

O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAÇÃO EM LOCAIS DE RISCO



João C. Viegas*
Investigador
LNEC - Lisboa



A. Leça Coelho
Investigador
LNEC - Lisboa

RESUMO

O LNEC tem desenvolvido um Método de Análise de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes (MARIEE). Na composição do MARIEE surge um coeficiente designado de consequências, quer para os locais de risco quer para as vias de evacuação. Essas consequências resultam de um balanço entre o perigo, representado por diversas manifestações associadas ao incêndio (aumento de temperatura, presença de gases tóxicos, fumo, etc.) e pela exposição dos ocupantes a essas manifestações. No MARIEE as consequências são determinadas, separadamente, para os locais, para as vias horizontais e para as vias verticais de evacuação. Nesta comunicação apresenta-se um estudo de apoio ao desenvolvimento do MARIEE no que se refere à determinação das consequências nos locais de risco dotados de meios de controlo de fumo.

PALAVRAS-CHAVE: Controlo de fumo; Evacuação; MARIEE.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação do risco de incêndio em edifícios, quer sejam novos ou existentes, constitui um tema muito relevante para a segurança ao incêndio, pois desta avaliação decorre a necessidade de implementação dos meios de mitigação do risco de incêndio. No enquadramento regulamentar português atual [1 e 2], os meios de mitigação do risco de incêndio estão prescritos, tendo implícito um modelo de edifício para cada utilização tipo. Todavia, existem muitas circunstâncias (em especial na reabilitação de edifícios) que podem

* Autor correspondente – Dep. de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa.

Telef.: +351 218 443 533, Fax: +351 218 443 024, E-mail: jviegas@lnec.pt

conduzir à adoção de meios de mitigação do risco de incêndio que não cumprem integralmente as prescrições regulamentares, mas que podem efetivamente reduzir o risco até níveis aceitáveis e com custos económicos mais limitados. O Regime Jurídico da Segurança contra Incêndio em Edifícios [1] manifesta abertura para esta aproximação através do seu art.º 14.º, que impõe ao projetista que justifique tecnicamente as suas opções e que estas sejam submetidas à Autoridade. Este processo, sendo casuístico, é oneroso em termos de projeto e é moroso. Assim, é muito relevante o desenvolvimento de um método de avaliação do risco de incêndio que formalize a ponderação dos diversos meios de mitigação do risco com maior flexibilidade do que o previsto na atual regulamentação e constitua um método estruturado quer para o enquadramento das soluções de projeto, quer para a avaliação destas pela Autoridade, no âmbito do art.º 14.º acima referido.

Pelo Despacho n.º 14574/2012, de 5 de novembro, do Ministro da Economia e do Emprego e da Ministra da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, foi criada uma «Comissão Redatora do projeto de diploma legal que estabelecerá as "Exigências Técnicas Mínimas para a Reabilitação de Edifícios Antigos"». Nesse enquadramento o LNEC criou um grupo de trabalho no âmbito da segurança contra incêndio com o objetivo de desenvolver uma metodologia de análise da segurança contra incêndio que permita a implementação flexível dos meios de mitigação do risco de incêndio a edifícios existentes. Pretende-se que com essa flexibilidade seja possível privilegiar a adoção de soluções de projeto que melhor se adequem aos edifícios existentes, permitindo que o agravamento de uns meios possa compensar a redução ou inexistência de outros meios. Desta forma espera-se que as dificuldades de aplicação da atual legislação de segurança contra incêndio [1 e 2] aos edifícios existentes sejam minimizadas.

Esse grupo de trabalho tem desenvolvido atividade no sentido de elaborar um método de análise de risco que permita ponderar a eficácia dos vários meios de mitigação do risco de incêndio de forma a ser possível avaliar a sua suficiência. Para esse efeito tem apoiado o desenvolvimento no LNEC do Método de Análise de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes (MARIEE) que, embora ainda não concluído, serviu já suporte a trabalhos académicos [3]. O MARIEE baseia-se na avaliação analítica do risco de incêndio através da soma ou produto de fatores estimados com base em descritores das características do edifício ou dos meios de mitigação do perigo de incêndio adotados. De forma a minimizar a subjetividade na aplicação deste método, recorre-se sempre que possível à descrição física dos fenómenos que estão na base desses fatores ou dos respetivos descritores.

