

Manual de Construção em Aço



Prevenção contra Incêndio no Projeto de Arquitetura

PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO NO PROJETO DE ARQUITETURA

Série “Manual de Construção em Aço”

- Galpões para Usos Gerais
- Ligações em Estruturas Metálicas
- Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço
- Alvenarias
- Painéis de Vedação
- Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço
- Tratamento de Superfície e Pintura
- Transporte e Montagem
- Steel Framing: Arquitetura
- Interfaces Aço-Concreto
- Steel Framing: Engenharia
- Pontes e viadutos em vigas mistas
- Treliças tipo Steel Joist
- Viabilidade Econômica
- Dimensionamento de Perfis Formados a Frio conforme NBR 14762 e NBR 6355 (CD)
- Projeto e Durabilidade
- Estruturas Mistas Vol. 1 e 2
- Prevenção contra Incêndio no Projeto de Arquitetura

Valdir Pignatta e Silva
Mauri Resende Vargas
Rosária Ono

PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO NO PROJETO DE ARQUITETURA

INSTITUTO AÇO BRASIL
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

**RIO DE JANEIRO
2010**

© 2010 INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do IABr/CBCA

S586a

Silva, Valdir Pignatta

Prevenção contra incêndio no Projeto de Arquitetura / Valdir Pignatta e Silva, Mauri Resende Vargas e Rosária Ono. - Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

72p. ; 29 cm. -- (Série Manual de Construção em Aço)

Bibliografia

ISBN 978-85-89819-24-4

1.Segurança contra incêndio 2. Estruturas de aço 3. Arquitetura 4. Resistência ao fogo I. Vargas, Mauri Resende II. Ono, Rosária III. Títulos (série)

CDU 691.714:699.81(035)

Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º Andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@acobrasil.org.br
site: www.cbca-iabr.org.br

SUMÁRIO

Capítulo 1

Introdução	9
------------	---

Capítulo 2

Conceituação básica da segurança contra incêndio	13
2.1 Fenômeno da combustão	14
2.2 Transmissão de calor	14
2.3 Evolução de um incêndio	15
2.4 Medidas de proteção contra incêndio	17
2.4.1 Proteção passiva	17
2.4.1.1 Compartimentação horizontal e compartimentação vertical	17
2.4.1.2 Saídas de emergência	19
2.4.1.3 Reação ao fogo dos materiais de acabamento e revestimento	22
2.4.1.4 Resistência ao fogo dos elementos estruturais	22
2.4.1.5 Controle de fumaça	23
2.4.1.6 Separação entre edificações	23
2.4.2 Proteção ativa	24
2.4.2.1 Sistemas de detecção e alarme	25
2.4.2.2 Sistema de iluminação de emergência	25
2.4.2.3 Sinalização de emergência	26
2.4.2.4 Meios de combate a incêndios	27
2.5 Planejamento urbano	30

Capítulo 3

Exigências de resistência ao fogo	33
3.1 Curvas de incêndio	34
3.2 Método tabular	35
3.3 Exemplo de cálculo do TRRF	37
3.4 Método do tempo equivalente	38

Capítulo 4

Estruturas de aço sem revestimento contra fogo	39
4.1 Edificações de baixo risco	40
4.2 Coberturas estruturadas com aço	44
4.3 Estruturas enclausuradas	45
4.4 Estruturas integradas a alvenarias e lajes de concreto	46
4.5 Estruturas mistas de aço e concreto	48
4.5.1 Lajes mistas	48
4.5.2 Pilares mistos	49
4.5.2.1 Pilares mistos totalmente envolvidos por concreto	49
4.5.2.2 Pilares mistos parcialmente revestidos por concreto	49
4.5.2.3 Pilares mistos tubulares preenchidos por concreto	50
4.5.3 Vigas mistas	50
4.6 Estruturas externas	50
4.6.1 Posicionamento de pilares e vigas	51

Capítulo 5	
Estruturas de aço com revestimento contra fogo	55
5.1 Revestimentos disponíveis	56
5.1.1 Argamassas projetadas	56
5.1.2 Placas rígidas	57
5.1.3 Pintura intumescente	58
5.1.4 Combinação de tipos de revestimentos contra fogo	58
5.2 Espessuras do material de revestimento	59
5.3 Estudo de caso	60
Anexo	65
Referência bibliográfica	71

Apresentação

As empresas produtoras de aço, através do Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, têm a satisfação de tornar disponível para o universo de profissionais envolvidos com o emprego do aço na construção civil, mais este manual, o décimo oitavo de uma série relacionada à Construção em Aço.

Este manual vem completar a literatura disponível na área de segurança contra incêndio das construções em aço, com informações e tabelas atualizadas, retiradas das principais fontes de referência, como normas técnicas brasileiras e internacionais e trabalhos de renomados especialistas brasileiros e internacionais nessa área.

Devido à sua característica didática, o presente manual foi estruturado em capítulos, nos quais serão abordados os seguintes tópicos: conceituação básica da segurança contra incêndio, exigências de resistência ao fogo, estruturas de aço sem revestimento contra fogo e com revestimento contra fogo.

Como centro dinâmico de serviços, com foco exclusivamente técnico e capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção, o CBCA está seguro de que este manual enquadra-se no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Espera-se que o trabalho seja útil aos fabricantes de estruturas em aço, profissionais liberais, construtoras, arquitetos, engenheiros, professores universitários, estudantes e entidades de classe que se relacionam com a construção em aço.

Os autores agradecem a colaboração do Prof. Dr. Macksuel Soares de Azevedo e do Arquiteto Luis Eduardo Crepaldi Garcia.

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Introdução

A principal finalidade da “segurança contra incêndio em edificações” é minimizar o risco à vida das pessoas expostas ao sinistro. Uma vida humana é perdida a cada dez minutos devido a incêndios, segundo estatísticas internacionais. A principal causa desses óbitos é a exposição à fumaça tóxica que ocorre nos primeiros momentos do sinistro. Entende-se, portanto, como risco à vida, a exposição severa dos usuários da edificação à fumaça, ao calor e aos gases quentes, e em menor nível, à falência de elementos construtivos. Dessa forma, a segurança à vida depende prioritariamente da boa concepção do projeto, a fim de permitir a rápida desocupação dos ambientes atingidos e ameaçados pelas chamas.

Edifícios de pequeno porte, de fácil desocupação, exigem menos dispositivos de segurança e a verificação do comportamento da estrutura em situação de incêndio pode ser dispensada. Edifícios de maior porte, onde sua complexidade pode dificultar a desocupação rápida e que um eventual comprometimento estrutural devido ao incêndio pode por em risco a vizinhança ou a própria equipe de salvamento e combate ao fogo, exigem maior nível de segurança contra incêndio, incluindo a verificação das estruturas, pois o aço, o concreto, a madeira, assim como outros materiais estruturais, têm sua capacidade portante reduzida quando submetido a altas temperaturas.

Outra finalidade da “segurança contra incêndio em edificações” é a redução das perdas patrimoniais. Considera-se perda patrimonial, aquela causada pela destruição parcial ou total da edificação e do seu conteúdo como consequência do incêndio. Quando o poder público estabelece os requisitos mínimos de segurança contra incêndio para proteção à vida, acaba por definir, de alguma forma, um nível de segurança ao patrimônio. No entanto, esse último pode ser reforçado pelo “proprietário” do patrimônio, em

função do seu interesse, que pode ser o valor patrimonial investido e de produção ou o valor histórico-cultural do mesmo. Não basta identificar, nesse caso, o possível dano à propriedade devido ao fogo, mas, por razões econômicas, é necessário também avaliar a extensão do dano que pode ser considerado tolerável, a fim de se otimizar os custos com dispositivos de segurança (Figura 1.1).

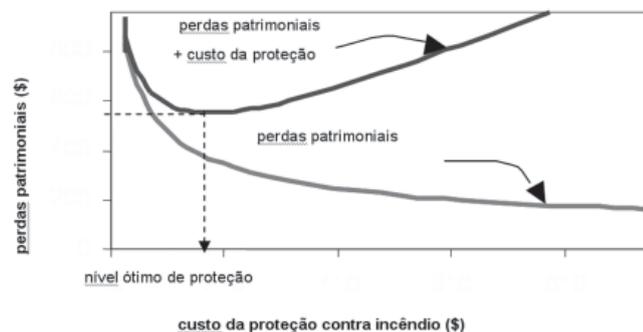


Figura 1.1 – custo da proteção contra incêndio

Assim, o nível mínimo de segurança contra incêndio em edificações, para fins de segurança à vida ou ao patrimônio é geralmente estipulado em códigos e normas, que incluem requisitos que devem ser atendidos tanto no projeto arquitetônico, como no projeto hidráulico, elétrico, de ar-condicionado e de estruturas.

Um sistema de segurança contra incêndio é composto de um conjunto de meios ativos (sistemas de detecção e alarme de incêndio, de extintores, de hidrantes e mangotinhos, de chuveiros automáticos, etc.) e passivos de proteção (rotas de fuga, compartimentação, resistência ao fogo das estruturas, etc.). O nível esperado de segurança contra incêndio pode ser obtido pela integração dos sistemas de proteção ativa e passiva no projeto da edificação.

O conhecimento dos fenômenos principais, dos conceitos básicos e dos parâmetros para análise da segurança contra incêndios é uma ferramenta com a qual o arquiteto deve contar no momento de projetar. Todas as atitudes tomadas no projeto, antes de se referenciar a qualquer norma, devem buscar apoio nesses conceitos básicos. O bom senso acaba por

ser um balizador do projeto, que termina por cumprir os requisitos das normas de maneira muito mais natural. Basicamente, entender os mecanismos de desenvolvimento e propagação do fogo, fumaça e gases quentes no interior das edificações é suficiente para compreender como o desenho arquitetônico pode ser um importante agente contribuinte ou não na evolução desses fenômenos.

Na elaboração do anteprojeto, o arquiteto normalmente deve considerar as exigências de proteção passiva e as interfaces com os dispositivos de proteção ativa. Muitas vezes, no entanto, ele se esquece que é nessa fase, na definição das soluções de compatibilidade entre estruturas e demais elementos construtivos, que se define o custo da segurança estrutural em situação de incêndio.

Este texto tem por finalidade apresentar, inicialmente, algumas informações que o arquiteto deve considerar na concepção arquitetônica, a fim de respeitar as exigências legais de proteção contra incêndio e, em seguida, de forma mais detalhada, subsídios e ferramentas disponíveis visando soluções, ao mesmo tempo seguras e econômicas, para garantir a segurança das estruturas de aço em incêndio.

Capítulo 2

Conceituação básica da
segurança contra incêndio

Conceituação básica da segurança contra incêndio

2.1 Fenômeno da Combustão

O fogo é um fenômeno físico-químico, caracterizado por uma reação de oxidação, com emissão de calor e luz. Os quatro componentes que devem coexistir para a ocorrência da combustão são:

- **Combustível:** qualquer substância capaz de produzir calor por meio de reação química da combustão;
- **Comburente:** substância que alimenta a reação química da combustão (o oxigênio é a mais comum);
- **Calor:** energia térmica que se transfere de um sistema para outro em virtude da diferença de temperatura entre os dois;
- **Reação em cadeia:** a sequência dos três eventos acima, que resulta na combustão propriamente dita.

O mecanismo sequencial de ignição da maioria dos sólidos é sempre o mesmo. Ao serem aquecidos, vapores combustíveis se desprendem da superfície do sólido e se misturam ao oxigênio do ar. Essa mistura inflamável que se forma é a responsável pela ignição. Basta uma fagulha ou mesmo o simples contato com uma superfície muito aquecida, para que apareça uma chama na superfície do sólido combustível. Este fornece mais vapor combustível para a queima, que continua a ocorrer na presença do oxigênio (comburente), gerando assim um ciclo que só pára quando um dos elementos (combustível, comburente ou calor) for eliminado (Figura 2.1). Os meios de extinção baseiam-se justamente neste princípio: para quebrar a cadeia de eventos que geram o fogo, basta eliminar a influência de um de

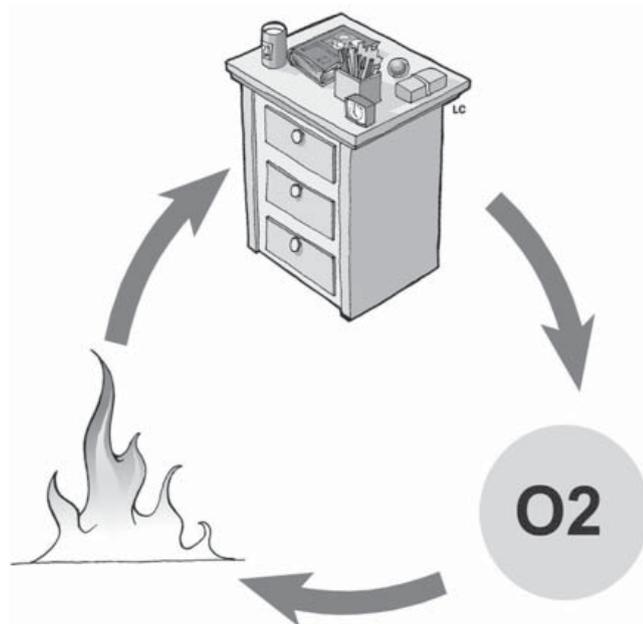


Figura 2.1 – Elos da reação em cadeia

2.2 Transmissão de Calor

O calor pode ser transmitido de três formas: convecção, radiação e condução.

Convecção - O fluxo de calor por convecção é gerado pela diferença de densidade entre os gases do ambiente em chamas. Os gases quentes são menos densos e tendem a ocupar a atmosfera superior, enquanto os gases frios, de densidade maior, tendem a se movimentar para a atmosfera inferior do ambiente. Esse movimento gera o contato entre os gases quentes e o mobiliário ou os elementos construtivos ocorrendo a transferência de calor (Figura 2.2).

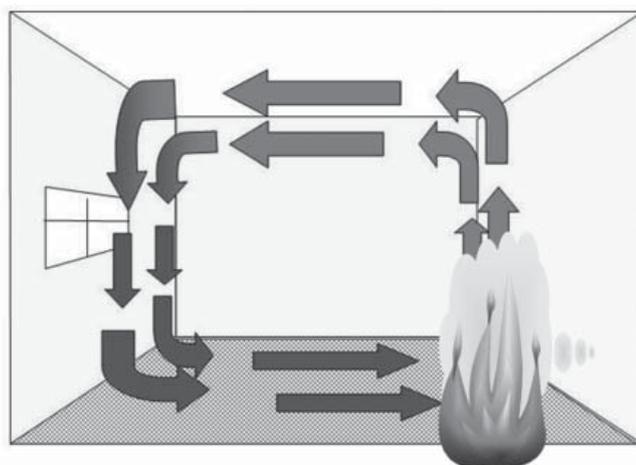


Figura 2.2 – Convecção decorrente de um incêndio (Silva, 2007)

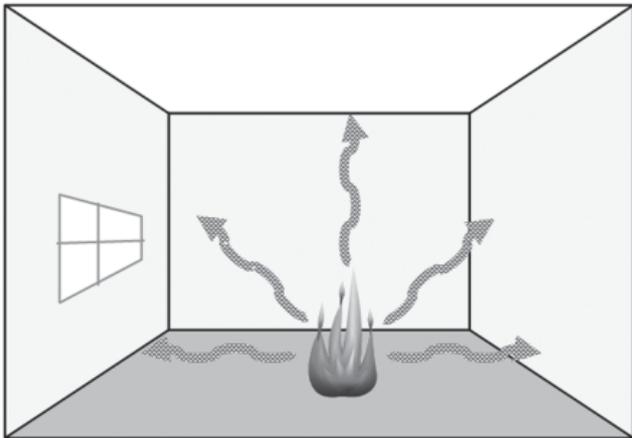


Figura 2.3 – Fluxo de calor radiante (Silva, 2007)

Radiação – o calor radiante transfere-se na forma de propagação de ondas, no gás ou no vácuo, de um corpo à alta temperatura para a superfície de outro à temperatura mais baixa (Figura 2.3).

Condução – o calor é transferido através de um material sólido, de uma região de temperatura elevada em direção a uma outra região de temperatura mais baixa (Figura 2.4).

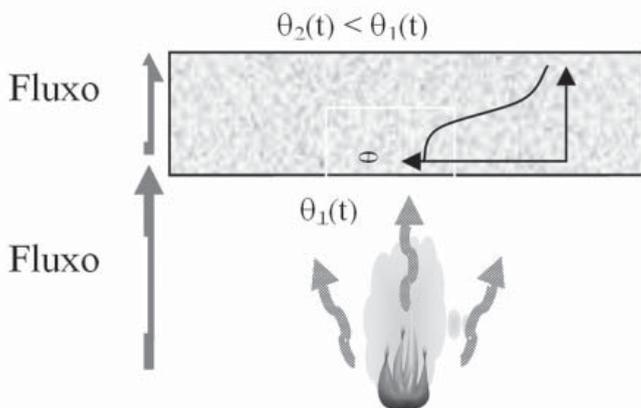


Figura 2.4 - Fluxo de calor através de um elemento de compartimentação (Silva, 2007)

2.3 Evolução de um Incêndio

A evolução do incêndio em um ambiente pode ser representada por uma curva com três fases bem definidas: fase inicial de elevação progressiva da temperatura; fase de aquecimento brusco; fase de resfriamento e extinção, conforme demonstra a curva temperatura-tempo de um incêndio real apresentada na figura 2.5.



Figura 2.5 - Curva temperatura-tempo de um incêndio real

Fase inicial de elevação progressiva da temperatura - esta fase se caracteriza pelo surgimento da ignição inicial (em geral, de um objeto dentro do recinto) e por grandes variações de temperatura de ponto a ponto, devido à inflamação sucessiva dos objetos existentes no ambiente. Existe a possibilidade do material envolvido se queimar completamente, sem transmitir o calor a outros materiais do local (isso pode acontecer devido às condições de ventilação ou às diferentes características dos materiais presentes). Nesse caso, o incêndio não passaria desta fase. Nesta fase, a combustão pode gerar gases tóxicos ou asfixiantes, mas, o risco de dano à estrutura é baixo.

Fase de aquecimento brusco - caso o fogo consiga se propagar, por convecção ou radiação, poderá ocorrer a repentina elevação da temperatura no local, com o rápido desenvolvimento de fumaça e gases inflamáveis, ocasionado pela combustão simultânea de vários materiais envolvidos. Com a oxigenação do local, devido às aberturas como portas e janelas, e à constante inflamação dos objetos, há um aumento cada vez maior da temperatura interna. Pode-se chegar a um momento em que o incêndio atinge a sua inflamação generalizada, ou “flashover” – o ambiente passa a ser completamente tomado pelas chamas e os gases quentes, que são emitidos através de portas e janelas e se queimam no exterior do edifício, em contato com o ar. O tempo para se atingir o “flashover” pode ser relativamente curto e depende, basicamente, das características

Conceituação básica da segurança contra incêndio

dos materiais de revestimento e acabamento usados no ambiente de origem do fogo. A partir daí, o incêndio pode se propagar para outros compartimentos do edifício por convecção de gases quentes, seja pelo interior da edificação ou pelo exterior (o fogo pode atingir pavimentos superiores através das aberturas como janelas). A fumaça espalha-se pelo edifício desde a fase anterior à inflamação generalizada, movimentando-se em sentido ascendente. A presença da fumaça e dos gases quentes faz com que as condições de sobrevivência tornem-se críticas antes mesmo do local ser atingido pelas chamas. Dependendo da intensidade do incêndio e da proximidade das edificações vizinhas, o incêndio pode ser transmitido por radiação para as construções adjacentes. Caso a edificação tenha medidas de combate a incêndio (brigada de incêndio, sprinklers, etc.) eficientes para extinguir o fogo antes do “flashover”, a segurança da estrutura será pouco afetada em situação de incêndio, conforme o gráfico da Figura 2.6, que demonstra a influência dos “sprinklers” sobre a curva temperatura-tempo de um incêndio. Mas, devido à dificuldade de ajuizar-se essa situação com precisão, é comum dimensionar-se as estruturas dos edifícios de maior risco para a máxima temperatura do incêndio, ou seja, admitindo-se a ocorrência do “flashover”.

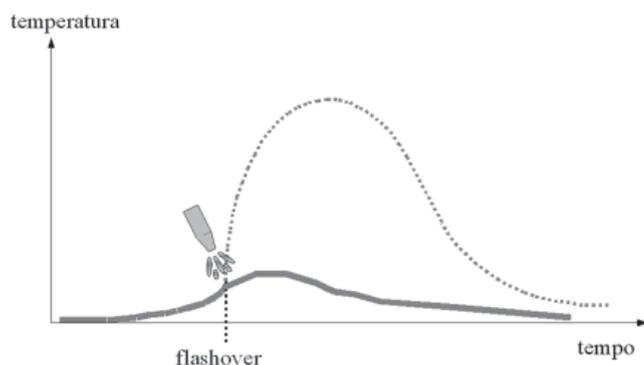


Figura 2.6 – curva temperatura-tempo de um incêndio afetada pela presença de sprinklers

Fase de resfriamento e extinção - após algum tempo, devido ao total consumo do combustível presente no local ou à falta de oxigênio, o incêndio terá sua intensidade reduzida, entrando na fase de resfriamento e, em seguida, extingue-se-á.

Resumidamente, pode-se dizer que a taxa de combustão de um incêndio (velocidade da queima) pode ser determinada pela quantidade do suprimento de ar, ou seja, a velocidade com que o ar é renovado. Também estão dentro dessa equação: a quantidade de combustível presente no ambiente, bem como sua conformação espacial e as dimensões das aberturas.

Ventilação - os gases emitidos pelos materiais combustíveis durante um incêndio, devido à alta temperatura, entram em movimento ascensional e são periodicamente substituídos pelo ar que adentra a edificação por portas e janelas. Ocorre, portanto, uma constante entrada de ar e saída de gases quentes. Essa troca de ar pode gerar duas situações: se a quantidade de ar que entra for maior do que a requisitada pela combustão dos elementos dentro da edificação, a queima se dará quase como uma combustão ao ar livre, ou seja, de maneira rápida e completa. Se, ao contrário, o volume de ar que entra no ambiente for menor do que o volume requisitado pela combustão, a combustão se dará de forma incompleta e o incêndio terá duração mais demorada, deixando a estrutura da edificação exposta a temperaturas elevadas por mais tempo.

