
Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos

Antonio Maria Claret Gouveia



Programa Monumenta

*Cadernos
Técnicos*

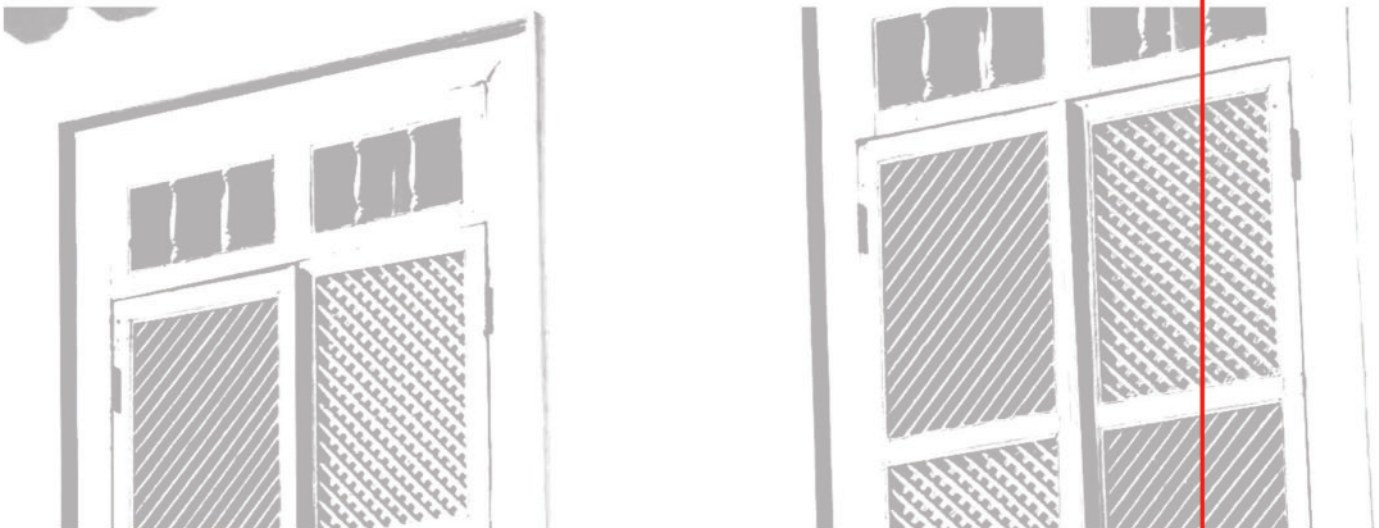
5

Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos

*Antonio Maria
Claret Gouveia*

Cadernos Técnicos

5



CRÉDITOS

Presidente da República do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro de Estado da Cultura

Gilberto Passos Gil Moreira

Presidente do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional Coordenador Nacional do Programa Monumenta

Luiz Fernando de Almeida

Coordenação editorial

Sylvia Maria Braga

Edição

Caroline Soudant

Copidesque

Ana Lúcia Lucena

Preparação e revisão

Denise Costa Felipe

Diagramação

Cristiane Dias / Priscila Reis (assistente)

G719a Gouveia, Antonio Maria Claret

Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos / Antonio Maria Claret Gouveia.
Brasília, DF: IPHAN / MONUMENTA, 2006.

104 p. : il. ; 28 cm. – (Cadernos Técnicos; 5)

ISBN – 978-85-7334-037-2

ISBN – 85-7334-037-1

1. Prevenção de incêndios. 2. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.
II. Título. III. Série.

CDD – 363.377

AGRADECIMENTOS

*Agradecimentos são devidos a diversos colaboradores do
Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais,
do LARIn/EM/UFOP, do IEPHA e do IPHAN.*

*Todas as fotografias que ilustram este livro foram gentilmente cedidas por
Sérgio Sanches e Julio Azevedo, de Ouro Preto,
com exceção da fotografia da figura 1.5,
de autor marianense não identificado na oportunidade,
e da fotografia da figura 3.6, cedida pelos Bombeiros Voluntários de Itabirito.*



SUMÁRIO

Apresentação	7	
1. Conceitos básicos	9	
1.1	Introdução	11
1.2	O triângulo do fogo	11
1.3	Unicidade e aleatoriedade dos incêndios	13
1.4	Descrição dos incêndios por sua severidade	14
1.5	Descrição dos incêndios por meio da curva tempo-temperatura	15
1.6	Descrição dos incêndios por meio do modelo de duas camadas	16
1.7	Grandeza da carga de incêndio	17
1.8	Perigo e risco de incêndio	20
1.9	Conclusão	21
2. Conceituação do método	23	
2.1	Introdução	25
2.2	Exposição ao risco de incêndio	27
2.3	Risco de incêndio	28
2.4	Coeficiente de segurança	29
2.5	Conclusão	30
3. Parâmetros e fatores de risco	33	
3.1	Introdução	35
3.2	Compartimentação	35
3.3	Resistência ao fogo	37
3.4	Classificação das edificações	39
3.5	Áreas não protegidas externas	40
3.6	Fatores de risco	42
3.7	Conclusão	47
4. Medidas e fatores de segurança	49	
4.1	Introdução	51
4.2	Medidas sinalizadoras do incêndio	52
4.3	Medidas extintivas	52
4.4	Medidas de infra-estrutura	53
4.5	Medidas estruturais	53
4.6	Medidas políticas	54
4.7	Dois princípios do projeto de segurança	54
4.8	Conclusão	55

5. Parâmetros e fatores de risco de ativação de incêndios 57

5.1	Introdução	59
5.2	Classes de riscos de ativação	59
5.3	Riscos decorrentes da atividade humana	59
5.4	Riscos decorrentes das instalações	62
5.5	Riscos devidos a fenômenos naturais	63
5.6	Princípio da exclusão	63
5.7	Conclusão	63

6. Aplicação do método 65

6.1	Introdução	67
6.2	Levantamento de dados	68
6.3	Exposição ao risco de incêndio	70
6.4	Segurança	70
6.5	Risco de ativação	71
6.6	Risco global de incêndio	71
6.7	Análise de sensibilidade	71
6.8	Memória de cálculo	74
6.9	Estudo de casos	75
6.10	Conclusão	83

7. Levantamento de cargas de incêndio e aplicação do método a conjuntos de edificações 85

7.1	Introdução	87
7.2	Edificações, compartimentos e cômodos	87
7.3	Técnicas de levantamento	89
7.4	Dados para análise de risco	90
7.5	Tratamento dos dados	94
7.6	Conclusão	100

Referências bibliográficas 102

APRESENTAÇÃO

No curto intervalo de apenas quatro anos – entre 1999 e 2003 –, dois grandes incêndios atingiram monumentos importantes das cidades mineiras de Ouro Preto e Mariana. Não foi a primeira vez que o patrimônio cultural brasileiro sofreu perdas graves em decorrência de incêndios. Alguns resultaram de conflitos trágicos, como em Olinda, incendiada pelos holandeses em 1631, ou nos morros de Ouro Preto, incendiados pelo Conde de Assumar, em 1720. Outros, de situações suspeitas, quando documentos ou monumentos cuja existência certamente “incomodava” a uns e outros foram consumidos pelo fogo. Contra todos esses, a prevenção se situa no plano das relações sociais e políticas, seja pelo esforço de se evitar conflitos, seja por meio da educação para a preservação e, se tudo isso falhar, pela punição exemplar dos crimes contra o patrimônio cultural.

O que chama atenção nos dois casos citados inicialmente, próximos no tempo e no espaço, é que, observados lado a lado, oferecem uma amostra de experiências complementares. Em Mariana, a Igreja do Carmo foi atingida principalmente nos elementos vitais da sua expressão artística, representados pelos forros pintados, altares, imagens e ornatos em pedra; em Ouro Preto, o sobrado do Hotel Pilão, de uso comercial, não pôde ser protegido, mesmo apresentando a rara vantagem de situar-se numa esquina e, portanto, de oferecer acesso a duas fachadas.

Em nenhuma dessas situações, o combate ao fogo evitou perdas irreparáveis. O caso da Igreja do Carmo abriu espaço para um grande debate conduzido pelo IPHAN. Como não podia deixar de ser, a restauração significou um conjunto de escolhas e de caminhos, um ensinamento importante enquanto processo, mas que, nem por isso, traz respostas prontas para futuras condutas (que, espera-se, nunca sejam necessárias). O caso do Hotel Pilão, quase totalmente destruído, trouxe à tona o debate sobre a ética da reconstrução arquitetônica, tese que, diante de um conjunto de condicionantes, acabou prevalecendo.

Os resultados da pesquisa do professor Antonio Maria Claret não se circunscrevem a esses casos ou a essa região, menos ainda se dedicam aos aspectos conceituais das intervenções pós-incêndio. No entanto, a motivação para esse esforço inédito de compreensão científica do processo dos incêndios nos sítios históricos, suas causas e suas proporções, certamente se vincula à experiência desses dois episódios, que ensinam que os efeitos do combate são limitados e que, por melhores que possam ser as soluções encontradas para a recuperação, sempre significarão uma subtração das informações e dos valores que a edificação original possuía.

A UNESCO esteve presente especialmente após o incêndio do Hotel Pilão, com o intuito, menos de contribuir com a solução do ocorrido, mas principalmente de estimular um conjunto de ações voltadas para a prevenção. Sua associação com as entidades locais, o Corpo de Bombeiros, o governo estadual e a Universidade Federal de Ouro Preto deu origem ao Movimento Chama, cujas iniciativas incluíram o diagnóstico preliminar das instalações comerciais e de serviços da cidade, treinamento e formação de brigadas, melhor aparelhamento e infra-estrutura do Corpo de Bombeiros, campanhas de sensibilização e propostas normativas. Um elo essencial que, naquela ocasião, faltava a esse movimento era justamente uma base científica que oferecesse dados mais seguros para uma política de prevenção e combate ao incêndio compatível com as características físicas e morfológicas de Ouro Preto e, por analogia, dos sítios coloniais brasileiros.

E se para o professor, as tristes experiências estimularam e deram suporte ao aprofundamento e à sistematização da sua pesquisa, não é preciso ser especialista para se depreender os muitos ensinamentos que emergem com absoluta clareza dos seus métodos e resultados.

Ao incluir essa pesquisa na sua série Cadernos Técnicos, o Programa Monumenta espera disseminar o método de avaliação de risco global de incêndio desenvolvido pelo professor e incentivar os técnicos que atuam na prevenção e combate ao incêndio a aplicá-lo. Mais do que dimensionar o risco, o método deixa claro que as medidas de prevenção devem refletir situações muito diferenciadas, ou seja, que é preciso criatividade e flexibilidade para conceber sistemas de proteção que associem intervenções construtivas, equipamentos, mas, principalmente, atitudes, comportamentos e formas adequadas de uso das edificações.

Nesse aspecto, a responsabilidade pela prevenção extrapola em muito a concepção de sistemas específicos e passa a dizer respeito a todos nós, técnicos ou não, legisladores, gestores, moradores dos sítios históricos. Por exemplo, o uso e ocupação do solo, tema central da legislação urbanística, é um dos principais determinantes do grau de risco e não pode estar dissociado das normas de preservação dos sítios históricos. A prefeitura e os órgãos de preservação devem trabalhar absolutamente juntos, não só nesse, mas especialmente nesse aspecto. Um Alvará de Localização adequado, ou seja, aquele que esteja condicionado à capacidade da edificação para receber um determinado tipo de uso, assim como à posição dessa edificação no espaço urbano, é o instrumento por onde tudo começa. Hidrantes e extintores virão depois, para minimizar o dano que não deveria sequer ter começado.

É no mínimo curioso constatar que a pesquisa veio dar fundamentação científica e instrumentos para lidarmos com um problema que, de maneira empírica, é um nosso velho conhecido. Em 1716, um Alvará Régio de Dom João V, diante dos acidentes causados por foguetes nas festas religiosas, já se mostrava atento a tudo isso, ou seja, ao comportamento dos moradores, à forma física do sítio e ao uso do solo:

"... por evitar os grandes incêndios que podem suceder, como já têm sucedido, de se usar de foguetes e outros fogos similares nas festas que se fazem, e me ser presente que na vila do Recife houvera um grande incêndio precedido de um foguete que na véspera de Santa Catarina se deitara, e entrando na casa de um morador que tinha um barril de pólvora voaram as casas e pereceram 14 pessoas e ser justo evitarem-se semelhantes maus sucessos, hei por bem e mando que nenhuma pessoa, de qualquer qualidade e condição que seja, possa deitar foguetes nem outra alguma casta de fogo na cidade de Olinda, vila do Recife, bairro de Santo Antônio e suas vizinhanças, pela muita união que têm umas casas com as outras e estar na povoação a Casa da Pólvora."

O método de análise de risco proposto pelo professor Antonio Maria Claret é uma contribuição importante à inovação e à pesquisa na área da conservação, bem ao espírito do Programa Monumenta e de sua série de publicações. Mas é fundamental que ele seja também compreendido pelo que contém de indução à reflexão acerca de novas formas de prevenção, que envolvam amplos compromissos, das leis e fiscalização do uso do solo à adesão dos moradores e usuários dos sítios históricos.

Jurema Machado

Coordenadora de Cultura da UNESCO no Brasil

1. Conceitos básicos

1.1 - INTRODUÇÃO

O método que será desenvolvido neste livro aplica-se à análise de risco de incêndio em edificações típicas do período colonial brasileiro, cujas características as tornam particularmente vulneráveis a incêndios.

Entre essas características citam-se, por ordem de importância, as seguintes:

- a) os materiais empregados e os processos construtivos – o uso da madeira como principal material de construção e o emprego de ligações de baixa rigidez tornam as construções coloniais particularmente vulneráveis à ação do fogo;
- b) a organização do espaço edificado de acordo com os costumes de uma época em que os conhecimentos de segurança contra incêndio eram rudimentares;
- c) o uso atual dos espaços, com as conseqüentes modificações introduzidas – a contínua adaptação das edificações coloniais ao uso das sociedades modernas freqüentemente se faz com sérios prejuízos à segurança contra incêndio;
- d) o espaço urbano em que se inserem, que, freqüentemente, impõe muitas restrições à atividade de combate ao incêndio, seja pela reduzida largura das vias de acesso, seja pela geminação das construções e, em alguns casos, pela acentuada declividade das ruas.

Cada uma dessas características tem um impacto próprio na severidade do incêndio nas edificações coloniais. Em conjunto, elas fazem do risco de generalização do incêndio um evento provável nos sítios históricos.

1.2 - O TRIÂNGULO DO FOGO

Provavelmente a idéia que temos de incêndio não seja adequada para um estudo científico desse fenômeno. O grande volume de fumaça, as chamas de grande altura, a destruição patrimonial são elementos que acompanham a imagem que em geral guardamos dos incêndios. Na verdade, a observação direta dos incêndios nunca serviu muito bem ao seu estudo e isso, aliás, é uma das razões pelas quais a engenharia de incêndios se desenvolveu muito lentamente.

Um dos modelos mais antigos destinados a explicar a formação do fogo é expresso no denominado *triângulo do fogo* (figura 1.1): diz-se que só haverá fogo se houver a presença simultânea de material combustível, oxigênio e calor, sendo esses três elementos essenciais representados nos vértices de um triângulo.



Figura 1.1 – Triângulo do fogo.

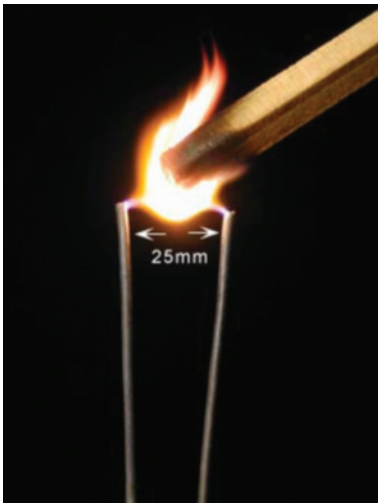


Figura 1.2 – Produção do fogo.

O que ocorre na gênese do fogo pode ser sintetizado assim: a incidência do calor sobre o material (figura 1.2) produz a sua decomposição – pirólise –, a qual gera gases combustíveis, que, por sua vez, reagem com o oxigênio, produzindo calor, gases e partículas sólidas que compõem a fumaça. O calor produzido na reação de combustão volta a incidir sobre os materiais combustíveis do meio ambiente, o que realimenta a reação química.

Devemos fazer algumas reflexões sobre o significado do triângulo do fogo para entendermos melhor os incêndios. É certo que, se faltar um dos elementos essenciais, um dos vértices do triângulo – material combustível, oxigênio ou calor –, não haverá o início de ignição. À primeira vista, o triângulo do fogo sugere três meios de redução do risco de incêndios: a redução da carga combustível em um compartimento², a redução da probabilidade de o material combustível vir a ser exposto a uma fonte de

calor e, finalmente, a redução do teor de oxigênio no ambiente. Essas três alternativas são usadas em projetos de segurança contra incêndio e sobre elas falaremos noutra parte deste livro.

Mas, pergunta-se, se os três elementos estão presentes, tem-se necessariamente um início de ignição? A melhor resposta é não: pode ocorrer que a quantidade de calor fornecida pela fonte piloto não seja suficiente para iniciar um processo de ignição auto-sustentável. Nesse caso, o fogo que se iniciou em um determinado objeto combustível se apagará por si mesmo e não se desenvolverá um incêndio naquele compartimento. Por outro lado, de forma análoga, pode ser que a quantidade de energia presente no objeto combustível que primeiro pegou fogo seja insuficiente para gerar uma quantidade de calor capaz de generalizar o incêndio sobre outros objetos do compartimento. Assim, também não haverá incêndio – talvez só o que chamamos de “início de incêndio”.

Um caso curioso é o chamado “incêndio sem chamas” (*smouldering fire*), ou, melhor dizendo, combustão sem chamas. Ela ocorre quando há insuficiência de oxigênio, mas quantidade de calor suficiente para promover a decomposição de todo o material combustível. A combustão sem chamas se caracteriza pela grande produção de gases combustíveis, que enchem o compartimento e podem causar explosão, se houver uma rápida injeção de oxigênio no ambiente (figura 1.3).

Devemos observar que sempre nos referiremos ao objeto pelo qual se inicia o incêndio. Esse é um conceito que ganhou relevância na engenharia de incêndio: em todo compartimento, há objetos que são mais prováveis de iniciar um incêndio e, conforme



Figura 1.3 – Combustão sem chamas.

variem esses objetos, variam também os cenários de incêndio considerados em projeto. Vejamos um exemplo: um restaurante tem sobre o balcão uma cafeteira elétrica cujas instalações internas não são, digamos, muito bem-feitas. Com o uso intenso, ela se aquece a ponto de iniciar a ignição de seus próprios componentes. Se o balcão for de aço e estiver distante de outros materiais combustíveis, é provável que o fogo se extinga sem causar um incêndio generalizado. Mas se, ao contrário, houver outros materiais combustíveis à volta do balcão, pode ser que o incêndio se generalize.

Vimos, até o momento, que deve haver material combustível, uma fonte inicial de calor e oxigênio para termos fogo. Vimos também que, salvo condições muito especiais, existentes, por exemplo, em laboratórios, não será possível dizer que a simples presença desses três elementos resulte em um incêndio generalizado. Portanto, o triângulo do fogo é um modelo muito simples para uma explicação satisfatória do incêndio.

1.3 - UNICIDADE E ALEATORIEDADE DOS INCÊNDIOS

Há fenômenos que têm causas precisas, bem determinadas; no mundo físico, se se repetem as causas, então os efeitos se repetem. Por exemplo, se tomamos um carrinho de massa 1 kg, que desliza sem atrito e sem resistência do ar sobre um plano inclinado de 10° , e medimos a velocidade com que ele passa por um ponto a 25 cm da origem, sempre que repetirmos as "condições" desse movimento, o "resultado", que é a velocidade medida, se repetirá. Diz-se que tal fenômeno é determinístico.

Porém, tomemos a sala de um apartamento do 10° andar de um edifício, e suponhamos que nela ocorre um incêndio generalizado. Como poderíamos afirmar que tal incêndio seja igual a um outro havido um mês antes na sala de um apartamento idêntico do 5° andar? Não há meios de fazermos tal afirmativa, porque em uma sala é muito grande o número de "condições" que influem sobre o "resultado" denominado incêndio. Há parâmetros, como a direção e a velocidade do vento, ou o número de janelas abertas no momento do início da ignição, cuja influência sobre o incêndio é evidente; mas há outros, muito mais sutis, como a posição dos móveis (ainda que sejam móveis idênticos) nas duas salas e o tipo de acabamento nas paredes de cada apartamento. É por isso que se diz que o fenômeno incêndio é único cada vez que ocorre.

O grande número de parâmetros dos quais depende o resultado denominado "incêndio" serve para justificar em termos absolutos a sua unicidade. Mas, de fato, se conseguíssemos repetir todos os parâmetros que sobre ele influem, ainda restaria a sua aleatoriedade, como a de um dado que se joga e pode dar um dentre seis resultados igualmente prováveis. No caso de início de ignição, por exemplo, uma análise acurada pode definir os objetos nos quais seria mais provável ela ter começado. Analogamente, a propagação dos incêndios é aleatória, mas os projetos de engenharia se baseiam em caminhos mais prováveis que compõem os cenários de projeto.

A aleatoriedade dos incêndios, se aceita, propõe uma questão desafiante e nos ensina algo importante: se o incêndio é aleatório, não devemos buscar a sua "causa", a menos que seja um incêndio voluntário³. Seria contraditório. Em geral, depois de um incêndio, divulga-se pela imprensa que este ou aquele órgão irá apurar as "causas" do incêndio. Na verdade, deseja-se dizer que se apurará se o incêndio é ou não criminoso e, talvez, no máximo, se descreverá como ele se iniciou e se desenvolveu ao longo do tempo.

1.4 - DESCRIÇÃO DOS INCÊNDIOS POR SUA SEVERIDADE

A unicidade nos coloca a seguinte questão: como poderemos descrever um incêndio em termos gerais? Há algumas respostas para essa pergunta, e elas serão examinadas neste e nos próximos itens. A primeira é que podemos descrever um incêndio pela sua severidade⁴. A severidade de um incêndio dá uma idéia dos danos que ele causa a uma edificação, a seus usuários e, em alguns casos, ao meio ambiente⁵.

Concluimos, portanto, que a severidade é uma medida da intensidade dos efeitos do incêndio sobre edificações, usuários e meio ambiente. Uma

questão central na engenharia de incêndios é que, se é verdade que os incêndios são aleatórios e, muitas vezes, escapam ao nosso controle, é também verdade que a severidade dos incêndios depende em grande extensão dos projetos de segurança.

É comum associar-se a máxima temperatura⁶ desenvolvida em um incêndio a sua severidade. Nem sempre, porém, isso dá uma idéia precisa da severidade no caso específico considerado, já que, como ficou claro, ela depende também do quanto a edificação e os usuários estão preparados para interagir com o incêndio. No caso dos sítios históricos, mesmo incêndios de temperaturas relativamente baixas podem ser muito severos, porque os danos a obras de arte, causados pelo fogo ou pela fumaça, podem ser irreversíveis mesmo a baixas temperaturas.

Não há uma escala formal de severidade dos incêndios. Isto faz com que a sua avaliação seja essencialmente subjetiva⁷. Considerando a existência de outros meios de descrição dos incêndios para fins de projetos de segurança, não há mal nenhum em deixar que a severidade tenha uma avaliação subjetiva.

Figura 1.5 – Incêndio na Igreja do Carmo em Mariana: severidade mediana.



Figura 1.4 – Incêndio do Hotel Pilão em Ouro Preto: severidade alta.

As figuras 1.4 e 1.5 ilustram incêndios que poderiam ser classificados de severidade alta e mediana, respectivamente. No caso do Hotel Pilão, em Ouro Preto, o incêndio destruiu toda a edificação e seu conteúdo, de modo a exigir a sua completa reconstrução. Já o incêndio da Igreja do Carmo, em Mariana, apesar de haver destruído um conteúdo valiosíssimo⁸, poderia ter ido além, com a destruição também da edificação, se não fosse controlado.

No caso dos sítios históricos, os incêndios desenvolvidos são potencialmente muito severos. Essa conclusão se justifica pelos danos irreversíveis causados às edificações e aos bens culturais nelas alojados, bem como ao risco de propagação para imóveis vizinhos.

1.5 - DESCRIÇÃO DOS INCÊNDIOS POR MEIO DA CURVA TEMPO-TEMPERATURA

Uma segunda forma de descrever um incêndio, ainda muito utilizada, é por meio de uma curva tempo-temperatura ou, simplesmente, uma *curva* $\theta(t)$. Se admitirmos que, desde o início da ignição até a extinção do incêndio, passando pelo desenvolvimento e generalização, haja uma distribuição uniforme de temperaturas no compartimento, o incêndio poderá ser bem representado por uma curva como a da figura 1.6.

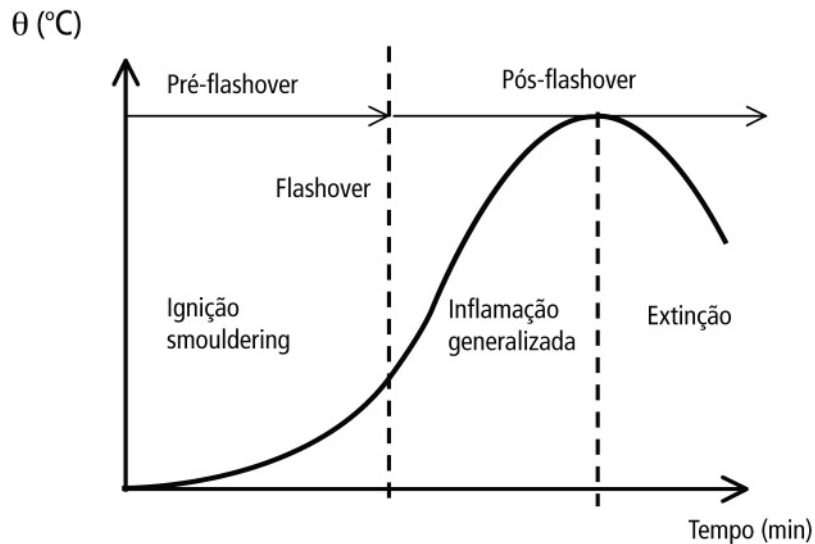


Figura 1.6 – Curva de desenvolvimento de um incêndio.

Na curva de desenvolvimento do incêndio, observamos uma fase inicial, com duração entre 2 e 5 minutos⁹, em que a temperatura ambiente cresce de 20°C a $250\text{-}350^{\circ}\text{C}$. Nessa fase, denominada *início de ignição*, o incêndio já envolveu um ou mais objetos, mas não, ainda, o compartimento todo. Ao final dela, o volume de fumaça é grande, em geral, e a visibilidade pode ser muito reduzida. Para os seres humanos, as condições de sustentação da vida são muito ruins já nessa fase, mesmo nos primeiros instantes. Também nessa fase, especificamente no seu início, devem atuar os detectores de incêndio e os chuveiros automáticos, bem como pode fazer efeito o emprego dos extintores manuais de incêndio.

Separando a fase de início de ignição da fase seguinte, há um ponto que se denomina *ponto de flashover* ou de *inflamação generalizada*. A palavra "ponto" aqui significa, na verdade, uma estreita faixa de temperaturas¹⁰, entre 250 e 350°C , na qual ocorre a generalização do incêndio. Posteriormente, daremos uma melhor explicação para o fenômeno conhecido como *flashover* ou *inflamação generalizada*.

O incêndio generalizado corresponde à imagem típica que guardamos dos incêndios: temperaturas elevadas, grandes volumes de fumaça e rápida propagação, quando os elementos de confinamento do compartimento de origem não têm a resistência ao fogo necessária. A duração dessa fase depende de muitos parâmetros, mas dois são os principais: a *densidade de carga de incêndio* ou *carga de incêndio específica* e o *fator de ventilação*. Voltaremos oportunamente ao conceito dessas duas importantes grandezas. Por enquanto, diremos que, em geral, a fase de incêndio generalizado dura de 20 a 40 minutos ou até que cerca de 60% a 80% da carga combustível seja consumida.

A fase de extinção é aquela em que há resfriamento gradativo do ambiente incendiado. Essa fase pode durar de 1 a 3 horas e nela podem ocorrer fenômenos importantes, como o reinício do incêndio, se não houve consumo total dos materiais combustíveis, e o colapso de elementos estruturais e de vedação¹¹.

Essa é a breve descrição de um incêndio compartimentado por meio de uma curva tempo-temperatura. Trata-se de um modelo que supõe a uniformidade de temperatura no ambiente incendiado, o que é, na verdade, uma hipótese pouco realística para incêndios de grande volume. Por essa razão, o *modelo de duas camadas* foi desenvolvido e é o que usaremos mais na interpretação dos fenômenos associados ao incêndio de edificações.

Mas, antes de estudar o modelo de duas camadas, devemos acrescentar uma observação importante. Frequentemente ocorrem incêndios de duração maior e também com formas de desenvolvimento distintas das descritas acima. Isto se dá porque o fenômeno da propagação está envolvido, ou seja, o incêndio se inicia, generaliza-se e se propaga, provocando novos incícios e generalizações em outros cômodos da mesma edificação ou de edificações vizinhas. No caso das edificações típicas dos sítios históricos, por exemplo, um caminho provável de propagação de incêndio, em muitas edificações, é o espaço entre o forro e o telhado. Explica-se: o forro de madeira é consumido e o incêndio atinge a estrutura de telhado que, caindo sobre o forro do compartimento vizinho, propaga o incêndio. Pode-se dizer que "nos sítios históricos, os incêndios, como os gatos, caminham pelos telhados".

1.6 - DESCRIÇÃO DOS INCÊNDIOS POR MEIO DO MODELO DE DUAS CAMADAS

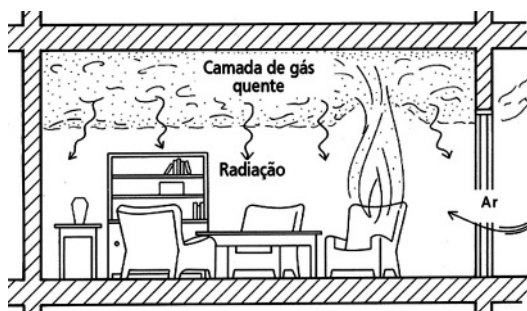


Figura 1.7 – Descrição do incêndio: modelo de duas camadas.

