3 Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

3.1 Introdução

Para fins de análise estrutural, o incêndio é caracterizado pela relação entre a temperatura dos gases quentes do compartimento e o tempo, representada por meio de "curvas temperatura-tempo" ou, simplesmente, "curvas de incêndio" (Cap. 2). A partir dessas curvas é possível calcular a máxima temperatura atingida pelas peças estruturais e a correspondente capacidade resistente.

A curva temperatura-tempo de um incêndio real não é determinada facilmente, uma vez que diversos fatores determinam o cenário do incêndio. Por questões de simplicidade, a curva real é normalmente substituída por curvas nominais, para facilitar os ensaios em série de elementos construtivos para avaliar a sua resistência ao fogo, devido à inviabilidade operacional em executar testes em série utilizando-se inúmeros cenários de incêndio possíveis (COSTA & SILVA, 2003).

As curvas naturais são modelos simplificados do incêndio real que podem ser usadas para prognosticar a temperatura elevada dos elementos estruturais. As curvas naturais paramétricas, por ex., permitem prognosticar a temperatura supostamente real dos gases quentes do compartimento em função da quantidade de material combustível (carga de incêndio), do grau de ventilação e das características térmicas e físicas dos materiais da compartimentação.

3.2 Temperatura dos elementos estruturais

A ação térmica em situação de incêndio no concreto armado é traduzida pela redução das propriedades mecânicas e por esforços adicionais devido ao impedimento das deformações de natureza térmica, em estruturas isostáticas e hiperestáticas.

Na análise estrutural, a redução da resistência e do módulo de elasticidade dos materiais em função da temperatura elevada é obtida por meio de fatores de redução, os quais correlacionam o decréscimo das propriedades mecânicas para cada nível térmico; portanto, é fundamental conhecer a temperatura do elemento estrutural a fim de estimar os valores das

propriedades dos materiais para essa temperatura.

3.2.1 Elementos de seções finas

A temperatura num elemento estrutural pode ser determinada por meio das formulações da Transferência de Calor, com base na curva temperatura-tempo dos gases quentes.

As equações de Transferência de Calor fornecidas pela NBR 14323:1999 são válidas apenas para elementos estruturais metálicos com distribuição uniforme de temperatura.

Admitir a distribuição uniforme de temperatura em elementos isolados de estruturas metálicas é uma prática que apresenta boa coerência com a realidade. Os perfis de aço são extremamente finos e se aquecem rapidamente, levando a temperatura nas peças de pequena espessura a se uniformizar ao longo da seção (Figura 3.1).

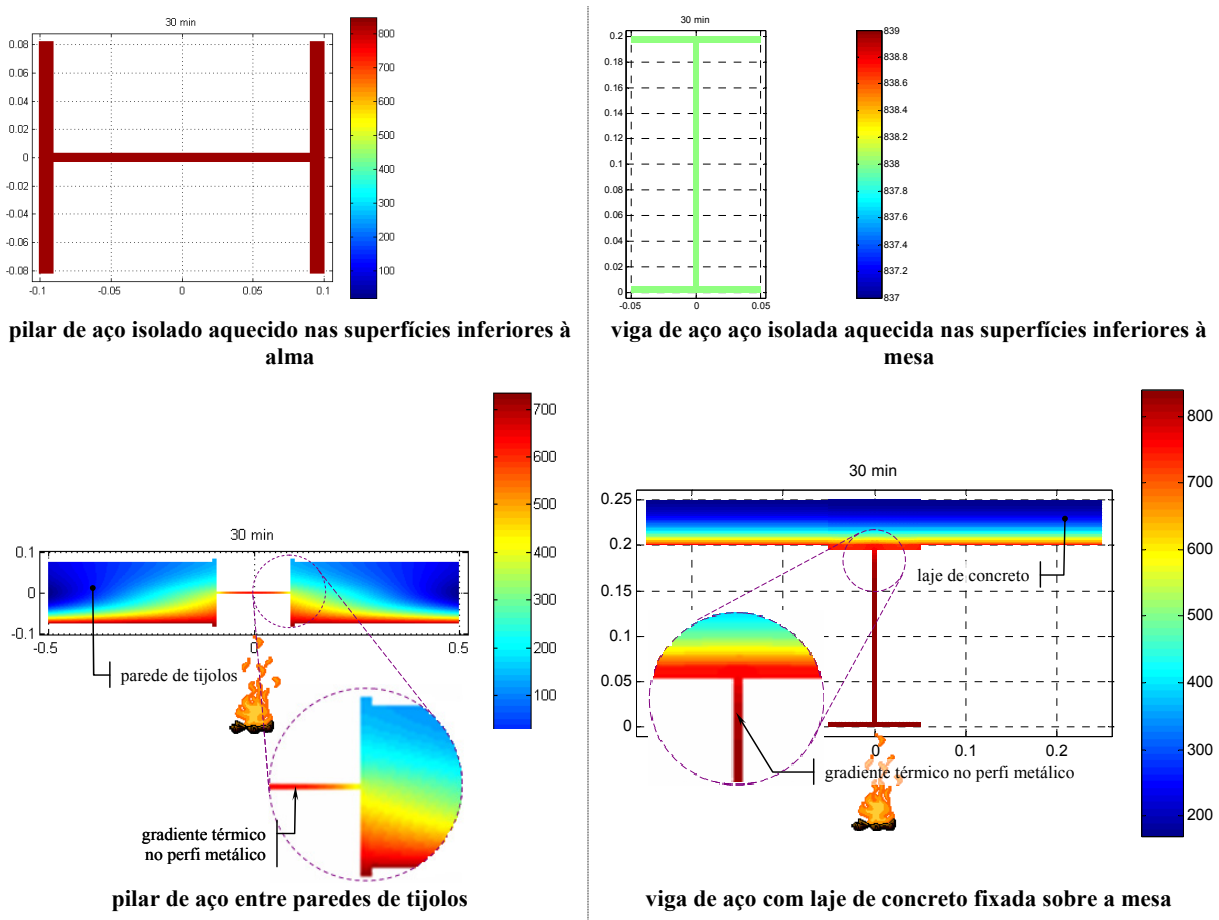


Figura 3.1: Comparação entre os campos de temperaturas do perfil metálico isolado e coligado à alvenaria ou laje de concreto após 30 min de aquecimento ISO 834:1975.

Adotar a mesma simplificação para elementos de aço em contato com concreto ou alvenaria (Figura 3.1) é dimensionar a favor da segurança; geralmente, essa estratégia é utilizada na falta de uma análise térmica mais precisa.

A máxima temperatura no elemento pode ser obtida com a utilização de curvas naturais (Figura 3.2). Os modelos de incêndio mais realistas permitem determinar a **temperatura máxima** do elemento e, o seu dimensionamento para a sua temperatura máxima assegura uma resistência ao fogo adequada, durante a vida útil da estrutura.

A temperatura que causa o colapso de um elemento estrutural em situação de incêndio é denominada **temperatura crítica**, i.e., a temperatura máxima da estrutura, a partir da qual sua ruína é iminente.

A temperatura crítica depende do tipo de material e do sistema estrutural, i.e., do carregamento aplicado, das vinculações, da geometria, etc. (FAKURY *et al.*, 2000). Para garantir a segurança estrutural em situação de incêndio, deve-se evitar que a temperatura de colapso (temperatura crítica) seja atingida.

Na prática emprega-se a curva-padrão para facilitar os cálculos, embora haja uma dificuldade operacional: a curva temperatura-tempo do elemento estrutural não apresenta a temperatura máxima (Figura 3.3). Tal inconsistência pode ser solucionada de forma fictícia, ao arbitrar-se um "tempo" em que ocorre a temperatura máxima. Esse "tempo" é conhecido por TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) dos elementos e é encontrado em normas ou códigos.

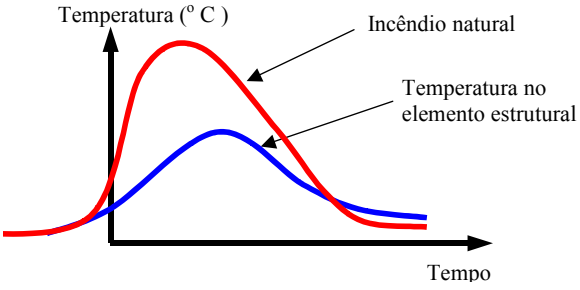


Figura 3.2: Temperatura no elemento estrutural com base no incêndio natural (COSTA & SILVA, 2003).

