

SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Corpo de Bombeiros

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 15/2018

Controle de fumaça

Parte 7 – Átrios

SUMÁRIO

- 14 Procedimentos específicos
- 15 Átrios padronizados - generalidades
- 16 Espaços adjacentes aos átrios
- 17 Átrios não padronizados

ANEXO

- K** Modelo de utilização do dimensionamento para extração de fumaça em átrio não padronizado

14 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

14.1 Classificação

14.1.1 Átrio ao ar livre: aqueles que possuem um volume livre fechado sob todas as suas faces laterais, cuja menor dimensão é inferior ou igual à altura da edificação e não comportam nenhuma oclusão em sua parte superior (Figura 27);

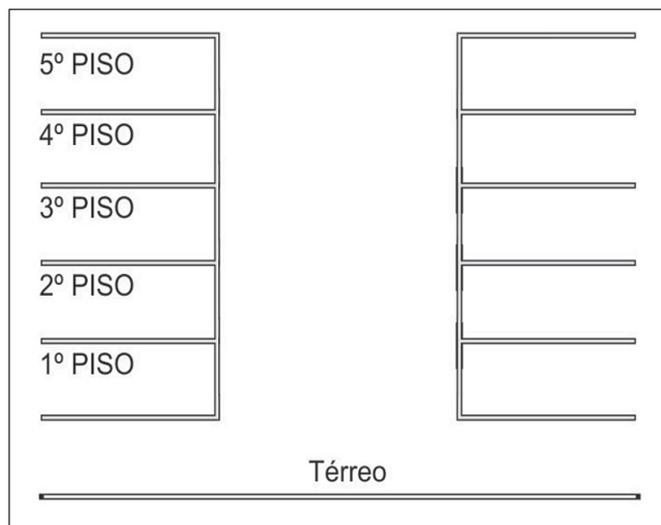


Figura 27: Átrio ao ar livre.

14.1.2 Átrio coberto: aqueles que possuem um volume livre fechado sob todas as suas faces laterais, com uma cobertura total ou parcial, podendo subdividir-se em:

14.1.2.1 Átrios cobertos abertos: nos quais os níveis são abertos permanentemente sobre o volume central (Figura 28);

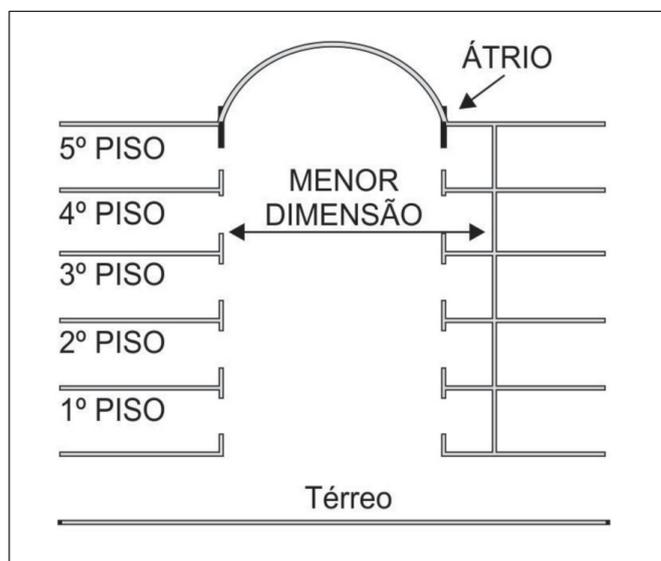


Figura 28: Átrio coberto aberto

14.1.2.2 Átrios cobertos fechados: cujos níveis (à exceção do nível inferior) são fechados por uma parede, mesmo que ela comporte aberturas, balcões ou uma circulação horizontal aberta (Figuras 29 e 30).

14.1.3 Os átrios, para efeito desta IT, classificam-se quanto à padronização em:

14.1.3.1 Átrios padronizados;

14.1.3.2 Átrios não padronizados.

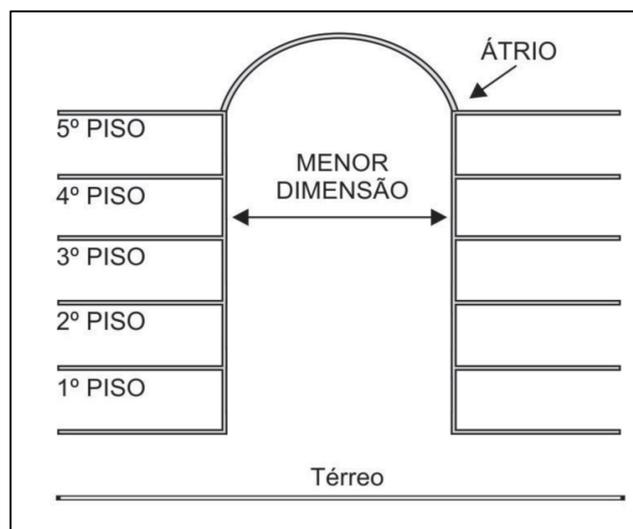


Figura 29: Modelo 1 de átrios cobertos fechados

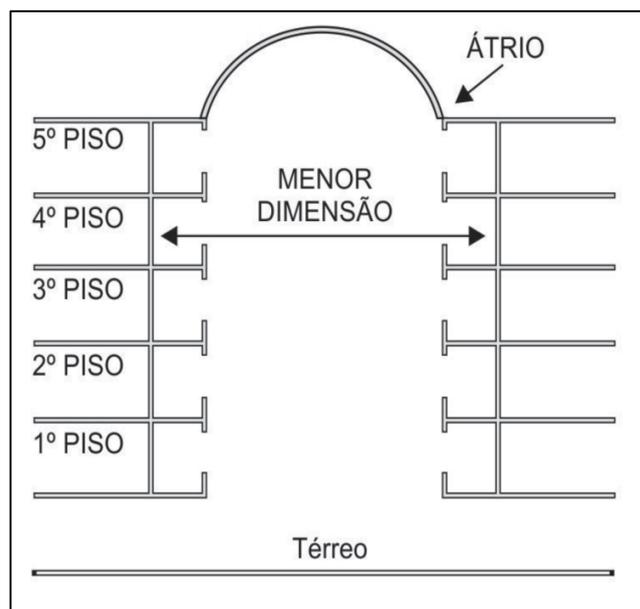


Figura 30: Modelo 2 de átrios cobertos fechados

14.1.4 Os átrios padronizados caracterizam-se por permitir a inserção de um cilindro reto, cujo diâmetro se insere sobre toda a altura do átrio, dentro do espaço livre correspondente entre:

14.1.4.1 Ponta dos balcões para os átrios abertos (Figura 28).

14.1.4.2 Paredes verticais para os átrios fechados (Figuras 29 e 30).

14.1.4.3 Ponta dos balcões e paredes verticais para os átrios abertos sobre uma face e fechados para a outra (Figura 31).

14.1.5 A dimensão do diâmetro do cilindro citado anteriormente deve ser de $\sqrt{7h}$ (raiz quadrada de sete vezes a altura), sendo h a altura do piso mais baixo ao piso mais alto do átrio (Figura 32).

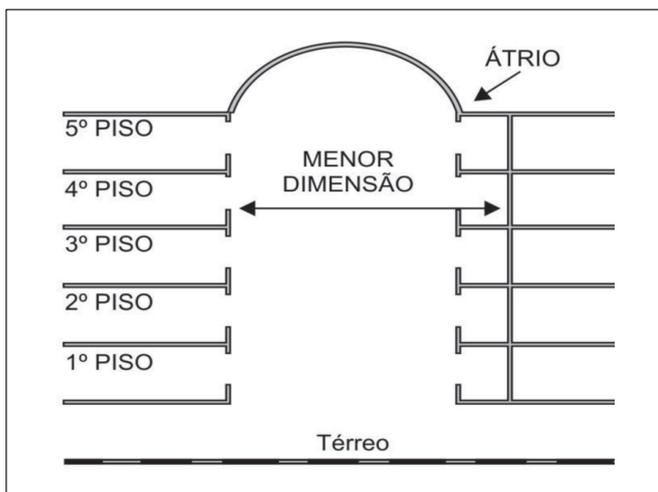


Figura 31: Átrio considerado aberto de um lado e fechado do outro

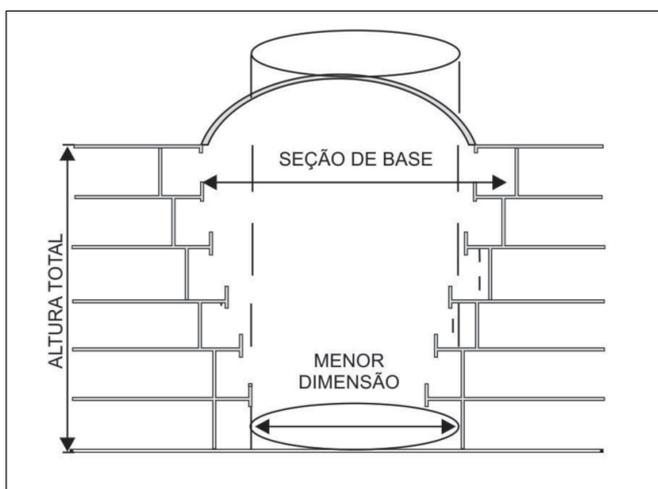


Figura 32: Dados relativos a um átrio coberto padronizado

14.1.6 Os átrios não padronizados são todos aqueles que não atendem à regra estabelecida na alínea 14.1.5 acima.

15 ÁTRIOS PADRONIZADOS – GENERALIDADES

15.1 Para um átrio padronizado considera-se:

15.1.1 Seção da base do átrio, como a maior das seções horizontais correspondidas entre os elementos de construção delimitantes do átrio (ponta do balcão e/ou paredes verticais). Ver Figura 32;

15.1.2 O volume total de base do átrio, como o produto da seção de base pela altura entre o nível mais baixo e o teto do último nível do átrio;

15.1.3 A menor dimensão de um átrio, como o diâmetro do cilindro reto descrito em 14.1.5 (Figura 32);

15.1.4 Para cada nível, a seção de vazio entre elementos de construção deve ser ao menos igual à metade dessa seção da base;

15.1.5 A fim de impedir a invasão dos andares superiores pela fumaça, será indispensável isolar do átrio os níveis situados na metade superior do volume a extrair a fumaça por elementos de construção fixos, dispostos na periferia do vazio entre os elementos de construção (ponta dos balcões ou paredes verticais). Ver Figura 33;

15.1.6 Esses elementos podem ser vidros ou outro material de difícil inflamabilidade;

15.1.7 A colocação desses elementos não tem influência sobre a determinação da menor dimensão do átrio;

15.1.8 O contido no item 15.1.5 pode ser substituído pela colocação em sobrepressão das áreas adjacentes e que se comunicam com o átrio, desde que no dimensionamento da vazão de extração do mesmo, seja computada esta vazão adicional.

