



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE RISCO

**Contribuição para o Método de Análise de Risco
de Incêndio em Edifícios Existentes (MARIEE)**

Lisboa • dezembro de 2015

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 392/2015 – DED/NAICI

Título

CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE RISCO

Contribuição para o Método de Análise de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes (MARIEE)

Autoria

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação, Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

António Leça Coelho

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estudos Urbanos e Territoriais

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 392/2015

Proc. 0809/124/18736

CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE RISCO

Contribuição para o método de análise de risco de incêndio em edifícios existentes (MARIEE)

Resumo

O LNEC iniciou no primeiro trimestre de 2013 o desenvolvimento dum Método de Análise de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes (MARIEE). Esse método tem como objetivo constituir, no futuro, uma alternativa à aplicação da atual legislação de segurança ao incêndio nas operações de reabilitação de edifícios.

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 a essas manifestações. No MARIEE as consequências são determinadas, separadamente, para os locais, para as vias horizontais e para as vias verticais de evacuação.

Neste documento 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 ativos de controlo de fumo, considerando um índice de ocupação igual a 0,5 pessoas por m².

Palavras-chave: Edifícios existentes / Risco / Controlo de fumo / Evacuação / Legislação

MECHANICAL SMOKE CONTROL IN FIRE COMPARTMENTS AND EVACUATION

Contribution to the fire risk analysis method for existing buildings (MARIEE)

Abstract

LNEC started in the first quarter of 2013 the development of a Fire Risk Analysis Method for Existing Buildings (MARIEE). This method aims to be in the future, an alternative to the application of current fire security regulation in the building rehabilitation.

In MARIEE method there is a so called “consequences coefficient”, both for hazardous locations or for escape routes. The “consequences” are the result of a balance between the risk represented by various manifestations associated with fire (an increase of temperature, presence of toxic gases, smoke, etc.) and the exposure to these events. In MARIEE the consequences are determined separately for the locations for the horizontal and vertical routes of escape routes.

This report presents a study to support the development of MARIEE as regards the determination of the consequences in hazardous locations equipped with active means for smoke control, considering a load factor of 0.5 people per m².

Keywords: Existing buildings / Risk / Smoke control / Evacuation / Regulation

Índice

1	Enquadramento do documento	1
2	Desenvolvimento do incêndio e controlo de fumo	3
2.1	Introdução	3
2.2	Crescimento da potência calorífica	3
2.3	Estimativa do caudal de fumo produzido	6
2.4	Efeitos das exigências regulamentares de meios de ativos de controlo de fumo em locais de risco	10
3	Tempo de exposição ao incêndio	11
3.1	Aspetos gerais	11
3.2	Tempo de deteção	11
3.2.1	Aspetos gerais	11
3.2.2	O cenário de incêndio tem um SADI	11
3.2.3	O cenário de incêndio não tem um SADI	12
3.3	Modelação do tempo de resposta dos sistemas de deteção	13
3.3.1	Transferência de calor para o detetor	13
3.3.2	Resposta dos detetores térmicos	15
3.3.2.1	Aspetos gerais	15
3.3.2.2	Temperatura do jato de teto em função da posição dos detetores em relação ao foco de incêndio	15
3.3.2.3	Velocidade do jato de teto	16
3.3.2.4	Tempo de resposta dos detetores	17
3.4	Tempo de evacuação do cenário de incêndio	18
4	Comparação entre tempo disponível e o necessário para evacuar o cenário de incêndio	21
5	Conclusões	25
	Referências Bibliográficas	27
	Anexos	29
	ANEXO I Tempo de deteção de SADI baseados em detetores térmicos	31
	ANEXO II Tempos de evacuação do cenário de incêndio	35