O modelo de duas camadas admite que no ambiente compartimentado a atmosfera se divide em duas camadas de gases, a saber: a *camada superior*, onde os gases têm as temperaturas mais elevadas de todo o ambiente, e a *camada inferior*, onde os gases estão a temperaturas relativamente mais baixas. A separação entre ambas se dá por uma superfície imaginária denominada simplesmente de *interface*.

A figura 1.7 ilustra o modelo de duas camadas em um compartimento. Segundo esse modelo, o que ocorre no ambiente pode ser descrito assim: a ignição se inicia em um determinado objeto (na figura, o objeto é um sofá) e produz gases quentes que se elevam rumo ao forro. O oxigênio existente no ambiente mistura-se aos gases produzidos pela pirólise do material e produz chamas. Em geral, a quantidade de oxigênio é insuficiente para provocar a combustão de todo o volume de gases produzidos. Então, forma-se sob o forro uma camada de gases combustíveis misturados a fumaça e a partículas sólidas em suspensão, denominada *camada* ou *colchão de gases quentes*.

Se o processo de ignição continua, a espessura da camada superior cresce, ao mesmo tempo em que a sua temperatura aumenta. Em consequência, os gases situados na parte inferior do compartimento formam uma camada ligeiramente mais fria¹², cuja espessura decresce continuamente, se não houver, de algum modo, exaustão dos gases quentes.

Nesse ponto, podemos descrever o mecanismo de *flashover* a que nos referimos antes. Vimos que a camada superior pode ter grande volume de gases combustíveis, porque a quantidade de oxigênio no ambiente pode ser insuficiente. Nesse caso, havendo uma súbita injeção de oxigênio no ambiente, seja pela abertura de uma porta ou pela ruptura dos vidros de uma janela, haverá a combustão rápida desses gases, gerando grande volume de chamas na parte superior do compartimento – é o *flashover*¹³, ou “clarão por cima”. Ocorrerá intensa radiação de calor sobre os demais objetos do compartimento que, assim, atingem a temperatura de ignição espontânea, generalizando o incêndio.

O modelo de duas camadas é muito útil na análise do risco de incêndio em edificações. Muitas conclusões podem ser estabelecidas a partir dele, como, por exemplo, o *tempo disponível para o escape seguro* e as *condições de sustentabilidade* da vida humana em função do tempo de desenvolvimento do incêndio, conceitos dos quais falaremos mais tarde.

1.7 - GRANDEZA DA CARGA DE INCÊNDIO

É lógico pensarmos que o risco de incêndio em um compartimento qualquer tem uma estreita relação com a quantidade de energia que pode ser liberada no incêndio. Essa energia está na massa de material combustível existente no compartimento e é liberada na reação de combustão que, como vimos, é exotérmica. A propósito, lembramos que um dos vértices do triângulo do fogo é exatamente o material combustível.

Por isso, designamos por *carga de incêndio de um compartimento* a quantidade total de energia que pode ser liberada em um incêndio. A unidade de carga de incêndio é obviamente a de energia, que no Sistema Internacional (SI) é o Joule, símbolo J. Na engenharia de incêndio, utiliza-se frequentemente o múltiplo Megajoule, símbolo MJ. Para ilustrar, tomemos como exemplo um compartimento de 20 m², de piso, forro e paredes incombustíveis, inicialmente vazio, onde se utilizou 0,65 m³ de madeira seca para fazer armários. Sendo a densidade da madeira seca 800kg/m³, conclui-se que a massa de madeira utilizada é $M = (800)(0,65) = 520$ kg. Então, a carga de incêndio no compartimento é de 520 kg de madeira seca. Mas, pergunta-se: qual a quantidade de energia calorífica contida em 1 kg de madeira seca? Esta mesma pergunta deverá ser feita para todos os materiais envolvidos na construção e no uso de uma edificação.

Denomina-se *poder calorífico de um material*, e representa-se por H_c , a quantidade de energia que pode ser liberada sob a forma de calor pela combustão completa de uma unidade de massa desse material. Logo, o poder calorífico é medido em ensaios normalizados e suas unidades SI mais comuns são o kJ/g ou MJ/kg.

A tabela 1.1 fornece o poder calorífico de vários materiais; aí se vê, por exemplo, que o poder calorífico da madeira seca pode ser tomado como 19 MJ/kg. Portanto, voltando ao exemplo anterior, no compartimento em que há 520 kg de madeira, há 9880 MJ de energia que pode ser liberada com a combustão completa da madeira – esta é a *carga de incêndio* do referido compartimento.

Tabela 1.1 – Poder calorífico de materiais

Material	H _c (MJ/kg)	Material	H _c (MJ/kg)
ABS	34-40	Resina melamina	16-19
Acrílico	27-29	Óleo de linhaça	38-40
Algodão	16-20	Seda	17-21
Asfalto	40-42	Ureiaformaldeído	14-15
Betume	41-43	Espuma de ureiaformaldeído	12-15
Carvão	34-35	Borracha isoprene	44-45
Carvão mineral, coque	28-34	PVC	16-17
Celulóide	17-20	Metanol	19-20
Celulose	15-18	Espuma de borracha	34-40
Cera, parafina	46-47	Óleo diesel	40-42
Couro	18-20	Placa de isopor	17-18
Espuma de poli-isocianurato	22-26	etileno	48.2
Espuma de poliuretano	23-28	Etanol	26.8
Fenolformaldeído	27-30	Licores alcoólicos	26-28
Gordura	40-42	Madeira	17-20
Grãos (sementes e cereais)	16-18	Palha, sapé, capim	15-16
Lixo de cozinha	8-21	Lã	21-26
Papel, papelão	13-21	Gasolina	43-44
Petróleo	40-42	Isopropil	31.4
Policarbonato	28-30	Butano	45.7
Poliéster	30-31	Fumo	37-39
Poliéster reforçado com fibras	20-22	Benzeno	40
Poliestireno	39-40	Etil álcool	27
Polietileno	43-44	Benzil álcool	27
Polipropileno	42-43	Hidrogênio	119.7
Politetrafluoretileno	5	Metano	50
Resina epóxi	33-34	Óleo de parafina	40-42
Roupas	17-21	Borracha de pneu	31-33

Fonte: A. H. Buchanan (Editor). Fire Engineering Design Guide. University of Canterbury, 1994.

Conhecida a carga de incêndio de um compartimento, define-se sua *densidade de carga de incêndio*¹⁴ ou *carga de incêndio específica* como a razão da carga de incêndio pela área do piso do compartimento. No caso em foco, a densidade de carga de incêndio é 494 MJ/m².

Cabe aqui lembrar que o leitor poderá encontrar uma ligeira confusão de linguagem na prática de projetos de segurança contra incêndio e até mesmo na regulamentação. Às vezes, a expressão "carga de incêndio" é usada em lugar de "densidade de carga de incêndio". Menos freqüentemente, a expressão "carga térmica" é também usada em lugar tanto de "carga de incêndio" quanto de "densidade de carga de incêndio". Em geral, embora a nomenclatura varie, as unidades de medida são coerentes, o que afasta a possibilidade de erros mais graves em projeto.

Quando se faz a medição direta da carga de incêndio, é interessante conhecer os valores da quantidade de energia que está armazenada em alguns objetos. Por exemplo, um sofá de dois lugares, do tipo mais comum nas residências brasileiras, tem na sua composição cerca de 904 MJ; já um aparelho de TV de 21" representa cerca de 390 MJ. A tabela 1.2 fornece alguns valores da carga de incêndio de objetos comuns em edificações residenciais e comerciais. Deve-se ter em mente que esses dados provêm de ensaios e podem apresentar certa variação conforme a fonte.

Pela sua importância no projeto de segurança contra incêndio, a carga de incêndio específica deve ser determinada com certo rigor, sobretudo nas edificações típicas dos sítios históricos. A técnica de levantamento da carga de incêndio será descrita posteriormente neste livro.

Tabela 1.2 – Cargas de incêndio de objetos comuns

Objeto	H _c (MJ/kg)	Objeto	H _c (MJ/un)
Aparelho de TV	21 MJ/kg	Máquina de lavar louças	31 MJ/kg
Aparelho de som	21 "	Secadora de roupas	32 "
Aparelho de DVD	21 "	Forno de microondas	28 "
Geladeira, freezer, frigobar	28 "	Forno elétrico	28 "
Sofá de um lugar	19 "	Cadeiras de escritório	22 "
Tapete	27 "	Videocassete	20 "
Almofadas (espuma)	18 "	Computador	492 MJ/un
Couro	19 "	Impressora	146 "
Máquina de lavar roupas	32 "	Sofá de 2 lugares (tecido)	904 "
		Sofá de 3 lugares (tecido)	983 "

Estivemos tratando até agora da grandeza da energia calorífica que pode ser liberada pela massa de material combustível em um incêndio. Mas há outras propriedades físicas e químicas da massa de material combustível que influem sobre o risco de incêndio. São: a posição, a combustibilidade, a carga de fumaça e sua densidade óptica e a toxicidade. Essas propriedades serão examinadas no capítulo 3 deste livro.

1.8 - PERIGO E RISCO DE INCÊNDIO

Os conceitos de perigo e de risco são muito sutis e freqüentemente se observa grande confusão no seu emprego. Para ilustrar, vamos imaginar uma operação que consiste em misturar dois líquidos A e B, o que deve ser feito muito lentamente, porque a mistura abrupta pode ocasionar explosão. Então, vê-se que há *perigo* de explosão sempre que A e B devam ser misturados. Mas, suponha que a mistura vá ser feita por um técnico de laboratório que recebeu um intenso treinamento para isso e utiliza os equipamentos mais adequados para tal experiência. Pode-se dizer, nesse caso, que a *probabilidade* de que ocorra uma explosão é bastante reduzida ou que o *risco* de explosão é suficientemente baixo para ser aceito.

Portanto, a noção de perigo é distinta da de risco, porque esta última envolve o conceito de probabilidade. Perigo de incêndio ou *possibilidade de início e desenvolvimento de incêndio* sempre há, porque materiais combustíveis, fontes de calor e oxigênio são abundantes nos espaços construídos. Mas o risco de incêndio, isto é, a *probabilidade de que um incêndio, uma vez iniciado, se desenvolva*, pode ser suficientemente reduzida para que se viva em tranqüilidade em um determinado ambiente.

Este é o momento mais adequado para se falar de uma outra entidade cuja noção decorre dos conceitos de perigo e de risco: a *ilusão de segurança*. Freqüentemente, a sensação de segurança que se tem ao usar um determinado espaço não decorre de medidas de segurança efetivamente adotadas, mas de mera subavaliação do risco de incêndio. A ilusão de segurança pode ser bastante confortável do ponto de vista psicológico, mas impede ou, pelo menos, retarda a adoção das medidas necessárias para a redução do risco de incêndio a níveis aceitáveis.

A ilusão de segurança é apenas um artifício psicológico comum nos usuários, mas é um grave defeito nos profissionais responsáveis pela segurança contra incêndio das edificações, ensejando a omissão culposa.

Quando se diz que há *risco de incêndio* em um compartimento, deseja-se expressar que há uma certa *probabilidade* de que um incêndio se inicie e se desenvolva naquele compartimento. Entretanto, as palavras *risco* e *probabilidade*, em geral, não são usadas com o mesmo significado: enquanto a probabilidade tem uma definição matemática rigorosa, o risco é uma noção muito mais intuitiva. Para ilustrar, lembremos do jogo de dados: podemos dizer que a *probabilidade* de se obter o número 3, cada vez que se lança o dado, é de $1/6$, mas também podemos dizer que, cada vez que se lança o dado, corre-se o "*risco* de ganhar". É evidente o caráter intuitivo da segunda afirmação.

A análise probabilística é um capítulo bem assentado da matemática, e a sua aplicação à engenharia de incêndio permitiria calcular a probabilidade de eventos diversos relacionados à segurança contra incêndio. Seria possível, por exemplo, calcular a probabilidade de ocorrência de um início de ignição em um dado compartimento e, logo após, a probabilidade de desenvolvimento desse incêndio. A probabilidade de que a porcentagem de monóxido de carbono no ambiente ultrapassasse um dado valor limite também poderia ser calculada.

Porém, um método probabilístico puro envolve uma formulação matemática complexa, o que dificulta sua aplicação rotineira em projetos. Por essa razão, vamos tratar de desenvolver um *método de quantificação do risco de incêndio* que, sem fazer uso de matemática avançada, possa ser aplicado em engenharia. Por suas características, o método que apresentamos neste livro é também denominado *método semi-probabilístico*.

1.9 - CONCLUSÃO

Neste capítulo, abordamos os principais conceitos que nos permitem formular um método de análise global de risco em sítios históricos. Iniciamos pelo estudo sucinto da física do fogo: verificamos como se dá uma reação de combustão e procuramos introduzir o conceito de que o incêndio é, na verdade, um conjunto de fenômenos cuja complexidade inviabiliza a observação direta para fins científicos. Tratamos do triângulo do fogo e de dois modelos para representar o desenvolvimento do incêndio em um compartimento. Particularmente, o modelo de duas camadas vai nos permitir interpretar, com razoável precisão, os incêndios reais.

Abordamos o conceito de carga de incêndio, procurando caracterizá-la sob o aspecto quantitativo. Em seguida, discutimos as noções de perigo e de risco de incêndio.

No próximo capítulo, trataremos de propor um método de análise global do risco de incêndio em sítios históricos. A análise se diz global porque pretende considerar todas as fontes de risco que tipicamente ocorrem nessas edificações.

NOTAS

1 - Denominação genérica que estamos adotando para designar ligações que envolvem peças estruturais de madeira, de pedra e, mais raramente, de ferro fundido.

2 - Oportunamente introduziremos um conceito rigoroso para a expressão *compartimento* em engenharia de incêndio. Por enquanto, compartimento deve ser entendido como um cômodo de uma edificação de onde nem o incêndio e nem seus efeitos podem sair para cômodos ou edificações vizinhas; isto é, um compartimento tem piso, forro e paredes resistentes ao fogo.

3 - Não nos ocupamos de incêndios voluntários nesta publicação, isto é, trataremos exclusivamente de incêndios aleatórios.

4 - O conceito de severidade que consideramos mais adequado e empregamos neste livro está relacionado ao sistema *edificação, usuário, incêndio*.

5 - O meio ambiente deve ser sempre considerado na avaliação da severidade dos incêndios. Para ilustrar, imagine um incêndio em um depósito de pneus, capaz de liberar tal quantidade de compostos de zinco que resulte na contaminação de um lençol freático situado na área de influência da edificação.

6 - Como saber a máxima temperatura desenvolvida em um incêndio? De modo aproximado, durante o incêndio, pode-se estimar a máxima temperatura pela cor das chamas – o que é relativamente simples para pessoas experientes, como os bombeiros. Após o incêndio, a máxima temperatura pode ser estimada pela análise dos restos de materiais que se fundiram.

7 - Essa subjetividade pode ser constatada quando se recolhe a história dos incêndios: para alguns, a perda de um determinado bem foi marcante; para outros, apenas lamentável. Em geral, incêndios que envolvem danos irreversíveis à vida humana são considerados severos.

8 - Por isso, já poderia ser considerado um incêndio muito severo. No entanto, como poderia ter ido além, preferimos dizer que foi um incêndio de severidade mediana.

9 - O tempo dependerá da combustibilidade ou inflamabilidade dos materiais; o volume de fumaça dependerá também de características específicas dos materiais.

10 - Há autores que incluem, nessa faixa, temperaturas entre 250 e 600°C.

11 - Na fase de extinção, há enrijecimento dos materiais metálicos usados na construção, o que pode causar o colapso das ligações pela retração.

12 - Por isso, uma das regras de segurança em incêndio manda que a pessoa se abaixe o mais possível, enquanto busca a saída de emergência. Não só a temperatura é mais baixa: a visibilidade é também muito maior, já que o ar nessa camada ainda não está misturado à fumaça.

13 - A palavra *flashover* vem da junção de *flash*, que significa "lampejo, clarão", e *over*, que significa "sobre ou por cima de alguma coisa". Logo, o *flashover* designa o súbito clarão provocado pelas chamas que decorrem da combustão instantânea dos gases na camada superior do compartimento.

14 - Estamos supondo que a carga de incêndio esteja uniformemente distribuída no espaço. Para os casos em que essa hipótese não se aplique, uma técnica aceitável é o cálculo da densidade de carga de incêndio em módulos predefinidos da área do piso, considerando-se como valor de projeto a média deles ou o valor que corresponde a determinado percentil, em geral igual ou acima de 85%.

2. Conceituação do método

2

CONCEITUAÇÃO DO MÉTODO

2.1 - INTRODUÇÃO

A análise global de risco é um método que se aplica ao projeto de segurança contra incêndios de edificações. O método permite estimar o *risco global de incêndio* em uma edificação isolada ou em um conjunto de edificações. Permite também, por meio de simulações em que se consideram diversos *cenários de incêndio*, determinar o conjunto de medidas ativas e passivas capazes de reduzir o *risco de incêndio* a um *máximo aceitável*.

Devemos aqui refletir sobre duas expressões usadas acima: cenários de incêndio e risco máximo aceitável.

Os cenários de incêndios são definidos por um conjunto de parâmetros que influem decisivamente sobre a severidade do incêndio em uma dada edificação ou um dado conjunto de edificações, tanto agravando-a quanto reduzindo-a. A determinação dos cenários de incêndio mais prováveis é uma tarefa para o profissional especializado, experiente em projetos e, sendo possível, em perícia de incêndios.

Por meio de um exemplo, procuremos materializar a noção de cenário de incêndio. Imaginemos um apartamento¹ usado como residência unifamiliar, situado a 12 m de altura, que tenha área total de 120 m² e pé-direito de 2,80 m. Imaginemos outros elementos para compor um cenário de incêndio²: uma hipótese sobre um início de incêndio (na cozinha do apartamento, por exemplo); um conjunto de medidas inibidoras (disponibilidade de extintores, presença de detectores de fumaça e calor, disponibilidade de hidrantes internos e mangotinhos no corredor do edifício); um conjunto de medidas favoráveis ao desenvolvimento do incêndio (carga de incêndio alta – a cozinha tem uma área pequena, móveis de madeira fina e uma despensa); uma hipótese de propagação (devido à proximidade, o incêndio logo se propagará para a sala, que é conjugada) e uma hipótese de comportamento de usuários (usuários não treinados para início de combate, mas capazes de escapar do ambiente sem ajuda de terceiros).

Observa-se no exemplo dado a presença de alguns elementos que constituem um cenário de incêndio:

- a) a geometria³, ocupação e localização do compartimento;
- b) uma hipótese sobre o início de ignição, ou seja, a determinação do objeto ou conjunto de objetos mais prováveis de iniciar um incêndio;
- c) um conjunto de medidas inibidoras do desenvolvimento do incêndio e da sua propagação;
- d) um conjunto de circunstâncias favoráveis ao desenvolvimento e propagação do incêndio;
- e) uma hipótese sobre a propagação do incêndio;
- f) uma hipótese sobre o comportamento dos usuários.

Evidentemente é uma tarefa complexa a determinação dos cenários de incêndio. Os dois principais fatores dessa complexidade são a aleatoriedade dos incêndios – os cenários considerados em projeto devem ser os mais prováveis – e a natureza do sistema físico que está em consideração, simbolicamente descrito pela interação *edificação + incêndio + usuários*.

Nas rotinas de projeto de segurança contra incêndio previstas na engenharia de incêndios, em geral, os cenários de incêndio são descritos qualitativamente em uma fase inicial⁴. Em uma etapa mais avançada, modelos de incêndio são utilizados para quantificar as diversas variáveis relativas ao incêndio, em particular, e daí se originam um ou mais *incêndios de projeto*.

Um incêndio de projeto se caracteriza por um conjunto de grandezas quantificadas que se referem ao incêndio e a seus efeitos. Poder-se-ia ter, por exemplo, um incêndio de projeto caracterizado pelas seguintes variáveis⁵: tempo para generalização do incêndio – 150 s; tempo disponível para o escape seguro (TDES)⁶ – 120 s; temperatura dos gases na camada superior no tempo disponível para o escape seguro – 280°C; temperatura máxima dos gases – 750°C; altura da interface das camadas superior e inferior no TDES – 2,5 m; teor de oxigênio na camada inferior – 45%.

O *risco máximo aceitável* é o maior risco que se admite na edificação ou em um conjunto de edificações em um dado momento, e depende de diversos fatores de natureza política, social e econômica. Portanto, é um parâmetro definido externamente que condiciona todo o projeto de segurança contra incêndio de uma edificação ou de um conjunto de edificações.

O risco máximo aceitável adotado em um projeto corresponde à admissão de que *há apenas uma certa probabilidade, que é aceitável naquele momento*, de que a edificação sofra um incêndio severo, se o projeto de segurança⁷ for implantado e mantido em condições operacionais. Desse modo, atingir o risco máximo aceitável e mantê-lo é, em síntese, o objetivo do projeto de segurança.

Em um sítio histórico que tenha a sua importância de fato reconhecida, o risco máximo aceitável deveria ser definido em valores sucessivamente⁸ menores por um *conselho de preservação* que atuasse no plano político com o devido assessoramento técnico. Em conseqüência, recursos financeiros seriam dirigidos de modo coerente à implantação daquelas medidas capazes de gerar um risco global de incêndio que determinasse um coeficiente de segurança mínimo admissível sucessivamente mais elevado.

Analogamente, em um edifício de apartamentos em construção, riscos máximos aceitáveis cada vez menores significariam maiores investimentos em segurança contra incêndios e, em conseqüência, valores de comercialização mais elevados. A propósito, em conjuntos habitacionais destinados a populações de baixa renda, os parâmetros de segurança contra incêndio geralmente considerados implicam sempre a adoção de *riscos máximos aceitáveis* maiores que os admitidos em construções destinadas a classes sociais de renda mais elevada. Nesse mesmo sentido, dispõem as normas técnicas prescritivas tradicionalmente adotadas no País.

Fica evidente que, dominando a técnica de quantificar o risco de incêndio em uma edificação, tem-se uma ferramenta para determinar as limitações que a economia impõe à segurança. Isso tem importante impacto sobre a ilusão de segurança, nesse caso, assumindo contornos sociais muito amplos.

Até o momento, as autoridades públicas não atuam explicitamente com o emprego de análise de risco. Mas, pelo menos teoricamente, as normas técnicas consideram os cenários de incêndio mais desfavoráveis para cada tipo de ocupação das edificações e adotam valores de riscos máximos aceitáveis que são os mais baixos para o impacto sócio-econômico admitido.

O limite inferior do risco máximo aceitável é dependente do nível tecnológico disponível. Algumas soluções, pela sua sofisticação, podem resultar em riscos máximos aceitáveis confortavelmente baixos, mas podem ter custo muito elevado. No caso especial de sítios históricos tombados, o risco máximo aceitável deve refletir a importância do acervo e, progressivamente, atingir o limite inferior permitido pelo estado atual da técnica.

Antes de calcular o risco de incêndio em uma edificação ou conjunto de edificações, vamos quantificar o perigo de incêndio (ver capítulo 1, seção 1.8). Como havíamos dado um conceito um tanto intuitivo de perigo de incêndio, introduziremos a grandeza *exposição ao risco de incêndio*, representada pela letra E, que medirá o perigo de incêndio em uma edificação. De modo inteiramente análogo, introduziremos uma grandeza que se denomina *segurança contra incêndio*, representada por S, que medirá o quanto a edificação se opõe ao perigo de incêndio.

2.2 - EXPOSIÇÃO AO RISCO DE INCÊNDIO

Com os conceitos já introduzidos no capítulo 1, não é uma tarefa difícil, ao observarmos uma edificação, listar o conjunto dos parâmetros⁹ que *facilitam* o desenvolvimento e a propagação do incêndio, e aqueles parâmetros que *dificultam* esses mesmos eventos. Em um primeiro momento, pode nos parecer – como, aliás, já afirmamos –, que o número de parâmetros em uma e outra lista seja muito grande. Mas, se tivermos o cuidado de considerar apenas os parâmetros que são predominantes na definição da severidade do incêndio, estaremos tratando com um número razoavelmente pequeno.

No início, deve-se nomear os parâmetros que *facilitam o incêndio* como *parâmetros de risco*, denominação que não é de todo conveniente, uma vez que ainda não estamos tratando do risco¹⁰. Em contraposição, os parâmetros que *dificultam o incêndio* serão nomeados *medidas de segurança*.

Para ilustrar, considere-se um compartimento de 120 m², situado no 18º andar de um edifício, sendo a densidade de carga de incêndio igual a 800 MJ/m². O edifício situa-se a cerca de 25 km de um grupamento do Corpo de Bombeiros. Em parte do trajeto de um local ao outro trafega-se por uma rua estreita e muito movimentada. Mais ainda, a carga de incêndio produz grande volume de fumaça, densa e fortemente tóxica. Vêm-se aí alguns dos parâmetros de risco mais importantes, quais sejam: a grandeza da carga de incêndio, a sua posição em relação ao nível de descarga¹¹; o afastamento do Corpo de Bombeiros e as condições de acesso ao local sinistrado; o volume de fumaça e a sua densidade; a toxicidade da fumaça e o seu poder corrosivo.

Lembrando que a severidade de um incêndio é uma medida indireta¹² do seu poder destrutivo (ver capítulo 1, seção 1.4), fica evidente por que cada um dos parâmetros citados é dito um parâmetro de risco. A grandeza da carga de incêndio influi¹³ em sua duração e na temperatura máxima originada no ambiente; a posição da carga de incêndio, o afastamento do Corpo de Bombeiros e o acesso das viaturas ao local do sinistro influem sobre a dificuldade de combate e, logo, sobre a duração do incêndio e a sua propagação; o volume de fumaça e a sua densidade reduzem o tempo disponível para o escape seguro; a toxicidade e o poder corrosivo da fumaça podem causar danos à vida humana, a obras de arte e a estruturas.

Deve-se ter cuidado com as conclusões a tirar nesse ponto: os parâmetros de risco favoreceriam a severidade de um incêndio, se ele viesse a ocorrer. O leitor apressado tenderia a afirmar que o *risco de incêndio* no compartimento considerado é alto. Mas, o que diria o leitor se soubesse que o compartimento está sem uso, fechado, e, portanto, o risco de se iniciar um incêndio ali é, de fato, muito baixo!? Talvez ficasse perplexo, porque as duas conclusões parecem verdadeiras, mas são opostas. É que estamos tratando de *exposição ao risco de incêndio*, uma grandeza que visa quantificar o perigo de incêndio, e não do *risco de incêndio*, que seria, este sim, uma medida da probabilidade ou risco de ocorrência de um incêndio severo no compartimento.

Pode-se pensar em *medidas de segurança* contra incêndio a serem adotadas no referido compartimento. Como o Corpo de Bombeiros está distante do local e a carga de incêndio é alta e está muito elevada em relação ao nível de descarga, deve-se pensar, por exemplo, em um sistema de detecção de calor e fumaça combinado a um sistema de hidrantes e mangotinhos para uso dos próprios ocupantes do compartimento, caso possam ser treinados para isso. Outra opção seria o emprego de um alarme manual combinado com um sistema de chuveiros automáticos, se isso for compatível com o conteúdo do compartimento.

Do mesmo modo que a presença dos *parâmetros de risco* em uma edificação não indica maior risco de incêndio (como vimos, indica maior *exposição ao risco de incêndio* ou, nomenclaturalmente, maior perigo de incêndio), a presença das *medidas de segurança* não indica também menor risco de incêndio. Elas indicam, sim, maior *segurança* contra incêndio no sentido de que a noção de segurança aqui se opõe à idéia de perigo de incêndio.

Há, portanto, dois conceitos opostos que expressam a *facilidade* e a *dificuldade* de desenvolvimento e propagação de incêndio em uma edificação: a *exposição ao risco de incêndio*, E , e a *segurança contra incêndio*, S . Para quantificá-los, utiliza-se um sistema de pesos ou *fatores de risco e de segurança*, respectivamente, cujo produto será a sua medida. Então, sendo f_i , $i = 1, p$ os fatores de risco (isto é, os pesos que atribuímos a cada um dos parâmetros de risco existentes na edificação) e s_j , $j = 1, n$ os fatores de segurança (isto é, os pesos que atribuímos a cada um dos fatores de segurança), as grandezas E e S são assim definidas:

$$E = \prod_1^p f_i \quad \text{Equação (1)}$$

$$S = \prod_1^n s_j \quad \text{Equação (2)}$$

Nunca é demais repetir: E e S não são estimativas do risco de incêndio; apenas medem o que existe na edificação de favorável e de contrário ao desenvolvimento e propagação de um incêndio. A introdução do conceito de risco de incêndio é feita na seção seguinte, após a introdução do conceito de risco de ativação.

2.3 - RISCO DE INCÊNDIO

Como vimos anteriormente, o conceito de risco de incêndio envolve a noção de probabilidade: maior risco de incêndio significa maior probabilidade de ocorrência de um incêndio severo na edificação. Ora, a exposição ao risco de incêndio é uma grandeza que não expressa a noção de probabilidade, mas indica, a qualquer tempo, a idéia de que um incêndio é possível em um dado compartimento, ou seja, existe *possibilidade* de ocorrência de um incêndio. Nesse ponto, salta aos olhos a idéia de que a exposição ao risco de incêndio é uma medida do *potencial* de incêndio que pode ser *ativado* por circunstâncias especiais, decorrendo dessa probabilidade de ativação o risco de incêndio.

Assim, o *risco de incêndio*, representado por R , é definido pelo produto da grandeza determinística E , que denota a *exposição ao risco de incêndio*, pela grandeza probabilística A , que denota o *risco de ativação de incêndio*. Isto é:

$$R = E \cdot A \quad \text{Equação (3)}$$

O risco de ativação tem vários componentes que serão estudados mais tarde. Por hora, é necessário sublinhar o caráter probabilístico do risco de ativação: ele mede a probabilidade de que uma *ação humana*¹⁴, consciente ou não, direta ou indireta, dê origem a um incêndio – seja, por exemplo, pelo “esquecimento” de uma vela acesa, por uma ponta de cigarro atirada na lixeira ou, quem sabe, por um curto-circuito provocado pela sobrecarga no uso da rede elétrica.