Conteúdo combustível - a quantidade de material combustível existente em um ambiente pode ser usada para prever a intensidade e a duração de um incêndio. Para tanto, determina-se um parâmetro chamado carga de incêndio, que exprime o potencial calorífico médio da massa de materiais combustíveis existentes por unidade de área do local. Nessa relação, estão incluídos os componentes de construção (revestimentos de piso, forro, paredes, etc) bem como todo o material depositado na edificação

(decoreação, móveis, livros, etc).

2.4 Medidas de Proteção contra Incêndio

Conceitualmente, classificam-se as medidas de proteção contra incêndio de edificações em: proteção passiva e proteção ativa.

2.4.1 Proteção Passiva

Proteção passiva é conjunto de medidas de proteção contra incêndio incorporadas à construção do edifício e que devem, portanto, ser previstas e projetadas pelo arquiteto. Seu desempenho ao fogo independe de qualquer ação externa. Constituem proteção passiva:

- Compartimentação (horizontal e vertical);
- Saídas de emergência (localização, quantidade e projeto);
- Reação ao fogo de materiais de acabamento e revestimento (escolha de materiais);
- Resistência ao fogo dos elementos construtivos;
- Controle de fumaça;
- Separação entre edificações.

2.4.1.1 Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical

Compartimentar é basicamente dividir o edifício em células que devem ser capazes de suportar o calor da queima dos materiais em seu interior por certo período de tempo, contendo o crescimento do fogo nesse ambiente. Dessa forma, evita-se que o fogo se alastre rapidamente, gerando um incêndio de grandes proporções.

Resumidamente, os principais propósitos da compartimentação são:

- conter o fogo em seu ambiente de origem;
- manter as rotas de fuga seguras contra os efeitos do incêndios;

- facilitar as operações de resgate e combate ao incêndio.

Os meios de compartimentação podem ser classificados em dois grandes grupos: a compartimentação horizontal, que se ocupa em impedir a propagação do incêndio entre ambientes do mesmo pavimento, e a compartimentação vertical, que se destina a impedir a propagação do incêndio no sentido vertical, ou seja, entre pavimentos consecutivos.

A compartimentação horizontal pode ser obtida por meio dos dispositivos apresentados a seguir e ilustrados na Figura 2.7:

- paredes e portas corta-fogo nos pontos em que os cômodos se comunicam;
- registros corta-fogo nos dutos que trespassam as paredes corta-fogo;
- selagem corta-fogo em bandejas de passagem de cabos e tubulações nas paredes corta-fogo;
- afastamento horizontal entre janelas e portas de setores compartimentados, podendo-se fazer uso de abas de retenção nos casos em que a distância entre as aberturas não for considerada segura. Sugere-se consultar a IT09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. Também é importante que todos os ambientes tenham saídas próprias.

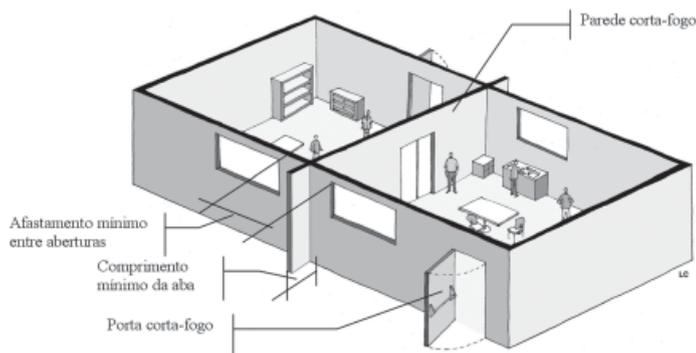


Figura 2.7 – Compartimentação horizontal

Conceituação básica da segurança contra incêndio

A compartimentação vertical pode ser obtida por meio dos seguintes recursos (que fazem com que cada pavimento componha um compartimento isolado):

- lajes corta-fogo;
- enclausuramento das escadas por meio de paredes e portas corta-fogo (Figura 2.8);

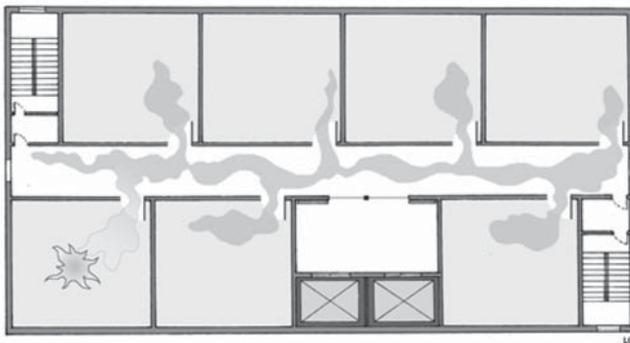
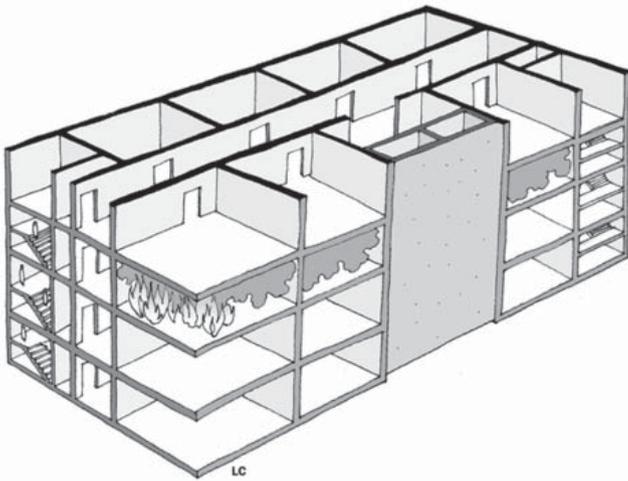


Figura 2.8 - Compartimentação vertical – escadas e elevadores

- registros corta-fogo em dutos que intercomunicam os pavimentos;
- selagem corta-fogo de passagens de cabos elétricos e tubulações (“shafts”) através das lajes (Figura 2.9);

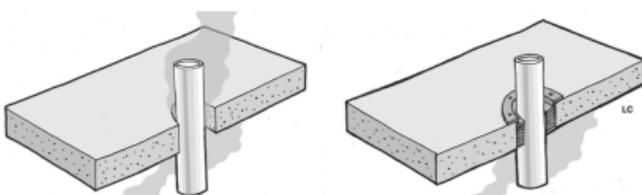


Figura 2.9 – Compartimentação vertical – Selagem

- utilização de abas verticais (parapeitos) ou abas horizontais projetando-se além da fachada, resistentes ao fogo e separando as janelas de pavimentos consecutivos, de modo a evitar que as chamas do pavimento inferior atinjam o pavimento em questão por transmissão da chama pelas janelas (ver Figura 2.10).

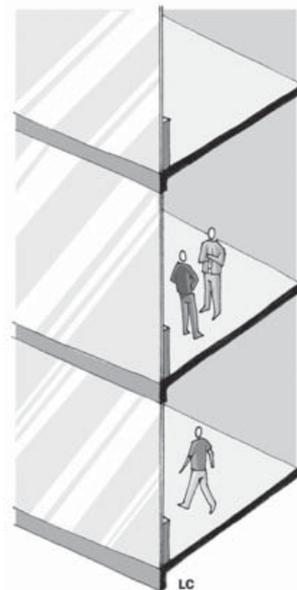
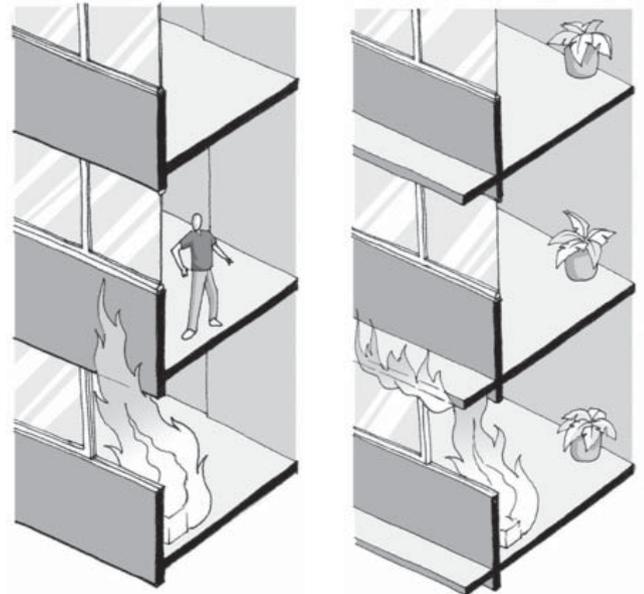


Figura 2.10 – Compartimentação vertical – Fachadas

A Figura 2.10 ilustra três exemplos de compartimentação vertical de fachada. No primeiro, a compartimentação é obtida pelo afastamento mínimo entre janelas de pavimentos consecutivos (parapeito). No segundo exemplo, a projeção da laje além da fachada externa do

edifício, garante a compartimentação, caso a altura do parapeito não seja suficiente. Já no terceiro exemplo, observa-se que para o caso da existência de pele de vidro, deverá continuar sendo respeitada a altura mínima do parapeito para ser garantida a compartimentação entre pavimentos. Sugere-se consultar a IT09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.

A importância da compartimentação vertical em um edifício está no fato de se garantir o refúgio e fuga, apesar de as chamas terem tomado uma ou mais partes de um dos pisos, inclusive que os outros pavimentos sejam usados pelas equipes de combate contra o incêndio.

Alguns pontos básicos das características construtivas dos elementos de compartimentação podem ser ressaltados:

- A parede corta-fogo precisa ser construída do piso ao teto (laje), com os devidos cuidados e amarrações para impedir o alastramento horizontal do incêndio. No caso de edificações térreas sem laje de cobertura é importante que a parede corta-fogo estenda-se acima da linha da cobertura;

- A distância mínima provida por parapeitos entre janelas de pavimentos consecutivos pode ser reduzida quando houver prolongamento da laje do piso: as abas projetam-se além da fachada externa do edifício, exercendo, portanto, função de compartimentação vertical.

- No caso de lajes e paredes corta-fogo, o conceito de resistência ao fogo deve ser respeitado. Resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua estabilidade (segurança estrutural), estanqueidade e isolamento térmico (Figura 2.11).

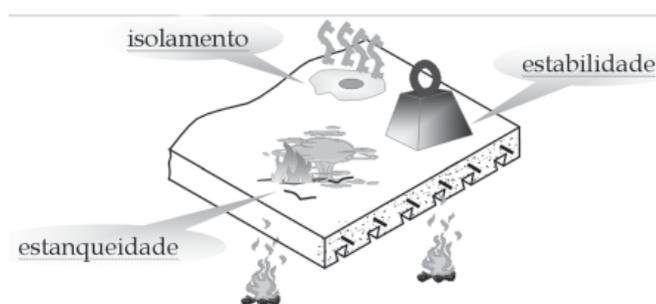


Figura 2.11 – Propriedades de resistência ao fogo de elementos de compartimentação (lajes, paredes, portas corta-fogo, etc. - Costa, 2008)

2.4.1.2 Saídas de Emergência

Dentre as medidas de proteção passiva, o projeto de saídas de emergência é fundamental. No caso de um incêndio, é necessário que os usuários tenham a possibilidade de sair do edifício por meios próprios, utilizando rotas de fuga seguras, livres dos efeitos do fogo (calor, fumaça e gases).

Além de permitir a saída, as rotas de fuga também podem ser utilizadas para a entrada da brigada de incêndio ou do Corpo de Bombeiros, pois muitas vezes a conformação do edifício não permite o combate pelo exterior (por exemplo, edifícios com múltiplos pavimentos ou edifícios térreos com área extensa), ou então o resgate de pessoas precisa ser efetuado. Nesses casos, os meios de evacuação podem converter-se em meios de acesso seguro às áreas afetadas ou não pelos efeitos do incêndio.

Para poder atender a estas necessidades, o projeto de saídas de emergência precisa considerar alguns aspectos fundamentais:

- **Número mínimo de saídas** - é calculado em função do tipo de ocupação do edifício, da sua altura, dimensões em planta e características construtivas.

- **Distância máxima a percorrer até uma saída segura** - consiste na distância entre o ponto mais afastado e o acesso a uma saída segura/protegida e pode variar conforme o tipo

Conceituação básica da segurança contra incêndio

de ocupação, as características construtivas do edifício e a existência de chuveiros automáticos para contenção do incêndio.

• **Condições das escadas de segurança (rota de fuga vertical) e dos corredores e passagens (rotas de fuga horizontais)** - o número mínimo de pessoas que as escadas precisam comportar é calculado a partir da lotação da edificação, que é determinada em função das áreas dos pavimentos e do tipo de ocupação. Para permitir uma desocupação segura, é necessário compatibilizar a largura das rotas horizontais e das portas com a lotação dos pavimentos, além de adotar caixas de escadas com largura suficiente para acomodar em seu interior toda a população do edifício, se esse for o caso. Além de garantir a sua largura, as rotas devem se apresentar permanentemente desobstruídas, ser constituídas de materiais de acabamento de piso e parede adequados, corrimãos e guarda-corpos, etc.

• **Localização das saídas e das escadas de segurança** - a localização das saídas e das escadas deve permitir um acesso rápido e seguro às mesmas. Estando suficientemente afastadas umas das outras, no caso de edifícios com mais de uma saída, cria-se a possibilidade de rotas de fuga alternativas, aumentando as chances dos usuários saírem com segurança. A sinalização adequada dos acessos às rotas também é fundamental.

• **Descarga das escadas de segurança e saídas finais** - o ideal é que a descarga das escadas de segurança leve os usuários diretamente ao exterior, em pavimento ao nível da via pública, onde estes possam se afastar do edifício sem risco à vida e sem causar tumulto. Saídas no átrio de entrada do edifício também são possíveis, desde que as saídas finais para o exterior estejam bem sinalizadas e que exista compartimentação em relação ao subsolo e a outros riscos no próprio pavimento de descarga.

Projeto e construção das escadas de segurança:

Edifícios de múltiplos pavimentos devem contar com escadas de uso coletivo. As escadas podem ser classificadas em cinco tipos básicos:

- escada aberta (não-enclausurada);
- escada enclausurada;
- escada enclausurada com antecâmara e dutos;
- escada enclausurada com vestíbulo e aberturas para ventilação diretas para o exterior;
- escada enclausurada com pressurização (com ou sem antecâmara).

Essa classificação é uma proposta dos autores e pode haver leves diferenças em relação às normas e códigos.

São denominadas “escadas de segurança” aquelas enclausuradas por paredes resistentes ao fogo e portas corta-fogo (compartimentação) para evitar a propagação de calor e fumaça por meio da caixa da escada, além de proteger os seus usuários dos efeitos do incêndio. A instalação de antecâmaras, também enclausuradas, junto às escadas, é normalmente exigida em locais de maior risco (edifícios altos, por exemplo). As antecâmaras devem dar acesso exclusivo à escada de segurança e ser providas de dutos de ventilação (de entrada de ar e saída de fumaça). Já nas escadas providas de vestíbulo ventilado, a antecâmara é substituída pelo vestíbulo com ventilação direta para o exterior, que elimina a fumaça e o calor que eventualmente adentre esse espaço. As escadas antecedidas de antecâmara ou vestíbulo são providas de ventilação natural. Em ambos os casos, é necessário atentar para a sua localização, considerando a possibilidade das aberturas de captação de ar / ventilação se tornarem pontos de tomada do calor e da fumaça de incêndio. Normalmente,

esses pontos devem ficar afastados de possíveis fontes geradoras de calor e fumaça.

A escada pressurizada, por sua vez, é uma escada de segurança provida de um sistema mecânico de pressurização do ambiente da caixa de escada, podendo ou não ter antecâmara (pressurizada ou não), dependendo da exigência legal a ser atendida. Este sistema também necessita de captação de ar fresco externo para garantir seu bom desempenho, além de alimentação elétrica alternativa.

A largura mínima das escadas de segurança varia conforme as Normas Técnicas e os códigos; normalmente é de 2,20 m para hospitais e varia de 1,10 m a 1,20 m para as demais ocupações. Essas medidas são derivadas do conceito de unidade de saída ou passagem: a largura média de uma pessoa (55 a 60cm) é a referência para calcular a largura das passagens, levando em conta o número de pessoas que ocupam o edifício (Figura 2.12). Portanto, a largura final pode variar em função das características de ocupação, podendo ser maior que o mínimo estabelecido. Deve-se atentar para os requisitos de projeto dos patamares de mudança de direção (largura mínima igual à largura da escada), da altura e largura de degraus, do posicionamento de corrimãos, guarda-corpos e tipo de piso (antiderrapante e incombustível). Consultar a ABNT NBR 9077:2001.

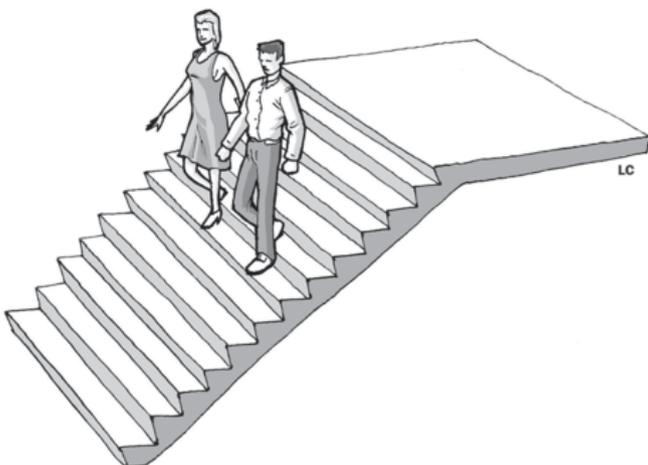


Figura 2.12 - Largura mínima de saídas

Passagens e Corredores

Quando for exigida uma rota de fuga horizontal constituída de corredores protegidos (compartimentados), é preciso que se leve em conta alguns aspectos importantes, tais como: impedir que a fumaça produzida durante o estágio inicial do incêndio penetre no corredor. Pode-se conseguir isso por meio da correta compartimentação do ambiente de origem do fogo, fazendo uso de paredes e portas com resistência ao fogo. No caso de corredores protegidos longos, é preciso prever aberturas para exaustão (natural ou artificial) de eventual contaminação por fumaça e a sua subdivisão com barreiras de contenção de fumaça.

Portas nas Rotas de Fuga

Portas em rotas de fuga não podem ser trancadas, mas devem dispor de um mecanismo de fechamento automático, para que permaneçam fechadas em situação de emergência. Elas devem abrir no sentido da fuga. Somente são admitidas portas em rotas de fuga com dobradiças de eixo vertical e sentido único de abertura.

As portas em rotas de fuga podem ser a prova de fumaça, corta-fogo ou ambos, bem como possuir barras antipânico, dependendo do uso e da ocupação do edifício. A largura mínima do vão livre deve ser de 0,8 m, podendo ser maior em função do número de ocupantes.

Elevadores de Emergência

Além das escadas de segurança, os edifícios altos devem contar com elevadores de emergência. Estes devem ser alimentados por fonte e circuito independentes, concebidos de maneira a não serem afetados pelas ações de um incêndio. Os elevadores de emergência, utilizados pela brigada de incêndio ou pelo Corpo de Bombeiros nos casos de sinistro, devem ser operados por comando especial.

Conceituação básica da segurança contra incêndio

O número de elevadores de emergência e sua localização devem ser determinados levando-se em conta as áreas dos pavimentos e as distâncias a percorrer para serem alcançados a partir de qualquer ponto do pavimento.

2.4.1.3 Reação ao Fogo dos Materiais de Acabamento e Revestimento

Os materiais utilizados nos acabamentos e revestimentos internos são de extrema importância para a segurança contra incêndio, pois dependendo de sua composição, podem contribuir, em maior ou menor grau, na evolução do fogo. As características de reação ao fogo que devem ser avaliadas nesses materiais são: velocidade de propagação superficial das chamas, quantidade e densidade de fumaça desenvolvida, quantidade de calor desenvolvido e toxicidade.

Na fase inicial de desenvolvimento do incêndio, os materiais de acabamento e revestimento instalados em paredes e forro são mais susceptíveis do que aqueles instalados em pisos, podendo contribuir de forma significativa para a evolução do fogo, por estarem em posições que favorecem a sua ignição e combustão.

Um elemento construtivo pode ser analisado sob o aspecto da sua resistência ao fogo e sob o aspecto da sua reação ao fogo. Resistência ao fogo trata da capacidade de um elemento construtivo de suportar os efeitos de um incêndio sem deixar de exercer suas funções (estanqueidade, isolamento térmico, incolumidade). Já reação ao fogo trata das características de combustão de elementos incorporados aos revestimentos e acabamentos, como a velocidade de propagação do fogo na superfície de um dado material, a quantidade de calor necessária para iniciar a ignição, quantidade de fumaça gerada, etc. Na ilustração (Figura 2.13), podemos ver, por exemplo, que os pilares estão mantendo sua

função estrutural (resistência) enquanto que os objetos na mesa, bem como no piso, estão incendiando-se e produzindo grande quantidade de fumaça (reação).

Ensaio realizados em laboratório podem determinar as características necessárias para a escolha correta dos materiais. É importante, então, que o arquiteto pense a segurança do edifício desde a concepção da estrutura até a escolha dos materiais de acabamento dos



Figura 2.13 – Resistência ao fogo e Reação ao fogo

2.4.1.4 Resistência ao fogo dos elementos estruturais

É fundamental que o arquiteto saiba pensar o projeto do edifício para que ele funcione bem não só em situações cotidianas, mas também no caso de emergências. Dentre as várias ferramentas de que o arquiteto dispõe nessa área, a escolha dos elementos construtivos é uma das mais básicas. Uma estrutura projetada de forma adequada oferece maior tempo de resistência ao colapso no caso de um incêndio. Isso se traduz em maior tempo para desocupação dos usuários do edifício e para combate ao fogo.

Entende-se por resistência ao fogo de elementos estruturais a capacidade de suportar, por um dado período, os intensos fluxos de energia térmica que ocorrem durante um

incêndio, sem deixar de exercer sua função portante, de estanqueidade e de isolamento, quando exigidas. No caso dos elementos de aço é a função portante ou estabilidade aquela que deve ser verificada. No caso de lajes de concreto, as três propriedades devem ser respeitadas simultaneamente (Silva, 2004). Este assunto será aprofundado nos próximos capítulos.