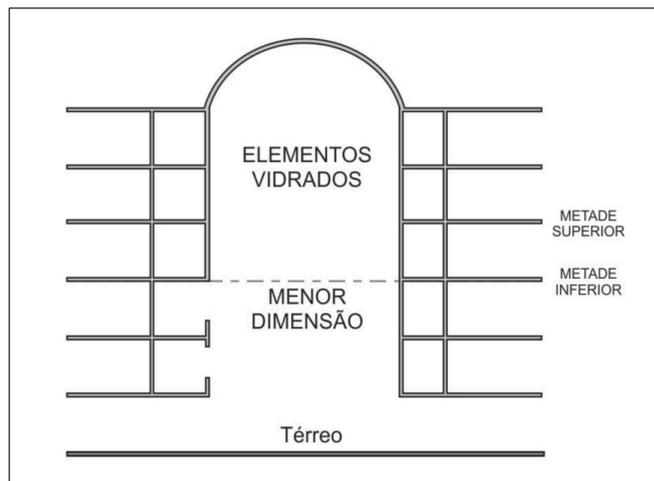


Figura 33: Fechamento do átrio

15.2 Métodos de controle de fumaça para átrios padronizados

15.2.1 Átrios ao ar livre

15.2.1.1 O controle de fumaça se faz naturalmente pela parte superior.

15.2.2 Pequenos átrios

15.2.2.1 Entende-se por pequenos átrios aqueles onde a altura do nível inferior em relação ao nível superior não ultrapassa a 8 m e a seção de base tem dimensões mínimas de 5 m x 5 m.

15.2.2.2 Os sistemas de controle de fumaça podem ser obtidos:

- naturalmente pelas aberturas instaladas na parte alta do átrio, por meio de uma superfície livre igual a 1/100 da seção de base, com um mínimo de 2 m²;
- mecanicamente, com uma vazão de extração igual a 1 m³/s, para cada 100 m² de seção de base, e com um mínimo de 3 m³/s.

15.2.2.3 No controle de fumaça por extração natural, as entradas de ar devem ter uma superfície livre equivalente àquelas das extrações de fumaça.

15.2.2.4 No controle de fumaça por extração mecânica, a vazão de introdução de ar deve ser igual a 60% (sessenta por cento) da vazão de extração.

15.2.2.5 No controle de fumaça por extração mecânica, a velocidade da passagem de introdução de ar deve ser inferior ou igual a 2 m/s para as aberturas de ar naturais e a 5 m/s para as entradas de ar mecânicas.

15.2.2.6 As áreas adjacentes, caso seja exigido o controle de fumaça, devem:

- a. ser separadas por barreiras de fumaça;
- b. atender aos critérios contidos nas Partes 3, 4, 5 e 6 desta IT.

15.2.3 Átrios com carga incêndio inferior a 190 MJ/m² e material de acabamento e revestimento classe I e II A

15.2.3.1 Os sistemas de controle de fumaça podem ser obtidos:

- a. naturalmente pelas aberturas instaladas na parte alta do átrio, por meio de uma superfície livre igual a 1/100 da seção de base, com um mínimo de 2 m²;
- b. mecanicamente, com uma vazão de extração igual a 1 m³/s, para cada 100 m² da seção de base, e com um mínimo de 3 m³/s.

14.1.1.1 Para ambos os casos a introdução de ar pode ser natural ou mecânica.

15.2.3.2 Para o controle de fumaça por extração natural, as introduções de ar devem ter uma superfície livre equivalente àquela das extrações de fumaça.

15.2.3.3 Para o controle de fumaça por extração mecânica, a vazão de introdução de ar deve ser igual a 60% da vazão de extração, permitindo uma velocidade máxima de 2 m/s para introdução de ar natural e 5 m/s para introdução de ar mecânica.

15.2.4 Demais átrios padronizados

15.2.4.1 Os sistemas de controle de fumaça podem ser obtidos:

- a. naturalmente por meio de aberturas situadas na parte alta do átrio, por meio de uma superfície livre igual a 1/15 da seção de base do volume do átrio, com o mínimo de 4 m²;
- b. mecanicamente efetuada na parte alta, equivalente a 12 trocas por hora do volume do átrio.

15.2.4.2 As introduções de ar devem estar situadas na parte baixa do átrio, devendo:

- a. para sistema natural, ter uma superfície livre equivalente àquela das extrações de fumaça;
- b. para sistema mecânico, ter a mesma vazão adotada para extração de fumaça, permitindo uma velocidade máxima de 2 m/s para introdução de ar natural e 5 m/s para introdução de ar mecânica.

15.3 O sistema projetado conforme a nota 2 da Tabela 6A do Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas e risco no Estado de São Paulo deve atender a seguinte condição:

- a. Os átrios devem ser padronizados, conforme os itens 14.1.4 e 14.1.5 desta IT.

15.4 O sistema projetado conforme a nota 9 da Tabela 6C do Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas e risco no Estado de São Paulo deve atender as seguintes condições:

- a. A somatória das áreas dos átrios deve ser equivalente a,

no mínimo, 5% da área do maior pavimento da edificação;

- b. A área a ser considerada de cada átrio deve ser a área livre, descontando-se escadas ou outras obstruções situadas no mesmo volume;
- c. Devem ser considerados, para a somatória prevista na letra a., apenas os átrios com dimensão igual ou superior a 36 m²;
- d. A distância entre qualquer ponto da edificação e um átrio que atenda a letra anterior deve ser de, no máximo, 90 metros;
- e. O dimensionamento deve ser realizado conforme o item 15.2.4 desta IT.

15.5 O sistema projetado conforme a nota 7 da Tabela 6D ou a nota 9 da Tabela 6H.3 do Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas e risco no Estado de São Paulo deve atender as seguintes condições:

- a. Os átrios devem ser padronizados, conforme os itens 14.1.4 e 14.1.5 desta IT;
- b. A distância entre qualquer ponto da edificação e um átrio deve ser de, no máximo, 90 metros;
- c. O dimensionamento deve ser realizado conforme o item 15.2.4 desta IT.

16 ESPAÇOS ADJACENTES AOS ÁTRIOS

16.1 Entende-se por espaços adjacentes ao átrio as lojas, circulações horizontais, escritórios e demais ocupações que possuam comunicação, direta ou indireta, com o átrio.

16.2 Esses espaços devem ser separados dos átrios por meio de barreiras de fumaça fixas.

16.3 Essas barreiras devem ser construídas sob o teto com, no mínimo, 0,50 m de altura, de forma a permitir que exista uma altura livre entre o piso e a barreira de, no mínimo, 2 metros, conforme ilustrado na Figura 34.

16.4 Genericamente, as circulações horizontais adjacentes ao átrio devem:

16.4.1 Ter extração de fumaça por sistemas mecânicos;

16.4.2 Ser dotadas de barreiras de fumaça perpendiculares com altura mínima de 0,5 m, espaçadas, no máximo, a cada 30 metros, formando áreas de acomodação de fumaça;

16.4.3 Ter, no mínimo, duas aberturas de extração de fumaça posicionadas no teto em cada área de acomodação de fumaça.

16.5 A distância máxima, medida segundo o eixo da circulação, entre duas aberturas consecutivas de extração deve ser de:

- a. 10 metros nos percursos em linha reta;
- b. 7 metros nos outros percursos.

16.6 As aberturas de introdução de ar devem ser posicionadas na metade inferior da altura média do teto ou telhado, abaixo da zona enfumaçada.

16.7 Outros mecanismos de introdução de ar podem ser utilizados, desde que seja comprovado pelo projetista que atendem ao especificado no item anterior e que não irão causar

turbilhonamento na camada de fumaça.

16.8 Os demais espaços adjacentes ao átrio são classificados em:

16.8.1 Locais fechados com acesso à circulação por meio de uma porta, e separados do átrio por uma circulação horizontal aberta (ex.: escritórios, consultórios, quartos etc.). Ver Figura 34;

16.8.2 Locais diretamente abertos à circulação horizontal, porém separados do átrio por esta circulação (ex.: lojas comerciais, galerias de exposição, restaurantes etc.). Ver Figura 35;

16.8.3 Locais diretamente abertos sob o átrio (Figura 36).

16.9 Locais fechados com acesso à circulação por meio de uma porta e separados do átrio por uma circulação horizontal aberta.

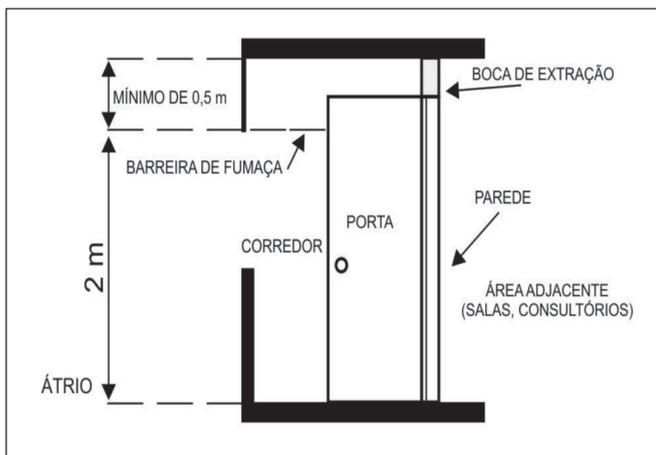


Figura 34: Exemplo de locais fechados com acesso à circulação por meio de uma porta

16.9.1 Esses locais devem ter controle de fumaça específico de acordo com a parte 5 desta IT, atendendo aos itens seguintes:

16.9.1.1 Devem possuir extração de fumaça na circulação horizontal (ex.: "malls") com uma vazão de 4 m³/s para cada área de acomodação de fumaça).

16.9.1.2 Devem possuir velocidade máxima nas aberturas de introdução de ar de 5 m/s.

16.9.1.3 Os subsolos devem atender à Parte 6 desta IT.

16.10 Locais diretamente abertos à circulação horizontal, porém separados do átrio por esta circulação

16.10.1 Caso esses locais tenham área de construção inferior ou igual a 300 m² por unidade, estão dispensados do sistema de controle de fumaça.

16.10.1.1 Deve-se prever o controle de fumaça das circulações horizontais, com uma vazão de 8 m³/s por cada área de acomodação de fumaça.

16.10.1.2 A velocidade máxima nas aberturas de introdução de ar da circulação horizontal deve ser 5 m/s.

16.10.1.3 Atender os itens 16.1 ao 16.7 desta IT.

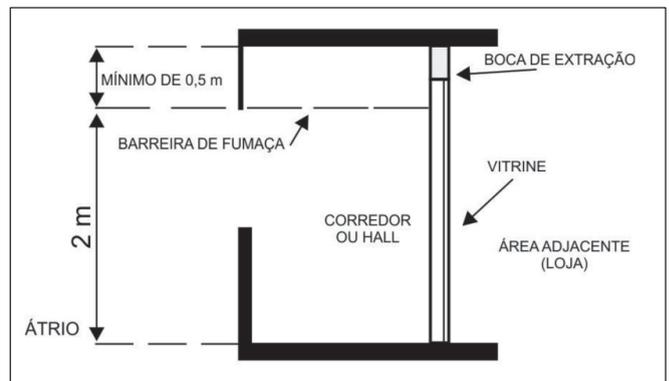


Figura 35: Exemplo de locais diretamente abertos, porém separados do átrio por uma circulação horizontal

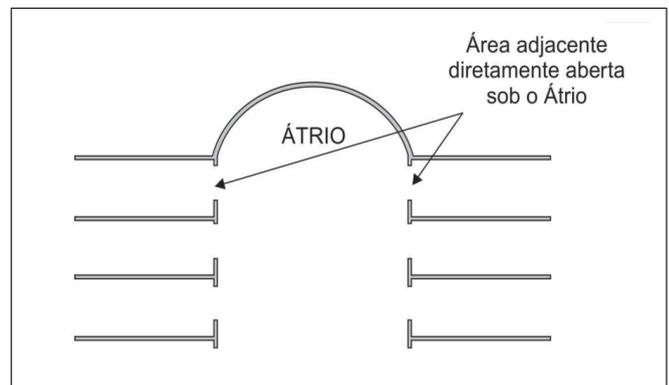


Figura 36: Exemplo de locais diretamente abertos sob o átrio

16.10.1.4 Os subsolos devem atender à Parte 6 desta IT.

16.10.2 Caso esses locais tenham área superior a 300 m² por unidade, devem:

- ter controle de fumaça específico de acordo com a Parte 5 desta IT;
- ter extração de fumaça na circulação horizontal, com uma vazão de 4 m³/s para cada área de acomodação de fumaça;
- ter uma velocidade máxima nas aberturas de introdução de ar da circulação horizontal de 5 m/s.