O risco dos ocupantes de um compartimento de um edifício serem afetados por um incêndio que aí ocorra depende, entre outros aspetos, do caudal de fumo libertado por essa fonte de calor e dos meios de segurança ao incêndio, quer passivos quer ativos, implementados nesse compartimento, que se refletem no seu tempo de evacuação. Nesta comunicação evidencia-se que as exigências regulamentares para locais de risco com meios ativos de controlo de fumo, são coerentes com o desenvolvimento de um incêndio de crescimento médio, conduzindo a consequências consideradas aceitáveis para os ocupantes. Assim, é razoável determinar-se o perigo de incêndio para os ocupantes do compartimento sinistrado através da comparação dos tempos total de perceção e de evacuação, por um lado, e de perigo (tempo findo o qual serão ultrapassadas condições que podem por em risco a permanência de pessoas desprotegidas),

por outro lado. Nesta comunicação apresenta-se o desenvolvimento e justificação técnica do método de cálculo de um coeficiente de risco que tem em conta estes aspetos.

A análise do risco de incêndio em edifícios pode ser uma alternativa à legislação, sendo importante no apoio à concretização de soluções em edifícios já existentes e aos quais não é possível aplicar a legislação atual. De facto, ao permitir desenhar a solução em função do que é possível aplicar a cada edifício chega a um determinado valor do risco, que é comparado com o máximo admissível dado pelo próprio método. Caso o projetista chegue a uma solução que tem um risco inaceitável, ele pode procurar uma outra até conseguir trazer esse risco para um valor admissível.

A análise de risco pode ser efetuada recorrendo a modelos de simulação ou a métodos de análise de risco. Existem diversos modelos de simulação com diferentes graus de desenvolvimento, mas nenhum deles contemplando todos os fatores com impacto no risco sendo constituídos, na generalidade dos casos, por um submodelo relativo ao desenvolvimento do incêndio e um outro relacionado com a evacuação do edifício. Dos diversos modelos pode-se enumerar, a título de exemplo, o BFIRE II, Building Fire Simulation Model, EMBER, Fire Risk Evaluation Method for Multi-occupancy Buildings, FiRECAM, HAZARD, Fire Evaluation and Risk Assessment, cuja descrição pode ser encontrada no documento [4]. Quanto aos métodos de análise de risco são conhecidos algumas dezenas, podendo agrupar-se, para efeitos de sistematização em três categorias distintas: qualitativos, semi qualitativos e analíticos. Os métodos qualitativos são meramente descritivos, citando-se a título de exemplo as designadas “checklists”. Quanto aos métodos semi qualitativos, embora façam uma quantificação do risco, as expressões que conduzem a essa quantificação são empíricas, contendo variáveis cujo valor foi atribuído, normalmente, por um painel de especialistas com base nos seu conhecimentos e experiência. Os valores atribuídos são então combinados através de funções matemáticas que permitem calcular o valor do risco. Como exemplo de métodos semi qualitativos cita-se o Gretener, o Frame, o FRIME, o “Value Matrix Method” e o XPS FIRE, cuja descrição pode ser encontrada no documento [4]. Nos métodos analíticos a quantificação faz-se com base em modelos matemáticos e físicos, não se conhecendo métodos com estas características. O método que está a ser desenvolvido no LNEC é essencialmente analítico.

2. METODOLOGIA

2.1 Generalidades

O controlo de fumo nos locais sinistrados, nas situações em que é obrigatório, destina-se a assegurar durante um período de tempo mais prolongado as condições ambientais adequadas para a evacuação do edifício e para a intervenção dos bombeiros. Os métodos de controlo de fumo que se aplicam na larga maioria destes casos baseiam-se na estratificação térmica, sendo então impostas à camada fria, onde se deslocam as pessoas, as exigências ambientais. Quanto à camada quente é imposto que a intensidade de radiação recebida por um alvo localizado numa condição desfavorável na camada fria seja ainda suportável. Assim, o problema do controlo de fumo, nestes casos, baseia-se em conhecer o caudal de exaustão que

é necessário assegurar para o plano de interface (plano que divide a camada quente de fumo da camada inferior fria) não descer abaixo de uma cota predefinida e para a camada quente não emitir radiação com uma intensidade superior a um limite tido como aceitável.