2.4.1.5 Controle de fumaça

O fenômeno da combustão num incêndio produz quatro elementos de perigo ao ser humano: calor, chamas, fumaça e insuficiência de oxigênio. Dentre os quatro, a fumaça é a maior responsável por mortes em situações de sinistro: a redução da visibilidade provocada por ela impede que os usuários da edificação desocupem o local com rapidez; ficam assim expostos por maior tempo aos gases (essencialmente CO e CO₂) e vapores quentes.

O fenômeno do alastramento da fumaça no interior das edificações é estudado com o objetivo de determinar o tempo máximo para evacuação dos ocupantes. A fumaça e os gases quentes se alastram rapidamente e se acumulam próximo ao forro/teto, aumentando a espessura de sua camada escura em direção descendente. Conceitualmente, o tempo para evacuação deve ser menor que o tempo que a camada de fumaça leva para atingir a altura de um homem em pé, dificultando sua visão e respiração.

No caso de corredores e escadas, a movimentação da fumaça depende, sobretudo, da geometria do espaço, das aberturas de comunicação existentes e da velocidade do ar no seu interior.

Existem vários meios para se controlar a propagação de fumaça dentro de um edifício; todos eles buscam resolver o problema a partir das características espaciais e estruturais da

edificação. Os principais métodos de controle da propagação de fumaça no interior do edifício, que podem ser utilizados de forma combinada, são:

- Abas de contenção: posicionadas nos tetos/forros, cuja função é reter a propagação horizontal da camada de fumaça. É efetiva até que a espessura (altura) da camada atinja a altura da aba (Figura 2.14);
- Exaustão natural ou mecânica: os dois casos objetivam retirar a fumaça do interior do edifício, com captação junto ou rente ao teto;
- Pressurização: evita, por diferença de pressão, que a fumaça entre em um determinado ambiente.

O alastramento da fumaça pelos ambientes de um edifício também pode dificultar o acesso do Corpo de Bombeiros ao seu interior para as atividades de combate ao fogo e de salvamento de vítimas, pois a falta de visibilidade pode dificultar a localização do incêndio assim

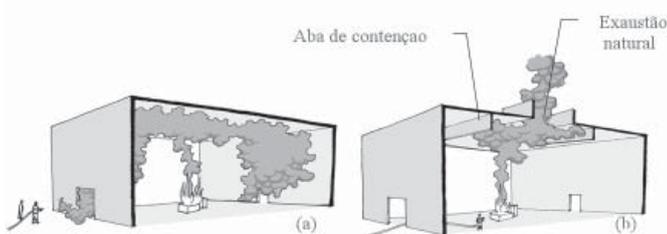


Figura 2.14 – Propagação da fumaça: (a) quando não existem medidas de controle; (b) quando medidas de controle de movimento da fumaça foram previstas.

2.4.1.6 Separação entre edificações

O incêndio pode se propagar para os edifícios vizinhos por radiação, convecção ou condução do calor gerado e esse risco pode ser reduzido quando são levadas em consideração as condições de separação entre elas. Essa separação pode ser feita por meio do afastamento entre edificações (Figura 2.15), ou pela construção de barreiras entre elas, como paredes corta-fogo (no caso de edificações geminadas) (Figura 2.16). Sugere-se consultar a IT7 do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

Conceituação básica da segurança contra incêndio

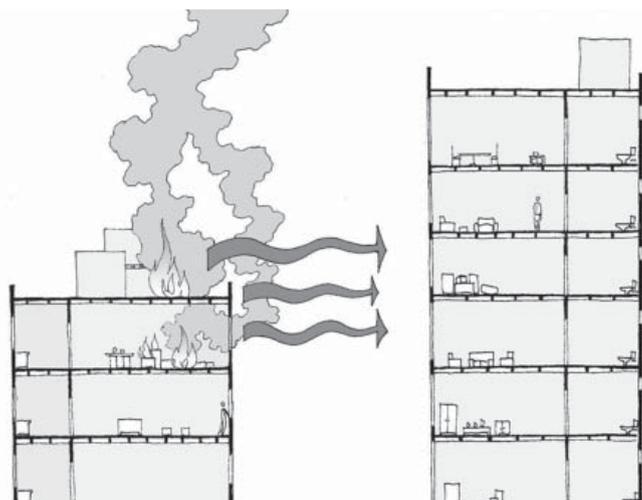


Figura 2.15 – Afastamento seguro entre edificações

No caso de edificações contíguas (geminadas), a separação deve ser feita por meio de uma parede corta-fogo. O dimensionamento dessa parede será determinado de acordo com as propriedades do material com o qual ela será construída, considerando suas características de resistência ao fogo. A estrutura do telhado não pode se apoiar nesta parede que deve ser portante (capaz de manter-se mesmo que a estrutura do telhado entre em colapso). Também é necessário observar a altura extra que a parede deve apresentar com relação à altura do telhado, bem como o tempo de resistência ao fogo da mesma. Percebe-se que a parede corta-fogo busca suprir as mesmas funções do distanciamento entre edificações: evitar a propagação por radiação, condução ou convecção para o edifício vizinho.



Figura 2.16 – Separação entre edificações

A distância de separação adequada entre fachadas de edifícios adjacentes pode ser calculada levando-se em conta a área da fachada em relação à área de aberturas contidas nela, a área de cobertura (caso de edificações com diferença de altura), bem como a carga de incêndio do edifício. Quanto mais aberturas, maiores as chances das chamas e do calor se propagarem para o edifício vizinho. Pensando nesses fatores, o arquiteto tem a possibilidade de fazer com que o projeto seja otimizado, considerando o distanciamento entre as edificações, o controle da carga de incêndio ou outros tipos de proteção, em função da vulnerabilidade do edifício à propagação do incêndio.

No caso do afastamento entre edificações com diferença significativa de alturas, a preocupação com a distância entre a fachada de uma (mais alta) e a cobertura da outra (mais baixa) também merece atenção especial. Quanto mais isolados forem os andares um dos outros (compartimentação vertical), menor será a incidência de calor na cobertura do edifício vizinho e, por consequência, menor será a distância horizontal necessária entre a fachada do edifício elevado e a cobertura do edifício vizinho.

2.4.2 Proteção Ativa

Na segurança contra incêndio, os sistemas de proteção ativa são complementares aos de proteção passiva, e somente entram em ação quando da ocorrência de incêndio, dependendo para isso de acionamento manual ou automático. Um sistema de proteção ativa é essencialmente constituído de instalações prediais para detecção e alarme do incêndio (que dá o alerta para início da desocupação e do combate), para combate ao fogo (chuveiros automáticos, hidrantes, extintores, etc.), para orientação do abandono (iluminação e sinalização das rotas de fuga), dentre outros.

2.4.2.1 Sistemas de Detecção e Alarme

Esses sistemas são os meios para detectar um incêndio e alertar os ocupantes do edifício e podem ser o principal responsável pelo salvamento de vidas em casos de incêndio de grandes proporções. Quanto mais cedo o incêndio for detectado, mais fácil será o seu controle e, em casos em que o combate seja dificultado, pode-se proceder, rapidamente, o abandono do edifício.

A detecção e o alarme podem ser automáticos ou manuais; em muitos casos, o próprio homem atua como detector eficaz do incêndio, dando o alarme antes do sistema automatizado. Porém, na grande maioria das situações, o homem não é figura presente ou pode não estar atento às alterações no ambiente a todo instante.

O sistema completo de detecção e alarme (Figura 2.17) é composto de:

- Detector automático de incêndio: sensor que pode responder a anomalias no ambiente, tais como aumento de temperatura, presença de fumaça, gás ou chama;
- Acionador manual ou botoeira: destinado ao acionamento do sistema de alarme por qualquer usuário do edifício (deve transmitir um sinal para uma estação de controle, a partir da qual, as providências necessárias devem ser tomadas;
- Central de controle do sistema: recebe, indica e registra o sinal de perigo enviado pelo detector automático ou acionador manual, além de transmitir o sinal recebido por meio de equipamento de envio de alarme para outros pontos do edifício, conforme a necessidade;
- Avisadores sonoros ou visuais: indicam a situação de perigo, podendo fazer uso de luzes, sons de sirene ou mensagens pré-gravadas;

- Fonte de alimentação de energia elétrica, para garantir o funcionamento do sistema em quaisquer circunstâncias.

O sistema de detecção e alarme automático deve ser instalado nas seguintes situações:

- o início do incêndio não possa ser prontamente percebido de qualquer parte do edifício por seus ocupantes;
- exista um grande número de pessoas no edifício;
- o risco de início e propagação de incêndio seja elevado;
- os ocupantes possam estar em situação especial (sono em hotéis, situação crítica de saúde em hospitais, etc).

Os acionadores manuais de alarme devem ser instalados em todos os tipos de edifícios, exceto nos de pequeno porte. Nesse último caso, o reconhecimento do princípio de incêndio pode ser feito rapidamente por todos os ocupantes do edifício, não havendo, portanto, a necessidade de um sistema de alarme geral.

Os acionadores manuais devem ser instalados nas rotas de fuga, próximos às saídas (escadas de segurança e saídas de emergência), possibilitando aos usuários que detectarem o incêndio o acionamento do sistema de alarme ao mesmo tempo em que dão início à evacuação.

2.4.2.2 Sistema de iluminação de emergência

Para permitir uma saída fácil e segura da população do edifício no caso de um incêndio, a iluminação de emergência pode ser de dois tipos:

Conceituação básica da segurança contra incêndio

- de balizamento: associada à sinalização de indicação das rotas de fuga, permite a orientar os usuários no sentido e na direção, em caso de emergência;

- de aclaramento: destina-se a iluminar o ambiente de permanência e as rotas de fuga, possibilitando aos ocupantes uma evacuação segura; pode substituir parcialmente a iluminação artificial normal, que pode falhar ou ser desligada em caso de incêndio (por isso a iluminação de emergência deve ter fonte de energia própria).

No caso do sistema de aclaramento, pode-se trabalhar com dois métodos de iluminação: a permanente (as instalações ficam acesas nas áreas comuns, alimentadas pelo sistema normal do edifício, trocando automaticamente para o sistema de alimentação própria em caso de emergência) e a não-permanente (as instalações permanecem desligadas nas áreas comuns, sendo acionadas somente em situações de emergência, alimentadas por fonte própria).

O sistema de iluminação de emergência deve ser disposto em grandes ambientes e ao longo das rotas de fuga (corredores, acessos, passagens, antecâmaras e patamares de escadas).

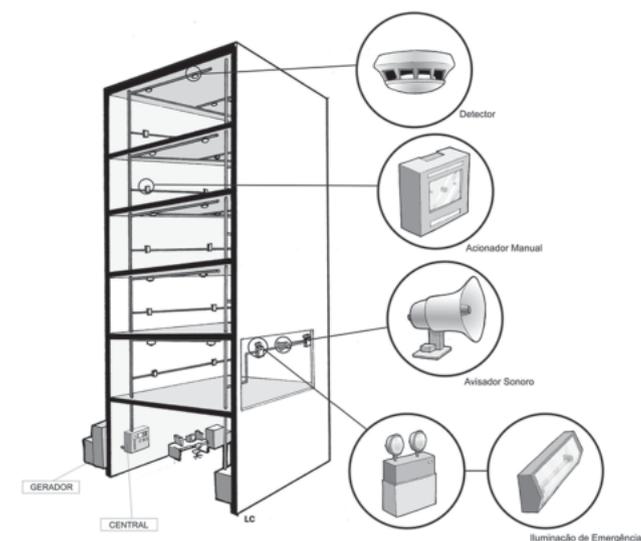


Figura 2.17 – Sistemas de detecção e alarme de incêndio e de iluminação de emergência

2.4.2.3 Sinalização de emergência

O sistema de sinalização de emergência em um edifício possui duas funções distintas: reduzir a possibilidade de ocorrência de incêndios (alertar para riscos potenciais, incentivar ações preventivas, proibir ações de risco); e orientar em caso de incêndio (indicar localização dos equipamentos de combate e orientar seu uso; indicar rotas de fuga).

Dentro dessas funções, a sinalização de emergência é dividida em quatro categorias:

- sinalização de alerta: alerta para áreas e materiais com potencial de risco;
- sinalização de proibição: proíbe ações capazes de iniciar um incêndio;
- sinalização de condições de orientação e salvamento: indica as rotas de saídas e explica as ações necessária para seu acesso;
- sinalização dos equipamentos de combate: indica os tipos e a localização dos equipamentos de combate.

A sinalização de emergência deve ser planejada, de forma a estar compatível com o projeto de comunicação visual da edificação, notando-se que existem padrões universais de caracteres e pictogramas, assim como de dimensionamento, adotados em normas e códigos de segurança contra incêndio (Figura 2.18).



Figura 2.18 – Sinalização de emergência

2.4.2.4 Meios de combate a incêndios

Dentro do conjunto de medidas da proteção ativa, os meios de combate a incêndios são aqueles utilizados para controlar o incêndio quando as medidas preventivas falham, e o incêndio teve início. Para que o sistema de combate cumpra seu papel, é necessário que seu dimensionamento seja feito corretamente.

A seguir estão listados os principais meios de combate a incêndios:

Extintores portáteis e sobre rodas – o extintor portátil é um equipamento de combate ao fogo de acionamento manual, constituído por recipiente, acessório e agente extintor. O extintor sobre rodas é constituído pelos mesmos itens, com a adição de uma carreta para o manuseio, devido a seu peso elevado (por conter agente extintor em maior quantidade).

A principal função dos extintores é combater o foco de um incêndio. Para que isso possa acontecer, é necessário que a operação do equipamento seja simples (qualquer usuário do edifício pode acioná-lo) e de preparação rápida (é necessário que o usuário não perca muito tempo preparando-o para o uso).

Os agentes extintores mais comuns são: água, pó químico seco e dióxido de carbono. O tipo de extintor deve ser escolhido em função do tipo de incêndio (ou seja, as propriedades dos materiais que podem se inflamar) que pode ocorrer no local. A quantidade de extintores deve ser dimensionada a partir da área a ser protegida e das distâncias a serem percorridas para alcançar o extintor. A sua instalação deve considerar também a visibilidade do equipamento e a dificuldade de obstrução de seu acesso (Figura 2.19).

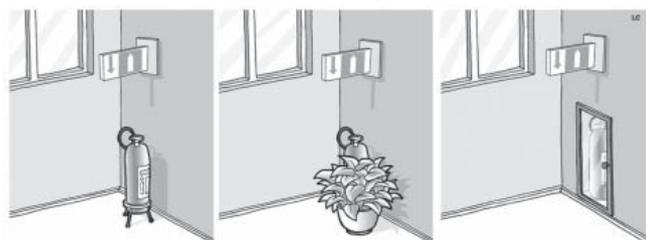


Figura 2.19 – Extintores portáteis de incêndio

A instalação dos extintores portáteis deve obedecer a alguns padrões mínimos: a altura da instalação precisa levar em conta a ergonomia, pensando no manuseio do equipamento. Também deve ser mantida uma distância mínima do piso (consideração de manutenção: manter o extintor acima do solo permite que o piso seja lavado sem que o recipiente entre em contato com água, acabando por oxidar-se), podendo ser usados suportes para o caso de extintores apoiados sobre o piso. Independente das especificidades de edifício, no mínimo duas unidades extintoras devem ser previstas: uma destinada à proteção de incêndios em combustíveis sólidos (extintor de água pressurizada), e outra, em equipamentos elétricos energizados (extintor de dióxido de carbono ou pó químico seco).

Sistema de hidrantes – nos casos em que o combate por extintores manuais torna-se insuficiente, o sistema de hidrantes deve ser acionado. Este é basicamente um sistema fixo de condução e distribuição de tomadas de água com determinada pressão e vazão em uma edificação. O sistema (Figura 2.20) é composto por:

- reservatório de água;
- sistema de pressurização mecânica (quando os desníveis geométricos entre o reservatório e os hidrantes não propiciarem pressão e vazão mínima requeridas ao sistema);
- conjunto de peça hidráulicas e acessórios (registros, válvulas de retenção, esguichos, mangueiras, etc);
- tubulação (responsável pela condução

Conceituação básica da segurança contra incêndio

de água, dimensionada a partir de cálculos hidráulicos);

- forma de acionamento do sistema (sistema de acionamento das bombas – botoadeiras, pressostatos, chaves de fluxo, etc).

Os hidrantes devem ser instalados em todos os pavimentos, em local protegido dos efeitos do incêndio, nas proximidades das escadas de segurança. O número de pontos de hidrantes depende da área de cada pavimento e a capacidade de alcance das mangueiras conectadas para o combate ao fogo.

Adicionalmente, a tubulação do sistema deve possuir um prolongamento até o exterior da edificação, num ponto denominado válvula de recalque, que permite, quando necessário, recalcar água de fontes externas para os hidrantes internos através do sistema de bombeamento das viaturas do Corpo de Bombeiros.

O sistema de hidrantes requer um treinamento do pessoal envolvido no seu manuseio, para garantir o uso seguro e correto (Figura 2.21).

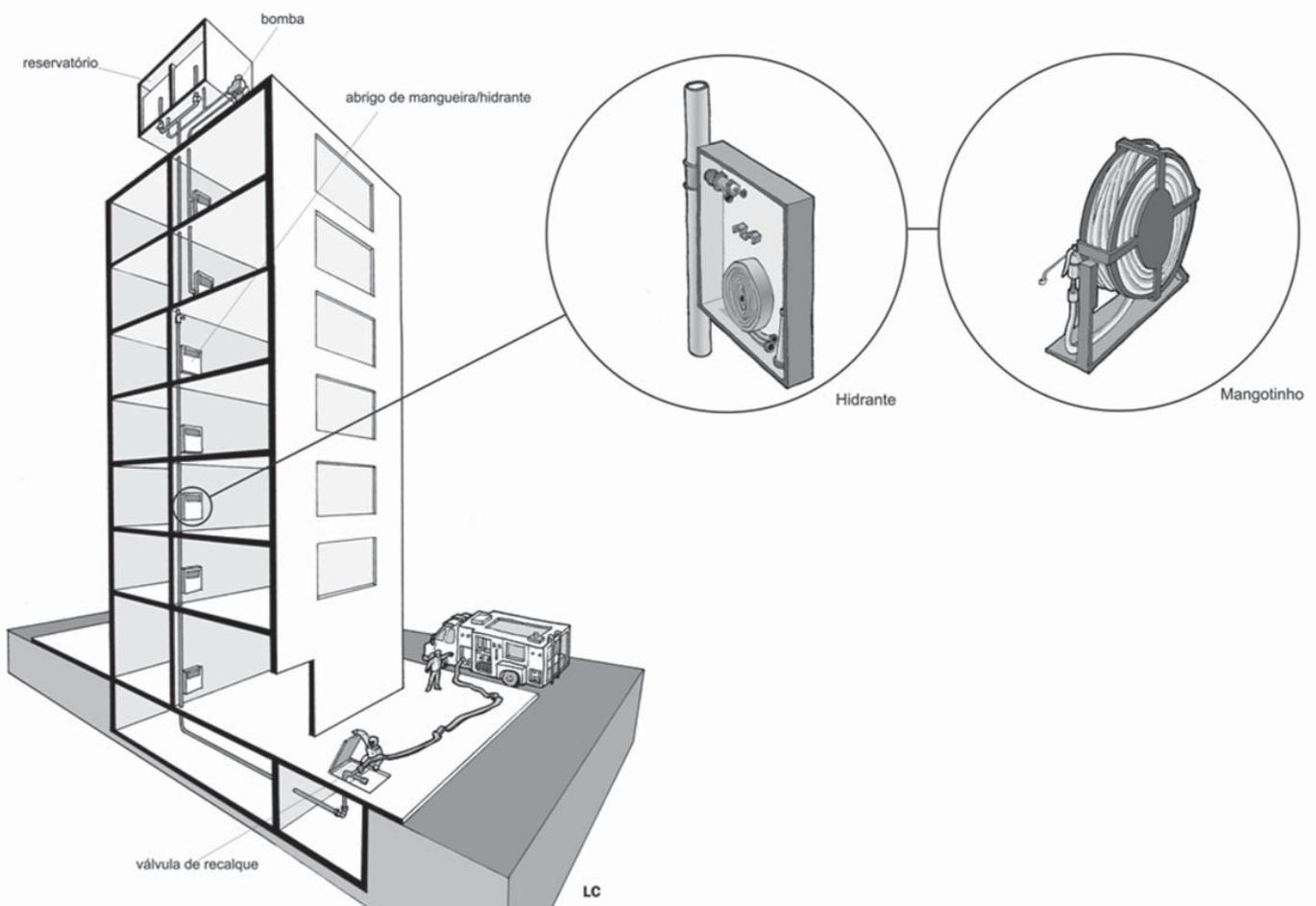


Figura 2.20 - Sistema de hidrantes e mangotinhos

Sistema de Mangotinhos

Uma alternativa ao sistema de hidrantes prediais é o sistema de mangotinhos. Recomenda-se a utilização deste sistema principalmente em locais onde a operação de combate ao incêndio será efetuada por pessoas não-habilitadas (por exemplo, em um edifício residencial, onde um morador pode precisar combater o incêndio).

O sistema pode ser operado de maneira rápida por uma única pessoa (Figura 2.21). O operador pode também contar com uma grande autonomia do sistema, devido ao seu baixo consumo de água. A mangueira já está conectada à saída de água.

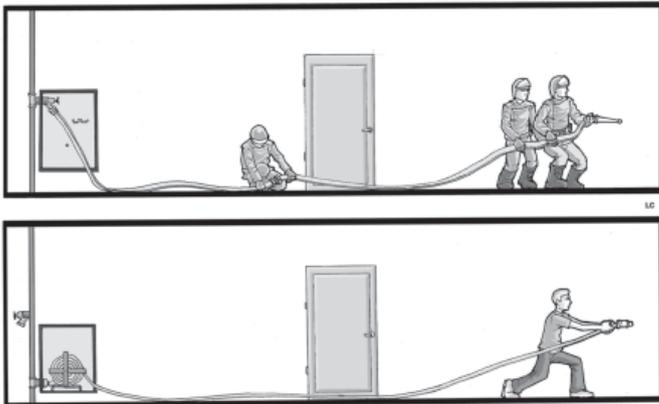


Figura 2.21 – Manuseio de hidrantes (ilustração superior) e mangotinhos (ilustração inferior)

Sistema de Chuveiros Automáticos (“sprinklers”)

O sistema de chuveiros automáticos tem como objetivo detectar e combater o incêndio em seu início, com a finalidade de conter os prejuízos materiais causados a uma área restrita.

