

Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil

Antônio Maria Claret de Gouveia

*Professor Adjunto, D.Sc, Departamento de Engenharia de Controle e Automação Escola de Minas, UFOP
E-mail: claret@em.ufop.br*

Paula Etrusco

*Arquiteta, Mestranda em Engenharia Civil, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Escola de Minas, UFOP*

Resumo

Nesse trabalho, discute-se a formulação, dada na moderna normalização baseada em desempenho, do tempo necessário para o escape em edificações. Em paralelo, demonstra-se a necessidade de desenvolver ensaios nacionais que viabilizem o modelamento de incêndios no País, o que permitirá a determinação do tempo disponível para o escape seguro nas edificações brasileiras. As conclusões mostram a necessidade de atuar nessas duas direções para assegurar níveis aceitáveis de risco de incêndio nas edificações brasileiras.

Palavras-chave: Tempo necessário para escape; Tempo disponível para escape; Modelamento de incêndio.

Abstract

In this work, the modern performance based formulation of escape time in buildings is discussed. In parallel, Brazilian fire safety institutions have shown that they must acquire capability to do some essential fire experiments needed to model compartment fires in Brazil. Conclusions show that it is important to develop proper actions to reduce the evacuation time needed and to evaluate the available safe escape time to assure adequate fire risks in Brazilian buildings.

Keywords. *Evacuation time; Available escape time; Fire Modelling.*

1. Introdução

O fato de os incêndios serem fenômenos extremamente violentos e essencialmente aleatórios faz da evacuação dos locais de maior risco a estratégia mais confiável de salvamento de vidas humanas. De fato, não sendo possível controlar, no nível desejável, a severidade dos incêndios, os projetos de edificações devem incluir medidas ativas e passivas que facilitem o escape das pessoas.

A reação ao fogo dos materiais, notadamente os de revestimento de pisos, paredes e tetos, tem grande influência sobre o tempo disponível para a evacuação dos compartimentos envolvidos em incêndios. A velocidade com que condições insustentáveis são criadas em um ambiente depende de parâmetros como a velocidade de propagação das chamas, o volume e a densidade óptica da fumaça gerada e da razão de liberação de calor do incêndio.

A determinação de exigências mínimas dos materiais de construção quanto à reação ao fogo pode ser feita no contexto de uma estrutura de regulamentação prescritiva. Nesse caso, valores extremos de determinados parâmetros são estabelecidos empiricamente, sempre tendo em vista a semelhança com regulamentações estrangeiras. No contexto de uma regulamentação baseada em desempenho, os parâmetros de reação ao fogo não são, em si mesmos, critérios de aceitação dos materiais; nesse caso, o modelamento de incêndios é que determinará a eventual adequação do material.

Nesse trabalho, discute-se a formulação para o cálculo do tempo de escape de edificações com ênfase para a determinação de parâmetros fundamentais, como a densidade populacional e o tempo de pré-movimento, ainda não pesquisados no Brasil. A formulação utilizada é descrita pormenorizadamente no documento BSI DD240 (1999) e no documento BSI DD240 DRAFT (1994).

2. Modelamento do incêndio e tempo de escape

Em certas situações, o atendi-

mento das prescrições da regulamentação oficial, aplicáveis ao projeto de segurança contra incêndio, pode ser feito seguindo alguns passos de relativa simplicidade. Há casos, porém, em que a regulamentação, face à complexidade dos cenários de incêndio mais prováveis, limita-se a estabelecer o requisito de segurança, deixando aos profissionais de projeto a incumbência de efetuar os estudos da segurança da edificação. Essa complexidade é, em geral, resultante de características dos usuários, das edificações e da interação de ambos em situação de incêndio.

Quanto aos usuários, alguns parâmetros podem torná-los mais ou menos suscetíveis aos efeitos de um incêndio, elevando, conforme o caso, a severidade de um evento. São eles: seu estado de saúde, mormente no que diz respeito à sua mobilidade; seu estado de atenção, enquanto situados na edificação; seu treinamento para o escape nas situações de início de incêndio. No que tange à edificação, a sua arquitetura pode ou não facilitar a orientação dos usuários; pode ser maior ou menor a sua adequação ao número de usuários efetivamente nela admitidos. No que concerne à interação usuário-edificação, a familiaridade do usuário com o espaço que utiliza e a eficiência da sinalização de emergência no contexto do uso da edificação são parâmetros que podem influir na severidade de um incêndio.

Em um enfoque prescritivo, o tempo disponível para o escape seguro (TDES) é determinado de forma subjetiva, em geral tendo em vista a experiência das autoridades públicas de segurança contra incêndio e reflete as exigências mínimas estabelecidas para cada ocupação. Mas, do ponto de vista do modelamento determinístico do incêndio, TDES pode ser calculado, dentre outros parâmetros, em função:

- (a) da altura, z , do colchão de fumaça, a partir do teto;
- (b) da distância de visibilidade, S ;
- (c) da temperatura média, q_c , do colchão de fumaça.