Dado que a potência calorífica libertada num incêndio pode rapidamente exceder limites considerados compatíveis com a presença humana, é necessário considerar essencialmente a evolução transiente do início do incêndio, sendo portanto relevante a comparação do tempo findo o qual o controlo de fumo deixa de ser capaz de assegurar essas condições, (tempo de perigo, Dt_{perigo}) com o tempo necessário para ser realizada a evacuação das pessoas e a intervenção dos bombeiros.

2.2 Crescimento da potência calorífica

De acordo com a norma NP EN 1991-1-2 [5], à semelhança do estabelecido pela norma NFPA 92 [5], a evolução da potência calorífica libertada pode ser adequadamente descrita por uma curva de crescimento parabólico com o tempo t (s), em que \dot{Q} é a potência calorífica libertada (kW) e t_{α} é o tempo (s) necessário para atingir uma taxa de libertação do calor de 1 MW.

$$\dot{Q} = 10^6 \left(\frac{t}{t_{\alpha}} \right)^2 \quad (1)$$

Os tempos de crescimento associados a cada tipo de ocupação estão indicados na Tabela 1 e na Figura 1 as curvas correspondentes às três taxas de crescimento da potência calorífica são representadas graficamente. A partir destas curvas, que caracterizam o desenvolvimento do incêndio, é possível estimar outras grandezas relevantes, como por exemplo o caudal de fumo libertado. Analisando a capacidade de exaustão de fumo dos sistemas de controlo de fumo é assim possível estimar um tempo a partir do qual o sistema de controlo de fumo deixa de assegurar condições para a evacuação de pessoas, que pode ser comparado com o tempo de evacuação previsto (Δt_{evac}) para se avaliar a possibilidade de virem a ocorrer vítimas.

Tabela 1: Tempo característico de crescimento e taxa máxima de libertação de calor de acordo com NP EN 1991-1-2 [4]

Ocupação	Taxa máxima de libertação de calor por unidade de área RHR_f		
	Taxa de crescimento do incêndio	t_{α} (s)	RHR_f (kW/m ²)
Habituação	Média	300	250
Hospital (quarto)	Média	300	250
Hotel (quarto)	Média	300	250
Biblioteca	Rápida	150	250
Escritório	Média	300	250
Salas de aulas de uma escola	Rápida	150	250
Teatro (cinema)	Rápida	150	250
Transporte (espaço público)	Lenta	600	250

2.3 Estimativa do caudal de fumo produzido

O caudal de fumo pode ser estimado a partir da potência calorífica convectiva libertada, conhecendo-se a altura da pluma térmica. De acordo com a NFPA 92 [6] esse valor pode ser obtido a partir das equações 2, 3 e 4 para plumas axissimétricas.

$$z_t = 0,166\dot{Q}_c^{2/5} \quad (2)$$

$$\text{quando } z > z_t, \dot{m} = \left(0,071\dot{Q}_c^{1/3}z^{5/3}\right) + 0,0018\dot{Q}_c \quad (3)$$

$$\text{quando } z \leq z_t, \dot{m} = 0,032\dot{Q}_c^{3/5}z \quad (4)$$

Em que:

z_t - Cota limite de referência (m);

Q_c - Potência calorífica convectada (W);

Z - Distância acima da base da fonte de calor a que se encontra a interface entre a camada quente e a fria (m);

\dot{m} - Caudal mássico de fumo que escoo na pluma à cota z (kg/s).

Tendo em conta que se pretende caracterizar uma fase de desenvolvimento do incêndio em que a cota do plano de interface será já relativamente baixa, pelo que a altura da pluma será mais reduzida, a expressão adequada para estimar o caudal de fumo será, em princípio, a equação 4. Esta norma [6] recomenda que se considere que a potência convectada é 70% da potência total.

Finalmente é necessário discutir a altura a considerar na pluma. Admite-se, como situação mais desfavorável, que a fonte de calor está no piso. O caudal de fumo aumenta com a cota na pluma até ao plano de interface. O plano de interface deverá estar situado:

1. Pelo menos 0,10 m acima da base do painel de cantonamento;
2. À altura especificada no CEN/TR 12101-5 [7], expressa na Tabela 2, se superior à condição 3;
3. Pelo menos 0,10 m acima do lintel da porta (o mais elevado quando existem portas a diferentes cotas), se superior à condição 2;
4. A uma cota definida pela regulamentação aplicável (nesse caso a existência de barreiras arquitetónicas deverá permitir que esse limite seja cumprido).