Finalmente, para rigor na formulação matemática, devemos fazer um ajuste na natureza das grandezas envolvidas no cálculo do risco. Se à *exposição ao risco de incêndio* (grandeza determinística), E , está associado o *risco de incêndio* (grandeza probabilística), R , à *segurança contra incêndio* (grandeza também determinística), S , está associada a *segurança contra incêndio*¹⁵

(grandeza probabilística). Nesse caso, as medidas de segurança que definem a grandeza determinística de segurança contra incêndio S são consideradas todo o tempo operacionais (isto é, não necessitam ser *ativadas*), sejam elas passivas (medidas que estão operacionais durante o uso cotidiano da edificação) ou ativas (medidas que se tornam operacionais na presença dos efeitos do incêndio). Isso, evidentemente, corresponde à adoção de um fator de ativação das medidas de segurança igual à unidade. Em termos práticos, admite-se que a manutenção das medidas de segurança seja sempre adequada.

2.4 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Do exposto, segue-se que, conhecendo o risco de incêndio, R , e a segurança contra incêndio, S , ambas grandezas probabilísticas, como vimos na seção anterior, a razão da segunda pela primeira fornece um *coeficiente de segurança contra incêndio*, denotado por γ , que mede o balanceamento entre medidas que dificultam o incêndio e medidas que o favorecem, ambas afetadas pelos respectivos fatores de ativação:

$$\gamma = \frac{S}{R} \quad \text{Equação (4)}$$

Então, γ mede o eventual desequilíbrio entre risco de incêndio e segurança contra incêndio. $\gamma \geq 1$ indica uma situação favorável à segurança; ao contrário, $\gamma < 1$ indica uma situação desfavorável quanto à segurança contra incêndio. Não se pode falar quantitativamente em probabilidade de ocorrência de um incêndio severo, mas é possível falar-se em *maior* ou *menor* risco (ou probabilidade) de ocorrência de um incêndio severo, conforme o caso.

Sabemos que, ao elaborar um projeto de segurança contra incêndio, desejamos obter o maior *coeficiente de segurança contra incêndio* com o menor investimento possível. Essa relação de forças no projeto deve ser disciplinada pela exigência legal, via normas técnicas, de um *coeficiente de segurança mínimo aceitável*, γ_{\min} . Logo, no projeto de segurança a ser implementado na edificação deve-se ter:

$$\gamma \geq \gamma_{\min} \quad \text{Equação (5)}$$

Deve-se observar que a equação (5), a despeito de sua simplicidade, encerra toda a complexidade do sistema [*edificação + incêndio + usuário*] no termo γ , e todos os aspectos político-econômico-sociais envolvidos no problema da segurança contra incêndio no termo γ_{\min} . É por essa razão que se diz que o método ora proposto é uma análise *global* do risco de incêndio. O método é também dito um *método de balanceamento*, uma vez que medidas facilitadoras e medidas inibidoras do incêndio são balanceadas na busca do coeficiente de segurança contra incêndio.

Essa filosofia de projeto de segurança contra incêndio foi desenvolvida para companhias de seguro pelo engenheiro suíço Max Gretener, entre 1960 e 1965, tendo se universalizado em face da sua simplicidade. No próximo capítulo, desenvolveremos a metodologia de cálculo da *exposição ao risco de incêndio* e da *segurança contra incêndio* com enfoque particular em edificações e conjuntos de edificações dos sítios históricos.

2.5 - CONCLUSÃO

Neste capítulo, apresentamos a conceituação do método de avaliação do risco global de incêndio aplicável a edificações em geral. Como foi possível observar, a sua idéia central é o *balanceamento de parâmetros de risco* e *medidas de segurança* presentes na edificação. Os primeiros *facilitam* e os segundos *dificultam* o desenvolvimento e a propagação dos incêndios.

Para viabilizar o balanceamento, foi necessário quantificar o *perigo de incêndio* e a *segurança contra incêndio* na edificação por meio da atribuição de *pesos* que foram denominados, respectivamente, *fatores de risco* e *fatores de segurança*. Em conseqüência, a medida do perigo de incêndio na edificação foi denominada *exposição ao risco de incêndio* – E. Analogamente, a medida da segurança foi denominada *segurança contra incêndio* – S.

Foi enfatizado o caráter *potencial* tanto da exposição ao risco de incêndio quanto da segurança contra incêndio. Isto é, nem a exposição ao risco de incêndio é, ainda, uma medida do risco, nem, rigorosamente, a segurança contra incêndio é uma medida da segurança. Ambas precisariam ser *ativadas*. Mas, no caso, admitiu-se que as medidas de segurança estão, todo o tempo, *ativas*¹⁶, enquanto o potencial de incêndio a que está exposta a edificação precisa ser ativado pela *ação humana*, consciente ou inconsciente, direta ou indireta. Seguiram-se as definições do risco global de incêndio e do coeficiente de segurança.

Como visto, a *formulação do método*, que fez deste capítulo talvez a parte mais densa do livro, eivada de conceitos novos, é geral, aplicando-se a quaisquer classes de edificações. No capítulo 3, trataremos da definição dos parâmetros de risco e dos correspondentes fatores de risco que, no estágio atual de desenvolvimento do método, julgamos aplicáveis às edificações dos sítios históricos. Das medidas de segurança, trataremos no capítulo 4.

NOTAS

1 - Nos edifícios, cada unidade, residencial ou comercial, deve constituir, para segurança dos vizinhos, um compartimento, isto é, um cômodo ou conjunto de cômodos a partir dos quais o incêndio e seus efeitos (calor e fumaça, notadamente) não possam se propagar durante um determinado tempo.

2 - Para uso em projeto, os cenários de incêndio necessitam ser elaborados num nível mais complexo, que extrapola o objetivo do presente texto. No caso, deseja-se apenas fixar o conceito de cenário de incêndio.

3 - Geometria aqui significa não só as dimensões básicas do compartimento (comprimento, largura e pé-direito), mas a sua forma, as suas divisões internas, a disposição espacial da carga de incêndio e tudo quanto possa influir sobre a trajetória de propagação do calor e da fumaça.

4 - Segundo o processo de projeto preconizado pela engenharia de incêndio, em uma fase inicial, o proprietário da edificação ou seu representante, arquitetos, engenheiros e bombeiros devem descrever qualitativamente os principais cenários de incêndio a considerar nas etapas seguintes do projeto. Trata-se de um *brainstorm* que se faz diante do anteprojeto da edificação.

5 - O número de variáveis será, em um caso real, muito maior; no momento, temos a intenção de facilitar tanto quanto possível a apreensão dos conceitos introduzidos.

6 - Esse tempo é uma importante variável de projeto em engenharia de incêndio, representada em literatura inglesa pela sigla *ASET* – *available safety escape time*. Para determiná-lo, aconselha-se consultar, por exemplo, A. H. Buchanann, op. cit.

7 - Em sentido amplo – inclui também o uso projetado da edificação.

8 - Estamos falando de “décadas” de uma política contínua de preservação, capaz de gerar uma mudança cultural compatível com valores sucessivamente menores do risco máximo aceitável.

9 - Parâmetros são quaisquer entidades que influem em um fenômeno; grandezas são parâmetros que podem ser medidos. No caso, referimo-nos genericamente a parâmetros, porque há uma gama deles cuja medição, apesar de possível, é muitas vezes difícil e indireta.

10 - Estamos tratando de *perigo* de incêndio, isto é, de um *estado potencial* que tem, sim, um certo risco de vir a ser ativado.

11 - Tecnicamente, o nível no qual os ocupantes podem sair para um local livre dos efeitos do incêndio (em geral, o nível da rua) é denominado nível de descarga.

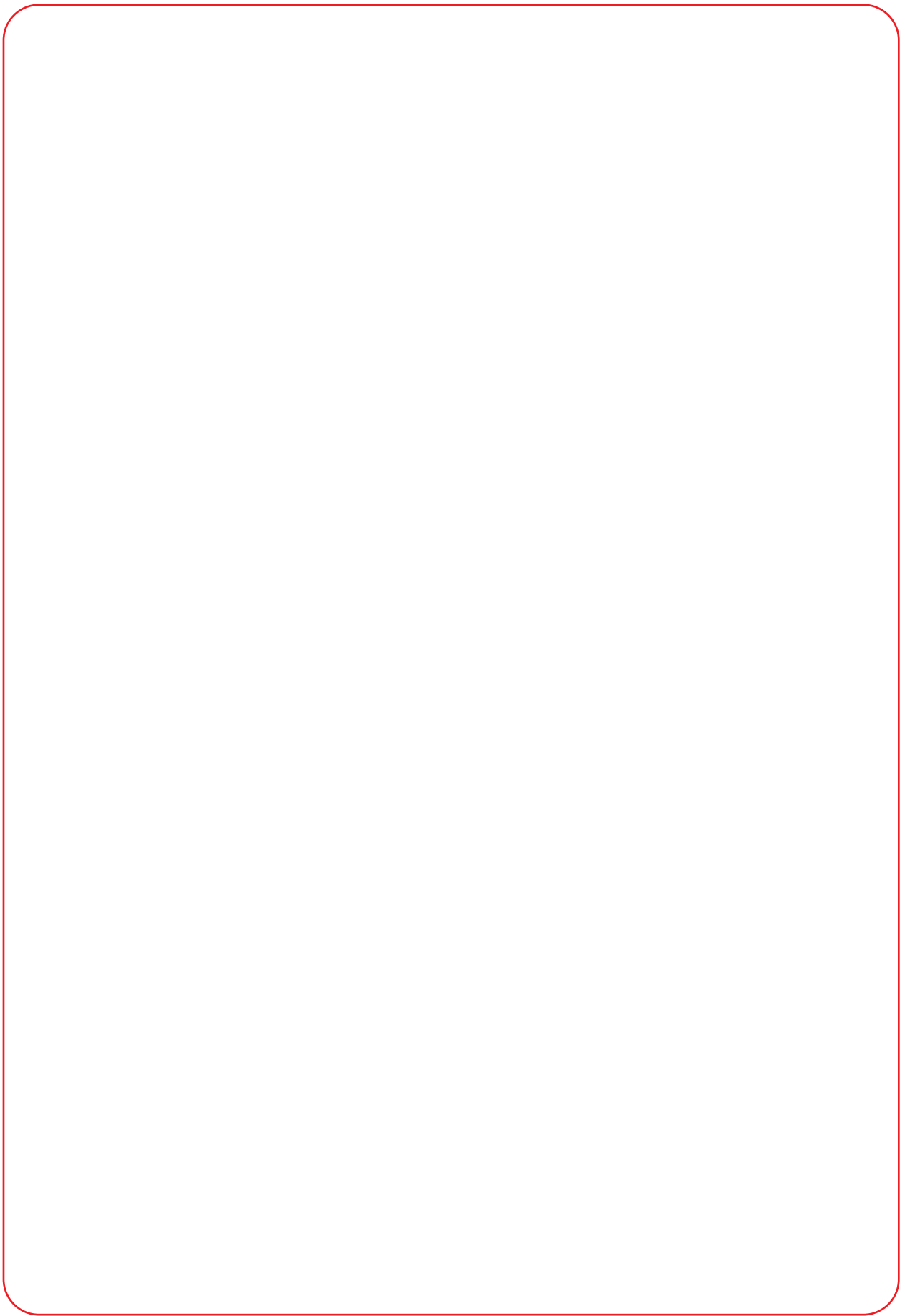
12 - Uma medida direta do poder destrutivo de um incêndio seria a quantidade de energia por ele liberada na unidade de tempo. Como a severidade depende muito do quanto a edificação está preparada para interagir com o incêndio, ela é uma medida apenas indireta do seu poder destrutivo.

13 - A relação de influência raramente será linear, como se pode esperar, a não ser em modelos muito simplificados.

14 - Estamos atribuindo deliberadamente à ação humana os riscos de ativação. Muitos podem não concordar, a princípio, desejando excetuar os casos em que o incêndio se inicia por “pura fatalidade”. A idéia de “fatalidade” não é conveniente no desenvolvimento da engenharia de incêndio e, a bem da qualidade dos projetos e da segurança das edificações, deve ser completamente afastada.

15 - Observe que E e S têm um cálculo exato, uma vez que sejam definidos os fatores f_i e s_i presentes nas Equações (1) e (2). Ao multiplicar E pelo risco de ativação, A, tem-se uma grandeza probabilística que é o risco, R. De modo análogo, S deveria ser multiplicado por um fator de ativação das medidas de segurança, que, nesse caso, é suposto igual à unidade – isto é, há “certeza” na operação delas no evento de um incêndio.

16 - Seria possível considerar que, em face de um estado precário de manutenção, as medidas de segurança tivessem apenas uma certa probabilidade de operar eficientemente, e não a plena operacionalidade que estamos admitindo. Essa probabilidade seria medida por um *risco de não ativação das medidas de segurança*.



3. Parâmetros e fatores de risco

3

PARÂMETROS E FATORES DE RISCO

3.1 INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores, foram estabelecidos os conceitos básicos para a estruturação de um *método de balanceamento*, aplicável aos sítios históricos. Ficou claro que o método se fundamenta na *contraposição* de parâmetros facilitadores do desenvolvimento e da propagação do incêndio e de medidas de segurança que compõem o projeto de segurança contra incêndio da edificação. Como afirmamos antes, apenas os parâmetros de risco mais importantes serão considerados, já que um grande número deles tem alguma influência sobre o incêndio. Por outro lado, as medidas de segurança serão todas consideradas, uma vez que têm um custo de implementação que pode ser significativo.

O método se particulariza quando se determinam os parâmetros de risco predominantes nos sítios históricos considerados e os fatores de risco a eles atribuídos. De modo análogo, o método deve propor um conjunto de medidas de segurança viáveis de se implantar nos sítios históricos e a eles atribuir fatores de segurança.

Para essa tarefa, seria necessário ter *experiência* em incêndios em sítios históricos. Nesse ponto, parece que contradizemos algo do que foi dito sobre as possibilidades de observação de incêndios reais. Mas, na verdade, mesmo a simples observação de incêndios como o do Hotel Pilão, prédio situado na Praça Tiradentes, em Ouro Preto, ocorrido em 14 de abril de 2003, significa *para os olhos que sabem ver* uma experiência em incêndios em sítios históricos. Objetivamente, os laudos periciais, os relatos do pessoal de combate, as simulações computacionais e, até, a experimentação de laboratório são elementos importantes para a formação dessa experiência.

Cabe aqui ressaltar um aspecto extremamente positivo dos métodos baseados em balanceamento: a sua contínua evolução. Os fatores de segurança e de risco devem ser atualizados em determinados períodos de tempo com base, principalmente, nas perícias de incêndios. A implantação do método como filosofia de projeto exige também o estabelecimento de uma entidade de acompanhamento, responsável pela sua evolução técnico-científica. Isso se conforma à atitude de *constante vigilância* que os incêndios exigem, em especial nos sítios históricos. Do mesmo modo que existe uma organização da preservação da arquitetura colonial, deve haver uma organização, talvez a mesma ou outra especializada, para a vigilância da segurança contra incêndio.

3.2 - COMPARTIMENTAÇÃO

Uma edificação, em geral, é dividida em unidades de ocupação ou, simplesmente, em ocupações¹. Cada unidade de ocupação pode ou não ser subdividida em cômodos. Nos cômodos de uma mesma unidade, há certa diferenciação do uso (quartos para dormir, sala para estar, cozinha para a preparação de alimentos), mas isso não chega a caracterizar uma outra ocupação (trata-se de ocupação auxiliar; por exemplo, pelo fato de ter cozinha, não se diz que um apartamento é de uso industrial).

Compartimentos são, como já vimos, divisões internas das edificações cujas paredes, pisos e forros têm no mínimo a resistência ao fogo requerida em norma, ou aquela suficiente para garantir os objetivos específicos de segurança contra incêndio a ela aplicáveis. Em termos práticos, é muito pouco provável que um incêndio ou seus efeitos possam se propagar para além dos limites de um compartimento em um determinado tempo. Isto é, chamas, calor e fumaça ficam contidos² dentro de um compartimento, quando ocorre um incêndio na edificação.

Observa-se que o volume do maior compartimento de uma edificação é um parâmetro de risco importante. Edifícios horizontais utilizados para ocupações industriais e comerciais costumam ter compartimentos de grande volume, o que obriga as normas técnicas a limitá-los³ ou a exigir medidas de segurança especiais. No caso de edificações novas, constroem-se paredes, pisos e forros de compartimentação⁴.

Em três situações gerais⁵ há necessidade da construção de elementos de compartimentação:

- a) entre dois ou mais edifícios geminados;
- b) separando unidades de ocupação na mesma edificação⁶;
- c) separando ocupações distintas na mesma unidade⁷, a não ser que uma seja auxiliar da outra.

Nos sítios históricos, há numerosos edifícios geminados (figura 3.1), mas freqüentemente são precárias as condições físicas dos elementos de compartimentação entre eles. Por outro lado, é comum a agregação de novos usos a antigas edificações residenciais – situação (c) acima –, sem que seja possível a construção de novos elementos de compartimentação (figura 3.2).



Figura 3.1 - Edificações geminadas em Ouro Preto.



Figura 3.2 - Uso comercial de antigos edifícios residenciais em Ouro Preto.

Um requisito importante dos elementos de compartimentação refere-se às juntas: dois ou mais elementos de compartimentação que se encontram devem ter a mesma resistência ao fogo. Também esse requisito raramente é cumprido nas edificações antigas, dada a rusticidade e o estado de conservação dos acabamentos.

3.3 - RESISTÊNCIA AO FOGO

Diz-se que um elemento construtivo tem resistência ao fogo⁸ quando ele possui estanqueidade, isolamento e estabilidade de forma e de posição, o que, em geral, depende de sua resistência mecânica. A exigência de que um elemento construtivo tenha resistência ao fogo implica a presença simultânea dessas três propriedades, mas em muitas situações apenas uma ou duas delas são relevantes.

Estanqueidade é a propriedade que deve ter o elemento construtivo de vedar a passagem de gases quentes e chamas de dentro para fora do compartimento. Essa propriedade é também denominada integridade: o elemento que compõe a vedação do compartimento não apresenta fissuras ou trincas, resultantes do calor do incêndio, ou aberturas decorrentes de deficiência de montagem e construção. Portanto, uma parede pode não ser estanque, porque perdeu sua integridade em decorrência do calor do incêndio ou porque, estando em mal estado de manutenção, tem aberturas de diversos tamanhos.

A estanqueidade é uma propriedade medida no tempo, como todas as propriedades da resistência ao fogo. Diversas disposições normativas brasileiras referem-se explicitamente a ela (ver nota 3).

Em edificações antigas, a estanqueidade das divisórias, tanto externas quanto internas, é um requisito geralmente difícil de cumprir. Nas empenas, por exemplo, é comum o uso de vedações de madeira e de aço zincado, incapazes de atender o requisito de estanqueidade. O estado de conservação das paredes de pau-a-pique (figura 3.3) pode frequentemente não atender o mesmo requisito.



Figura 3.3 - Detalhe de parede de pau-a-pique.

O *isolamento* é a propriedade de resistência ao fogo que corresponde à capacidade do elemento de vedação de impedir o fluxo de calor de dentro do compartimento para fora, em intensidade tal que provoque a ignição espontânea do conteúdo dos cômodos vizinhos. Em geral, admite-se que a ignição espontânea ocorra a temperaturas da ordem de 250°C, dependendo da natureza do material. Por isso, o critério para caracterização do isolamento é a limitação da temperatura máxima observada na face não exposta ao fogo (ver normas referidas na nota 3).

Do ponto de vista da transferência de calor, a transmitância⁹ é a propriedade correspondente ao fluxo de calor, medido por unidade de área, que se transmite através de uma parede, quando há uma diferença na temperatura do ar que envolve uma e outra face de 1K (um grau Kelvin). Portanto, a transmitância mede a parcela da quantidade de calor recebida em uma parede por radiação que é transferida para a face oposta, situação típica dos incêndios.



Figura 3.4 - Insuficiência de isolamento entre edificações.

No caso das edificações de sítios históricos, o problema do isolamento apresenta dois aspectos importantes. O primeiro é que o desnível dos telhados, quando permite o contato das chamas oriundas de uma edificação com a empena de outra vizinha, pode levar ao aquecimento das estruturas de madeira e à propagação do fogo (figura 3.4). Além disso, o estado de conservação dos telhados é, em geral, bastante precário, o que facilita as trocas de calor por meio de mecanismos combinados de radiação, convecção e condução.

Um segundo aspecto é que não se conhece a transmitância da parede de pau-a-pique, quando ela é o elemento de vedação externo. Portanto, não se sabe se as espessuras normalmente utilizadas são suficientes para produzir o isolamento de incêndios duradouros, como os esperados em casarões de grande volume e alta densidade de carga de incêndio.



Figura 3.5 - parede wattle and daub.

Para ilustrar, considerando a semelhança do processo construtivo, paredes *wattle and daub*¹⁰ (figura 3.5), ensaiadas no Reino Unido, têm transmitância térmica da ordem de $1.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, a mesma de uma parede de tijolo cerâmico com reboco de 2,5 cm. Logo, admitida a semelhança física entre as paredes *wattle and daub* e as paredes de pau-a-pique, as espessuras destas últimas deveriam ser da ordem de 17 cm a 24 cm (espessuras comuns nas paredes de tijolos), o que é francamente raro de se encontrar no estado de conservação das edificações comuns das cidades coloniais. Finalmente, a esse respeito, é necessário fazer uma investigação científica específica, uma vez que os dados de isolamento e estanqueidade são básicos para um projeto de segurança contra incêndio.

O último aspecto da resistência ao fogo que nos cabe examinar é a *estabilidade de forma e de posição*: um elemento construtivo deve manter a sua posição e não apresentar deformações excessivas em situação de incêndio. Muitos entendem que o terceiro aspecto da resistência ao fogo é a resistência mecânica. Porém, freqüentemente, a solitação física (mecânica e térmica) do elemento construtivo é muito reduzida e, mesmo assim, a sua estabilidade na posição que ocupa é essencial à segurança contra incêndio.

Veja-se, por exemplo, o caso de uma grande peça de madeira que compõe a estrutura de uma edificação: a presença de ligações estruturais de baixa rigidez (figura 3.6), mais que a degradação da resistência mecânica com a temperatura, é responsável pelos danos estruturais, uma vez que a simples expansão térmica pode levar à perda da estabilidade. Evidentemente, sabemos que o excesso de deformação de um elemento estrutural depende da sua rigidez, a qual, por sua vez, depende dos módulos de deformação que sofrem a ação degradante da temperatura. Mas desejamos contemplar, com a nomenclatura adotada, o movimento de corpo rígido que aqui assume papel de grande importância.



Figura 3.6 - Precárias condições de estabilidade estrutural.

Concluindo essa digressão sobre a resistência ao fogo, devemos observar que ela é sempre uma propriedade (um conjunto de propriedades, na verdade) exigida de um elemento construtivo por um determinado tempo. Como se sabe, o ensaio-padrão (ver capítulo 1, seção 1.5) é a referência para a qualificação da resposta dos materiais em incêndio e, sendo a curva $\theta(t)$ monotonicamente crescente, não se pode supor que algum material venha a resistir indefinidamente à elevação de temperatura.

Em geral, o tempo de 120 minutos é exigido como critério para definição da resistência ao fogo. A tabela 3.1, apresentada a seguir, revela-se muito útil na definição da resistência ao fogo de paredes de alvenaria. O tempo de referência de 120 minutos é uma escolha já consagrada nas normas brasileiras e expressa o fato de que, para as cargas de incêndio esperadas nas diversas ocupações, o incêndio compartimentado deve estar na fase de extinção após 2 horas de duração.

Cabe aqui fazer um esclarecimento a mais: a propriedade de resistência ao fogo é utilizada para caracterizar o que se denomina *isolamento de risco*. Isto é, quando se admite que os efeitos do incêndio não se propagam para além dos limites de um compartimento, em face da resistência ao

fogo de suas paredes, piso e forro, diz-se que o compartimento onde se desenvolve o incêndio e os compartimentos vizinhos são *riscos isolados*¹¹. No caso das edificações antigas, o isolamento de risco é uma importante medida de segurança, mas de difícil implementação prática, como se demonstrará mais adiante neste capítulo.

Tabela 3.1 – Resistência ao fogo de paredes de alvenaria

Elemento construtivo		Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Resistência ao fogo (min)
Parede de tijolos de barro cozido (dimensões nominais dos tijolos: 5x10x20 cm e massa de 1,5 kg)	Meio tijolo sem revestimento	10	120	90
	Um tijolo sem revestimento	20	395	≥ 360
	Meio tijolo com revestimento	15	300	240
	Um tijolo com revestimento	25	300	> 360
Parede de blocos vazados de concreto de 2 furos (dimensões nominais dos blocos: 14x19x39 cm e 19x19x39 cm e massas de 13 kg e 17 kg, respectivamente).	Bloco de 14 cm sem revestimento	14	100	90
	Bloco de 19 cm sem revestimento	19	120	90
	Bloco de 14 cm com revestimento	17	150	120
	Bloco de 19 cm com revestimento	22	185	360
Paredes de tijolos cerâmicos de oito furos (dimensões nominais dos tijolos: 10x20x20 cm e massa de 2,9 kg)	Meio tijolo com revestimento	13	150	120
	Um tijolo com revestimento	23	300	> 240
Paredes de concreto armado monolítico sem revestimento	Traço 1: 2,5 : 3,5 e armadura simples posicionada a meia espessura das paredes, possuindo malha de 15 cm de aço CA-50 de diâmetro 1/4 de polegada	11,5	150	90
		16	210	180

Fonte: IT 08/2004, Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

3.4 - CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

O volume da edificação é um parâmetro de risco. É evidente que, quanto maior o volume do compartimento incendiado, maior a dificuldade de combate e maior o risco de propagação para edificações vizinhas. Por isso, apresentamos em seguida uma classificação das edificações coloniais, tendo como objetivo quantificar a influência do volume interno dos compartimentos no risco global de incêndio.

Edificação compartimentada ou do tipo C é a edificação dividida em unidades de ocupação que, por suas características construtivas, não permitem ou, pelo menos, dificultam significativamente a propagação do incêndio nas direções horizontal e vertical. Nesse caso, as unidades de ocupação constituem compartimentos, isto é, os elementos de vedação (paredes, pisos e forros) que as limitam das demais unidades possuem resistência ao fogo igual ou superior a 120 minutos.

A norma SIA-81¹² supõe unidades com área de piso máxima de 200 m², medida que consideramos adequada e que adotamos no método ora proposto, isto é, para unidades de ocupação com área maior que 200 m², a classificação da edificação será H ou V, como examinaremos a seguir. Por outro lado, as conexões com as unidades de ocupação vizinhas devem ter a resistência ao fogo adequada, dispondo dos diversos recursos de separação de riscos: portas corta-fogo, vidros resistentes ao fogo, *dampers* e vedações de aberturas, como aquelas destinadas à passagem de tubos e cabos elétricos.

Entre as edificações em foco neste livro, não se espera encontrar freqüentemente aquelas do tipo C, já que a resistência ao fogo das divisórias externas, pisos e forros é sempre inferior à mínima necessária (120 minutos). Logo, os incêndios desenvolvidos nessas edificações sempre devem ser de grande volume.

Edificação do tipo horizontal ou do tipo H é a edificação que, por suas características construtivas, não permite ou, pelo menos, dificulta significativamente a propagação do incêndio na direção vertical, isto é, suas unidades de ocupação possuem paredes externas dotadas de resistência ao fogo inferior a 120 minutos, sendo os pisos e os forros dotados de resistência ao fogo igual ou superior a 120 minutos. Por essas características, pode-se esperar na edificação do tipo H um incêndio de grande volume.

Devem necessariamente ser classificadas como do tipo H as edificações de um ou de vários pavimentos que tenham pisos e forros com resistência ao fogo igual ou superior a 120 minutos, e uma área de piso superior a 200 m².

As edificações antigas de mais de um pavimento raramente se classificam no tipo H, porque com freqüência têm pisos de madeira. A propósito, forros falsos de gesso não podem ser considerados como elementos capazes de gerar a resistência ao fogo de 120 minutos necessária para caracterizar o tipo horizontal, uma vez que o gesso comum não tem estanqueidade. Ademais, os forros falsos, em geral, ainda que possuam estanqueidade e isolamento, dificilmente têm estabilidade na sua posição durante um incêndio, o que retira a sua propriedade de resistência ao fogo.

Edificação vertical ou do tipo V é a aquela que não se classifica nos tipos C ou H: suas unidades de ocupação têm paredes externas, pisos e forros de resistência ao fogo inferior a 120 minutos e um volume interno¹³ não inferior a 900 m³. Certamente, as edificações do tipo V são comuns nas cidades históricas, considerando-se que os pisos e forros de madeira são muito utilizados.

3.5 - ÁREAS NÃO PROTEGIDAS EXTERNAS

A expressão "áreas não protegidas" designa aberturas e partes da área de um elemento de vedação externo que não tenham a resistência ao fogo necessária para a separação dos riscos entre edificações ou entre unidades de ocupação. Tais áreas deveriam, em princípio, receber proteção passiva¹⁴.

Ora, quando se fala de divisórias externas resistentes ao fogo, é necessário admitir que não estamos tratando de elementos construtivos planos, homogêneos nas suas propriedades e sem nenhuma abertura. Por exemplo, uma parede externa de concreto pode ter janelas e portas de madeira, isto é, elementos de vedação de resistência ao fogo inferior à sua, e pode ter aberturas envidraçadas (consideradas aberturas, já que o vidro não resistente a fogo se quebra a temperaturas relativamente baixas).

O método da norma SIA-81 (ver nota 12), ao estabelecer uma classificação das edificações quanto ao volume esperado do incêndio, não faz exigências em termos de áreas não protegidas, mas, sim, em termos do uso de portas corta-fogo e áreas separadas para elevadores. Nesse mesmo sentido, estabelece regras a Instrução Técnica n. 09/04 do CBSP¹⁵.

Nos sítios históricos, como já verificamos, os afastamentos entre edificações, quando existem, não são regulares. A probabilidade de propagação de incêndio entre fachadas, entre coberturas e fachadas e entre edificações geminadas tem grande influência sobre o risco global de incêndio. Por essa razão, é interessante utilizar uma tabela de máximas áreas não protegidas em função da distância das paredes confrontantes.