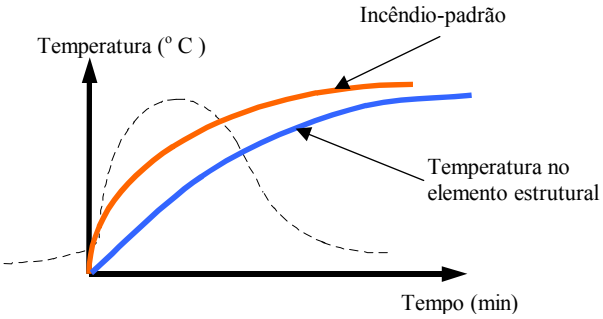


Figura 3.3: Temperatura no elemento estrutural com base na curva-padrão (COSTA & SILVA, 2003).

A NBR 14432:2001 define o TRRF como sendo "*o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão*". Assim, o TRRF é estabelecido em função do desempenho estrutural avaliado em ensaios experimentais de elementos

isolados.

Trata-se de um valor, função do risco de incêndio e de suas conseqüências catastróficas provenientes de uma falha estrutural. O TRRF não representa, portanto, o tempo de desocupação, ou o tempo de duração do incêndio ou o tempo-resposta das ações do Corpo de Bombeiros ou brigada de incêndio.

Os valores dos TRRF também não devem ser confundidos com valores definidos pelo poder público, tais como: horário a partir do qual deve haver silêncio em lugares públicos, velocidade máxima em vias públicas, etc.

No caso das estruturas calculadas à temperatura ambiente, os coeficientes de ponderação definidos em normas de engenharia (ABNT NBR aqui no Brasil) levam em conta a probabilidade aceitável de colapso de uma edificação bem dimensionada, durante sua vida útil, à temperatura ambiente.

Para as estruturas calculadas em situação de incêndio, os valores dos TRRF encerram uma probabilidade aceitável de colapso de uma edificação bem dimensionada, para a situação de incêndio durante sua vida útil.

3.2.2 Elementos de seções robustas

Diferente dos elementos metálicos, os elementos de concreto, geralmente, são mais espessos; além disso, a condutividade térmica do concreto é bem menor do que a do aço. Conseqüentemente, a temperatura não se uniformiza na seção, havendo uma diferença considerável entre as temperaturas do contorno aquecido e do interior do elemento.

O campo de temperaturas formado pelo gradiente térmico pode, então, ser caracterizado por isotermas – curvas delineadas por pontos de mesma temperatura na seção – bem espaçadas (Figura 3.4). Portanto, considerar a distribuição uniforme de temperatura na seção transversal dos elementos de concreto seria exageradamente favorável à segurança.

O artifício de usar um tempo teórico (vide item 3.2.1) é prontamente entendido para elementos de espessura muito fina, para os quais admite-se a distribuição uniforme de temperatura. Entretanto, o meio técnico habituou-se a usar o modelo do incêndio-padrão e a medir a “resistência ao fogo” em unidade de um “tempo” (TRRF); essa prática foi mantida para estruturas de concreto, ou seja, os elementos estruturais devem atender à um TRRF padronizado.

O TRRF é padronizado em função do risco de incêndio e de suas conseqüências, em 30, 60, 90 e 120 min.

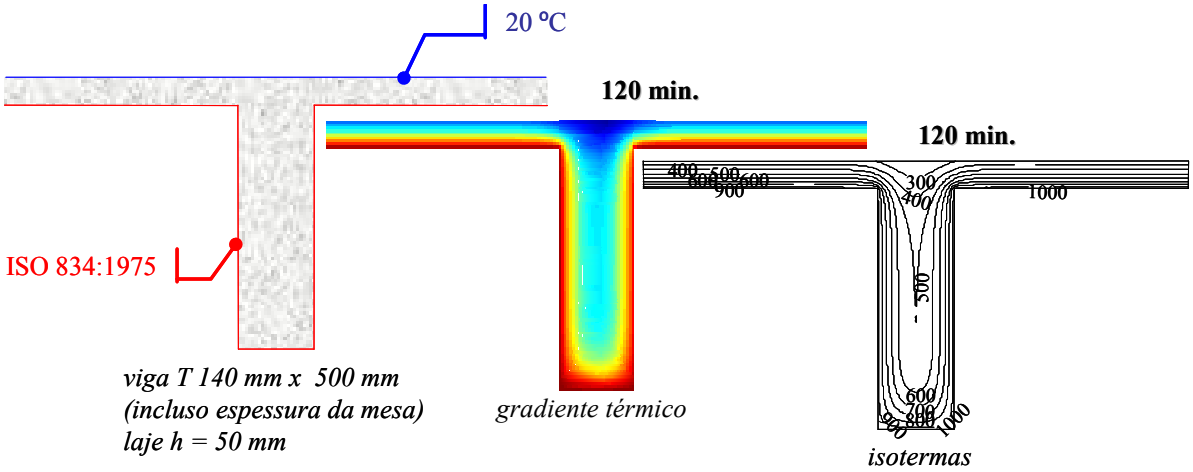


Figura 3.4: Campo de temperaturas e isotermas da seção de uma viga T, para t = 120 min de incêndio-padrão.

No dimensionamento das estruturas, a intensidade da ação gravitacional é medida pela força peso; da sísmica e de explosões, pela energia do impacto; e, da eólica, pela velocidade do vento. A intensidade da ação térmica do incêndio pode ser medida pelo tempo de exposição ao calor da curva ISO 834:1975 (Cap. 2, eq. 2.1).

Os métodos tabulares e os métodos simplificados apresentados em diversos códigos internacionais (BS 8110-2:1985; ACI-216R, 1989; NZS 3101:1995; AS 3600–2001; EN 1992-1-2:2004; NBR 15200:2004) foram elaborados com base no conceito do tempo requerido de resistência ao fogo, assumindo-se o aquecimento padronizado pela ISO 834:1975.

3.3 Tempo de resistência ao fogo (TRF)

O TRF (tempo de resistência ao fogo) é o tempo máximo que o elemento construtivo pode manter a sua função segundo os critérios de resistência ao fogo (Cap. 6, Figura 6.1 e Figura 6.2) – estabilidade estrutural ou a compartimentação – considerados conforme o caso.

Para o critério de resistência ao fogo segundo a estabilidade estrutural, o TRF é determinado quando o valor de cálculo dos esforços atuantes calculados com base na combinação de ações excepcionais para a situação de incêndio é igual ao valor de cálculo dos esforços resistentes calculados usando-se para os materiais os coeficientes de ponderação próprios da situação

excepcional e os fatores de redução de resistência em função da temperatura elevada θ (Cap. 4, Figura 4.7, eqs. 4.3, 4.21 e 4.22).

