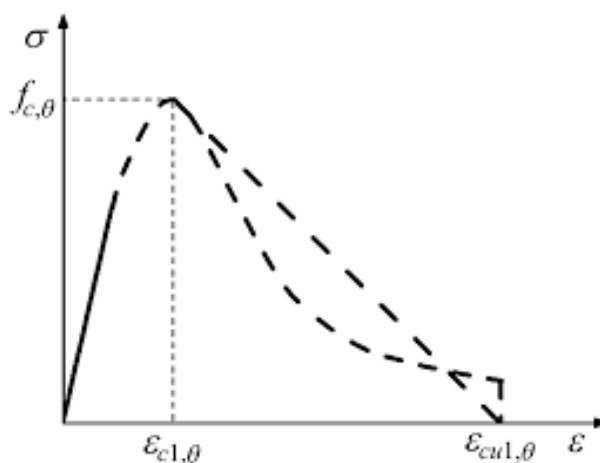
No ramo decrescente do diagrama tensão-deformação do concreto, Figura 2.5, pode-se adotar uma reta entre  $\varepsilon_{c1,\theta}$  e  $\varepsilon_{cu,\theta}$ , como na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Deformação específica do concreto em função da temperatura elevada.

$\theta$ (°C)	$\varepsilon_{c1,\theta}$ (%)	$\varepsilon_{cu,\theta}$ (%)
20	0,25	2,00
100	0,35	2,25
200	0,45	2,50
300	0,60	2,75
400	0,75	3,00
500	0,95	3,25
600	1,25	3,50
700	1,40	3,75
800	1,45	4,00
900	1,50	4,25
1000	1,50	4,50
1100	1,50	4,75
1200	1,50	-

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Figura 2.5 – Diagrama tensão-deformação do concreto a elevadas temperaturas



Fonte: Stojković et al. (2017)

### 2.3.1.3 Resistência à tração

A resistência à tração do concreto é, geralmente, desprezada na temperatura ambiente e em temperaturas elevadas. Nos casos em que ela deve ser considerada, até os 100 °C a resistência é igual à resistência à tração em temperatura ambiente, ou seja,  $f_{ct,\theta} = f_{ctk}$ . Acima desta temperatura, a resistência à tração pode ser determinada pela Equação 6, conforme o Eurocode 2: parte 1-2 (2004).

$$f_{ct,\theta} = \left[ 1 - \left( \frac{\theta - 100}{500} \right) \right] f_{ctk}, \quad 100^\circ\text{C} < \theta < 600^\circ\text{C} \quad (6)$$

Onde:

$f_{ct,\theta}$  é a resistência à tração do concreto em função da temperatura  $\theta$  (MPa);

$f_{ctk}$  é a resistência característica à tração do concreto em temperatura ambiente (MPa).

## 2.3.2 AÇO

### 2.3.2.1 Resistência ao escoamento de armadura passiva

A resistência do aço de armadura passiva reduz com a elevação de temperatura e pode ser obtida pela Equação 7 (ABNT NBR 15200:2012):

$$f_{yk,\theta} = k_{s,\theta} \cdot f_{yk} \quad (7)$$

Onde:

$f_{yk,\theta}$  é a resistência característica do aço de armadura passiva à temperatura  $\theta$  (MPa);

$f_{yk}$  é a resistência característica do aço de armadura passiva à temperatura ambiente (MPa);

$k_{s,\theta}$  é o fator de redução da resistência do aço na temperatura  $\theta$  (adimensional), conforme Tabela 2.3.

Os valores de  $k_{s,\theta}$  são diferenciados quanto à deformação específica do aço no escoamento ( $\varepsilon_{yi}$ ), quando  $\varepsilon_{yi} \geq 2\%$  (geralmente em armaduras tracionadas de vigas, lajes e tirantes) ou  $\varepsilon_{yi} < 2\%$  (geralmente em armaduras comprimidas de pilares, vigas e lajes). Para valores intermediários de temperatura, a norma permite a interpolação linear.

Tabela 2.3 – Valores de  $k_{s,\theta}$  para aços de armadura passiva.

Temperatura do aço (°C)	$k_{s,\theta} = f_{yk,\theta}/f_{yk}$		
	Tração		Compressão (CA-50 ou CA-60)
	CA-50	CA-60	
1	2	3	4
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,89
300	1,00	1,00	0,78
400	1,00	0,94	0,67
500	0,78	0,67	0,56
600	0,47	0,40	0,33
700	0,23	0,12	0,10
800	0,11	0,11	0,08
900	0,06	0,08	0,06
1000	0,04	0,05	0,04
1100	0,02	0,03	0,02
1200	0,00	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Para a determinação da resistência de cálculo do aço de armadura passiva ao escoamento na temperatura  $\theta$  ( $f_{yd,\theta}$ ), faz-se  $\gamma_m = 1$ , logo  $f_{yd,\theta} = f_{yk,\theta}$ .

### 2.3.2.2 Módulo de elasticidade de armadura passiva

Assim como o concreto, o módulo de elasticidade do aço de armadura passiva diminui com o aumento da temperatura e pode ser calculado pela Equação 8 (ABNT NBR 15200:2012).

$$E_{s,\theta} = k_{E_s,\theta} \cdot E_s \quad (8)$$

Onde:

$E_{s,\theta}$  é o módulo de elasticidade do aço de armadura passiva na temperatura elevada  $\theta$  (MPa);

$k_{E_s,\theta}$  é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura  $\theta$  (adimensional), conforme a Tabela 2.4;

$E_s$  é o módulo de elasticidade do aço de armadura passiva à temperatura ambiente (MPa).

Tabela 2.4 – Valores de  $k_{s,\theta}$  para aços de armadura passiva.

Temperatura do aço (°C)	$k_{E_s,\theta} = E_{s,\theta}/E_s$	
	Aço CA-50	Aço CA-60
1	5	6
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	0,90	0,87
300	0,80	0,72
400	0,70	0,56
500	0,60	0,40
600	0,31	0,24
700	0,13	0,08
800	0,09	0,06
900	0,07	0,05
1000	0,04	0,03
1100	0,02	0,02
1200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Para valores intermediários de temperatura, a norma permite a interpolação linear.

### 2.3.2.3 Resistência ao escoamento de armadura ativa

A resistência ao escoamento do aço da armadura ativa reduz com o aumento da temperatura e pode ser obtida pela Equação 9 (ABNT NBR 15200:2012).

$$f_{pyk,\theta} = k_{p,\theta} \cdot f_{pyk} \quad (9)$$

Onde:

$f_{pyk,\theta}$  é a resistência característica do aço de armadura ativa à temperatura  $\theta$  (MPa);

$f_{pyk}$  é a resistência característica do aço de armadura ativa à temperatura ambiente; (MPa);

$k_{p,\theta}$  é o fator de redução da resistência do aço de armadura ativa na temperatura  $\theta$  (adimensional), conforme Tabela 2.5.

Para o aço da armadura ativa formada barras, a ABNT NBR 15200:2012 indica a consulta ao Eurocode 2, parte 1-2.

Tabela 2.5 – Valores da relação  $f_{pyk,\theta}/(0,9f_{pyk})$  para fios, cordoalhas e barras da armadura ativa.

Temperatura do aço (°C)	$f_{pyk,\theta}/(0,9f_{pyk})$	
	Fios e cordoalhas	Barras
20	1,00	1,00
100	0,99	0,98
200	0,87	0,92
300	0,72	0,86
400	0,46	0,69
500	0,22	0,26
600	0,10	0,21
700	0,08	0,15
800	0,05	0,09
900	0,03	0,04
1000	0,00	0,00
1100	0,00	0,00
1200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2: parte 1-2 (2004)

Para a determinação da resistência ao escoamento de cálculo do aço de armadura ativa na temperatura  $\theta$  ( $f_{pyd,\theta}$ ), faz-se  $\gamma_m = 1$ , logo  $f_{pyd,\theta} = f_{pyk,\theta}$ .

#### 2.3.2.4 Módulo de elasticidade de armadura ativa

O módulo de elasticidade do aço da armadura ativa decresce com a elevação da temperatura e pode ser obtido pela Equação 10, segundo a ABNT NBR 15200:2012.

$$E_{p,\theta} = k_{Ep,\theta} \cdot E_p \quad (10)$$

Onde:

$E_{p,\theta}$  é o módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura elevada  $\theta$  (MPa);

$k_{Ep,\theta}$  é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura  $\theta$  (adimensional), conforme a Tabela 2.6;

$E_p$  é o módulo de elasticidade do aço de armadura ativa à temperatura ambiente (MPa).

Para o aço da armadura ativa formada por barras, a ABNT NBR 15200:2012 indica a consulta ao Eurocode 2, parte 1-2.

Para valores intermediários de temperatura, a norma permite a interpolação linear.

Tabela 2.6 – Valores da relação  $E_{p,\theta}/E_p$  para fios, cordoalhas e barras da armadura ativa.

Temperatura do aço (°C)	$E_{p,\theta}/E_p$	
	Fios e cordoalhas	Barras
20	1,00	1,00
100	0,98	0,76
200	0,95	0,61
300	0,88	0,52
400	0,81	0,41
500	0,54	0,20
600	0,41	0,15
700	0,10	0,10
800	0,07	0,06
900	0,03	0,03
1000	0,00	0,00
1100	0,00	0,00
1200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2: parte 1-2 (2004)

## 2.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

### 2.4.1 CONCRETO

#### 2.4.1.1 Alongamento térmico

O alongamento específico do concreto de densidade normal com agregado silicoso pode ser determinado através da Equação 11, de acordo com a ABNT NBR 15200:2012:

$$\frac{\Delta l}{l} = 9 * 10^{-6} \theta_c + 2,3 * 10^{-11} \theta_c^3 - 1,8 * 10^{-4}, \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c < 700^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 14 * 10^{-3}, \quad \text{para } 700^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$$

Onde:

$\theta_c$  é a temperatura do concreto (°C);

$\Delta l$  é o alongamento do elemento de concreto de densidade normal provocado pela temperatura;

$l$  é o comprimento da peça de concreto de densidade normal a 20°C.

Para o cálculo do alongamento específico do concreto de densidade normal com agregado calcário, utiliza-se o Eurocode 2: parte 1-2 (2004) e a Equação 12.



$$\frac{\Delta l}{l} = 6 * 10^{-6} \theta_c + 1,4 * 10^{-11} \theta_c^3 - 1,2 * 10^{-4}, \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c < 700^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 12 * 10^{-3}, \quad \text{para } 700^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$$

Conforme a ABNT NBR 15200:2012, de modo simplificado, a relação entre o alongamento específico do concreto e a temperatura pode ser considerada constante (Equação 13):

$$\frac{\Delta l}{l} = 18 * 10^{-6} (\theta_c - 20) \quad (13)$$

#### 2.4.1.2 Calor específico

O calor específico é a quantidade de calor por unidade de massa necessária para aumentar a temperatura do material em um grau. De acordo com a ABNT NBR 15200:2012, o calor específico  $c_p(\theta)$  do concreto seco ( $u = 0\%$ ) silicoso ou calcário pode ser determinado através da Equação 14.

$$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C} \quad (14)$$

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

$$c_p(\theta) = 1000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad 200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad 400^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

Quando a umidade não for considerada explicitamente no método de cálculo, a função do calor específico do concreto calcário ou silicoso pode ser modelado por um valor constante  $c_{p,top}$  situado entre  $100^\circ\text{C}$  e  $115^\circ\text{C}$ , referente ao máximo valor do calor específico do concreto, onde há a elevação súbita deste parâmetro, com decréscimo linear entre  $115^\circ\text{C}$  e  $200^\circ\text{C}$ . Os valores de  $c_{p,top}$  estão abaixo.

$$c_{p,top} = 900 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad \text{para umidade de } 0\% \text{ em peso} \quad (15)$$

$$c_{p,top} = 1470 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad \text{para umidade de } 1,5\% \text{ em peso}$$

$$c_{p,top} = 2200 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}, \quad \text{para umidade de } 3,0\% \text{ em peso}$$

A ABNT NBR 15200:2012 permite, de maneira simplificada, que a relação entre o calor específico do concreto e a temperatura possa ser considerada constante e igual a  $1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .

### 2.4.1.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma propriedade que representa a capacidade de um material em conduzir calor. Materiais que são bons condutores possuem maiores valores de condutividade térmica. Esta propriedade do concreto varia conforme o tipo de agregado, a porosidade da pasta de cimento e a umidade da mistura (ALVES, 2014).