O *Approved Document B* do *Buildings Regulations 1991*¹⁶ fornece a tabela reproduzida a seguir (tabela 3.2) para a determinação da área não protegida admissível em paredes internas (em que não se aplica a condição de afastamento mínimo) e paredes externas afastadas da divisa 1 m, no mínimo, considerando edificações de altura máxima¹⁷ de 10 m e o tipo da ocupação. Observe-se que a restrição da altura máxima igual a 10 m não é uma limitação significativa para as edificações em foco, que a cumprem na maioria dos casos. Logo, a tabela 3.2 pode ser aqui aplicada como critério de compartimentação.

Tabela 3.2 – Porcentagens de áreas não protegidas

Distância mínima entre a parede e a divisa (m)		Porcentagem total de área não protegida (%)
Grupos de ocupações		
Residencial, escritório, reunião, recreação	Comercial, industrial, depósito e outros usos não residenciais	
Não aplicável	1	4
1	2	8
2,5	5	20
5	10	40
7,5	15	60
10	20	80
12,5	25	100

Sob o ponto de vista do risco global de incêndio, uma edificação pode formar um conjunto com outras edificações vizinhas, ainda que não tombadas, desde que os efeitos do incêndio em uma delas possa atingir as outras. Ou seja, desde que uma edificação não forme um *risco isolado* com outra (ver seção 3.3), ambas formam um conjunto, sob o ponto de vista do risco global de incêndio. Para essa avaliação, a tabela 3.2 pode ser empregada inclusive no que concerne às aberturas existentes nas fachadas. Nesse caso, toma-se o dobro da distância mínima entre a parede e a divisa, isto é, admite-se uma linha de divisa imaginária a meia distância das fachadas.

Os conjuntos de edificações devem ser classificados nas categorias C, H ou V. Um conjunto é do tipo C quando todas as edificações componentes são do tipo C. Um conjunto é do tipo H quando pelo menos uma das edificações componentes é do tipo H e nenhuma delas é do tipo V. Um conjunto é do tipo V quando pelo menos uma das edificações componentes é do tipo V.

3.6 - FATORES DE RISCO

A exposição ao risco de incêndio é calculada atribuindo-se pesos aos parâmetros favoráveis ao desenvolvimento e à propagação do incêndio. Para tanto, vamos focalizar os fatores favoráveis ao incêndio. No método proposto, eles podem ser agrupados em três categorias.

A primeira categoria de parâmetros que facilitam o início de ignição e o desenvolvimento de um incêndio refere-se a duas propriedades da carga combustível alojada na edificação: a grandeza da carga de incêndio e a sua posição em relação ao nível de descarga. Outros parâmetros de risco, decorrentes da carga de incêndio, como a combustibilidade, a toxicidade, o poder corrosivo e a densidade ótica de fumaça, embora importantes na composição do risco global de incêndio, não serão considerados nessa versão do método proposto¹⁸.

A segunda categoria de parâmetros favoráveis aos incêndios refere-se à edificação: sua distância em relação à unidade do Corpo de Bombeiros mais próxima, as condições de acesso à edificação e o perigo de generalização, quando em conjunto.

Na terceira categoria encontra-se um parâmetro especial, que reflete a política de preservação para a edificação ou conjunto.

A tabela 3.3 apresenta os parâmetros favoráveis ao incêndio e a nomenclatura dos fatores de peso que empregamos nesse método.

Tabela 3.3 – Parâmetros e fatores de risco

Origem	Parâmetros	Símbolo	Fator
Carga de incêndio	Densidade de carga de incêndio	q	f ₁
	Altura do compartimento	H, S	f ₂
Compartimento	Distância da unidade do Corpo de Bombeiros mais próxima	D	f ₃
	Condições de acesso à edificação	-	f ₄
	Perigo de generalização	-	f ₅
Política de preservação	Importância específica da edificação	-	f ₆

Vamos discutir em seguida cada um dos parâmetros que compõem a tabela 3.3, tratando de estabelecer valores numéricos para os pesos ou fatores. Observe-se que estamos dando o nome um tanto quanto impróprio, como já vimos, de *fatores de risco* a esses pesos: eles não são fatores de "risco", mas pesos que entram no cálculo da grandeza determinística *exposição ao risco de incêndio*, E.

A *exposição ao risco de incêndio*, na presente versão do método de análise global de risco, ficou constituída apenas dos seis parâmetros de risco listados na tabela 3.3. Como já mencionamos, muitos outros parâmetros poderiam ser incluídos, mas não desejamos propor um método que, para ser completo, perca o seu significado físico.

Ainda não dispomos no Brasil de meios laboratoriais para um levantamento completo das propriedades físicas dos materiais comumente presentes em uma edificação. É claro que não nos referimos só e principalmente a propriedades decorrentes da natureza química desses materiais (caso em que é possível usar ensaios feitos no estrangeiro), mas, sim, à sua geometria, acabamento e disposição no espaço, parâmetros que dependem em grande extensão do clima e do uso, para citar apenas dois entre os vários aspectos específicos importantes.

Se incluíssemos a combustibilidade, a toxicidade e a densidade ótica dos materiais como parâmetros de risco, haveríamos de tomar as medidas dessas grandezas de normas e relatórios técnicos estrangeiros, o que poderia nos levar a perder a noção da sensibilidade física do método proposto, ou deveríamos postergar a aplicação prática desse método.

Densidade da carga de incêndio

A densidade da carga de incêndio, como já enfatizamos antes, é um dos fatores predominantes na definição da exposição ao risco de incêndio. De fato, é uma medida da quantidade de energia que pode ser abruptamente liberada durante um incêndio, o que, obviamente, está relacionado à extensão dos danos que podem ser causados.

Em geral, a grandeza da densidade de carga de incêndio é determinada com o emprego de dados de normas técnicas nacionais e estrangeiras. No caso dos sítios históricos, a medição direta da densidade de carga de incêndio é uma necessidade. Os levantamentos realizados em Ouro Preto, por exemplo, e descritos na literatura técnica¹⁹, indicam que os valores característicos das edificações coloniais podem superar em muito os valores prescritos em normas técnicas.

Os fatores de risco devidos à grandeza da carga de incêndio, apresentados na tabela 3.4, foram extraídos da norma SIA-81. Observa-se que não há linearidade entre as grandezas da carga combustível e os fatores de risco.

Tabela 3.4 – Densidades de carga de incêndio e fatores de risco

Densidade de carga de incêndio (MJ/m ²)	f ₁	Densidade de carga de incêndio (MJ/m ²)	f ₁
Q ≤ 200	1,0	1700 ≤ q < 2500	1,7
200 ≤ q < 300	1,1	2500 ≤ q < 3500	1,8
300 ≤ q < 400	1,2	3500 ≤ q < 5000	1,9
400 ≤ q < 600	1,3	5000 ≤ q < 7000	2,0
600 ≤ q < 800	1,4	7000 ≤ q < 10000	2,1
800 ≤ q < 1200	1,5	10000 ≤ q < 14000	2,2
1200 ≤ q < 1700	1,6	14000 ≤ q < 20000	2,3

Altura do compartimento

A posição da carga de incêndio condiciona sobremaneira as operações de combate de incêndio e o escape dos usuários da edificação. Por essa razão, um parâmetro de risco importante é a altura ou a profundidade do piso mais afastado do nível de descarga. Em edificações do tipo H ou V, há uma agravamento do perigo de incêndio em relação às do tipo C, porque é provável a ocorrência de incêndios de maiores volumes.

Nesse parâmetro de risco não está incluída a eventual dificuldade de acesso dos equipamentos de combate a incêndio à fachada da edificação, mas, sim, a dificuldade de abordar o incêndio a partir dos meios de acesso à edificação. No caso dos sítios históricos erigidos em encostas, muitas vezes os andares de subsolo representam grande perigo.

Os pesos constantes da tabela 3.5 para edificações do tipo C foram estabelecidos com base nos valores propostos pela norma SIA-81. Para as edificações dos tipos H e V, a probabilidade de incêndios de grandes volumes leva a uma majoração dos fatores, por consenso técnico²⁰, em 25% e 50%, respectivamente. Utiliza-se o arredondamento. Nas aplicações práticas, emprega-se o maior valor entre os correspondentes ao subsolo e os andares superiores.

Tabela 3.5 – Altura do compartimento e fatores de risco

Tipo da edif.	Profundidade do subsolo (m)			Altura do piso mais elevado (m)		
	$S \leq 4$	$4 < S \leq 8$	$8 < S \leq 12$	$H \leq 6$	$6 < H \leq 12$	$12 < H \leq 23$
	Fatores f_2					
C	1,0	1,9	3,0	1,0	1,3	1,5
H	1,3	2,4	4,0	1,3	1,6	2,0
V	1,5	3,0	4,5	1,5	2,0	2,3

Distância da edificação em relação ao Corpo de Bombeiros

O parâmetro de risco “distância entre a edificação e o Corpo de Bombeiros” visa avaliar o tempo de resposta da unidade da corporação de bombeiros mais próxima. Naturalmente, quanto mais cedo se iniciar o combate, menor a severidade esperada do incêndio.

Para estabelecer os fatores de risco seria ideal dispor de dados estatísticos sobre os tempos de resposta dos bombeiros em cada cidade. Mesmo assim, os tempos variariam com o tipo e qualidade dos equipamentos disponíveis, não se considerando nesse fator de risco as dificuldades de acesso devidas à topografia ou às peculiaridades da malha urbana.

Os fatores de risco apresentados na tabela 3.6 foram estabelecidos por consenso técnico (ver nota 20) e se aplicam a cidades em que há um grupamento²¹ da corporação de bombeiros²² ou a conjuntos de cidades ou distritos que se situem em um círculo de raio máximo²³ da ordem de 16 km da edificação. Nas cidades onde não há um grupamento de bombeiros ou nas cidades muito grandes em que essa distância é superada, emprega-se o fator de risco correspondente a $D > 16$ km, sendo que a elevação do risco correspondente visa considerar o retardamento do início das medidas de combate.

Tabela 3.6 – Distância do Corpo de Bombeiros e fatores de risco

Tipo	Denominação	D (km)	f_3
I	Muito próximo	$D \leq 1$	1,0
II	Próximo	$1 \leq D < 6$	1,25
III	Medianamente distante	$6 \leq D < 11$	1,6
IV	Distante	$11 \leq D < 16$	1,8
V	Muito distante ou inexistente	$D > 16$	4,0

Duas questões devem ser examinadas em particular nesse momento. A primeira delas refere-se à disponibilidade de suficiente reserva²⁴ de água de combate: admite-se que a reserva de água exista e esteja disponível, sem o que a presença do grupamento de bombeiros não poderia ser considerada, utilizando-se em projeto ou avaliação do risco o fator correspondente a $D > 16$ km.

A segunda refere-se à edificação que se situa na área de influência de mais de um grupamento de bombeiros: nesse caso, utiliza-se o mais favorável, se a sua reserva de água for suficiente. Caso a reserva de água de um complemento a do outro, estando ambos dentro do raio de 16 km da edificação, o fator f_3 pode ser determinado na proporção dessas reservas.

Condições de acesso à edificação

Ao analisar o significado do fator f_3 na seção anterior, ficou evidente que se considerava o tempo de resposta do Corpo de Bombeiros à comunicação de incêndio. Ora, as condições das vias de acesso são alguns dos fatores determinantes desse tempo de resposta e foram consideradas na definição desse fator de risco. Aqui tratamos das condições de acesso às fachadas da edificação e da disponibilidade de água para combate de incêndio.

A exigência de que uma edificação tenha pelo menos duas fachadas de acesso é comum em normas estrangeiras. No caso das edificações dos sítios históricos, muitas vezes essa condição não existe, o que deve ser considerado na elevação da exposição ao risco de incêndio. A tabela 3.7 estabelece valores do fator de risco f_4 , correspondente às condições de acesso à edificação. Mais uma vez, esses fatores foram determinados por consenso técnico. Os requisitos apresentados na descrição de cada caso são cumulativos.

Tabela 3.7 – Condições de acesso e fatores de risco

Denominação do acesso	Descrição	f_4
Fácil	Acesso da viatura a pelo menos duas fachadas da edificação, quando esta é do tipo C ou H, ou a três fachadas, quando a edificação é do tipo V; hidrante público a até 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo à edificação.	1,0
Restrito	Acesso a uma só fachada, quando a edificação é do tipo C ou H, ou a duas fachadas quando a edificação é do tipo V; hidrante público a até 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo à edificação.	1,25
Difícil	Acesso a uma só fachada da edificação; hidrante público a até 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo à edificação.	1,6
Muito difícil	Acesso a uma só fachada da edificação; hidrante público a mais de 75 m da edificação.	1,9

Perigo de generalização

Introduzido o conceito de *conjunto de edificações* para os fins de análise de risco de incêndio, o perigo de generalização deve ser considerado. Os fatores de risco foram determinados considerando a presença de características de isolamento de risco nas paredes externas, fachadas e, especificamente, para as edificações em foco nesse livro, nas empenas e coberturas, conforme a tabela 3.8, na página seguinte. Esses fatores foram determinados por consenso técnico.

Importância específica da edificação

A uma edificação pode-se associar um fator de risco específico que visa ressaltar uma preocupação especial com sua preservação. Essa é uma medida típica da política de preservação dos órgãos públicos, que tem o efeito de elevar²⁵ a medida da exposição ao risco de incêndio. Em consequência, para atender ao requisito do coeficiente de segurança mínimo, mais medidas de segurança devem ser adotadas.

Os fatores de risco a adotar devem refletir a importância da edificação e a sua vulnerabilidade ao incêndio, considerando globalmente todas as circunstâncias de perigo já vistas e, em especial, o estágio atual²⁶ de preservação. Como sugestão, técnicos que atuam em órgãos públicos destinados à preservação do patrimônio histórico, considerando um panorama geral dos investimentos feitos com esse objetivo nos últimos anos, estabeleceram os fatores de risco dados na tabela 3.9, transcrita na próxima página.

Tabela 3.8 – Perigo de generalização e fatores de risco

Denominação da situação de perigo		Descrição	f_5
I	Paredes	Resistência ao fogo de 120 min, sem aberturas ou com aberturas de acordo com a tabela 3.2	1,0
	Fachadas	Incombustíveis, com aberturas obedecendo a tabela 3.2	
	Empenas	Incombustíveis, com resistência ao fogo de 120 min, sem aberturas	
	Cobertura	Incombustível ou combustível protegida em uma faixa de pelo menos 1,5 m a partir das bordas	
II	Paredes	Resistência ao fogo de 120 min, sem aberturas ou com aberturas de acordo com a tabela 3.2	1,5
	Fachadas	Incombustíveis, com aberturas obedecendo a tabela 3.2	
	Empenas	Combustíveis ou incombustíveis com resistência ao fogo inferior a 120 min ou com aberturas acima dos limites da tabela 3.2	
	Cobertura	Combustível, sem a faixa de proteção de largura 1,5 m a partir das bordas	
III	Paredes	Resistência ao fogo de 120 min, sem aberturas ou com aberturas de acordo com a tabela 3.2	2,0
	Fachadas	Combustíveis ou com aberturas acima dos limites da tabela 3.2	
	Empenas	Combustíveis ou incombustíveis com resistência ao fogo inferior a 120 min ou com aberturas acima dos limites da tabela 3.2	
	Cobertura	Combustível sem a faixa de proteção de largura 1,5 m a partir das bordas	
IV	Paredes	Combustíveis ou incombustíveis com resistência ao fogo inferior a 120 min ou com aberturas acima dos limites dados na tabela 3.2	3,0
	Fachadas	Combustíveis ou com aberturas acima dos limites da tabela 3.2	
	Empenas	Combustíveis ou incombustíveis com resistência ao fogo inferior a 120 min ou com aberturas acima dos limites da tabela 3.2	
	Cobertura	Combustível sem a faixa de proteção de largura 1,5 m a partir das bordas	

Tabela 3.9 – Importância específica da edificação e fatores de risco

Tipo de tombamento	f_6
Tombamento em todos os níveis	1,2
Patrimônio Histórico da Humanidade	1,5
Tombada pela União	1,7
Tombada pelo Estado	1,9
Tombada pelo Município	2,2

3.7 - CONCLUSÃO

Foram estabelecidos neste capítulo os parâmetros de risco e os respectivos pesos ou fatores de risco que entrarão na composição da exposição ao risco de incêndio. Como já foi dito, uma lista de fatores de risco ampla poderia ser adotada, mas a que apresentamos aqui é, no nosso modo de ver, aplicável imediatamente, sem o recurso a dados importados de países estrangeiros, onde diversos fatores determinantes da segurança contra incêndio global de uma edificação são distintos dos brasileiros.

Observa-se que o método exige uma avaliação rigorosa das condições de cada edificação e a medição direta da densidade de carga de incêndio. Isto é, na verdade, o mínimo em termos de levantamento de dados necessário para uma avaliação global do risco de incêndio.

Já tivemos oportunidade de assinalar que o método ora proposto é evolutivo: o acompanhamento de sua aplicação resultará em sua evolução contínua e, assim, novos parâmetros de risco serão introduzidos, bem como muitos dos fatores de risco aqui sugeridos deverão ser corrigidos. Não fosse pelo fato de que, com o tempo, maior número de profissionais ganham *experiência em incêndios*, o aperfeiçoamento do método viria naturalmente, para adequar-se às constantes mudanças por que passam as cidades e as suas edificações.

NOTAS

1 - Não confunda os sentidos da palavra ocupação. Vide os exemplos: meu apartamento é uma das ocupações (unidades) do edifício onde moro, e a loja em que trabalho, no mesmo prédio, é outra; a ocupação (uso) do meu apartamento é residencial e a da loja é comercial. É nesse sentido que utilizamos o termo no livro.

2 - A contenção se dá em termos relativos e por um tempo determinado em normas técnicas, ou seja, em limites que mantêm a possibilidade da vida fora do compartimento ou, pelo menos, que permitam o escape dos usuários externos.

3 - Ver, por exemplo, a Instrução Técnica 09/2004 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

4 - O critério técnico para a definição de um elemento de compartimentação é a sua resistência ao fogo, sobre a qual falaremos na próxima seção.

5 - Ver *Approved Document B. The Buildings Regulations 1991*. Department of the Environment and The Welsh Office. London, 1992. p. 54.

6 - É comum a indagação: um apartamento constitui um compartimento? Em uma edificação recente, por exigência das normas técnicas, em respeito aos vizinhos, um apartamento deve ser necessariamente um compartimento. Mas, em edificações muito antigas, adaptadas ao uso atual, pode ocorrer que um apartamento ou, em geral, uma ocupação não seja um compartimento, por deficiência de resistência ao fogo das paredes, pisos e forros.

7 - Às vezes também se pergunta: um cômodo de um apartamento constitui um compartimento? A melhor resposta é não. Não há exigência legal nesse sentido, nos casos comuns: as divisões internas de um apartamento não precisam "isolar" (ver a seção 3.4) os quartos entre si ou os quartos da cozinha, mesmo porque isso seria tecnicamente inviável na maioria dos casos práticos, dadas as necessidades de comunicação interna.

8 - Ver, por exemplo: NBR 5628/1980. Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo; NBR 6479/1992. Portas e vedadores – determinação da resistência ao fogo; NBR 10636/1989. Paredes divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo; NBR 11711/1992. Portas e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de risco em ambientes comerciais e industriais.

9 - Ver *The Buildings Regulations 2000. Approved Document L1*. Department of the Environment and The Welsh Office, UK, BS EN ISO 6946, 1997. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.

10 - Literalmente, "ripa e barro". Ver T. Graham. "Wattle and daub: craft, conservation and Wiltshire case study". M.Sc dissertation. Dept. of Architecture and Civil Engineering. University of Bath, 2003.

11 - Para mais detalhes sobre o isolamento de risco, consulte a IT 07/2004 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

12 - Swiss Federation of Engineers and Architects. *Method for fire safety evaluation*. SIA Documentation 81. Zurich, 1981. p. 15.

13 - Nesse ponto, mantemos fidelidade ao princípio de que o volume do compartimento é um fator de risco de incêndio. Para que a edificação fosse classificada como do tipo C, admitimos um pé-direito máximo da ordem de 4,5 m, encontrável nas edificações coloniais, o que corresponderia, para a área limite de piso de 200 m², ao volume também limite de 900 m³.

14 - Proteção passiva é aquela que está no seu estado operacional a todo momento, independentemente da presença dos primeiros sinais do incêndio. Por exemplo, o revestimento de uma peça de madeira importante na estabilidade de uma edificação com uma tinta intumescente capaz de protegê-la do calor, caso um incêndio venha a ocorrer no local. Já a proteção ativa é aquela que só se torna operacional diante dos sinais do incêndio, a exemplo dos chuveiros automáticos que são acionados pelo calor do início de ignição.

15 - Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. Instrução Técnica n. 09/04. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2004.

16 - *The Buildings Regulations 1991. Approved Document B: Fire Safety*. Department of the Environment and The Welsh Office. Londres, 1992. p. 79.

17 - Altura de uma edificação é a altura do piso mais elevado em relação ao nível de descarga, ou seja, aquele nível em que o usuário da edificação pode se considerar livre de todos os efeitos do incêndio.

18 - O método ora proposto tem uma dimensão evolutiva que já reputamos como sua principal vantagem. Logo, após alguns anos de utilização da presente versão na avaliação do risco de incêndio em sítios históricos, a comunidade de profissionais de projeto, autoridades públicas e pesquisadores da área de engenharia de incêndio formará um juízo adequado para o próximo passo nessa evolução, sendo possível optar-se pela introdução de novos parâmetros de risco.

19 - Ver: (a) A. M. Claret e A. F. T. Andrade. *Levantamento de risco de incêndio em Ouro Preto – Etapa I: Rua São José*. Relatório técnico do projeto UNESCO/Movimento Chama. Laboratório de Análise de Risco de Incêndio. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 170 p; (b) S. M. S. Araújo. *Incêndio em edificações históricas: um estudo sobre o risco global de incêndio em cidades tombadas e suas formas de prevenção, proteção e combate – a metodologia aplicada à cidade de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado (Orientador: A. M. Claret). Universidade Federal Fluminense, 2004. 317 p.

20 - Pode ser desconfortável para o leitor saber que alguns fatores são estabelecidos por consenso de vários profissionais atuantes em engenharia de incêndio, sempre tomando por base valores normativos, mas é uma necessidade nesse momento: o consenso técnico compensa a carência de dados resultantes de investigações de incêndios reais no País. No futuro, espera-se que gradativamente o consenso técnico vá sendo substituído pelas ferramentas estatísticas adequadas.

21 - A denominação *grupamento* aqui não tem o sentido técnico dado pelos Corpos de Bombeiros e se refere ao órgão da corporação presente no local.

22 - Só podem ser considerados os Corpos de Bombeiros com serviço de plantão permanente, sejam eles oficiais, particulares ou voluntários devidamente autorizados.

23 - Esse raio máximo poderia ser maior em regiões de topografia plana, servida por uma malha rodoviária adequada. No caso, o consenso técnico estabelecido em um raio máximo de 16 km refere-se à região formada por Ouro Preto e Mariana e seus distritos, que, felizmente, também estão repletos de edificações tombadas pelo seu valor histórico.

24 - O que é uma reserva de água suficiente? Seria possível fazer uma estimativa com base em métodos de engenharia de incêndio, mas, na prática, a reserva de água depende de muitos fatores, alguns deles de avaliação privativa das corporações de bombeiros, como a capacidade dos equipamentos. Por isso, a reserva suficiente é a determinada pelos bombeiros.

25 - Essa elevação da exposição ao risco de incêndio é, por assim dizer, uma medida política, de certo modo artificial, que expressa o valor que se atribui àquele bem tombado em particular. O seu efeito, como já se disse, é obrigar a adoção de mais medidas de segurança, de modo a atender ao mínimo necessário.

26 - Por essa razão, a tabela dos fatores de risco parece invertida: na opinião do grupo técnico reunido para estabelecer esses fatores, os bens tombados somente pelos Municípios, pela falta de outras fontes de recursos, estão em estado de conservação mais precário que os tombados somente pelo Estado, por exemplo.

4. Medidas e fatores de segurança

4

MEDIDAS E FATORES DE SEGURANÇA

4.1 - INTRODUÇÃO

O risco de incêndio é como que *balanceado* por diversas medidas de segurança que nascem com a edificação ou são nela introduzidas posteriormente, ou, ainda, por medidas relacionadas à infraestrutura pública. Essas medidas são várias, mas podem ser reunidas em cinco classes¹, a saber:

- a) **Medidas sinalizadoras do incêndio** – visam detectar o início de incêndio e comunicá-lo a usuários ou a profissionais incumbidos do combate. São elas os alarmes de incêndio e os detectores de calor e de fumaça.
- b) **Medidas extintivas** – visam extinguir o incêndio em qualquer uma de suas fases. São elas: aparelhos extintores, sistema extintor fixo de gases, sistema interno e externo de chuveiros automáticos, brigadas de incêndio.
- c) **Medidas de infra-estrutura** – são aquelas que visam tornar possível as atividades de combate, tais como os sistemas de hidrantes e as reservas de água.
- d) **Medidas estruturais** – são os diversos níveis de resistência ao fogo que se pode conseguir pela adoção de materiais estruturais adequados ou pelo uso de proteção passiva.
- e) **Medidas políticas** – são aquelas que orientam a ação de usuários e profissionais no evento de um incêndio, visando ordená-los no sentido de atuarem eficazmente para a redução da severidade do incêndio.

Abordaremos em seguida cada classe de medidas de segurança. Antes, porém, devemos observar que estamos tratando de medidas que se agregam à edificação em uma visão clássica de um ambiente de projeto prescritivo. O tratamento da segurança contra incêndio de edificações históricas, do ponto de vista da filosofia de projeto baseado em desempenho, será feito em oportunidade futura.

A atribuição de pesos às medidas de segurança é feita com base em uma expectativa de seus efeitos no sentido de atingir a extinção do incêndio em qualquer uma de suas fases ou, pelo menos, de controlar a sua propagação. A avaliação desses efeitos é meramente empírica, e a fixação final dos fatores de segurança dependeu em muito da experiência dos profissionais da área.

Cabe ressaltar também que as medidas de segurança focalizam predominantemente a segurança patrimonial, isto é, não se espera ter problemas graves de segurança da vida nas edificações históricas tipicamente consideradas no domínio de aplicação do método proposto. Ocorrendo algum caso em que isso não seja verdadeiro, os projetistas de segurança contra incêndio devem dispensar atenção especial ao escape dos usuários.

Outro aspecto importante no que tange às medidas de segurança é que a sua implementação na edificação deve obedecer a projeto específico elaborado de acordo com as normas técnicas vigentes. Neste livro, não tratamos dos projetos em si, mas apenas de seus requisitos como pressupostos da segurança global da edificação.

4.2 - MEDIDAS SINALIZADORAS DO INCÊNDIO

Como o próprio nome diz, essas medidas de segurança visam detectar o início de um incêndio e comunicá-lo a usuários, autoridades públicas e demais pessoas na vizinhança da edificação. São medidas ativas de grande importância, uma vez que, descobertos no início de ignição, os incêndios podem ser extintos ou, pelo menos, controlados até a sua completa extinção com o emprego de recursos simples e disponíveis na maioria das edificações.

A tabela 4.1 descreve as medidas sinalizadoras de incêndio que julgamos mais comuns e os respectivos fatores de segurança. Observe que essas medidas são definidas pelo gênero, cabendo às normas técnicas a definição dos equipamentos específicos. Portanto, todos os sistemas mencionados devem ter seus projetos elaborados segundo instruções técnicas dos Corpos de Bombeiros ou, na falta destas, segundo normas técnicas nacionais ou estrangeiras.

Tabela 4.1 – Medidas sinalizadoras do incêndio e fatores de segurança

Descrição	Símbolo	Fator de segurança
Alarme de incêndio com acionamento manual	s_1	1,5
Detector de calor e fumaça	s_2	2,0
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para central de segurança	s_3	3,0

4.3 - MEDIDAS EXTINTIVAS

Uma vez detectado o incêndio, deve-se dispor das medidas que visam extingui-lo o mais cedo possível – seja pela ação humana, seja automaticamente –, minimizando os prejuízos decorrentes do calor excessivo e da fumaça. Assim, as medidas extintivas dadas na tabela 4.2 atuam na interrupção da reação de combustão pela eliminação de um dos elementos essenciais para a sua sustentação, figurados no triângulo do fogo.

Extintores de incêndio e sistemas fixos de gases extintores agem sobre o foco do início de ignição, lançando sobre ele substâncias cuja reatividade com o oxigênio é maior que a dos gases oriundos da pirólise. Os extintores são manuais e os sistemas fixos de gases são acionados automaticamente. Em ambos, a substância extintora deve ser escolhida de modo a interagir minimamente com o conteúdo do compartimento e com seus usuários. As especificações normativas de cada um desses sistemas prescrevem os cuidados na sua aplicação.

Brigadas de incêndio e instalação de chuveiros automáticos atuam na redução da temperatura ambiente, visando interromper o ciclo de retroalimentação da reação de combustão. Constituem medidas de grande poder preventivo do desenvolvimento e propagação de incêndios, com eficácia comprovada, quando seguem as prescrições técnicas de norma.

Em particular, cabe lembrar que os sistemas de chuveiros automáticos e os sistemas fixos de gases são muito eficazes no combate de início de incêndio, cada um deles com aplicações específicas e exigindo cuidados técnicos próprios. Já as brigadas de incêndio, quando bem formadas, superam em muito os demais sistemas, uma vez que a sua base é a vigilância contínua do profissional bem treinado, que, sendo necessário, pode atuar muito cedo na extinção do início de ignição.

Tabela 4.2 – Medidas extintivas e fatores de segurança

Descrição	Símbolo	Fator de segurança
Aparelhos extintores	S ₄	1,0
Sistema fixo de gases	S ₅	6,0
Brigada de incêndio em plantão durante o expediente	S ₆	8,0
Brigada de incêndio em plantão permanente	S ₇	8,0
Instalação interna de chuveiros automáticos	S _{8a}	10,0
Instalação externa de chuveiros automáticos	S _{8b}	6,0

4.4 - MEDIDAS DE INFRA-ESTRUTURA

A atividade de combate demanda o suporte de equipamentos e da rede de água para incêndio. Portanto, as medidas de infra-estrutura são os sistemas de hidrantes públicos ou privados e a reserva de água correspondente.