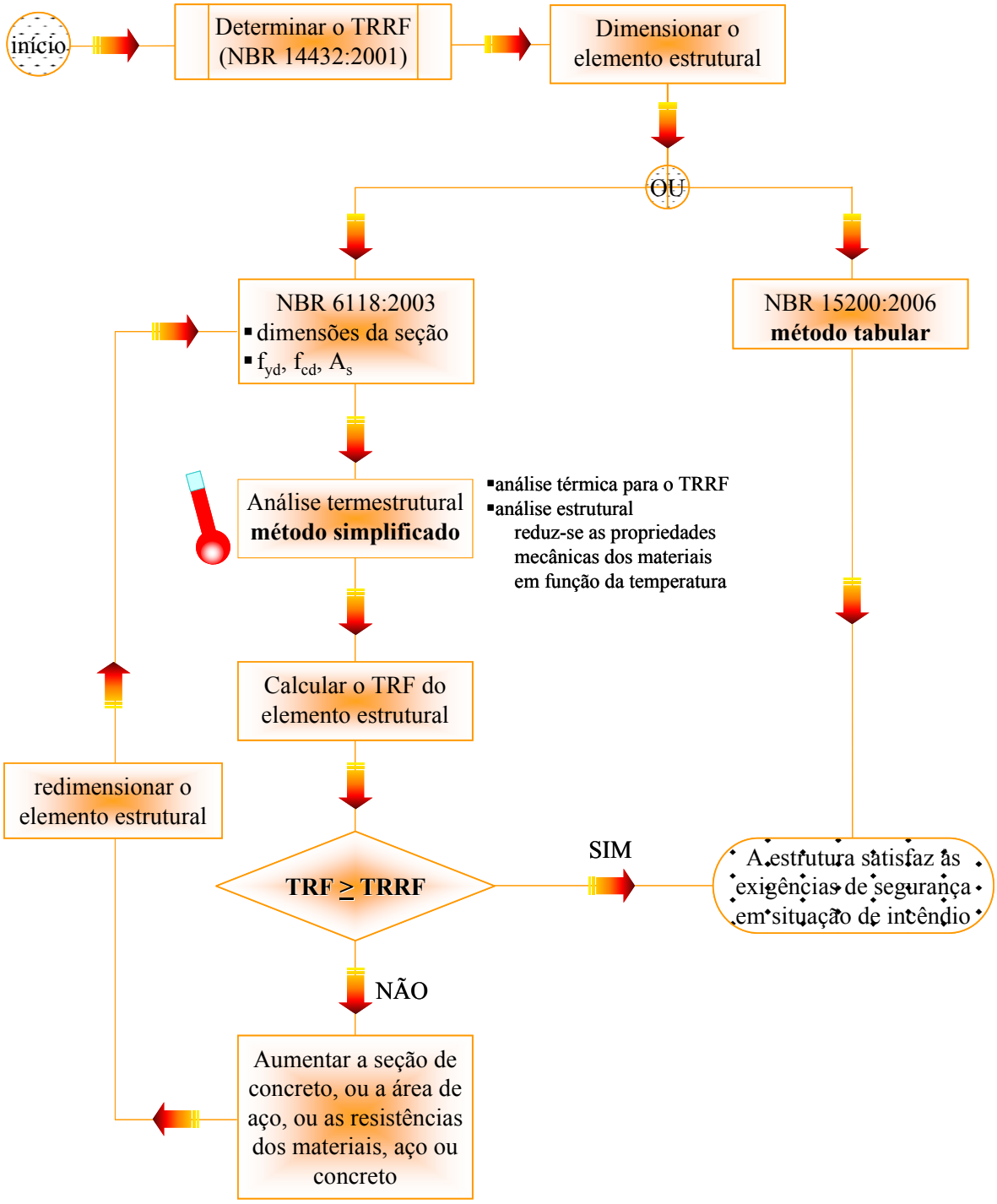


Figura 3.5: Processo de dimensionamento de um elemento estrutural em situação de incêndio.

A Figura 3.5 ilustra o processo de dimensionamento de estruturas, com base no conceito do tempo requerido de resistência ao fogo. A segurança contra incêndio é satisfatória quando

TRF ≥ TRRF.

3.4 Métodos para determinar o TRRF

3.4.1 Método tabular

O método tabular da NBR 14432:2001 para determinar o TRRF dos elementos construtivos é composto por duas tabelas: a Tabela 3.1, a qual estabelece o TRRF em função do tipo de ocupação da edificação, e a Tabela 3.2, a qual organiza as edificações em classes, em função da ocupação.

O método tabular da NBR 14432:2001 é prático, de aplicação imediata, com base em normas estrangeiras adaptadas à realidade brasileira pelos membros da Comissão de Estudos da ABNT (SILVA *et al.*, 2006).

Tabela 3.1: Tempo requerido de resistência ao fogo – TRRF (min) das edificações (NBR 14432:2001).

Grupo	Ocupação	Divisão	Profundidade do subsolo "h_s"		Altura da edificação "h"				
			h_s>10m	**$h_s \leq$ 10m**	**h ≤ 6m**	**6m < h ≤ 12m**	**12m < h ≤ 23m**	**23m < h ≤ 30m**	**h > 30m**
A	residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120
B	serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120
C	comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120
D	serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120
E	educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120
F	locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-9	90	60	60	60	60	90	120
		F-3, F-4 e F-7	90	60	**vide item A2.4** (Tabela 3.2)			30	60
G	serviços automotivos	G-1 e G-2 não-abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60
H	serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120
		H-2, H-3 e H5	90	60	30	60	60	90	120
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	**vide item A3.3** (Tabela 3.2)				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

Tabela 3.2: Classificação das edificações em função da ocupação (NBR 14432:2001).

Grupo	Ocupação	Subdivisão	Descrição	Exemplos
A	residencial	A-1	habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais.
		A-2	habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral.
		A-3	habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos.
B	serviço de hospedagem	B-1	hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos. E assemelhados.
		B-2	hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	comercial	C-1	comércio com baixa carga de incêndio	Armarinhos, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros.
		C-2	comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	*shoppings centers*	Centro de compras em geral (*shopping centers*).
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), repartições públicas, cabeleireiros, 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 primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados.
		E-2	escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados.
		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 assemelhados.
		E-4	centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	pré-escola	Creches, escolas maternais, jardins-de-infância.
		E-6	escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados.
F	local de reunião de público	F-1	local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centro de documentos históricos, bibliotecas e assemelhados.

Grupo	Ocupação	Subdivisão	Descrição	Exemplos
		F-2	local religioso e velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados.
		F-3	centro esportivo e de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, academias, pista de patinação e assemelhados.
		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, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão, auditórios em geral e assemelhados.
		F-6	clubes social e diversão	Boates, clubes em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais, bingo, bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados.
		F-7	construção provisória	Circos e assemelhados.
		F-8	local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	exposição de objetos e animais	Salões e salas de exposição de objetos e animais, *showroom*, galerias de arte, aquários, planetários, e assemelhados. 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).
		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 (sem recauchutagem). Oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores.
		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, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação.

Grupo	Ocupação	Subdivisão	Descrição	Exemplos
		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	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas. Todos com celas.
		H-6	clínica e consultório médico e odontológico	Clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodiálise, ambulatórios e assemelhados. Todos sem internação.
I	indústria	I-1	locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. locais onde a carga de incêndio é menor que 300 MJ/m²	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).
		I-2	locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. locais com carga de incêndio entre 300 e 1.200 MJ/m²	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 superior a 1.200 MJ/m²	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/m².
		J-3	todo tipo de depósito	Depósitos com carga de incêndio entre 300 a 1.200 MJ/m².
		J-4	todo tipo de depósito	Depósitos onde a carga de incêndio ultrapassa a 1.200 MJ/m².

3.4.2 Método do tempo equivalente

Diversos pesquisadores estudaram métodos para associar a curva-padrão, recomendada em diversas normas internacionais (ASTM E119-00a, ISO 834:1975, SBN 67:1976, etc.), a curvas mais realistas. O método mais citado na literatura técnica internacional é o método do tempo equivalente.

O método do tempo equivalente consiste em calcular a temperatura do elemento estrutural a partir da curva-padrão para um tempo fictício, denominado tempo equivalente (Figura 3.6); essa temperatura corresponde à máxima temperatura do elemento, com base na curva natural (SILVA, 2004).

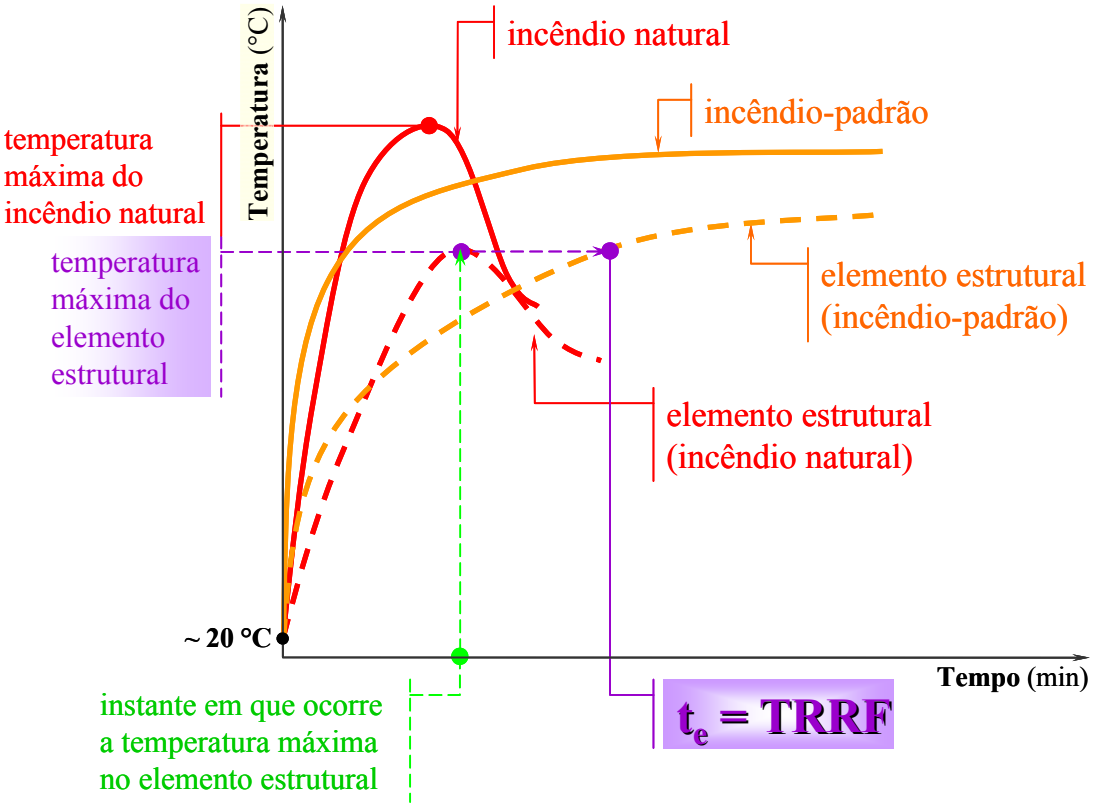


Figura 3.6: Conceito de tempo equivalente.