A condutividade térmica do concreto de densidade normal com agregado silicoso e calcário pode ser determinada pela Equação 16, para  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^{\circ}\text{C}$  (ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2: parte 1-2, 2004).

$$\lambda = 1,36 - 0,136 \frac{\theta_c}{100} + 0,0057 \left( \frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (16)$$

Onde:

$\lambda$  é a condutividade térmica do concreto ( $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_c$  é a temperatura do concreto ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A ABNT NBR 15200:2012 permite, de maneira simplificada, que a relação entre a condutividade térmica do concreto e a temperatura possa ser considerada constante e igual a  $1,3 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ .

### 2.4.1.4 Massa específica

A massa específica é definida como a razão da massa de um material pelo volume que ela ocupa. No concreto, a mudança de volume devido à exposição ao fogo ocorre através da expansão térmica e retração por secagem, enquanto a massa do concreto se altera com a transferência de umidade, desidratação e reações químicas presentes em altas temperaturas (ALVES, 2014).

Tanto a ABNT NBR 15200:2012 quanto o Eurocode 2: parte 1-2 (2004) apresentam as mesmas equações para determinação da densidade do concreto:

$$\begin{aligned} \rho(\theta) &= \rho(20^{\circ}\text{C}), \quad \text{para } 20^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 115^{\circ}\text{C} & (17) \\ \rho(\theta) &= \rho(20^{\circ}\text{C}) \times (1 - 0,02(\theta - 115)/85), \quad \text{para } 115^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 200^{\circ}\text{C} \\ \rho(\theta) &= \rho(20^{\circ}\text{C}) \times (0,98 - 0,03(\theta - 200)/200), \quad \text{para } 200^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 400^{\circ}\text{C} \\ \rho(\theta) &= \rho(20^{\circ}\text{C}) \times (0,95 - 0,07(\theta - 400)/800), \quad \text{para } 400^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 1200^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Onde:

$\rho(\theta)$  é a massa específica do concreto de densidade normal em função da temperatura  $\theta$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho(20^{\circ}\text{C})$  é a massa específica do concreto de densidade normal à temperatura ambiente

(kg/m<sup>3</sup>).

A ABNT NBR 6118:2014 recomenda os valores de massa específica  $\rho(c) = 2400$  kg/m<sup>3</sup> para o concreto simples e  $\rho(c) = 2500$  kg/m<sup>3</sup> para o concreto armado, em temperatura ambiente, nos projetos estruturais.

Segundo Costa (2008), as equações acima são conservadoras e apresentam redução de até 12% da massa específica do concreto em situação de incêndio, o que não condiz com a prática, além de que a variação da massa específica do concreto sobre suas propriedades térmicas é mínima. Portanto, segundo a autora, pode-se considerar a massa específica do concreto como constante e igual ao valor à temperatura ambiente.

## 2.4.2 AÇO

De acordo com Costa (2008), geralmente, as propriedades térmicas do aço para concreto armado e protendido são ignoradas, visto que a temperatura se uniformiza rapidamente em toda seção da barra de aço e assume o mesmo valor da temperatura nas proximidades de concreto. A ABNT NBR 15200:2012 não traz informações sobre as propriedades térmicas do aço.

### 2.4.2.1 Alongamento térmico

O alongamento térmico do aço estrutural e de armadura passiva pode ser determinado pela Equação 18 (Eurocode 2: parte 1-2 (2004), Eurocode 4: parte 1-2 (2005)).

$$\begin{aligned} \frac{\Delta l}{l} &= -2,416 * 10^{-4} + 1,2 * 10^{-5}\theta + 0,4 * 10^{-8}\theta^2, \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 750^\circ\text{C} \quad (18) \\ \frac{\Delta l}{l} &= 11 * 10^{-3}, \quad \text{para } 750^\circ\text{C} < \theta_c \leq 860^\circ\text{C} \\ \frac{\Delta l}{l} &= -6,2 * 10^{-3} + 2,5 * 10^{-5}\theta, \quad \text{para } 860^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Para armadura ativa, o alongamento térmico do aço é dado pela Equação 19 (Eurocode 2: parte 1-2 (2004)).

$$\frac{\Delta l}{l} = -2,016 * 10^{-4} + 10^{-5}\theta + 0,4 * 10^{-8}\theta^2, \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C} \quad (19)$$

Para modelos simples de cálculos, o alongamento térmico do aço pode ser representado por uma função linear, equação 20 (Eurocode 4: parte 1-2 (2005))

$$\frac{\Delta l}{l} = 14 * 10^{-6}(\theta - 20), \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C} \quad (20)$$

Onde:

$\theta$  é a temperatura do elemento ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Delta l$  é o alongamento do elemento de aço pela temperatura;

$l$  é o comprimento da peça de aço a  $20^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.4.2.2 Calor específico

O calor específico do aço estrutural ou de armaduras para concreto é dado pela Equação 21 (Eurocode 4: parte 1-2 (2005)).

$$\begin{aligned} c_{a,\theta} &= 425 + 7,73 * 10^{-1}\theta - 1,69 * 10^{-3}\theta^2 + 2,22 * 10^{-6}\theta^3, & 20^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 600^{\circ}\text{C} & (21) \\ c_{a,\theta} &= 666 - \left( \frac{13002}{\theta - 738} \right), & 600^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 735^{\circ}\text{C} \\ c_{a,\theta} &= 545 - \left( \frac{17820}{\theta - 731} \right), & 735^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 900^{\circ}\text{C} \\ c_{a,\theta} &= 650, & 900^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 1200^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Onde:

$\theta$  é a temperatura do elemento ( $^{\circ}\text{C}$ );

$c_{a,\theta}$  é o calor específico por unidade de massa do aço em função da temperatura  $\theta$  ( $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ ).

De maneira simplificada, o calor específico do aço pode ser considerado constante e igual a  $c_{a,\theta} = 600$  ( $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ ) (Eurocode 4: parte 1-2 (2005)).

#### 2.4.2.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica do aço, tanto estrutural como de armaduras, pode ser calculada pela Equação 22 (Eurocode 4: parte 1-2 (2005)).

$$\begin{aligned} \lambda_{a,\theta} &= 54 - 3,33 * 10^{-2}\theta, & \text{para } 20^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 800^{\circ}\text{C} & (22) \\ \lambda_{a,\theta} &= 27,3, & \text{para } 800^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 1200^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Onde:

$\theta$  é a temperatura do elemento ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\lambda_{a,\theta}$  é a condutividade térmica do aço em função da temperatura  $\theta$  ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ).

Para modelos simples de cálculos, a condutividade térmica do aço pode ser considerada constante e igual a  $\lambda_{a,\theta} = 45$  ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ) (Eurocode 4: parte 1-2 (2005)).

#### 2.4.2.4 Massa específica

A massa específica do aço pode ser considerada independente da temperatura do aço e o valor tomado é  $\rho_s = 7850$  (kg/m<sup>3</sup>) (Eurocode 4: parte 1-2 (2005))

### 3 RESISTÊNCIA AO FOGO

De acordo com a ABNT NBR 14432:2001, a resistência ao fogo é a propriedade do elemento construtivo de resistir à ação do fogo por um determinado tempo e manter sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento, quando aplicável. Nesta norma são apresentados métodos para que os elementos construtivos possam atender a um intervalo de tempo de exposição ao incêndio padrão, chamado de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), sem que haja o colapso estrutural.

A segurança contra o incêndio tem como objetivo principal a minimização do risco à vida e por conseguinte, a redução da perda patrimonial, para isto a estrutura deve suportar os efeitos do fogo durante a desocupação das pessoas e a ação de combate ao incêndio. Edifícios de pequeno porte exigem menos dispositivos de segurança e muitas vezes não é necessária a verificação da estrutura em situação de incêndio, já edifícios maiores precisam dessa verificação, visto o desconhecimento do tempo de desocupação e o risco de desabamento da estrutura que pode afetar as construções vizinhas (SILVA, 2012). A verificação da necessidade de análise da edificação em situação de incêndio deve ser feita através da ABNT NBR 14432:2001 ou das Instruções Técnicas (IT) estaduais do Corpo de Bombeiros.

#### 3.1 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRRF)

O tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é um parâmetro utilizado para o dimensionamento dos elementos estruturais e varia a partir do tipo de construção e seu uso. Este tempo é apenas um parâmetro de projeto, não significa a duração de um incêndio, o tempo de desocupação ou o tempo resposta do Corpo de Bombeiros.

A ABNT NBR 14432 define o TRRF como o tempo mínimo, em minutos, de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio padrão. O TRRF pode ser determinado de duas maneiras: método tabular e método do tempo equivalente.

##### 3.1.1 MÉTODO TABULAR

O método tabular determina o TRRF de forma empírica, podendo ser este tempo estabelecido pelas Instruções Técnicas (IT) estaduais do Corpo de Bombeiros ou pela ABNT NBR 14432, a partir das dimensões e do tipo de utilização do edifício.

As Instruções Técnicas estaduais possuem precedência em relação à ABNT, portanto as informações sobre o TRRF foram extraídas das IT do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Alagoas (CBMAL).

Para a determinação do TRRF é necessário antes classificar a edificação e áreas de risco quanto à sua ocupação, conforme a Tabela 3.1 presente na Instrução Geral Provisória de Alagoas (2013).

Classificada a edificação, o próximo passo é obter o TRRF, contudo esta informação não se encontra na Instrução Geral Provisória de Alagoas (2013) e indica-se o uso da Instrução Técnica nº 08/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP), conforme apresentado na Tabela 3.2.

Algumas edificações são isentas de verificação e redução do TRRF, desde que atendam aos objetivos do Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e possuam as saídas de emergência, as rotas de fuga e as condições de ventilação dimensionadas conforme regulamentações vigentes.

São excluídos de isenção e redução os casos abaixo:

- subsolos com mais de um piso de profundidade ou área de pavimento superior a 500 m<sup>2</sup>;
- estrutura e paredes de vedação das escadas e elevadores de segurança, de isolamento de riscos e de compartimentação;
- edificações do Grupo L (explosivos) e divisões M-1 (túneis), M-2 (parques de tanques) e M-3 (centrais de comunicação e energia).

Abaixo são apresentados alguns casos de edificações isentas de TRRF (para os demais casos deve-se consultar a Instrução Técnica nº08/ 2011 de São Paulo), onde as áreas indicadas correspondem à área total construída da edificação:

1. Edificações de classes P1 e P2 (Tabela 3.2) com área inferior a 750 m<sup>2</sup>;
2. Edificações de classes P1 e P2 (Tabela 3.2) com área inferior a 1.500 m<sup>2</sup>, com carga de incêndio (qfi) menor ou igual a 500 MJ/m<sup>2</sup>, excluindo-se dessa isenção as edificações pertencentes às divisões C-2, C-3, E-6, F-1, F-5, F-6, H-2, H-3 e H-5. As cargas de incêndio específicas por ocupação estão no Anexo A.
3. Edificações pertencentes às divisões F-3, F-4 (exclusivo para as áreas de transbordo e circulação de pessoas) e F-7, de classes P1 e P2 (Tabela 3.2), exceto nas áreas destinadas a outras ocupações, que caracterizem ou não ocupação mista (nessas regiões devem ser respeitados os TRRF constantes da Tabela 3.2, conforme a ocupação específica);
4. Edificações pertencentes à divisão J1 de classes P1 e P2 (Tabela 3.2);
5. As coberturas das edificações que atendam aos requisitos abaixo:
  - a) não tiverem função de piso;
  - b) não forem usadas como rota de fuga;
  - c) o seu colapso estrutural não comprometa a estabilidade das paredes externas e da estrutura principal da edificação.

Tabela 3.1 – 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).
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral e condomínios horizontais.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas.
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e assemelhados.
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de Incêndio	Armarinhos de artigos de metal, louças, artigos hospitalares e assemelhados.
		C-2	Comércio com média e alta carga de Incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e assemelhados.
		C-3	Shoppings centers	Centro de compras em geral (shopping centers).

*Continua na próxima página*



Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), centros profissionais e assemelhados.
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados.
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros.
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados.
E	Educacional e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de ensino fundamental e médio, cursos supletivos, pré-universitários, universitários e assemelhados.
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, escolas religiosas e assemelhadas.

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
E	Educativa e cultura física	E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, ginástica (artística, dança, musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e semelhantes.
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins-de-infância.
		E-6	Escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e semelhantes.
F	Local de Reunião de Público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centro de documentos históricos, bibliotecas e semelhantes.
		F-2	Local religioso e velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e semelhantes.
		F-3	Centro esportivo e de exibição e Locais de Diversão	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, vaquejadas, autódromos, sambódromos, arenas em geral, academias, pista de patinação, bingos, bilhares, tiros ao alvo, boliches e semelhantes.