Índice de figuras

Figura 2.1 – Correspondência entre curvas de crescimento da potência calorífica e a combustão de objetos, de acordo com NFPA 92 [3]	4
Figura 2.2 – Alocação de curvas de crescimento da potência calorífica a famílias de produtos, de acordo com NFPA 92 [3]	4
Figura 2.3 – Curvas de crescimento da potência calorífica para 3 taxas de crescimento distintas	5
Figura 2.4 – Curvas de crescimento do caudal mássico de fumo a 3 m de altura	9
Figura 2.5 – Curvas de crescimento da temperatura da pluma a 3 m de altura	9
Figura 2.6 – Curvas de crescimento do caudal volúmico de fumo a 3 m de altura	10
Figura 2.7 – Limite de tempo até ao qual a exigência regulamentar de controlo de fumo é compatível com uma camada fria de 3 m de altura	10
Figura 3.1 – Representa esquemática da transferência de calor para o detetor	13
Figura 3.2 – Posição relativa entre o foco de incêndio e o detetor	16
Figura 3.3 – Ajustamento de uma função contínua aos tempos de deteção	18
Figura 3.4 – Distribuição do tempo de evacuação em função da área do cenário de incêndio	20
Figura 4.1 – Comparação dos tempos previstos de evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo	21
Figura 4.2 – Comparação dos tempos previstos de evacuação com a temperatura do fumo	22
Figura 4.3 – Comparação dos tempos previstos de deteção e evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo com o início da evacuação dado pelo quadro do Anexo II	22
Figura 4.4 – Comparação dos tempos de perceção e previsto para a evacuação com a temperatura do fumo com o início da evacuação dado pelo quadro do Anexo II	23
Figura 4.5 – Comparação dos tempos de perceção de incêndio e previsto para a evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo com início da evacuação aos 100 s	23
Figura 4.6 – Comparação dos tempos de perceção e previsto para a evacuação com a temperatura do fumo com início da evacuação aos 100 s	24

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Tempo característico de crescimento, de acordo com NFPA 92 [3].....	4
Quadro 2.2 – Tempo caraterístico de crescimento (t_{α}) e taxa máxima de libertação de calor por unidade de área (RHR_f) de acordo com NP EN 1991-1-2 [4].....	5
Quadro 2.3 – Altura mínima do fumo acima dos caminhos de evacuação.....	8

1 | Enquadramento do documento

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 para estabelecer as “Exigências Técnicas Mínimas para a Reabilitação de Edifícios Antigos”. A Comissão Redatora era composta por oito entidades, sendo uma delas o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). No ponto 4 deste Despacho especificava-se que “*com vista à prossecução dos seus trabalhos, a Comissão Redatora pode requerer a colaboração ou proceder à consulta de outras entidades que entender necessárias e relevantes*”. Nesse enquadramento o LNEC criou um grupo de trabalho no âmbito da segurança contra incêndio com o objetivo de acompanhar e apoiar o desenvolvimento de 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 incremento de uns meios possa compensar a redução ou inexistência de outros. 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 da constituição de 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)¹. Esse método 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 tempo disponível para o evacuar. Neste documento evidencia-se que as exigências regulamentares [2] para locais de risco com meios ativos de controlo de fumo, para um índice de ocupação de 0,5 pessoas por m², são coerentes com o desenvolvimento de um incêndio de crescimento médio, conduzindo a consequências consideradas aceitáveis para os ocupantes. Assim, para essas condições, é razoável considerar que o perigo de incêndio para os ocupantes do compartimento sinistrado possa ser determinado através da comparação dos tempos total de

¹ A descrição geral do MARIEE é apresentada num outro documento, a publicar, com a designação “MARIEE: Método de Análise do Risco de Incêndio e Edifícios Existentes. Fundamentos do método”.

perceção e de evacuação e de perigo (tempo findo o qual serão atingidas e ultrapassadas condições ambientais que podem por em risco a permanência de pessoas desprotegidas).

Pode, assim, 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 as condições de evacuação desse local, pelo que tais grandezas não deverão influenciar outros coeficientes no cálculo do risco de incêndio. Note-se que a existência e eficácia de meios de controlo de fumo nos caminhos de evacuação não estão consideradas neste coeficiente de risco, pelo que deverão ser considerados noutros.

Neste documento apresenta-se o desenvolvimento e justificação técnica do método de cálculo deste coeficiente de risco para as condições de cenário de incêndio aqui consideradas.