16.10.3 Locais diretamente abertos sob o átrio:

- esses locais devem ser divididos em áreas de acantonamento de, no máximo, 1.600 m²;
- o controle de fumaça dessas áreas deve ser mecânico, posicionado junto ao teto, com uma vazão de 1 m³/s para cada 100 m² de área de acantonamento, com uma vazão mínima de 10 m³/s para cada acantonamento;
- a entrada de ar para esses ambientes, seja natural ou mecânica, deve permitir uma velocidade máxima de 5 m/s;
- os subsolos devem atender à Parte 6 desta IT.

17 ÁTRIOS NÃO PADRONIZADOS

17.1 Três alternativas diferentes podem ser utilizadas para o dimensionamento do controle de fumaça:

17.1.1 Modelo em escala física reduzida, seguindo regras estabelecidas, no qual testes em pequena escala são

conduzidos para determinar os requisitos e necessidades do sistema de controle de fumaça a ser projetado;

17.1.2 Álgebra, que são equações fechadas derivadas primariamente da correlação de resultado experimental de grande e pequena escala;

17.1.3 Modelos dimensionados por programas (computador) usando ambos, teoria e valores empiricamente derivados para estimar as condições no espaço.

17.2 Esta IT detalha o modelo algébrico; entretanto, outros modelos podem ser utilizados por profissionais habilitados, que devem apresentar os resultados ao Corpo de Bombeiros por meio de Comissão Técnica.

17.3 No caso da utilização do Modelo em Escala ou de Modelo dimensionados por programas (computador), uma vasta literatura é encontrada na NFPA 92-B.

17.4 Para dimensionar o sistema algébrico, devem-se aplicar os seguintes conceitos e fórmulas

17.4.1 Metodologia

17.4.1.1 Os objetivos de um projeto de controle de fumaça devem incluir o gerenciamento da fumaça dentro do átrio e/ou quaisquer outras áreas adjacentes que se comuniquem diretamente com o átrio.

17.4.1.2 Baseado no item anterior, a fonte formadora da fumaça poderá ser um incêndio (fogo) dentro do átrio ou dentro das áreas adjacentes.

17.4.1.3 Os objetivos do projeto de controle de fumaça são:

- a. manter a interface da camada de fumaça em uma altura predeterminada;
- b. manter o controle de fumaça em todas as áreas adjacentes ao átrio pelo tempo necessário para que toda a população de uma edificação acesse uma rota de fuga segura;
- c. limitar a propagação da fumaça para outras áreas;
- d. possibilitar uma visibilidade adequada aos ocupantes da edificação, permitindo também à brigada de incêndio encontrar e extinguir o foco de incêndio;
- e. extrair a fumaça que se tenha acumulado no átrio em um determinado tempo;
- f. limitar a temperatura da camada de fumaça.

17.4.2 Seleção dos métodos

17.4.2.1 Os métodos apresentados para gerenciar a fumaça dependem do espaço nos quais a fumaça e a sua fonte formadora serão controlados, que podem ser:

a. Controle da fumaça no interior do átrio

- 1) Para controlar a fumaça formada por um foco de incêndio no interior do átrio, deve-se:
 - a. remover a fumaça, a fim de limitar a sua acumulação; ou
 - b. remover a fumaça dentro de um gradiente suficiente para aumentar o tempo em que a fumaça preencha todo este espaço.

b. Controle de fumaça, formada por um foco de incêndio,

que se inicia nas áreas adjacentes ao átrio

- 1) Para controlar a fumaça formada por um foco de incêndio na área adjacente ao átrio, deve-se:
 - a. remover a fumaça dentro dessas áreas adjacentes conforme Partes 3, 4, 5, 6 e 7 desta IT;
 - b. retardar a propagação da fumaça para o interior do átrio; ou
 - c. evitar a propagação da fumaça para dentro do átrio, por meio da previsão de um fluxo de ar para dentro das áreas adjacentes (fluxo de ar invertido), conforme item 17.7.9 desta IT.

17.4.3 Considerações gerais

17.4.3.1 A seleção dos vários objetivos de um projeto de controle de fumaça, bem como os seus métodos de controle, dependem:

- a. do tipo de ocupação das dependências ao redor do átrio, bem como da sua localização;
- b. da altura e dimensão das aberturas que se comunicam com o átrio;
- c. das barreiras que separam as áreas adjacentes ao átrio;
- d. da posição das áreas de refúgio, se existirem;
- e. do tamanho do incêndio, utilizado para dimensionar a produção de fumaça.

17.4.3.2 Para determinação do tamanho do incêndio, consultar o item 11.9 da Parte 5 desta IT.

17.4.3.3 Limitações do projeto de controle de fumaça:

a. Quanto ao acúmulo de fumaça:

- 1) Não deve ser objetivo do projeto de controle de fumaça, prevenir a acumulação da fumaça em áreas localizadas em níveis mais elevados ao teto do átrio;
- 2) Interrupção (quebra) do nível da interface da fumaça.

17.4.3.4 Aspectos do projeto

a. Quanto à falha na análise:

Ver item 18.1.1 – Parte 8

b. Quanto à confiabilidade:

Ver item 18.1.2 – Parte 8

c. Quanto aos testes periódicos:

Ver item 18.1.3 – Parte 8

d. Fogo no interior dos átrios:

- 1) O sistema de controle de fumaça deve controlar os níveis de fumaça nos pavimentos acima do piso térreo do átrio ou limitar a quantidade de fumaça que se propaga para as áreas adjacentes.
- 2) Os seguintes critérios devem ser observados:
 - a. o foco do incêndio (fogo) deve ser detectado de imediato, antes que o nível de fumaça ou sua taxa de decréscimo exceda os objetivos propostos no projeto de controle de fumaça;
 - b. deve ser observado o tempo de reação dos ocupantes da edificação para perceberem a emergência e o tempo necessário para abandono da área protegida pelo sistema, permitindo um abandono seguro da edificação;

c. o sistema de ventilação e ar-condicionado comum à edificação devem ter sua operação interrompida, a fim de evitar que afete o funcionamento do sistema de controle de fumaça;

d. a fumaça deve ser removida do átrio acima da interface da camada de fumaça;

e. deve ser prevista a entrada de ar limpo, a fim de possibilitar a exaustão da fumaça;

f. a entrada de ar limpo deve ser resguardada, evitando que entre ar contaminado (fumaça) da própria edificação.

e. Ativação automática:

1) A configuração (tipo, forma e tamanho) do átrio deve ser considerada ao selecionar-se o tipo de detector a ser utilizado para ativar o sistema de controle de fumaça.

2) Quanto à possibilidade de estratificação da fumaça, devem ser avaliados:

a. a interferência das áreas adjacentes ao átrio na estratificação da temperatura da fumaça;

b. a altura do átrio, sua forma arquitetônica e a existência de ventilações na cobertura (ex.: claraboias), que são importantes fatores para determinar a estratificação da fumaça;

c. na seleção do tipo e localização dos detectores devem ser observados:

1. os fatores ambientais, tais como correntes de ar circulares;

2. o movimento mecânico do ar-condicionado no interior da edificação.

3) A ativação automática do sistema de controle de fumaça poderá ser iniciada por:

a. detectores de incêndio tipo pontual;

b. detectores de incêndio tipo linear (feixe direcional);

c. outros detectores que sirvam para o caso;

d. uma combinação dos sistemas acima citados.

4) Como regra geral, todos os sistemas de detecção do incêndio devem acionar o sistema de controle de fumaça; entretanto, meios de detecção e acionamento não convencionais (botões de chamada de elevador e sistemas de abertura de portas) podem ser utilizados, desde que façam parte de um estudo particular e com aceitação prévia do Corpo de Bombeiros;

5) Deve-se prever uma lógica de operação dos dispositivos de detecção e acionamento do sistema de controle de fumaça por meio da integração de todos esses sistemas;

6) Nesta lógica a ser empregada, a dualidade de sistema deve ser utilizada, a fim de evitar a operação desnecessária e consequente ativação do sistema de controle de fumaça;

7) Os detectores pontuais podem ser utilizados nas áreas adjacentes ao átrio, onde se tem baixa altura do pavimento e posicionados com base nos efeitos de estratificação e correntes de ar causadas por forças mecânicas e naturais;

8) Os detectores do tipo linear (feixe) podem ser usados no interior dos átrios, desde que bem

posicionados para detectar o incêndio em seu início.

a. devido a problemas relativos à estratificação da fumaça e movimentação de correntes de ar naturais ou mecânicas internas ao átrio, pode ser necessário posicionar detectores em alturas intermediárias, a fim de atender à necessidade de uma imediata detecção do incêndio e consequente rápida ativação do sistema de controle de fumaça.

f. Ativação manual:

1) Deve ser previsto, em local de fácil acesso, um sistema manual para acionamento e parada do sistema de controle de fumaça.

g. Nível de exaustão:

1) O nível de exaustão deve ser estabelecido no projeto de incêndio usando os procedimentos contidos no item 17.5 desta parte da IT;

2) Os seguintes fatores devem ser considerados:

a. o volume de exaustão de fumaça, que deve ser determinada pela altura predeterminada e permitida da camada de fumaça projetada;

b. a possibilidade, em locais amplos (grande extensão), de a coluna de fumaça se dividir para vários lados deste espaço;

c. o impacto da fumaça contra a parede.

h. Proteção das áreas adjacentes:

1) Para impedir o movimento da fumaça do átrio para as áreas adjacentes por meio de um fluxo de ar, requer-se a previsão de uma velocidade desse ar transversalmente pela abertura, de forma a exceder a velocidade de ar que ocorre na entrada da coluna de fogo;

2) Um método de calcular esta velocidade está demonstrado no item 17.7.9 desta parte da IT.

i. Fogo em áreas adjacentes ao átrio:

1) As formas possíveis de relação entre o átrio e as áreas adjacentes podem ser:

a. áreas adjacentes isoladas do átrio;

b. áreas adjacentes abertas em comunicação com o átrio.

j. Fogo com origem em áreas isoladas:

1) Nas edificações que tenham as áreas adjacentes com configurações construtivas que efetivamente a separem do átrio, de forma que a diferença de pressão entre a zona de fogo e zona que não tenham fogo possa ser controlado, o átrio pode então ser considerado como zona controlada pelo sistema de controle de fumaça previsto para a área adjacente.

k. Fogo em áreas abertas em comunicação:

1) As áreas comuns podem ser projetadas para permitir que a fumaça se propague para o átrio.

a. neste caso, a fumaça que se propaga para o átrio deve ser gerenciada pelo sistema de controle de fumaça, a fim de se manter uma camada de fumaça dentro de parâmetros estipulados pelo projeto;

b. a taxa de exaustão para o átrio precisa ser avaliada para uma das seguintes formas:

1. com a propagação da coluna de fumaça para o

átrio;

2. com fogo ocorrendo no interior do átrio.

c. o sistema de controle de fumaça deve ser capaz de gerenciar qualquer uma das condições acima, porém não necessita gerenciar as duas simultaneamente;

d. uma vez no interior do átrio, deve ser considerada a possibilidade da fumaça adentrar aos andares superiores ou impingir sobre os tetos desses andares. Neste caso, deve ser avaliada a consequência desta fumaça adentrando as áreas adjacentes.