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
F	Local de Reunião de Público	F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações rodoferroviárias e marítimas, portos, metrô, aeroportos, heliponto, estações de transbordo em geral e assemelhados.
		F-5	Arte cênica e auditório	Teatros em geral, cinemas, auditórios de estúdios de rádio e televisão, auditórios em geral e assemelhados.
		F-6	Clube social e Diversão	Boates, clubes sociais, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes e assemelhados.
		F-7	Construção provisória	Circos, parques de diversão e/ou exposição, micaretas, e assemelhados.
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação pública	Jardim zoológico, parques recreativos e assemelhados (Edificações permanentes).
		F-10	Exposição de objetos ou animais	Salões e salas para exposição de objetos ou animais. Edificações permanentes.
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-1	Garagem sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens automáticas.
		G-2	Garagem com acesso de público e sem abastecimento	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos).

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos).
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharia. Oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores e assemelhados.
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves com ou sem abastecimento.
H	Serviço de saúde e institucional	H-1	Hospital veterinário e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento).
		H-2	Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, tratamento de dependentes de drogas, álcool e assemelhados (Todos sem celas).
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação e assemelhados (todos com internação).

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
H	Serviço de saúde e institucional	H-4	Repartição pública, edificações das forças armadas e policiais	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais, cartórios, quartéis, centrais de polícia, delegacias, postos policiais e assemelhados.
		H-5	Local onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Manicômio Judiciário, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas (todos com celas).
		H-6	Clínicas e consultórios médicos e odontológicos	Clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodiálise, ambulatórios, postos de atendimento de urgência, postos de saúde e assemelhados (Todos sem internação).
I	Indústria	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio até 300 MJ/m <sup>2</sup>	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem a utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotogravuras; jóias; relógios; sabão; serralheria; suco de frutas; louças; metais; máquinas).

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
I	Indústria	I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 300 até 1.200 MJ/m <sup>2</sup>	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como: artigos de vidro; automóveis, bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos marcenarias, fábricas de caixas e assemelhados.
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 1.200 MJ/m <sup>2</sup>	Fabricação de explosivos, atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, elevadores de grãos, tintas, borracha e assemelhados.
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem.
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300 MJ/ m <sup>2</sup> .
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima de 300 até 1.200 MJ/ m <sup>2</sup> .
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos onde a carga de incêndio acima de 1.200 MJ/m <sup>2</sup> .
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados.

*Continua na próxima página*

Tabela 3.1 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
L	Explosivos	L-2	Indústria	Indústria de material explosivo.
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo.
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodo ferroviário e marítimo, destinados a transporte de passageiros ou cargas diversas.
		M-2	Tanques ou Parque de Tanques	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases combustíveis e inflamáveis.
		M-3	Central de comunicação e energia	Central telefônica, centros de comunicação, centrais de transmissão ou de distribuição de energia e assemelhados.
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção ou demolição e assemelhados.
		M-5	Processamento de lixo	Propriedade destinada ao processamento, reciclagem ou armazenamento de material recusado/descartado.
		M-6	Terra selvagem	Floresta, reserva ecológica, parque florestal e assemelhados
		M-7	Pátio de Containers	Área aberta destinada a armazenamento de containers.

Fonte: IT Provisória CBMAL, 2013

Tabela 3.2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos.

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Profundidade do subsolo h		Altura da edificação h							
			Classe S <sub>2</sub> hs > 10m	Classe S <sub>1</sub> hs ≤ 10m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6m	Classe P <sub>2</sub> 6m < h ≤ 12m	Classe P <sub>3</sub> 12m < h ≤ 23m	Classe P <sub>4</sub> 23m < h ≤ 30m	Classe P <sub>5</sub> 30m < h ≤ 80m	Classe P <sub>6</sub> 80m < h ≤ 120m	Classe P <sub>7</sub> 120m < h ≤ 150m	Classe P <sub>8</sub> 150m < h ≤ 250m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviço 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 3		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-

*Continua na próxima página*



Tabela 3.2 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do subsolo h		Altura da edificação h							
			Classe S <sub>2</sub> hs > 10m	Classe S <sub>1</sub> hs ≤ 10m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6m	Classe P <sub>2</sub> 6m < h ≤ 12m	Classe P <sub>3</sub> 12m < h ≤ 23m	Classe P <sub>4</sub> 23m < h ≤ 30m	Classe P <sub>5</sub> 30m < h ≤ 80m	Classe P <sub>6</sub> 80m < h ≤ 120m	Classe P <sub>7</sub> 120m < h ≤ 150m	Classe P <sub>8</sub> 150m < h ≤ 250m
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateral- mente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos late- ralmente	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 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	-	-	-

*Continua na próxima página*

Tabela 3.2 – Continuação da página anterior

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Profundidade do subsolo h		Altura da edificação h							
			Classe S <sub>2</sub> hs > 10m	Classe S <sub>1</sub> hs ≤ 10m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6m	Classe P <sub>2</sub> 6m < h ≤ 12m	Classe P <sub>3</sub> 12m < h ≤ 23m	Classe P <sub>4</sub> 23m < h ≤ 30m	Classe P <sub>5</sub> 30m < h ≤ 80m	Classe P <sub>6</sub> 80m < h ≤ 120m	Classe P <sub>7</sub> 120m < h ≤ 150m	Classe P <sub>8</sub> 150m < h ≤ 250m
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	-	-

Fonte: IT 08 CBMESP, 2011

Notas da Tabela 3.2:

1. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo;
2. Para indústria ou depósito com inflamáveis, considerar I-3 e J-4, respectivamente;
3. Casos não enquadrados serão definidos pelo SvSCI do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

### 3.1.2 MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

O método do tempo equivalente é utilizado para diminuir o TRRF determinado pelo método tabular e esta redução está limitada a 30 minutos, tanto para a ABNT NBR 15200:2012, como para Instrução Técnica nº 08/2011 (CBPMESP).

Este método de redução não pode ser aplicado às edificações do grupo L (explosivos) e às divisões M-1 (túneis), M-2 (parques de tanques) e M-3 (centrais de comunicação e energia), segundo IT nº 08/2011 (CBPMESP).

Os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) calculados a partir do método do tempo equivalente não podem ter valores inferiores a:

1. Para IT nº 08/2011 (CBPMESP):
  - a) 15 minutos, para edificações com altura menor ou igual a 6 metros dos Grupos A; D; E; G e Divisões I-1; I-2, J-1 e J-2;
  - b) 30 minutos, para as demais edificações.
2. Para ABNT NBR 15200:2012:
  - a) 15 minutos, sem especificação da edificação.

O tempo equivalente de resistência ao fogo ( $t_{eq}$ ) dos elementos construtivos é calculado a partir da Equação 23 (IT 08, 2011).

$$t_{eq} = 0,07q_{fi}\gamma_n\gamma_sW \quad (23)$$

Onde:

$t_{eq}$  é o tempo equivalente (minutos);

$q_{fi}$  é o valor da carga de incêndio específica do compartimento analisado (MJ/m<sup>2</sup>). Este valor pode ser encontrado na ABNT NBR 14432:2001 ou em IT estaduais. Para o estado de Alagoas, IT Geral Provisória (2013), apresentada no Anexo A;

$\gamma_n$  é o produto  $\gamma_{n1} * \gamma_{n2} * \gamma_{n3}$  que são fatores adimensionais que levam em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação e determinados conforme a Tabela 3.3. Na ausência de algum meio de proteção indicado na Tabela 3.3, adotar o respectivo  $\gamma_n$  igual a 1;

$\gamma_s$  é o produto  $\gamma_{s1} * \gamma_{s2}$  que são fatores adimensionais que dependem do risco de incêndio e determinados, respectivamente, pela Equação 24 e Tabela 3.4;

$W$  é um fator adimensional associado à ventilação do ambiente e à altura do compartimento analisado, determinado conforme Equação 25.

Tabela 3.3 – Fatores das medidas de segurança contra incêndio.

Valores de $\gamma_{n1}, \gamma_{n2}, \gamma_{n3}$		
Existência de chuveiros automáticos ( $\gamma_{n1}$ )	Brigada contra incêndio ( $\gamma_{n2}$ )	Existência de detecção automática ( $\gamma_{n3}$ )
0,60	0,90	0,90

Para o cálculo de  $\gamma_s$ :

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f(h + 3)}{10^5} \quad (24)$$

Onde:

$$1 \leq \gamma_{s1} \leq 3;$$

$A_f$  é área de piso do compartimento analisado (m<sup>2</sup>);

$h$  é altura do piso habitável mais alto do edifício (m).

Tabela 3.4 – Risco de ativação ( $\gamma_{s2}$ ).

Valores de $\gamma_{s2}$	Risco de ativação do incêndio	Exemplos de ocupação
0,85	Pequeno	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	Médio	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

Fonte: IT 08 CBMESP, 2011

Para o cálculo de  $W$ :

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left[ 0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \left(1 + 10 \frac{A_v}{A_f}\right) \frac{A_h}{A_f}} \right] \geq 0,5 \quad (25)$$

Onde:

$H$  é a altura do compartimento (m);

$A_v$  é a área de ventilação vertical (janelas, portas e similares) (m<sup>2</sup>);

$A_h$  é a área de ventilação horizontal - piso (m<sup>2</sup>);

$A_f$  é a área de piso do compartimento analisado (m<sup>2</sup>);

$$0,025 \leq \frac{A_v}{A_f} \leq 0,25.$$

Portanto, o valor de TRRF poderá ser substituído por um valor “ $t_{eq}$ ” se:  $TRRF - 30 \text{ min} < t_{eq} \leq TRRF$ . Caso “ $t_{eq} \leq TRRF - 30 \text{ min}$ ”, o valor de TRRF pode ser adotado como  $TRRF - 30 \text{ min}$ .

#### 4 VERIFICAÇÃO DE PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Neste capítulo são apresentados alguns métodos para dimensionamento de pilares de concreto armado considerando a ação térmica, conforme ABNT NBR 15200:2012. Estes procedimentos são válidos para elementos em concreto com  $f_{ck} \leq 50$  MPa e submetidos ao incêndio-padrão.

O método analítico e o método tabular, apresentados neste trabalho, são adequados a estruturas de nós fixos e podem ser usados nos casos em que o deslocamento de segunda ordem, devido ao desaprumo, possa ser desconsiderado em situação de incêndio. Outra condição, para ambos os casos, é que os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente não podem ultrapassar 30% dos esforços de primeira ordem, ou seja,  $\gamma_z \leq 1,3$ .

A ABNT NBR 15200:2012 permite ainda o uso de métodos alternativos para o dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio, são eles métodos avançados e métodos simplificados, desde que sejam comprovados cientificamente.

Segundo a ABNT NBR 15200:2012, para o dimensionamento através de métodos avançados numérico-computacionais, algumas hipóteses devem ser consideradas: combinação de ações em situação de incêndio composta rigorosamente com base na ABNT NBR 8681:2003; esforços solicitantes de cálculo acrescidos dos efeitos das deformações térmicas restringidas, desde que calculados por modelos não lineares capazes de considerar as profundas redistribuições de esforços que ocorrem; esforços resistentes calculados considerando as distribuições de temperatura conforme o TRRF; ambas as distribuições, de temperatura e de resistência, devem ser rigorosamente calculadas considerando as não linearidades envolvidas.

Para o uso de métodos simplificados, a principal norma também traz algumas condições que podem ser adotadas: as solicitações de cálculo em situação de incêndio (Sd,fi) podem ser calculadas conforme ABNT NBR 8681 ou, simplificada, igual a 70% da solicitação à temperatura ambiente, desconsiderando a ação do vento; o esforço resistente de cálculo em situação de incêndio de cada elemento pode ser calculado com base na distribuição de temperatura obtida para sua seção transversal, considerando exposição ao fogo conforme o TRRF. Essa distribuição de temperatura pode ser obtida na literatura técnica ou calculada em programas específicos de computador; os esforços resistentes podem ser calculados pelos critérios estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014 para situação normal (à temperatura ambiente), adotando para o concreto e para o aço a resistência média em situação de incêndio; os esforços resistentes podem ser determinados através de métodos que consideram a seção de concreto reduzida em situação de incêndio.

Portanto, dentre os métodos acima apresentados pela ABNT NBR 15200:2012, para o dimensionamento estrutural de pilares em situação de incêndio, os métodos tabular e analítico são os mais práticos e são utilizados para verificação da segurança da estrutura.

#### 4.1 AÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A segurança estrutural em situação de incêndio é verificada quando os esforços atuantes são menores ou iguais aos esforços resistentes, de forma semelhante à verificação em temperatura ambiente, conforme a inequação 26 abaixo.

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (26)$$

Onde:

$S_{d,fi}$  é o valor de cálculo do esforço atuante, determinado a partir da combinação última excepcional das ações, de acordo com a ABNT NBR 8681:2003;

$R_{d,fi}$  é o valor de cálculo do esforço resistente reduzido em função do aumento da temperatura.