Para um primeiro exercício de aplicação, assume-se que a cota da camada de interface é de 3,0 m. Dessa condição, admitindo que a produção de fumo é dada pela expressão 4 e considerando as curvas características de desenvolvimento de incêndio expressas por 2 resulta o gráfico da Figura 2, que apresenta uma estimativa da libertação de fumo ao longo do tempo.

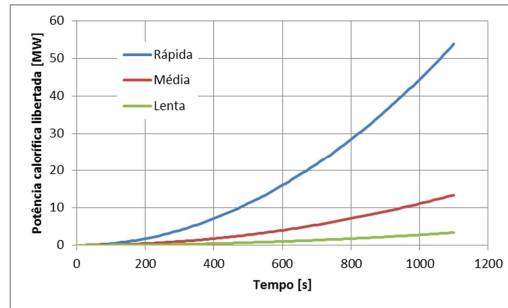


Figura 1 – Curvas de crescimento da potência calorífica para 3 taxas de crescimento distintas

A temperatura do fumo T pode ser calculada de acordo com a expressão 5. Conhecendo a temperatura, o caudal volúmico pode ser obtido por aplicação da expressão 6. Na Figura 2 apresentam-se ainda a estimativa da temperatura média na camada quente, para as mesmas condições que serviram de base ao gráfico precedente. Na Figura 3 apresenta-se, também para as mesmas condições, a estimativa do caudal volúmico de fumo libertado.

$$\text{---} \text{---} \text{---} \quad (5)$$

$$\text{---} \quad (6)$$

Tabela 2 - Altura mínima do fumo acima dos caminhos de evacuação	
Tipo de edifício	Altura mínima (Y)
Edifícios públicos como, espaços comerciais de 1 só piso, salas de exposições	3,0 m
Edifícios que não recebem público (escritórios, apartamentos, átrios abertos tipo prisão)	2,5 m
Parques de estacionamento cobertos	2,5 m ou 0,8 H

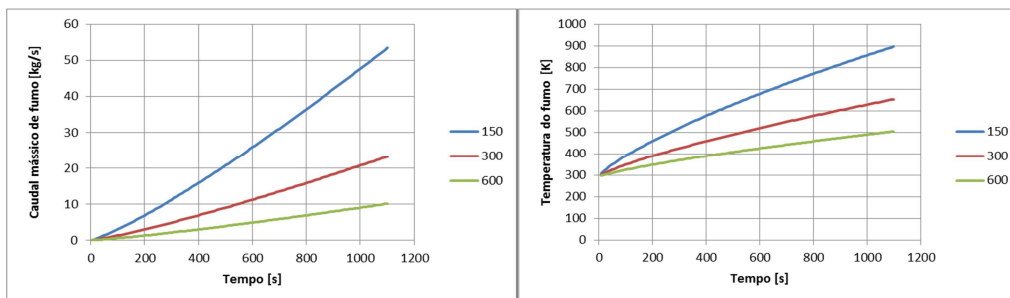


Figura 2: Crescimento do caudal mássico de fumo (esquerda) e crescimento da temperatura da pluma (direita) a 3 m de altura

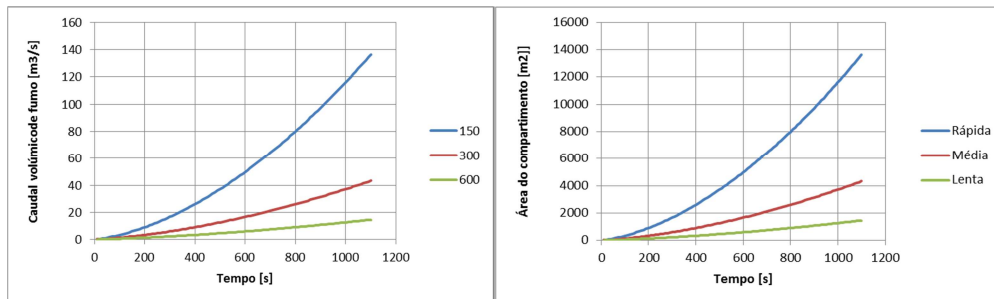


Figura 3: Crescimento do caudal volúmico de fumo a 3 m de altura (esquerda) e tempo limite para a qual é satisfeita a exigência regulamentar de controlo de fumo (direita)