2) As áreas adjacentes também podem ser projetadas para prevenir o movimento de fumaça para dentro do átrio;

a. desta forma, o projeto de controle de fumaça requer uma exaustão suficiente da área adjacente;

b. a quantidade de exaustão necessária que esta situação requer, pode exceder em muito a capacidade dos sistemas de ar-condicionado normal à edificação, necessitando a instalação de um sistema de controle de fumaça exclusivo para a área adjacente.

3) A previsão de aberturas de exaustão deve ser avaliada cuidadosamente, sendo que as aberturas de entrada de ar e saída da exaustão devem estar posicionadas com base no movimento da fumaça, de forma a não interferir nas saídas das pessoas;

4) A localização das saídas da exaustão para o exterior deve estar localizada longe das entradas de ar limpo externo, a fim de se evitar a possibilidade de a fumaça ser recirculada para dentro da edificação.

17.5 Dimensionamento por cálculo algébrico

17.5.1 Os procedimentos deste item são de cálculos baseados em equações para os vários parâmetros de um projeto de controle de fumaça.

17.5.2 Os procedimentos de cálculo representam um conjunto de equações baseadas na NFPA 92-B.

17.5.3 Estabelecimento de um ambiente com duas camadas.

17.5.3.1 A demora em ativar a exaustão pelos ventiladores pode permitir que a fumaça desça abaixo da altura de projeto da camada de fumaça.

17.5.3.2 A acumulação da fumaça gerada inicialmente (nos primeiros instantes) nos níveis inferiores pode ser agravada pela estratificação da temperatura vertical desta fumaça e, conseqüentemente, atrasar o seu transporte para os níveis de saída superior do átrio.

17.5.3.3 Com a exaustão e a ventilação propostos pelo projeto do sistema de controle de fumaça, deve-se esperar a formação de uma camada de fumaça, principalmente na parte inferior, que seja mais limpa e clara.

17.5.4 Tipo do fogo (chama)

17.5.4.1 Todos os cálculos de projeto de controle de fumaça são baseados na taxa de calor liberada pela chama (fogo).

17.5.4.2 O fogo é classificado como estável ou instável.

17.5.5 Fogo estável

17.5.5.1 Considera-se fogo estável aquele bem definido que

possui uma constante taxa de liberação de calor, esperando-se que o mesmo cresça rapidamente até um limite.

17.5.5.2 A sua propagação fica restringida pelo controle ativo do fogo ou por uma distância de separação suficiente para os materiais combustíveis próximos.

17.5.5.3 Parâmetros de definição deste tipo de fogo podem ser encontrados no item 11.9 da Parte 5 desta IT.

17.5.5.4 Para fogos estáveis, as seguintes regras devem ser utilizadas:

a. a dimensão do incêndio depende em se estabelecer uma condição de estabilidade, ou seja, que o fogo seja mantido em um determinado tamanho (estável);

b. para as edificações que possuem sistema de chuveiros automáticos, devem-se adotar os parâmetros da Tabela 9 da Parte 5 desta IT;

c. para edificações que não possuam sistema de chuveiros automáticos, o tamanho do incêndio depende:

1. Da existência de um sistema de detecção e alarme;

2. Da existência de sistema de hidrantes ou mangotinhos;

3. Da existência de uma brigada de incêndio eficiente.

d. o tamanho do incêndio para uma edificação que não possua chuveiros automáticos está condicionado à existência das proteções citadas no item anterior e deve atender ao item 11.11 da Parte 5 desta IT;

e. também são considerados fogos estáveis, aqueles que atenderem a condição de distância de separação dos materiais combustíveis da área a ser considerada, conforme item 17.5.7 desta parte da IT;

f. caso o projetista não tenha certeza de que a condição descrita no item b anterior seja atendida e que o incêndio possa ficar fora de controle, o fogo deve ser considerado como instável.

17.5.6 Fogo instável

17.5.6.1 Um fogo instável é aquele que varia em relação ao tempo.

17.5.6.2 Presume-se que nenhum mecanismo de supressão ou outras formas de controle possam ser aplicados.

17.5.6.3 Caracteriza-se também quando não atender à condição de distância de separação dos materiais combustíveis da área a ser considerada, conforme item 17.5.7 desta parte da IT.

17.5.7 Distância de separação

17.5.7.1 Na avaliação do tamanho do projeto do fogo, deve ser verificado o tipo de material que irá queimar (combustível), o espaçamento entre esses materiais e a configuração (disposição) no ambiente.

17.5.7.2 Do estudo da configuração dos materiais no ambiente, será determinado o provável tamanho esperado de fogo, ou seja, aquele que será envolvido pelo fogo.

17.5.7.3 Baseado na afirmação do item anterior, um determinado tamanho de projeto de fogo deve ser ampliado, se outros materiais estiverem dentro da distância de separação, R, indicada na Figura 37 e determinada na Equação 7.

Equação (7)

$$R = [Q/(12\pi q'')]^{1/2}$$

Onde:

R = Distância de separação em (m)

Q = taxa de liberação de calor do fogo (kW)

q'' = Fluxo de calor radiante requerido para ignição sem chama (kW/m²).

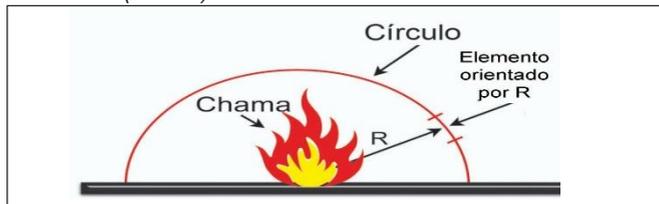


Figura 37: Distância de separação R

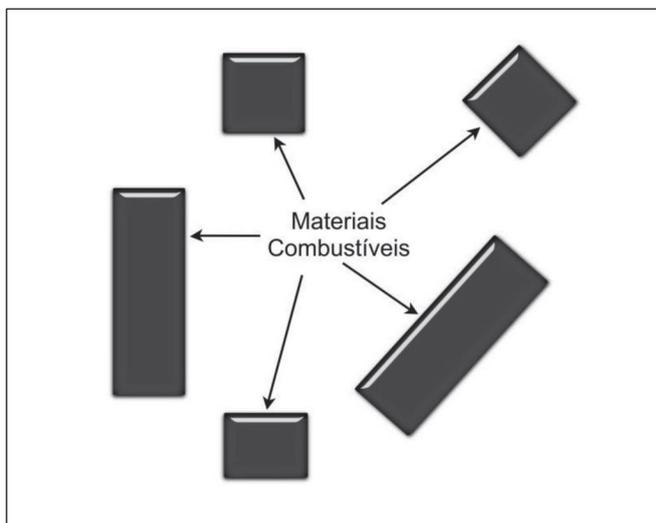


Figura 38: Materiais combustíveis

17.5.7.4 Deve-se observar que, caso o acondicionamento do material (combustível) não for circular, um raio equivalente precisa ser dimensionado, equacionando-se o andar onde se encontra acondicionado o material, pela suposição de que este esteja dentro de um círculo de raio equivalente.

17.5.7.5 A área total de piso onde se encontra o material deve ser considerada nos cálculos, caso o acondicionamento do material combustível não atenda aos valores indicados na equação 7 desta parte da IT.

17.5.8 Taxa de liberação de calor para fogo considerado estável

17.5.8.1 A taxa de liberação de calor, para fogo estável, deve adotar os parâmetros da Tabela 10 do item 11.11 da Parte 5 desta IT.

17.5.9 Taxa de liberação de calor para fogo considerado instável

17.5.9.1 Um perfil do tempo ao quadrado será utilizado para expressar o fogo instável. Então, a taxa de liberação de calor será dada pela Equação (8).

Equação (8)

$$Q = 1.000 (t/t_g)^2$$

Onde:

Q = taxa de liberação de calor do fogo (kW)

t = tempo depois da ignição efetiva (s)

t_g = tempo de crescimento (s)

17.5.9.2 Na equação " t_g " é o intervalo de tempo para a ativação efetiva dos meios de detecção e supressão, para que o fogo exceda a 1.055 kW (1.000 BTU/s).

17.5.9.3 Um perfil t-quadrado pode ser usado para os propósitos de engenharia, quando estão envolvidas áreas grandes, decorrentes da dinâmica de ignições secundárias que podem ocorrer.

17.5.9.4 Assim, um perfil t-quadrado será utilizado nos casos em que o crescimento do fogo não for limitado pelas atividades de controle (supressão) de um incêndio, ou pela inexistência da distância de separação dos combustíveis próximos, visando prevenir ignições adicionais dos materiais combustíveis adjacentes.

17.5.9.5 Decorrido o tempo determinado pela Equação (8), entende-se que o fogo não crescerá em tamanho.

17.5.10 Cuidados

17.5.10.1 Os responsáveis pelo projeto devem acautelar-se em adotar e limitar a taxa de liberação de calor com valores abaixo de 1.055 kW, pois poucas situações estão incluídas nesta condição, aliado ao fato de ser difícil em manter esta condição decorrente das mudanças impostas pelo usuário ao edifício.

17.5.11 Detecção do fogo

17.5.11.1 As respostas dos detectores de incêndio colocados sob o teto devem ser estimadas, para verificação da posição da camada de fumaça.

17.5.11.2 Os detectores podem atuar de diferentes formas, seja pela percepção da fumaça ou do calor.

17.5.11.3 No caso dos detectores que atuam pela fumaça, é importante verificar com os fabricantes em quanto tempo irão perceber o início do incêndio.

17.5.11.4 No caso dos detectores de temperatura, deve-se verificar o aumento da temperatura, que depende do raio da base da chama e do calor transmitido pelo seu eixo vertical.

17.5.11.5 Como regra, para os espaços onde a altura entre a base da chama e o teto seja menor ou igual a 0,6 vezes o raio da chama, deve-se considerar o aumento da temperatura no teto igual à temperatura localizada na base da chama.

17.5.12 Determinação da temperatura de resposta dos detectores

17.5.12.1 Detectores de temperatura do tipo pontual instalado no teto

- a resposta de um detector pontual instalado no teto pode ser estimada considerando o acréscimo de temperatura dos gases da chama (fogo);
- dependendo do modelo do detector e da origem do fogo, baseando-se no acréscimo de temperatura oriundo da concentração de gases combustíveis comuns, um

incêndio poderia ser descoberto por um detector com aproximadamente 10°C de aumento de temperatura.