As ações, ou forças, atuantes em uma estrutura podem ser permanentes (peso próprio), variáveis (vento e sobrecarga) e variáveis excepcionais (incêndio). Para a determinação dos esforços atuantes em uma situação de incêndio, deve-se então considerar uma combinação excepcional das ações, apenas no estado limite último (ELU), como indica a ABNT NBR 8681:2003, apresentada na Equação 27. Esta norma, permite desprezar a ação do vento na presença da ação excepcional de incêndio.

$$F_{d,fi} = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_q \cdot \sum_{j=1}^n 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot F_{Qj,k} \quad (27)$$

Onde:

$F_{d,fi}$  é o valor de cálculo da ação na combinação excepcional;

$F_{Gi,k}$  é o valor característico da ação permanente  $i$ ;

$F_{Q,exc}$  é o valor da ação excepcional (ação térmica);

$F_{Qj,k}$  é o valor característico da ação variável  $j$  para situação de incêndio;

$\gamma_{gi}$  é o coeficiente de ponderação das ações permanentes " $i$ " em incêndio;

$\gamma_q$  é o coeficiente de ponderação das ações variáveis em incêndio;

$\psi_{2j}$  é o fator de combinação utilizado para determinação dos valores reduzidos das ações variáveis.

Segundo a ABNT NBR 15200:2012, os esforços decorrentes da deformação térmica ( $F_{Q,exc}$ ) podem ser desprezados, por serem muito reduzidos e pelas grandes deformações plásticas que ocorrem em situação de incêndio. Portanto, a Equação 27 pode ser substituída pela Equação 28:

$$F_{d,fi} = \gamma_g \cdot F_{Gk} + \gamma_q \cdot \sum_{j=1}^n 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot F_{Qj,k} \quad (28)$$

Onde:

$\gamma_g$  é o coeficiente de ponderação das ações permanentes em incêndio;

$F_{Gk}$  é o valor característico da soma das ações permanentes.

Os valores para os fatores de ponderação e de redução são apresentados na ABNT NBR 8681:2003.

A ABNT NBR 15200:2012 traz ainda, como alternativa, na ausência da solicitação gerada pelas deformações impostas em situação de incêndio, as solicitações de cálculo em situação de incêndio ( $S_{d,fi}$ ) podem ser tomadas como 70% das solicitações de cálculo em situação normal ( $S_d$ ), não incluindo o vento nas combinações de ações, ou seja:

$$S_{d,fi} = 0,7S_d \quad (29)$$

## 4.2 REVESTIMENTOS

De acordo com a ABNT NBR 15200:2012, não é permitida a consideração do revestimento na determinação das dimensões mínimas da seção transversal de pilares, contudo o revestimento pode ser considerado no cálculo das distâncias  $c_1$  (ver seção 4.3), desde que sejam respeitados os seguintes critérios:

- revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia (aderência à tração de acordo com a ABNT NBR 13528) têm 67 % de eficiência relativa ao concreto;
- revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes (aderência à tração de acordo com a ABNT NBR 13528) têm 100 % de eficiência relativa ao concreto;
- revestimentos protetores à base de gesso, vermiculita ou fibras com desempenho equivalente podem ser empregados, desde que sua eficiência e aderência na situação de incêndio sejam demonstradas experimentalmente.

## 4.3 MÉTODO ANALÍTICO

O método analítico é utilizado para pilares com mais de uma face exposta ao fogo, onde calcula-se o tempo de resistência ao fogo (TRF) desses elementos e este valor deve ser superior ou igual ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

O TRF pode ser calculado através da Equação 36.

$$TRF = 120 \left( \frac{R_\mu + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (30)$$

Onde:

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

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

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



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

$$R_b = 40,5 \text{ para } b' > 450;$$

$$R_n = 0 \text{ para } n=4, \text{ sendo } n \text{ o número de barras longitudinais};$$

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

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

$$b' = \frac{2A_c}{(b+h)} \text{ para } h \leq 1,5b;$$

$$b' = 1,2b \text{ para } h > 1,5b.$$

Em que:

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

$N_{Rd}$  é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar calculado de acordo com a ABNT NBR 6118, com  $\gamma_m$  à temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2ª ordem) e desconsiderados os efeitos das forças decorrentes do vento;

$c_1$  é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo. Em seu cálculo é permitida a consideração do revestimento conforme as prescrições dispostas na seção 4.2;

$l_{e,fi}$  é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio, em metros, e pode sempre ser considerado igual ao da temperatura ambiente,  $l_e$ , conforme ABNT NBR 6118:2014, seção 15.6. Para os pilares dos andares intermediários de edifícios de múltiplos pavimentos compartimentados verticalmente e com os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente inferiores ou iguais a 10 % dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo,  $(\gamma_z \leq 1,1)$ ), pode ser assumido que  $l_{e,fi} = 0,5l_e$  e para o pavimento mais alto  $l_{e,fi} = 0,7l_e$ . Para situações em que os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente são superiores a 10 % dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo,  $\gamma_z > 1,1$ ), o  $l_{e,fi}$  pode ser determinado por análise estrutural específica;

$A_c$  é a área da seção transversal do pilar, em milímetros quadrados;

$b$  é a menor dimensão da seção transversal do pilar, em milímetros;

$h$  é a maior dimensão da seção transversal do pilar, em milímetros.

Para o uso destas equações, devem ser respeitadas algumas limitações:

- $\frac{A_s}{A_c} \leq 0,04$ ;
- $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$ ;
- $b' \geq 190 \text{ mm}$ ;
- $e \leq 0,15 b$ ;
- $l_{e,fi} \leq 6 \text{ m}$

Onde:

$A_s$  é a área total das armaduras;

$e$  é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio,

que pode ser assumida igual à excentricidade de primeira ordem da força normal atuante à temperatura ambiente, desconsiderado o efeito das forças decorrentes do vento.

#### 4.4 MÉTODO TABULAR

No método tabular geral, os pilares de concreto armado são dimensionados à situação de incêndio a partir de tabelas. Para o uso das tabelas, devem ser calculados alguns parâmetros e caso os valores dos parâmetros não sejam compatíveis com os das tabelas, é permitida a interpolação desses valores, desde que sejam obedecidos os limites específicos da tabela em questão. Pilares onde  $A_s \geq 0,02 A_c$ , é necessária uma distribuição uniforme das armaduras ao longo dos lados da seção para  $TRRF \geq 90$  min.

Para a utilização das Tabelas 4.1 a 4.9, os seguintes parâmetros são necessários:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad (31)$$

$$v_{fi} = \frac{N_{0Sd,fi}}{0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})} \quad (32)$$

$$e = \frac{M_{0Sd,fi}}{N_{0Sd,fi}} \quad (33)$$

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r} \quad (34)$$

Onde:

$\omega$  é taxa mecânica de armadura longitudinal;

$A_s$  é a área total da seção das barras de aço;

$A_c$  é a área total da seção de concreto;

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$  é o valor de cálculo da resistência do aço à temperatura ambiente, com  $\gamma_s = 1,0$ ;

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s}$  é o valor de cálculo da resistência do concreto à compressão à temperatura ambiente, com  $\gamma_s = 1,0$ ;

$e$  é a excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio;

$N_{0Sd,fi}$  é o 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, desconsiderado o efeito das forças decorrentes do vento;

$M_{0Sd,fi}$  é o 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, desconsiderado o efeito das forças decorrentes do vento;

$\lambda_{fi}$  é a esbeltez em situação de incêndio;

$l_{ef,fi}$  é o comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio, conforme a Seção 4.3;

$r = \sqrt{\frac{I}{A_c}}$  é o raio de giração, sendo I o momento de inércia da seção transversal do pilar;

$c_1$  é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo. Em seu cálculo, é permitida a consideração do revestimento conforme as prescrições dispostas na seção 4.2;

$b_{min}$  é a mínima dimensão da seção transversal do pilar (retangular ou circular), em milímetros;

$e_{max}$  é o máximo valor de  $'e'$  para uso nas tabelas.

Tabela 4.1 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,1$  e  $e_{max} = 10mm$  (para  $b \leq 400 mm$ ) e  $e_{max} = 0,025 * b$  (para  $b > 400 mm$ ).

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

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.2 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,1$  e  $e_{max} = 0,25 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 100 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	200/30: 250/25	300/30: 350/25
	40	150/25	150/30: 200/25	300/25	500/40: 550/25
	50	150/25	200/40: 250/25	350/40: 500/25	550/25
	60	150/25	300/25	550/25	600/30
	70	200/25	350/40: 500/25	550/30: 600:25	a
	80	250/25	550/25	a	a
60	30	150/230: 200/25	200/40: 300/25	300/400: 500/25	500/25
	40	200/30: 250/25	300/35 350/25	450/50: 550/25	550/40: 600/25
	50	200/40: 300/25	350/45: 550/25	550/30: 600/30	600/55
	60	250/35: 400/25	450/50: 550/25	600/35	a
	70	300/40: 500/25	550/30: 600/25	600/80	a
	80	400/40: 550/25	600/30	a	a
90	30	200/40: 250/25	300/40: 400/25	500/50: 550/25	550/40:600/25
	40	250/40: 350/25	350/50: 550/25	550/35: 600/25	600/50
	50	300/40: 500/25	500/60: 550/25	600/40	a
	60	300/50: 550/25	550/45: 600/25	a	a
	70	400/50: 550/25	600/45	a	a
	80	500/60: 600/25	a	a	a
120	30	250/50: 350/25	400/50: 550/25	550/25	550/60: 600/45
	40	300/50: 500/25	500/50: 550/25	550/50: 600/25	a
	50	400/50: 550/25	550/50: 600/25	600/60	a
	60	500/50: 550/25	550/55: 600/50	a	a
	70	500/60: 600/25	600/60	a	a
	80	550/50: 600/25	a	a	a
180	30	400/50: 500/25	500/60: 550/25	550/60: 600/30	a
	40	500/50: 550/25	550/50: 600/25	600/80	a
	50	550/25	600/60	a	a
	60	550/50: 600/25	600/80	a	a
	70	600/55	a	a	a
	80	600/70	a	a	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.3 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,1$  e  $e_{max} = 0,5 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 200 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

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

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.4 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,5$  e  $e_{max} = 10 \text{ mm}$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 0,025 * b$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	200/25
	60	150/25	150/25	150/25	200/30: 250/25
	70	150/25	150/25	200/25	250/25
	80	150/25	150/25	200/30: 250/25	300/25
60	30	150/25	150/25	150/30: 200/25	200/35: 250/25
	40	150/25	150/25	200/25	250/30: 300/25
	50	150/25	150/35: 200/25	200/40: 250/25	250/40: 350/25
	60	150/25	200/30: 250/25	250/30: 300/25	300/40: 450/25
	70	150/25	200/35: 250/25	250/40: 350/25	350/45: 600/25
	80	150/35: 200/25	250/30: 300/25	300/40: 500/25	450/50: 600/35
90	30	150/25	150/40: 200/25	200/40: 250/25	250/40: 300/25
	40	150/25	200/35: 250/25	250/30: 300/25	300/40: 400/25
	50	150/40: 200/25	200/45: 250/25	250/45: 350/25	350/45: 550/25
	60	200/25	250/35: 300/25	300/45: 400/25	400/50: 600/35
	70	200/35: 250/25	250/45: 350/25	350/45: 600/25	550/50: 600/45
	80	200/45: 250/25	250/50: 400/25	400/50: 600/35	600/60
120	30	150/35: 200/25	200/40: 250/25	250/45: 300/25	350/45: 500/25
	40	200/25	250/25	300/45: 350/25	400/50: 550/25
	50	200/40: 250/25	250/45: 300/25	350/45: 450/25	450/50: 600/25
	60	200/50: 250/25	300/45: 350/25	400/50: 550/25	500/60: 600/35
	70	250/35: 300/25	350/45: 450/25	550/50: 600/40	600/45
	80	250/45: 300/25	400/50: 550/25	500/60: 600/45	600/60
180	30	200/45: 250/25	250/35: 300/25	350/45: 400/25	450/45: 500/25
	40	250/25	300/45: 350/25	450/25	500/55: 600/50
	50	250/35: 300/25	350/45: 400/25	500/40: 550/25	600/65
	60	300/40: 350/25	450/25	500/60: 600/55	600/80
	70	350/25	500/40: 550/25	600/65	a
	80	400/30: 450/25	500/55: 600/45	600/80	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Tabela 4.5 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,5$  e  $e_{max} = 0,25 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 100 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	200/30: 250/25
	40	150/25	150/25	150/25	300/45: 350/25
	50	150/25	150/25	200/30: 250/25	350/40: 450/25
	60	150/25	150/25	250/30: 300/25	500/30: 550/25
	70	150/25	150/35: 200/25	350/30: 400/25	550/35: 600/30
	80	150/25	200/30: 250/25	400/40: 500/25	600/50
60	30	150/25	150/35: 200/25	250/35: 350/25	350/40: 550/25
	40	150/25	200/30: 300/25	300/35: 500/25	450/50: 600/30
	50	150/30: 200/25	200/40: 350/25	300/45: 550/25	500/50: 600/35
	60	150/35: 200/25	250/40: 500/25	400/45: 600/30	600/45
	70	200/30: 300/25	300/40: 500/25	500/40: 600/35	600/80
	80	200/35: 300/25	350/40: 600/25	550/55: 600/40	a
90	30	150/35: 200/25	200/45: 300/25	300/45: 550/25	550/50: 600/40
	40	200/35: 250/25	250/45: 500/25	350/50: 600/25	550/50: 600/45
	50	200/40: 300/25	300/45: 550/25	550/50: 600/35	600/55
	60	200/50: 400/25	350/50: 600/25	550/50: 600/45	a
	70	300/35: 500/25	400/50: 600/35	600/50	a
	80	300/40: 600/25	500/55: 600/40	600/80	a
120	30	200/45: 300/25	300/45: 550/25	450/50: 600/25	550/60: 600/50
	40	200/50: 350/25	350/50: 550/25	500/50: 600/40	600/55
	50	250/45: 450/25	450/50: 600/25	550/55: 550/45	600/80
	60	300/50: 500/25	500/45: 600/40	550/60: 600/60	a
	70	350/50: 550/25	500/50: 550/45	600/75	a
	80	400/50: 600/25	500/55: 550/50	a	a
180	30	300/45: 450/25	450/50: 600/25	500/60: 600/50	600/75
	40	350/50: 500/25	500/50: 600/25	600/60	a
	50	450/50: 500/25	500/60: 600/50	600/70	a
	60	500/50: 600/25	550/60: 600/55	a	a
	70	500/55: 600/35	600/65	a	a
	80	500/60: 600/55	600/75	a	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012