Dentro dessa perspectiva, a determinação de TDES depende do modela-

mento do início e desenvolvimento do incêndio, bem como do movimento de seus efluentes. Portanto TDES é uma função direta da reação ao fogo dos materiais.

3. Tempo necessário para o escape

Em um enfoque de Engenharia de Incêndio, o tempo necessário para o escape costuma ser composto de várias parcelas. Supondo o instante inicial de referência no início de ignição, a sua detecção somente ocorrerá após D_{tdet} segundos, dependendo de diversos fatores, entre os quais das características físicas do sistema de detecção e da sua localização em relação à fonte de calor ou de fumaça. Do mesmo modo, decorrem D_{ta} segundos até que o alarme seja acionado. A reação ao alarme, isto é, o intervalo de tempo decorrido entre o acionamento do alarme e o primeiro movimento em direção de uma saída de emergência, se dá com um atraso que se denomina tempo de pré-movimento, D_{tpre} . O tempo que a população da edificação gasta até a passagem através da saída é D_{te} . Portanto deve-se ter o tempo de escape de toda a população de usuários da edificação, D_{tesc} , dado por:

$$D_{t_{esc}} = D_{t_{det}} + D_{t_a} + D_{t_{pre}} + D_{t_e} \quad (1)$$

A equação anterior somente pode ser aplicada após a elaboração minuciosa de um perfil de escape da população da edificação. Para tanto, alguns parâmetros são discutidos a seguir.

3.1 Capacidade de ocupação

No que concerne à ocupação, os estabelecimentos de centros comerciais parecem ter especificidades no Brasil que os distinguem dos seus similares em outros países do primeiro mundo. A Tabela 1 fornece valores do fator de ocupação em pessoas/m² dados pela norma inglesa *Fire Safety Approved Document B* (1992) e pela norma espanhola NBE CPI (1991). MALHOTRA (1993), em relatório de consultoria que tratou de uma proposta de regulamentação para o Estado de São Paulo, adotou os mesmos

índices de ocupação da norma inglesa citada para o Brasil.

A norma NBR 9077 (1993) estabelece para os centros comerciais brasileiros o fator de ocupação de 0,33 pessoas/m², valor esse inferior ao que estabelece a norma britânica citada (0,5 pessoas/m²). Porém dados estatísticos publicados pela ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers) parecem indicar que a adoção desses parâmetros de ocupação é inadequada. Segundo Alves (2001), em 2000, os centros comerciais correspondiam a cerca de 5 milhões de metros quadrados de área bruta locável e eram visitados por 100 milhões de pessoas a cada mês. Com esses dados, chega-se a um fluxo de usuários de centros comerciais da ordem de 5 pessoas/m²/semana, adotando-se a hipótese de uma distribuição uniforme em todos os centros comerciais. Assumindo que 35% desse fluxo se concentre nas sextas-feiras e nos sábados, sendo 70% dele com permanência no local entre 19h e 22h, conclui-se que o fator de ocupação pode chegar a ser (0,35 x 0,70 x 5) pessoas/m², ou seja, 1,22 pessoas/m².

Ainda que meramente indicativo, o fator de ocupação de 1,22 pessoas/m² mostra que pode ser ingênuo adotar valores do fator de ocupação em centros comerciais brasileiros menores que os adotados no Reino Unido, considerando as características do espaço urbano nos dois países (por exemplo, quanto à segurança pública, diversidade de opções para lazer, poder aquisitivo da população) e as características culturais da população.

3.2 Características dos ocupantes e tempo de pré-movimento

Segundo o documento BSI DD240 (1999), o tempo de pré-movimento, conforme o tipo de ocupação, é dado na Tabela 2 para as situações de evacuação iniciada apenas pelo sinal de alarme, não orientada e orientada por sistema de som interno com auto-falantes.

3.3 Características do movimento

Em analogia ao escoamento de fluidos, quando as pessoas se movimentam através de um corredor ou escada produzem uma camada-limite. Em consequência, a largura da camada-limite deve ser subtraída da largura livre para dar a

largura efetiva, W_e . Os valores da camada-limite efetiva são dados na Tabela 3 para uso na Grã-Bretanha e, a princípio, podem ser usados universalmente. Deve-se notar que em um corredor, por exemplo, 0,20 m deve ser diminuído da largura livre em cada lado, dando um total de 0,40 m a ser subtraído.

Tabela 1 - Fatores de ocupação dados pelas normas inglesa e espanhola.