Para os locais sinistrados, o número 2 do Artigo 154.º (Instalações de desenfumagem ativa) da Portaria n.º 1532/2008 [2] especifica que “as bocas de extração devem ser distribuídas à razão de uma por cada 320 m² de área do local e proporcionar um caudal de 1 m³/s por cada 100 m² de área do local, com um mínimo de 1,5 m³/s”. Verifica-se assim que a libertação de fumo só é equilibrada pelas exigências regulamentares para os tempos indicados na Figura 3, em função da curva típica de crescimento da potência calorífica libertada. Depois dos instantes de tempo representados nesta curva o plano de interface baixa, pondo em causa a evacuação dos ocupantes.

2.4 Tempo de evacuação

O tempo necessário para evacuar o cenário de incêndio resulta da soma das seguintes componentes distintas:

- Tempo gasto pelos primeiros ocupantes para atingir as saídas;
- Tempo necessário para os ocupantes atravessar as saídas para as VHE.

Assim, a exposição no cenário pode exprimir-se pela seguinte equação:

(7)

em que :

T_{PS} - Tempo necessário para os primeiros ocupantes atingirem as saídas do cenário de incêndio;

T_{AS} - Tempo correspondente ao atravessamento das saídas por parte dos ocupantes.

Para a determinação do tempo de evacuação do cenário de incêndio considerou-se que os ocupantes se distribuem pelas diferentes saídas de modo a manter a densidade de ocupação constante. O tempo de evacuação do cenário de incêndio depende de vários fatores dos quais se destacam o efetivo e o número e largura das saídas desse cenário. Na determinação do referido tempo foram introduzidas diversas hipóteses simplificativas das quais se destacam as seguintes:

- A densidade no cenário de incêndio é constante no decurso da evacuação;

- As diferentes saídas são transformadas numa única de largura igual à soma das larguras

A velocidade de deslocação pode ser obtida a partir da seguinte equação:

$$V_E = (112 \cdot D_a^4 - 380 \cdot D_a^3 + 434 \cdot D_a^2 - 217 \cdot D_a - 12) (1,49 - 0,36 \cdot D_a) \quad (8)$$

em que:

V_E - Velocidade horizontal para condições de movimento de emergência (m/s)

D_a - Densidade adimensional (m^2/m^2 - área ocupada pelas pessoas que estão num m^2 , considerando que cada uma ocupa $0,125 m^2$)

A partir do conhecimento do percurso médio (L_m) efetuado pelos ocupantes no cenário incêndio determina-se o tempo correspondente a esse percurso mediante a seguinte equação:

$$T_{AS} = \frac{L_m}{V_E} \quad (9)$$

Quanto ao tempo que os ocupantes demoram a atravessar as saídas do cenário de incêndio (T_{AS}), se se considerar que:

P - Efetivo do cenário de incêndio;

L_S - Somatório das larguras das várias saídas (m)

então o tempo T_{AS} de atravessamento dos vãos é obtido a partir da seguinte equação:

$$T_{AS} = \frac{L_S \cdot P}{(112 \cdot D_a^4 - 380 \cdot D_a^3 + 434 \cdot D_a^2 - 217 \cdot D_a - 12) (1,49 - 0,36 D_a) (1,17 + 0,13 \operatorname{sen}(6,03 \cdot D_a - 0,12))} \quad (10)$$

Considerando compartimentos com diferentes áreas e cujas saídas respeitam a legislação nacional verifica-se para uma densidade média de ocupação de $0,5$ pessoas/ m^2 , recorrendo às expressões 9 e 10, que a distribuição dos tempos de evacuação com a área do compartimento sinistrado é a representada na Figura 4. Verifica-se que os tempos máximos de evacuação Δt_{evac} correspondentes aos exemplos analisados são limitados superiormente pela seguinte envolvente (curva contínua representada na Figura 4, ajustada pelo método dos mínimos quadrados), sendo A a área do local:

$$T_{ECI} = 9,03136A^{0,48} \quad (11)$$

Verifica-se assim que a utilização desta curva para estimar os tempos de evacuação em função da área é conservativa, o que permite a simplificação do processo de cálculo.