17.5.13 Temperatura da fumaça sob o teto

17.5.13.1 Fogos estáveis

- para a proporção entre a altura da base da chama e o teto menor que 0,6 vezes o raio da chama, o acréscimo da temperatura da fumaça dentro da coluna de fumaça, pode ser estimada em função do tempo, baseando-se em teorias gerais e análise de alguns experimentos;
- a equação (9) está baseada em informações experimentais derivadas de investigações em salas de várias formas, caracterizadas pela proporção (relação) da área seccional transversal horizontal, pelo quadrado da altura do cômodo (A/H^2);
- estas salas incluem as relações de A/H^2 , variando de 0,9 (num cômodo sem ventilação) a 7,0 (num cômodo com ventilação mecânica e taxa de 1,0 de troca de ar por hora, para tetos lisos sem obstrução);
- o uso da equação (9) para $A/H^2 > 7,0$ visa superestimar o aumento da temperatura no decorrer do tempo.

Equação (9)

$$X = (0,42 Y^2) + (8,2 \times 10^{-8} Y^6)$$

$$\text{Para } X \leq 480$$

Onde:

$$X = (t Q^{1/3}) / (H^{4/3})$$

$$Y = (\Delta T H^{5/3}) / (Q^{2/3})$$

17.5.13.2 Fogo instável

- para fogo instável, também denominado de t-quadrado, a equação (10) estima em função do tempo, o aumento da temperatura do jato de fumaça ("ceiling jet") sob o teto;
- considera a proporção entre a altura da base da chama e o teto, que deve ser menor que 0,6 vezes o raio da chama;
- está embasada em correlações aceitas empiricamente, decorrentes de investigações com tetos amplos, lisos e sem obstruções, avaliando-se a relação entre o raio da chama (r) e a altura entre a base da chama e o teto (H), sendo $r / H = 0,3$;
- também foi aplicada para outras informações experimentais em tetos limitados, onde a relação da área do ambiente (A) e a altura do ambiente (H), sendo $A/H^2 \leq 7,4$, com $t_g = 480$ s, e também com taxa de ventilação não excedendo a 1,0 troca de ar por hora.

Equação (10)

$$\Delta T = 2,090 [t / (t_g^{2/5} H^{4/5}) - 0,57]^{4/3} / [t_g^{4/5} H^{3/5}]$$

$$(\Delta T \text{ em } ^\circ\text{C}; t \text{ e } t_g \text{ em s}; H \text{ em m})$$

Onde:

t = tempo da ignição (ativação) (s)

Q = taxa de liberação de calor (fogo estável) (kW)

H = altura do teto acima da superfície do fogo (m)

ΔT = aumento da temperatura no teto ($^\circ\text{C}$)

17.5.14 Estratificação de fumaça

17.5.14.1 O movimento ascendente da fumaça na coluna depende da fluatibilidade desta dentro do átrio ou espaço amplo.

17.5.14.2 O potencial para estratificação relaciona a diferença da temperatura entre o teto e os níveis de piso do átrio ou espaço amplo.

17.5.14.3 Existe uma altura máxima na qual a fluidez da coluna de fumaça aumentará logo no início do incêndio, após a ignição, que depende da taxa de liberação de calor convectiva e a variação de temperatura ambiental no interior do átrio ou espaço amplo.

17.5.14.4 Esta altura é determinada pela Equação (11):

Equação (11)

$$z_m = 5,54 Q_c^{1/4} (\Delta T/dz)^{-3/8}$$

Onde:

z_m = altura máxima da fumaça acima da superfície do fogo (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

$\Delta T/dz$ = taxa de mudança da temperatura ambiental baseada na altura ($^\circ\text{C}/\text{m}$)

17.5.14.5 A porção convectiva da taxa de troca de calor, Q_c , pode ser estimada como 70% da taxa de liberação de calor total (Q).

17.5.14.6 Assumindo que a temperatura ambiente varia linearmente com a altura, a Q_c mínima requer superar a diferença de temperatura ambiente e direcionar a fumaça para o teto ($z_m = H$), conforme a Equação (12):

Equação (12)

$$Q_{c,\min} = 1,18 \times 10^{-3} H^{5/2} \Delta T_0^{3/2}$$

Onde:

$Q_{c,\min}$ = taxa mínima liberação de calor convectiva para superar a estratificação (kW)

H = altura do teto acima da superfície do fogo (m)

ΔT_0 = diferença de temperatura ambiental entre o teto e o nível do fogo ($^\circ\text{C}$)

17.5.14.7 Como segunda alternativa, a Equação (13) pode ser utilizada, em termos de aumentar a temperatura ambiental entre o piso e o teto, suficientemente para prevenir que a coluna de fumaça, derivado da taxa de calor convectivo (Q_c) alcance a altura (H) do teto.

Equação (13)

$$\Delta T_0 = 96 Q_c^{2/3} H^{5/3}$$

Onde:

ΔT_0 = diferença de temperatura ambiental entre o teto e o nível do fogo ($^\circ\text{C}$)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

H = altura do teto acima da superfície do fogo (m)

17.5.14.8 Como terceira alternativa, na Equação (14), pode-se avaliar a altura máxima que a coluna de fumaça, derivada da Q_c , considerando a diferença de temperatura do ambiente, tenha potência suficiente para alcançar o teto.

Equação (14)

$$H_{\max} = 15,5 Q_c^{2/5} \Delta T_0^{3/5}$$

Onde:

H_{\max} = altura do teto acima da superfície do fogo (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

ΔT_0 = diferença de temperatura do ambiente, entre o piso que contém a superfície de fogo e o teto do átrio ($^\circ\text{C}$)

17.5.15 Altura da interface da camada de fumaça a qualquer tempo

17.5.15.1 A posição da interface da camada de fumaça a qualquer tempo pode ser determinada pelas relações que reportam a 3 situações:

- nenhum sistema de exaustão de fumaça em operação;
- taxa de massa de exaustão de fumaça sendo igual à taxa de massa de fumaça fornecida pela coluna de fumaça até a camada de fumaça;
- taxa de massa de exaustão de fumaça sendo menor que a taxa de massa de fumaça fornecida pela coluna de fumaça até a camada de fumaça.

17.5.15.2 Posição da camada de fumaça com nenhum sistema de exaustão operante

- as Equações (15) e (16) abaixo descritas são utilizadas para avaliar a posição da camada a qualquer tempo depois da ignição.

b. fogos estáveis

- Para fogos estáveis, a altura das primeiras indicações da fumaça acima da superfície (nível) de fogo, 'z', pode ser estimada a qualquer tempo 't', pela Equação (15):

Equação (15)

$$z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)]$$

Onde:

z = altura das primeiras indicações de fumaça acima da superfície do fogo (m)

H = altura do teto acima da superfície de fumaça (m)

T = tempo (s)

Q = taxa de liberação de calor de fogo estável (kW)

A = área seccional cruzada do espaço sendo preenchido com fumaça (m²)

- Para a Equação (15):

- quando os cálculos resultam em um valor maior que 1,0 (*z*/*H* > 1,0), significa que a camada de fumaça ainda não começou a descer;

- verifica-se que está baseada em informações experimentais, provenientes de investigações utilizando áreas uniformes (seccionais-transversais) baseadas em uma altura com proporções *A*/*H*², que pode variar de 0,9 a 14, e com valores de *z*/*H* ≥ 0,2;

- é considerada como aplicada para o caso de pior condição, ou seja, fogo no centro do átrio fora de quaisquer paredes;

- fornece uma estimativa conservadora de perigo, porque "z" relaciona a altura onde existe a primeira indicação de fumaça, ao invés da posição da interface da camada de fumaça.

c. fogos instáveis

- A altura das primeiras indicações da fumaça acima da superfície (nível) do fogo, *z*, também pode ser estimada para fogo instável (*t*-quadrado);

- Da teoria básica e de evidências experimentais limitadas, a altura das primeiras indicações da fumaça acima da superfície (nível) do fogo, *z*, pode ser estimada para um determinado tempo, de acordo com a relação constante da equação (16):

Equação (16)

$$z/H = 0,91 [t/(t_g^{2/5} H^{4/5} (A/H^2)^{3/5})]^{-1,45}$$

Onde:

z = altura das primeiras indicações de fumaça acima da superfície do fogo (m)

H = altura do teto acima da superfície de fumaça (m)

t = tempo (s)

A = área seccional cruzada do espaço sendo preenchido com fumaça (m²)

t_g = crescimento do tempo (s)

- Para Equação (16):

- quando os cálculos resultam em um valor maior que 1,0 (*z*/*H* > 1,0), significam que a camada de fumaça ainda não começou a descer;

- está baseada em informações experimentais provenientes de investigações com proporções *A*/*H*² variando de 1,0 a 23 e para valores de *z*/*H* ≥ 0,2;

- está baseada em áreas uniformes seccionais transversais e relativas altura;

- é considerada como aplicada para o caso de pior condição, ou seja, fogo no centro do átrio fora de quaisquer paredes;

- fornece uma estimativa conservadora de risco, porque "z" relaciona a altura onde existe a primeira indicação de fumaça, ao invés da posição da interface da camada de fumaça.

17.5.15.3 Quantidade de fumaça formada

- A quantidade de fumaça formada pode ser estimada conforme Equações (17) e (18) abaixo:

- Fogo estável

- para fogo estável, o consumo total de massa requerida para sustentar uma taxa constante de liberação de calor, durante um período de tempo necessário (conforme interesse do projeto), pode ser determinado da seguinte forma:

Equação (17)

$$m = Q \Delta t / H_c$$

Onde:

m = massa total combustível consumida (kg)

Q = taxa de liberação de calor do fogo (kW)

Δt = duração do fogo (s)

H_c = calor de combustão do combustível (kJ/kg)

- para fogo instável (*t*-quadrado), o consumo total de massa requerida, durante um período de tempo necessário (conforme interesse do projeto), pode ser determinado da seguinte forma:

Equação (18)

$$m = 333 \Delta t^3 / (H_c \times t_g^2)$$

Onde:

m = massa total combustível consumida (kg)

Δt = duração do fogo (s)

H_c = calor de combustão do combustível (kJ/kg)

t_g = crescimento do tempo (s)

17.5.15.4 Variáveis geométricas em seções transversais e geometrias complexas

- na prática, pode ocorrer em um espaço a ser estudado, que não apresente uma geometria uniforme, onde a

descida da camada de fumaça em seções transversais variadas ou com geometrias complexas pode ser afetada por condições adversas tais como: tetos em declive, variações nas áreas seccionais e origem da projeção da coluna de fumaça;

- b. para os locais onde essas irregularidades ocorrerem, outros métodos de análise devem ser considerados.
- c. esses métodos de análise, que podem variar em sua complexidade, podem ser:
 - 1) Modelos em escala;
 - 2) Modelos de campo;
 - 3) Adaptação de modelos de zona;
 - 4) Análises de sensibilidade.
- d. para sua aplicação, deve-se consultar literatura específica (Ex. NFPA 92-B) e submetê-la a avaliação do Corpo de Bombeiros por meio de Comissão Técnica.