Tabela 4.6 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 0,5$  e  $e_{max} = 0,5 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 200 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

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

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.7 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 1,0$  e  $e_{max} = 10 \text{ mm}$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 0,025 * b$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	150/30: 200/25
	60	150/25	150/25	150/25	200/30: 250/25
	70	150/25	150/25	150/30: 200/25	250/25
	80	150/25	150/25	200/30: 250/25	250/30: 300/25
60	30	150/25	150/25	150/25	200/40: 300/25
	40	150/25	150/25	200/30: 250/25	250/35: 350/25
	50	150/25	150/30: 200/25	200/40: 250/25	250/40: 350/25
	60	150/25	150/40: 250/25	250/35: 300/25	300/40: 600/25
	70	150/25	200/35: 250/25	250/40: 400/25	350/40: 450/35
	80	150/30: 200/25	200/40: 300/25	300/40: 550/25	350/45: 450/40
90	30	150/25	200/25	200/40: 250/25	250/45: 600/25
	40	150/25	200/35: 250/25	250/35: 350/25	300/45: 600/30
	50	150/35: 200/25	200/40: 250/25	250/45: 400/25	350/45: 600/35
	60	150/40: 250/25	250/55: 300/25	300/45: 550/25	400/50: 600/40
	70	200/35: 250/25	300/35: 350/25	350/45: 600/35	550/50: 600/45
	80	200/40: 250/25	300/40: 500/25	350/50: 600/40	550/65: 600/55
120	30	150/40: 200/25	200/45: 250/25	250/40: 400/25	400/40: 600/25
	40	200/30: 250/25	250/25	300/45: 400/25	400/50: 600/30
	50	200/40: 250/25	250/35: 300/25	350/40: 550/25	550/45: 600/40
	60	200/45: 250/25	250/45: 400/25	400/50: 600/25	550/60: 600/50
	70	250/25	350/35: 450/25	550/40: 600/35	600/70
	80	250/35: 300/25	350/40: 550/25	550/50: 600/45	a
180	30	200/50: 250/25	300/25	350/45: 450/25	500/50: 600/45
	40	250/25	300/45: 350/25	450/45: 550/25	550/60: 600/55
	50	250/30: 300/25	350/40: 450/25	450/50: 550/25	600/70
	60	250/40: 350/25	350/50: 500/25	550/55: 600/50	600/80
	70	300/45: 400/25	450/45: 600/35	550/70: 600/65	a
	80	350/40: 450/25	550/50: 600/40	600/75	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.8 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 1,0$  e  $e_{max} = 0,25 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 100 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	200/30: 300/25
	40	150/25	150/25	150/25	250/30: 450/25
	50	150/25	150/25	200/25	300/35: 500/25
	60	150/25	150/25	200/30: 250/25	400/40: 550/25
	70	150/25	150/25	250/35: 300/25	500/35: 600/30
	80	150/25	150/30: 250/25	300/35: 500/25	500/60: 600/35
60	30	150/25	150/30: 200/25	200/40: 400/25	300/50: 600/30
	40	150/25	150/40: 250/25	250/40: 500/25	400/50: 600/35
	50	150/25	200/35: 400/25	300/40: 600/25	500/45: 600/40
	60	150/30: 200/25	200/40: 450/25	400/40: 600/30	550/40: 600/40
	70	150/35: 200/25	240/40: 550/25	450/45: 500/35	600/60
	80	200/30: 250/25	300/40: 550/25	500/50: 600/40	600/80
90	30	200/25	200/40: 300/25	250/40: 550/25	550/50: 600/45
	40	200/30: 250/25	200/50: 400/25	300/50: 600/35	500/60: 600/50
	50	200/35: 300/25	250/50: 550/25	400/50: 600/40	600/55
	60	200/40: 400/25	300/45: 600/25	500/50: 600/45	600/70
	70	200/45: 450/25	300/50: 600/35	550/55: 600/50	a
	80	200/50: 500/25	400/50: 600/35	600/55	a
120	30	200/40: 250/25	250/50: 400/25	450/45: 600/30	600/60
	40	200/45: 300/25	300/40: 500/25	500/50: 600/35	a
	50	250/40: 400/25	400/40: 550/25	550/50: 600/45	a
	60	250/50: 450/25	400/50: 500/35	600/55	a
	70	300/40: 500/25	500/45: 600/35	a	a
	80	300/50: 550/25	500/60: 600/40	a	a
180	30	300/35: 400/25	450/50: 550/25	500/60: 600/45	a
	40	300/40: 450/25	500/40: 600/30	550/65: 600/60	a
	50	400/40: 500/25	500/45: 600/35	600/75	a
	60	400/45: 550/25	500/55: 600/45	a	a
	70	400/50: 600/30	500/65: 600/50	a	a
	80	500/45: 600/35	600/70	a	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.9 – Dimensões mínimas para pilares com  $\omega = 1,0$  e  $e_{max} = 0,5 * b$  (para  $b \leq 400 \text{ mm}$ ) e  $e_{max} = 200 \text{ mm}$  (para  $b > 400 \text{ mm}$ ).

TRRF (min)	$\lambda_{fi}$	$b_{min}/c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	200/30: 300/25	500/30: 550/25
	40	150/25	150/25	250/30: 450/25	500/40: 600/30
	50	150/25	150/30: 200/25	300/35: 500/25	550/35
	60	150/25	200/30: 250/25	350/40: 500/25	550/50
	70	150/25	200/30: 300/25	450/50: 550/25	a
	80	150/25	250/30: 350/25	500/35: 600/30	a
60	30	150/25	200/35: 450/25	350/40: 600/30	550/45: 600/40
	40	150/30: 200/25	200/40: 500/25	450/50: 500/35	600/60
	50	150/35: 250/25	250/40: 550/25	500/40: 600/35	600/80
	60	200/30: 350/25	300/40: 600/25	500/50: 600/40	a
	70	250/30: 450/25	350/40: 600/30	550/50: 600/45	a
	80	250/55: 500/25	450/40: 500/35	600/70	a
90	30	200/35: 300/25	250/50: 550/25	550/50: 600/40	600/70
	40	200/40: 450/25	300/50: 600/30	500/55: 600/45	a
	50	200/45: 500/25	350/50: 600/35	550/50	a
	60	200/50: 550/25	450/50: 600/40	600/60	a
	70	250/45: 600/30	500/50: 600/45	600/80	a
	80	250/50: 500/35	500/55: 600/45	a	a
120	30	200/50: 450/25	450/45: 600/25	550/55: 600/50	a
	40	250/50: 500/25	500/40: 600/30	600/65	a
	50	300/40: 550/25	500/50: 600/35	a	a
	60	350/45: 550/25	500/60: 600/40	a	a
	70	450/40: 600/30	550/60: 600/50	a	a
	80	450/45: 600/30	600/65	a	a
180	30	350/45: 550/25	500/45: 600/40	600/80	a
	40	450/45: 600/30	500/60: 600/45	550/65: 600/60	a
	50	450/50: 600/35	500/70: 600/55	600/75	a
	60	500/45: 600/40	550/70: 600/65	a	a
	70	500/50: 600/40	600/75	a	a
	80	500/55: 600/45	a	a	a

<sup>a</sup> Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Simplificadamente, a ABNT NBR 15200:2012 apresenta tabelas para pilares com uma face exposta ao fogo (Tabela 4.10) e pilares-parede (Tabela 4.11), fornecendo as dimensões mínimas da seção transversal do pilar e os valores de  $c_1$  das armaduras.

Para o uso da Tabela 4.11, o valor de  $\mu_{fi}$  é calculado por:

$$\mu_{f1} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}} \quad (35)$$

Onde:

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

$N_{Rd}$  é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar, calculado de acordo com ABNT NBR 6118 com  $\gamma_m$  à temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2ª ordem) e desconsiderados os efeitos das forças decorrentes do vento.

Tabela 4.10 – Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo.

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

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 4.11 – 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
Pilar-parede conforme ABNT NBR 6118.				

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

## 5 EXEMPLO PRÁTICO

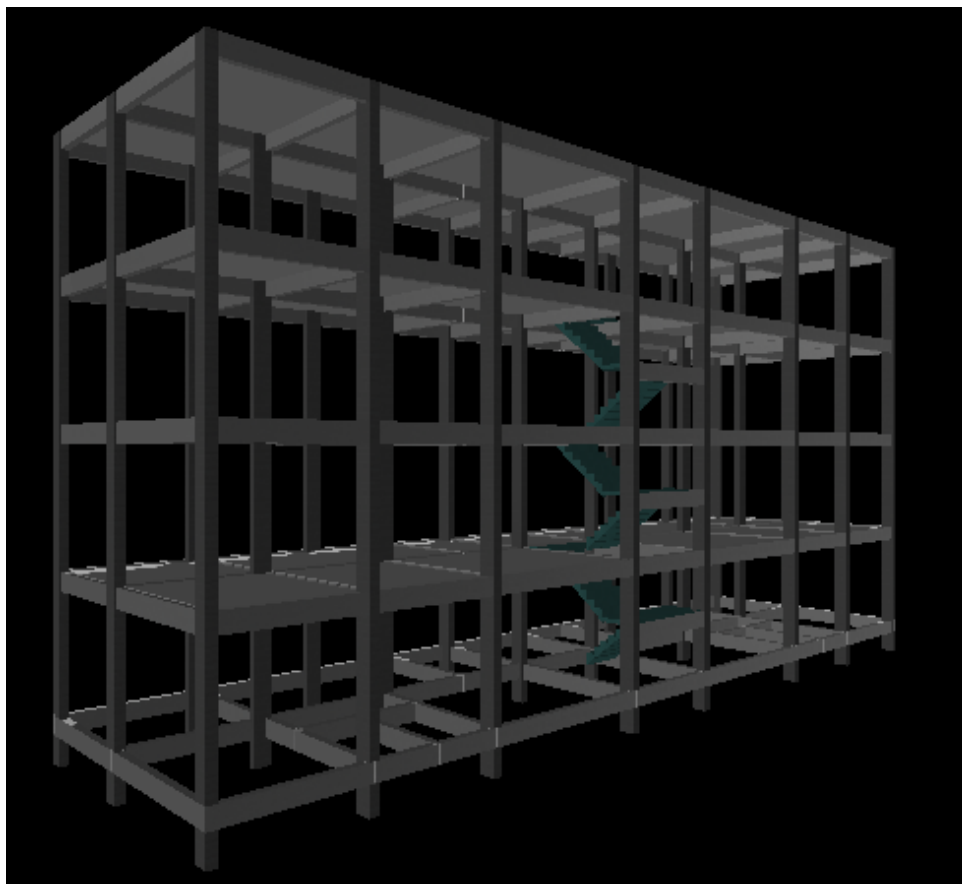
### 5.1 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO

O edifício utilizado neste trabalho foi dimensionado com base na apostila "Dimensionamento estrutural de uma edificação de 4 andares" do professor Leonardo de Souza Bastos, publicada em 2016, com o auxílio do software TQS.