2 | Desenvolvimento do incêndio e controlo de fumo

2.1 Introdução

O controlo de fumo nos locais sinistrados, nas situações em que é obrigatório, destina-se a prolongar 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 (que daqui em diante será referido como 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 NFPA 92 [3], a evolução da potência calorífica libertada pode ser adequadamente descrita por uma curva de crescimento parabólico com o tempo t , em que \dot{Q} é a potência calorífica libertada (kW), t o tempo (s) e t_g um tempo de crescimento característico de um cenário de incêndio (s).

$$\dot{Q} = 1055 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad \text{Equação 2.1}$$

O tempo característico de crescimento t_g está indicado no Quadro 2.1. Verifica-se experimentalmente que as várias curvas parabólicas de crescimento da potência calorífica libertada se adequam bem a famílias de combustíveis.

Na Figura 2.1 pode observar-se a correspondência entre curvas de crescimento da potência calorífica e a combustão de objetos e na Figura 2.2 mostra-se a alocação de curvas de crescimento da potência calorífica a famílias de produtos.

Quadro 2.1 – Tempo característico de crescimento, de acordo com NFPA 92 [3]

Classe de cenário de incêndio	Tempo (s)
Ultrarrápido	75
Rápido	150
Médio	300
Lento	600

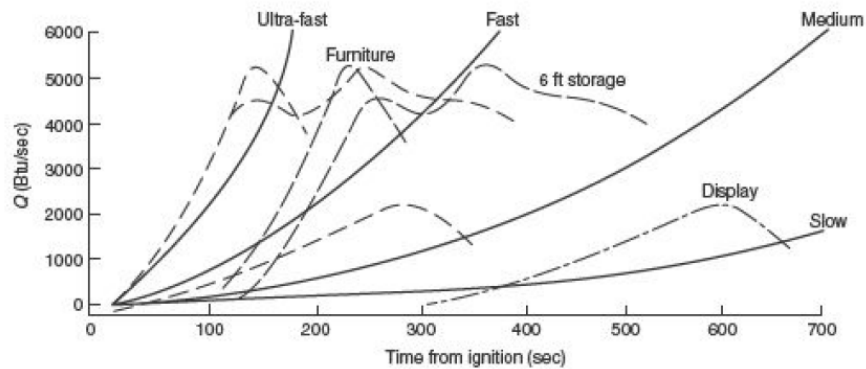


Figura 2.1 – Correspondência entre curvas de crescimento da potência calorífica e a combustão de objetos, de acordo com NFPA 92 [3]

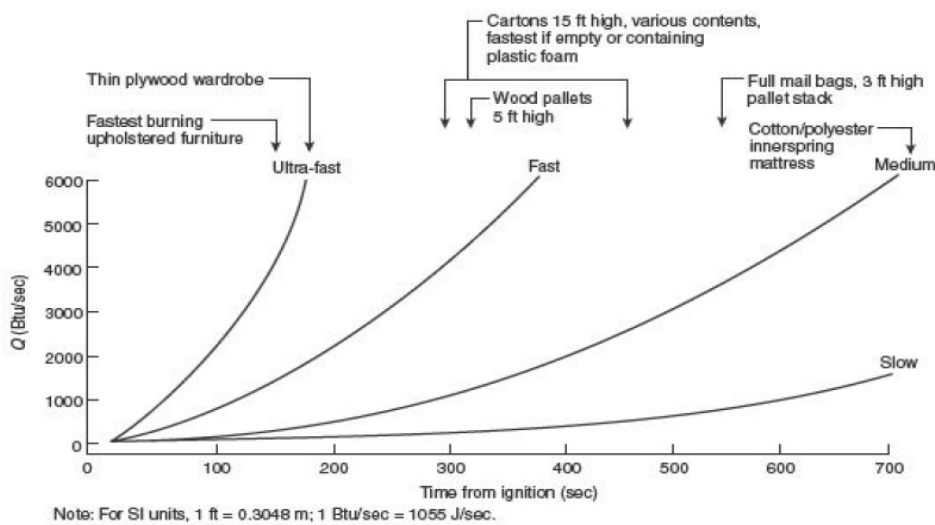


Figura 2.2 – Alocação de curvas de crescimento da potência calorífica a famílias de produtos, de acordo com NFPA 92 [3]

A norma NP EN 1991-1-2 [4], no seu anexo E, generaliza este conceito da combustão de objetos para o desenvolvimento de incêndios em compartimentos. A curva de crescimento da potência calorífica é descrita pela Equação 2.2, que fez o arredondamento da Equação 2.1 para o sistema SI de unidades, em que t_{α} é o tempo necessário para atingir uma taxa de libertação do calor de 1 MW. Os tempos de crescimento associados a cada tipo de ocupação estão indicados no Quadro 2.2 e na