17.5.15.5 Posição da camada de fumaça com o sistema de exaustão de fumaça em operação

a. Taxa de massa de exaustão de fumaça igual à taxa de massa de fumaça fornecida

1) Depois que o sistema de exaustão estiver operando, por um determinado período de tempo, será encontrado uma posição de equilíbrio da interface da camada de fumaça, e esta se manterá, caso a taxa de massa de exaustão da camada de fumaça for igual à taxa da massa fornecida pela coluna de fumaça.

a. uma vez determinado esta posição, a mesma deve ser mantida, desde que as taxas de massas permaneçam iguais;

b. as taxas de massa da formação de fumaça variam conforme a forma e posição da coluna de fumaça;

c. para determinação da massa de fumaça gerada pela coluna de fumaça, deve-se considerar o descrito no item 2.8 deste anexo para as taxas de massa fornecida à base da camada de fumaça para diferentes configurações do plume (coluna).

b. Taxa de massa de exaustão de fumaça diferente da taxa de massa de fumaça fornecida

- 1) Com a taxa de massa fornecida pela coluna (plume) de fumaça à base da camada de fumaça, maior que a taxa de massa de exaustão da camada de fumaça, não será encontrada uma posição de equilíbrio para camada de fumaça;
- 2) Neste caso, a interface da camada de fumaça irá descer, ainda que lentamente decorrente das taxas menores de exaustão;
- 3) A Tabela 13 inclui informações sobre a posição da camada de fumaça em função do tempo, para colunas de fumaça assimétricas de fogo estável, com desigualdade de taxas de massa;
- 4) As informações da Tabela 13 podem ser utilizadas, quando o sistema de ar-condicionado normal à edificação for utilizado na extração de fumaça, e o projeto pretender estimar um complemento de taxa de extração de fumaça para um sistema específico, a fim de se manter a altura da camada de fumaça projetada,

e se atingir uma posição de equilíbrio;

- 5) Também pode ser utilizada, para estimar o tempo em que a camada de fumaça irá descer até um nível considerado crítico, para verificar se este tempo é suficiente para o abandono e saídas das pessoas;
- 6) Caso o projeto adote a solução anterior, o mesmo deve ser submetido a Comissão Técnica, para fins de verificação da solução adotada;
- 7) Para outras configurações da coluna (plume) de fumaça (não assimétricas), uma análise computadorizada se torna necessária.

Tabela 13: Acréscimo do tempo para interface da camada de fumaça para encontrar posição selecionada (colunas assimétricas e fogos estáveis)

| z/H | t / t ₀ | | | | | |
|-----|--------------------|------|------|------|------|------|
| | m / m _e | | | | | |
| | 0,25 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 0,85 | 0,95 |
| 0,2 | 1,12 | 1,19 | 1,30 | 1,55 | 1,89 | 2,49 |
| 0,3 | 1,14 | 1,21 | 1,35 | 1,63 | 2,05 | 2,78 |
| 0,4 | 1,16 | 1,24 | 1,40 | 1,72 | 2,24 | 3,15 |
| 0,5 | 1,17 | 1,28 | 1,45 | 1,84 | 2,48 | 3,57 |
| 0,6 | 1,20 | 1,32 | 1,52 | 2,00 | 2,78 | 4,11 |
| 0,7 | 1,23 | 1,36 | 1,61 | 2,20 | 3,17 | 4,98 |
| 0,8 | 1,26 | 1,41 | 1,71 | 2,46 | 3,71 | 6,25 |

Onde:

z = altura de projeto da camada de fumaça acima da base do fogo

H = altura do teto acima da base do fogo (m)

t = tempo para a camada de fumaça descer até z (s)

t₀ = valor de t na ausência de exaustão de fumaça (ver Equação (15)) (s)

m = vazão mássica de exaustão de fumaça (excetuando-se qualquer vazão mássica adicional dentro da camada de fumaça, decorrente de outras fontes que não sejam a coluna de fumaça).

m_e = valor de "m" requerido para manter a camada de fumaça indefinidamente em z, que é obtido pela Equação (20).

17.5.16 Altura da chama

17.5.16.1 A altura da chama e sua distância em relação à interface da camada de fumaça têm influência significativa na formação do volume mássico de fumaça a extrair.

17.5.16.2 Para determinação da altura da chama proveniente da base do fogo, deve atender à seguinte equação:

Equação (19) – Altura da chama

$$z1 = 0,166 Q_c^{2/5}$$

Onde:

z1 = limite de elevação da chama (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW).

17.6 Altura da camada de fumaça

17.6.1 Uma altura livre de fumaça deve ser projetada, de forma a garantir o escape das pessoas.

17.6.2 Esta altura devido a presença do jato de fumaça pode alcançar no máximo 85% da altura da edificação, devendo estar no mínimo à 2,5 m acima do piso de escape da edificação.

17.6.3 A altura da interface da camada de fumaça deve ser mantida em um nível constante através da exaustão da mesma taxa de vazão de massa fornecida à camada pelo plume (coluna).

17.7 Taxa de produção de massa de fumaça

17.7.1 A taxa de massa fornecida pelo plume (coluna) dependerá de sua configuração.

17.7.2 Há 3 configurações de plume (coluna) de fumaça:

17.7.2.1 Plume (colunas) de fumaça assimétricas;

17.7.2.2 Plume de fumaças saindo pelas sacadas;

17.7.2.3 Plume saindo por aberturas (janelas).

17.7.3 Plume (colunas) de fumaça assimétricas

17.7.3.1 Um plume (coluna) assimétrico pode aparecer de um fogo que se origina no piso do átrio, com o plume afastado de qualquer parede.

17.7.3.2 Neste caso, o ar entra de todos os lados e ao longo de toda a altura do plume, até que o plume fique envolvido (submerso) pela camada de fumaça.

17.7.3.3 Na determinação da massa de fumaça gerada pelo incêndio, duas condições podem ocorrer:

a. altura (z) da camada de fumaça ser superior a altura (z_1) da chama, ou seja, ($z > z_1$);

b. altura da camada de fumaça (z) igual ou inferior a altura (z_1) da camada de fumaça, ou seja ($z \leq z_1$).

17.7.3.4 Para a condição ($z > z_1$), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

Equação (20)

Massa de fumaça para a condição $z > z_1$

$$m = 0,071 Q_c^{1/3} z^{5/3} + 0,0018 Q_c (z > z_1)$$

Onde:

m = vazão mássica da colina de fumaça para a altura z (kg/s)

z = altura acima do combustível (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor,

estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW).

17.7.3.5 Para a condição ($z \leq z_1$), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

Equação (21)

Massa de fumaça para a condição $z \leq z_1$

$$m = 0,0208 Q_c^{3/5} z (z \leq z_1)$$

Onde:

m = vazão mássica da colina de fumaça para a altura z (kg/s)

z = altura acima do combustível (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW).

17.7.4 Plume de fumaças saindo pelas sacadas

17.7.4.1 A coluna (plume) de fumaça saindo de uma sacada é aquele que flui sob e em volta de uma sacada antes de ascender, dando a impressão de sair pela sacada (ver Figura 39).

17.7.4.2 Cenários com o plume de fumaça saindo pela sacada envolvem um acréscimo de fumaça acima da base do fogo, alcançando primeiro o teto, sacada ou outra projeção horizontal do pavimento, para então migrar horizontalmente em direção à extremidade da sacada.

17.7.4.3 A característica de um plume saindo pela sacada depende da característica do fogo, largura do plume e pela altura do teto acima do fogo.

17.7.4.4 Além disso, é significativa a migração horizontal do plume até a extremidade de sacada.

17.7.4.5 Para situações envolvendo um fogo em um espaço adjacente a um átrio, a entrada de ar no plume saindo de sacada pode ser calculada de Equação (22).

Equação (22)

$$m = 0,36 (QW^2)^{1/3} (z_b + 0,25H)$$

Onde:

m = taxa do fluxo de massa na coluna (kg/s)

Q = taxa de liberação de calor (kW)

W = extensão da coluna saindo das sacadas (m)

z_b = altura acima da sacada (m)

H = altura da sacada acima do combustível (m)

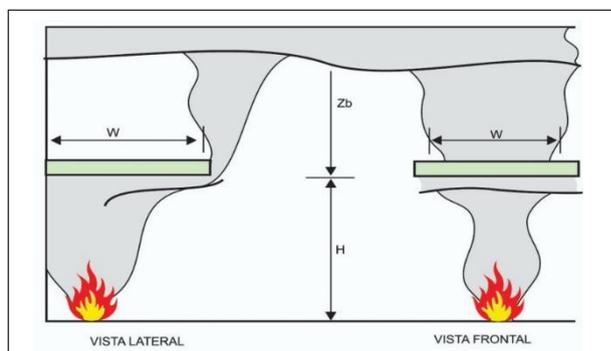


Figura 39: Coluna de fumaça saindo de um balcão

17.7.4.6 Da Equação (22) pode-se concluir:

a. quando z_b for aproximadamente 13 vezes a largura do espaço ($z_b > 13 W$), a coluna (plume) de fumaça saindo pela sacada, pode ser considerado como uma coluna (plume) de fumaça assimétrico, e utilizar para determinação da taxa de produção de fumaça a Equação (20);

b. na determinação da largura da coluna (plume) de fumaça (W), esta pode ser determinada pela previsão de barreira física, projetando-se abaixo da sacada, e visando a restringir a migração de fumaça horizontal sob toda a extensão da sacada.

c. com a existência dessas barreiras de fumaça, uma largura equivalente pode ser determinada por meio da seguinte expressão:

Equação (23)

Massa de fumaça para a condição $z > z_1$

$$W = w + b$$

Onde:

W = largura do plume de fumaça

w = largura da entrada da área de origem

b = distância da abertura a extremidade da sacada

17.7.5 Coluna de fumaça saindo por aberturas (janelas)

17.7.5.1 A coluna de fumaça saindo por aberturas nas paredes, tais como portas e janelas, para o átrio, é configurada conforme Figuras 40 e 41.

17.7.5.2 Na determinação taxa de liberação de calor, a equação abaixo pode ser utilizada:

Equação (24)

$$Q = 1260 A_w H_w^{1/2}$$

Onde:

Q = taxa de liberação de calor (kW)

A_w = área da abertura de ventilação (m²)

H_w = altura da abertura de ventilação (m)

17.7.5.3 A equação acima assume que:

- liberação do calor é limitada pelo fornecimento de ar do espaço adjacente;
- a geração de combustível está limitada pelo fornecimento de ar;
- a queima do excesso de combustível ocorre fora do átrio;
- a entrada de ar fresco ocorre fora do átrio;
- os métodos neste item são apenas válidos para compartimentos tendo em vista uma única abertura de ventilação.

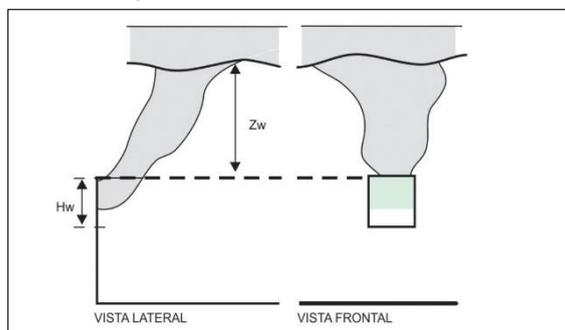


Figura 40: Coluna de fumaça saindo por aberturas (janelas)

14.1.1.1.1 O ar que entra pelas janelas na coluna de fumaça pode ser determinado por analogia como uma coluna de fumaça assimétrica.