A instalação dos sistemas de hidrantes públicos e privados deve obedecer a normas técnicas específicas, considerando também as diretrizes dos Corpos de Bombeiros. De modo semelhante, as reservas de água para combate devem atender as instruções técnicas e as normas brasileiras. Nesse caso, o conceito de confiabilidade do sistema de abastecimento de água para incêndio é introduzido e considerado na avaliação do risco global de incêndio. Mais de uma vez já foi reportado o fenômeno do *hidrante seco*² justamente no momento do incêndio.

A tabela 4.3 fornece as medidas de infra-estrutura consideradas no método proposto e os fatores de segurança correspondentes.

Tabela 4.3 – Medidas de infra-estrutura e fatores de segurança

Descrição	Símbolo	Fator de segurança
Sistema de hidrantes internos à edificação e mangotinhos com abastecimento por meio de reservatório público	S ₉	6,0
Sistema de hidrantes internos à edificação e mangotinhos com abastecimento por meio de reservatório particular	S ₁₀	6,0
Reserva de águas	S ₁₁	1,0

4.5 - MEDIDAS ESTRUTURAIS

As medidas estruturais são, em síntese, os diversos níveis de resistência ao fogo que a estrutura da edificação pode ter, seja porque assim foi construída, seja porque se lhe agregou proteção passiva adequada. Note-se que está em foco a estrutura³ em si, isto é, o conjunto dos elementos construtivos que têm como função principal o suporte das cargas oriundas do peso próprio e da ocupação da edificação.

Tradicionalmente, as classes de resistência ao fogo referem-se ao ensaio-padrão⁴ de elementos isolados e são definidas pelo tempo de resistência ao fogo, maior que ou igual a 30 minutos, e em intervalos de 30 minutos. As frações de 30 minutos são arredondadas para a classe imediatamente inferior.

As classes de resistência ao fogo utilizadas são, portanto: 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 120 minutos e assim sucessivamente. Resistência ao fogo inferior a 30 minutos é considerada nula; em

termos práticos, raramente se exige resistência ao fogo superior a 120 minutos para as ocupações mais comuns. A tabela 4.4 traz as classes de resistência ao fogo utilizadas como medidas de segurança e os respectivos fatores de segurança.

A proteção passiva de estruturas pode representar um significativo acréscimo de custo da segurança, se a resistência ao fogo estrutural for aferida exclusivamente por meio dos métodos clássicos. A referência indicada na nota 4 pode auxiliar na busca de alternativas mais econômicas.

Tabela 4.4 – Medidas estruturais e fatores de segurança

Resistência ao fogo da estrutura (min)	Símbolo	Fator de segurança
≥ 30	S ₁₂	1,0
≥ 60	S ₁₃	2,0
≥ 90	S ₁₄	3,0
≥ 120	S ₁₅	4,0

4.6 - MEDIDAS POLÍTICAS

O que denominamos medidas políticas refere-se ao conjunto de iniciativas tomadas no sentido de ordenar as ações de combate e prevenção com o objetivo de torná-las mais eficazes. Não há um elenco limitado dessas medidas, e outras além das listadas na tabela 4.5 podem ser consideradas.

A *planta de risco* é obtida pelo lançamento sobre a malha urbana dos níveis de risco global de incêndio, medidos segundo o método proposto. Um código de cores pode ser utilizado para simbolizar a intensidade dos riscos. Suas aplicações são várias, ressaltando-se o objetivo de alertar os profissionais de projeto e de combate a incêndio sobre as especificidades do risco em cada região na malha urbana.

Os *planos de intervenção*⁵ dizem respeito ao desenvolvimento das operações de combate a incêndio. São elaborados por profissionais experientes, com base em cenários de incêndio mais prováveis em edificações cuja importância, por si ou por seu conteúdo, é reconhecida, ou cujos aspectos construtivos exigem uma abordagem especial no que diz respeito às técnicas de combate. Vários edifícios de nossas cidades históricas, em especial os templos religiosos, mereceriam planos de intervenção.

Planos de escape são também utilizados, visando reduzir os riscos de danos à vida humana. Este pode ser o caso de edificações históricas destinadas a acesso de público ou usadas como hospitais, asilos, creches, pousadas e hotéis. Dependendo das circunstâncias específicas da edificação⁶, pode ocorrer que certo número de usuários exija assistência durante o escape, o que justifica o plano de escape como atividade de prevenção da severidade dos incêndios.

A *sinalização de saídas de emergência e das rotas de fuga* é uma medida de natureza passiva que deve estar presente em todas as edificações. Atenção especial deve ser dispensada aos usuários não familiarizados com a arquitetura da edificação, como os turistas.

Tabela 4.5 – Medidas políticas e fatores de segurança

Descrição	Símbolo	Fator de segurança
planta de risco	S ₁₆	1,0
Plano de intervenção	S ₁₇	1,2
Plano de escape	S ₁₈	1,2
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S ₁₉	1,0

4.7 - DOIS PRINCÍPIOS DO PROJETO DE SEGURANÇA

Princípio da não-exclusão

Já reiteramos que o método ora proposto tem seu fundamento no balanceamento de parâmetros de risco e de medidas de segurança. Isto é, para um dado perigo de incêndio, certo número de medidas de segurança deve resultar em um coeficiente de segurança aceitável.

De início, o elenco de medidas de segurança seria objeto da escolha do profissional de projeto, de modo a controlar o nível de risco de incêndio. Mas, nessa situação, deve-se aplicar o *princípio da não-exclusão* que enunciamos a seguir: *o emprego de medidas de segurança de determinada classe não exclui o emprego obrigatório de pelo menos uma medida de cada uma das classes.*

O *princípio da não-exclusão* limita a liberdade de escolha do projetista, mas atua francamente em favor da segurança da edificação. Um projeto de segurança deve incluir, portanto, ao menos uma medida sinalizadora do início de incêndio, uma medida extintiva, uma medida de infra-estrutura, uma medida estrutural e uma medida política.

A concentração do projeto em uma determinada classe de medidas de segurança pode ser desastrosa, ainda que represente à primeira vista uma redução de custos. No entanto, a grande variedade das edificações pode levar o profissional responsável pelo projeto a optar pela não obediência ao princípio da não-exclusão, o que deve merecer uma ampla justificativa. Aplicações desse princípio serão vistas no capítulo 7.

Princípio da exceção segura

Embora tenhamos mencionado que esse método está sendo desenvolvido em ambiente tipicamente prescritivo (ver seção 4.1), alguns aspectos dele são próprios dos métodos de projeto baseados em desempenho, a exemplo dos cenários de incêndio dos quais tratamos resumidamente na seção 2.1. O *princípio da exceção segura* é também um aspecto típico dos processos de projeto baseados em desempenho.

Pode ocorrer que uma edificação em análise apresente uma situação de risco que não seja bem representada pelos fatores de risco estabelecidos no método. O julgamento do profissional de projeto deve ser superior, abrindo-se a oportunidade para a majoração de um ou mais fatores de risco. Em alguns casos, essa majoração não é só uma possibilidade, mas também um dever do profissional responsável pelo projeto.

Portanto, o *princípio da exceção segura* estabelece que *o profissional de projeto, para atender os objetivos de segurança, deve majorar os fatores de risco que justificadamente lhe pareçam subestimados.*

4.8 - CONCLUSÃO

Neste capítulo, as medidas de segurança mais comuns aplicáveis aos projetos de segurança contra incêndio foram consideradas, atribuindo-se pesos a elas, para compor o balanceamento que constitui a essência do método ora proposto.

O tratamento dispensado às medidas de segurança, como de resto a toda exposição do método, foi o adotado nas normas prescritivas de uso difundido em todo o mundo. Em um contexto de projeto baseado em desempenho, alguns aspectos da exposição seriam diferentes, notadamente a imposição que se faz de uso de normas técnicas específicas para o projeto das medidas de segurança.

No próximo capítulo, apresentaremos os riscos de ativação de incêndio.

NOTAS

1 - Essa classificação supõe projetos que se baseiam em normas essencialmente prescritivas. Ela perderia o sentido em um projeto baseado em desempenho, uma vez que todas as medidas de segurança seriam concebidas organicamente na fase de projeto. Para esclarecimentos sobre projeto prescritivo e projeto baseado em desempenho, ver Mattedi, D. L. *Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de segurança contra incêndio baseado em desempenho*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, 2005. 271 p.

2 - Evidentemente, o hidrante estava sem alimentação há muito tempo, até que esse fato fosse revelado pelo incêndio. Isso nos leva ao debate da questão, ainda não mencionada, da manutenção dos sistemas de prevenção e combate a incêndio.

3 - A resistência ao fogo dos elementos de compartimentação já foi indiretamente considerada na classificação das edificações nos tipos C, H e V (ver seção 3.4).

4 - Ver A. M. Claret. *Resistência ao fogo de estruturas: alternativas técnicas para a redução do custo da proteção passiva (2000)*. Relatório Interno L01/2000. Laboratório de Análise de Risco em Incêndio. Escola de Minas – UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

5 - A norma NBR 15219:2005, denominada “Plano de emergência contra incêndio – Requisitos”, preconiza a elaboração de planos de emergência que envolvem aspectos do que, neste livro, se denominou separadamente *plano de intervenção* e *plano de escape*.

6 - Frequentemente, a adaptação de usos nas edificações históricas levaria à exigência da construção de saídas de emergência que podem ser difíceis de alocar e de construir. De qualquer modo, a questão do escape dos usuários não pode deixar de ser examinada com cuidado, devendo receber uma ou mais soluções que configurem o plano de escape. Por outro lado, as construções em encostas podem ter grandes alturas em algumas fachadas (em relação ao nível de descarga; como, por exemplo, os fundos da Rua São José, em Ouro Preto), o que transforma em um problema não trivial o escape assistido em condições que diferem muito das de um edifício moderno (condições de acesso e de sustentação dos equipamentos auxiliares).

5. Parâmetros e fatores de risco de ativação de incêndios

5

PARÂMETROS E FATORES DE RISCO DE ATIVAÇÃO DE INCÊNDIOS

5.1 - INTRODUÇÃO

No capítulo 2, fizemos a distinção entre perigo de incêndio e risco de incêndio e introduzimos o conceito de *parâmetros* de risco de ativação. São esses parâmetros que trataremos de descrever neste capítulo. Concomitantemente, introduziremos os *fatores* de risco de ativação utilizados para medir a sua influência sobre o perigo de incêndio, gerando a grandeza risco de incêndio.

Não é demais insistir que o perigo de incêndio, que denominamos, no método aqui apresentado, *exposição ao risco de incêndio*, é uma grandeza determinística¹, isto é, nós o calculamos em função dos fatores de risco definidos no capítulo 3. Já o risco de incêndio tem natureza probabilística, embora não seja, da forma como ora é definido, uma grandeza probabilística pura.

Mas não é difícil de perceber que, conhecida uma edificação², todos os parâmetros que favorecem o desenvolvimento e a propagação de um incêndio, nela presentes, têm caráter *potencial* (há uma certa probabilidade associada a esse potencial no mundo matemático), somente podendo vir a se transformar em um fenômeno *incêndio* no mundo físico se sobre ela atuar uma fonte de ativação.

Pelo seu caráter aleatório, não é possível anular completamente os parâmetros de ativação de incêndio em uma edificação: pode-se apenas reduzir a sua probabilidade de atuação a valores mínimos aceitáveis.

5.2 - CLASSES DE RISCOS DE ATIVAÇÃO

Os riscos de ativação podem ser reunidos em três classes:

- a) riscos decorrentes diretamente da atividade humana;
- b) riscos decorrentes das instalações;
- c) riscos devidos a fenômenos naturais.

Entre os riscos da primeira classe, o método ora proposto contemplará o risco oriundo da natureza da ocupação e o risco decorrente de falha humana. Na segunda classe, incluiremos o risco decorrente da qualidade das instalações elétricas e da qualidade das instalações de gás. Na terceira classe, no Brasil é relevante apenas o risco decorrente de descargas atmosféricas, salvo casos especiais que devem ser identificados pelo profissional de projeto.

Em todas as classes, o risco de ativação focaliza dois elementos do triângulo do fogo: a fonte piloto de calor e a carga combustível, cuja inflamabilidade pode ser suficientemente baixa para ativar um incêndio no decorrer do uso adequado³ da edificação.

5.3 - RISCOS DECORRENTES DA ATIVIDADE HUMANA

Risco oriundo da natureza da ocupação

A natureza da ocupação é definidora de um risco de ativação específico: entende-se que o simples uso de um cômodo pode gerar um risco de ativação de incêndio, quando envolve operações, de qualquer natureza, capazes de gerar temperaturas suficientemente elevadas para iniciar a ignição em objetos comuns.

A propósito, devemos refletir sobre a capacidade que têm os objetos de iniciar um processo de ignição. Focalizando o triângulo do fogo, verifica-se que, se um objeto é combustível e está imerso no ar, o início de ignição depende apenas de uma fonte de calor capaz de elevar a sua temperatura ao nível suficiente para iniciar a sua decomposição ou pirólise.

A elevação de temperatura de um objeto pode ocorrer pelo seu envolvimento, no todo ou em parte, por uma chama piloto, ou pela absorção de certo nível de radiação que incide sobre ele. Note-se, porém, que a temperatura necessária para o início de ignição em um e outro caso é distinta.

Um corpo exposto a uma elevação de temperatura por meio de uma chama piloto pode apresentar dois tipos de comportamento:

a) **fulguração** – o material aquecido inicia um processo de combustão que não é auto-sustentável, dada a pequena quantidade de gases combustíveis gerados em sua decomposição; a menor temperatura característica de um material em que isso ocorre é denominada *ponto de fulgor* ou *flash point*;

b) **inflamação** – o material aquecido inicia um processo de combustão auto-sustentado, com chamas crescentes em volume que se propagam pela superfície do corpo; a menor temperatura em que isso ocorre é denominada *ponto de inflamação*, *ponto de ignição* ou *fire point*.

A experiência demonstra que o ponto de fulgor e o ponto de inflamação são muito próximos e, muitas vezes, a literatura técnica refere-se a apenas um deles indistintamente. Por exemplo, para a gasolina, o ponto de fulgor⁴ varia, conforme a composição química, entre 38°C e 40°C; para o óleo diesel, varia de 65°C a 75,5°C; valores ligeiramente superiores são os correspondentes pontos de inflamação.

A facilidade com que um material inicia a ignição depende também de seu estado físico. Particularmente importante é o caso de gases que, formando misturas íntimas com o ar atmosférico, apenas são inflamáveis quando a sua concentração está dentro de certos *limites de inflamabilidade*, conforme é exemplificado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Limites de inflamabilidade

Substância	Inflamabilidade	
	Inferior (% em volume)	Superior (% em volume)
Monóxido de carbono	12,5	74
Metano	5,0	15
Propano	2,1	9,5
Metanol	6,7	36
Etanol	3,3	19
Acetona	2,6	13
GLP	1,8	8,4
Benzeno	1,3	7,9

Fonte: An Introduction to Fire Dynamics. Dougal Drysdale. 2nd edition. John Wiley & Sons, 1999.

O início de ignição por radiação é o fenômeno que denominamos *auto-ignição* ou *ignição espontânea*. Trata-se de uma questão um tanto mais complexa que a da exposição à chama piloto, envolvendo, além das propriedades físicas e químicas do material combustível, o tempo de exposição e a intensidade do fluxo radiante de calor. Em consequência, a temperatura de início de ignição varia muito, dando-se, em geral, 250°C - 300°C como valores de referência para os materiais comuns, inclusive a madeira.

Assim, um critério possível para definir fatores de risco de ativação deve considerar faixas de temperaturas presentes nos processos desenvolvidos na edificação. No método ora proposto, as faixas e os valores de fatores de risco de ativação constantes da tabela 5.2 foram estabelecidos por consenso. A primeira faixa compreende temperaturas inferiores a 40°C, porque os materiais que iniciam a ignição nessa temperatura são considerados inflamáveis; a segunda faixa termina em 250°C, porque essa é uma temperatura mínima de referência para a auto-ignição da madeira.

Tabela 5.2 – Caracterização das ocupações e fatores de risco de ativação

Caracterização das ocupações realizadas na edificação	Símbolo	Fator de risco
Operações que envolvem temperaturas inferiores a 40°C	A ₁	1,0
Operações que envolvem temperaturas entre 40°C e 250°C		1,25
Operações que envolvem temperaturas superiores a 250°C		1,50

Uma abordagem alternativa mais específica para o estabelecimento de fatores de risco de ativação consiste em considerar o tipo de ocupação. Nesse caso, considerando as classes de ocupação definidas na *Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação*, dada no anexo A do Decreto 46076/2001 do Governo do Estado de São Paulo, a tabela 5.3 fornece os fatores de risco de ativação propostos para uso no método aqui apresentado.

Tabela 5.3 – Riscos de ativação devidos à natureza da ocupação e fatores de risco

Descrição	Grupo de ocupação	Fator de risco
Habitações unifamiliares, multifamiliares e coletivas	A	1,25
Hotéis, pensões, pousadas, apart-hotéis e assemelhados	B	
Escolas de todos os tipos, espaços para cultura física, centros de treinamento e outros	E	
Estabelecimentos comerciais e centros de compras	C	1,50
Escritórios, agências bancárias, oficinas de eletrodomésticos; laboratórios fotográficos, de análises clínicas e químicos	D	
Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, boates, clubes, salões de baile	F-6, F-8	
Locais de reunião de público, que não os anteriores	F-1 a F-11, exceto os anteriores	1,0

Risco devido a falha humana

O segundo risco de ativação decorrente de atividade humana é o que se deve às falhas humanas involuntárias. Nesse domínio, somente a educação dos usuários e a constante vigilância exercida sobre eles pelos responsáveis pela segurança da edificação podem reduzir a probabilidade de ativação de incêndio. Por consenso, são estabelecidos os fatores de risco de ativação dados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Risco de ativação devido a falha humana e fatores de risco

Descrição	Símbolo	Fator de risco
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez por ano	A ₂	1,0
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez a cada dois anos		1,25
Usuários não treinados		1,75

O treinamento referido na tabela 5.4 é, na verdade, a educação para a segurança contra incêndio, que objetiva aperfeiçoar o uso cotidiano da edificação quanto a múltiplos aspectos, tais como limpeza, uso racional dos equipamentos elétricos e manuseio adequado das fontes de calor. Esse tipo de treinamento pode ser concomitante ao treinamento para combate de início de incêndio e escape, que são medidas de segurança já consideradas (ver capítulo 4).

5.4 - RISCOS DECORRENTES DAS INSTALAÇÕES

As instalações elétricas e de gás de uma edificação representam fontes comuns⁵ de risco de ativação de incêndio: as primeiras, por fornecerem uma fonte inicial de calor por meio das centelhas oriundas de um curto-circuito; as segundas, por gerarem uma mistura de grande inflamabilidade quando misturadas ao ar, a qual pode ser facilmente ativada.

No método ora proposto, para avaliar o risco de ativação decorrente da qualidade das instalações elétricas e de gás, resolveu-se considerar a existência ou não de projeto segundo as normas técnicas aplicáveis. É necessário reconhecer que a inspeção pormenorizada das instalações no seu estado atual nem sempre é possível, a não ser por profissionais do ramo⁶, em situações que visam o reparo ou a manutenção.

Portanto, se a instalação foi feita segundo a norma técnica aplicável, e se seu uso e estado de manutenção são regulares⁷, admite-se que o risco de ativação de incêndio seja mínimo.

Os parâmetros definidores do risco e os respectivos fatores de risco são mostrados na tabela 5.5, aplicando-se tanto às instalações elétricas quanto às instalações de gás.

Tabela 5.5 – Qualidade das instalações elétricas e de gás e fatores de risco

Caracterização das instalações	Símbolo	Fator de risco
Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; uso e manutenção regulares	A ₃	1,0
Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; uso inadequado (extensões sem projeto) e manutenção irregular		1,25
Instalações não projetadas segundo as normas técnicas aplicáveis		1,50

5.5 - RISCOS DEVIDOS A FENÔMENOS NATURAIS

Entre os fenômenos naturais que podem iniciar a ignição em uma edificação citam-se o aquecimento espontâneo⁸, as reações químicas e as descargas atmosféricas.

Excetuados os casos de aquecimento espontâneo e de reações químicas, são importantes, pelo número de ocorrências, as descargas atmosféricas. Para prevenir os seus efeitos, as edificações em situação de risco devem executar projeto específico de proteção contra descargas atmosféricas. Nesse caso, para avaliar o risco de ativação, adotou-se também como critério a existência de projeto específico e de acordo com as normas técnicas aplicáveis. Os fatores de risco são dados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Risco de ativação por descarga atmosférica e fatores de risco

Caracterização das instalações	Símbolo	Fator de risco
Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; manutenção regular	A ₄	1,0
Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; manutenção irregular		1,25
Projeto inexistente		1,50

5.6 - PRINCÍPIO DA EXCLUSÃO

O risco de ativação devido à natureza da ocupação está sempre presente, desde que a edificação esteja em uso contínuo. Mas, em face de seu caráter acidental, os riscos de ativação devidos a falha humana e a deficiência nas instalações elétrica, de gás e de proteção contra descarga atmosférica excluem-se mutuamente. Ou seja, não é razoável supor a coincidência dessas causas de ativação de incêndio. Por isso, enuncia-se o princípio da exclusão: *os riscos de ativação de incêndios devidos a falhas humanas, a deficiências das instalações elétricas e de gás e a descargas atmosféricas excluem-se mutuamente, devendo-se adotar o maior deles que possa afetar a edificação.*

5.7 - CONCLUSÃO

Este capítulo foi dedicado ao estudo dos riscos de ativação de incêndio em edificações. Devemos lembrar que todos eles foram considerados, direta ou indiretamente, decorrentes da ação ou omissão humanas. A ação humana pode ativar o perigo de incêndio existente em uma edificação quando, no seu uso, promove involuntariamente o contato de uma fonte de calor com uma carga combustível. De modo semelhante, a omissão humana é responsabilizada pelo início de ignição quando não projeta, não executa ou não faz a manutenção adequada de instalações elétricas, de gás e de proteção contra descargas atmosféricas.

O critério para julgamento da qualidade dos projetos, da execução e da manutenção das instalações acima referidas, adotado no método proposto, é a adequação às normas técnicas aplicáveis. Nisso há o pressuposto de que instalações tecnicamente adequadas quanto ao projeto, à execução e à manutenção são totalmente eficientes na eliminação dos riscos de ativação. É um pressuposto muito "forte", mas necessário nesse momento.

No próximo capítulo, discutiremos a viabilização prática do método e algumas aplicações serão descritas.

NOTAS

1 - Não confundamos o caráter determinístico de uma grandeza com a exatidão de sua medida. De fato, mesmo grandezas físicas, como a massa, o tempo e a força, embora determinísticas, são expressas por medidas sempre afetadas por um erro e, portanto, em sentido estrito, não exatas.

2 - Isto é, conhecidos o meio ambiente em que se insere, sua arquitetura, seu conteúdo, e caracterizada a sua ocupação.

3 - Adequado, mas humanamente imperfeito; afinal, não se trata aqui de um mundo de robôs.

4 - O ponto de fulgor e o ponto de ignição variam também com a pressão atmosférica ambiente e com o tipo de ensaio. Ver Dougal Drysdale. *An Introduction to Fire Dynamics*. 2nd edition. John Wiley & Sons, 1999.

5 - Dois alertas, neste ponto: primeiro, de tão comuns, a maioria das pessoas atribuem a essas duas "causas" o início de ignição da maioria dos incêndios; isso é algo que os técnicos devem evitar, antes de um exame mais pormenorizado da situação particular. Segundo, é necessário observar que a qualidade das instalações elétricas e de gás contribui para o risco de ativação do incêndio, e não diretamente para a sua severidade. Não é, pois, sábio preocupar-se apenas com o risco de ativação, deixando em segundo plano os parâmetros geradores do perigo de incêndio.

6 - Sempre temos em mente o profissional que se incumbirá do levantamento para determinação do risco global de incêndio: estamos atentos aos parâmetros de risco que ele possa constatar em um exame não pormenorizado, mas que sejam indicadores do perigo ou do risco.

7 - Manutenção regular é aquela feita no tempo máximo previsto em norma ou, quando necessário, antes dele, atuando sobre os elementos construtivos também especificados em norma, ou atendida a durabilidade dos materiais.

8 - O leitor interessado poderá pesquisar, por exemplo, o caso das pilhas de carvão e do óleo de linhaça, quanto ao chamado aquecimento espontâneo, e o caso da reação química do permanganato de potássio com glicerol: ambos os fenômenos podem ser fonte de calor suficiente para o início de ignição.

6. Aplicação do método

6

APLICAÇÃO DO MÉTODO

6.1 - INTRODUÇÃO

A formulação do método proposto foi descrita nos capítulos anteriores. Estudaremos a seguir sua aplicação, que deverá compreender as seguintes fases:

- a) levantamento de dados da edificação ou conjunto de edificações;
- b) determinação da exposição ao risco de incêndio da edificação ou do conjunto;
- c) determinação da segurança;
- d) determinação dos riscos de ativação;
- e) cálculo do risco global de incêndio;
- f) análise da segurança.

Cada uma dessas fases será examinada pormenorizadamente neste capítulo. Antes, porém, devemos refletir sobre as circunstâncias de aplicação do método.

Um método de análise global de risco pode ser utilizado ainda na fase de projeto de uma edificação, com o objetivo de definir, para diversos cenários de incêndio, as medidas de segurança que devem ser adotadas para atender o critério de segurança expresso por $\gamma \geq \gamma_{\min}$, conforme a equação 5 apresentada no capítulo 2. Nesse tipo de aplicação, os anteprojetos da edificação podem ser alterados convenientemente, até que se atinja a meta de segurança.

Nos sítios históricos, a aplicação do método de análise global de risco tem a finalidade de definir os parâmetros de uma intervenção pública ou privada que visa alterar favoravelmente uma situação que se reconheça de risco inaceitável. Não há, portanto, meios de intervir no projeto arquitetônico, salvo casos muito especiais de ampliações ou reformas de construção.

A natureza das intervenções em edificações tombadas pelo seu valor histórico não pode ser decidida apenas pelos profissionais de segurança contra incêndio – exigem o concurso de especialistas na área do patrimônio histórico. Não há ainda uma experiência consolidada, que pudesse nos orientar, nesse domínio – isto é, de intervenções em edificações históricas no sentido de reduzir o risco de incêndio a um nível aceitável. É certo, contudo, que as possibilidades práticas são muito reduzidas.

No âmbito das intervenções públicas, em geral, o foco são conjuntos arquitetônicos, e as medidas de segurança envolvidas dizem respeito à infra-estrutura. A análise de risco servirá, nesse caso, para escolher, entre as medidas aplicáveis, aquelas tendentes a fornecer a melhor relação benefício/custo.

Em qualquer aplicação, entretanto, o método proposto tem a vantagem de ser dinâmico, possibilitando sempre sua contínua evolução. Essa evolução se reflete no ajuste de fatores de risco, fatores de segurança e fatores de risco de ativação, bem como na introdução de novos parâmetros de risco e medidas de segurança. Do mesmo modo, o coeficiente de segurança mínimo aceitável pode ser elevado, à medida que a sociedade se torna mais exigente quanto à segurança contra incêndio.

6.2 - LEVANTAMENTO DE DADOS

Focalizando a aplicação do método a edificações ou conjunto de edificações existentes, é provável que não estejam disponíveis todos os projetos construtivos. Nesse caso, a aplicação do método se inicia pela realização de um levantamento de dados. Na tabela 6.1, vê-se uma lista dos dados necessários para a elaboração de uma análise de risco. A organização de uma planilha para levantamento de dados pode ser uma providência útil.

No grupo de dados ambientais, deve-se ter atenção especial para a importância das edificações vizinhas, buscando-se caracterizar a formação ou não de conjunto arquitetônico com risco de generalização de incêndio. Por outro lado, as condições de acesso² dos equipamentos de combate devem ser verificadas, sendo possível socorrer-se da opinião de um bombeiro para decidir sobre a adequação.

Tabela 6.1 – Levantamento de dados – lista dos itens necessários

Grupo de dados	Itens a considerar
Ambientais	Meio ambiente
	Condições de acesso de bombeiros e equipamentos
	Tempo de resposta dos bombeiros
Relativos ao projeto arquitetônico	Tipo de construção
	Geometria e interconexão dos espaços
	Subdivisão interna da edificação
	Dimensões
	Número de andares, incluindo o subsolo
	Afastamento dos vizinhos
	Posição da cobertura em relação aos vizinhos
	Aberturas das fachadas
	Rotas de circulação normal
	Rotas de escape
	Outros parâmetros
Relativos aos ocupantes	Número e agrupamento social
	Distribuição no espaço e no tempo
	Caracterização dos usos
	Mobilidade e estado de atenção dos ocupantes
	Familiaridade com o edifício
	Tipo de atividade
	Pontos de concentração
	Outros parâmetros

Cômodos ¹	Acabamento de paredes, pisos e forros
	Aberturas: dimensões e afastamentos
	Ventilação
	Nível de ruído interno
	Conteúdo combustível
	Fontes potenciais de início de ignição
	Operações e riscos de ativação
	Possíveis rotas de propagação de fogo
	Possíveis rotas de propagação de fumaça
	Outros parâmetros
Outros	Contato para novas informações
	Qualidade e periodicidade da manutenção
	Restrições de projeto
	Mudanças futuras do layout e do uso
	Medidas de segurança já implementadas

O tempo de resposta dos bombeiros a um chamado na região onde se situa a edificação é um dado importante, mas nem sempre disponível. Nos casos em que as condições de trânsito afetem negativamente o tempo de resposta, as condições mais desfavoráveis devem ser consideradas.

O grupo de dados relativos ao projeto arquitetônico se inicia por uma descrição da edificação, contendo suas dimensões gerais, o número de andares e os tipos de materiais utilizados. Atenção especial deve ser dada aos materiais utilizados nas empenas, e é preciso documentar o estado de conservação das vedações laterais externas. Se houver alguma particularidade quanto ao sistema estrutural³ e a importância relativa das peças, isso deve ser registrado.