Tipo de ocupação	Fator de ocupação (pessoas/m ²)	
	FS-BR	NBE
Área de espectadores de pé (estádios de futebol, praças e locais públicos).	3,0	4,0
Bares, danceterias, clubes, salas para concertos.	2,0	1,0
Restaurantes, salas de espera.	1,0	0,6
Galerias de arte.	0,2	0,5
Escritórios com mais de 60 m ² , fábricas.	0,2	0,5
Outros escritórios, cozinhas, lavanderias.	0,14	0,5
Estacionamentos.	2 pessoas/vaga	-
Centros comerciais.	0,5	0,3

Tabela 2 - Valores do tempo de pré-movimento.

Ocupação	Tempo de pré-movimento t_{pre} (s)		
	Ruído do alarme	Evacuação não orientada	Evacuação orientada
Hospitais	480	300	180
Residencial	360	240	120
Hotéis	300	240	120
Locais de assembléias	300	180	120
Estádio	300	180	120
Centros Comerciais	300	180	120
Lojas	300	180	120
Estações de metrô	240	180	60
Escritórios	240	180	60

Nos corrimãos, o valor dado anteriormente deve ser usado somente se eles estão a mais que 0,6 m da parede. Ainda segundo o documento BSI DD240 (1999), a largura livre deve ser tomada como: a) em corredores: de parede a parede; b) em escadas: a largura do degrau; c) nos vãos das portas: a largura livre da abertura quando a porta está completamente aberta; d) em corredores de cinemas e teatros: a largura mínima entre os assentos em qualquer dos dois lados; e) entre as fileiras de assentos em uma arquibancada: a largura mínima entre a assento de uma e o encosto da outra (quando ocupadas). A distância de deslocamento é a distância real a ser percorrida ao longo do pavimento ou ao longo das escadas de qualquer ponto a qualquer outro mais próximo da saída. Se o layout das divisões não for conhecido, a distância direta deve ser acrescida de 50% para propostas preliminares de projeto de cálculo.

3.4 Modelamento

A velocidade de deslocamento para adultos capacitados em áreas niveladas ou em rampas, onde a densidade populacional é menor ou igual a 0,54 pessoas por metro quadrado, pode ser tomada como 1,2 m/s. Se a densidade populacional excede 3,8 pessoas por metro quadrado, andar será extremamente difícil e o movimento pode cessar efetivamente. Entre estes limites, se aplica a seguinte equação:

$$S_t = 1,4 (1 - 0,266 D_{pop}) \quad (2)$$

onde S_t é a velocidade de deslocamento (em m/s); D_{pop} é a densidade populacional no piso nivelado (em pessoas por m²). No caso de escadas, a velocidade máxima de deslocamento dependerá da densidade populacional e da inclinação da escada. A equação seguinte pode ser usada:

$$S_t = k (1 - 0,266 D_{esc}) \quad (3)$$

onde S_t é a velocidade de deslocamento (em m/s); k é uma constante dada na Tabela 4; D_{esc} é a densidade populacional nos degraus (em pessoas por m²) (a área do degrau é a profundidade do piso x largura efetiva). O valor máximo de S_t não deve exceder os valores dados na Tabela 4.

O fluxo específico é a taxa de pessoas que passam em um ponto na rota de escape por unidade de tempo e por unidade de largura efetiva, e é dado por:

$$F_s = S_t D_{pop} \quad (4)$$

onde F_s é o fluxo específico (em pessoas/m.s). O fluxo calculado é a taxa total de pessoas que passam em um ponto na rota e é dado por:

$$F_c = F_s W_e \quad (5)$$

onde F_c é o fluxo calculado (em pessoas/s); W_e é a largura efetiva (em m).

Para deslocamentos horizontais, em rampas ou através de portas, o valor máximo de F_s deve ser tomado como 1,3. Para deslocamentos em escadas, os valores da Tabela 4 devem ser usados. Nos locais em que as pessoas se movimentam vagarosamente, deve-se assumir que sua velocidade máxima seja a metade do valor máximo para pessoas capacitadas, isto é, 0,6 m/s. O tempo de escape para um grupo de pessoas que passa um certo ponto da rota é o período de passa-

gem, Δt_p , dado por:

$$t_p = P / F_c \quad (6)$$

onde t_p é o período de passagem (em s); P é o número de pessoas.

O tempo de escape, t_e , é o tempo necessário, uma vez começado o movimento, para que todas as pessoas passem através de uma saída para um lugar de segurança. Se t_p é o período de passagem, o tempo do fluxo é dado por:

$$t_e = t_{min} + t_p \quad (7)$$

onde t_e é o tempo do fluxo (em s); t_{min} é o tempo levado pela primeira pessoa para se deslocar para a saída (em s).

4. Os desafios do modelamento de incêndio no Brasil

O tempo disponível para o escape seguro depende fundamentalmente da geração de fumaça pelo incêndio e da eventual existência de um sistema de

Tabela 3 - Larguras de camada-limite.