Figura 2.3 as curvas correspondentes às três taxas de crescimento da potência calorífica são representadas graficamente, em que \dot{Q} está expresso em W, t e t_α em s.

$$\dot{Q} = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad \text{Equação 2.2}$$

Quadro 2.2 – Tempo característico de crescimento (t_α) e taxa máxima de libertação de calor por unidade de área (RHR_f) de acordo com NP EN 1991-1-2 [4]

Ocupação	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	500
Transporte (espaço público)	Lenta	600	250

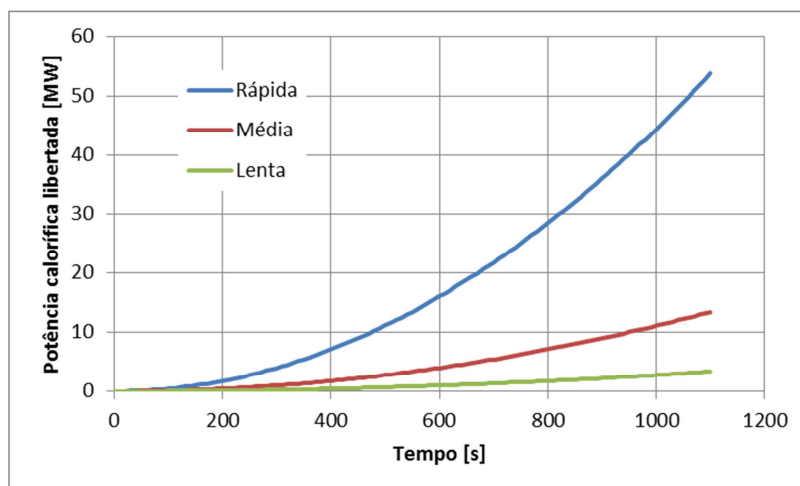


Figura 2.3 – Curvas de crescimento da potência calorífica para 3 taxas de crescimento distintas

A fase de crescimento é limitada por um patamar horizontal correspondente ao estado estacionário e a um valor de \dot{Q} obtido por $(RHR_f \cdot A_{fi})$, em que A_{fi} é a área máxima do incêndio² [m²] e RHR_f é a taxa máxima de libertação de calor produzida por 1 m² de fogo no caso de um incêndio controlado pelo combustível [kW/m²]. Esse período de combustão generalizada é muito relevante para a resistência ao fogo da estrutura, mas não é compatível com a presença de pessoas, pelo que tem um interesse prático muito reduzido para o problema do dimensionamento dos sistemas de controlo de fumo. Assim, torna-se mais relevante determinar os seguintes intervalos de tempo:

- Δt_{evac} – intervalo de tempo de evacuação, sendo o intervalo de tempo que decorre desde o início do incêndio até à conclusão da evacuação do cenário de incêndio;

² Corresponde à área dum compartimento de incêndio em que a carga de incêndio está uniformemente distribuída, mas que poderá ser menor no caso de um incêndio localizado.

- Δt_{sprink} – intervalo de tempo de início de extinção, sendo o intervalo de tempo que decorre desde o início do incêndio até à ativação dos sistemas automáticos de extinção de incêndio (a partir deste momento a evolução da potência calorífica segue uma evolução distinta da que tinha antes da atuação destes sistemas, dependendo essa evolução da densidade de descarga);
- Δt_{bomb} – intervalo de tempo de intervenção dos bombeiros, sendo o intervalo de tempo que decorre desde o início do incêndio até ao seu controlo pelos bombeiros (espera-se que a partir deste momento a potência calorífica não cresça mais).