Desenvolvido nos Estados Unidos (por essa razão, conhecido pelo termo inglês “sprinkler”), o sistema de chuveiros automáticos é constituído por uma rede hidráulica fixa contendo um suprimento de água sob pressão. A rede distribui-se pelo edifício e dispositivos de aspersão de água são distribuídos de ma-

neira uniforme pela área a ser protegida. Eles são acionados, individualmente, por meio de um elemento termo sensível que se rompe por ação do calor proveniente do foco de incêndio, permitindo a descarga d’água sobre o princípio de incêndio, se adequadamente projetado (Figura 2.22).

A utilização do sistema de chuveiros automáticos é recomendada quando o edifício possui pavimentos com grandes áreas sem compartimentação.

O dimensionamento é feito levando em conta a severidade estimada do incêndio, os níveis de pressão mínimos em todos os pontos da rede e a distribuição de água de maneira homogênea, dentro de uma área de influência pré-determinada. Existem vários modelos de bicos de chuveiros automáticos (Figura 2.23), que se diferenciam em função da sensibilidade à temperatura, da distribuição de água e se embutido ou não.

Sistemas Fixos de Extinção por CO₂ ou outros gases inertes

Recintos que necessitam de um sistema de extinção por agente “limpo” devido ao valor dos objetos nele presentes podem fazer uso do sistema de combate por CO₂ ou outros gases inertes. Nesse caso, o agente extintor inunda o ambiente, conseguindo a extinção do incêndio por abafamento, sem que o agente afete os equipamentos presentes ou mesmo permaneça no local após o combate, como no caso da água ou da espuma mecânica. Este sistema é composto por uma bateria do gás inerte, uma tubulação fixa de distribuição com aspersores e um circuito de detecção de incêndio que comanda a liberação do gás (Figura 2.24).

A disposição de sprinklers em um projeto pode apresentar vários problemas. A Figura 2.22 representa, a partir da esquerda, situações em que os sprinklers têm seus jatos bloqueados por vigas, paredes e dutos de ar condicionado.

Conceituação básica da segurança contra incêndio

Somente o chuveiro da extrema direita está agindo em sua amplitude correta.



Figura 2.22 – Influência de obstáculos no desempenho dos chuveiros automáticos

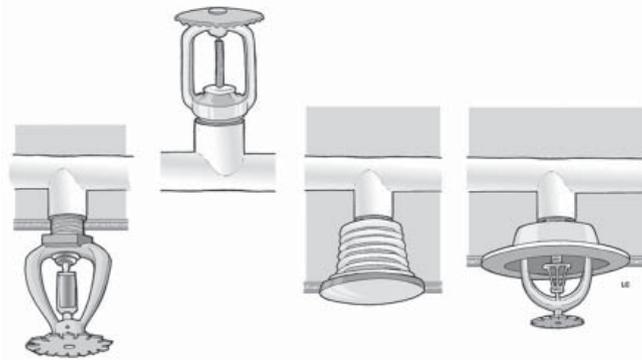


Figura 2.23 – Exemplos de bicos de chuveiros automáticos

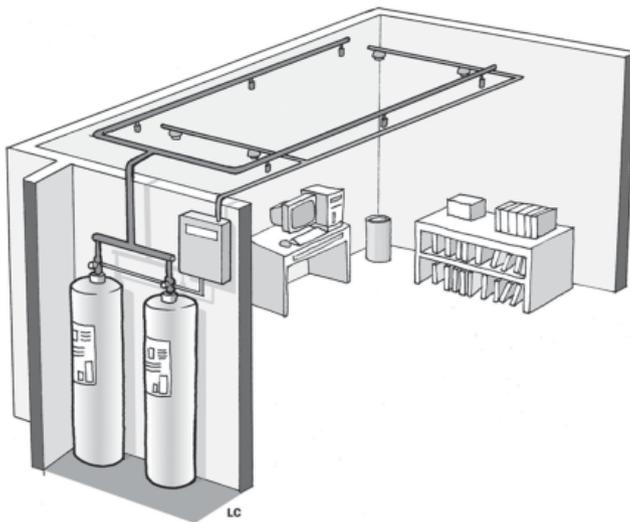


Figura 2.24 – Sistema de combate por gases inertes

2.5 Planejamento Urbano

Por mais que se tomem medidas para evitar ou amenizar os incêndios em edificações, vez por outra eles podem ocorrer. Nesses casos, a ação do Corpo de Bombeiros é fundamental para evitar que os incêndios transformem-se em grandes tragédias, e faz parte do trabalho do arquiteto facilitar essa ação.

O acesso à edificação é um ponto crítico dentro do combate a incêndios; e por “acesso” deve-se entender desde o trajeto do quartel dos bombeiros ao local da ocorrência até o alcance que os bombeiros terão da via à edificação. Para garantir que fatores arquitetônicos não dificultem o combate ao incêndio, os arquitetos dispõem de algumas ferramentas básicas.

O dimensionamento das vias urbanas, por exemplo, é fundamental para garantir que as viaturas de bombeiros possam transitar livremente até o local do combate. Dados como a largura e altura livre da via, bem como o peso a que ela deve resistir, devem levar em consideração as especificações das viaturas dos bombeiros (Figura 2.25). O correto posicionamento de retornos nas vias mais extensas também deve ser considerado. Os principais tipos de caminhões de bombeiros apresentam dimensões aproximadas às apresentadas na Figura 2.25, onde o caminhão auto-tanque, à esquerda, é utilizado para transportar água para locais que não contam com hidrantes urbanos e, à direita, o caminhão auto-bomba que recebe água dos hidrantes urbanos e gera pressão adequada para o combate ao incêndio.

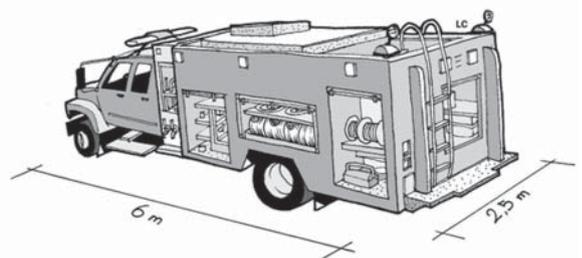
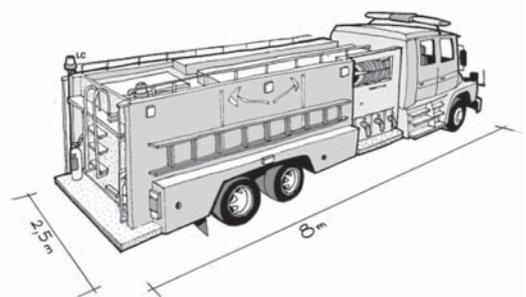


Figura 2.25 – Principais tipos de veículos de bombeiros

Levando em conta essas preocupações, não só estarão sendo criadas vias que comportam as viaturas dos bombeiros, mas também vias generosas e seguras para o trânsito normal (Figura 2.26).



Figura 2.26 – Características das vias de acesso para veículos de bombeiro

Uma vez que a viatura chegue ao local do incêndio, é necessário que ela possa ter acesso à edificação propriamente dita (Figura 2.27). Condomínios de residências unifamiliares, condomínios industriais e comerciais precisam ter vias internas de acesso adequadas ao deslocamento dos carros de bombeiros. Portais de entrada, muito comuns nessas tipologias de edificações, precisam levar em consideração as dimensões mínimas necessárias para o acesso seguro. Além disso, o perímetro do lote onde a edificação se encontra precisa apresentar faixa de estacionamento adequada (que tenha as dimensões mínimas, bem como a declividade e a proximidade da fachada).

O acesso da via até pelo menos uma das fachadas do edifício deve estar desobstruído. Muitas vezes, o combate pode ser dificultado por uma intervenção paisagística ou por uma área de estacionamento situada entre a via e a fachada do edifício. Outras situações como muros altos, instalação de painéis publicitários, postes e fiações elétricas, também podem se tornar obstáculos ao acesso. O arquiteto pode dar soluções que não comprometam as necessidades do programa, caso tenha consciência desses fatores citados.

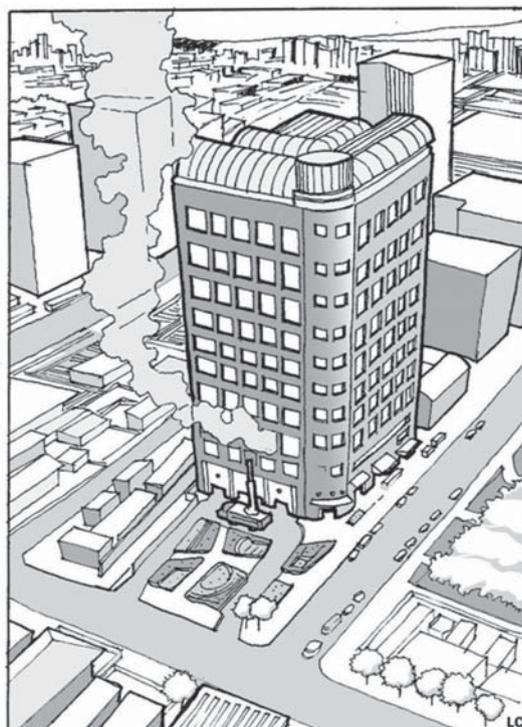
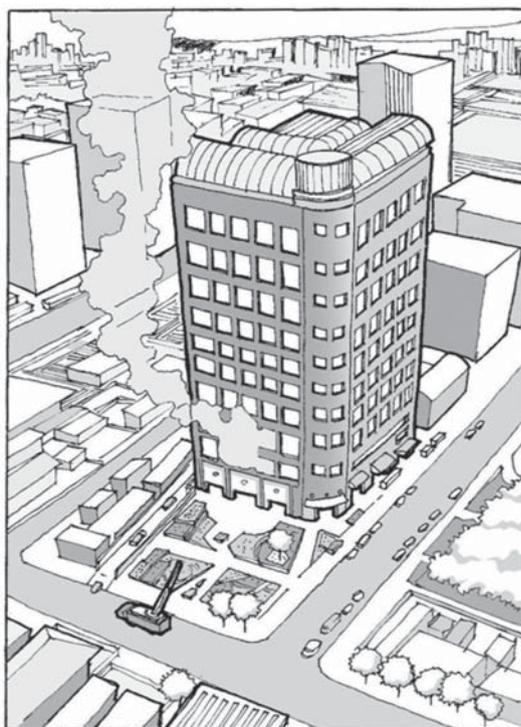


Figura 2.27 – Acesso de veículos de bombeiros ao lote: dificuldade de acesso ilustrada na figura de cima; solução prevista para facilitar o acesso, ilustrada na figura de baixo.

Conceituação básica da segurança contra incêndio

A proteção contra incêndio das cidades insere-se dentro de um contexto urbano mais amplo que não pode esquecer também a rede de proteção por hidrantes urbanos (Figura 2.28), bem como os cuidados para que esses equipamentos sejam voltados para a rua e não venham a ser obstruídos por intervenções posteriores. Tais cuidados fazem também parte das ferramentas de projeto do arquiteto enquanto planejador urbano.

Os hidrantes urbanos são equipamentos mantidos pelo poder público ou pela concessionária de água da cidade, instalados nos passeios públicos e que precisam estar permanentemente desobstruídos, voltados para o logradouro público, para permitir a conexão com o veículo de bombeiro que será abastecido para o combate ao fogo nas proximidades (Figura 2.28).

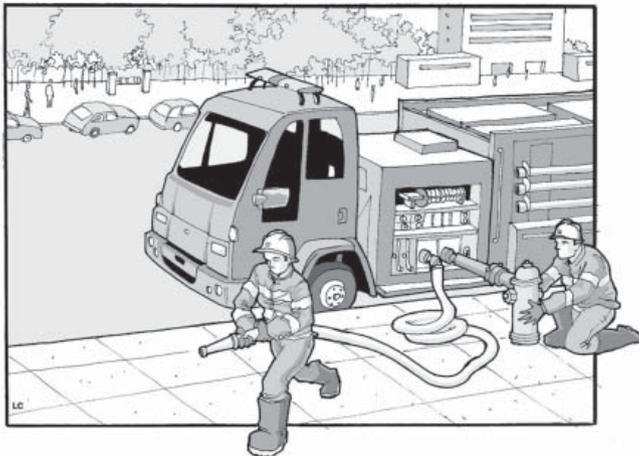


Figura 2.28 – Hidrantes urbanos

Capítulo 3

Exigências de resistência ao fogo

3.1 Curvas de incêndio

Uma estrutura, em condições normais de uso, é considerada segura quando apresenta capacidade para suportar, sem grandes deformações, os esforços provenientes das ações da gravidade e do vento. Uma estrutura, em situação de incêndio, é considerada segura quando possui capacidade para suportar, sem colapso, os esforços, considerando-se a redução de resistência dos materiais estruturais devido à exposição a altas temperaturas.

O aço, o concreto, assim como outros materiais estruturais, quando submetido a altas temperaturas sofrem redução de resistência (Figura 3.1) e de módulo de elasticidade (rigidez) (Figura 3.2).

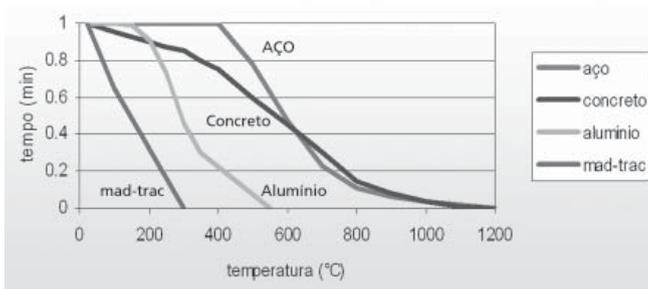


Figura 3.1.- Redução da resistência ao escoamento em função da temperatura

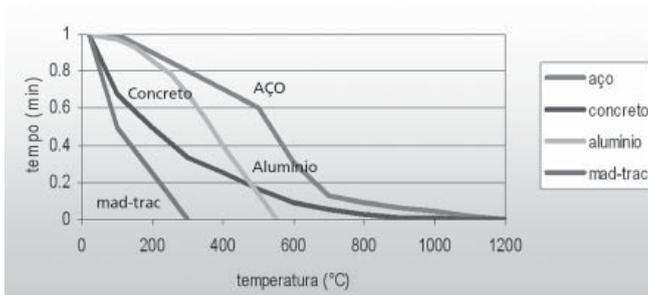


Figura 3.2.- Redução do módulo de elasticidade em função da temperatura

A segurança estrutural em incêndio, visando a proteção à vida, deve ser verificada de modo a evitar que a edificação colapse prematuramente antes da desocupação do edifício. São aceitáveis ruínas localizadas que não determinem colapso total da edificação.

A temperatura que causa o colapso de um

elemento estrutural em situação de incêndio é denominada temperatura crítica. A temperatura crítica pode ser calculada em função do nível de carregamento e das dimensões do elemento estrutural (Silva, 2004). Quanto menor o nível de carregamento, maior será o valor da temperatura crítica.

A segurança estrutural em incêndio é verificada se a temperatura atuante no elemento estrutural for menor do que a temperatura crítica. A temperatura atuante é determinada em função da temperatura do incêndio. A severidade de um incêndio real pode ser estimada a partir das características do compartimento em sinistro. As principais características são:

- Quantidade e tipo da carga de incêndio, assim chamado o material combustível formado pelo mobiliário, revestimento de pisos e paredes, etc;
- Dimensões das janelas, por onde entra o oxigênio que é o material comburente da combustão;
- Características térmicas dos vedos (piso, paredes e teto), que impedem a propagação do incêndio para fora do compartimento.

A partir dessas características, entre outras, é possível se determinar uma curva temperatura-tempo que representa a variação da temperatura média dos gases quentes que tomam o compartimento, em função do tempo. Por se tratar de um modelo matemático, ele não é denominado de incêndio real, mas de incêndio natural compartimentado. A curva natural, bem como a real, possui um ramo ascendente e, após o material combustível ter sido consumido, um ramo descendente (Figura 3.3).

A máxima temperatura atuante nos elementos de aço, em incêndio, está associada ao máximo valor encontrado na curva natural do incêndio. Em projeto, deve se demonstrar que a temperatura máxima no aço é menor do que a temperatura crítica. Apesar de a engenharia de segurança contra incêndio ter evoluído bastan-

te nos últimos anos e modelos computacionais de incêndio, muito refinados, já serem de uso comum em universidades, o meio técnico ainda não se adaptou a essa evolução.

É de costume, em códigos e normas nacionais e internacionais, permitir-se o emprego de uma curva temperatura-tempo simplificada, denominada curva do incêndio-padrão (Figura 3.3). A curva-padrão é uma curva que simula apenas a fase de aquecimento dos gases por meio de uma expressão logarítmica que correlaciona a temperatura ao tempo (ABNT NBR 5628:2001; ISO, 1990). Independe das características do compartimento mencionadas antes. Portanto, não é propriamente uma curva de incêndio. Trata-se de uma simplificação, que pode ser empregada, mas com os devidos cuidados.

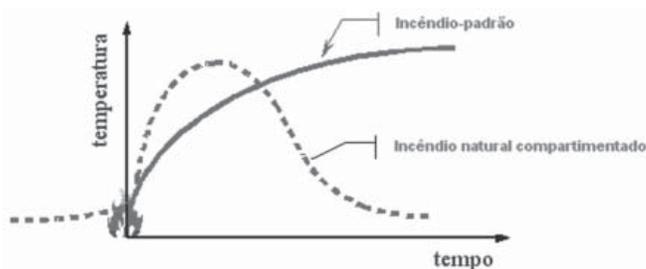


Figura 3.3.- Curvas temperatura-tempo

Observando-se a curva-padrão, nota-se que ela não passa por um máximo, portanto, com base nessa idealização do incêndio, a temperatura do aço também ascenderia indefinidamente. Para resolver esse problema de projeto, é corrente se preestabelecer o valor de um tempo em que a curva de aquecimento pode ser interrompida. Esse tempo é denominado tempo requerido de resistência ao fogo - TRRF.

A determinação dos valores de TRRF - tempo requerido de resistência ao fogo tem, por expectativa, encontrar a temperatura no aço correspondente a esse tempo, via curva-padrão, que seja igual à máxima temperatura

que seria encontrada por meio da curva natural.

O tempo requerido de resistência ao fogo é, portanto, o mínimo tempo que um elemento construtivo deve resistir, quando sujeito ao incêndio-padrão. Por se tratar de uma curva padronizada e não de uma curva temperatura-tempo de um incêndio real, esse tempo é utilizado apenas para fins de verificação de projeto ou de dimensionamento do material de revestimento contra fogo. Não se trata, pois, do tempo real de duração do incêndio ou de desocupação do edifício ou tempo de chegada do socorro.

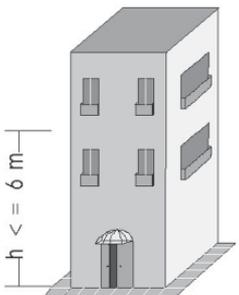
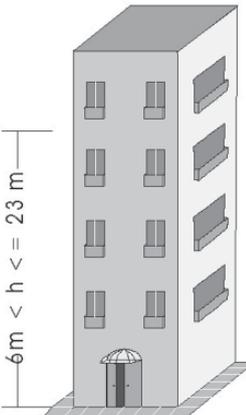
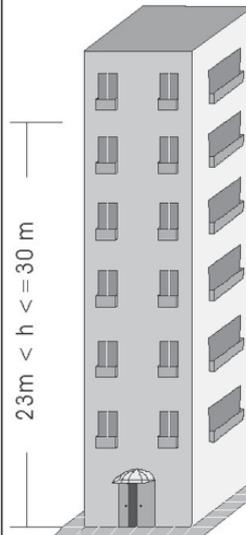
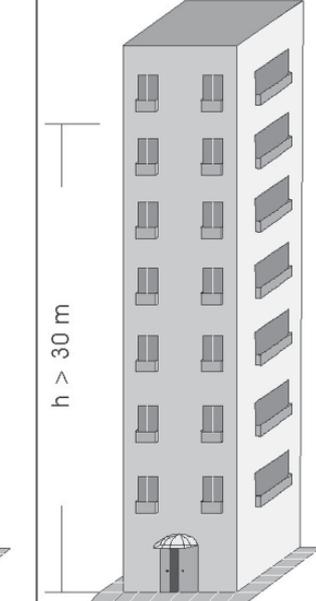
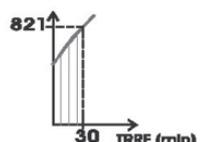
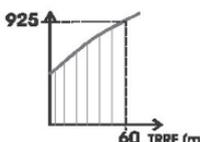
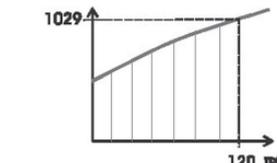
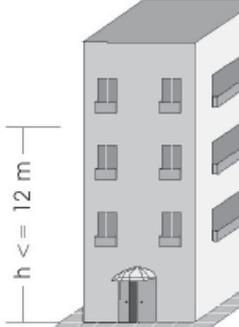
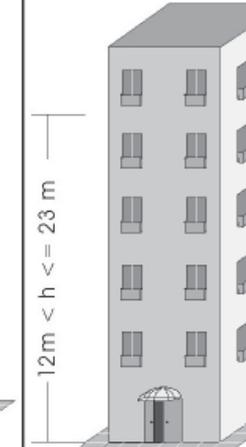
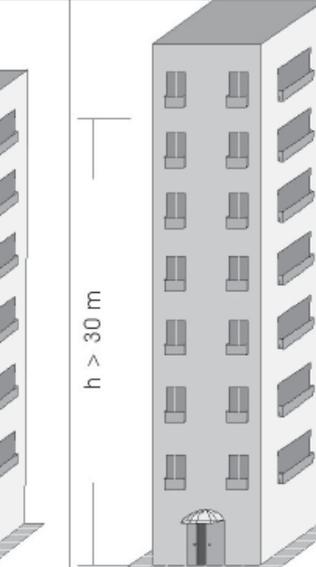
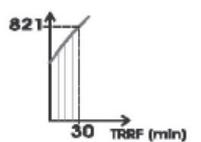
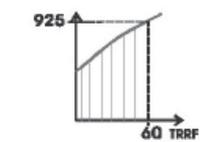
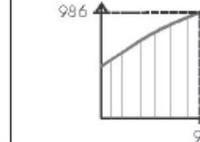
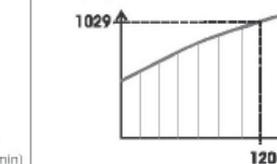
3.2 Método tabular

O TRRF poderia ser calculado pela engenharia de segurança contra incêndio, empregando-se formulações e conceitos científicos rigorosos, mas seria extremamente trabalhoso e variaria de edificação para edificação. Por simplicidade de projeto, esse valor é definido por meio de consenso da sociedade em função do uso da edificação e de suas dimensões e consagrado em normas ou códigos.