A divisão em planta deve ser descrita, buscando-se identificar os distintos compartimentos e a forma como eles se comunicam, com atenção especial para as dimensões das aberturas. As rotas de circulação e as rotas de escape precisam ser identificadas.

Em relação às edificações vizinhas, deve-se medir os afastamentos e considerar principalmente as posições relativas de telhados e empenas. As dimensões das aberturas constituem um dado importante, sempre que as edificações são próximas.

É necessário caracterizar os ocupantes pelo seu número, estado de saúde e mobilidade. Se se tratar de pessoas com algum hábito social característico⁴, deve-se considerar tal informação. A familiaridade do ocupante com a edificação pode ser de grande auxílio no escape e tem, portanto, influência direta sobre a severidade de um incêndio.

Os tipos de atividade realizados na edificação devem ser descritos, quando se tratar de um uso incomum. Tratando-se de operações que envolvem temperaturas elevadas, é preciso fazer o registro do local, em planta, e dos níveis de temperatura atingidos. Deve-se registrar também a presença de espaços destinados à cocção de alimentos em edificações de ocupação comercial, de escritórios e outras de uso não-residencial.

Passando à análise de cada um dos cômodos, deve-se caracterizar o mais detalhadamente possível o acabamento dos pisos, forros e paredes (tipo de material, espessura, textura, eventuais tratamentos ignífugantes⁵). As aberturas que servem à interconexão dos diversos cômodos devem ser medidas. Em particular, para cada cômodo, possíveis caminhos de propagação⁶ do fogo, pelo menos quando evidentes, devem ser reportados.

Em todas as etapas dessa fase de levantamento, a atividade mais árdua e, sem dúvida, a mais importante é a caracterização completa do conteúdo combustível da edificação, com o objetivo de determinar a sua densidade de carga de incêndio. Pela sua importância, o capítulo 7 é dedicado a essa tarefa.

Em paralelo, o levantador de dados deve observar as condições de manutenção e uso das instalações elétricas e de gás. Muitos indicadores do mau estado de conservação ou da má qualidade do uso podem ser identificados, especialmente as emendas de cabos elétricos e a corrosão de tubulações.

6.3 - EXPOSIÇÃO AO RISCO DE INCÊNDIO

A exposição ao risco de incêndio ou perigo de incêndio, em uma edificação ou conjunto de edificações, é a grandeza determinística que mede o peso total dos parâmetros impulsionadores do incêndio aí presentes. O método ora proposto elegeu um conjunto de seis parâmetros que predominam na definição do incêndio. Então, a partir dos dados levantados na fase anterior, a exposição ao risco de incêndio pode ser determinada pela expressão:

$$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \quad \text{Equação (6)}$$

Nunca é demais insistir que o número E não é afetado de nenhum caráter probabilístico. Pode ser sujeito a erros de diversas fontes⁷, mas não se trata de uma probabilidade – a edificação ou o conjunto de edificações tem um potencial de incêndio medido por E.

O método é aplicado compartimento a compartimento, tendo-se o cuidado de aferir o conceito rigoroso de compartimento visto no capítulo 2. Portanto, se uma edificação tem mais de um compartimento, todos os valores da exposição ao risco de incêndio devem ser calculados e registrados. Procede-se de modo análogo para conjuntos de edificações.

O significado físico da grandeza E é o de um potencial de incêndio que pode ser ativado por uma das causas de ativação possíveis de ocorrer na edificação. Essa medida, considerada isoladamente, não tem maior significado. Por isso, diz-se que é uma medida relativa: de duas edificações, aquela que tem o maior E está exposta a maior perigo de incêndio. É necessário ter cuidado com as noções comuns de perigo e risco, tendentes à confusão.

6.4 - SEGURANÇA

O levantamento de dados permitiu identificar também as medidas de segurança existentes na edificação. Desse modo, é possível medir a segurança contra incêndio, S, por meio da atribuição dos pesos definidos para esse fim, isto é:

$$S = s_1 \cdot s_2 \dots s_n \quad \text{Equação (7)}$$

A grandeza de S depende do número e do tipo de medidas de segurança existentes na edificação. S é uma grandeza determinística, análoga a E, e no seu cálculo deve-se levar em conta o princípio da não-exclusão.

Como o método é aplicável compartimento a compartimento, as medidas de segurança disponíveis na edificação, em geral, são consideradas como operacionais⁸ em todo o compartimento em questão. Cabe ao profissional incumbido da análise de risco identificar as situações em que isso não é verdadeiro⁹.

6.5 - RISCO DE ATIVAÇÃO

Os riscos de ativação são determináveis a partir do levantamento de dados. Denominando de A o risco de ativação aplicável a cada um dos compartimentos de uma edificação, ou de um conjunto de edificações, tem-se

$$A = A_1 . A_k \quad \text{Equação (8)}$$

onde $k = 2, 3, 4$, em face do princípio da exclusão. Isto é, o risco de ativação devido à ocupação é inerente ao compartimento, enquanto a mesma perdurar; já os demais riscos são acidentais, tomando-se o maior deles aplicável ao caso.

Os compartimentos podem ter riscos de ativação distintos em uma mesma edificação, mas, quando um compartimento tem vários cômodos, é necessário considerar o maior dos riscos de ativação de cada cômodo como aplicável ao compartimento. Nesse caso, a caracterização do uso de cada cômodo pode ser feita com o emprego da tabela 5.3, apresentada no capítulo anterior.

6.6 - RISCO GLOBAL DE INCÊNDIO

O risco global de incêndio é calculado pelo produto da exposição ao risco de incêndio, E, pelo risco de ativação, A. Isto é:

$$R = E . A \quad \text{Equação (9)}$$

O risco global de incêndio é associado a um compartimento. Para uma edificação, toma-se o maior risco associado a um de seus compartimentos, e, para um conjunto de edificações, o maior risco associado a uma das edificações que o compõem.

Em termos absolutos, o risco global de incêndio de uma edificação ou de um conjunto de edificações não tem significado. Mas, utilizando um termo de comparação, seja da mesma edificação em outro tempo, seja de edificações distintas, o risco de incêndio passa a significar, comparativamente, maior ou menor probabilidade de ocorrência de um incêndio severo.

Conhecido o risco global de incêndio, o coeficiente de segurança da edificação pode ser determinado pela razão entre o risco e a segurança¹⁰, isto é:

$$\gamma = \frac{S}{R} \geq \gamma_{\min} \quad \text{Equação (10)}$$

O coeficiente de segurança tem um significado absoluto, uma vez que um valor acima do mínimo (ou, pelo menos, acima da unidade) significa que a edificação ou o conjunto de edificações é seguro, no sentido indicado pelo senso comum: há uma **probabilidade máxima aceitável** de ocorrência de um incêndio severo na edificação.

6.7 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Após a aplicação desse método, pode acontecer que se decida tanto pela adoção de novos valores dos pesos (fatores de risco e fatores de segurança), quanto pela introdução de novos parâmetros de risco e medidas de segurança. O exame da variação dos fatores de risco em função das medidas¹¹ dos parâmetros de risco leva à conclusão de que, entre eles, predominam relações lineares, à exceção da variação do parâmetro de risco com a densidade de carga de incêndio (figura 6.1).

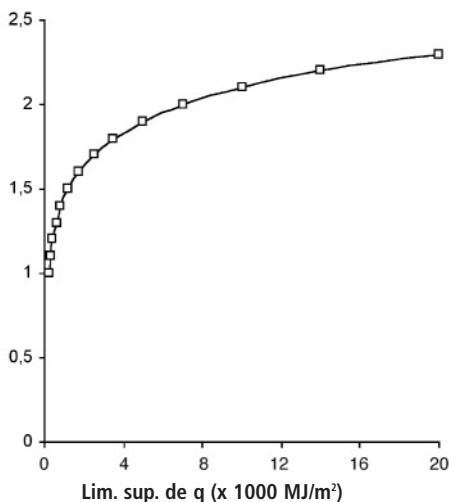


Figura 6.1 – Variação do fator de risco f_1 em função da grandeza da densidade de carga de incêndio.

Os fatores de risco que expressam a influência do parâmetro de risco *posição da carga de incêndio* variam linearmente com as respectivas medidas (profundidade do subsolo, S, e altura da edificação, H), conforme se observa na figura 6.2. Em face da dificuldade de combate, os fatores de risco associados aos subsolos são maiores que os associados aos andares superiores de uma edificação.

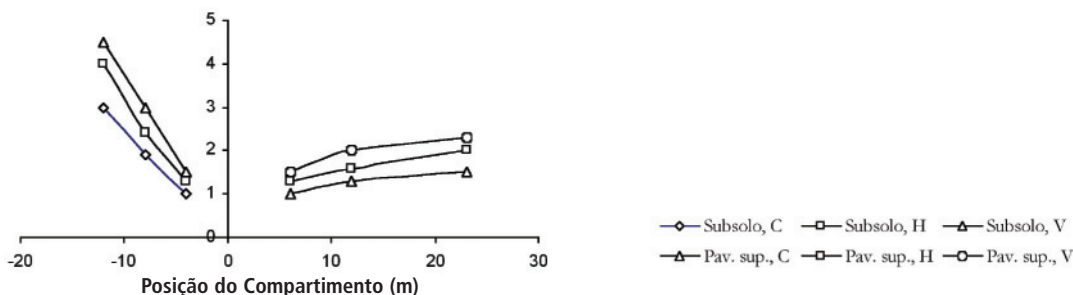


Figura 6.2 – Variação do fator de risco f_2 em função da profundidade e da altura da carga de incêndio.

A *distância em relação ao Corpo de Bombeiros*, como visto antes, é um parâmetro de risco ao qual foram atribuídos pesos por consenso técnico. Tendo-se em vista a dificuldade de fazê-lo, diante da falta de dados sistematizados sobre os tempos de resposta, a valoração atribuída aos fatores de risco em função das distâncias máximas do Corpo de Bombeiros adotada nesse método (máximas e inferiores a 16 km!) é aproximadamente linear, conforme se observa na figura 6.3.

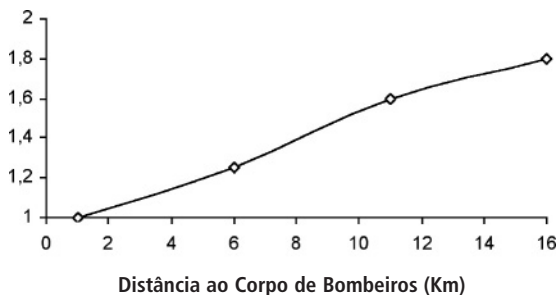


Figura 6.3 – Variação do fator de risco f_3 em função da distância da edificação em relação ao Corpo de Bombeiros.

As condições de acesso à edificação e o risco de generalização são caracterizados por quatro estados¹², definidos no capítulo 3, em função de várias outras condições relativas à própria edificação e à infra-estrutura pública. Ordenando os estados em ordem crescente de gravidade, ou seja, de favorecimento ao desenvolvimento e propagação de incêndios, os fatores de risco a eles atribuídos demonstram guardarem uma relação linear, como se vê na figura 6.4.

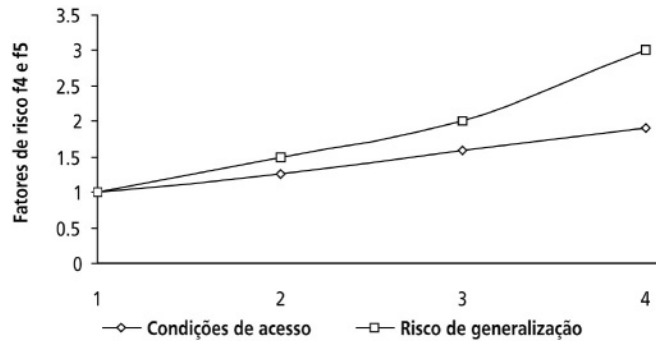


Figura 6.4 – Variação dos fatores de risco f_4 e f_5 .

O parâmetro de risco que reflete a *importância da edificação* se destina a abrir o método à decisão política de exigir maior segurança para determinadas edificações. Trata-se, portanto, de um fator de risco fixado politicamente. O critério sugerido de considerar os tombamentos¹³ incidentes sobre a edificação apresenta uma variação aproximadamente linear dos fatores de risco, como se observa na figura 6.5.

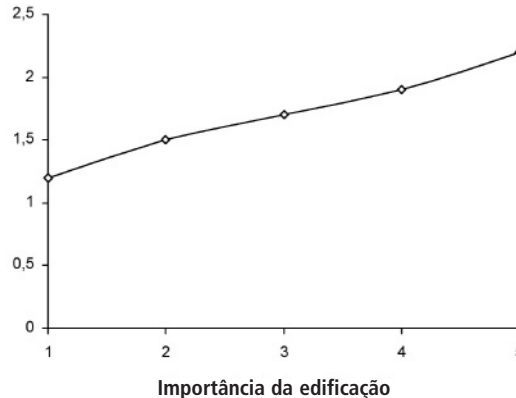


Figura 6.5 – Variação do fator de risco f_6 .

O valor máximo da exposição ao risco de incêndio ($E = 519^{14}$) se encontra para um compartimento do tipo V, situado em um subsolo a mais de 8 m de profundidade, muito distante do Corpo de Bombeiros, em local de acesso difícil. A suposta densidade de carga de incêndio estaria situada entre 14000MJ/m^2 e 20000MJ/m^2 , com perigo de generalização tipo IV e tombamento apenas pelo Município.

A mínima exposição ao risco de incêndio ($E = 1,2$) corresponderia a um compartimento do tipo C, situado em local de fácil acesso, a menos de 1 km do Corpo de Bombeiros, sendo o piso mais elevado situado no máximo a 6 m de altura. A densidade de carga de incêndio deveria ser menor ou igual a 200MJ/m^2 , o risco de generalização seria do tipo I e o tombamento feito em todos os níveis.

Os dois casos descritos não são típicos dos sítios históricos. Uma situação de perigo de incêndio típica seria caracterizada por uma densidade de carga de incêndio¹⁵ entre 3500MJ/m² e 5000MJ/m², altura do piso mais elevado entre 6 m e 12 m, construção do tipo V e perigo de generalização tipo III. O local deveria ser de difícil acesso a uma só fachada, com hidrante próximo, estando distante do Corpo de Bombeiros. A edificação seria tombada pela União. Nesse caso, $E = 37$.

Essa edificação que estamos considerando típica teria seu perigo de incêndio elevado para $E = 221$ caso estivesse muito distante do Corpo de Bombeiros e tivesse um subsolo a mais de 8 m de profundidade. Esse resultado deve-se à franca não-linearidade existente entre o perigo de incêndio e os fatores de risco.

6.8 - MEMÓRIA DE CÁLCULO

Os projetos de segurança contra incêndio devem sempre ser submetidos à apreciação das autoridades públicas. É necessário, portanto, elaborar um *memorial técnico* com a descrição dos métodos empregados no projeto de segurança e a fundamentação da sua aplicabilidade, quando os mesmos não são recomendados por normas técnicas nacionalmente aceitas, bem como os cálculos de verificação da segurança.

A documentação do projeto de segurança é de grande importância não só para a correta definição das responsabilidades pelos seus diferentes aspectos (projeto, execução, manutenção, operação), mas também para facilitar a apreciação crítica dos métodos empregados, possibilitando, como é o caso do método ora proposto, a sua evolução.

O quadro 6.1 é uma sugestão de memória de cálculo simplificada, que pode compor um memorial técnico de projeto. Nele se encontram todos os passos para o cálculo do coeficiente de segurança contra incêndio, embora a justificativa de cada um dos fatores de risco, de risco de ativação e de segurança adotados deva ser feita à parte, com todos os seus fundamentos.

Quadro 6.1 – Memória de cálculo

Análise global de risco de incêndio			
Memória de cálculo			
Cálculo do Risco			
Edificação:			Tipo:
Localização:			
Densidade de carga de incêndio (MJ/m ²)	q =		f ₁ =
Altura do compartimento (m)	H =		f ₂ =
Profundidade do piso de subsolo (m)	S =		
Distância do CB (km)	D =		f ₃ =
Condições de acesso			f ₄ =
Perigo de generalização			f ₅ =
Importância específica da edificação			f ₆ =
$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 =$			
Risco de ativação	A ₁ =	A = A ₁ · A ₂ =	Risco global de incêndio: R = E · A =
	A ₂ =		

Medidas de segurança						
Descrição			Hipóteses			
Alarme de incêndio manual	s_1					
Detector de calor e fumaça	s_2					
Detector de calor e fumaça automático	s_3					
Aparelhos extintores	s_4					
Sistema fixo de gases	s_5					
Brig. de inc. – plantão expediente	s_6					
Brig. de inc. – plantão permanente	s_7					
Chuveiros automáticos internos	s_{8a}					
Chuveiros automáticos externos	s_{9a}					
Hidrantes – reservatório público	s_9					
Hidrantes – reservatório particular	s_{10}					
Reserva de água	s_{11}					
Resistência ao fogo ≥ 30	s_{12}					
Resistência ao fogo ≥ 60	s_{13}					
Resistência ao fogo ≥ 90	s_{14}					
Resistência ao fogo ≥ 120	s_{15}					
Planta de risco	s_{16}					
Plano de intervenção	s_{17}					
Plano de escape	s_{18}					
Sinalização das saídas	s_{19}					
Segurança	S					
Risco global de incêndio	R					
Coeficiente de segurança	γ					

6.9 - ESTUDO DE CASOS

Com o objetivo de ilustrar a aplicação do método, vamos fazer o estudo de alguns casos de edificações isoladas, examinando diferentes alternativas para a geração de um coeficiente de segurança mínimo aceitável, que suporemos igual à unidade, ressaltando a possibilidade de que as autoridades públicas exijam valor maior. Ademais, lembramos que o grande potencial do método ora proposto está no estudo do risco global de incêndio dos conjuntos arquitetônicos, o que se exemplifica no capítulo 7.

Casa isolada com subsolo e dois andares

Seja considerada uma edificação do tipo V (não há divisões internas, configurando-se um único compartimento), ocupada como residência unifamiliar, com densidade de carga de incêndio de

1500MJ/m². Admitamos um único subsolo, com piso a uma profundidade $S = 3,80$ m, e um andar superior, além do térreo, com o piso a 4,30 m.

Suponhamos ainda que a edificação é medianamente distante do Corpo de Bombeiros ($D = 8$ km) e tombada pelo Município. A construção encontra-se no centro de um terreno com grande afastamento das construções vizinhas (mais de 25 m). O acesso de equipamentos de combate a incêndio se dá pela fachada frontal e pelas duas fachadas laterais, e há um hidrante público a 60 m.

Os fatores de risco (ver capítulo 3) que expressam o estado atual da edificação são: $f_1 = 1,6$ ($1200 \leq q < 1700\text{MJ/m}^2$); $f_2 = 1,5$ (tipo V, $S \leq 4$ m); $f_3 = 1,6$ ($6 \leq D < 11$ km); $f_4 = 1,0$ (acesso fácil); $f_5 = 1,0$ (perigo de generalização I: edificação muito afastada de outras edificações); $f_7 = 2,2$ (edificação tombada pelo Município). Portanto, a exposição ao risco de incêndio na edificação é $E = 8,5$.

Tratando-se de uma residência, o fator de risco de ocupação (ver capítulo 5) é $A_1 = 1,25$. Empregando-se o princípio da exclusão, o fator de risco decorrente de falha humana é $A_2 = 1,75$ (tabela 5.4). Portanto, $A = 2,2$, e o risco de incêndio é $R = (8,5) (2,2) = 19$.

Para gerar segurança contra incêndio na edificação, vamos supor que se adotasse alarme manual ($s_1 = 1,5$), extintores de incêndio ($s_4 = 1,0$), hidrante público ($s_9 = 6,0$), resistência ao fogo de 30 minutos ($s_{12} = 1,0$) e planta de risco ($s_{16} = 1,0$). Em conseqüência, $S = (1,5) (1,0) (6,0) (1,0) (1,0) = 9,0$, gerando um coeficiente de segurança $\gamma = 9/19 = 0,47 < \gamma_{\min} = 1,0$.

Portanto, o conjunto de medidas propostas para a edificação é insuficiente para satisfazer o critério de segurança. Com efeito, essas medidas têm a sua eficácia centrada na ação de combate dos bombeiros: iniciado o incêndio, supõe-se que algum dos residentes o perceba e dê um sinal de alarme¹⁶ para que o Corpo de Bombeiros seja acionado. É pouco provável que o uso de extintores impeça o desenvolvimento do incêndio, porque os usuários não são treinados e poderão não ser avisados do início de ignição a tempo. A distância mediana do Corpo de Bombeiros pode significar o dispêndio de um precioso tempo de resposta¹⁷, após o recebimento do aviso de incêndio.

Se a edificação dispusesse de detector simples de calor e fumaça ($s_2 = 2,0$, em lugar de $s_1 = 1,0$), com certeza o incêndio seria percebido mais cedo, elevando-se a probabilidade de que os trabalhos de combate se iniciassem também mais cedo. Isto se reflete na elevação do coeficiente de segurança (ver quadro 6.2), que passaria a ser $\gamma = 0,63$, ainda insuficiente.

Nessa linha de abordagem¹⁸ do problema de segurança da edificação considerada, deve-se pensar em adotar um sistema de detecção de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme ao Corpo de Bombeiros (adotaríamos $s_3 = 3,0$, em lugar de $s_2 = 2,0$) acrescido de um plano de intervenção específico para a edificação ($s_{17} = 1,2$). Teríamos, então, $S = 22$ e $\gamma = 1,16$ (ver quadro 6.2), o que corresponde ao atendimento do critério de segurança. Isso significa que, com o conjunto de medidas de segurança adotadas, há uma *probabilidade aceitável de que não ocorra um incêndio severo na edificação*.

Em outra linha de abordagem do problema de segurança dessa edificação, poder-se-ia pensar em elevar a resistência ao fogo da estrutura da edificação de 30 minutos para 60 minutos ($s_{13} = 2,0$, em vez de $s_{12} = 1,0$), em lugar de utilizar a detecção com transmissão automática do sinal de alarme ao Corpo de Bombeiros – o que resultaria em $S = 24$ e $\gamma = 1,26$ (ver quadro 6.2). Nesse caso, atende-se o critério de segurança, mas as medidas de segurança passaram a dar mais ênfase à resistência ao fogo da estrutura, isto é, agora há uma probabilidade aceitável de que *não tenhamos um colapso estrutural na edificação no tempo de 60 minutos após o desenvolvimento do incêndio*.

Em síntese, a edificação aqui considerada tem alguns¹⁹ aspectos muito favoráveis à segurança, raramente encontrados nos sítios históricos, quais sejam: o baixo risco de generalização e as boas condições de acesso. O quadro 6.2 é a memória dos cálculos efetuados.

Quadro 6.2 – Casa isolada com subsolo e dois andares (memória de cálculo)

Análise global de risco de incêndio						
Memória de cálculo						
Cálculo do Risco						
Edificação:	Casa isolada com subsolo e dois andares					Tipo: V
Localização:	Rua dos Inconfidentes, n. 1					
Densidade de carga de incêndio (MJ/m ²)	q = 1500		f ₁ = 1,6			
Altura do compartimento (m)	H = 4,3		f ₂ = 1,5			
Profundidade do piso de subsolo (m)	S = 3,8					
Distância do CB (km)	D = 8		f ₃ = 1,6			
Condições de acesso	Fácil		f ₄ = 1,0			
Perigo de generalização	I		f ₅ = 1,0			
Importância específica da edificação	V		f ₆ = 2,2			
E = f ₁ . f ₂ . f ₃ . f ₄ . f ₅ . f ₆ = 8,5						
Risco de ativação	A ₁ = 1,25		A = A ₁ . A ₂ = 2,2		Risco global de incêndio: R = E . A = 19	
	A ₂ = 1,75					
Medidas de segurança						
Descrição			Hipóteses			
			1	2	3	4
Alarme de incêndio manual	s ₁	1,5	1,5			
Detector de calor e fumaça	s ₂	2,0		2,0		2,0
Detector de calor e fumaça automático	s ₃	3,0			3,0	
Aparelhos extintores	s ₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sistema fixo de gases	s ₅	6,0				
Brig. de inc. – plantão expediente	s ₆	8,0				
Brig. de inc. – plantão permanente	s ₇	8,0				
Chuveiros automáticos internos	s _{8a}	10,0				
Chuveiros automáticos externos	s _{9a}	6,0				
Hidrantes – reservatório público	s ₉	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Hidrantes – reservatório particular	s ₁₀	6,0				
Reserva de água	s ₁₁	1,0				
Resistência ao fogo ≥ 30	s ₁₂	1,0	1,0	1,0	1,0	
Resistência ao fogo ≥ 60	s ₁₃	2,0				2,0
Resistência ao fogo ≥ 90	s ₁₄	3,0				
Resistência ao fogo ≥ 120	s ₁₅	4,0				
Planta de risco	s ₁₆	1,0	1,0	1,0		1,0

Plano de intervenção	s_{17}	1,2			1,2	
Plano de escape	s_{18}	1,2				
Sinalização das saídas	s_{19}	1,0				
Segurança	S		9,0	12	22	24
Risco global de incêndio	R		19	19	19	19
Coefficiente de segurança	γ		0,47	0,63	1,16	1,26

Comércio com subsolo

É muito comum a adaptação de antigas casas residenciais para servir a comércio em sítios históricos. Seja uma dessas construções, tombada pela União, de grande volume, sem divisórias internas resistentes a fogo (tipo V), que funciona como uma loja de tecidos. Dois andares de subsolo, o mais profundo com piso a 6,6 m do nível de descarga, servem de depósito para a loja. A densidade de carga de incêndio medida é de 3800MJ/m², principalmente por causa dos depósitos improvisados.

A edificação é geminada a duas construções laterais, estando todas com coberturas niveladas. As paredes que as dividem são de alvenaria de tijolos, em bom estado de conservação. O acesso se faz somente pela fachada da frente. A rua é estreita, com tráfego intenso e largura de apenas 7 m. O Corpo de Bombeiros pode ser considerado próximo ($D = 5$ km) e há hidrante público a cerca de 40m da edificação.

Os fatores de risco são determinados pelas condições descritas da edificação: $f_1 = 1,9$ ($3500 \leq q < 5000\text{MJ/m}^2$); $f_2 = 3,0$ (tipo V e subsolo a $S = 6,6$ m); $f_3 = 1,25$ (Corpo de Bombeiros próximo); $f_4 = 1,6$ (acesso difícil); $f_5 = 2,0$ (perigo de generalização tipo III, pela estreiteza da rua); $f_6 = 1,7$ (a edificação é tombada pela União). Portanto, a exposição ao risco de incêndio é $E = 39$.

Sendo a ocupação do tipo comercial, o risco de ativação de incêndio, para usuários não treinados, será $A = (1,5)(1,75) = 2,6$, resultando em um risco $R = 101$. Para combatê-lo, suponhamos as medidas de segurança: detecção de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme ($s_3 = 3,0$); extintores ($s_4 = 1,0$); sistema de hidrantes público ($s_9 = 6,0$); resistência ao fogo estrutural de 60 minutos no mínimo ($s_{13} = 2,0$) e plano de intervenção ($s_{17} = 1,2$). Tem-se como resultado uma segurança $S = 43$ e um coeficiente de segurança $\gamma = 0,43$ que é insuficiente para atender o critério de segurança.

O não atendimento da segurança, nesse caso, apesar da adoção de detectores com transmissão automática do sinal de alarme ao Corpo de Bombeiros, se deve à dificuldade de acesso à edificação, à densidade de carga de incêndio elevada e ao perigo de generalização, que é do tipo III.

Para atender a essa condição de risco, seria necessário pensar em um rápido combate do início de incêndio. Seja, como conjunto alternativo de medidas de segurança: alarme manual ($s_1 = 1,5$); instalação interna de chuveiros automáticos ($s_{8a} = 10$); hidrantes públicos ($s_9 = 6,0$); resistência ao fogo de, no mínimo, 30 minutos ($s_{12} = 1,0$) e plano de intervenção ($s_{17} = 1,2$). Teríamos, portanto, $S = 108$ e coeficiente de segurança $\gamma = 1,07$.

Na solução de segurança acima, a rede de chuveiros automáticos é a medida de maior dificuldade²⁰ de implementação prática, pois requer a resolução de problemas relativos à adequação das instalações à natureza da edificação e de seu conteúdo. Em lugar da rede de chuveiros automáticos, a adoção de detecção de calor e fumaça ($s_2 = 2,0$), brigada de incêndio²¹ ($s_6 = 8,0$) e reserva de água ($s_{11} = 1,0$) resultaria em $S = 115$ e coeficiente de segurança $\gamma = 1,14$. O quadro 6.3 resume os cálculos correspondentes a esse caso.

As duas soluções examinadas implicam custos que, embora não significativos diante do valor do imóvel, podem ser, no plano das finanças pessoais, impeditivos da segurança. Por isso, deve-se pensar em reduzir a exposição ao risco de incêndio da edificação. Uma primeira medida seria buscar reduzir a densidade de carga de incêndio fazendo uma *limpeza* nos depósitos²². A norma brasileira NBR 14432:2000 fornece, na tabela C.1²³, para uma edificação comercial do tipo *comércio varejista de produtos têxteis*, uma densidade de carga de incêndio móvel de 400MJ/m^2 . Ora, supõe-se que a edificação em análise tenha 3800MJ/m^2 , exatamente 9,5 vezes a mais. Portanto, deve haver espaço para uma redução da carga de incêndio. Admitamos que se chegasse a 2,9 vezes o valor de norma, isto é, $q = 1160\text{MJ/m}^2$. Nesse caso, a exposição ao risco de incêndio será $E = 31$.

Em paralelo, uma medida muito simples e pouco dispendiosa poderia ser adotada: o treinamento inicial dos empregados do comércio e a sua reciclagem no treinamento pelo menos uma vez por ano. Assim, o risco de ativação de incêndio se reduziria para $A = 1,5$ ($A_1 = 1,5$ pelo tipo de ocupação e $A_2 = 1,0$ pelo treinamento dos usuários). Portanto, o risco de incêndio seria $R = 47$ e o coeficiente de segurança seria $\gamma = 1,11$ para o primeiro conjunto de medidas (detecção de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme, $s_3 = 3,0$; extintores, $s_4 = 1,0$; sistema de hidrantes público $s_9 = 6,0$; resistência ao fogo estrutural de 60 minutos no mínimo, $s_{13} = 2,0$; plano de intervenção, $s_{17} = 1,2$, e plano de escape, $s_{18} = 1,2$; $S = 52$).