17.7.5.3.2 Isso é obtido determinando-se a taxa de entrada de ar na ponta da chama, que são emitidas pela janela, e determinando-se a altura da coluna assimétrica, que pode permitir a mesma quantidade de entrada de ar.

17.7.5.3.3 Como resultado dessa analogia, um fator de correção indicando a diferença entre a altura da chama real e a altura do plume assimétrico pode ser aplicado, para equacionar a assimetria do plume, de acordo com a seguinte relação:

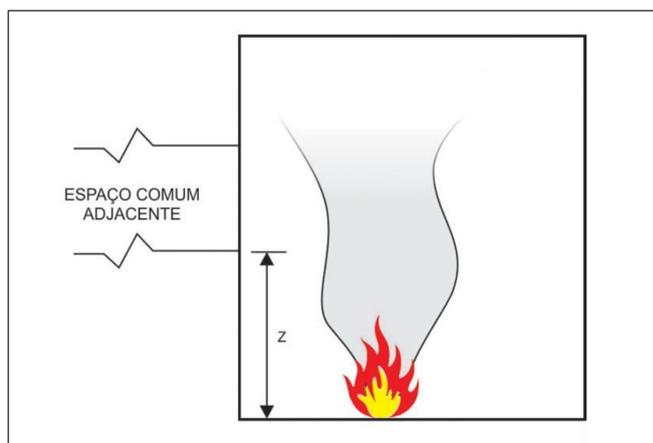


Figura 41: Coluna de fumaça saindo por aberturas (janelas)

Equação (25)

$$a = 2.40 A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1 H_w$$

Onde:

a = altura efetiva (m)

A_w = área da abertura de ventilação (m²)

H_w = altura da abertura de ventilação (m)

17.7.5.3.4 Então, a massa que entra pelo plume oriundo de janela é determinada como:

Equação (26)

$$m = 0,071 Q_c^{1/3} (z_w + a)^{5/3} + 0,0018 Q_c$$

Onde:

z_w = altura acima do topo da janela

17.7.5.3.5 Substituindo Q_c por Q proveniente da Equação 24, temos:

Equação (27)

$$m = 0,68 (A_w H_w^{1/2})^{1/3} (z_w + a)^{5/3} + 1,59 A_w H_w^{1/2}$$

17.7.5.3.6 A altura da chama formadora da coluna de fumaça é determinada como sendo a altura da abertura que fornece a mesma entrada para a coluna de fumaça.

17.7.5.3.7 Qualquer outra entrada acima da chama é considerada como se fosse a mesma de um fogo pela abertura.

17.7.6 Volume de fumaça produzido

17.7.6.1 Para obter o volume de fumaça a extrair do ambiente, a seguinte equação deve ser utilizada:

Equação (28)

$$V = m/\rho$$

Onde:

V = volume produzido pela fumaça (m³/s);

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s);

ρ = densidade da fumaça adotada (para 20 °C = 1,2 kg/m³)

17.7.7 Influência do contato da coluna de fumaça com as paredes

17.7.7.1 A coluna de fumaça ascende, no interior do átrio pode alarga-se, e entrar em contato com todas as paredes deste átrio antes de alcançar o teto.

17.7.7.2 Neste caso, a interface da fumaça deve ser considerada como sendo a altura de contato com as paredes do átrio.

17.7.7.3 O diâmetro da coluna de fumaça pode ser estimado como:

Equação (29)

$$d = 0,48 (T_0 / T)^{1/2} z$$

Onde:

d = diâmetro da coluna (baseada em excesso de temperatura) (m)

*T*₀ = temperatura no centro da coluna (°C)

T = temperatura ambiente (°C)

z = altura (m)

17.7.7.4 Na maioria dos casos, perto do topo do átrio, a temperatura do centro da coluna de fumaça não deve ser considerada maior que a do átrio, decorrente do resfriamento causado pela entrada de ar frio ao longo da coluna.

17.7.7.5 Baseado no conceito do item anterior, de forma genérica, o diâmetro total da coluna de fumaça pode ser expresso conforme a seguinte equação:

Equação (30)

$$d = 0,5 z$$

Onde:

d = diâmetro da coluna (baseada em excesso de temperatura) (m)

z = altura (m)

17.7.8 Velocidade máxima de entrada de ar

17.7.8.1 A velocidade de entrada do ar, no perímetro do átrio, deve ser limitada aos valores de perda para não defletir (inclinando) a coluna de fogo, aumentando a taxa de entrada do ar na chama, ou perturbar a interface da fumaça.

17.7.8.2 Uma velocidade recomendada de entrada de ar é de 1 m/s, podendo no máximo atingir 5 m/s.

17.7.9 Requisitos para o fluxo de ar invertido

17.7.9.1 A fim de prevenir a migração da fumaça do átrio, para as áreas adjacentes não afetadas pelo incêndio, a fumaça no átrio deve ser extraída numa vazão, que cause uma velocidade de ar média na abertura de entrada da área adjacente.

17.7.9.2 Recomenda-se que esta velocidade seja de 1,0 m/s.

17.7.9.3 Esta velocidade (*v*) pode ser calculada com a seguinte equação:

Equação (31)

$$v = 0,64 [gH (T_f - T_0)/T_f]^{1/2}$$

Onde:

v = velocidade do ar (m/s)

g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

H = altura da abertura (m)

*T*_f = temperatura da fumaça (°K)

*T*₀ = temperatura do ar ambiente (°K)

17.7.9.4 Dois casos podem ocorrer na determinação da velocidade:

- as aberturas estão localizadas abaixo da interface da camada de fumaça;
- as aberturas estão localizadas acima da interface da

camada de fumaça.

17.7.9.5 Para o primeiro caso, como a temperatura do ambiente é menor, os valores de velocidade também serão:

- Com *H* = 3,3 m, *T*_f = 74 °C (considerado para espaços com sprinkler) e *T*₀ = 21 °C, o limite de velocidade será de 1,37 m/s.
- para as mesmas condições com *T*_f = 894 °C (considerado para espaços sem sprinkler), o limite de velocidade começa a 3,01 m/s.

Equação (32)

*T*_f = valor da temperatura média da fumaça (°C)

$$T_f = T_0 + (Q_c/mc_p)$$

Onde:

*T*₀ = temperatura do ar ambiente (°C)

*Q*_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor, estimada em 70% da taxa de liberação de calor (*Q*) (kW/s)

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura *z* (kg/s)

*c*_p = calor específico do ar ambiente (kJ/kg-°C)

17.7.9.6 A fim de prevenir a entrada de fumaça no volume do espaço adjacente, oriunda da propagação do átrio, o ar deve ser fornecido do espaço adjacente numa taxa suficiente, que cause uma velocidade na abertura de entrada da área adjacente que exceda o limite mínimo contido na Equação (32).

Equação (33)

*v*_e = velocidade do ar (m/s)

$$v_e (m/s) = 0,057 [Q/z]^{1/3}$$

Onde:

*v*_e = velocidade do ar (m/s)

Q = taxa de liberação de calor (kW)

z = distância acima da base do fogo à abertura (m)

Observação:

- A velocidade (*v*_e) não deve exceder a 1,01 m/s;
- Esta equação não deve ser usada quando *z* < 3,0 m;
- Caso a abertura para o espaço comum esteja localizada acima da posição da camada de fumaça, deve-se utilizar a Equação (31) para calcular o limite da velocidade, estabelecendo que (*v* = *v*_e), onde os valores de (*T*_f - *T*₀) devem ser considerados como o valor de Δ*T* da tabela abaixo, sendo (*T*_f = Δ*T* + *T*₀).

17.8 Condições perigosas

17.8.1 As condições perigosas são aquelas que ocorrem como resultado de temperaturas inaceitáveis, escurecimento da fumaça, ou espécies de concentrações tóxicas (por exemplo, CO, HCl, HCN), em uma camada de fumaça.

17.8.2 As equações para calcular a profundidade da camada de fumaça, aumento de temperatura, densidade óptica, tipos de concentração durante o estágio de acumulação da fumaça e de quase-estabilidade, estão mencionados na Tabela 14.

17.8.3 Estas equações são utilizadas para fogo com taxas constantes de liberação de calor e fogos t-quadrado.

17.8.4 Também podem ser utilizadas para calcular as condições dentro da camada de fumaça quando existir condições de ventilação.

17.8.5 Os conceitos deste item são baseados na manutenção do nível da camada de fumaça, por meio dessa camada num cenário com ventilação.

17.8.6 Antes da operação do sistema de exaustão, e por um período de tempo depois dessa operação inicial, existe um cenário de acumulação de fumaça, no qual o nível da camada

de fumaça utilizados nos cálculos de ventilação pode estar dentro da camada de fumaça.

Tabela 14: Equações para calcular as propriedades da camada de fumaça

| Estágios de acumulação da fumaça | | | |
|----------------------------------|---|---|--|
| Parâmetros | Fogos estáveis | Fogos t-quadrado | Estágios de ventilação |
| ΔT | $T_o\{[\exp(Q_n/Q_o)] - 1\}$ | $T_o\{[\exp(Q_n/Q_o)] - 1\}$ | $[60(1 - \chi_1)Q_c]/(\rho_o c_p V)$ |
| D | $(D_m Q_t)/[\chi_a \Delta H_c A(H - z)]$ | $(D_m \alpha t^3)/[3\chi_a \Delta H_c A(H - z)]$ | $(60D_m Q)/(\chi_a \Delta H_c V)$ |
| Y_i | $(f_i Q_t)/[\rho_o \chi_a \Delta H_c A(H - z)]$ | $(f_i \alpha t^3)/[3\rho_o \chi_a \Delta H_c A(H - z)]$ | $(60f_i Q)/(\rho_o \chi_a \Delta H_c V)$ |

Onde:

- A = área transversal horizontal do espaço (ft²);
- c_p = calor específico do ar ambiente (BTU/lb.°F);
- D = $L^{-1} \log(I_o/I)$, densidade ótica;
- I_o = intensidade da luz no ar limpo;
- I = intensidade da luz na fumaça;
- $D_m DV/m_f$ = massa de densidade ótica (ft²/lb) medida num teste de vapor contendo toda a fumaça proveniente do material ensaiado;
- m_f = a taxa de massa incandescente (lb/s);
- f_i = fator de produção de espécies i (lb espécies i / lb combustível);
- H = altura do teto (ft);
- ΔH_c = calor da combustão completa (BTU/lb);
- Q = taxa de liberação do calor do fogo (BTU/s);
- Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (BTU/s);

- $Q_n = \int (1 - \chi_1) Q dt$
- Para fogos estáveis: $Q_n = (1 - \chi_1) Q t$ (BTU);
- Para fogos t²: $Q_n = (1 - \chi_1) \alpha t^3/3$ (BTU);
- $Q_o = \rho_o c_p T_o A (H - z)$ (BTU);
- t = tempo para ignição (s);
- T_o = temperatura ambiente absoluta (°R);
- ΔT = aumento da temperatura na camada de fumaça (°F);
- V = taxa de ventilação volumétrica (ft³/min);
- Y_i = fração de massa das espécies i (lb espécies i / lb fumaça);
- z = altura do topo do combustível até a camada de fumaça (ft);
- α = coeficiente do crescimento do fogo t² (BTU/s³);
- ρ_o = densidade do ar ambiente (lb/ft³);
- χ_a = fator de eficiência da combustão, valor máximo de 1;
- χ_1 = fator de perda de calor total da camada de fumaça aos limites do átrio, valor máximo de 1, aumento máximo de temperatura ocorrerá se $\chi_1 = 0$.