Dessa forma, os códigos, ao invés de exigirem segurança à temperatura, exigem segurança por um determinado tempo, TRRF, associado à curva-padrão de elevação de temperatura.

Os valores do TRRF geralmente são 30 min, 60 min, 90 min e 120 min. A NBR 14432:2000 fornece os TRRF para diversas ocupações. Um resumo é apresentado na Figura 3.4.

Exigências de resistência ao fogo

<p>HOTEL ESCRITÓRIO HOSPITAL</p>	 <p>$h \leq 6 \text{ m}$</p>	 <p>$6 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$</p>	 <p>$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$</p>	 <p>$h > 30 \text{ m}$</p>
<p>TRRF</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>821 30 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>925 60 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>986 90 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>1029 120 TRRF (min)</p>
<p>RESIDÊNCIA ESCOLA</p>	 <p>$h \leq 12 \text{ m}$</p>	 <p>$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$</p>	 <p>$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$</p>	 <p>$h > 30 \text{ m}$</p>
<p>TRRF</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>821 30 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>925 60 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>986 90 TRRF (min)</p>	<p>Evolução da temperatura dos gases ($^{\circ}\text{C}$)</p>  <p>1029 120 TRRF (min)</p>

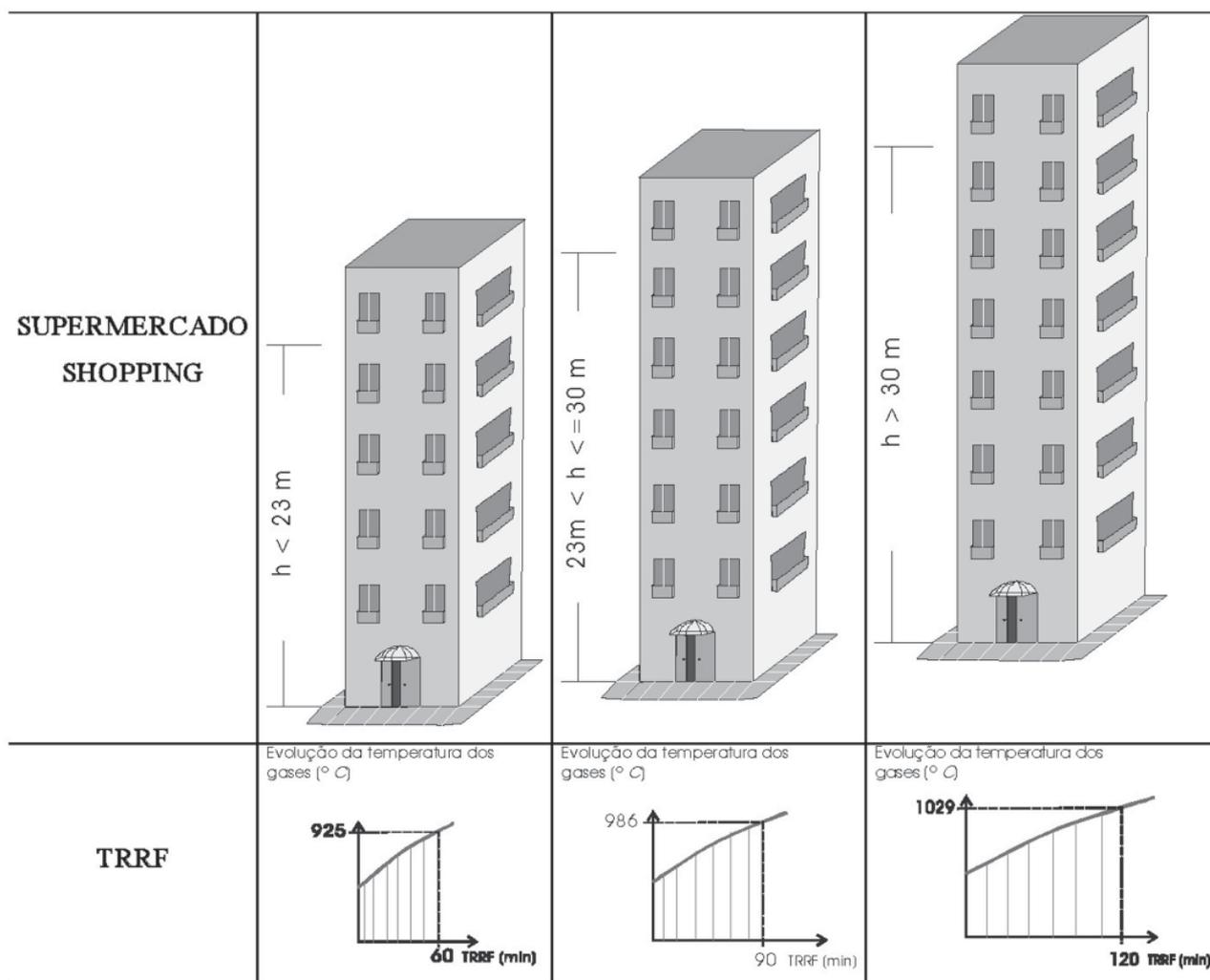


Figura 3.4 – TRRF em função das características das edificações

Na Figura 3.4, h representa a distância compreendida entre o ponto que caracteriza a saída (situado no nível de descarga do prédio) e o piso do último pavimento, excetuando-se zeladorias, barrilete, casa de máquinas, piso técnico e pisos sem permanência humana.

O risco de incêndio é definido pela superposição das probabilidades que envolvem o perigo de ativação e propagação do incêndio e de suas consequências. Apesar de os valores dos TRRF apresentados na Figura 3.4 não terem base científica, eles procuram ser compatíveis com a definição de risco. O tipo de uso da edificação está associado ao perigo, por sua vez a altura está associada às consequências de um incêndio. Um aspecto fundamental para reduzir a probabilidade de

propagação é a compartimentação (vide capítulo 1) que, apesar de não ser explicitada na Figura 3.4, deve ser respeitada.

3.3 Exemplo de cálculo do TRRF

Determinar o TRRF para uma escola com seis pavimentos, com altura do compartimento de 3 m, e área de 400 m² por pavimento. A cobertura é constituída por laje com telha, não havendo permanência de pessoas. Como medidas de segurança contra incêndio existem as determinadas pelos códigos e a brigada contra incêndio não-profissional.

1º Passo: Determinar a altura da edificação (h)

Altura da edificação h é a distância compreendida entre o ponto que caracteriza a saída situada no nível no qual uma porta conduz ao exterior do prédio (nível de descarga) e o piso do último pavimento, excetuando-se zeladorias, barrilete, casa de máquinas, piso técnico e pisos sem permanência humana. Portanto, $h = 15,00$ m.

2º Passo: Consultar a Figura 3.4 para determinar o TRRF

Obtida a altura da edificação, combina-se a linha altura com a coluna ocupação/uso, neste caso temos a linha escola, e a coluna $12m < h \leq 23m$.

Dessa combinação, tem-se TRRF = 60min.

Os elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) devem ter, portanto, resistência ao fogo de 60 min para a curva de aquecimento dos gases conforme o incêndio-padrão. Da mesma forma, os elementos de compartimentação (paredes resistentes ao fogo) devem possuir a mesma resistência ao fogo.

3.4 Método do tempo equivalente

Outra maneira de se determinar o TRRF é por meio do método do tempo equivalente. No Anexo A esse método é apresentado de forma detalhada incluindo limitações de uso e exemplo de aplicação.

Com base no método do tempo equivalente, pode-se qualificar a influência de alguns parâmetros arquitetônicos nas exigências de resistência ao fogo das estruturas.

As exigências de resistência ao fogo são funções dos seguintes parâmetros:

- carga de incêndio específica – valor definido em normas em função do tipo de ocupação da edificação e medido em unidade de energia térmica por área de piso (MJ/m^2). Por exemplo: $700 \text{ MJ}/\text{m}^2$ para escritórios, $300 \text{ MJ}/\text{m}^2$ para escolas e $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$ para lojas de departamentos;
- medidas de proteção ativa – a presença simultânea ou não de chuveiros automáticos, detectores de calor ou fumaça e brigada contra incêndio permite reduzir as exigências de resistência ao fogo das estruturas. Geralmente essas medidas são exigidas pelo Corpo de Bombeiros para edifícios de maior porte, mas, mesmo para edifícios em que elas não sejam exigidas, vale a pena analisar as vantagens de sua utilização;
- dimensões da edificação – Conforme mencionado no capítulo 1 deste livro, as edificações são divididas em compartimentos estanques ao fogo. As dimensões máximas desses compartimentos são definidas em códigos do Corpo de Bombeiros.
- altura do compartimento – quanto maior o pé-direito menor a exigência de resistência ao fogo;
- área de aberturas para o exterior da edificação – em incêndio, admite-se que os vidros das janelas se quebrem, assim pode-se considerar que todas as janelas para o exterior do compartimento estão abertas. Quanto maior for essa área, tanto menor será o tempo exigido de resistência ao fogo das estruturas.

Capítulo 4

Estruturas de aço sem
revestimento contra fogo

Estruturas de aço sem revestimento contra fogo

4.1 Edificações de baixo risco

Há edificações em que o risco à vida humana em incêndio é muito baixo, devido a suas dimensões e uso. Contribuem para reduzir o risco, uma ou mais das seguintes características:

- Área e altura pequenas das edificações;
- Baixa carga de incêndio;
- Medidas de segurança contra incêndio, tais como: chuveiros automáticos, detecção de calor ou de fumaça, brigada contra incêndio, saídas de emergência adequadas, etc;
- Minimização da propagação por meio de compartimentação vertical e horizontal;
- Aspectos relacionados ao combate: acessibilidade, fachadas de aproximação, qualidade do corpo de bombeiro ou brigada;
- Condições de exposição ao fogo: elemento estrutural integrado a paredes, misto de aço e concreto.

É possível demonstrar-se que, as edificações com baixo risco dispensam o revestimento contra fogo das estruturas, por meio da engenharia de segurança contra incêndio. No entanto, ainda não é uma prática habitual no Brasil em vista de ser uma área científica nova. Dessa forma, para não encarecer desnecessariamente a construção civil brasileira, foi estabelecido por consenso e consagrado na ABNT NBR 14432:2000, um rol de edificações para as quais é dispensada a comprovação de resistência ao fogo das estruturas. São as denominadas edificações isentas dos requisitos de resistência ao fogo e apresentadas a seguir. Todas as edificações relacionadas como isentas

dos requisitos de resistência ao fogo devem possuir as saídas de emergência dimensionadas conforme ABNT NBR 9077:2001.

As edificações para qualquer uso ou ocupação, com altura menor ou igual a 12m, cuja área total seja menor ou igual a 750m².



Figura 4.1 - clínica médica - Proj. Siegbert Zanettini - SP (Foto: Sidney Palatnik)



Figura 4.2 - Loja em construção restaurada - Mangal das Garças - Belém - Pará (Foto: Sidney Palatnik)

A NBR 14432 não define área total, apenas área bruta do pavimento, como sendo a medida, em qualquer pavimento de uma edificação, do espaço compreendido pelo perímetro interno das paredes externas e paredes cortafogo, excluindo-se a área de antecâmaras e dos recintos fechados de escadas e rampas.

Assim, a área total será a soma das áreas dos pavimentos, como definido acima.

O decreto-lei do Estado de São Paulo 46076/01, no seu artigo 21, diz que no cálculo da área a ser protegida com as medidas de segurança contra incêndio, não serão computados:

- Beirais de telhados até 1m de projeção;
- Passagens cobertas, com largura máxima de 3 m, com laterais abertas destinadas apenas à circulação de pessoas ou mercadorias;
- Escadas enclausuradas, incluindo as antecâmeras.

As edificações cuja área total seja menor ou igual a 1500 m², com no máximo dois pavimentos, com carga de incêndio específica menor ou igual a 1000 MJ/m².



Figura 4.3 - Concessionária de veículos - Marginal Tietê - SP (Foto: Sidney Palatnik)

Essa isenção depende, portanto, da carga de incêndio da edificação. Para isso é necessário consultar a NBR14432 que apresenta uma tabela de valores de carga de incêndio para diversas ocupações.

Enquadram-se nessa isenção as seguintes edificações:

- Escolas, escritórios, consultórios, agências bancárias, academias, apartamentos, além de outras ocupações relacionadas na tabela C.1 do anexo C da NBR14432, cuja carga de incêndio específica é inferior a 1000 MJ/m².

A exemplo da IT08 do CB/SP, propõe-se que na futura revisão da NBR 14432 sejam excluídas da isenção acima as edificações:

- Lojas, supermercados, mercados, shopping centers, escolas para deficientes, museus, bibliotecas, teatros, auditórios, boates, clubes, bingos, asilos, orfanatos hospitais, postos de saúde e penitenciárias.

Essas ocupações representam um maior risco à vida humana, devido à presença de grande número de pessoas ou alta carga de incêndio ou às condições físicas dos usuários.

As edificações para academia de ginástica, com altura menor ou igual a 12 m.

A NBR 14432 não isenta esse tipo de ocupação. A exemplo da IT08 do CB/SP, propõe-se que na futura revisão da NBR 14432, seja incluída essa isenção.

Enquadrar-se-iam nessa isenção as academias de ginástica, desde que em seus cômodos/compartimentos, os materiais de acabamento e revestimentos fossem incombustíveis.



Figura 4.4 - Academia-São Paulo/SP

Estruturas de aço sem revestimento contra fogo

Algumas edificações de locais de reunião pública com altura menor ou igual a 23 m.

Enquadram-se nessa isenção as seguintes edificações:

- Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas;
- Estações rodoviárias, ferroviárias, aeroportos.



Figura 4.5 - Ginásio Barueri-SP



Figura 4.6 - Aeroporto de Brasília - Prof. Sergio Parada - Brasília - DF (Foto: Sidney Palatnik)

Algumas edificações para serviços automotivos com altura menor ou igual a 30m, abertas lateralmente, com estrutura de aço, de concreto armado ou protendido.

Enquadram-se nessa isenção as seguintes edificações:

- Garagens automáticas, garagens sem automação e sem abastecimento.

Edificação aberta lateralmente é aquela que:

- Tem ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, providas por aberturas que possam ser consideradas uniformemente distribuídas e que tenham comprimentos em planta que somados atinjam pelo menos 40% do perímetro e áreas que somadas correspondam a pelo menos 20% da superfície total das fachadas externas; ou,

- Tem ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, providas de aberturas, cujas áreas somadas correspondam a pelo menos 1/3 da superfície total das fachadas externas, e pelo menos 50% destas áreas abertas situadas em duas fachadas opostas.

Além disso, as seguintes condições construtivas devem ser respeitadas:

- As vigas devem ser mistas (com conectores de cisalhamento). Os perfis metálicos das vigas devem ter fator de massividade menor ou igual a 350 m^{-1} ;

- Os pilares devem ter fatores de massividade menor ou igual a 250 m^{-1} ;

- Os elementos responsáveis pela estabilidade estrutural em situação de incêndio, definidos pelo projetista, devem ser verificados para um TRRF de 30 min.

As edificações para depósitos com baixo risco de incêndio, com altura menor ou igual a 30 m, com estrutura em concreto armado ou protendido ou em aço.

Enquadram-se nessa isenção as seguintes edificações:

- Depósitos sem risco de incêndio expressivo, por exemplo, que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais ou outros materiais incombustíveis.

As edificações térreas de uso industrial, incluindo suas coberturas, com carga de incêndio específica menor ou igual a 1200 MJ/m²,

A maior parte das indústrias apresenta carga de incêndio inferior a 1200MJ/m², conforme Anexo C da NBR 14432, são exceções as de materiais sintéticos ou plásticos, papelões betuminados, produtos com albumina, produtos com amido, produtos de limpeza, rações, resinas, tintas e solventes, tratamento de madeira, cereais, espumas, farinhas, gráficas (empacotamento).

As edificações térreas, incluindo suas coberturas, utilizadas como depósito, com carga de incêndio específica menor ou igual a 2000 MJ/m².

Quando o material armazenado for bem definido e sujeito a pequena variação, pode-se determinar a carga de incêndio específica por meio de um levantamento conforme item C.2 da NBR14432. Se esse valor for inferior a 2000 MJ/m², a edificação estará isenta dos requisitos de resistência ao fogo.

Quando o material armazenado for indeterminado, não havendo o controle da carga de incêndio, as estruturas portantes da edificação e de sua cobertura (ver item 4.2) devem atender aos requisitos de resistência ao fogo.

As edificações térreas, incluindo suas coberturas que forem providas de chuveiros automáticos.

As edificações térreas, incluindo suas coberturas com área total menor ou igual a 5000 m², com pelo menos duas fachadas de aproximação que perfaçam no mínimo 50% do perímetro.

De acordo com a NBR 14432, fachada de aproximação é aquela localizada ao longo de uma via pública ou privada, com largura livre maior ou igual a 6 m, sem obstrução, possibilitando o acesso e o posicionamento adequado dos equipamentos de combate a incêndio. A fachada deve ter pelo menos um meio de acesso ao interior do edifício e não ter obstáculos.

As edificações térreas, incluindo suas coberturas consideradas abertas lateralmente.

Edificação aberta lateralmente é aquela que:

- Tem ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, providas por aberturas que possam ser consideradas uniformemente distribuídas e que tenham comprimentos em planta que somados atinjam pelo menos 40% do perímetro e áreas que somadas correspondam a pelo menos 20% da superfície total das fachadas externas; ou,

- Tem ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, providas de aberturas, cujas áreas somadas correspondam a pelo menos 1/3 da superfície total das fachadas externas, e pelo menos 50% destas áreas abertas situadas em duas fachadas opostas.

Os mezaninos com área menor ou igual a 750 m², cuja estrutura seja independente da estrutura principal do edifício ou que não causem o seu colapso.

As escadas e rampas abertas, internas ou externas, desde que não possuam materiais combustíveis em acabamentos, em revestimentos ou incorporados em suas estruturas.

4.2 Coberturas estruturadas com aço

As coberturas dos edifícios destinados a depósitos, indústrias, ginásios esportivos e supermercados são projetadas para vencer grandes vãos, de forma a permitir espaços internos livres, sem pilares que não interfiram nas atividades, processos industriais e movimentação de equipamentos. As suas estruturas são dimensionadas para suportarem o peso próprio, as telhas e tapamentos laterais leves, baixa sobrecarga e vento, resultando em elementos estruturais muito esbeltos.

Nos sistemas estruturais de aço, um elemento depende de outro para manter sua estabilidade. As tesouras principais são travadas pelas terças que funcionam como escoras, contra-tesouras ou mãos francesas. As terças são apoiadas lateralmente por correntes e barras rígidas. Os contraventamentos horizontais situados no plano da cobertura garantem a estabilidade da própria cobertura e contribuem para a estabilidade da edificação como um todo.

Todos esses elementos costumam apresentar alto fator de massividade (razão entre área exposta ao incêndio e o volume do elemento estrutural), ou seja, são formados por paredes esbeltas, significa que sua elevação de temperatura é quase simultânea à temperatura dos gases quentes. Dessa forma, podem atingir altas temperaturas rapidamente, deformarem, perderem a capacidade de resistir aos esforços solicitantes e de cumprirem a finalidade de travar outros elementos.

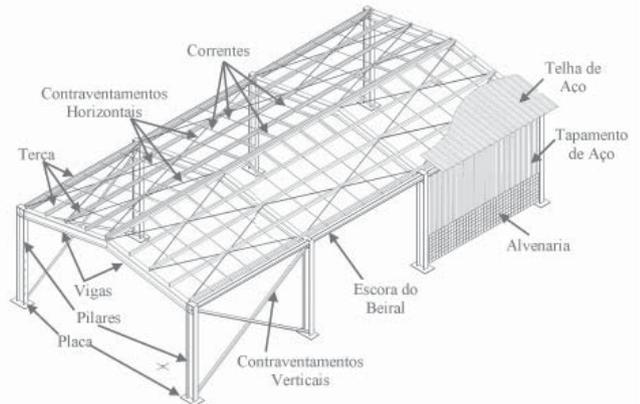


Figura 4.7 – Desenho esquemático identificando os elementos estruturais

Os incêndios em depósitos de materiais combustíveis (papel, plástico, tecido, tinta, etc.), com altas cargas de incêndio atingem elevadas temperaturas e podem ter longa duração.

A Figura 4.8 apresenta curvas de variação da temperatura com o tempo, dos gases em incêndios reais, para diversos graus de ventilação (área total de aberturas verticais e a área de piso), admitindo-se uma carga de incêndio (relação entre o potencial calorífico do material combustível e a área de piso) similar àquelas geralmente encontradas em depósitos.

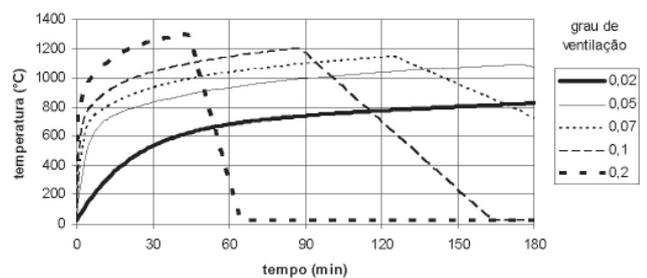


Figura 4.8 – Curvas de Incêndio Natural.

Nessas condições, os incêndios podem ser extremamente severos e o combate ao fogo torna-se praticamente impossível. As estruturas não resistem à ação térmica dessa magnitude e entram em colapso.

No que se refere à segurança estrutural, tanto a ABNT NBR 14432:2000 – Exigências de resistência ao fogo de elementos constru-

tivos de edificações – Procedimento, como a Instrução Técnica 08/2004 CB/SP – Segurança Estrutural nas Edificações orientam os projetistas na concepção e cálculo das coberturas em situação de incêndio.