A idéia de correlacionar o incêndio padronizado a incêndios reais reporta-se ao século XX, desde a primeira proposta de Ingberg, na década de 20, seguida pelas contribuições de Law e Pettersson, na década de 70, a normalização do método pela DIN 18230-1:1998-05, nos anos 90, até a versão mais recente do Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002).

3.4.2.1 Equivalência de Ingberg

Em 1928, Ingberg conduziu as primeiras pesquisas no mundo, realizadas no *United States National Bureau of Standards*, para correlacionar a severidade do incêndio padronizado para ensaios àquelas das condições de incêndio reais (MALHOTRA, 1982).

Ingberg (1928) *apud* Harmathy (1987) realizou uma série de testes, comparando as áreas sob curvas de incêndios reais à área sob a curva-padrão. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.3 e Figura 3.7. A eq. (3.1) é uma aproximação adequada, para tempos inferiores a 180 min.

$$t_e = 1{,}23 \cdot q \tag{3.1}$$

onde: t_e = tempo equivalente [min];

q = valor da carga de incêndio expressa em quilograma de madeira equivalente por unidade de área (kg de madeira/m²).

Tabela 3.3: Relação entre a carga de incêndio (**q**) e o tempo equivalente (**t_e**) (GEWAIN *et al.*, 2003).

q (kg de madeira/m²)	**t_e** (min)
24,4	30
36,6	45
48,8	60
73,2	90
97,6	120
146,5	180
195,3	270
244,1	360
292,9	450

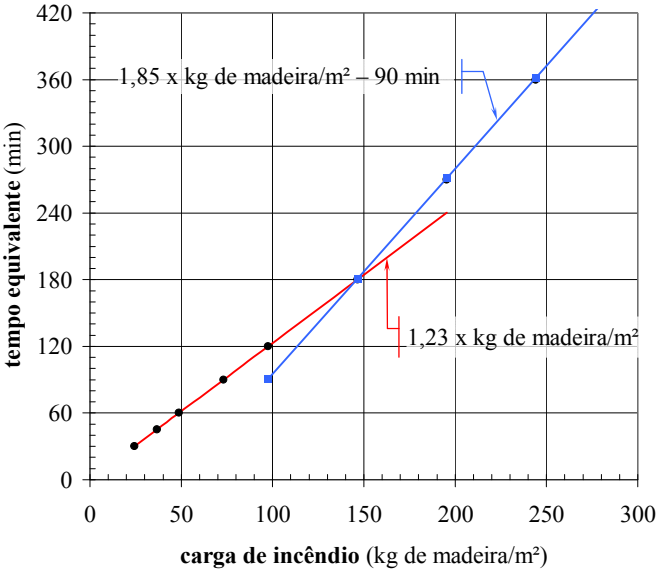


Figura 3.7: Relação carga de incêndio do tempo equivalente obtida por Ingberg (1928) *apud* Harmathy (1987).

Utilizando-se unidades do SI e assumindo-se o potencial calorífico da madeira igual a 17,5 MJ/kg (EN 1991-1-2:2002), a eq. (3.1) pode ser substituída pela eq. (3.2).

$$t_e \cong 0{,}07 \cdot q_{fi} \tag{3.2}$$

onde: q_{fi} = valor da carga de incêndio por área de piso [MJ/m²].

Para Ingberg, a severidade do incêndio poderia ser determinada por meio da equivalência entre a área sob a curva-padrão e as áreas sob as curvas de incêndios reais, acima de 150 ou 300 °C (Figura 3.8) (MALHOTRA, 1982; PURKISS, 1996; LU & MÄKELÄINEN, 2003).

A idéia de Ingberg teve pequeno significado teórico, porque o produto entre a temperatura e o tempo não fornece a quantidade de calor liberado; por outro lado, ela teve um grande valor histórico e marcou o ponto de partida para pesquisas subseqüentes com base no conceito de equivalência, desenvolvidas ao longo do século XX (PURKISS, 1996; LAW, 1997; LU & MÄKELÄINEN, 2003).

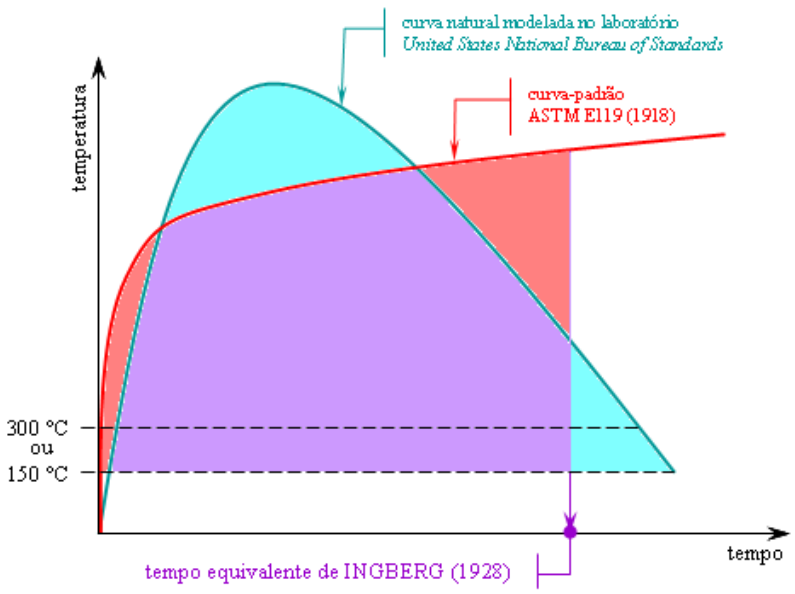


Figura 3.8: Conceito de tempo equivalente com base na idéia da igualdade de áreas de Ingberg (1928).

3.4.2.2 Equivalência de Kawagoe & Sekine

Em 1964, os pesquisadores japoneses Kawagoe & Sekine identificaram a importância da ventilação no equilíbrio térmico para determinar a temperatura dos gases quentes do compartimento (Law, 1997). Embora tenham introduzido o parâmetro de ventilação $\left(\frac{A_t}{A_v} \cdot \sqrt{h}\right)$, eles seguiram a mesma idéia de Ingberg, comparando as áreas sob as curvas padrão e curvas "naturais" simuladas em ensaios, e mantiveram a ênfase na carga de incêndio

para o cálculo do tempo-equivalente (eq. 3.3)[28].

$$t_e = 0{,}06 \cdot q_{fi} \cdot \left(\frac{A_t}{A_v} \cdot \sqrt{h} \right)^{0{,}23}$$
$$5\,m^{1/2} \le \frac{A_t}{A_v} \cdot \sqrt{h} \le 30\,m^{1/2} \tag{3.3}$$

onde: h = altura das aberturas (janelas ou portas) [m];

A_v = área das aberturas [m²];

A_t = área total do compartimento, incluindo a área das aberturas [m²].

3.4.2.3 Equivalência de Magnusson & Thelandersson

Em 1970, os pesquisadores suecos Magnusson & Thelandersson incluíram o fator de abertura para o cálculo do tempo equivalente (Law, 1997). A eq. (3.4) foi desenvolvida para incêndio compartimentado, onde os materiais dos elementos de compartimentação eram de "tijolo-padrão" ou de concreto.

$$t_e = 1{,}21 \cdot q_{fi} \cdot \frac{A_f}{\sqrt{\left(\frac{A_v}{A_t} \cdot \sqrt{h} \right)}} \tag{3.4}$$

3.4.2.4 Equivalência de Law

Em 1971, a pesquisadora britânica Margaret Law avaliou a relação entre a curva-padrão e curvas experimentais, considerando o efeito da ventilação. Com base na relação ilustrada pela Figura 3.6, ela propôs a eq. (3.5) para determinar o tempo equivalente (HARMATHY, 1987; LAW, 1997).

$$t_e = 0{,}075 \cdot \frac{A_f \cdot q_{fi}}{\sqrt{A_v \cdot (A_t - A_f - A_v)}} \tag{3.5}$$

---

[28] Na formulação original, a carga de incêndio era expressa em quilograma de madeira equivalente por unidade de área (kg de madeira/m²); aqui a carga de incêndio foi convertida para as unidades do SI, empregando-se o potencial calorífico da madeira igual a 17,5 MJ/kg (EN 1991-1-2:2002).

onde: A_f = área de piso [m²].

3.4.2.5 Equivalência de Pettersson

Em 1973, o pesquisador sueco Pettersson propôs a inclusão das características térmicas dos elementos de vedação, na determinação do tempo equivalente (HARMATHY, 1987).

Pettersson usou curvas de incêndio naturais deduzidas teoricamente com aferição experimental, para propor a eq. (3.6) (PETTERSSON *et al.*, 1976).

$$t_e = 1{,}06 \cdot \kappa \cdot q_{fi} \frac{A_f}{\sqrt{A_t \cdot A_v \cdot \sqrt{h_v}}} \tag{3.6}$$

onde: h_v = altura média das aberturas [m].