O TQS é um software desenvolvido pela empresa brasileira TQS, fundada em 1986, e é utilizado para elaborar projetos estruturais de concreto armado, alvenaria estrutural, concreto protendido, concreto pré-fabricado e geotécnicos. Nele são realizadas as etapas de concepção e análise estrutural, dimensionamento, detalhamento de armaduras, produção de desenhos e emissão de plantas. Este programa computacional atende a todos os requisitos das normas técnicas elaboradas pela ABNT. O TQS pode realizar a verificação da estrutura em situação de incêndio após o seu dimensionamento em situação normal, ou seja, é uma verificação final adicional.

A edificação possui quatro pavimentos e dois apartamentos por pavimento e o pé direito é de 3,0 metros (Figura 5.1). A estrutura utilizada é a convencional com lajes maciças, vigas e pilares. Adotou-se concreto com  $f_{ck} = 25MPa$ , classe de agressividade II (Moderada - Urbana), cobrimento de 2,5 cm para lajes e de 3,0 cm para vigas e pilares.

Figura 5.1 – Modelo 3D da edificação

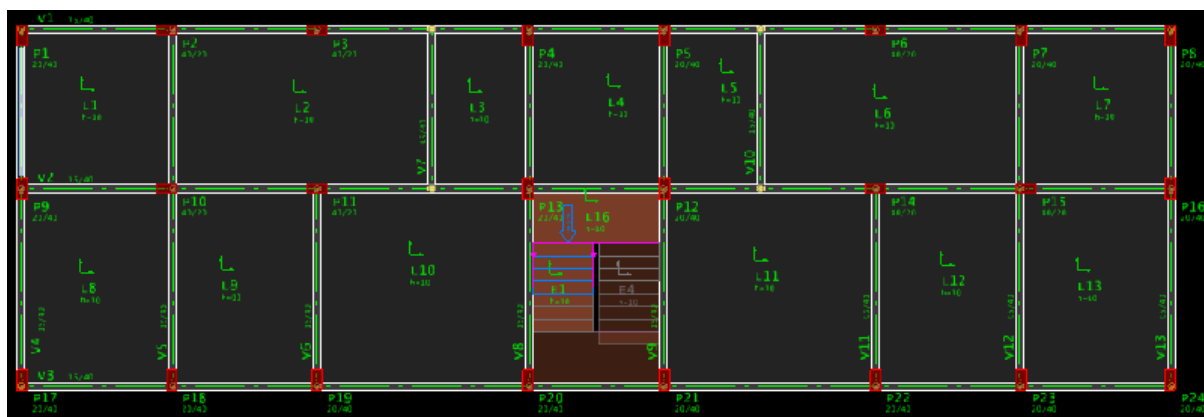


Fonte: Software TQS

Para as lajes considerou-se carga permanente distribuída de  $1,0 \text{ kN/m}^2$  e carga acidental de  $2,0 \text{ kN/m}^2$  nos pavimentos tipos. Para os casos em que a alvenaria se apoia diretamente nas lajes, estas tiveram acréscimo no valor da carga permanente. Já para a cobertura, considerou-se uma carga permanente de  $1,5 \text{ kN/m}^2$  e a sobrecarga com valor de  $1,0 \text{ kN/m}^2$ . Para as vigas, adotou-se uma carga permanente distribuída de  $1,8 \text{ kN/m}^2$ , referente às paredes de alvenaria de blocos cerâmicos de 15 cm.

A Figura 5.2 abaixo mostra a planta de forma do pavimento tipo com as dimensões das vigas, pilares e espessura das lajes.

Figura 5.2 – Planta de forma do pavimento tipo



Fonte: Software TQS

A ação do vento também foi considerada no projeto e calculada automaticamente pelo programa computacional. A velocidade básica do vento adotada foi de  $30\text{m/s}$ , correspondente à cidade de Maceió, o fator do terreno (S1) foi 1,0, a categoria de rugosidade (S2) foi IV e o fator estatístico (S3) foi 1,0.

Após o processamento global não emitir erros e gerar o dimensionamento e detalhamento das armaduras, foi realizada a verificação de incêndio.

## 5.2 VERIFICAÇÃO DE PILARES EM INCÊNDIO

### 5.2.1 MÉTODO ANALÍTICO

A análise estrutural dos pilares em situação de incêndio é feita seguindo os passos a seguir:

#### 1. Definição do TRRF

O tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) pode ser adotado pelo engenheiro ou calculado automaticamente pelo programa TQS. O TRRF foi determinado de forma automática com os seguintes dados:

- Ocupação: A-Residencial
- Altura de incêndio da edificação (m): 9
- Divisão: A-2 (Habitação multifamiliar)
- Área do maior pavimento acima do solo ( $\text{m}^2$ ): 165,6

O TRRF encontrado foi de 30 minutos (Figura 5.3). O TQS calcula o TRRF pelo método tabular da ABNT NBR 14332:2001. Como as Instruções Técnicas dos estados possuem precedência à ABNT, o tempo requerido de resistência ao fogo deve ser analisado segundo a Tabela 3.2, que também indicou um TRRF de 30 minutos.



Figura 5.3 – TRRF determinado para a edificação

Fonte: Software TQS

A possível redução do TRRF, através do método do tempo equivalente, também pode ser feita de forma manual ou automática, seguindo as instruções da ABNT NBR 15200:2012 ou a Instrução Técnica nº08 de 2004 do Estado de São Paulo. Como o valor de TRRF encontrado foi de 30 minutos, não será utilizado o método do tempo equivalente para possível redução do TRRF, já que a Instrução Técnica nº 08/2011 (CBPMESP) limita o valor para este tipo de edificação em 30 minutos.

## 2. Edição de critérios

O programa TQS apresenta dois tipos de envoltórias, Fogo e ELU, para a definição das solicitações de cálculo em situação de incêndio ( $S_{d,fi}$ ). A envoltória Fogo contém a combinação dos esforços considerando a ação excepcional, ou seja, utiliza a equação reduzida, mostrada na seção 4.1, e não considera a ação do vento. Já a envoltória ELU é composta por combinações utilizadas no dimensionamento estrutural em situação normal.

O TQS permite que as solicitações de cálculo em situação de incêndio sejam consideradas iguais a 70% das solicitações de cálculo em temperatura ambiente ( $S_d$ ), não levando em conta as ações do vento nas combinações, conforme simplificação proposta na ABNT NBR 15200:2012.

Para a verificação dos pilares pode-se utilizar as tabelas da ABNT NBR 15200:2004 ou o método analítico presente nesta norma em sua última versão, 2012. A espessura e o

material de revestimento das estruturas também podem ser inseridos no programa.

- A envoltória utilizada foi a Fogo e considerou-se as solicitações de cálculo em situação de incêndio como 70% das solicitações de cálculo em temperatura ambiente;
- Para verificação dos pilares foi escolhido o método analítico da ABNT NBR 15200:2012;
- Considerou-se revestimento de argamassa de cal e areia com espessura de 1,5cm;
- Os valores do comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio ( $l_{e,fi}$ ) utilizados foram os indicados pelo programa: 1,5m para lances intermediários e 2,1m para o último lance.

### 3. Processamento da verificação

A edificação teve sua estrutura verificada quanto à situação de incêndio, utilizando os critérios adotados anteriormente.

### 4. Relatório e Visualizador de resultados

É emitido um relatório contendo os dados e situação dos elementos estruturais. Os parâmetros utilizados nas tabelas são:

- Tipo: comum, pilar-parede ou tirante;
- $N_{Sdi}/N_{Rd}$ : relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf);
- NFE: número de faces expostas ao fogo;
- e: excentricidade (mm);
- $A_s/A_c$ : taxa geométrica de armadura;
- w: taxa mecânica de armadura;
- $v_i$ : força normal adimensional;
- $l_e$ : pé-direito (m);
- $l_{e,fi}$ : comprimento efetivo em incêndio (m);
- NB: número total de barras de armaduras;
- b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm);
- $c_1$ : distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm);
- Situação:  $TRF > TRRF*$  significa que embora o tempo de resistência (TRF) seja superior à requerida (TRRF), há algum parâmetro fora dos limites normativos. TRF expresso em min.

As figuras 5.4 a 5.7 são partes do relatório contendo a situação dos pilares em cada pavimento.

Figura 5.4 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no pavimento térreo

**Pilares**

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	11.04/137.71 = 0.08	2	8	0.006	0.143	0.10	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=238
P2	Pilar	16.86/138.09 = 0.12	2	8	0.006	0.143	0.15	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=230
P3	Pilar	20.30/136.87 = 0.15	2	1	0.006	0.143	0.18	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=225
P4	Pilar	21.42/135.96 = 0.16	2	11	0.006	0.143	0.19	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=223
P5	Pilar	21.39/136.76 = 0.16	2	9	0.006	0.143	0.19	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=223
P6	Pilar	20.22/135.35 = 0.15	2	2	0.006	0.143	0.18	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=224
P7	Pilar	17.78/138.32 = 0.13	2	1	0.006	0.143	0.16	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=228
P8	Pilar	11.34/136.87 = 0.08	2	13	0.006	0.143	0.10	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=238
P9	Pilar	19.82/137.98 = 0.14	2	5	0.006	0.143	0.17	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=225
P10	Pilar	38.01/137.18 = 0.28	2	5	0.006	0.143	0.33	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=200
P11	Pilar	40.52/132.22 = 0.31	2	10	0.006	0.143	0.35	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	41.85/134.35 = 0.31	2	4	0.006	0.143	0.37	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=193
P13	Pilar	43.05/133.13 = 0.32	2	6	0.006	0.143	0.38	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=191
P14	Pilar	40.96/131.55 = 0.31	2	10	0.006	0.143	0.36	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=193
P15	Pilar	36.80/136.26 = 0.27	2	6	0.006	0.143	0.32	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=201
P16	Pilar	19.55/137.10 = 0.14	2	7	0.006	0.143	0.17	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=226
P17	Pilar	12.52/136.74 = 0.09	2	8	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=236
P18	Pilar	23.09/133.82 = 0.17	2	1	0.006	0.143	0.20	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=220
P19	Pilar	28.83/132.29 = 0.22	2	3	0.006	0.143	0.25	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=211
P20	Pilar	26.56/131.68 = 0.20	2	6	0.006	0.143	0.23	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=214
P21	Pilar	29.86/129.17 = 0.23	2	6	0.006	0.143	0.26	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=208
P22	Pilar	29.02/132.29 = 0.22	2	4	0.006	0.143	0.25	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=211
P23	Pilar	23.46/133.82 = 0.18	2	2	0.006	0.143	0.21	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=219
P24	Pilar	12.43/136.74 = 0.09	2	11	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=236

Fonte: Software TQS

Figura 5.5 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no primeiro andar

**Pilares**

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	8.09/136.57 = 0.06	2	12	0.006	0.143	0.07	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=242
P2	Pilar	12.32/137.18 = 0.09	2	15	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=236
P3	Pilar	14.81/135.84 = 0.11	2	6	0.006	0.143	0.13	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=232
P4	Pilar	15.71/135.27 = 0.12	2	16	0.006	0.143	0.14	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=231
P5	Pilar	15.71/135.84 = 0.12	2	14	0.006	0.143	0.14	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=231
P6	Pilar	14.77/135.04 = 0.11	2	6	0.006	0.143	0.13	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=232
P7	Pilar	12.99/137.10 = 0.09	2	3	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=235
P8	Pilar	8.25/136.57 = 0.06	2	18	0.006	0.143	0.07	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=242
P9	Pilar	14.49/136.57 = 0.11	2	9	0.006	0.143	0.13	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=233
P10	Pilar	27.71/137.71 = 0.20	2	5	0.006	0.143	0.24	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=214
P11	Pilar	29.67/131.38 = 0.23	2	13	0.006	0.143	0.26	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=209
P12	Pilar	29.69/131.91 = 0.23	2	7	0.006	0.143	0.26	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=210
P13	Pilar	30.92/130.46 = 0.24	2	10	0.006	0.143	0.27	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=207
P14	Pilar	30.03/131.38 = 0.23	2	12	0.006	0.143	0.26	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=209
P15	Pilar	26.79/136.87 = 0.20	2	7	0.006	0.143	0.23	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=215
P16	Pilar	14.25/136.49 = 0.10	2	11	0.006	0.143	0.12	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=233
P17	Pilar	9.13/136.80 = 0.07	2	14	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=241
P18	Pilar	16.70/132.83 = 0.13	2	1	0.006	0.143	0.15	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=229
P19	Pilar	20.91/130.01 = 0.16	2	7	0.006	0.143	0.18	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=222
P20	Pilar	18.68/131.87 = 0.14	2	12	0.006	0.143	0.16	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=226
P21	Pilar	17.92/130.35 = 0.14	2	8	0.006	0.143	0.16	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=227
P22	Pilar	21.08/129.74 = 0.16	2	7	0.006	0.143	0.18	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=222
P23	Pilar	16.99/132.22 = 0.13	2	1	0.006	0.143	0.15	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=228
P24	Pilar	9.06/136.57 = 0.07	2	16	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=241