O item 10.1 da NBR 14432 prescreve que “os elementos estruturais de cobertura, cujo colapso não comprometa a estabilidade da estrutura principal, a critério do responsável técnico pelo projeto estrutural, estão isentos de requisitos de resistência ao fogo. A isenção não se aplica às coberturas que tenham função de piso, mesmo que seja apenas para saída de emergência”.

O item 10.2 complementa: “Entende-se por elementos estruturais de cobertura exclusivamente aquelas peças estruturais que têm por função básica suportá-la, tais como tesouras, vigas de cobertura, terças etc., além das lajes e contraventamentos no plano da cobertura, não incluindo outros elementos tais como pilares e contraventamentos verticais”.

No entanto, esses dois itens não proporcionam aos projetistas, especialmente àqueles que não estão familiarizados com as questões do incêndio, um entendimento claro do que seja “não comprometer a estabilidade da estrutura principal”. Os autores sugerem a interpretação apresentada a seguir.

As coberturas das edificações que não estão relacionadas como isentas, estarão isentas quando:

1. Não tiverem função de piso, para rota de fuga dos usuários do edifício;
2. O seu colapso estrutural não comprometer a estabilidade das paredes externas, quando essas forem essenciais para evitar a propagação do fogo para edificações vizinhas;

3. O seu colapso estrutural não provocar o colapso progressivo dos pavimentos abaixo.

A edificação que representar risco à vida humana, às edificações adjacentes e à infra-estrutura pública, não sendo considerada isenta da resistência ao fogo, deverá ser projetada de tal forma que as paredes externas e de compartimentação permaneçam estáveis na situação de incêndio, mesmo que haja o eventual colapso da cobertura.

Uma edificação térrea, de classe P1, com $h \leq 6,0\text{m}$, que não possuir as condições para isenção, deve atender ao tempo requerido de resistência ao fogo de 30 ou 60 minutos, conforme tabela A1, da NBR 14432:2000. Isso significa que os elementos estruturais de sustentação da cobertura (basicamente os pilares), devam ser projetados e dimensionados de tal forma que permaneçam estáveis, assegurando a estabilidade das paredes externas e de compartimentação.

No caso de edifícios de múltiplos pavimentos, cuja cobertura seja constituída por vigas e lajes, é necessário avaliar se o seu eventual colapso não atinge as demais lajes dos pavimentos inferiores, levando a um colapso progressivo.

4.3 Estruturas Enclausuradas

Os elementos estruturais enclausurados estarão livres da ação do incêndio desde que o enclausuramento tenha o TRRF no mínimo igual ao que seria exigido para o elemento encapsulado considerado.

São exemplos, os pilares e vigas enclausuradas em alvenaria (figuras 4.9 e 4.10) e elementos dentro dos núcleos enclausurados de edifícios (figura 4.11).

Estruturas de aço sem revestimento contra fogo

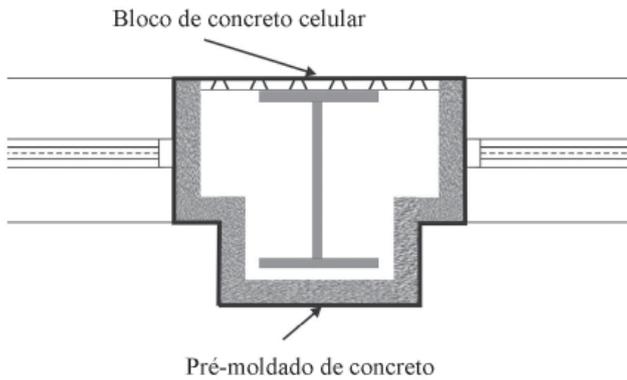


Figura 4.9 Pilar de fachada com elemento pré-moldado.

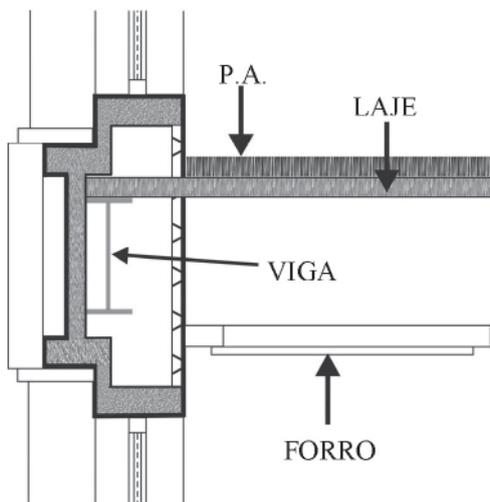


Figura 4.10 Viga de borda com elemento pré-moldado.



Figura 4.11 Escadas enclausuradas de um edifício.

Não há necessidade de qualquer tipo de revestimento contra fogo para as estruturas de aço das escadas enclausuradas, uma vez que elas não podem ser submetidas a altas temperaturas, pois haverá trânsito de pessoas durante um incêndio.

4.4 Estruturas integradas a alvenarias e lajes de concreto

As estruturas de aço em edifícios são normalmente ligadas a outros elementos estruturais (concreto) ou elementos construtivos (alvenaria) (Figuras 4.12 e 4.13). Pela cuidadosa integração dos elementos de aço com os elementos adjacentes, pode-se obter o aumento da resistência ao fogo. Em alguns casos, dependendo do cálculo da estrutura em incêndio, conforme ABNT NBR 14323:1999, até eliminar o revestimento contra fogo.

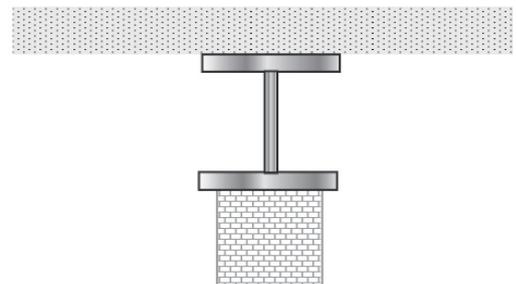


Figura 4.12 - viga de aço com laje de concreto e sobre alvenaria (corte)

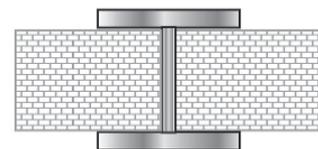


Figura 4.12 - viga de aço com laje de concreto e sobre alvenaria (corte)

Elementos de aço, mesmo que apenas parcialmente protegidos pelos elementos mais robustos, sofrem redução da taxa de absorção de calor, devido à menor área de exposição. Conseqüentemente, aumentará o tempo para atingir a temperatura de colapso. Além disso, se a região aquecida, com menor resistência, atingir a plasticidade, os esforços serão redistribuídos para a região fria a qual ainda conserva resistência. Nesse caso, a verificação da necessidade ou não de revestimento demandará um cálculo estrutural.

As propriedades naturais de isolamento dos blocos de concreto ou de tijolos cerâmicos restringem o aumento da temperatura do aço protegido durante o incêndio, permitindo assim que a parte exposta resista a temperaturas mais altas, aumentando a resistência ao fogo de um pilar com parte de seus perfis embutidos na parede de blocos de concreto ou de tijolos cerâmicos, como mostra a Figura 4.14.

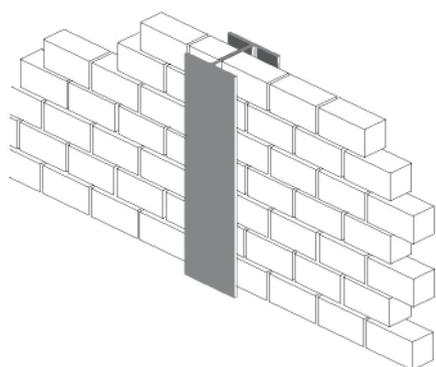


Figura 4.14 Pilar em parede

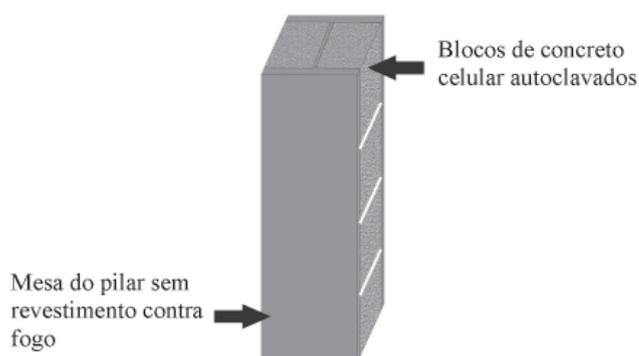


Figura 4.15 Pilar com Bloco

Projetos que usam concepções de elementos estruturais integrados assumiram grande importância nas técnicas suecas de edifícios em aço durante os anos 80. Adicionalmente, novos perfis de aço foram desenvolvidos visando maiores benefícios em projetos estruturais integrados. Técnicas similares foram desenvolvidas em outros países da Europa (IISI, 1993).

Uma solução interessante é o projeto de vigas parcialmente protegidas do fogo pela própria laje que elas sustentam.

A Figura 4.16 mostra o sistema de cantoneira de apoio da laje, frequentemente usado no Reino Unido para reduzir a altura da viga e assim aumentar a altura do pé-direito do pavimento. Com a escolha adequada das dimensões da viga e da espessura da laje de concreto, esse tipo de sistema pode atingir um tempo de resistência ao fogo de 60 minutos.



Figura 4.16 Sistema de cantoneira de apoio da laje

Outra solução, apresentada na Figura 4.17, pode ser obtida soldando uma chapa de aço na mesa inferior de um perfil de aço. A laje de concreto se apóia na chapa de aço e protege a maior parte da viga da exposição ao fogo. A resistência ao fogo desse sistema varia em função da espessura da chapa de aço ou pela aplicação de uma camada fina de tinta intumescente (BS, 1995).

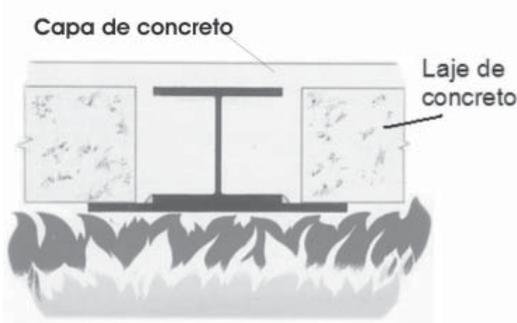


Figura 4.17 Piso tipo "slim floor"

No Reino Unido é utilizado o mesmo tipo de sistema para laje mista "steel deck", com altura de onda próxima à altura da viga (Figura 4.18).

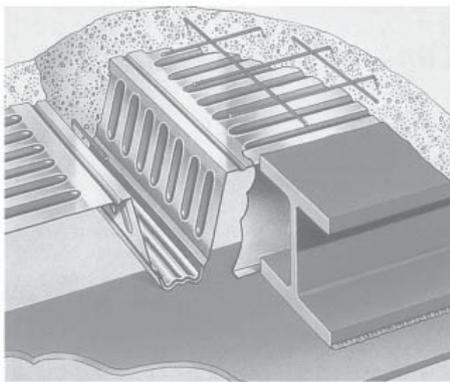


Figura 4.18 Piso tipo "slim deck"

4.5 Estruturas mistas de aço e concreto

4.5.1 Lajes mistas

As lajes mistas aço e concreto são lajes de concreto moldado in-loco, que usam uma fôrma de aço que atua, ao mesmo tempo, como fôrma e como armadura inferior (positiva) da laje. A aderência ao concreto para que a fôrma possa exercer a função de armadura é garantida pelas mossas (fig. 4.19).

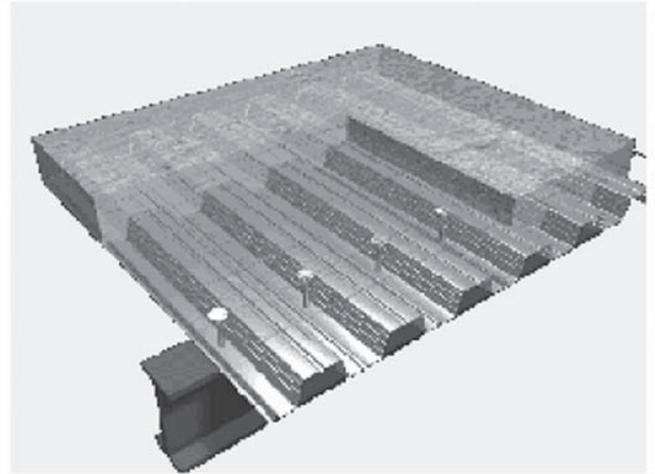


Figura 4.19: Mossas na armadura de laje mista.

Em situação de incêndio, as lajes de concreto com forma de aço incorporada, sem revestimento contra fogo, calculadas adequadamente à temperatura ambiente, possuem uma resistência inerente de no mínimo 30 min, desde que a espessura média de concreto, da capa e da onda baixa, seja superior a 60 mm. Para tempos maiores de resistência a fogo, a espessura de concreto acima da fôrma deve respeitar a tabela 4.1. Caso esses valores não possam ser seguidos, é possível proceder-se a um cálculo estrutural mais refinado, reduzindo-se a espessura de concreto, a custo de armadura adicional.

Alternativamente, a resistência ao fogo do conjunto pode ser obtida por meio de revestimento da fôrma, mas, o mais frequente é a verificação estrutural em situação de incêndio, eliminando a necessidade de revestimento.

Tabela 4.1: Espessura mínima do concreto acima da fôrma de aço (ABNT NBR 14323:1999)

Tempo requerido de resistência ao fogo (min)	Espessura mínima do concreto (mm)	
	Densidade normal	Baixa densidade
60	90	65
90	100	75
120	110	85

4.5.2 Pilares mistos

Pilares mistos de aço e concreto são aqueles em que os dois materiais são dimensionados para resistir ao carregamento. O aço colabora devido à alta resistência mecânica e o concreto, robusto, mas com resistência limitada, colabora para a estabilidade do conjunto. São previstos três tipos de pilares mistos: totalmente envolvidos por concreto, parcialmente envolvidos por concreto e tubulares preenchidos com concreto.

4.5.2.1 Pilares mistos totalmente envolvidos por concreto

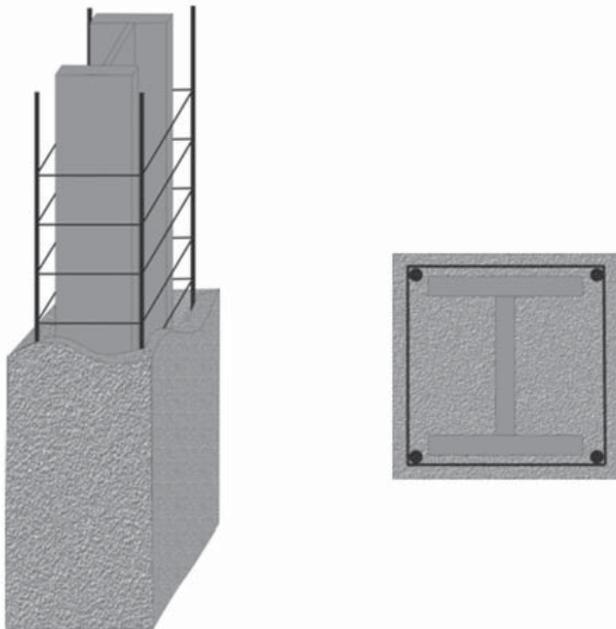


Figura 4.20 Pilar totalmente envolvido por concreto.

Neste caso, para que o pilar dimensionado à temperatura ambiente tenha resistência suficiente à temperatura elevada, é necessário apenas respeitar certas dimensões mínimas da seção de concreto e distâncias mínimas entre perfil de aço e face externa do concreto, em função do TRRF. Por exemplo, para TRRF de 30 min, a menor dimensão deve ser de 150 mm e as distâncias mínimas entre perfil e armadura e face externa do concreto devem ser 40 mm e 20 mm respectivamente (ABNT NBR

14323:1999). Para TRRF de 90 min, ou seja, para edifícios mais altos, a menor dimensão deve ser de 300 mm e as distâncias mínimas entre perfil e armadura e face externa do concreto devem ser 75 mm e 40 mm, respectivamente. Esses valores, geralmente, são fáceis de serem conseguidos na prática.

4.5.2.2 Pilares mistos parcialmente revestidos por concreto

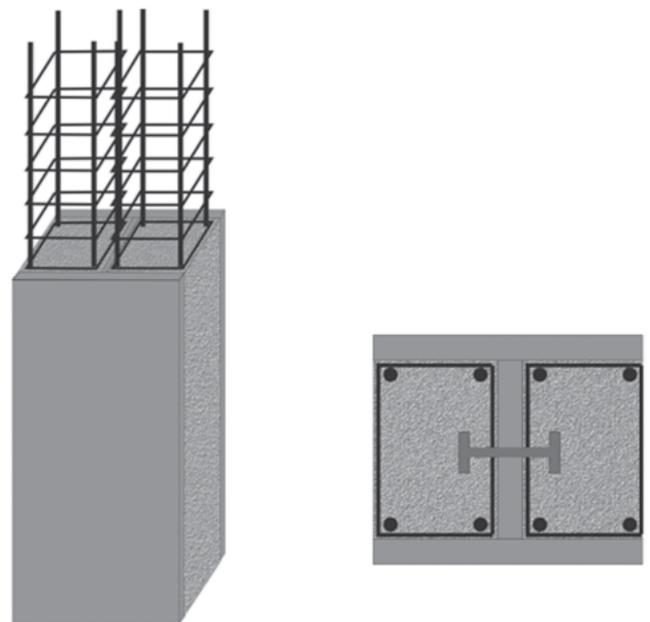


Figura 4.21 Pilar parcialmente revestido por concreto.

A fim de respeitar as exigências de resistência ao fogo, este pilar deve seguir (da mesma forma que os pilares totalmente revestidos), valores mínimos de dimensões e cobrimentos. Caso, por razões arquitetônicas, esses valores não possam ser seguidos, é possível proceder-se a um cálculo estrutural mais refinado para se definir a necessidade ou não de revestimento contra fogo. Quando o concreto não tiver função estrutural, este tipo de pilar misto tem resistência ao fogo de 30 min.

4.5.2.3 Pilares mistos tubulares preenchidos por concreto

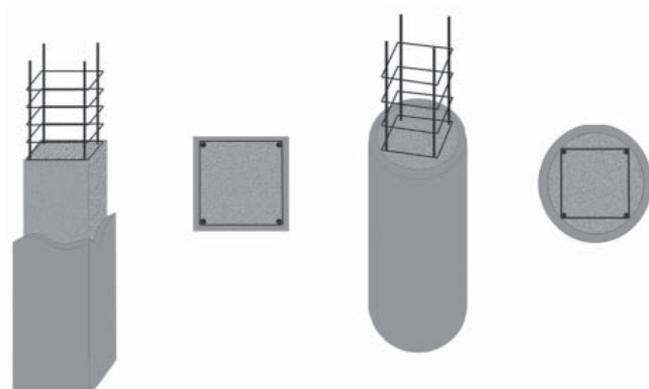


Figura 4.22 Pilares tubulares revestidos por concreto.

A fim de respeitar as exigências de resistência ao fogo, este pilar deve obedecer (da mesma forma que os anteriores), os valores mínimos de dimensões e cobrimentos. Caso, por razões arquitetônicas, esses valores não possam ser seguidos, é possível proceder-se a um cálculo estrutural mais refinado para se definir a necessidade ou não de revestimento contra fogo.

4.5.3 Vigas mistas

Viga mista de aço e concreto é aquela em que ambos os materiais trabalham para resistir ao carregamento que causa flexão na viga. A laje de concreto, que se apóia na viga, colabora resistindo a tensões de compressão, enquanto a viga de aço resiste tanto a tensões de tração quanto às de compressão, essas últimas aliviadas devido à colaboração do concreto. A fim de que ambos os materiais trabalhem em conjunto é necessário instalar conectores para interligá-los.

Em incêndio, a presença da laje, elemento robusto, faz com que a mesa superior da viga de aço não se aqueça muito e, portanto, a temperatura média no aço será reduzida, aumentando a resistência ao fogo do conjunto. Para edifícios de menor risco, em que o TRRF seja de 30 min, é possível, em algumas situações, demonstrar por meio de cálculo estrutural

que o revestimento pode ser dispensado (ABNT NBR 14323:1999). É importante ressaltar que para esses casos, o dimensionamento à temperatura ambiente já deve considerar as exigências de resistência ao fogo.

Pisos formados por lajes e vigas mistas, projetadas adequadamente, podem dispensar o revestimento contra fogo das vigas secundárias, mesmo para edifícios mais altos e, portanto, com TRRF maiores.

Deve ser ressaltado que a eliminação do revestimento não é automática. A laje deve ser calculada a fim de permitir a formação de uma “membrana”; as vigas principais devem ser verificadas para um carregamento adicional e o leiaute estrutural deve ser bem concebido.

4.6 Estruturas externas

Muitos edifícios modernos são construídos com estrutura de aço externa à fachada. Nessas condições, a estrutura externa é aquecida apenas pelas chamas que emanam da janela ou outras aberturas da fachada do edifício.



Figura 4.23 - Teatro Paulínia-SP (Foto: Mauri Vargas)

As estruturas de aço, afastadas externamente das fachadas dos edifícios, estarão sujeitas à maior ou menor ação térmica, dependendo do posicionamento dos seus elementos estruturais em relação às janelas ou aberturas. É possível que esses elementos estruturais possam dispensar o revestimento contra fogo, mantendo a necessária segurança.

A posição da estrutura externa pode ser determinada por meio de um método descrito na norma europeia Eurocode1 que permite calcular a temperatura nos elementos estruturais, levando em consideração a carga de incêndio, a ventilação, as características dos ambientes e o efeito potencial do vento.

Deve-se comparar a temperatura calculada com a temperatura crítica do elemento estrutural obtida em conformidade com a NBR 14323, se o θ_a for maior do que o $\theta_{aço}$ não é necessário o uso de revestimento contra fogo. Note-se que não é usado o TRRF, somente as temperaturas são consideradas.

4.6.1 Posicionamento de pilares e vigas

Nas tabelas 4.2 a 4.4 são apresentados os resultados dos cálculos elaborados para dois tipos de edificações: uma escola (Figura 4.24) e um edifício de escritórios (Figura 4.25) contendo um núcleo com carga de incêndio muito baixa (escadas, elevador, etc.) e para três perfis de pilares nas situações 1 e 2 (Figuras 4.26 e 4.27, respectivamente) e três perfis de vigas na situação 3 (Figura 4.28).

Esses resultados foram obtidos por procedimentos analíticos, com as cargas de incêndio específicas de cálculo iguais a 300 MJ/m² e 700 MJ/m² (valores típicos para escolas e escritórios, respectivamente).