κ = fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação (Tabela 3.6).

3.4.2.6 Equivalência de Harmathy & Mehaffey

Harmathy & Mehaffey (1982) introduziram o conceito de carga de incêndio normalizada (eq. 3.7), definida pelo calor por unidade de área superficial absorvido pelo elemento estrutural durante o incêndio.

$$q_{fi,n} = \frac{1}{b} \cdot \int_0^{t_f} \dot{h} \cdot dt \tag{3.7}$$

onde: $q_{fi,n}$ = valor da carga de incêndio normalizada [$s^{1/2}$.°C];

$\dot{h}$ = fluxo de calor na superfície dos elementos por unidade de área [W/m²];

b = inércia térmica do material dos elementos de vedação do compartimento (eq. 3.8) [J/(m².$s^{1/2}$.°C)];

t_f = tempo final do incêndio, i.e., duração do incêndio [s];

t = variável tempo [s].

A capacidade de absorção térmica da superfície do elemento é medida pela inércia térmica do

material (eq. 3.8). Para a maioria dos materiais construtivos, a capacidade de absorção do material depende da temperatura elevada (Figura 3.9), pois as propriedades térmicas são afetadas pela temperatura a partir dos 40 °C, devido às mudanças físico-químicas provocadas pelo calor (GEWAIN *et al.*, 2003).

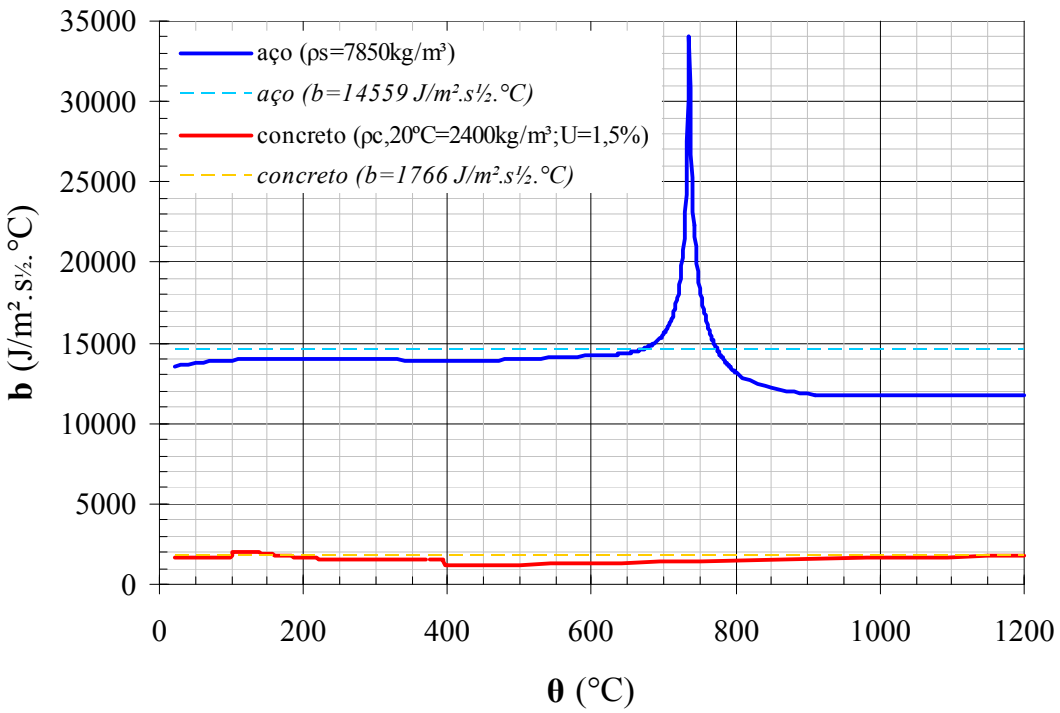
$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda} \tag{3.8}$$

onde: b = inércia térmica do material [J/m².s^{½}.°C];

ρ = massa específica do elemento de vedação do compartimento [kg/m³];

c = calor específico do elemento de vedação do compartimento [MJ/kg.°C];

λ = condutividade térmica do elemento de vedação [W/m.°C].



Obs.: Usados os valores de **ρ**, **c** e **λ** do EN 1992-1-2:2004 e do EN 1994-1-2:2005 para o cálculo de **b**.

Figura 3.9: Inércia térmica do concreto endurecido e do aço em função da temperatura elevada.

Os materiais com elevada inércia térmica são desejáveis, desde que não se ignizem ou se aqueçam rapidamente (GEWAIN *et al.*, 2003); por essa razão, o conceito de carga de incêndio normalizada não pode ser aplicado a elementos de compartimentação que acumulam a função estrutural e são constituídos de certos materiais, por ex., elementos de aço sem proteção térmica (HARMATHY, 1980; HARMATHY & MEHAFFEY, 1984).

O conceito intuitivo do termo "inércia térmica" pode levar, equivocadamente, a associá-la à qualidade de retardante térmico do material. Comparando-se a inércia térmica do concreto endurecido e do aço (Figura 3.9), nota-se que tal grandeza não é um parâmetro confiável sem o conhecimento das grandezas envolvidas, principalmente a condutividade térmica para avaliar a propriedade de isolamento térmico.

O tempo equivalente de Harmathy & Mehaffey (1982) não tem sido correntemente aplicado fora da América do Norte (LAMONT, 2001). Ele é recomendado pelo ACI 216R (1989) para o projeto de elementos de concreto.

A solução da eq. (3.7) não é tão simples, pois requer o conhecimento do período de duração do incêndio, da densidade dos gases quentes, dos coeficientes de variação da carga de incêndio e dos coeficientes estatísticos de variação das variáveis envolvidas no cálculo da normalização da carga de incêndio (HARMATHY, 1993; PURKISS, 1996).

Law (1997) e Lamont (2001) apresentam uma simplificação da formulação geral (eq. 3.9) de Harmathy & Mehaffey (1982) para o cálculo do tempo equivalente em incêndios compartimentados de edifícios.

$$\begin{aligned} t_e &= 6{,}6 + 9{,}6 \cdot 10^4 \cdot q_{fi,n} + 7{,}8 \cdot 10^9 \cdot q_{fi,n}{}^2 \\ 0 &< q_{fi,n} < 9{,}6 \cdot 10^4 [s^{½} \cdot °C] \end{aligned} \tag{3.9}$$

onde: $q_{fi,n}$ = valor da carga de incêndio normalizada (eq. 3.10) [$s^{½}$.°C].

$$\begin{aligned} q_{fi,n} &= \frac{10^6 \cdot (11 \cdot \delta + 1{,}6) \cdot q_{fi} \cdot A_f}{b \cdot A_t + 1810 \cdot \sqrt{A_f \cdot A_v \cdot q_{fi} \sqrt{h_v}}} \\ \delta &= 0{,}41 \cdot \sqrt{\frac{H^3}{A_v \cdot \sqrt{h_v}}} \leq 1 \end{aligned} \tag{3.10}$$

onde: δ = parâmetro que define a quantidade de energia do material combustível, liberada através das aberturas [adimensional];

H = altura do compartimento [m].

Para elementos de compartimentação constituídos de concreto, a eq. (3.9) pode ser substituída pela eq. (3.11); nesta simplificação, Law (1997) considerou a inércia térmica do concreto b = 2190 J/m².$s^{½}$.°C.

$$t_e \cong 1{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot q_{fi,n}$$
$$0 < q_{fi,n} < 9{,}6 \cdot 10^4 [s^{½} \cdot °C] \tag{3.11}$$

3.4.2.7 Equivalência do CIB W14

Em 1985, o CIB (*Conseil International du Batiment*) propôs ligeiras modificações à eq. (3.6) de Pettersson, limitando o fator relacionado à geometria do compartimento (eq. 3.12) no cálculo do tempo equivalente (PURKISS, 1996).

A eq. (3.12) é empírica e presta-se apenas a compartimentos pequenos[29] (WELSH, 2001), com aberturas verticais, não sendo válida para compartimentos com aberturas horizontais[30] (NYMAN, 2002).

$$t_e = \kappa \cdot \varpi \cdot q_{fi} \tag{3.12}$$

onde: ϖ = fator relacionado à geometria do compartimento (eq. 3.13) [m^{-4}].

$$\varpi = \begin{cases} \dfrac{A_f}{\sqrt{A_v \cdot A_t \cdot \sqrt{H}}}, & \text{se} \quad \dfrac{A_v}{A_f} \leq 0{,}1 \\ 1{,}2 & \text{se} \quad \dfrac{A_v}{A_f} > 0{,}1 \end{cases} \tag{3.13}$$

3.4.2.8 Equivalência da Norma DIN 18230-1

Desde 1987, as propostas de revisão e conseqüentes versões da norma DIN 18230-1:1998-05 têm apresentado a eq. (3.14), com modificações pouco significativas (CAJOT *et al.*, 199-?); tais propostas são similares à eq. (3.12) do CIB W14, para determinar o tempo equivalente.