A solução acima ainda tem o inconveniente de exigir uma resistência ao fogo estrutural de no mínimo 60 minutos. Caso os elementos estruturais não sejam incombustíveis ou não tenham a resistência adequada, seria necessária a aplicação de proteção passiva. Poderia compensar, em termos financeiros, deixar o subsolo completamente desocupado ou utilizá-lo apenas com áreas frias (banheiros, vestiário), o que reduziria a exposição ao risco de incêndio a $E = 20$. Nesse caso, admitindo-se usuários treinados ($A = 1,5$), o risco de incêndio é $R = 30$, tornando suficientes as medidas de segurança inicialmente propostas, com um coeficiente de segurança $\gamma = 1,43$. Observe que não seria dispensável a detecção de calor e fumaça no subsolo.

Quadro 6.3 – Comércio com subsolo (memória de cálculo)

Análise global de risco de incêndio			
Memória de cálculo			
Cálculo do Risco			
Edificação:	Comércio com subsolo		Tipo: V
Localização:	Rua Voluntários da Pátria, n. 2		
Densidade de carga de incêndio (MJ/m^2)	$q = 3800$		$f_1 = 1,9$
Altura do compartimento (m)	$H = 0$		$f_2 = 3,0$
Profundidade do piso de subsolo (m)	$S = 6,6$		
Distância do CB (km)	$D = 5$		$f_3 = 1,25$
Condições de acesso	Difícil		$f_4 = 1,6$
Perigo de generalização	III		$f_5 = 2,0$
Importância específica da edificação	III		$f_6 = 1,7$
$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 = 39$			
Risco de ativação	$A_1 = 1,50$		Risco global de incêndio: $R = E \cdot A = 101$
	$A_2 = 1,75$		
		$A = A_1 \cdot A_2 = 2,6$	

Medidas de segurança			Hipóteses			
			1	2	3	
Alarme de incêndio manual	s_1	1,5		1,5		
Detector de calor e fumaça	s_2	2,0			2,0	
Detector de calor e fumaça automático	s_3	3,0	3,0			
Aparelhos extintores	s_4	1,0	1,0	1,0		
Sistema fixo de gases	s_5	6,0				
Brig. de inc. – plantão expediente	s_6	8,0			8,0	
Brig. de inc. – plantão permanente	s_7	8,0				
Chuveiros automáticos internos	s_{8a}	10,0		10		
Chuveiros automáticos externos	s_{9a}	6,0				
Hidrantes – reservatório público	s_9	6,0	6,0	6,0	6,0	
Hidrantes – reservatório particular	s_{10}	6,0				
Reserva de água	s_{11}	1,0				
Resistência ao fogo ≥ 30	s_{12}	1,0		1,0	1,0	
Resistência ao fogo ≥ 60	s_{13}	2,0	2,0			
Resistência ao fogo ≥ 90	s_{14}	3,0				
Resistência ao fogo ≥ 120	s_{15}	4,0				
Planta de risco	s_{16}	1,0				
Plano de intervenção	s_{17}	1,2	1,2	1,2	1,2	
Plano de escape	s_{18}	1,2				
Sinalização das saídas	s_{19}	1,0				
Segurança	S		43	108	115	
Risco global de incêndio	R		101	101	101	
Coefficiente de segurança	γ		0,43	1,07	1,14	

Casarão de ocupação mista

Vamos considerar um casarão em uma cidade histórica, cuja ocupação seja mista de teatro, biblioteca, laboratório fotográfico, escritório e museu. O casarão situa-se em uma esquina, sendo que a fachada lateral direita está em uma praça, a lateral esquerda em uma área sem construções e a fachada frontal se abre para uma rua de cerca de 8 m de largura. Não é possível o acesso à fachada de fundos.

O prédio é feito em alvenaria de pedra, mas estruturado em madeira. Há um nível de subsolo ocupado como depósito, com piso a 2,70 m. Possui três andares elevados além do térreo: o primeiro com piso a 4,70 m; o segundo com piso a 9,40 m, e o terceiro com piso a 12,40 m, aproximadamente.

A edificação forma um único compartimento, já que as divisórias internas são todas combustíveis ou

possuem grandes áreas de aberturas. A densidade de carga de incêndio na edificação é 7900MJ/m^2 , considerando o depósito existente no subsolo. Em consequência, o fator de risco f_1 é igual a 2,1.

Em função da altura elevada ($12 < H \leq 23$ m), $f_2 = 2,3$. O Corpo de Bombeiros é próximo ($D = 3$ km), e $f_3 = 1,3$. Em face da inexistência de hidrante público na proximidade da edificação, o acesso pode ser considerado muito difícil, com $f_4 = 1,9$. O perigo de generalização é III, o que corresponde a $f_5 = 2,0$. Quanto à importância específica da edificação, como se trata de um monumento, vamos desconsiderar²⁴ o estabelecido na tabela 3.9, fixando $f_6 = 4$. Logo, a exposição ao risco de incêndio é $E = 95$.

Quanto ao risco de ativação em face da ocupação, considera-se o que é devido a escritórios, isto é, $A_1 = 1,5$. Pelo princípio da exclusão, adota-se $A_2 = 1,75$ para usuários não treinados. Portanto, $A = 2,6$, o que resulta em um risco de incêndio na edificação $R = 247$.

As medidas de segurança aplicáveis ao caso podem ser: detecção de calor e fumaça, com transmissão automática do sinal de alarme para central de segurança, $s_3 = 3,0$; brigada de incêndio em plantão permanente, $s_7 = 8,0$; sistema de hidrantes com abastecimento por meio de reservatório privado, $s_{10} = 6,0$; resistência ao fogo estrutural de, no mínimo, 30 minutos, $s_{12} = 1,0$; plano de intervenção, $s_{17} = 1,2$. Logo, a segurança é $S = 173$, e o coeficiente de segurança correspondente, $\gamma = 0,70$.

Observa-se que, nesse caso, o rápido início de combate está assegurado pela detecção automática e pelo concurso de brigada de incêndio e sistema de hidrantes privado. Portanto, o aspecto que ainda parece deficiente de segurança é a resistência estrutural ao fogo, uma vez que existe uma probabilidade de que o incêndio não seja controlado em 30 minutos após a generalização, o que poderia levar ao colapso estrutural. Portanto, se em lugar de uma resistência estrutural mínima de 30 minutos ($s_{12} = 1,0$), for adotada uma resistência de 60 minutos ($s_{13} = 2,0$), a segurança passa a ser $S = 346$ e o coeficiente de segurança é $\gamma = 1,40$, atendendo o critério de segurança. A memória de cálculo é apresentada no quadro 6.4.

Não fosse a importância específica da edificação, ressaltada com a adoção de $f_6 = 4$, certamente o conjunto de medidas adotadas seria, de forma geral, suficiente para satisfazer o critério de segurança. Entretanto, a aplicação do método não é um mero exercício aritmético: toda atenção deve ser dada ao *princípio da não-exclusão*, que estabelece, em síntese, que o conjunto de medidas de segurança seja completo. Nessa situação, embora o coeficiente de segurança supere o valor mínimo, não se pode esquecer que há uma certa probabilidade de o incêndio se desenvolver e sair fora de controle em alguma parte da edificação. Os danos estruturais poderiam então levar parte do prédio ao colapso, já que se admitia uma resistência ao fogo inferior a 30 minutos.

Análise global de risco de incêndio		
Memória de cálculo		
Cálculo do Risco		
Edificação:	Casarão de ocupação mista	Tipo: V
Localização:	Rua do Mercado, n. 3	
Densidade de carga de incêndio (MJ/m^2)	$q = 7900$	$f_1 = 2,1$
Altura do compartimento (m)	$H = 12,40$	$f_2 = 2,3$
Profundidade do piso de subsolo (m)	$S = 2,70$	
Distância do CB (km)	$D = 3$	$f_3 = 1,25$

Quadro 6.4 – Casarão de ocupação mista (memória de cálculo)

Condições de acesso			Muito difícil	$f_4 = 1,9$	
Perigo de generalização			III	$f_5 = 2,0$	
Importância específica da edificação			III	$f_6 = 4,0$	
$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 = 92$					
Risco de ativação	$A_1 = 1,50$	$A = A_1 \cdot A_2 = 2,6$	Risco global de incêndio: $R = E \cdot A = 239$		
	$A_2 = 1,75$				
Medidas de segurança					
Descrição			Hipóteses		
			1	2	
Alarme de incêndio manual	s_1	1,5			
Detector de calor e fumaça	s_2	2,0			
Detector de calor e fumaça automático	s_3	3,0	3,0	3,0	
Aparelhos extintores	s_4	1,0	1,0	1,0	
Sistema fixo de gases	s_5	6,0			
Brig. de inc. – plantão expediente	s_6	8,0			
Brig. de inc. – plantão permanente	s_7	8,0	8,0	8,0	
Chuveiros automáticos internos	s_{8a}	10,0			
Chuveiros automáticos externos	s_{9a}	6,0			
Hidrantes – reservatório público	s_9	6,0			
Hidrantes – reservatório particular	s_{10}	6,0	6,0	6,0	
Reserva de água	s_{11}	1,0			
Resistência ao fogo ≥ 30	s_{12}	1,0	1,0		
Resistência ao fogo ≥ 60	s_{13}	2,0		2,0	
Resistência ao fogo ≥ 90	s_{14}	3,0			
Resistência ao fogo ≥ 120	s_{15}	4,0			
Planta de risco	s_{16}	1,0			
Plano de intervenção	s_{17}	1,2	1,2	1,2	
Plano de escape	s_{18}	1,2			
Sinalização das saídas	s_{19}	1,0			
Segurança	S		173	346	
Risco global de incêndio	R		239	239	
Coefficiente de segurança	γ		0,72	1,45	

6.10 - CONCLUSÃO

Algumas diretrizes para a aplicação do método proposto foram apresentadas neste capítulo. A formulação é muito simples, envolvendo apenas operações aritméticas de *fatores* que ora são pesos atribuídos a parâmetros de perigo de incêndio ou de risco de ativação, ora são pesos que se atribuem a medidas de segurança. Julga-se atendida a condição de segurança quando se obtém um coeficiente de segurança igual ou superior ao mínimo aceitável.

Exemplos de aplicações a edificações isoladas foram apresentados, valorizando-se as análises de adequação física das medidas adotadas em uma hipótese de segurança. Destacou-se ainda a importância de ter sempre em mente o *princípio da não-exclusão*, uma vez que o incêndio é um fenômeno aleatório e o método tem uma base probabilística.

No próximo capítulo, algumas orientações sobre o levantamento de cargas de incêndio serão fornecidas, usando-se como referência a experiência adquirida com a sua aplicação aos imóveis da rua São José, em Ouro Preto.

NOTAS

- 1 - O levantamento é feito nos diversos cômodos de uma edificação; somente a análise posterior poderá estabelecer que cômodos ou conjuntos de cômodos definem compartimentos.
- 2 - Ver Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Instruções Técnicas 05/2004 – *Segurança contra incêndio: urbanística*, e 06/2004 – *Acesso de viatura à edificação e a áreas de risco*.
- 3 - Atenção especial deve merecer a ligação dos elementos estruturais, porque pode ocorrer, por exemplo, que uma grossa parede de pedra, na qual se apóia uma peça importante de sustentação da cobertura, seja totalmente dependente da estabilidade de uma viga de madeira. Logo, o colapso da viga de madeira poderia levar à ruína da construção.
- 4 - Se a edificação é, por exemplo, uma república de estudantes de Ouro Preto, como desconsiderar esse fato na análise global de risco? Tratá-las apenas como residência poderia ser inseguro em muitos aspectos.
- 5 - Alguns materiais de acabamento recebem tratamento ignifugante para reduzir a velocidade de propagação superficial de chamas.
- 6 - A experiência do levantador servirá de grande ajuda nessa tarefa, mas é bastante difícil definir um caminho preferencial de propagação do fogo. Deve-se ter em conta o modelo de incêndio de duas camadas, nessa análise.
- 7 - Poderia acontecer que um parâmetro de risco importante fosse omitido da análise, e poderia também ocorrer que um parâmetro de risco considerado fosse subavaliado.
- 8 - As medidas de segurança são, por hipótese, homoganeamente distribuídas e produzem efeitos de modo idêntico em todo o compartimento. Isto é, no caso de um grande compartimento, não há uma certa área privilegiada em termos de segurança.
- 9 - Por exemplo, um detector de calor e fumaça pode ser eficaz apenas para um determinado cômodo; brigadas de incêndio em geral são eficazes para toda uma edificação ou conjunto de edificações, desde que tenham acesso a todos os seus cômodos; a resistência ao fogo pode ser atributo de uma determinada peça estrutural e não o ser de outras. Observa-se que, embora o levantamento de dados *in locu* seja uma necessidade, a análise de risco pode ser facilitada pelos desenhos de projeto.
- 10 - Lembre-se que a segurança *S* passou a ser uma medida probabilística desde que se admitiu como próximo da unidade o grau de certeza sobre sua "ativação" na situação de incêndio.

11 - Deve-se ter atenção para o fato de que alguns parâmetros de risco têm uma “medida” em sentido amplo. Por exemplo, quando se trata das condições de acesso a uma edificação, as “medidas” adotadas são “fácil”, “restrito”, “difícil” e “muito difícil”, atribuindo-se a cada uma um número de ordem.

12 - O “estado” representa um conjunto de variáveis definidoras de uma determinada condição circunstancial ou permanente da edificação, à qual está associado um determinado nível do perigo de incêndio, medido por um fator de risco.

13 - Esse parâmetro de risco é genuinamente político, sendo que a sugestão apresentada baseia-se em um possível volume de investimentos na sua manutenção, conforme o ente que se responsabiliza pela sua preservação. Uma outra hipótese para a fundamentação dos fatores de risco seria o estado atual de conservação da edificação.

14 - Usaremos apenas uma decimal quando E, S ou R forem menores que 10; para valores superiores a 10, faremos o arredondamento para o número inteiro mais próximo. Os coeficientes de segurança serão calculados com duas decimais.

15 - Ver o próximo capítulo, em que se relata a experiência de medição de carga de incêndio realizada em Ouro Preto, obtendo-se valores típicos da densidade de carga de incêndio da ordem dos apresentados.

16 - Embora francamente ineficaz no que diz respeito à proteção do patrimônio nas circunstâncias da edificação considerada, o alarme manual deve funcionar muito bem para proteger a vida dos residentes se, avisados do início de incêndio, tomarem a iniciativa de abandonar o imóvel. A tentativa de extinguir o incêndio por pessoas não treinadas pode resultar em atraso nas demais operações.

17 - Não ousamos fazer uma estimativa do tempo de resposta, não tanto pela falta de dados, mas pela variabilidade das condições de tráfego urbano. No entanto, as circunstâncias que estamos admitindo (por exemplo, em quanto tempo conseguirão avisar o Corpo de Bombeiros?) fazem logo supor que há um considerável risco de generalização do incêndio antes que os trabalhos de combate possam ser iniciados.

18 - Fica claro que estamos buscando acelerar o início da ação de combate dos bombeiros como principal medida de segurança.

19 - Não incluímos o terceiro aspecto, muito favorável, que é a existência de um hidrante público, devidamente abastecido, próximo ao local, porque se trata de uma condição mínima de infra-estrutura pública, que deverá atingir todo o espaço urbano.

20 - Nosso objetivo aqui é apenas ilustrar a flexibilidade do método quanto à combinação de soluções de segurança, razão pela qual não estamos nos detendo no exame da viabilidade prática de algumas medidas.

21 - Analogamente ao exposto na nota anterior, não estamos, no momento, discutindo a viabilidade econômica de uma medida como a brigada de incêndio em uma instalação comercial que, nesse caso, deve ser no máximo de médio porte.

22 - Um outra abordagem consistiria em fazer uma adequação dos elementos de compartimentação dos depósitos. Mas, pergunta-se: podem os depósitos se constituir em compartimentos isolados do restante da edificação? Qual a viabilidade das construções necessárias (lajes, forros)? Como esse tipo de intervenção significa, na verdade, mudar a construção, não vamos considerá-lo nesse caso.

23 - Vide: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14432:2000: *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro. 12 p.

24 - Não se estranhe essa possibilidade: o julgamento do profissional de projeto pode alterar, a favor da segurança, os fatores de risco propostos no método. Ver seção 4.8.

7. Levantamento de cargas de incêndio e aplicação do método a conjuntos de edificações

7

LEVANTAMENTO DE CARGAS DE INCÊNDIO E APLICAÇÃO DO MÉTODO A CONJUNTOS DE EDIFICAÇÕES

7.1 - INTRODUÇÃO

Do que já foi exposto neste livro, conclui-se que o método de avaliação de risco de incêndio ora proposto depende essencialmente do conhecimento que se tem da carga de incêndio da edificação. Como se definiu no capítulo 1, a soma das energias que podem ser liberadas sob a forma de calor em um incêndio é o que se chama de carga de incêndio. Portanto, potencialmente, toda massa de material combustível em um compartimento deve ser considerada como parte da sua carga de incêndio¹.

Diversos aspectos da carga de incêndio são importantes na caracterização do incêndio em um compartimento. Esse método, em face de várias limitações práticas², concentrou-se em dois, quais sejam, a sua grandeza e a sua posição (fatores f_1 e f_2). No futuro, pode ser que a evolução do método venha a exigir a introdução de outras características físicas da carga de incêndio, como a combustibilidade, a toxicidade ou a densidade ótica de fumaça.

A medição da carga de incêndio nos compartimentos de uma edificação construída em um sítio histórico é, portanto, uma atividade essencial à avaliação do seu risco de incêndio e deve anteceder qualquer intervenção que se planeje fazer no imóvel visando a segurança contra incêndio. Neste capítulo, é descrita a experiência de medição da carga de incêndio em edificações da rua São José, situada bem no centro histórico de Ouro Preto. A fundamentação teórica do assunto foi apresentada resumidamente no capítulo 1, e aqui se apresenta a complementação necessária.

7.2 - EDIFICAÇÕES, COMPARTIMENTOS E CÔMODOS

O levantamento de carga de incêndio em um conjunto de edificações é, em geral, feito por amostragem. Para compreender bem como se compõe a amostra em sítios históricos, vamos fazer aqui um pequeno ajuste de linguagem.

É comum associar-se uma única ocupação a uma edificação. Uma edificação que serve de residência a uma família, por exemplo, pode ter vários cômodos destinados a atividades específicas (como cozinhar, dormir, depositar alimentos, dedicar-se ao lazer), mas é, em nossa terminologia, uma *residência unifamiliar*.

Ocorre com freqüência que uma mesma edificação tenha várias ocupações, todas da mesma natureza ou não. Um exemplo típico é o edifício de apartamentos ou de escritórios que pode ter alguns andares destinados a lojas comerciais. Sob o ponto de vista da segurança contra incêndio, seria desejável que cada *ocupação distinta*³ em uma mesma edificação constituísse um *compartimento*, isto é, suas divisórias externas horizontais e verticais deveriam ter a resistência ao fogo mínima requerida para conter em si os efeitos de um incêndio.

Nada impede, porém, que as ocupações distintas em uma mesma edificação, em especial nos sítios históricos, constituam um único compartimento formado pela edificação inteira ou parte dela. Seja, por exemplo, um casarão de três andares, em que o térreo é ocupado com um comércio de tecidos e os dois superiores, como residência unifamiliar. Se o forro original de madeira entre o andar térreo e o segundo andar se manteve, tem-se em toda a edificação um único compartimento, apesar das ocupações distintas. Se, porém, construiu-se uma laje de concreto e uma entrada independente foi providenciada, a princípio, a loja e a residência formam dois compartimentos, cumpridos os requisitos mínimos de resistência ao fogo.

Em um conjunto de edificações geminadas ou próximas (ver tabela 3.2), pode ocorrer que várias edificações formem um só compartimento ou, mais genericamente, que partes de edificações distintas formem um só compartimento. A rigor, se as divisórias externas de duas edificações próximas não têm a resistência ao fogo mínima exigida (em geral, 120 minutos), ambas formam um único compartimento. Esta é uma situação comum em sítios históricos: os efeitos do incêndio em uma edificação podem atingir as edificações vizinhas em um tempo muito curto, porque, não havendo uma separação⁴ eficiente entre elas, todas, em conjunto, formam um único compartimento.

A princípio, a primeira atividade no levantamento de carga de incêndio em conjuntos de edificações consistiria na identificação de compartimentos. Não se trata de uma tarefa simples em face de pelo menos três circunstâncias que podem ocorrer:

- a) um compartimento único pode envolver várias ocupações, o que leva a pressupor proprietários ou, pelo menos, locatários distintos;
- b) os materiais de construção, o processo construtivo e o estado de conservação das paredes externas do compartimento podem exigir ensaios específicos para a determinação de sua resistência ao fogo;
- c) a inspeção visual pode ser incapaz de detectar a existência de comunicações entre os espaços de acesso restrito⁵ nas edificações.

Percebe-se que, na prática, pode ser difícil considerar os diversos compartimentos existentes em um conjunto de edificações durante o levantamento de carga de incêndio. Considerando que as distintas ocupações são bem individualizadas no que diz respeito ao uso⁶, sugere-se fazer o levantamento por ocupações. Em uma etapa seguinte, quando se fizer a análise de risco do conjunto de edificações, pode ocorrer que se decida transformar ocupações em compartimentos verdadeiros, por medida de segurança⁷. Nesse caso, a densidade de carga de incêndio necessária já está determinada em face do levantamento.

Se ocorrer de um compartimento envolver várias ocupações, deve-se adotar um critério para definir a densidade de carga de incêndio a ser empregada na análise de risco: pode-se tomar o maior entre a média das duas maiores densidades de carga de incêndio das ocupações mais perigosas⁸, ou 80% do máximo encontrado naquelas ocupações.

Em Ouro Preto, foi realizado um levantamento de carga de incêndio em imóveis da rua São José (figura 7.1). Trata-se de um conjunto arquitetônico de relativa complexidade do ponto de vista da segurança contra incêndio, principalmente em decorrência da intensa e contínua adaptação de ocupações (em geral, de residencial para comercial) e da geminação das edificações. Por outro lado, a rua foi erigida em uma encosta, e as edificações, predominantemente, têm apenas uma fachada de acesso.



Figura 7.1 – Rua São José, Ouro Preto, MG.

O trecho incluído no objeto da análise da carga de incêndio conta com 43 edificações. Todas foram vistoriadas, à exceção de cinco agências bancárias. Depois de conhecer bem o conjunto, foram selecionadas dez edificações para compor a amostra na qual se faria a análise de risco. Inicialmente, nessas dez edificações, identificaram-se 39 ocupações distintas, nas quais foram efetuados os cálculos para a determinação da densidade de carga de incêndio.

Atenção especial deve ser dada à composição da amostra: no caso do levantamento realizado em Ouro Preto, somente após o conhecimento do conjunto das edificações (isto é, após o levantamento) é que se compôs a amostra, buscando considerar não somente a estimativa da grandeza da carga de incêndio, mas também sua distribuição espacial e composição química. Essa técnica pode ser afetada por alguma tendência pessoal do levantador em concentrar a escolha apenas em determinadas situações. Em relação a essa possibilidade, tomou-se o cuidado devido.

7.3 - TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO

Há duas técnicas de levantamento de carga de incêndio: a de *inventário* e a de *pesagem direta*. Pela primeira, a massa de um objeto é relacionada a suas características físicas observáveis pela inspeção visual; pela segunda, utiliza-se a pesagem dos objetos, algo que pode ser extremamente trabalhoso em muitos casos.

No método de inventário que se empregou em Ouro Preto, e que, provavelmente, será o mais utilizado nos sítios históricos, uma vez que as edificações foram ocupadas muito antes do levantamento, elabora-se uma planilha para a coleta de dados. Os dados são a identificação do objeto, sua forma, ainda que aproximada, o tipo de material e as suas dimensões. Conhecendo as dimensões dos objetos, é possível determinar seus volumes e, lançando mão de uma tabela de densidades, suas massas.

Seria desejável que os fabricantes de mobílias e demais objetos de uso doméstico, incluindo os eletroeletrônicos, disponibilizassem dados de densidade e volume ou, diretamente, a massa de seus produtos. De fato, quanto aos fabricantes nacionais, esta não é a situação mais comum. Por outro lado, em se tratando de edificações em uso há muito tempo, a maioria dos elementos de seu conteúdo são objetos fora do comércio ou, principalmente no caso dos móveis, manufaturados por pequenos fabricantes. Nesses casos, a estimativa da massa é obtida indiretamente.

Quando a carga combustível é discreta, como a de papéis em gavetas, livros em estante, roupas e sapatos em armários, há que se considerar diversos graus de compactação. Em Ouro Preto, aplicaram-se coeficientes de redução do volume aparente que variaram entre 50% e 70%, mas cada caso deve ser examinado à parte.

Os poderes caloríficos dos diversos materiais são encontráveis em diversos manuais e também nas folhas de dados técnicos dos fabricantes. Alguns materiais (plásticos, por exemplo) são de difícil identificação para o leigo, sendo necessário reportar-se ao fabricante do objeto para identificá-los, uma vez que pode ser significativa a variabilidade do poder calorífico.

Portas, janelas e outros elementos combustíveis em divisórias, exceto os de acabamento que sejam atacados pelo fogo de um só lado, são considerados como componentes da carga de incêndio de ambos os compartimentos.

Cargas de incêndio confinadas podem, a princípio, ser consideradas apenas em parte, aplicando-se a elas um coeficiente de redução, desde que seja possível determinar com segurança a resistência ao fogo do elemento de confinamento.

Dada a importância de se conhecer o comportamento em incêndio de mobílias e objetos que compõem as edificações contemporâneas, algumas séries de ensaios⁹ são reportadas na literatura técnica. Esses ensaios são montagens de calorímetros especiais, que permitem obter dados da combustão de objetos em verdadeira grandeza. Entre os resultados, a curva da *taxa de liberação de calor* da combustão em função do tempo permite calcular, por integração, o *poder calorífico por unidade de massa do objeto*, ou sua carga de incêndio. É assim que os dados da tabela 1.2 foram obtidos.

No levantamento feito em Ouro Preto, as paredes de pau-a-pique foram consideradas como cargas de incêndio a uma razão de cerca de 115-150MJ/m², valor que se pode obter considerando uma malha de ripas de madeira com espaçamento entre 12-20 cm nas duas direções, a qual é preenchida pelo barro. É verdade que a argamassa utilizada na vedação da malha de madeira no pau-a-pique, quando utilizada acima de certa espessura, é bom isolante. No entanto, com o tempo, a perda da água de amassamento leva-a a apresentar trincas e, ademais, raramente se tem controle das espessuras utilizadas.

O engradamento de telhados, o forro, o piso e o revestimento de paredes, quando feitos em madeira, como é comum acontecer, devem ser considerados caso a caso. Na pesquisa realizada em Ouro Preto, valores da ordem dos constantes da tabela 7.1 foram encontrados. Mas, repetimos, deve-se examinar cada caso em particular, uma vez que há grande variabilidade nas dimensões das peças de madeira.

Tabela 7.1 – Cargas de incêndio típicas de componentes das edificações em sítios históricos

Descrição	Massa kg/m ²	Carga de incêndio MJ/m ²
Engradamento para telha de barro – com duas águas e vãos de 12 a 16 m	28	532
Forro de madeira	25	475
Assoalho de tábuas com embarrotamento	40	760
Revestimento de paredes em lambris	9	173

7.4 - DADOS PARA ANÁLISE DE RISCO

Juntamente com a coleta de dados de carga de incêndio, será oportuno colher dados importantes para a análise de risco. Desse modo, a organização de uma planilha pode facilitar em muito o trabalho, em face da variedade de informações que se deve buscar, seja diretamente, durante a visita à edificação, seja por meio de entrevista com proprietários, locadores, autoridades públicas ou vizinhos.

Para facilitar a organização de uma planilha de dados, a tabela 7.2 fornece uma extensa lista das informações que devem ser pesquisadas. Complementações podem ser necessárias, dependendo das condições da edificação. Os levantadores devem ter uma certa formação em engenharia de incêndio para que possam fazê-las, não deixando sem registro alguma condição específica da edificação que possa elevar ou reduzir o risco de incêndio. Outro aspecto essencial do levantamento de dados é o tempo gasto em visita às edificações, o que sempre representa um certo incômodo aos usuários e deve ser reduzido ao mínimo.