O Decreto Estadual nº 46.076/01 do Estado de São Paulo, na Instrução Técnica N° 08/2004 recomenda que a temperatura crítica

do aço seja adotada como um valor máximo de 550°C para aços convencionais (aços sem resistência ao fogo melhorada) ou calculada para cada elemento estrutural de acordo com a norma NBR 14323. Nas tabelas apresentadas, limitou-se a temperatura máxima admissível a 550°C. Outras distâncias podem ser adotadas desde que a temperatura crítica seja adequadamente calculada. Para a situação 2, admitiu-se que não há transferência de calor da mesa revestida às demais partes do perfil. Para a situação 3, admitiu-se que as partes do perfil em contato com a laje e voltadas para a parede, não são aquecidas diretamente pelo incêndio.

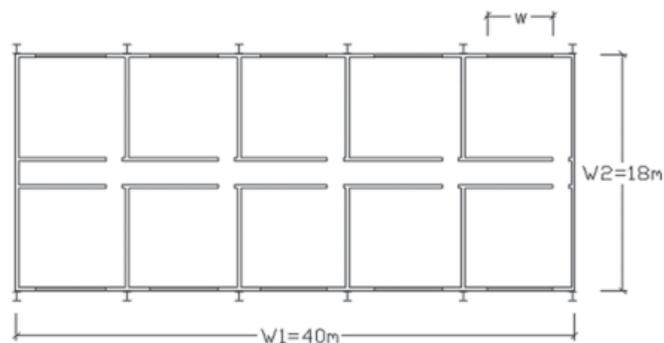


Figura 4.24 Planta do pavimento tipo de escola.

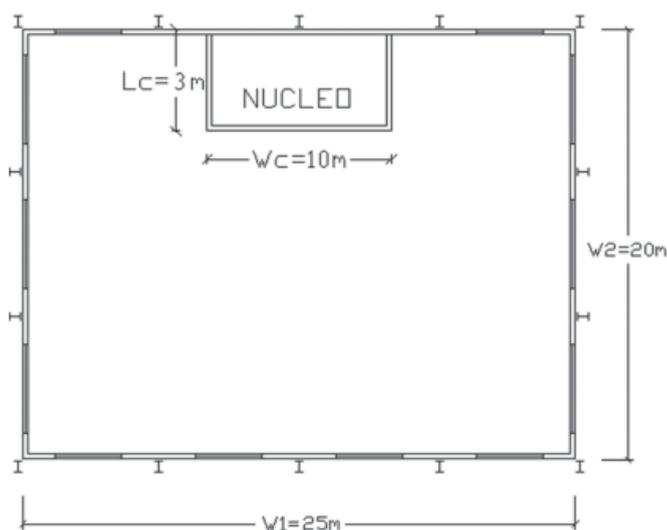


Figura 4.25 Planta do pavimento tipo de um edifício de escritório.

Estruturas de aço sem revestimento contra fogo

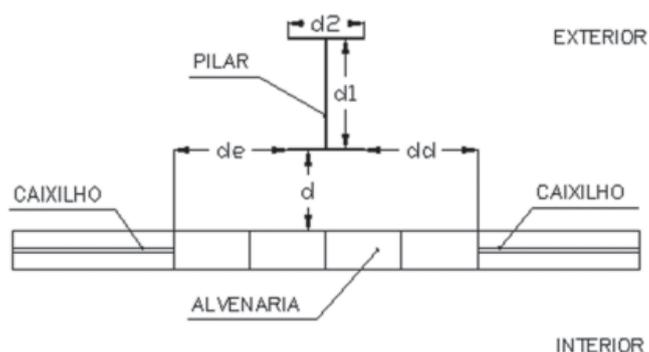


Figura 4.26 Posição do pilar em relação à parede e às janelas mais próximas do compartimento em chamas na situação 1.

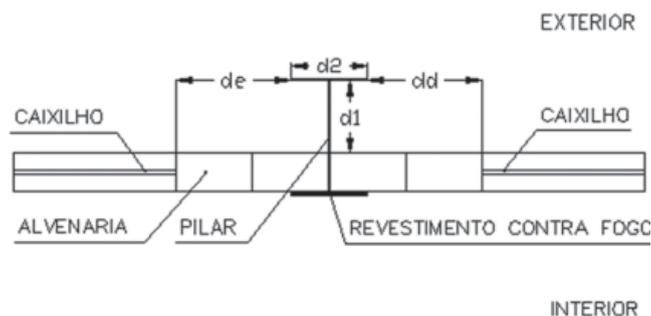


Figura 4.27 Posição do pilar em relação à parede e às janelas mais próximas do compartimento em chamas na situação 2.

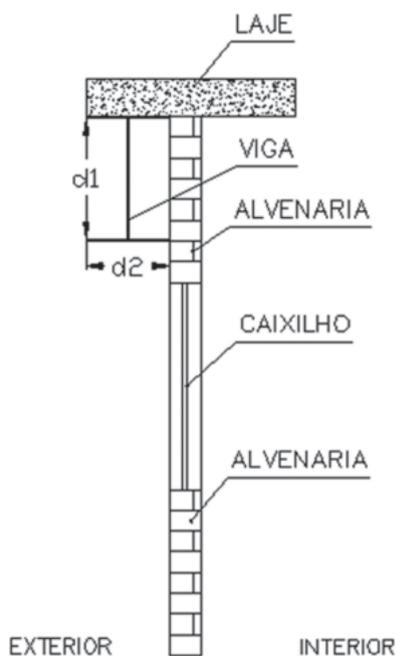


Figura 4.28 Posição da viga em relação à parede e às janelas mais próximas do compartimento em chamas na situação 3.

Tabela 4.2 Posicionamento adequado de pilares - situação 1. (AZEVEDO, 2009)

Situação 1	W_1	W_2	H	h	w	w_1	w_2	$d_e=d_c$	d	d_1	d_2	n	m	
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]	[]	
ESCOLA ($q_{fl} = 300 \text{ MJ/m}^2$)	I 300 x 200	40	18	3	1.50	6.60	33.00	33.00	0.60	0.00	0.3000	0.200	2	3
		40	18	3	1.50	6.40	32.00	32.00	0.70	0.00	0.3000	0.200	2	3
		40	18	3	1.50	5.80	29.00	29.00	1.00	0.50	0.3000	0.200	2	3
		40	18	3	1.50	5.60	28.00	28.00	1.10	0.50	0.3000	0.200	2	3
I 250 x 170	40	18	3	1.50	6.83	34.15	34.15	0.50	0.00	0.2500	0.170	2	3	
	40	18	3	1.50	6.63	33.15	33.15	0.60	0.00	0.2500	0.170	2	3	
	40	18	3	1.50	6.03	30.15	30.15	0.90	0.50	0.2500	0.170	2	3	
	40	18	3	1.50	6.87	34.35	34.35	0.50	0.00	0.2000	0.130	2	3	
I 200 x 130	40	18	3	1.50	6.07	30.35	30.35	0.90	0.50	0.2000	0.130	2	3	
	40	18	3	1.50	6.07	30.35	30.35	0.90	0.50	0.2000	0.130	2	3	
ESCRITÓRIO ($q_{fl} = 700 \text{ MJ/m}^2$)	I 300 x 200	25	20	3	1.50	4.45	17.80	18.63	0.80	0.00	0.3000	0.200	2	2
		25	20	3	1.50	4.05	16.20	17.03	1.00	0.50	0.3000	0.200	2	2
		25	20	3	1.50	3.85	15.40	16.23	1.10	0.50	0.3000	0.200	2	2
	I 250 x 170	25	20	3	1.50	4.68	18.72	19.55	0.70	0.00	0.2500	0.170	2	2
		25	20	3	1.50	4.08	16.32	17.15	1.00	0.50	0.2500	0.170	2	2
		25	20	3	1.50	4.92	19.68	20.51	0.60	0.00	0.2000	0.130	2	2
	I 200 x 130	25	20	3	1.50	4.12	16.48	17.31	1.00	0.50	0.2000	0.130	2	2
		25	20	3	1.50	3.92	15.68	16.51	1.10	0.50	0.2000	0.130	2	2
		25	20	3	1.50	3.92	15.68	16.51	1.10	0.50	0.2000	0.130	2	2
		25	20	3	1.50	3.92	15.68	16.51	1.10	0.50	0.2000	0.130	2	2

Tabela 4.3 Posicionamento adequado de pilares - situação 2. (AZEVEDO, 2009)

Situação 2	W_1	W_2	H	h	w	w_1	w_2	$d_e=d_c$	d_1	d_2	n	m	
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]	[]	
ESCOLA ($q_{fl} = 300 \text{ MJ/m}^2$)	I 300 x 200	40	18	3	1.50	7.00	35.00	35.00	0.40	0.150	0.200	2	3
		40	18	3	1.50	7.23	36.15	36.15	0.30	0.100	0.170	2	3
	I 250 x 170	40	18	3	1.50	7.03	35.15	35.15	0.40	0.100	0.170	2	3
		40	18	3	1.50	7.27	36.35	36.35	0.30	0.050	0.130	2	3
ESCRITÓRIO ($q_{fl} = 700 \text{ MJ/m}^2$)	I 300 x 200	25	20	3	1.50	5.05	20.20	21.03	0.50	0.150	0.200	2	2
		25	20	3	1.50	4.85	19.40	20.23	0.60	0.150	0.200	2	2
	I 250 x 170	25	20	3	1.50	5.08	20.32	21.15	0.50	0.100	0.170	2	2
		25	20	3	1.50	5.32	21.28	22.11	0.40	0.050	0.130	2	2
	I 200 x 130	25	20	3	1.50	5.32	21.28	22.11	0.40	0.050	0.130	2	2
		25	20	3	1.50	5.32	21.28	22.11	0.40	0.050	0.130	2	2

Tabela 4.4 Posicionamento adequado de vigas -situação 3. (AZEVEDO, 2009)

Situação 3		W_1	W_2	H	h	w	w_1	w_i	d_e	d_d	d_v
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
ESCOLA ($q_{fi} = 300$ MJ/m ²)	I 400 x 200	40	18	3	1.50	6.75	33.75	33.75	0.200	0.400	0.10
		40	18	3	1.50	6.75	33.75	33.75	0.200	0.400	0.50
	I 350 x 175	40	18	3	1.50	6.75	33.75	33.75	0.175	0.350	0.10
		40	18	3	1.50	6.75	33.75	33.75	0.150	0.300	0.10
ESCRITORIO ($q_{fi} = 700$ MJ/m ²)	I 400 x 200	30	25	3	1.50	6.25	25.00	26.67	0.200	0.400	0.20
	I 350 x 175	30	25	3	1.50	6.25	25.00	26.67	0.175	0.350	0.20
	I 300 x 150	30	25	3	1.50	6.25	25.00	26.67	0.150	0.300	0.20

Onde:

W_1 = Largura da parede que contém as janelas;

W_2 = Profundidade do compartimento;

H = Altura do compartimento;

L_c = Profundidade do núcleo

W_c = Largura do núcleo

h = Altura da janela;

w = Largura de uma janela; (aquela que tem maior influência)

w_1 = Largura total das janelas da parede 1;

w_i = Largura total das demais janelas;

d_e = Distância do pilar à janela esquerda;

d_d = Distância do pilar à janela direita;

d = Distância do pilar à parede;

d_1 = Comprimento da face do pilar perpendicular à parede;

d_2 = Comprimento da face do pilar paralela à parede;

n = Quantidade de janelas à direita do pilar;

m = Quantidade de janelas à esquerda do pilar;

q_{fi} = Carga de incêndio específica

θ_a = Temperatura do pilar

a = Distância segura do pilar à borda da janela (esquerda ou direita)

d_v = Distância segura da viga em relação ao topo da janela.

Capítulo 5

Estruturas de aço com
revestimento contra fogo

Quando não for possível verificar a segurança contra incêndio apenas com o emprego das técnicas descritas no capítulo anterior, torna-se necessário o emprego de revestimentos contra fogo a fim de impedir o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situação de incêndio.

Em termos gerais, os materiais de revestimento contra fogo devem apresentar:

- baixa massa específica aparente;
- baixa condutividade térmica;
- alto calor específico;
- adequada resistência mecânica (quando expostos a impactos);
- garantia de integridade durante a evolução do incêndio;
- custo compatível.

5.1. Revestimentos disponíveis

Os tipos de revestimento contra fogo mais empregados na construção civil brasileira são apresentados a seguir.

5.1.1. Argamassas Projetadas

As argamassas projetadas contendo fibras consistem de agregados, fibras minerais e aglomerantes (por exemplo, cimento Portland). São aplicadas sob baixa pressão por meio de uma mangueira até a pistola, onde é misturada com água nebulizada e jateada diretamente na superfície do aço. Resulta numa superfície rugosa, mais apropriada para elementos acima de forros ou ambientes menos exigentes.

As argamassas projetadas cimentícias (não confundir com o elemento de vedação placa cimentícia) consistem de agregados e aglomerantes misturados com água, formando uma massa fluida, que é transportada por meio de uma mangueira até a pistola, onde o ar comprimido faz o jateamento diretamente na superfície do aço. Resultam numa superfície rugosa, mais apropriada para aplicação em estruturas

não aparentes. Apresentam baixa resistência mecânica e à umidade, sendo indicadas para ambientes menos agressivos. Geralmente é constituída de gesso ou vermiculita, cimento, resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido e celulose.

As argamassas projetadas devem trabalhar monoliticamente com a estrutura e acompanhar seus movimentos sem que ocorram fissuras ou desprendimento, formando um revestimento homogêneo e contínuo que penetre em todos os cantos ou reentrâncias da estrutura. Não podem conter amianto ou outro material agressivo à saúde dos usuários do edifício, nem apresentar desprendimento por ressecamento superficial ou por ação de correntes de ar, para não contaminar o ambiente.

Devem atender às normas para os plenos de edifícios para os quais são exigidos ensaios de erosão sob correntes de ar com velocidade de teste de 24 km/h, sem que o material apresente perda significativa de massa após 4 horas de testes. Qualquer produto de proteção que sofra perda de material decorrente de erosão causada por correntes de ar terá, com o tempo, sua espessura reduzida e conseqüentemente uma redução na proteção.

Sua durabilidade deverá ser a mesma da estrutura, dispensando manutenção e possibilitando facilidade para reparos manuais, garantindo perfeita aderência entre camadas sucessivas no caso de eventuais danos causados pelas demais atividades da obra.

Não devem ser higroscópicas e o aço deverá ficar livre de umidade, tornando desnecessário o uso de “primers” ou outros sistemas contra corrosão para estruturas internas.

Precisam apresentar índice zero de combustibilidade e propagação de chamas.

Não devem conter espaços vazios, impedindo que insetos se instalem em seu interior. Sua formulação com fungicidas e bactericidas tem que estabilizar seus componentes não permitindo a proliferação de fungos e bactérias em seu interior.

Encontram-se no mercado brasileiro diversas marcas de argamassas projetadas cimentícias com propriedades físicas diferentes, inclusive para uso externo.

Um tipo de argamassa, importada dos Estados Unidos, apresenta baixa massa específica (240 kg/m³), é atóxica e aplicada por projeção diretamente sobre a estrutura, dispensando o uso de pinos ou telas para fixação. É composta basicamente por 82% de gesso, 2% de cimento Portland e resinas acrílicas, não existindo nenhum tipo de reação química após sua aplicação ou mesmo quando exposto a altas temperaturas.



Figura 5.1 Aplicação de argamassa projetada "cimentitious"
- Fonte: Grace do Brasil

Existe a argamassa projetada nacional, composta basicamente de vermiculita expandida, gesso, aglomerantes hidráulicos, resinas acrílicas, fibras de celulose e partículas de poliestireno, que adicionada de água, torna-se uma argamassa de proteção térmica. Apresenta densidade de 300 kg/m³.

É aplicada por jateamento ou com o uso de espátulas, não sendo necessário o uso de telas ou pinos para aderência à superfície metálica.

As argamassas projetadas apresentam textura rugosa de aspecto final rústico, no entanto, constituem-se no sistema de revestimento contra fogo mais econômico e mais indicado para vigas não-aparentes como é o caso de vigas sobre forros (Figura 5.4). Portanto, a redução substancial do custo do revestimento contra fogo pode ser obtida por meio da colocação de forro falso.

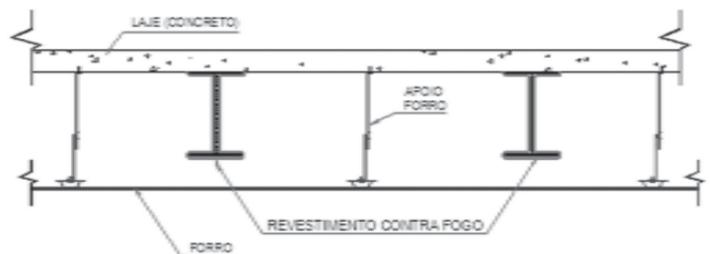


Figura 5.4 Vigas com revestimento contra fogo ocultadas por forro.

5.1.2 Placas Rígidas

Elementos pré-fabricados fixados na estrutura por meio de pinos ou perfis leves de aço, proporcionando diversas possibilidades de acabamento. Geralmente são compostas por materiais fibrosos ou vermiculita ou gesso ou combinação desses materiais.

As placas de gesso acartonado são constituídas de um núcleo de gesso natural, misturado com água e aditivos, revestido por 2 lâminas de cartão duplex. Com a adição de fibras minerais à mistura do núcleo são obtidas as placas de gesso acartonado resistentes ao fogo (Figura 5.5).

As placas de lã de rocha são painéis feitos com materiais fibrosos, em geral aglomerados por pulverização de resinas termo-endurecíveis. A lã de rocha é obtida da fusão da rocha de origem basáltica.

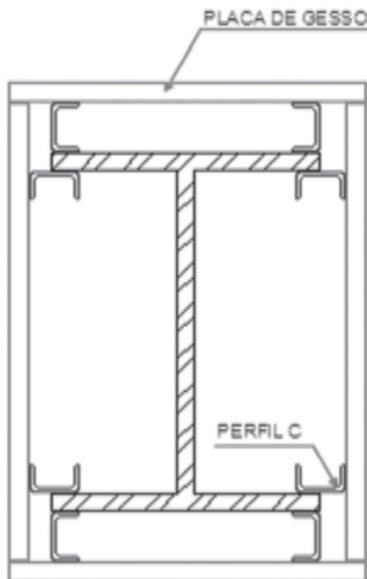


Figura 5.5 Pilar revestido com placas de gesso tipo resistente ao fogo.

5.1.3. Pintura Intumescente

Constituída por polímeros com substâncias diversas intumescentes, que reagem na presença de fogo, em geral, a partir de 200°C, aumentando seu volume. Os poros resultantes são preenchidos por gases atóxicos que, junto com resinas especiais que constituem as tintas, formam uma espuma carbonácea rígida na superfície do aço, retardando o efeito do calor da chama.

A pintura intumescente é uma película fina que intumesce (aumenta de volume), quando sujeita à ação do calor e forma uma camada de proteção térmica no aço. É aplicada por meios convencionais, pistola ou rolo, diretamente sobre a superfície de aço, convenientemente preparada. Em seu esquema de pintura deve ser prevista a aplicação de tinta de fundo (primer) e de acabamento (top seal) compatíveis, de modo a obter textura, aparência e cores similares às pinturas convencionais.

Devem ser removidas todas as substâncias estranhas como carepa de laminação, ferrugem antiga, mediante abrasivos de natureza metálica (granalha de aço), impelidos por ar comprimido, por meio de bico apropriado, isto é por jateamento abrasivo.

O jato abrasivo não remove óleos, graxas e gorduras da superfície do aço. Por isso, esses materiais devem ser eliminados antes de qualquer operação de jateamento.

O sistema consiste, além do primer compatível, de mais dois produtos: a pintura intumescente, que oferece a característica intumescente, de proteção térmica e a tinta de acabamento que oferece efeito decorativo, na cor especificada.

5.1.4 Combinação de tipos de revestimentos contra fogo.

Nas Figuras 5.6 a 5.9 são mostrados alguns tipos de combinações de revestimento que podem ser empregados.

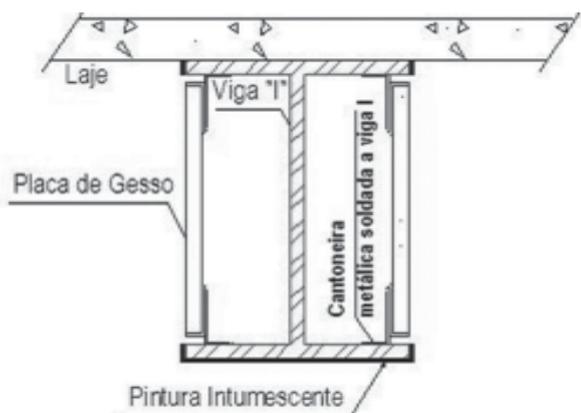


Figura 5.6 Detalhe de placa de gesso com pintura intumescente.

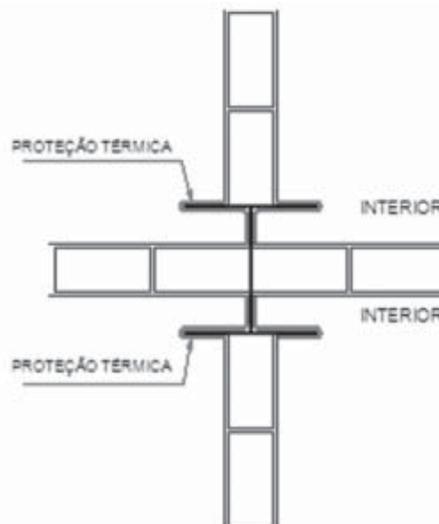


Figura 5.09 Detalhe da alvenaria com revestimento contra fogo (argamassa projetada)

5.2 Espessuras do material de revestimento

O dimensionamento das espessuras do material de revestimento pode ser feito por meio de métodos numéricos ou analíticos empregando-se computadores. Para o uso desses métodos é necessário conhecer-se as propriedades físicas e térmicas dos produtos, tais como: densidade, condutividade térmica e calor específico, em função da temperatura.

Outra maneira mais prática de se encontrar as espessuras é o uso direto de métodos experimentais. Elementos de aço com diversas dimensões e revestidos por diferentes espessuras são testados em laboratórios nacional ou estrangeiro. Como resultado, tem-se tabelas, denominadas de carta de cobertura (Figura 5.10), que associam o fator de massividade (característica geométrica da seção transversal do perfil) e o TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) à espessura a se empregar.