A eq. (3.14) é considerada a equação mais completa, por incluir a influência das aberturas horizontais, na ventilação e, ainda, o nível do risco e o desempenho da proteção ativa, por meio de coeficientes de ponderação "γ" que multiplicam a carga de incêndio "q_{fi}".

---

[29] $A_f \leq 150$ m².

[30] por ex., na laje de cobertura.

$$t_e = \kappa \cdot \omega \cdot (q_{fi} \cdot \gamma) \tag{3.14}$$

onde: ω = fator relacionado à ventilação horizontal ou vertical, determinado por meio de tabelas fornecidas pela DIN 18230-1:1998-05;

γ = coeficiente de ponderação relacionado ao risco de incêndio e à proteção ativa do compartimento.

3.4.2.9 Equivalência do Eurocode 1-1-2 (EN 1991-1-2:2002)

O método apresentado na Norma DIN 18230:1998-05 foi adotado como padrão para a UE e incorporado ao Eurocode 1-1-2 (EN 1991-1-2:2002), com adaptações que facilitam o seu uso (eq. 3.15).

É considerada a influência das características térmicas dos elementos de vedação, da ventilação horizontal e vertical, da altura do compartimento e ainda, os coeficientes de ponderação associados ao risco de incêndio e suas conseqüências e a medidas de proteção.

$$t_e = q_{fi,d} \cdot \kappa \cdot W \cdot M \tag{3.15}$$

onde: $q_{fi,d}$ = valor de cálculo da carga de incêndio por área de piso (eq. 3.16) [MJ/m²];

κ = fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação;

W = fator relacionado à ventilação do ambiente [adimensional];

M = fator de correção que depende do material estrutural.

Dessa forma, surgiu um novo conceito: o do valor de cálculo da carga de incêndio (eq. 3.16), determinado a partir do valor característico da carga de incêndio, multiplicado por coeficientes de ponderação, à semelhança do valor de cálculo das ações ou da resistência dos materiais em projetos de estruturas. Esses coeficientes levam em conta o risco e as conseqüências do incêndio (γ_s) e o desempenho da proteção ativa (γ_n).

$$q_{fi,d} = q_{fi,k} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_n \tag{3.16}$$

onde: $q_{fi,d}$ = valor de cálculo da carga de incêndio por área de piso [MJ/m²];

$q_{fi,k}$ (ou simplesmente q_{fi}) = valor característico da carga de incêndio por unidade de área de piso [MJ/m²];

γ_s = coeficiente de ponderação relacionado às conseqüências do incêndio [adimensional];

γ_n = coeficiente de ponderação relacionado a dispositivos de proteção, que permitem reduzir a severidade do incêndio [adimensional].

Os coeficientes γ_s e γ_n podem ser incluídos em qualquer etapa de determinação do tempo equivalente (t_e). O Eurocode 1-1-2 (EN 1991-1-2:2002) incorporou-os à carga de incêndio, para que o valor de cálculo "$q_{fi,d}$" pudesse ser usado em outros métodos, que levam em conta os materiais combustíveis.

Na versão de 1995, os coeficientes de ponderação não eram bem definidos pelo Eurocode 1-2-2 (ENV 1991-2-2:1995)[31]; apenas um coeficiente era fornecido, para minorar a severidade do incêndio, em função dos dispositivos de proteção ativa. A presença de chuveiros automáticos permitia reduzir 40% do tempo equivalente calculado.

Os valores dependentes da área do compartimento e de sua posição relativa à edificação eram arbitrados por normas específicas de cada país da UE.

Schleich & Cajot (1997), então coordenadores da comissão da revisão da *pre-standard* Eurocode 1-2-2 (ENV 1991-2-2:1995), propuseram coeficientes de ponderação para determinar o valor de cálculo da carga de incêndio ($q_{fi,d}$); esses coeficientes consideravam a área do compartimento, a altura do edifício e vários dispositivos de proteção.

Durante o período de revisão da *pre-standard* Eurocode 1-2-2 (ENV 1991-2-2:1995), Schleich concedeu, antecipadamente, os resultados de seus estudos – os novos coeficientes – ao Brasil[32] (SILVA, 1997); tais coeficientes foram incorporados, com pequenas adaptações, à Instrução Técnica n° 08 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, de 2001 (IT 08:04).

Posteriormente, o aumento do risco de incêndio devido à altura da edificação foi excluído na versão de 2002, da *standard* Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002), restando apenas a influência da área do compartimento, para determinar o coeficiente parcial de segurança γ_{s1} no cálculo do

---

[31] Antes dos anos 2000, os Eurocodes eram compêndios de recomendações tratados como pré-normas (*pre-standards*), designadas pelo prefixo "ENV". Após os anos 2000, os Eurocodes foram revisados e recodificados, recebendo o *status* de normas (*standards*) da União Européia e, o prefixo "ENV" foi substituído por "EN".

[32] A informação foi adiantada pelo próprio Schleich, em correspondência particular enviada a Silva (1997).

coeficiente de segurança γ_s:

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \tag{3.17}$$

onde: γ_{s1} = coeficiente relacionado à área de piso do compartimento e à altura da edificação (Tabela 3.4);

γ_{s2} = coeficiente relacionado ao risco de ativação do incêndio (Tabela 3.5).

Tabela 3.4: Valores de γ_{s1} (EN 1991-1-2:2002).

Área de piso do compartimento (m^2)	γ_{s1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Tabela 3.5: Valores de γ_{s2} (EN 1991-1-2:2002).

γ_{s2}	**Exemplos de ocupação**
0,78	Galerias de artes, museus, parques aquáticos.
1,00	Escritórios, residências, hotéis, indústrias de papéis.
1,22	Indústrias mecânicas e de automação.
1,44	Laboratórios químicos e ateliês.
1,66	Indústrias de tintas e de fogos de artifícios.

Com auxílio do *software* CEFICOSS®[33], a nova proposta do Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) foi analisada numericamente, e constatou-se que o tempo equivalente depende também do material da estrutura.

3.4.2.10 Proposta de Costa & Silva (2005c)

Costa & Silva (2005c) propuseram determinar o tempo equivalente pela mesma equação do Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002), aonde o valor característico da carga de incêndio específica ($q_{fi,k}$) é determinado pela NBR 14432:2001 (eq. 3.18).

$$t_e = q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot \kappa \cdot W \cdot M \tag{3.18}$$

onde: γ_n = coeficiente que leva em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação (eq. 3.19);

γ_s = coeficiente de segurança que depende do risco de incêndio e das conseqüências do colapso da edificação (eq. 3.20);

---

[33] CEFICOSS® (*Computer Engineering of the Fire design of Composite and Steel Structures*) é um *software* desenvolvido na Université de Liège, pelo Prof. Dr. Jean-Marc Franssen, especialmente para análise estrutural à temperatura elevada, típica de situação de incêndio (LEWIS, 2000).

κ = fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação (Tabela 3.6);

W = fator relacionado à ventilação do ambiente (eq. 3.24);

M = fator de correção que depende do material.

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3} \tag{3.19}$$

onde: γ_{n1}, γ_{n2} e γ_{n3} são coeficientes relacionados às medidas de segurança contra incêndio (Tabela 3.7).

Tabela 3.6: Fator κ em função da inércia térmica do material da compartimentação.

$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$ (J/m².s$^{1/2}$.°C)	**κ** (min.m²/MJ)
b > 2500	0,040
720 ≤ b ≤ 2500	0,055
b < 720	0,070

onde: ρ = massa específica do elemento de vedação do compartimento (kg/m^3);
c = calor específico do elemento de vedação do compartimento (MJ/kg.°C);
λ = condutividade térmica do elemento de vedação (W/m°.C).

Tabela 3.7: Fatores de ponderação das medidas de segurança contra incêndio.

valores de γ_{n1}, γ_{n2} e γ_{n3}			
existência de chuveiros automáticos γ_{n1}	**brigada contra incêndio γ_{n2}**		**existência de detecção automática γ_{n3}**
	não-profissional	**profissional**	
0,60	0,90	0,60	0,9

A Tabela 3.7 é uma simplificação adequada à realidade brasileira, em vista do pioneirismo do método no Brasil. O Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) fornece uma tabela a mais abrangente. Na ausência de algum meio de proteção apresentado na Tabela 3.7, adota-se $\boldsymbol{\gamma_n}$ igual a 1.