Fonte: Software TQS

Figura 5.6 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no segundo andar

## Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le, fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	5.08/137.10 = 0.04	2	22	0.006	0.143	0.04	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=247
P2	Pilar	7.74/137.48 = 0.06	2	23	0.006	0.143	0.07	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=243
P3	Pilar	9.33/135.96 = 0.07	2	5	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=241
P4	Pilar	9.87/135.35 = 0.07	2	25	0.006	0.143	0.09	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=240
P5	Pilar	9.89/135.57 = 0.07	2	23	0.006	0.143	0.09	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=240
P6	Pilar	9.33/135.35 = 0.07	2	5	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=240
P7	Pilar	8.17/137.48 = 0.06	2	5	0.006	0.143	0.07	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	5.16/136.80 = 0.04	2	30	0.006	0.143	0.05	3.0	1.5	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P9	Pilar	9.15/136.74 = 0.07	2	16	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=241
P10	Pilar	17.44/137.48 = 0.13	2	9	0.006	0.143	0.15	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=229
P11	Pilar	18.82/131.55 = 0.14	2	21	0.006	0.143	0.16	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=226
P12	Pilar	18.19/134.12 = 0.14	2	13	0.006	0.143	0.16	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=227
P13	Pilar	19.14/132.16 = 0.14	2	17	0.006	0.143	0.17	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=225
P14	Pilar	19.08/131.38 = 0.15	2	20	0.006	0.143	0.17	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=225
P15	Pilar	16.84/136.80 = 0.12	2	12	0.006	0.143	0.15	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	8.98/136.87 = 0.07	2	17	0.006	0.143	0.08	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=241
P17	Pilar	5.73/136.57 = 0.04	2	24	0.006	0.143	0.05	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=246
P18	Pilar	10.30/132.77 = 0.08	2	1	0.006	0.143	0.09	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=239
P19	Pilar	12.97/130.46 = 0.10	2	10	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=234
P20	Pilar	11.54/133.21 = 0.09	2	14	0.006	0.143	0.10	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=237
P21	Pilar	11.02/135.21 = 0.08	2	13	0.006	0.143	0.10	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=238
P22	Pilar	13.07/130.46 = 0.10	2	11	0.006	0.143	0.11	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=234
P23	Pilar	10.50/132.29 = 0.08	2	1	0.006	0.143	0.09	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=238
P24	Pilar	5.68/136.26 = 0.04	2	27	0.006	0.143	0.05	3.0	1.5	6	200x400	50	OK, TRF=246

Fonte: Software TQS

Figura 5.7 – Resultado da verificação dos pilares em situação de incêndio no terceiro andar

## Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	2.04/136.26 = 0.01	2	61	0.006	0.143	0.02	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=237
P2	Pilar	3.14/137.06 = 0.02	2	75	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=236
P3	Pilar	3.87/135.88 = 0.03	2	29	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=235
P4	Pilar	3.93/135.04 = 0.03	2	52	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P5	Pilar	3.89/135.23 = 0.03	2	52	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=235
P6	Pilar	3.88/135.81 = 0.03	2	29	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=235
P7	Pilar	3.33/135.57 = 0.02	2	14	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=235
P8	Pilar	2.05/136.57 = 0.02	2	72	0.006	0.143	0.02	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=237
P9	Pilar	3.82/135.84 = 0.03	2	45	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=235
P10	Pilar	7.16/137.41 = 0.05	2	21	0.006	0.143	0.06	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=230
P11	Pilar	7.94/131.38 = 0.06	2	46	0.006	0.143	0.07	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P12	Pilar	7.89/133.82 = 0.06	2	30	0.006	0.143	0.07	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=229
P13	Pilar	7.87/131.68 = 0.06	2	46	0.006	0.143	0.07	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P14	Pilar	8.07/131.87 = 0.06	2	42	0.006	0.143	0.07	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P15	Pilar	6.92/137.18 = 0.05	2	26	0.006	0.143	0.06	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	3.73/136.45 = 0.03	2	43	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=235
P17	Pilar	2.33/136.87 = 0.02	2	69	0.006	0.143	0.02	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=237
P18	Pilar	3.89/133.51 = 0.03	2	5	0.006	0.143	0.03	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=234
P19	Pilar	5.02/130.46 = 0.04	2	31	0.006	0.143	0.04	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P20	Pilar	4.45/132.83 = 0.03	2	41	0.006	0.143	0.04	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P21	Pilar	4.43/133.38 = 0.03	2	34	0.006	0.143	0.04	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P22	Pilar	5.05/130.46 = 0.04	2	27	0.006	0.143	0.04	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=233
P23	Pilar	4.00/132.77 = 0.03	2	9	0.006	0.143	0.04	3.0	2.1	6	200x400	50	OK, TRF=234
P24	Pilar	2.31/136.57 = 0.02	2	67	0.006	0.143	0.02	3.0	2.1	6	200x400	50	TRF>TRRF*, TRF=237

Fonte: Software TQS

Analisando as tabelas, verifica-se que todos os pilares possuem um TRF maior que 180 minutos, ou seja, bem acima do valor do TRRF da edificação, 30 minutos. No entanto, alguns pilares não passaram na verificação em situação de incêndio, pois possuem excentricidade maior que o limite estabelecido no método analítico ( $e \leq 0,15b = 30mm$ ).

Como exemplo de aplicação do método analítico, será verificado o pilar P13 do pavimento térreo. Os dados do pilar P13 estão na Tabela 5.1. O TRF é calculado pela Equação 36 presente na seção 4.3, e para o uso dessa equação é necessário a verificação dos limites exigidos por este método:

- $\frac{A_s}{A_c} = 0,006 \leq 0,04$  OK ;
- $25\text{ mm} \leq c_1 = 50\text{ mm} \leq 80\text{ mm}$  OK;
- $b' = 240\text{ mm} \geq 190\text{ mm}$  OK;
- $e = 6\text{ mm} \leq 0,15\text{ b} = 30\text{ mm}$  OK;

- $l_{e,fi} = 1,5m \leq 6 m$  OK

Desta maneira, é possível utilizar o método analítico e calcula-se os parâmetros para o uso da Equação 36:

- $\mu_{fi} = \frac{43,05}{133,13} = 0,32$ ;
- $R_{\mu} = 83(1 - 0,32) = 56,44$ ;
- $R_a = 1,60(50 - 30) = 32$ ;
- $R_l = 9,60(5 - 1,5) = 33,6$ ;
- $R_b = 0,09 * 240 = 21,6$ ;
- $R_n = 12$

Logo, o tempo de resistência ao fogo (TRF) do pilar P13 é:

$$TRF = 120 \left( \frac{56,44 + 32 + 33,6 + 21,6 + 12}{120} \right)^{1,8} = 191 \text{ minutos} \quad (36)$$

O valor do TRF é de 191 minutos, mesmo valor encontrado pelo programa TQS (Figura 5.4), e é superior ao valor do TRRF (30 minutos), portanto o pilar está seguro em relação à situação de incêndio.

Tabela 5.1 – Dados do pilar P13 do pavimento térreo.

b (cm)	20
h (cm)	40
$A_s/A_c$	0,006
$c_1$ (mm)	50
$N_{sd,fi}$ (tf)	43,05
$N_{Rd}$ (tf)	133,13
$l_{ef,fi}$ (m)	1,5
b' (mm)	240
e (mm)	6
n	6

Fonte: Autora (2020)

### 5.2.2 MÉTODO TABULAR

Os pilares que não passaram na verificação com o método analítico serão verificados pelo método tabular, presente na ABNT NBR 15200:2012.

Os parâmetros necessários dos pilares para a análise tabular foram calculados conforme a seção 4.4 e estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Dados e parâmetros dos pilares para verificação através do método tabular.

Pilar	Pavimento	b (mm)	h (mm)	$A_s$ ( $cm^2$ )	$A_c$ ( $cm^2$ )	$A_s/A_c$	$N_{0Sd,fi}$ (kN)	$\omega$	$v_{fi}$	e (mm)	$\lambda_{fi}$
P8	2 andar	200	400	4,70	800	0,006	51,6	0,143	0,05	30	13
P1	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	20,4	0,143	0,02	61	18,2
P2	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	31,4	0,143	0,03	75	18,2
P4	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	39,3	0,143	0,03	52	18,2
P5	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	38,9	0,143	0,03	52	18,2
P8	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	20,5	0,143	0,02	72	18,2
P9	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	38,2	0,143	0,03	45	18,2
P11	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	79,4	0,143	0,07	46	18,2
P13	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	78,7	0,143	0,07	46	18,2
P14	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	80,7	0,143	0,07	42	18,2
P16	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	37,3	0,143	0,03	43	18,2
P17	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	23,3	0,143	0,02	69	18,2
P19	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	50,2	0,143	0,04	31	18,2
P20	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	44,5	0,143	0,04	41	18,2
P21	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	44,3	0,143	0,04	34	18,2
P24	3 andar	200	400	4,70	800	0,006	22,8	0,143	0,02	67	18,2

Fonte: Autora (2020)

Com os valores de TRRF,  $\lambda_{fi}$ ,  $v_{fi}$ ,  $\omega$  e  $e(mm)$  foi escolhida uma tabela entre as Tabelas 4.1 a 4.9 para cada pilar. Comparou-se os valores de  $b_{min}$  e  $c_1$  encontrados na tabela com os valores dimensionados. Se os valores dimensionados forem superiores aos da tabela, o pilar está verificado quanto à situação de incêndio (Tabela 5.3).

De acordo com a Tabela 5.3, verifica-se que todos os pilares possuem segurança estrutural em situação de incêndio, não sendo necessárias alterações, isto porque o edifício é de pequeno porte.

Como exemplo de aplicação do método tabular, será verificado o pilar P8 do segundo andar. Os dados do pilar P8 estão na Tabela 5.2. Os parâmetros necessários são:

- $\omega = \frac{0,006 \cdot 434,78}{17,86} = 0,14$
- $r = h / \sqrt{12} = 11,55 \text{ cm}$
- $v_{fi} = \frac{51,6}{0,7((0,20 \cdot 0,40 \cdot 25000 / 1,4) + (0,00048 \cdot 500000 / 1,1))} = 0,05$
- $e = 30 \text{ mm}$
- $\lambda_{fi} = \frac{150}{11,55} = 13$

A partir desses valores, foi adotada a Tabela 4.2 com os seguintes parâmetros:  $\omega = 0,1$ ;  $e = 50\text{mm}$ ; TRRF = 30 min;  $\lambda_{fi} = 30$  e  $v_{fi} = 0,15$ . Verifica-se, então, que as dimensões mínimas para atender estes parâmetros são  $b = 150 \text{ mm}$  e  $c_1 = 25\text{mm}$ , portanto, o pilar P8, que possui dimensões de 20x40 cm e  $c_1 = 50 \text{ mm}$ , está seguro estruturalmente em situação de incêndio.

Tabela 5.3 – Verificação dos pilares através do método tabular.

Pilar	Pavimento	b (mm)	$c_1$ (mm)	Tabela	$b_{min}$ (mm)	$c_{1,min}$ (mm)	Situação
P8	2 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P1	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P2	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P4	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P5	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P8	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P9	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P11	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P13	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P14	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P16	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P17	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK
P19	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P20	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P21	3 andar	200	50	4.2	150	25	OK
P24	3 andar	200	50	4.3	150	25	OK

Fonte: Autora (2020)



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança contra incêndio é de extrema importância para a proteção à vida e durante muito tempo apenas medidas de proteção ativas e passivas desempenhavam esta função, sendo a segurança estrutural em situação de incêndio normatizada em meados dos anos 2000. Os materiais estruturais perdem resistência quando estão em contato com o fogo, podendo ocasionar o colapso total ou parcial de uma edificação, portanto a segurança estrutural deve ser sempre analisada posteriormente ao dimensionamento estrutural.

Neste trabalho, foram apresentadas as alterações nas propriedades do aço e concreto quando submetidos à situação de incêndio, onde os materiais sofrem perda de resistência e rigidez. Apresentou-se também metodologias normatizadas para calcular o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), necessário para a posterior análise em incêndio.