Elemento da rota de escape	Camada-limite (m)
Escadas, parede ou lado do degrau	0,15
Guarda-corpos, corrimãos	0,09
Assentos de teatros, arquibancadas de estádios	0,00
Corredor, paredes de rampas	0,20
Obstáculos	0,10
Amplios saquões, travessias	0,46
Porta, arcos	0,15

Tabela 4 - Velocidade de deslocamento em escadas.

Espelho (m)	Piso (m)	Constante (k)	Velocidade máxima S_t (m/s)	Fluxo específico máximo F_s (pessoas/s.m)
0,20	0,25	1,00	0,85	0,95
0,18	0,25	1,10	0,95	1,00
0,17	0,30	1,15	1,00	1,10
0,17	0,33	1,25	1,05	1,15

controle. Para garantir que o sistema de controle seja adequado, o modelamento de incêndio deve ser feito de modo a determinar as propriedades da fumaça gerada. Em alguns cálculos são necessários para avaliar as propriedades da fumaça (temperatura, toxicidade e visibilidade) que pode ser gerada em locais variados da edificação. Para tanto, alguns desafios se põem ao modelamento de incêndio no Brasil, entre os quais, citam-se:

- [a] Determinação das razões de liberação de calor, seja em ensaios com calorímetros de mobília, seja em ensaios de compartimentos para caracterizar os incêndios ocorridos no País em função da arquitetura típica, da ventilação mais utilizada e da geometria dos compartimentos.
- [b] Determinação da quantidade de calor carregada pelas chamas em função do material combustível e dos índices de ventilação típicos das edificações brasileiras.
- [c] Determinação das distribuições de temperaturas típicas para determinadas ocupações, levando em conta as características comuns de ventilação e geometria dos ambientes nas edificações brasileiras, agrupadas em função da ocupação ou de outra característica do tipo construtivo.

Ensaio que permitam a avaliação desses três parâmetros característicos dos incêndios devem ser feitos no País. Para esse fim, servem de orientação os

resultados obtidos no exterior. A simples importação de resultados de ensaios estrangeiros é inviável conquanto os parâmetros que se necessita avaliar e que são essenciais na determinação do tempo necessário para a criação de condições insustentáveis para a vida humana em um incêndio são muito sensíveis a fatores tipicamente geográficos, como o clima, os aspectos sócio-culturais, geometria dos compartimentos, os materiais de acabamento, a taxa de ventilação e o montante da carga de incêndio.

Em projeto, o tempo disponível para o escape pode ser avaliado, no nível preliminar, na ausência de modelos mais sofisticados, através do estabelecimento de critérios de sustentabilidade da vida a serem estabelecidos em regulamentos específicos. Segundo o documento BSI DD240 (1999), alguns critérios que se consideram aplicáveis a edificações européias são: a) visibilidade mínima de 10m; b) exposição máxima a radiação de 2,5 kW/m²; c) temperatura máxima a 1,70m do piso igual a 120°C.

5. Conclusões

No Brasil, a determinação realística dos tempos de escape em edificações demanda a implementação das técnicas de modelamento do incêndio com a realização de ensaios que são fundamentais para esse fim. Sem o aporte desse tipo de informação, a determinação do tempo disponível para o escape seguro torna-se perigosamente inexata, levan-

do os projetos, como única alternativa, a se situarem na faixa conservadora com dispêndio de maior volume de recursos. Por outro lado, a determinação de tempos realísticos de escape somente pode ser feita mediante ensaios próprios conduzidos em cada tipo de edificação.

Referências Bibliográficas

- ALVES, R. M. *Risco de incêndio em edificações comerciais tipo shopping centers*. Academia de Polícia Militar, Polícia Militar de Minas Gerais, 2001. p.90. (Monografia de Especialização).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Saídas de emergência em edifícios: NBR 9077. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento: NBR 14432. ABNT, 2000.
- BRITISH STANDARDS. Code of practice on the application of fire safety engineering principles to the design of buildings: BS 7974. BSI, 2002.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BSI Draft for Public Comment. BSI DD240, 1994.
- COX, G., CHITTY, R. A study of the deterministic properties of unbounded fire plumes. *Combustion and Flame*, 39, 191, 1980.
- FIRE SAFETY APPROVED DOCUMENT B, Building Regulations: FS-BR, 1992.
- MALHOTRA, H. L. Proposed code for fire safety in buildings for the State of Sao Paulo. Technical Report. Agniconsult. Radlett, UK, 1993.
- NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN. Condiciones de Protección contra Incêndio en los edificios: NBE CPI 1991.

Em Janeiro de 2003 a
Rem completa 67 anos.
Comemore Conosco!
Assine a **Rem**