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \tag{3.20}$$

onde: γ_{s1} = coeficiente relacionado à área de piso do compartimento e à altura da edificação (eq. 3.21);

γ_{s2} = coeficiente relacionado ao risco de ativação do incêndio (Tabela 3.8).

O Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) fornece os valores de $\boldsymbol{\gamma_{s1}}$ apenas em função da área do compartimento (Tabela 3.4). No Brasil, assim como em muitos países do mundo, a altura é tão importante quanto a área do pavimento; por isso, procurou-se adaptar os valores de γ_{s1} à

realidade brasileira, deduzindo-se uma equação (eq. 3.21) que atendesse às seguintes hipóteses:

- manter a influência da área e da altura;
- reduzir um pouco a influência da altura;
- não diferir muito dos resultados obtidos com o método recomendado pela IT 08:04 do Corpo de Bombeiros de São Paulo, fundamentado nas propostas de Schleich & Cajot (1997);
- adotar um valor limite pouco superior ao anterior, que era 2,5;
- não haver descontinuidades;
- ser simples.

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f \cdot (h+3)}{10^5} \qquad (3.21)$$
$$1 \le \gamma_{s1} \le 3$$

onde: h = altura da edificação [m].

A eq. (3.21) pode ser reescrita na forma da eq. (3.22); assim, para edifícios com pavimentos de altura (ou pé-direito) H = 3 m, o numerador da fração é a sua área total (A_T). Para a situação de incêndio, a altura "h" do edifício é medida entre a cota do piso térreo à cota do piso mais elevado, i.e., o piso do pavimento da cobertura.

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f \cdot \left(\frac{h}{3} + 1\right)}{33333} = 1 + \frac{A_T}{33333} \qquad (3.22)$$

onde: A_T = área total do edifício, i.e., soma da área superficial das fachada e do piso do pavimento-tipo.

Segundo Schleich & Cajot (1997), o coeficiente γ_{s2} associado ao risco de ativação do incêndio (Tabela 3.5) foi apresentado na descrição do método de Gretener para análise de risco de incêndio em edificações (item 3.4.3), proposto no documento SIA-81 (1984) *apud* Silva (1997).

O Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) não apresenta exemplos suficientes de edificações, associadas a seu risco de ativação, para a determinação do valor de γ_{s2}. Costa & Silva (2005c) propuseram completar a Tabela 3.5 do Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) com as ocupações citadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Valores de γ_{s2} em função do risco de ativação.

γ_{s2}	risco de ativação do incêndio	exemplos de ocupação
0,85	pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu.
1,0	normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos (produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, venda de acessórios de automóveis) e depósitos em geral.
1,2	média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.
1,5	alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.

O fator "κ" (Tabela 3.6) é determinado a partir das características térmicas dos elementos de vedação. Quando houver elementos de compartimentação com diferentes camadas de material, pode-se, a favor da segurança, tomar o menor valor da inércia térmica "**b**" (eq. 3.8).

Para paredes, pisos e tetos constituídos de diversas camadas, com inércia térmica "**b**" diferentes, o valor resultante de "**b**" deve ser calculado pela eq. (3.23). Exclui-se do cálculo, forros e revestimentos que possam ser destruídos pela ação do incêndio.

$$b = \frac{\sum b_i \cdot A_i}{A_t - A_v} \tag{3.23}$$

onde: b_i = inércia térmica da camada "i" do elemento de compartimentação;

A_i = área da camada "i" do elemento de compartimentação (m²).

A Tabela 3.9 fornece alguns valores da massa específica (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (**c**), para determinação da inércia térmica dos principais materiais de construção civil. Como referência, para compartimentos constituídos por paredes de alvenaria (ρ = 1600 kg/m^3) e lajes de concreto, tem-se:

- $\frac{A_t}{A_f} = 3 \Rightarrow b = 1600 \frac{J}{m^2} \cdot s^{1/2} \cdot °C$;

- $\frac{A_t}{A_f} = 6 \Rightarrow b = 1230 \frac{J}{m^2} \cdot s^{1/2} \cdot °C$.

Nesses casos, geralmente o fator **κ** correspondente é 0,055 min.m^2/MJ.

Tabela 3.9: Valores de **ρ**, **c** e **λ** de concreto e tijolo (SILVA, 2004).

material	**ρ** (kg/m³)	**λ** (W/m°C)	**c** (MJ/kg.°C)
concreto de densidade normal	2300 ≤ **ρ** ≤ 2500	1,6	1,0
tijolo de argila ou silicato de cálcio, a 600 °C	700	0,19	1,15
	1100	0,28	
	1600	0,39	
	2100	0,75	

O valor do fator W, relacionado à ventilação do ambiente é calculado pela eq. (3.24). O Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) fornece uma equação mais complexa; contudo, a eq. (3.24), sugerida para a versão brasileira do método, é mais simples e suficientemente precisa.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \cdot \left[0,62 + \frac{90 \cdot \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \cdot \left(1 + 10 \cdot \frac{A_v}{A_f}\right) \cdot \frac{A_h}{A_f}}\right] \geq 0,5 \qquad (3.24)$$

A Figura 3.10 ilustra a variação do fator W em função da ventilação, quando não há aberturas horizontais no compartimento. Nota-se que W e, portanto, o tempo equivalente (t_e) decai até certo valor da relação $\frac{A_v}{A_f}$, após o qual, aumenta novamente; para evitar essa ascensão, o Eurocode 1 (EN 1991-1-2:2002) limita o uso da eq. (3.24) para $\frac{A_v}{A_f} \leq 0,25$. Contudo, Costa & Silva (2005c) acreditam ser possível estender esse limite a 0,5, uma vez que a ascensão da curva para o intervalo $0,25 < \frac{A_v}{A_f} \leq 0,5$ é muito pequena (Figura 3.10).

Outras observações importantes podem ser feitas: para H = 2,75 m e $\frac{A_v}{A_f} = 0,15$, o tempo equivalente calculado é $\mathbf{t_e = 1,23.q_{fi,d}}$, onde $\mathbf{q_{fi,d}}$ é valor de cálculo da carga de incêndio medida em quilograma de madeira equivalente por unidade de área de piso; esse valor

"coincide" com a histórica eq. (3.1) deduzida por Ingberg na década de 20.

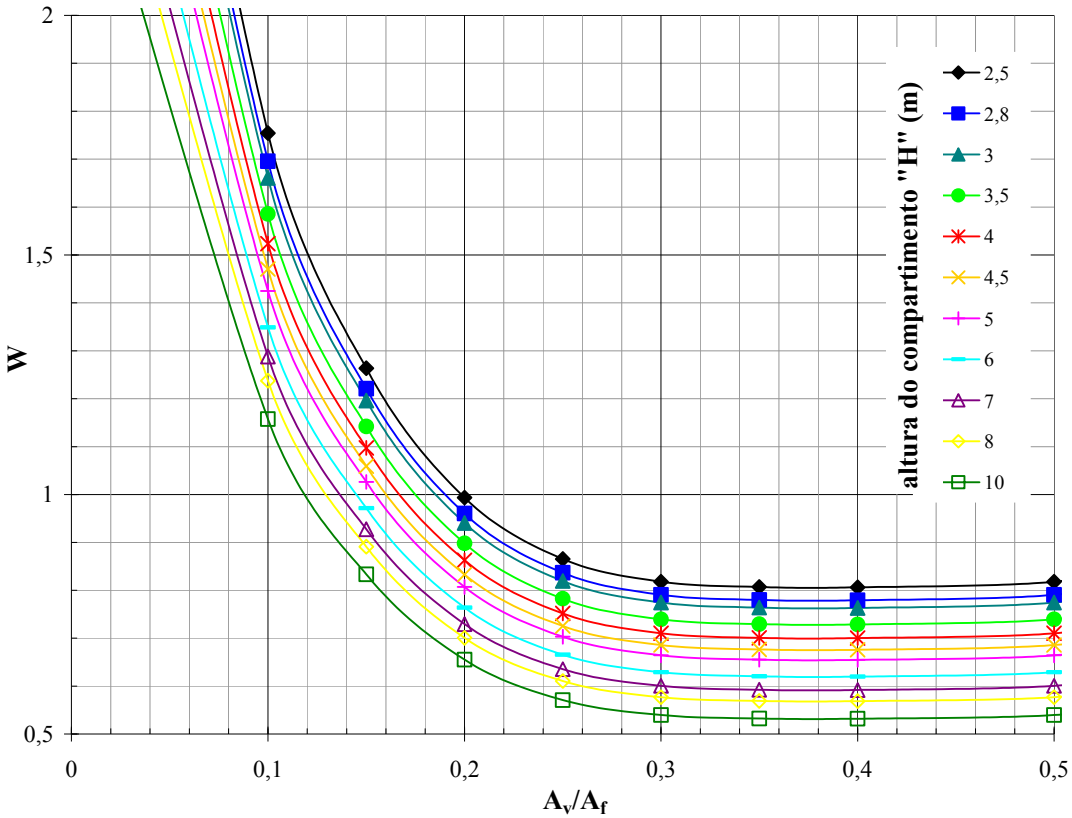


Figura 3.10:Variação de W em função da ventilação e da altura do compartimento (COSTA & SILVA, 2005c).