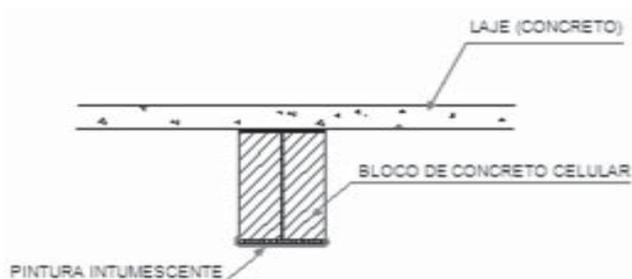


Figura 5.7 Detalhe do bloco de concreto celular autoclavado com pintura intumescente

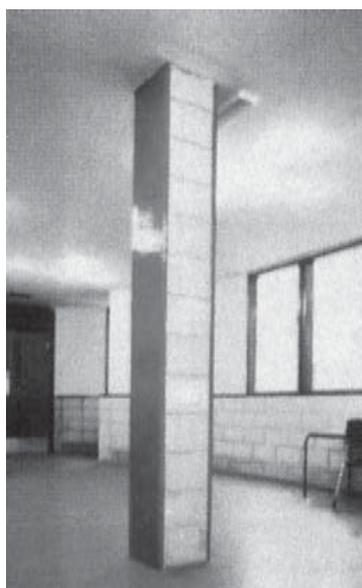


Figura 5.8: Detalhe de pilar preenchido com alvenaria e pintura intumescente nas mesas

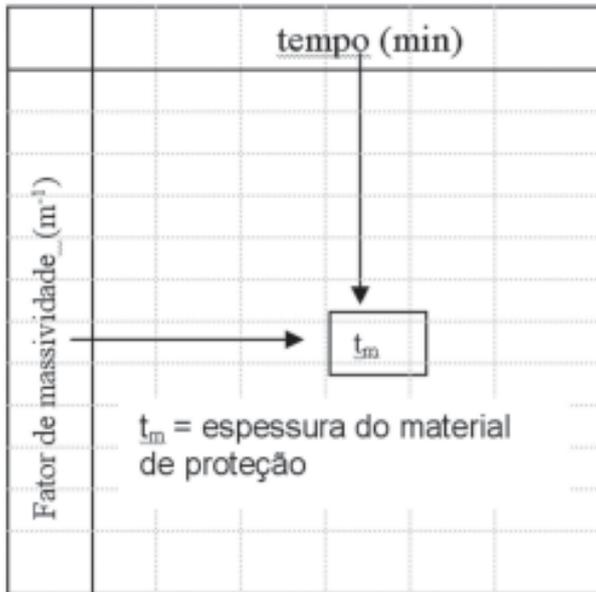


Figura 5.10 - Carta de cobertura para materiais de revestimento contra fogo

Conforme a localização do laboratório a fazer os ensaios, têm-se tabelas brasileiras ou estrangeiras. Os ensaios realizados no Brasil em geral, não permitem encontrar resultados mais econômicos do que os realizados em outros países, em função da tecnologia empregada.

Os resultados de ensaios de materiais estrangeiros mais empregados no Brasil são os realizados pelo laboratório norte-americano UL – Underwriters Laboratory (UL, 2003, Vargas e Silva, 2003), que se baseia na ASTM E-119 (2000), para argamassas projetadas e pelo BRE British Research Establishment para pinturas intumescentes. As normas brasileiras permitem a utilização de resultados de ensaios realizados no exterior. Esse uso, no entanto, deve ser feito com cautela. O material do revestimento a ser efetivamente utilizado no Brasil deve ter sido testado quanto ao seu comportamento ao fogo quando aplicado em perfil de aço, em laboratório idôneo. Os resultados de ensaios somente podem ser utilizados para situações similares àquelas testadas ou outras em que, comprovadamente, sejam favoráveis à segurança.

5.3 Estudo de caso

Considera-se um edifício com 19 pavimentos, destinado a escritórios administrativos, estruturado com aço e concreto. O edifício possui 3 subsolos destinados a estacionamento de veículos. Acima da cobertura encontram-se a casa de máquinas, barrilete, reservatórios de água e heliponto.

Apresentam-se a seguir os passos para se efetuar uma análise da segurança das estruturas em situação de incêndio, objetivando atender as prescrições das Normas Brasileiras NBR 14432 e NBR 14323.

1º passo – Caracterizar a edificação

Determinar qual a ocupação principal, altura da edificação, altura do subsolo, área do pavimento, de acordo com as definições constantes nas normas acima mencionadas.

Para o presente estudo temos o seguinte:

- Ocupação principal: escritório técnico/administrativo, classificado em “Serviços profissionais e técnicos” - grupo D - Divisão D1 da NBR 14432;

- Altura do subsolo (distância entre o piso do pavimento de menor cota e o piso do pavimento de descarga) = 9,50 m;

- Altura da edificação (distância entre o piso do pavimento de descarga e o piso do último pavimento) = 73 m;

- Área do pavimento tipo = 1020 m².

2º passo – Analisar as condições específicas

O responsável técnico pela segurança estrutural em situação de incêndio deve analisar:

- Os projetos relativos ao sistema de proteção ativa, tais como: hidrantes e chuveiros automáticos, detecção e alarme, e os sistemas de proteção passiva, tais como: compartimentação, revestimentos, saídas de emergência, entre outros.

- As condições de acessibilidade para combate ao fogo que a edificação oferece e a existência e proximidade de posto de atendimento do Corpo de Bombeiros.

- Os materiais incorporados na construção do edifício quanto à sua combustibilidade, de modo que possa certificar que esses, na ocorrência de incêndio, restrinjam a propagação de fogo e o desenvolvimento de fumaça. Referência IT 10/01 “Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento” CB/SP.

- A concepção estrutural adotada pelo projeto, os critérios adotados para estabilidade global da estrutura e o dimensionamento dos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares).

Essa análise orientará o responsável técnico a estabelecer os critérios para dimensionamento do revestimento contra fogo.

3º passo – Determinar as exigências de resistência ao fogo dos elementos estruturais

- O responsável técnico deve estabelecer inicialmente quais os TRRF (Tempos requeridos de resistência ao fogo) para os diversos elementos estruturais, com base na NBR 14432, utilizando o método tabular ou método do tempo equivalente

Cálculo do TRRF pelo método do Tempo Equivalente:

$$q_{fi} = 700 \text{ MJ/m}^2$$

$$K = 0,07 \text{ min m}^2/\text{MJ}$$

$$H = 3,00 \text{ m}$$

$$A_v = 180 \text{ m}^2$$

$$A_f = 1020 \text{ m}^2$$

$$\gamma_n = 0,54$$

$$\gamma_s = 1,70$$

$$t_{eq} = q_{fi} \times \gamma_n \times \gamma_s \times K \times W$$

$$W = \left(\frac{6}{3}\right)^{0,3} \times \left[0,62 + 90 \times \left(0,4 - \frac{180}{1020}\right)^4\right] = 1,04$$

$$t_{eq} = 700 \times 0,54 \times 1,70 \times 0,55 \times 1,04 = 37 \text{ min}$$

Conforme Instrução Técnica 08 do Corpo de Bombeiros/SP – o TRRF com base no não poderá ser menor que o TRRF tabelado reduzido de 30min. Portanto, o TRRF de todos os elementos estruturais (pilares, vigas principais ou secundárias, lajes e contraventamentos) será de 120 min – 30 min, ou seja, 90 min.

4º passo – Seleção do material de revestimento contra fogo e respectivas espessuras

Escolher o material de revestimento contra fogo mais adequado, em função das exigências de arquitetura, prazos de execução e custos, e dimensionar as espessuras. Para o presente estudo, optou-se pelo material argamassa projetada “cimentícia”, tendo as espessuras determinadas conforme o seguinte:

- Pilares e vigas - conforme ensaios realizados em laboratório nacional;

Estruturas de aço com revestimento contra fogo

- Contraventamentos – calculados em situação de incêndio conforme NBR 14323, o que permitiu eliminar o revestimento contra fogo;

- Pilares mistos – conforme NBR 14323;

- Lajes com fôrma de aço incorporada - conforme NBR 14323.

5º passo – elaborar planilhas de vigas, pilares e contraventamentos, contendo todos os perfis estruturais, suas características geométricas e as respectivas espessuras de material de proteção térmica.

Tabela 5.1 – Planilha de revestimento contra fogo – vigas

Considerar: i) $TRRF = 90$ minutos; ii) material = argamassa projetada “cimentitious”

Vigas - 5º ao 7º PAVIMENTOS										
PERFIS		d	b _{fs}	t _{fs}	b _{fi}	t _{fi}	t _w	μ/A	esp.	OBS.:
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	m ⁻¹	mm	
V1	VE 400x44	400	200	9,50	200	9,50	4,75	248	33	viga principal
V2	VE 500x61	500	250	9,50	250	9,50	6,35	223	31	viga princioal
V3	VE 300x33	300	150	8,00	150	8,00	6,35	142	24	viga de borda-(3f)
V4	W 360x39	353	128	10,70	128	10,7	6,50	121	22	viga de borda -(3f)
V5	W 530x85	535	166	16,50	166	16,50	10,30	145	25	viga principal
V6	VE 250x27	250	125	8,00	125	8,00	6,35	247	33	viga secundária
V8	W 250x22,3	254	102	6,9	102	6,9	5,8	286	35	viga secundária

- μ/A: – Fator de massividade da viga;
- esp.: – Espessura da argamassa projetada;
- d, b_{fs}, t_{fs}, b_f, t_{fi}, t_w: – Características geométricas das vigas.

Tabela 5.2 – Planilha de revestimento contra fogo – pilares

Considerar: i) TRRF = 90 minutos; ii) material = argamassa projetada “cimentitiou”.

Pilares - 5° ao 7° PAVIMENTOS									
PERFIS	d mm	b _{fs} mm	t _{fs} mm	b _{fi} mm	t _{fi} mm	t _w mm	μA m ⁻¹	esp mm	observações
CE 200x34	200	200	8,00	200	8,00	6,35	272	34	
CE 250x43	250	250	8,00	250	8,00	6,35	271	34	
CE 300x62	300	300	9,50	300	9,50	8,00	224	31	
HP 200x53	204	207	11,3	207	11,3	11,3	180	28	
HP 250x85	254	260	14,4	260	14,4	14,4	142	24	
HP 310x110	308	310	15,5	310	15,5	15,4	132	23	

- **μA:** – Fator de massividade da viga;
- **esp.:** – Espessura da argamassa projetada;
- **d, b_{fs}, t_{fs}, b_{fi}, t_{fi}, t_w:** – Características geométricas das vigas.

6º passo: Explicitar os elementos estruturais livres da ação do incêndio ou confinados, que não necessitem receber material de revestimento contra fogo.

Anexo

A. Método do tempo equivalente

Outra maneira de se determinar o TRRF é por meio do método do tempo equivalente. Trata-se de uma alternativa ao TRRF tabelado, permitindo sua redução, pela consideração de outras particularidades da edificação que lhe conferem maior segurança a incêndio.

A NBR 14432:2000 permite o uso desse método sem detalhá-lo. Os autores sugerem que o método do tempo equivalente seja empregado usando o procedimento de cálculo apresentado a seguir. A legislação estadual deve ser sempre consultada, pois pode haver alguma divergência com o método aqui proposto.

O valor do tempo equivalente deve ser determinado pela equação A.1

$$t_e = q_{fi} \times \gamma_n \times \gamma_s \times K \times W \times M \quad (A.1)$$

onde:

t_e = tempo equivalente (min);

q_{fi} = valor característico da carga de incêndio específica (MJ/m²) determinado segundo a NBR 14432:2000. Alguns valores de carga de incêndio são fornecidos na Tabela A.1.

γ_n = coeficiente adimensional que leva em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação (eq. A.2);

γ_s = coeficiente de segurança (adimensional) que depende do perigo de início e propagação do incêndio e das conseqüências do colapso da edificação (eq. A.3);

K = fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação. A favor da segurança, pode-se tomá-lo igual a 0,07 min. m²/MJ;

W = fator relacionado à altura do compartimento e à ventilação do ambiente (eq. A.5);

M = fator de correção que depende do material da estrutura.

Tabela A.1 – carga de incêndio (NBR 14432:2000)

Ocupação	Carga de incêndio (MJ/m ²)	Ocupação	Carga de incêndio (MJ/m ²)
Comercial varejista		Educacional e cultura física	
Aparelhos domésticos	500	Academias	300
Bebidas destiladas	700	Creches	400
Drogarias (incl. depósitos)	1000	Escolas	300
Livrarias	1000	Locais de reunião pública	
Lojas de departamento	600	Bibliotecas	2000
Papelarias	700	Cinemas ou teatros	600
Produtos têxteis	600	Igrejas	200
Supermercados	400	Museus	300
Consultórios médicos	200	Restaurantes	300
Serviços		Outros	
Escritórios	700	Apartamentos	300
Oficinas elétricas	600	Hotéis	500
Oficinas mecânicas	200	Hospitais	300

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \times \gamma_{n2} \times \gamma_{n3} \quad (A.2)$$

onde:

γ_{n1}, γ_{n2} e γ_{n3} = coeficiente relacionados às medidas de segurança contra incêndio determinados conforme Tabela A.2.

Tabela A.2 – Valores dos coeficientes γ_n associados às medidas de segurança contra incêndio.

Valores de γ_{n1} , γ_{n2} e γ_{n3}			
Existência de chuveiros automáticos γ_{n1}	Brigada contra incêndio		Existência de detecção automática γ_{n3}
	não-profissional	profissional	
	γ_{n2}		
0,60	0,90	0,60	0,90

Na ausência de algum meio de proteção indicado na Tabela A.2, adota-se o respectivo γ_n igual a 1.

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \times \gamma_{s2} \quad (A.3)$$

onde:

γ_{s1} = coeficiente relacionado à área de piso do compartimento e à altura da edificação determinado conforme eq. A.4;

γ_{s2} = coeficiente relacionado ao risco de ativação do incêndio determinado conforme Tabela A.3;

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A \times (h+3)}{100000} \quad (A.4)$$

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

onde:

A = área de piso do compartimento (m^2);
 h = altura da edificação (conforme figura 2.4) (m).

Tabela A.3 – Valores de γ_{s2} em função do risco de ativação.

γ_{s2}	Probabilidade de ativação do incêndio	Ocupação
0,85	pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu
1,00	regular	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
1,20	média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,50	alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \times \left[0,62 + 90 \times \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4\right] \geq 0,5 \quad (A.5)$$

onde:

H = altura do compartimento (m);

A_v = área de ventilação vertical (janelas, portas e similares) (m^2);

A_f = área de piso do compartimento (m^2).

A Figura A.5 apresenta-se a variação de W com a altura do compartimento e ventilação.

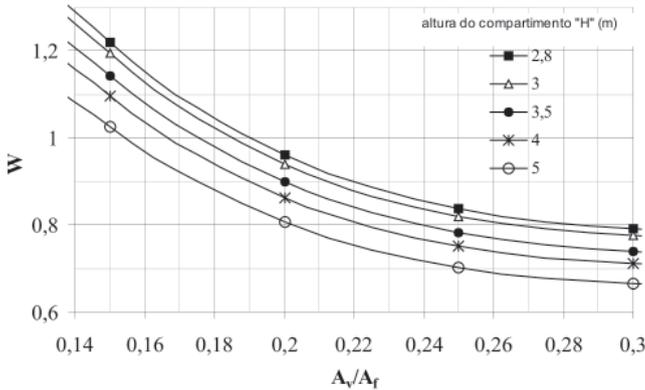


Figura A.1 – Valores de W em função da ventilação $\frac{A_v}{A_f}$ e da altura do compartimento H.

Tabela A.4 – Valores do fator “M” em função do material estrutural.

material da estrutura	M
concreto armado	1,0
aço com revestimento contra fogo	1,0
aço sem revestimento contra fogo	13,7 × V
estruturas mistas de aço e concreto	*

* Utilizar, onde aplicável, o valor mais desfavorável de M.

Onde:

V = grau de ventilação compartimento, determinado conforme eq. A.6, respeitado o intervalo $0,02m^{1/2} \leq V \leq 0,2m^{1/2}$.

$$V = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_f} \quad (A.6)$$

onde:

A_v = área total de aberturas verticais (m^2);
 A_f = área total do compartimento (paredes, teto, piso e aberturas) (m^2);
 h_{eq} = altura média das aberturas calculada conforme eq. A.7

$$h_{eq} = \frac{\sum h_i \times A_{vi}}{\sum A_v} \quad (A.7)$$

onde:

h_i = altura da abertura “i” (m);
 A_{vi} = área da abertura vertical “i” (m^2).

A.1 Limitações de uso do método do tempo equivalente

A eq. A.1 proposta neste trabalho, para o cálculo do tempo equivalente, é cientificamente demonstrável e defensável. Os coeficientes de ponderação γ_n e γ_s , por outro lado, são arbitrados por cada país, em função do nível de segurança estabelecido pelo consenso da sociedade. Em face da subjetividade envolvida e de que o método do tempo equivalente ainda é pouco empregado no Brasil, sugere-se que algumas limitações sejam consideradas, a fim de não reduzir drasticamente as exigências correntes das edificações mais altas ou, por outro lado, agravar as exigências das edificações de baixo risco.

I) Para edificações com altura menor ou igual a 12 m o valor do tempo equivalente deve ser no mínimo 15 min;

Por exemplo:

Se t_{eq} calculado for igual a 12 min para h = 9 m e TRRF = 30 min (valor tabelado na figura A.4), adota-se um novo TRRF = 15 min em substituição ao valor tabelado.

Se t_{eq} calculado for igual a 23 min para h = 9 m e TRRF = 30 min (valor tabelado na

figura A.4), adota-se um novo TRRF = 23 min em substituição ao valor tabelado.

II) Para edificações com altura maior aos 12 m o valor do tempo equivalente pode ser reduzido no máximo 30min do TRRF recomendado pela NBR 14432:2000;

Por exemplo:

Se t_{eq} calculado for igual a 47 min para $h = 35$ m e TRRF = 120 min (valor tabelado na figura A.4), adota-se um novo TRRF = 90 min em substituição do valor tabelado.

Se t_{eq} calculado for igual a 12 min para $h = 15$ m e TRRF = 30 min (valor tabelado na figura A.4), adota-se um novo TRRF = 30 min em substituição do valor tabelado.

É importante notar-se que alguns fatores que dependem da geometria da edificação, incluindo dimensões das suas aberturas, são definidos na fase de anteprojeto arquitetônico. Em outras palavras, o arquiteto deve tomar consciência que decisões tomadas no início do projeto acabam por definir o tempo de resistência ao fogo exigido para as estruturas e por decorrência o custo do sistema de revestimento contra fogo.

Bibliografia

Bibliografia

01. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 14323 : Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 1999.
02. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14432 : Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
03. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5628 : Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.
04. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9077 : Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.
05. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, E119 : Designation: "Standard Test Methods for Fire Testes of Building Construction and Materials". Vol.04.06. EUA. 2000.
06. AZEVEDO, M. S. Determinação da temperatura em elementos estruturais de aço externos a edificações em situação de incêndio. 2005. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2005.
07. AZEVEDO, M. S. Estruturas de aço sem revestimento contra fogo externas a edifícios em incêndio. 2009. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
08. BRITISH STEEL. Fire resistance of steel framed buildings. Sections, Plates & Commercial Steels. Redcar. 1998.
09. BRITISH STEEL. Slim floor construction. Sections, Plates & Commercial Steels. Cleveland. 1995.
10. SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual No. 46.076. São Paulo. 31 de agosto de 2001.
11. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION, EN 1991-2-2: Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures. Actions on structures exposed to fire. Brussels. 2001.
12. INSTRUÇÃO TÉCNICA DO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO Separação entre Edificações. IT07. São Paulo. 2004.
13. INSTRUÇÃO TÉCNICA DO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO Segurança Estrutural nas Edificações - Resistência ao fogo dos elementos de construção. IT08. São Paulo. 2004.
14. INSTRUÇÃO TÉCNICA DO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento. IT10. São Paulo. 2004.
15. INSTRUÇÃO TÉCNICA DO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO. Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. IT 9. São Paulo. 2004
16. INTERNACIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE . Fire Engineering Design for Steel Structures: State of the Art. Brussels. 1993.
17. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZATION, ISO 834 : Fire-resistance tests – elements of building construction – Part 1.1: General requirements for fire resistance testing. Geneva, 1990.
18. SILVA, V. P. Estruturas de aço em situação de incêndio. São Paulo, Zigurate Editora , 2004.

19. UNDERWRITERS LABORATORIES INC, UL 263 : Standard for fire tests of building construction and materials. 13th Edition. Northbrook, 2003.

20. VARGAS, M. R. e SILVA, V. P. Manual de construção em aço – Resistência ao fogo das estruturas. Rio de Janeiro, Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2003.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15200 : Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

2. BAILEY, C. G.; MOORE, D. B. The structural behaviour of steel frames with composite floorslabs subject to fire: Part1: Theory”. Building Research Establishment. Volume 78 , No 11, Junho 2000.

3. COSTA, C. N.; ONO, R.; SILVA, V. P. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. Anais... Olinda: IBRACON, 2005.

4. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, BS EN 1993-1-2 : Eurocode3 - Design of steel structures part 1.2 General rules – Structural fire design. 2005.

5. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, BS EN 1994-1-2: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures part 1.2 General rules - Structural fire design. 2005.

6. SEITO, A.I.; GILL, A.A.; SILVA, S. B.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; CARLO, U.; SILVA, V.P. (Editores). A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 457p.

7. STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. Fire Safe design: A new approach to Multi-Storey Steel-Framed Buildings. Berkshire: SCI Publication, 2000.

8. STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE . Structural fire safety: A handbook for architects ang engineers. Berkshire, SCI Publication, 1999.

9. STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. The fire resistance of composite floors with steel decking. Berkshire, SCI Publication , 1991.

10. STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. Design of steel framed building without applied fire protection. Berkshire, SCI Publication , 1999.

11. SILVA, V. P. ?Estructuras de acero en situación de incêndio?. Acero Latinoamericano, Chile, n.495 , p. 26-42, Mar./Abr. 2006.

12. COSTA, C. N. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. 2008. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2008