ANEXO K

Modelo de utilização do dimensionamento para extração de fumaça em átrio não padronizado

1. Dados do projeto:

- átrio retangular e uniforme;
- altura : 36,5 m;
- comprimento de 61 m e largura de 30,5 m;
- fogo considerado do tipo estável;
- projeto do fogo: 5.275 kW;
- diferença de temperatura interna: 9,86°C;
- detector de temperatura localizado no teto do átrio, acionado com uma diferença de temperatura de 10°C.

2. 1º passo: Determinação do tempo de ativação do detector, com o fogo localizado na base do átrio e os detectores no topo do átrio:

- Utilizando a Equação (9):
$$X = (0,42 Y^2) + (8,2 \times 10^{-8} Y^6)$$

Para $X \leq 480$
Onde:
$$X = (t Q^{1/3}) / (H^{4/3}) \Rightarrow t = (X H^{4/3}) / (Q^{1/3})$$

$$Y = (\Delta T H^{5/3}) / (Q^{2/3})$$

Onde:

- t = tempo da ignição (ativação) (seg)
- Q = taxa de liberação de calor (fogo estável) (kW)
- H = altura do teto acima da superfície do fogo (m)
- ΔT = aumento da temperatura no teto (°C)
- $Y = 9,86 (36,5)^{5/3} / (5275)^{2/3} = 13,07$
- $X = 0,42 (13,07)^2 + 8,2 \times 10^{-8} (13,07)^6 = 72,14$
- $t = (72,14 (36,5)^{4/3}) / (5275)^{1/3} = 502 \text{ seg}$

3. 2º passo: Verificação da altura que a fumaça irá alcançar sem estratificar, para confirmar se a posição (altura) dos detectores irá acionar o sistema de controle de fumaça:

- Utilizando a Equação (14):
$$H_{\max} = 15,5 Q_c^{2/5} \Delta T_0^{-3/5}$$

Onde:

- H_{\max} = altura do teto acima da superfície do fogo (m)
- Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)
- ΔT_0 = diferença de temperatura ambiental entre o piso da superfície do fogo e o teto (°C)
- $H_{\max} = 15,5 (5275 \times 0,7)^{2/5} \times 10^{-3/5} = 104 \text{ m}$

Obs.:

- $Q_c = 0,7 Q$;
- A altura que a fumaça atingirá sem estratificar é de 104 m, sendo que os detectores estão instalados a 36,5 m, portanto serão acionados.

4. 3º passo: Determinação da profundidade da camada de fumaça quando o detector for ativado.

- Utilizando a Equação (15):
$$z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)]$$

Onde:

- z = altura das primeiras indicações de fumaça acima da superfície do fogo (m);
- H = altura do teto acima da superfície de fumaça (m);
- t = tempo (s);
- Q = taxa de liberação de calor de fogo estável (kW);
- A = área seccional cruzada do espaço sendo preenchido com fumaça (m²).
- $z/36,5 = \{1,11 - 0,28 \ln [(502 \times 5275^{1/3} / 36,5^{4/3}) / (30,5 \times 61 / 36,5^2)]\} = 0,20 \text{ m}$

Obs.:

- Quando a profundidade da camada de fumaça for menor que 0,2 H, o dimensionamento obtido pela Equação (15) não prevê uma estimativa que se pode confiar (item 2 da Equação (15));
- Entretanto, o resultado indica que o átrio terá um acúmulo de fumaça significativo;
- O fato da camada de fumaça descer até o nível do piso não indica necessariamente condição de perigo;
- Pode-se afirmar que a interface da camada de fumaça é definida quão antecipadamente será detectada a presença de fumaça.

b. Em uma segunda tentativa com $t = 120$ s, decorrente da previsão de detector linear, temos:

$$z = \{1,1 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3}/H^{4/3})/(A/H^2)]\} H$$

$$z = \{1,1 - 0,28 \ln [(120 \times 5275^{1/3} / 36,5^{4/3}) / (30,5 \times 61 / 36,5^2)]\} \times 36,5 = 14,82 \text{ m}$$

c. Em uma terceira tentativa com $t = 40$ s, decorrente da previsão de detector linear, temos:

$$z = \{1,1 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3}/H^{4/3})/(A/H^2)]\} H$$

$$z = \{1,1 - 0,28 \ln [(120 \times 5275^{1/3} / 36,5^{4/3}) / (30,5 \times 61 / 36,5^2)]\} \times 36,5 = 26,05 \text{ m} \approx 26 \text{ m}$$

Obs.:

- 1) A comparação dos vários cálculos no exemplo acima demonstra a diferença quando da aplicação de detectores distintos;
- 2) Esta substituição de tipo de detector é válida para antecipar a detecção do incêndio e, conseqüentemente, se prever uma interface da camada de fumaça em uma posição mais elevada e que atenda as expectativas do projeto de controle de fumaça.

5. 4° passo: Determinação da taxa de exaustão de fumaça, considerando o fogo localizado no centro do piso térreo do átrio (coluna de fumaça assimétrica).

a. com a localização do fogo no centro do átrio, é esperada a formação de uma camada de fumaça assimétrica, sendo assim, deve-se primeiro utilizar a Equação (19), a fim de determinar a altura da chama:

$$z_1 = 0,166 Q_c^{2/5}$$

Onde:

z_1 = limite de elevação da chama (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

$$z_1 = 0,166 (5.275 \times 0,7)^{2/5}$$

$$z_1 = 4,45 \text{ m}$$

b. com a interface da camada de fumaça sendo projetada com a altura de 26 m (z) acima do nível do piso térreo do átrio, e com a altura da chama dimensionada em 4,45 m, pode-se determinar a taxa de produção de fumaça dentro da camada de fumaça (Equação (20)):

Equação (20)

$$m = 0,071 Q_c^{1/3} z^{5/3} + 0,0018 Q_c \quad (z > z_1)$$

Onde:

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

z = altura acima do combustível (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor, estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW)

$$m = 0,071 (5.275 \times 0,7)^{1/3} \times (26)^{5/3} + 0,0018 (3692,5)$$

$$m = 257,06 \text{ kg/s}$$

c. para a obtenção do valor da temperatura média da camada de fumaça (T_f) utilizamos a Equação (32).

$$T_f = T_0 + (Q_c/mc_p)$$

Onde:

T_0 = temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$) => 21°C (conhecido)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor, estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW/s)

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

c_p = calor específico do ar-ambiente => $1,0 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ (conhecido)

$$T_f = 70 + [(3692,5)/(257,06 \times 1)]$$

$$T_f = 35,4^{\circ}\text{C}$$

d. se a taxa de extração de for igual à taxa de produção de fumaça, a profundidade de camada de fumaça será estabilizada em uma altura predeterminada no projeto de controle de fumaça. Desse modo, convertendo a taxa de vazão de massa para um taxa de vazão volumétrica usando Equação (28), temos:

$$V = m/\rho$$

Onde:

ρ = densidade da fumaça (kg/m^3)

m = taxa de vazão de massa da coluna de fumaça para a altura z (kg/s);

Para o exemplo:

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 257,06 \text{ kg/s}$$

$$V = 257,06/1,2$$

$$V = 214,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

6. 5º passo: Verificação se a coluna de fumaça entrará em contato com as paredes. Utilizando a Equação (30), temos:

$$d = 0.5 z$$

Onde:

- d = diâmetro do plume de fumaça (m)
- z = altura da camada de fumaça (ft) = 26 m
- d = 0,5 (26)
- d = 13 m

Obs.: Como as dimensões do átrio horizontalmente são 30,5 m e 61 m, com o dado acima se constata que a coluna de fumaça tem um diâmetro menor (13 m), portanto não entra em contato com as paredes do átrio, antes de alcançar a interface da camada de fumaça prevista em projeto.

7. 6º passo: Determinação da temperatura da camada de fumaça depois da atuação do sistema de exaustão, visando estudar se a coluna de fumaça terá alterações.

a. Aplicando-se as fórmulas contidas na Tabela 14:

$$\Delta T = [60 (1 - \chi_1) Q_c] / (\rho_0 c_p V)$$

Onde:

- ΔT = temperatura da camada de fumaça
- χ_1 = fator de perda de calor total da camada de fumaça aos limites do átrio, valor máximo de 1, aumento máximo de temperatura ocorrerá se $\chi_1 = 0$ (valor a ser considerado no exercício)
- Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (BTU/s).
- ρ_0 = densidade do ar ambiente (lb/ft³)
- c_p = calor específico do ar-ambiente
- V = taxa de vazão volumétrica (ft³/min) (letra "c" do 4º passo – multiplicar resultado de V, letra "d" do 4º passo por 2.118,88)

Para a equação temos:

- $\chi_1 = 0$ (dado)
- $Q_c = 3500$ BTU/s ($Q_c = 0,7 \times Q = 0,7 \times 5.275 = 3.692,7$ kW, do 2º passo – convertido para BTU/s)
- $\rho_0 = 0,075$ lb/ft³ (conhecido)
- $c_p = 0,24$ BTU/lb-°F (1,0 kJ/kg- °C) (conhecido da letra "c" do 4º passo)
- $V = 453.885,29$ ft³/min (214,21 m³/s)
- $\Delta T = [60 (1-0) 3500] / [0,075 \times 0,24 \times 453.885,29] = 25,85^\circ\text{F}$
- $\Delta T = -3,4^\circ\text{C}$

8. 7º passo: Determinação do fluxo de ar oposto

a. o fogo localizado no espaço adjacente ao átrio, com a determinação do fluxo de ar oposto (invertido) para manter a fumaça neste espaço adjacente:

- 1) As aberturas do espaço adjacente em relação ao átrio são de 3,04 m (largura) x 1,82 m (altura) (dado do exercício);
- 2) A temperatura média da camada de fumaça é de 35,4°C (letra "c" do 4º passo);
- 3) Utilizando a Equação (31), temos:

$$v = 0,64 [gH (T_f - T_0)/(T_f)]^{1/2}$$

Onde:

- v = velocidade do ar (m/s);
- g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²);
- H = altura da abertura (m);
- T_f = temperatura da fumaça quente (°K);
- T₀ = temperatura do ar ambiente (°K)

Para o caso, temos:

- H = 1,82 m
- T_f = 35,4° C (308,55° K);
- T₀ = 21° C (294,15° K);
- $v = 0,64 [9,8 \times 1,82 \times (308,55 - 294,15)/(308,55)]^{1/2}$
- v = 0,59 m/s.

- b. para um fogo no átrio, determine o fluxo de ar oposto requerido para restringir que a fumaça propague para as áreas adjacentes.

Baseado na Equação (33), temos:

$$v_e = 0,057 [Q/z]^{1/3}$$

Onde:

v_e = velocidade do ar (m/s)

Q = taxa de liberação de calor (kW)

z = distância acima da base do fogo à abertura (m).

Para o exemplo:

$$Q = 5275 \text{ kW}$$

$$z = 26 \text{ m}$$

$$v_e = 0,057 [Q/z]^{1/3} = 0,057 [5275/ 26]^{1/3}$$

$$v_e = 0,33 \text{ m/s (menor que 1,01 m/s, portanto está OK).}$$