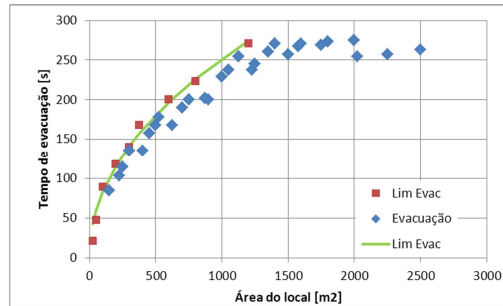


Figura 4: Distribuição do tempo de evacuação em função da área do local

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram comparadas as atuais exigências regulamentares de caudal de controlo de fumo em função da área do compartimento sinistrado com os respetivos tempos de evacuação. Se se admitir que as pessoas só iniciam a sua evacuação após a deteção e o respetivo alarme, então é necessário adicionar aos tempos de evacuação o tempo que decorre entre o início do incêndio e a deteção (admitindo que o alarme decorre imediatamente da deteção). Na Figura 5 apresenta-se o resultado dessa comparação. No que respeita à temperatura do fumo, correntemente considera-se que a intensidade de radiação de $2,5 \text{ kW/m}^2$ constitui o limite aceitável para pessoas desprotegidas. Esta intensidade de radiação é emitida por uma camada de fumo infinita, assimilada a um corpo negro, quando se encontra à temperatura de cerca de $180 \text{ }^\circ\text{C}$ (aproximadamente 453 K). Na Figura 8 compara-se o tempo de evacuação com curvas que indicam o tempo findo o qual a temperatura da camada quente excede $180 \text{ }^\circ\text{C}$.

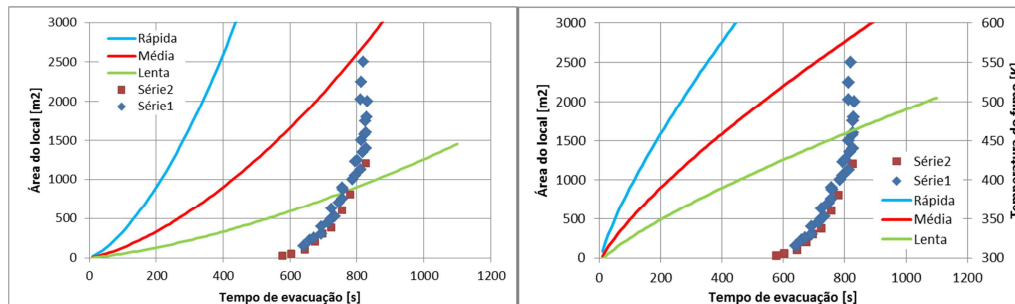


Figura 5: Comparação dos tempos previstos de evacuação e deteção com exigência regulamentar de controlo de fumo (esquerda) e com a temperatura do fumo (direita)

Verifica-se claramente que os tempos totais que decorrem até ao fim da evacuação não são compatíveis com o tempo de desenvolvimento do incêndio. Contudo, estando os ocupantes presentes no cenário de incêndio não é credível que a evacuação só tenha início após a entrada em funcionamento do SADI. Assim, considerou-se como critério para o início da evacuação a libertação de uma potência calorífica suficientemente intimidatória, que neste caso foi considerada igual a $0,1 \text{ MW}$, para os ocupantes iniciarem a sua evacuação. O tempo

que decorre desde a ignição até ser atingida essa potência, para um incêndio de taxa de crescimento média, é de 100 s. Consta-se o seguinte (Figura 6):

- Os caudais de exaustão de fumo regulamentares são compatíveis com os tempos previstos de evacuação na condição de incêndio de crescimento médio para locais com mais de 300 m².
- Para locais com mais de 2200 m² de área todas as configurações permitem tempos de evacuação compatíveis com a condição de incêndio de crescimento rápido.