A relação $\frac{A_v}{A_f} \leq 0{,}15$ corresponde à mínima área de iluminação, permitida pelo Código de Obras e Edificações do município de São Paulo (SÃO PAULO, 1992), para estabelecimentos com permanência de pessoas. Admite-se que os vidros das janelas se quebram no *flashover*.

O fator M é um fator de ajuste do tempo equivalente às características do material estrutural. Schleich & Cajot (1997) demonstraram que a resposta da estrutura à ação térmica varia conforme o material e, por simplicidade, eles incorporaram o fator "M" na determinação do tempo equivalente para considerar a sua influência.

Para estruturas de concreto armado, recomenda-se usar M = 1,0. Os valores de "M" não foram aferidos para o concreto protendido.

3.4.2.11 Limitações de uso do método do tempo equivalente conforme Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, o uso do Método do Tempo Equivalente deve seguir a Instrução Técnica IT 08 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, instituída pelo Decreto-Lei n° 46.076 de 2001 (SÃO PAULO, 2001).

O Corpo de Bombeiros de São Paulo incorporou muitas das sugestões de Costa & Silva (2005c) na Instrução Técnica IT 08:04, com as seguintes restrições:

- para edificação com altura h ≤ 6,00 m, admite-se o uso do método do tempo equivalente de resistência ao fogo em substituição aos TRRF estabelecidos pela referida IT, exceto para as edificações do grupo L (explosivos), das divisões M_1 (túneis), M_2 (parques de tanques) e M_3 (centrais de comunicação e energia); é limitada a redução de 15 min para os grupos A (residencial), D (serviços profissionais, pessoais e técnicos), E (educacional e cultura física), G (serviços automotivos), I (divisões industriais) I-1 e I-2, J-2 (depósitos);
- para edificação com altura h > 6,00 m, permite-se o uso do método do tempo equivalente; é limitada a redução de 30 min dos valores constantes da tabela A do Anexo A da IT 08:04.

Para a determinação do fator γ_{s1}, a Instrução Técnica IT 08:04 recomenda a utilização da Tabela 3.10, a qual apresenta descontinuidades que não deveriam existir na prática. Alguns milímetros a mais na altura de um compartimento não justificam um aumento exagerado do valor do γ_{s1}, sendo necessário haver proporcionalidade. Por essas razões, Costa & Silva (2005c) argumentam que seria mais racional substituí-la pela eq. (3.21).

Tabela 3.10: Valores para γ_{s1} recomendados pela IT 08:04.

A (m^2)	Altura da edificação **h** (m)						
	térrea	**h ≤ 6**	**6 < h ≤ 12**	**12 < h ≤ 23**	**23 < h ≤ 30**	**30 < h ≤ 80**	**h > 80**
≤ 750	1,00	1,00	1,10	1,20	1,25	1,45	1,60
≤ 1000	1,05	1,10	1,15	1,25	1,35	1,65	1,85
≤ 2500	1,10	1,25	1,40	1,70	1,85	2,60	3,00
≤ 5000	1,15	1,45	1,75	2,35	2,65	3,00	3,00
≤ 7500	1,25	1,70	2,15	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 10000	1,30	1,90	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 20000	1,60	2,80	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
≥ 65000	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Os coeficientes de ponderação γ_n e γ_s, por outro lado, são arbitrados por cada país da UE, em

função do nível de segurança estabelecido pelo consenso da sociedade.

Em face da subjetividade envolvida e considerando que o Método do Tempo Equivalente ainda é pouco usado no Brasil, as limitações impostas ao método pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo são compreensíveis.

Na falta de regulamentação local, recomenda-se o Método do Tempo Equivalente respeitando-se os limites associados à tabela de tempos e de cargas de incêndio, impostos pela NBR 14432:2001. Há a necessidade de revisar a NBR 14432:1999, a fim de propor outro valor para a altura-limite (h = 6 m) ou corroborar a IT 08:04.

3.4.3 Método de Gretener para avaliação de risco

A princípio, os métodos de avaliação de risco foram idealizados para verificar a segurança global da edificação, objetivando a proteção à vida e ao patrimônio; posteriormente, eles passaram a ser usados para determinar o nível de segurança da estrutura.

A primeira norma a usar algum método de avaliação de risco para determinar o TRRF foi a SIA-81 (1984) *apud* Silva (1997), da Suíça, que apresentava o Método de Gretener proposto pelo suíço Max Gretener.

O risco do incêndio é o perigo associado às conseqüências catastróficas do sinistro.

As versões de 1987 das normas TRVB A-100 (cálculo) e TRVB A-126 (parâmetros para o cálculo) da Liga Federal de Combate a Incêndio da Áustria apresentam o Método de Gretener nos procedimentos para determinar o TRRF.

O Método de Gretener permite estabelecer o TRRF com base nas características geométricas do compartimento e altura do edifício, meios de proteção ativa (*sprinklers*, brigadas de incêndio, sistemas de detecção e de exaustão de fumaça e calor), tipo de ocupação do compartimento (carga de incêndio, risco de propagação do incêndio, intensidade da fumaça, ignição, risco aos usuários), eficiência das ações de combate ao incêndio (distância entre o Corpo de Bombeiros e a edificação, frentes de combate).

A segurança da edificação é verificada por meio do fator global de segurança $\gamma_{fi} \geq 1$. O fator γ_{fi} é calculado por:

$$\gamma_{fi} = 1{,}3 \cdot \frac{N \cdot S \cdot E}{R \cdot A \cdot M} \geq 1 \qquad (3.25)$$

onde: γ_{fi} = fator global de segurança [adimensional];

N = fator que considera as medidas normais de proteção relacionadas à eficiência e suficiência do fornecimento de água via extintores e hidrantes, levando-se em conta até a pressão hidrostática corrente;

S = fator que considera as medidas especiais de proteção relacionadas à eficiência dos meios de detecção e alarme e tempo-resposta da ação de brigadas de incêndio e do Corpo de Bombeiros;

E = fator que considera as medidas construtivas de proteção passiva da edificação relacionadas à compartimentação, saídas de emergência e rotas de fuga;

R = fator associado ao risco do incêndio (eq. 3.26);

A = fator que considera o risco de ativação do incêndio em função do tipo da ocupação do compartimento;

M = fator associado à mobilidade das pessoas em função da ocupação.

Os fatores N, S, e E são produtórios de fatores parciais que levam em conta os principais itens que participam da eficiência da proteção. O fator R é calculado por:

$$R = q \cdot c \cdot f \cdot \kappa \cdot \iota \cdot h \cdot a \tag{3.26}$$

onde: q = fator associado à carga de incêndio mobiliária[34];

c = fator associado à flamabilidade da carga de incêndio;

f = fator associado ao enfumaçamento causado pela carga de incêndio;

κ = fator associado à toxicidade dos gases;

ι = fator associado à carga de incêndio imobiliária[35];

h = fator associado à cota do andar considerado;

a = fator associado à área do compartimento.

---

[34] Carga combustível de móveis, por ex., mesa, estante, cadeiras, etc.

[35] Carga combustível fixa à estrutura, por ex., pisos combustíveis (carpetes e pisos de madeira), forros de polipropileno, revestimentos combustíveis de paredes, portas, etc.

Silva (1997) apresenta uma breve descrição dos procedimentos de cálculo e determinação de cada um dos fatores das eqs. (3.25) e (3.26), com base nas versões de 1987 das normas TRVB A-100 e TRVB A-126. Essas normas fornecem tabelas que associam a existência ou eficiência dos meios de proteção, tipo de carga de incêndio, dimensões da edificação a coeficientes de segurança.

Uma simplificação e adaptação à realidade brasileira foi proposta por Silva & Coelho Filho (2007); com base naquelas tabelas, equações matemáticas foram idealizadas para a determinação analítica desses fatores. Contudo, recomenda-se consultar a versão atualizada daquelas normas para a aplicação do método em projeto de segurança contra-incêndio.

O tempo equivalente pode ser estabelecido pela relação inversamente proporcional entre o γ_{fi} (coeficiente global de segurança) e o TRRF obtido via método tabular ou qualquer outro método usado como referência para limites de uso do método de Gretener:

$$t_e = \frac{TRRF}{\gamma_{fi}} \tag{3.27}$$

O uso do método de Gretener do Brasil é restrito, devido ao desconhecimento de fatores de risco representativos da realidade brasileira. Há municípios no Brasil que não possuem uma Companhia do Corpo de Bombeiros; em outros, são diários os ciclos de abastecimento e falta d'água.