Foram expostos os dois métodos (analítico e tabular) para o dimensionamento de pilares em situação de incêndio, conforme a ABNT NBR 15200:2012. A norma brasileira recomenda ainda o uso de métodos alternativos, mas não detalha quais seriam esses métodos.

No edifício utilizado como exemplo para este trabalho, verificou-se que todos os pilares possuíam um TRF bem maior que o TRRF exigido pela ABNT NBR 14432:2001 e pela Instrução Técnica nº 08/2011, pois é classificado como uma edificação residencial de pequeno porte. Apenas alguns pilares exigiram uma segunda verificação, através do método tabular, pois apresentaram excentricidade superior ao limite definido no método analítico. Contudo, todos os pilares da edificação não precisaram sofrer alterações em suas dimensões para estarem seguros estruturalmente quanto à situação de incêndio.

A área de segurança contra incêndio precisa ser mais difundida entre os engenheiros projetistas, a fim de que haja preservação à vida e ao patrimônio. Como sugestões para trabalhos futuros, seria interessante desenvolver métodos alternativos, como constam na ABNT NBR 15200:2012, para obter cálculos mais precisos e resultados menos conservadores, principalmente quando se faz uso desta norma para a verificação estrutural em edifícios de grande porte.

## Referências

- ALMEIDA, M. C. d. **Verificação da Segurança Estrutural de Pilares de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. Monografia (TCC) — Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, Brasil, 2018. Citado na página 18.
- ALVES, L. A. **ANÁLISE ACOPLADA DE TEMPERATURA E UMIDADE NO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, RIO DE JANEIRO, 2014. Citado na página 31.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001. Citado 5 vezes nas páginas 15, 35, 48, 69 e 78.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 51, 52 e 53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012. Citado 9 vezes nas páginas 15, 48, 51, 53, 66, 70, 71, 75 e 78.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 15, 51 e 54.
- BASTOS, L. de S. **DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO DE 4 ANDARES**. Rio de Janeiro, 2016. Citado na página 67.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 08: Resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo, 2011. Citado 4 vezes nas páginas 36, 48, 70 e 78.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE ALAGOAS. **Instrução Técnica Geral Provisória da Segurança contra Incêndio e Pânico**. Alagoas, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- COSTA, C.; FIGUEIREDO, A.; SILVA, V. O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica. In: . [S.l.: s.n.], 2002. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.
- COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 20, 22 e 32.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio. In: XXX JORNADAS SUL - AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL. [S.l.], 2002. Citado na página 18.
- CULTURA AERONÁUTICA. **Resgate aéreo dramático: o incêndio do Edifício Andraus**. 2013. Disponível em: <<http://culturaaeronautica.blogspot.com/2013/01/resgate-aereo-dramatico-o-incendio-do.html>>. Acesso em: 23 de março de 2020. Citado na página 14.

EUROCODE 2. **Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels, 2004. Citado na página 25.

EUROCODE 4. **Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 32, 33 e 34.

LIMA, R. C. A. et al. Efeito de altas temperaturas no concreto. In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES - NOVOS MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES. [S.l.], 2004. Citado na página 20.

MONTINI, G. M. B. B.; GOMAZAKO, M. S. Risco de incêndio, causas, prevenções e cuidados. In: CONGRESSO CIENTÍFICO DA SEMANA TECNOLÓGICA – IFSP. **Anais do CONCISTEC'14**. São Paulo, Brasil, 2014. Citado na página 17.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 32, p. 47–55, 06 2011. Citado na página 22.

NEGRISOLO, W. **Arquitetando a segurança contra incêndio**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, Brasil, 2011. Citado na página 13.

O GLOBO. **EM FOCO: INCÊNDIO DO CIRCO EM NITERÓI**. 1961. Disponível em: <<https://acervo.oglobo.globo.com/incoming/incendio-do-circo-em-niteroi-22644745#>>. Acesso em: 23 de março de 2020. Citado na página 13.

SILVA, V. P. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 13, 15 e 35.

SILVA, V. P.; AZEVEDO, M. S. d. Análise térmica de estruturas de aço externas a edificações, sem revestimento contra fogo. In: VII CONGRESSO DE ESTRUTURAS METÁLICAS E MISTAS. [S.l.], 2009. Citado na página 18.

SINDICONET. **"Causas mais comuns de fogo"**. 2010. Disponível em: <<https://www.sindiconet.com.br/informese/causas-mais-comuns-de-fogo-manutencao-contraincendios>>. Acesso em: 23 de março de 2020. Citado na página 17.

SOUSA, D.; SILVA, G. P. **ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**. Monografia (TCC) — Universidade Federal de Goiás-Escola de Engenharia Civil, Goiânia, Brasil, 2015. Citado na página 15.

STOJKOVIĆ, N. et al. New stress-strain model for concrete at high temperatures. **Technical Gazette**, v. 24, p. 863–868, 06 2017. Citado na página 25.

UOL. **Sobreviventes do incêndio no Joelma escaparam com ajuda de "anjos"**. 2014. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2014/02/01/sobrevivente-comemora-40-anos-de-vida-apos-incendio-no-edificio-joelma.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2020. Citado na página 14.

## Anexos

## ANEXO A – Cargas de incêndio específicas

Tabela A.1 – Cargas de incêndio específicas por ocupação.

Ocupação/Us	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviço de Hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300
Comercial varejista, Loja	Açougue	C-1	40
	Antigüidades	C-2	700
	Aparelhos domésticos	C-1	300
	Armarinhos	C-1	300
	Armas	C-1	300
	Artigos de bijouteria, metal ou vidro	C-1	300
	Artigos de cera	C-2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-2	800
	Automóveis	C-1	200
	Bebidas destiladas	C-2	700
	Brinquedos	C-2	500
	Calçados	C-2	500
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Ferragens	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (Shoppings)	C-2/ C-3	800

*Continua na próxima página*

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Comercial varejista, Loja	Máquinas de costura ou de escritório	C-1	300
	Materiais fotográficos	C-1	300
	Móveis	C-2	400
	Papelarias	C-2	700
	Perfumarias	C-2	400
	Produtos têxteis	C-2	600
	Relojoarias	C-2	600
	Supermercados	C-2	400
	Tapetes	C-2	800
	Tintas e vernizes	C-2	1000
	Verduras frescas	C-1	200
	Vinhos	C-1	200
	Vulcanização	C-2	1000
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2	300
	Agências de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	100
	Cabeleireiros	D-1	200
	Copiadora	D-1	400
	Encadernadoras	D-1	1000
	Escritórios	D-1	700
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
	Laboratórios químicos	D-4	500
	Laboratórios (outros)	D-4	300
	Lavanderias	D-3	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
Processamentos de dados	D-1	400	
Academias de ginástica e similares	E-3	300	

*Continua na próxima página*

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Educativa e cultura física	Pré-escolas e similares	E-5	300
	Creches e similares	E-5	300
	Escolas em geral	E-1/E-2/E-4/E-5	300
Locais de reunião de público	Bibliotecas	F-1	2000
	Cinemas, teatros e similares	F-5	600
	Circos e assemelhados	F-7	500
	Centros esportivos e de exibição	F-3	150
	Clubes sociais, boates e similares.	F-6	600
	Estações e terminais de passageiros	F-4	200
	Exposições	F-10	*
	Igrejas e templos	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos e assemelhados	Estacionamentos	G-1/G-2	150
	Oficinas de conserto de veículos e manutenção	G-4	600
	Postos de abastecimentos (tanque enterrado)	G-3	200
	Hangares	G-5	*
Serviços de saúde e Institucionais	Asilos	H-2	350
	Clínicas e consultórios médicos ou odontológicos.	H-6	200
	Hospitais em geral	H-1/H-3	300
	Presídios e similares	H-5	100
	Quartéis e similares	H-4	450
Industrial	Fotográficos, ópticos	I-2	400
	Acessórios para automóveis	I-1	300
	Acetileno	I-2	700

Continua na próxima página

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Alimentação	I-2	800
	Artigos de borracha, cortiça, couro, feltro, espuma	I-2	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas	I-1	200
	Artigos de bijuteria	I-1	200
	Artigos de cera	I-2	1000
	Artigos de gesso	I-1	80
	Artigos de mármore	I-1	40
	Artigos de peles	I-2	500
	Artigos de plásticos em geral	I-2	500
	Artigos de tabaco	I-1	200
	Artigos de vidro	I-1	80
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I-1	300
	Automotiva e autopeças (pintura)	I-2	500
	Aviões	I-2	600
	Balanças	I-1	300
	Baterias	I-2	800
	Bebidas destiladas	I-2	500
	Bebidas não alcoólicas	I-1	80
	Bicicletas	I-1	200
	Brinquedos	I-2	500
	Café (inclusive torrefação)	I-2	400
	Caixotes barris ou pallets de madeira	I-2	1000
	Calçados	I-2	600
	Carpintarias e marcenarias	I-2	800
	Cera de polimento	I-3	2000
	Cerâmica	I-1	200

*Continua na próxima página*



Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Cereais	I-3	1700
	Cervejarias	I-1	80
	Chapas de aglomerado ou compensado	I-1	300
	Chocolate	I-2	400
	Cimento	I-1	40
	Cobertores, tapetes	I-2	600
	Colas	I-2	800
	Colchões (exceto espuma)	I-2	500
	Condimentos, conservas	I-1	40
	Confeitarias	I-2	400
	Congelados	I-2	800
	Couro sintético	I-2	1000
	Defumados	I-1	200
	Discos de música	I-2	600
	Doces	I-2	800
	Espumas	I-3	3000
	Farinhas	I-3	2000
	Feltros	I-2	600
	Fermentos	I-2	800
	Fiações	I-2	600
	Fibras sintéticas	I-1	300
	Fios elétricos	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Fornos de secagem com grade de madeira	I-2	1000
	Forragem	I-3	2000
	Fundições de metal	I-1	40
	Galpões de secagem com grade de madeira	I-2	400
	Geladeiras	I-2	1000
	Gelatinas	I-2	800
	Gesso	I-1	80

*Continua na próxima página*

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Gorduras comestíveis	I-2	1000
	Gráficas (empacotamento)	I-3	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Instrumentos musicais	I-2	600
	Janelas e portas de madeira	I-2	800
	Joias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300
	Laboratórios químicos	I-2	500
	Lápis	I-2	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Laticínios	I-1	200
	Malharias	I-1	300
	Máquinas de lavar de costura ou de escritório	I-1	300
	Massas alimentícias	I-2	1000
	Mastiques	I-2	1000
	Materiais sintéticos ou plásticos	I-3	2000
	Metalúrgica	I-1	200
	Montagens de automóveis	I-1	300
	Motocicletas	I-1	300
	Motores elétricos	I-1	300
	Móveis	I-2	600
	Óleos comestíveis	I-2	1000
	Padarias	I-2	1000
	Papéis (acabamento)	I-2	500
	Papéis (preparo de celulose)	I-1	80
	Papéis (procedimento)	I-2	800
	Papelões betuminados	I-3	2000

*Continua na próxima página*

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Papelões ondulados	I-2	800
	Pedras	I-1	40
	Perfumes	I-1	300
	Pneus	I-2	700
	Produtos adesivos	I-2	1000
	Produtos de adubo químico	I-1	200
	Produtos alimentícios (expedição)	I-2	1000
	Produtos com ácido acético	I-1	200
	Produtos com ácido carbônico	I-1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I-1	80
	Produtos com albumina	I-3	2000
	Produtos com alcatrão	I-2	800
	Produtos com amido	I-3	2000
	Produtos com soda	I-1	40
	Produtos de limpeza	I-3	2000
	Produtos graxos	I-1	1000
	Produtos refratários	I-1	200
	Rações	I-3	2000
	Relógios	I-1	300
	Resinas	I-3	3000
	Roupas	I-2	500
	Sabões	I-1	300
	Sacos de papel	I-2	800
	Sacos de juta	I-2	500
	Sorvetes	I-1	80
	Sucos de fruta	I-1	200
	Tapetes	I-2	600
	Têxteis em geral	I-2	700
	Tintas e solventes	I-3	4000
	Tintas látex	I-2	800

*Continua na próxima página*

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Tintas não-inflâmaveis	I-1	200
	Transformadores	I-1	200
	Tratamento de madeira	I-3	3000
	Tratores	I-1	300
	Vagões	I-1	200
	Vassouras ou escovas	I-2	700
	Velas de cera	I-3	1300
	Vidros ou espelhos	I-1	200
	Vinagres	I-1	80

Fonte: IT Provisória CBMAL, 2013

Notas da Tabela A.1:

\* Para essas e demais atividades não enquadradas na tabela, verificar Anexo 2B da IT Provisória de Alagoas de 2013.