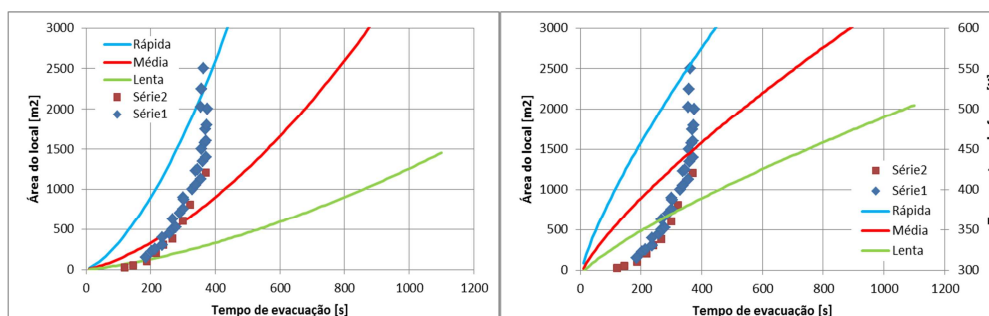


Figura 6: Comparação dos tempos de percepção de incêndio e previsto para a evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo (esquerda) e com a temperatura do fumo (direita)

Conclui-se que pode ser estabelecido um coeficiente de risco por comparação entre o tempo de perigo e o tempo máximo de evacuação acrescido do tempo que decorre até ao início da evacuação. Este coeficiente reflete quer os meios de controlo de fumo quer o tipo de ocupação do local sinistrado (bem como a evacuação desse local).

4. CONCLUSÕES

Os cálculos precedentes evidenciam que as exigências regulamentares são coerentes com o desenvolvimento de um incêndio de crescimento médio. Assim, é razoável exigir ao projetista que determine o perigo de incêndio para os ocupantes do compartimento sinistrado através da comparação dos tempos total de percepção e de evacuação e de perigo.

Pode ser estabelecido um coeficiente de risco por comparação entre o tempo findo o qual serão ultrapassadas condições que podem por em risco a permanência de pessoas desprotegidas (tempo de perigo) e o tempo máximo de evacuação (Δt_{evac}) acrescido do tempo que decorre até ao início da evacuação ($\Delta t_{\text{inicial}}$). O tempo de perigo (Δt_{per}) é o mínimo correspondente aos seguintes tempos:

1. Tempo a partir do qual a temperatura da camada quente excede 180°C; calculado pela Figura 6 (ou diretamente a partir das equações anteriormente descritas);
2. Tempo a partir do qual o plano de interface desce abaixo de um valor convencional (ver Tabela 2), calculado pela Figura 6 (ou diretamente a partir das equações anteriormente descritas).

Este coeficiente de risco pode assim ser obtido da seguinte forma:

$$C_r = \frac{\Delta t_{\text{evac}} + \Delta t_{\text{inicial}}}{\Delta t_{\text{per}}} \quad (12)$$

Dado que se este coeficiente for superior a 1 podem ocorrer mortes no local sinistrado, é razoável exigir-se que sejam adotados meios de mitigação do risco tal que $C_r < 1$. Este coeficiente deve afetar o perigo de incêndio de forma que o risco de incêndio possa ser reduzido na medida em que forem adotados meios que reduzam significativamente este coeficiente.

REFERÊNCIAS

- [1] Decreto-Lei n.º 220/2008 [Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios]. Diário da República, 1.ª Série. Número 220 (2008-11-12) pp. 7903-7922.
- [2] Portaria n.º 1532/2008 [Aprova o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE)]. Diário da República, 1.ª Série. Número 250 (2008-12-29) pp. 9050-9127.
- [3] Araújo Correia, André G. Ferreira - Desenvolvimento e Implementação Numérica de um Modelo de Análise de Risco de Incêndio Urbano - MARIEE - Edifícios Administrativos, Escolares, Habitacionais, Hospitalares e Hoteleiros". Tese apresentada para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. FEUP, janeiro de 2014.
- [4] Coelho, A. Leça – Proposta de uma nova metodologia de abordagem à segurança ao incêndio em Portugal. Lisboa: LNEC, 2006. Programa Conjunto de Investigação e de Pós-Graduação a apresentar às provas públicas para obtenção do título de habilitado para o exercício de funções de Coordenação Científica.
- [5] NP EN 1991-1-4. Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-2: Ações gerais em estruturas expostas ao fogo. Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [6] NFPA 92: 2012. Standard for smoke control systems. National Fire Protection Association, 2011.
- [7] CEN/TR 12101-5. Smoke and Heat Control Systems - Part 5 Guidelines on Functional Recommendations and Calculation Methods for Smoke and Heat Exhaust Ventilation Systems. CEN: Bruxelas, 2005.