Tabela 7.2 – Organização da planilha de dados

LEVANTAMENTO DE DADOS		
Pesquisador:		
Tipo de dado	Informação básica	Informação especial/Exemplos
Dados da edificação	Endereço	<i>Se houver planta de risco, localizar e informar o grau de risco.</i>
	Proprietário/locador	
	Identificação no projeto	
Dados da ocupação principal	Residencial	<i>Informar número máximo de pessoas no uso cotidiano e na temporada de turismo mais intenso.</i>
	Comercial	<i>Informar os tipos de bens comercializados.</i>
	Escritório	<i>Há arquivo anexo ao escritório? Consultório médico ou odontológico?</i>
	Indústria	<i>Quais os tipos de produto? Onde são estocados? Há depósito anexo de matéria-prima?</i>
	Local de reunião de público	<i>Informar o tipo.</i>
	Depósito	<i>Caracterizar os bens depositados. É subsolo?</i>
	Outro	<i>Caracterizar: escola? Restaurante? Pizzaria?</i>
Dados da ocupação secundária	Cozinha	<i>Copa em escritório e comércio?</i>
	Restaurante	<i>Restaurante no mesmo prédio de indústria?</i>
	Vestiário, banheiro	<i>Vestiário com chuveiros anexo?</i>
	Lanchonete	<i>Lanchonete em local de reunião de público?</i>
Dados do depósito de gás	Projeto aprovado no Corpo de Bombeiros	<i>Há quanto tempo? Evidências de reformas?</i>
	Material utilizado na sua construção	<i>Madeira? Concreto? Alvenaria? Material de cobertura?</i>
	Dimensões	<i>Comprimento, largura, pé-direito. Espessuras das paredes e lajes.</i>
	Tipo e número de garrafas	<i>Estado de conservação das garrafas e das conexões.</i>
	Afastamentos da edificação	<i>Distâncias mínimas horizontais e verticais.</i>
Descrição externa da edificação	Lote	<i>Frente x profundidade.</i>
	Número de andares	<i>Há subsolos? Fornecer o piso mais profundo e o mais elevado.</i>
	Declividade	<i>Como ter acesso à fachada de fundos?</i>
	Fachadas frontal e laterais	<i>Descrever ou acrescentar fotografias.</i>
	Afastamentos das edificações vizinhas	<i>Fornecer todos os afastamentos mínimos das fachadas vizinhas, se menores de 25 m.</i>

7. Levantamento de cargas de incêndio e aplicação do método a conjuntos de edificações

Programa Monumenta

Cobertura	Tipo	<i>Tipo de estrutura, águas, telhas.</i>
	Posição em relação aos telhados vizinhos	<i>A chama oriunda de um telhado poderia atingir o telhado vizinho? Dê os afastamentos.</i>
	Empenas	<i>Tipo de material utilizado no fechamento. Estado de conservação. Aberturas?</i>
	Compartimentação	<i>Em grandes áreas, há compartimentação? Material e estado de conservação.</i>
Descrição interna da edificação		
Cômodos	Identificação	<i>Identificação na edificação.</i>
	Ocupação específica	<i>Quarto de dormir, cozinha, sala de estar.</i>
	Dimensões e forma	<i>Dimensões em planta e forma aproximada.</i>
	Posição em corte	<i>Qual o andar? Subsolo?</i>
	Posição em planta	<i>Interno? Abre-se para qual fachada?</i>
	Acesso	<i>Corredor? Escada? Largura.</i>
	Aberturas	<i>Descrever com dimensões. Fornecer a posição, inclusive das horizontais.</i>
	Acabamentos	<i>Descrever com dimensões (espessura), incluindo paredes, piso e forro.</i>
Conteúdo	<i>Tipo, massa ou volume de todos os elementos combustíveis.</i>	
Operação da edificação		
Ocupantes	Número	<i>Estimar o mínimo e o máximo. Indicar se varia muito com o período do dia.</i>
	Grau de instrução predominante	<i>Qual o melhor meio de instruí-los sobre a segurança?</i>
	Portadores de condições especiais	<i>Número. Recursos disponíveis para locomoção. Idosos?</i>
	Treinamento para agir em situação de incêndio	<i>Sim? Não? Periodicidade. Número de pessoas treinadas.</i>
	Estado de atenção	<i>Descrever.</i>
Operação	Temperatura	<i>Operações realizadas a quente? Indicar a temperatura máxima.</i>
	Equipamentos	<i>Motores elétricos? Serras? Furadeiras? Soldagem?</i>
	Manuseio de líquidos	<i>Descrever: tipo, temperatura.</i>
	Uso de chamas	<i>Dimensão e frequência.</i>
	Uso de gases inflamáveis	<i>Descrever: tipo, temperatura, pressão, toxicidade, inflamabilidade.</i>
	Relação com o conteúdo	<i>Proximidade de fontes de calor de materiais combustíveis.</i>

Instalações elétricas	Projeto	<i>Há projeto aprovado? Foi efetuada alguma extensão da rede? Tempo de operação.</i>
	Tipo	<i>Toda embutida? Externa? Tipo de conduto.</i>
	Estado aparente	<i>Muitas extensões? Suficiente? Emendas? Cadeias de plugues? Revisões?</i>
Instalações de gás	Projeto	<i>Há projeto aprovado? Foi efetuada alguma extensão da rede? Tempo de operação.</i>
	Tipo	<i>Toda embutida? Externa? Tipo de conduto.</i>
	Estado aparente	<i>Pontos de corrosão? Derivações posteriores? Manutenção? Tempo de operação.</i>
Medidas de segurança		
Sinalizadoras	Alarme de incêndio com acionamento manual	<i>Tipo? Número suficiente? Acesso a todos os usuários?</i>
	Detector de calor e fumaça	<i>Tipo? Transmissão automática do sinal?</i>
	Central de segurança	<i>Descrever.</i>
Extintivas	Aparelhos extintores	<i>Número. Tipos. Agentes extintores. Acesso a todos os usuários?</i>
	Sistema fixo de gases	<i>Projeto e implantação de acordo com as normas técnicas?</i>
	Brigada de incêndio em plantão durante o expediente	
	Brigada de incêndio em plantão permanente	
	Instalação interna de chuveiros automáticos	
Instalação externa de chuveiros automáticos		
Infra-estrutura	Sistema de hidrantes com abastecimento por meio de reservatório público	<i>Distância do hidrante mais próximo do ponto de acesso à edificação em cada fachada.</i>
	Sistema de hidrantes com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário	
	Reserva de água	<i>Capacidade? Confiabilidade?</i>
Resistência estrutural ao fogo	≥ 30	<i>Descrever a estrutura: materiais, ligações ou encaixes. Descrever algum tipo de proteção existente.</i>
	≥ 60	
	≥ 90	
	≥ 120	
Políticas	Planta de risco	<i>Caracterizar o risco do local segundo a planta.</i>

	Plano de intervenção	<i>Descrever o acesso de bombeiros e equipamentos.</i>
	Plano de escape	<i>Descrever.</i>
	Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	<i>Projeto de acordo com as normas?</i>
Informações gerais sobre a edificação		
Posição em relação ao Corpo de Bombeiros	Distância	<i>Qual a distância? Existe estimativa do tempo de resposta?</i>
	Vias de acesso	<i>Condições de tráfego. Aclive forte? Declive acentuado?</i>
Vizinhança	Museu, Igreja ou outro monumento	<i>Descrever. Há perigo de generalização?</i>
Especificidade	IEPHA, IPHAN, UNESCO, Prefeituras	<i>Alguma orientação específica desses ou de outros órgãos.</i>
Histórico	Incêndios	<i>Descrever. Datas. Circunstâncias especiais.</i>
	Outros sinistros	

7.5 - TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados colhidos no levantamento de um conjunto de edificações formam, em geral, um grande volume de informações que necessitam passar por um tratamento estatístico para se tornarem aplicáveis na análise de risco. Para ilustrar os tipos de tratamento em geral empregados, vamos utilizar os dados obtidos no levantamento da rua São José, já mencionado.

Organização dos dados

Na tabela 7.3 estão listadas as densidades de cargas de incêndio calculadas a partir do levantamento de dados. O número na coluna esquerda identifica a ocupação. Trata-se de uma identificação simplificada, porque, dentro de certos limites, o sigilo sobre as condições de cada edificação deve ser preservado. Observa-se também que uma ocupação pode incluir vários cômodos: por exemplo, a primeira ocupação listada na tabela 7.3 inclui o subsolo e os 4 andares superiores. Entretanto, é comum que uma ocupação corresponda a um só pavimento ou a parte dele.

Tabela 7.3 – Cargas de incêndio em ocupações da rua São José, Ouro Preto, MG

Ocupação	Subsolo	Térreo	2º andar	3º andar	4º andar	5º andar	Média
1	7940.00	3293.00	4067.00	2341.00	1575.00	-	3843
2	-	2965.00	4259.00	-	-	-	3612
3	9336.00	-	-	-	-	-	9336
4	-	859.00	-	-	-	-	859
5	-	-	2990.00	2956.00	1307.00	2895.00	2537
6	-	5072.00	2714.00	-	-	-	3893
7	-	-	-	2561.00	-	-	2561
8	14560.00	-	-	-	-	-	14560
9	3315.00	-	-	-	-	-	3315
10	2498.00	-	-	-	-	-	2498
11	4053.00	-	-	-	-	-	4053

12	2290.00	-	-	-	-	-	2290
13	-	-	2420.00	-	-	-	2420
14	-	2138.00	-	-	-	-	2138
15	-	623.00	-	-	-	-	623
16	-	1026.00	-	-	-	-	1026
17	-	-	1344.00	-	-	-	1344
18	-	-	4804.00	-	-	-	4804
19	-	-	969.00	-	-	-	969
20	-	-	515.00	-	-	-	515
21	-	-	1013.00	-	-	-	1013
22	-	-	801.00	-	-	-	801
23	-	-	1867.00	-	-	-	1867
24	-	-	1727.00	-	-	-	1727
25	-	-	2153.00	-	-	-	2153
26	-	-	1005.00	-	-	-	1005
27	-	-	925.00	-	-	-	925
28	-	-	-	2256.00	-	-	2256
29	10638.00	4000.00	13224.00	-	-	-	9287
30	-	5493.00	2691.00	3241.00	-	-	3808
31	-	2316.00	3739.00	9527.00	-	-	5194
32	-	8559.00	7346.00	1493.00	-	-	5799
33	-	5268.00	-	-	-	-	5268
34	1815.00	-	-	-	-	-	1815
35	-	-	1722.00	-	-	-	1722
36	-	-	1009.00	-	-	-	1009
37	-	-	1208.00	-	-	-	1208
38	-	-	1489.00	-	-	-	1489
39	-	-	1043.00	-	-	-	1043

O valor médio da densidade de carga de incêndio é calculado na coluna mais à direita da tabela 7.3. Vamos tomar esse valor médio da ocupação como o seu valor característico. Para visualizarmos melhor a distribuição das densidades de carga de incêndio, uma *representação gráfica* como a da figura 7.2 pode ser usada. Nela se observa, por exemplo, que há uma *tendência* para uma densidade de carga de incêndio média na amostra¹⁰ (ou seja, na rua São José) situada em torno de 3200MJ/m².

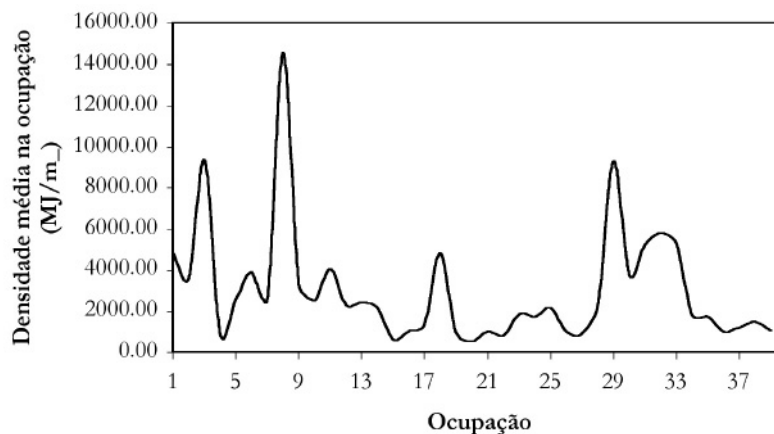


Figura 7.2 – Densidade média de carga de incêndio por ocupação (MJ/m²).

Poderíamos nos perguntar: como as cargas de incêndio se distribuem em função da altura¹¹ da edificação? Ora, calculando a densidade média no subsolo e nos andares, encontramos os valores mostrados na figura 7.3. Conclui-se daí que a média das densidades de carga de incêndio nos subsolos é muito elevada, $q_{sub} = 6272\text{MJ/m}^2$, valor que excede o dobro da média dos andares superiores, $q_{and} = 2793\text{MJ/m}^2$. Isto sugere que uma medida preventiva deva ser tomada no sentido de conscientizar proprietários e locatários sobre o perigo da localização de cargas tão elevadas em posição de difícil acesso. Provavelmente, uma operação de limpeza e de adequação¹² de depósitos será suficiente para baixar esse valor.



Figura 7.3 – Valores médios da densidade de carga de incêndio em função da sua posição na edificação.

Comparando-se as densidades de carga de incêndio em ocupações residenciais e comerciais (figura 7.4), observa-se que as edificações comerciais contribuem com os picos mais elevados, mas predominam valores individuais da mesma ordem de grandeza. A média das densidades médias em edificações residenciais é $q_{res} = 3375\text{MJ/m}^2$, e em edificações comerciais é $q_{com} = 3311,63\text{MJ/m}^2$ – nesse caso, incluindo todos os estabelecimentos de comércio abertos ao público.

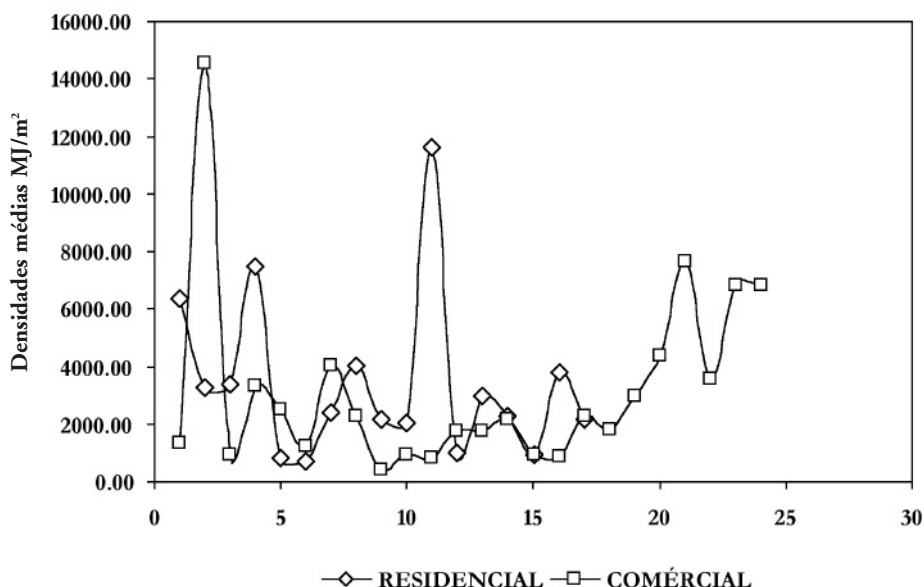


Figura 7.4 – Densidades médias de carga de incêndio para ocupações comercial e residencial.

Em termos estatísticos, a *média* é uma das *medidas de tendência central*¹³ importantes na análise de dados, mas tem a desvantagem de ser muito afetada pelos valores extremos da amostra. Em seguida, introduziremos outras ferramentas estatísticas que permitem formular conclusões valiosas.

Amplitude e desvio padrão

A *amplitude* de variação de uma amostra de determinada grandeza é uma medida da variabilidade dessa grandeza: obtém-se a amplitude pela diferença do maior valor observado para o menor. No caso da rua São José, a amplitude das densidades médias de carga de incêndio é $\Delta q = 13937 \text{ MJ/m}^2$. Entretanto, a amplitude de um conjunto de medidas não é uma boa medida da sua variabilidade, porque considera apenas os seus valores extremos, não importando a distribuição dos valores interiores. Ainda assim, a grandeza da amplitude pode significar o quanto um processo está, por assim dizer, *fora de controle*: no caso, a enorme amplitude das densidades de carga de incêndio indica justamente que há ocupações depositando grande quantidade de materiais combustíveis, muito mais do que se verifica em outras ocupações.

O *desvio padrão* é uma medida da variabilidade dos elementos de uma amostra que considera a posição de cada observação em relação à média amostral, e não apenas os valores extremos, como faz a amplitude. Sendo a amostra constituída de n medidas q_i , e sendo q a sua média, o seu desvio padrão, que se denota por s , é calculado pela expressão:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q)^2}{n - 1}} \quad \text{Equação 11}$$

No caso que estamos focalizando, cuja média é $q = 3208 \text{ MJ/m}^2$, aplicando a equação 11, obtém-se o seu desvio padrão, que é $s = 3057 \text{ MJ/m}^2$. O significado físico do desvio padrão é a *distância média das medidas q_i para a sua média q* . Observe na equação 11 que, se todas as medidas fossem iguais entre si, a média coincidiria com uma medida e o desvio padrão seria nulo. Ao passo que as observações se afastam da média, s aumenta. Então, quando se comparam dois conjuntos de medidas, embora as suas médias possam até coincidir, há menor variabilidade naquele em que o desvio padrão é menor. Por exemplo, na amostra constituída apenas pelas residências (ver figura 7.3), o desvio padrão é $s_{\text{res}} = 2820,67 \text{ MJ/m}^2$, e, nos comércios $s_{\text{com}} = 3311,63 \text{ MJ/m}^2$. Isto é, há maior variabilidade da distribuição de carga de incêndio nas ocupações comerciais, embora uma e outra sejam muito elevadas.

Curvas de freqüências

Na pesquisa do risco de incêndio em um grande número de edificações, pode ocorrer (e, certamente, ocorrerá) que não seja possível medir a densidade de carga de incêndio em todas as edificações. Mas, fazendo-o em um certo número de edificações, há ferramentas estatísticas capazes de nos permitir estimar o seu valor e avaliar com que nível de confiança¹⁴ podemos utilizá-lo em nossas análises.

A variável que estamos medindo, a densidade de carga de incêndio, pode ser dita uma *variável aleatória contínua*. De fato, medindo-a, em duas ou mais edificações, constatamos que ela poderá assumir qualquer valor real. Exemplificando: a probabilidade de que, escolhendo ao acaso uma edificação em Ouro Preto, e medindo ali a densidade de carga de incêndio, encontremos o valor exato $q = 3200 \text{ MJ/m}^2$, é muito pequena. Ao contrário, a probabilidade de que o valor medido esteja entre, digamos, 1000 MJ/m^2 e 3200 MJ/m^2 , certamente será diferente de zero.

Variáveis aleatórias contínuas são associadas a *funções densidade de probabilidade*, cuja definição¹⁵ matemática é muito interessante, e têm grande aplicação prática. Em geral, em um experimento,

como o que estamos investigando, a função densidade de probabilidade não é conhecida. Para escolher uma função válida, devemos dispor de certo número de informações sobre a massa de dados.

Em particular, é muito útil dispor os dados sob a forma de uma *distribuição de freqüências relativas*, como na tabela 7.4. Essa distribuição se obtém agrupando as medidas em *classes* e determinando a proporção do total de medidas em cada uma. Por exemplo, na tabela 7.4, observa-se que as classes têm uma amplitude igual a 1000 MJ/m^2 . Sendo $N = 39$ o número de observações, na classe $[0,1000]$ há 5 medidas, e a freqüência relativa da distribuição na classe é $5/39 = 0,13$, como indicado.

Tabela 7.4 – Distribuição de freqüências relativas de densidades de carga de incêndio

Classe	Média	Freq.	Freq. Rel.	Freq. Rel. Acum
0	1000	5	0,13	0,1
1001	2000	13	0,33	0,5
2001	3000	8	0,21	0,7
3001	4000	2	0,05	0,7
4001	5000	4	0,10	0,8
5000	6000	1	0,03	0,8
6000	7000	2	0,05	0,9
7000	8000	1	0,03	0,9
8000	9000	1	0,03	0,9
9000	10000	1	0,03	1,0

Da tabela 7.4, rapidamente se pode obter um histograma de distribuição de freqüências relativas, como o da figura 7.5. A forma do histograma sugere a forma da *função densidade de probabilidade* que, em princípio, poderia ser escolhida entre as de uso mais comum em engenharia, já exaustivamente estudadas pelos matemáticos.

Atenção especial se deve ter para o fato de que nem sempre os dados obtidos em um experimento são simétricos. No caso presente, o histograma sugere a *função em forma de sino*, com certo grau de obliquidade à esquerda. Essa função é conhecida como a *distribuição normal ou de Gauss*.

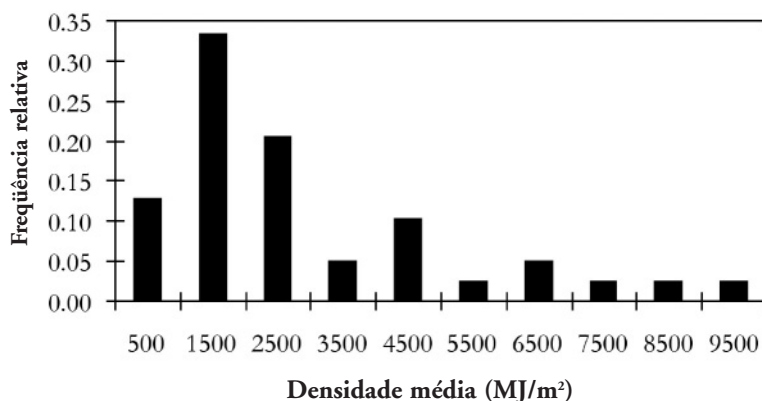


Figura 7.5 – Histograma de freqüências relativas das densidades de carga de incêndio.

A curva de frequências relativas acumuladas é também uma das modalidades de ferramentas estatísticas utilizadas na análise de dados, e tem aplicação na previsão da probabilidade de uma medida da variável contínua aleatória. No caso em foco, as frequências relativas acumuladas estão calculadas na coluna mais à direita da tabela 7.4: dada uma medida q_0 , sua frequência relativa acumulada é a soma das frequências relativas de todos os $q \leq q_0$. A figura 7.6 mostra a curva de frequências relativas acumuladas para as densidades médias de carga de incêndio.

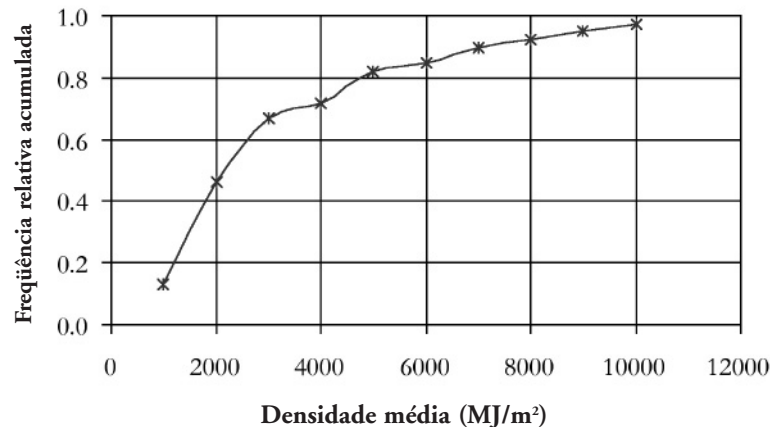


Figura 7.6 – Distribuição de frequências relativas acumuladas das densidades de carga de incêndio.

Percentis, decis e quartis são "pontos" de separação de um conjunto de dados. Os percentis são 99 e separam os dados em cem classes de tal modo que, por exemplo, quando se diz que o valor da densidade de carga de incêndio que corresponde ao percentil 82% é 4500MJ/m², diz-se que 82% dos valores observados são inferiores ou iguais a 4500MJ/m². Ou, em termos de probabilidade, pode-se dizer que há 82% de probabilidade de que uma densidade de carga de incêndio não exceda o valor de 4500 MJ/m². Os decis são nove e dividem o conjunto de dados em dez partes. Analogamente, os quartis são três e dividem a amostra em quatro partes. O significado físico é análogo ao do percentil.

Análise de risco

Com os dados obtidos do levantamento de cargas de incêndio, como se ilustrou no capítulo 6, faz-se o cálculo do risco global de incêndio e do coeficiente de segurança para cada edificação. Essa massa de dados, agora gerada pelo cálculo segundo o método proposto, pode igualmente ser tratada pelas ferramentas estatísticas já referidas. Desse modo, será possível falar em risco médio, desvio padrão da distribuição dos riscos, risco correspondente ao percentil 85%, tudo analogamente ao que foi visto para a densidade de carga de incêndio.

7.6 - CONCLUSÃO

Este capítulo foi dedicado à aplicação do método, com ênfase nos conjuntos de edificações. Esse tipo de aplicação pode ser muito útil na definição de políticas públicas de segurança contra incêndio, permitindo avaliar o impacto de diferentes medidas de segurança.

NOTAS

- 1 - Evidentemente, se medida em quilogramas, multiplicada pelo poder calorífico do material em MJ/kg.
- 2 - A falta de laboratórios, por exemplo. Condicionar a aplicação do método à disponibilidade de laboratórios para medir grandezas fundamentais à Engenharia de Incêndio seria dar muita *oportunidade* a que os incêndios destruíssem nosso patrimônio histórico, sem que fizéssemos alguma coisa.
- 3 - Ocupações distintas quanto à sua natureza ou quanto aos usuários: nesse sentido, duas residências unifamiliares são ocupações da mesma natureza, mas distintas; a residência de uma família e o seu comércio constituem ocupações distintas.
- 4 - Separação pela distância mínima entre os seus pontos mais próximos (ver tabela 3.2), ou separação pela construção de barreiras físicas capazes de isolar os efeitos do incêndio de cada lado.
- 5 - Esses espaços costumam ser denominados espaços ocultos ou cavidades, para manter fidelidade à nomenclatura inglesa, que os identifica como *concealed spaces*. Ver: *Approved Document B. The Buildings Regulations 1991*. Department of the Environment and The Welsh Office. London, 1992, p. 60-64.
- 6 - Entende-se que barreiras capazes de definir o uso de um espaço podem não ser, como em geral nas cidades históricas não são, barreiras à propagação do incêndio.
- 7 - Quando for possível a intervenção na edificação.
- 8 - Observe que, intencionalmente, identificamos a grandeza do perigo ou exposição ao risco de incêndio à densidade de carga de incêndio.
- 9 - Ver Richard Pehrson. *Prediction of fire growth on furniture using CFD*. Worcester Polytechnic Institute. PhD thesis. Worcester, 1998. 296 p.
- 10 - Será inevitável lançarmos mão de alguns conceitos de estatística no tratamento dos dados do levantamento. Faremos isso da forma mais objetiva possível. Para começar, o que em estatística se denomina *amostra*, para os fins desse livro, é o conjunto das densidades médias de carga de incêndio medidas nas ocupações consideradas. *Amostra* é também sinônimo de conjunto de observações, conjunto de medidas. Vale ressaltar que cada observação (ou elemento da amostra) é a média das medidas de uma ocupação. Logo, quando falamos em tendência para uma *média da amostra*, estamos falando da *tendência da média das médias*.
- 11 - Trata-se de uma informação importante para futura elaboração de um *plano de intervenção* a ser usado nas operações de combate a incêndio. A conclusão que se apresenta em seguida – concentração de carga de incêndio em subsolos – é um dado precioso para quem se ocupa de formular estratégias de combate em incêndio naquele local.
- 12 - Aqui nos referimos à construção de espaços especificamente para depósitos, o que supõe determinadas medidas construtivas capazes de evitar a contaminação de riscos – basicamente, a construção de paredes de compartimentação. Novamente, ressalvamos que as intervenções nas edificações dependem de projetos especiais aprovados pelos órgãos de preservação patrimonial.
- 13 - Juntamente com a *mediana* e com a *moda*. Ver R. E. Walpole e R. H. Meyers. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. MacMillan Publishing Co. 2nd edition. New York, 1978.

14 - Aí está uma noção intuitiva do *intervalo de confiança* utilizado em estatística: se temos meios de estimar um determinado valor de densidade de carga de incêndio, deveríamos também ter meios de dizer com que grau de certeza o fazemos – ou seja, se todas as nossas hipóteses forem justas, devemos poder dizer qual a probabilidade de estarmos certos na estimativa. Por exemplo, se a rua Direita, em Ouro Preto, segue a mesma distribuição de cargas de incêndio da rua São José, a partir das medições feitas nessa última, poderíamos dizer que há 85% de probabilidade que a densidade de carga de incêndio média em uma edificação da rua Direita não ultrapasse um valor determinado, por exemplo, 2800MJ/m².

15 - A função $f(q)$ é a função densidade de probabilidade para a variável contínua aleatória, definida sobre o conjunto dos números reais R , se:

$$(a) f(q) \geq 0, \quad \forall q \in R; (b) \int_{-\infty}^{+\infty} f(q) dq = 1; (c) P(a < \bar{q} < b) = \int_a^b f(q) dq$$

, onde P designa a probabilidade de que q esteja compreendido no intervalo (a, b) .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo*. NBR 5628. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento*. NBR 14432. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Paredes divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo*. NBR 10636. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Portas e vedadores – determinação da resistência ao fogo*. NBR 6479. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Portas e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de risco em ambientes comerciais e industriais*. NBR 11711. Rio de Janeiro, 1992.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Building Components and Building Elements. Thermal Resistance and Thermal Transmittance. Calculation Method*. BS EN ISO 6946:1997. United Kingdom, 1997.
- BUCHANAN, A.H. *Fire Engineering Design Guide*. Christchurch: Centre for Advanced Engineering, New Zealand, 1994.
- CLARET, A. M. *Resistência ao fogo de estruturas: alternativas técnicas para a redução do custo da proteção passiva*. Ouro Preto: Escola de Minas – UFOP, 2000. Laboratório de Análise de Risco em Incêndio. Relatório Interno L01/2000.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco do estado de São Paulo. *Instrução Técnica 05/2004 – Segurança contra incêndio: urbanística*. Decreto Estadual nº 46076/01. São Paulo: Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo, 2004.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco do estado de São Paulo. *Instrução Técnica 06/2004 – Acesso de viatura à edificação e a áreas de risco*. Decreto Estadual nº 46076/01. São Paulo: Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo, 2004.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). Regulamento de segurança contra incêndio das edificações
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco do estado de São Paulo. *Instrução Técnica 09/2004 – Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical*. Decreto Estadual nº 46076/01. São Paulo: Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo, 2004.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND THE WELSH OFFICE. *The Buildings Regulations 1991. Approved Document B: Fire Safety*. London, 1992.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND THE WELSH OFFICE. *The Buildings Regulations 2000. Approved Document L1.*

DRYSDALE, DOUGAL. *An Introduction to Fire Dynamics.* 2nd ed.: John Wiley & Sons, 1999.

GRAHAM, T. WATTLE AND DAUB: *Craft, Conservation and Wiltshire Case Study.* (M. Sc. dissertation.) Dept. of Architecture and Civil Engineering. University of Bath, Bath, 2003.

PEHRSON, RICHARD. *Prediction of Fire Growth on Furniture Using CFD.* (PhD thesis.) Worcester Polytechnic Institute, 1998.

SÃO PAULO (Estado). Poder Executivo. Decreto nº 46.076 de 31 de agosto de 2001. Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação, anexo A. *Diário Oficial do Estado de São Paulo.* São Paulo, 01 set. 2001.

SWISS FEDERATION OF ENGINEERS AND ARCHITECTS. *Method for Fire Safety Evaluation.* Documentation 81. Zurich: SIA, 1981.

WALPOLE, R. E. & MEYERS, R. H. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists.* 2nd ed. New York: MacMillan, 1978.



Banco Interamericano
de Desenvolvimento



MONUMENTA



Ministério
da Cultura



Cadernos *Técnicos*

Técnicos

MONUMENTA



Ministério
da Cultura