Note-se que os intervalos de tempo Δt_{sprink} e Δt_{bomb} permitem estimar o valor máximo da potência calorífica libertada, enquanto o intervalo de tempo Δt_{evac} é relevante para a determinação das condições ambientais existentes no local de incêndio. Se o sistema de controlo de fumo não for capaz de gerar condições compatíveis com a evacuação dos ocupantes até ao fim deste intervalo de tempo, então deve ser considerado que o risco de ocorrência de vítimas não está adequadamente mitigado. Ainda no que respeita ao Δt_{bomb} é necessário também que seja cumprida a exigência de que existem condições ambientais adequadas para a permanência dos bombeiros no local sinistrado até ao fim desse tempo. Se não for cumprida essa exigência o desenvolvimento do incêndio não é limitado. Para efeitos práticos, nos aspetos subsequentes deste documento focar-se-ão essencialmente no intervalo de tempo de evacuação.

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 [1] esse valor pode ser obtido a partir das Equações 2.3, 2.4 e 2.5 para plumas axissimétricas.

$$z_t = 0,166\dot{Q}_c^{2/5} \quad \text{Equação 2.3}$$

$$\text{quando } z > z_t, \dot{m} = \left(0,071\dot{Q}_c^{1/3}z^{5/3}\right) + 0,0018\dot{Q}_c \quad \text{Equação 2.4}$$

$$\text{quando } z \leq z_t, \dot{m} = 0,032\dot{Q}_c^{3/5}z \quad \text{Equação 2.5}$$

em que:

z_t - Cota limite de referência (m)

\dot{Q}_c - Potência calorífica convectada (kW)

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 equação adequada para estimar o caudal de fumo será, em princípio, a Equação 2.5. Esta norma

recomenda que se considere que a potência convectada é 70% da potência total. Contudo, neste documento considerou-se que a potência calorífica convectada é igual a 80% da potência total.

O caudal de fumo que se escoar na pluma pode ainda ser calculado com base nas Equações 2.6 e 2.7 apresentadas no documento CEN/TR 12101-5 [5].

$$\text{Se } Y > 10A_f^{0,5}, \quad \dot{m}_f = 0,071\dot{Q}_f^{0,33}(Z - z_0)^{1,67}[1 + 0,026\dot{Q}_f^{0,67}(Z - z_0)^{-1,67}] \quad \text{Equação 2.6}$$

$$\text{Se } Y \leq 10A_f^{0,5}, \quad \dot{m}_f = C_ePY^{3/2} \quad \text{Equação 2.7}$$

em que:

A_f - Área da fonte de calor (m^2)

Y - Altura acima do plano neutro (m)

\dot{m}_f - Caudal mássico de fumo que escoar à cota acima da fonte de calor especificada (kg/s)

\dot{Q}_c - Potência calorífica convectada (kW)

Z - Altura acima da fonte de calor (m^2)

z_0 - Cota da origem virtual da pluma acima da fonte de calor (m) e P é o perímetro da fonte de calor (medida na horizontal, m)

Quanto ao fator C_e assume os seguintes valores:

- a) 0,19 para grandes espaços tais como auditórios, “open-spaces”, estádios, átrios em que a cobertura está muito acima do incêndio.
- b) 0,337 para pequenos espaços como lojas comerciais, escritórios individuais, quartos de hotel, etc. com aberturas de ventilação localizadas predominantemente de um dos lados da fonte de calor, por exemplo quando as janelas estão posicionadas numa única fachada.

A Equação 2.6 requer a estimativa da origem virtual, que é feita através da Equação 2.8, sendo D o diâmetro da fonte de calor (m).

$$z_0 = -1,02D + 0,083\dot{Q}_f^{0,4} \quad \text{Equação 2.8}$$

Note-se a semelhança entre as expressões do CEN/TR 12101-5 [5] e as da norma NFPA 92 [3]. Tal como anteriormente, 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, a equação adequada para estimar o caudal de fumo será, em princípio, a Equação 2.7.

Tendo em conta a semelhança das expressões e considerando que as expressões da norma NFPA 92 [3] são de utilização mais simples, uma vez que dependem unicamente da potência calorífica convectada e da altura da pluma, enquanto as do CEN/TR 12101-5 dependem também de outras grandezas geométricas relacionadas com a fonte de calor, considera-se mais adequado sob o ponto de vista prático utilizar seguidamente as expressões da NFPA 92 [3].

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:

- Pelo menos 0,10 m acima da base do painel de cantonamento;
- A altura especificada no CEN/TR 12101-5 [5], expressa no Quadro 2.3, se superior à condição 3 m;
- Pelo menos 0,10 m acima do lintel da porta (o mais elevado quando existem portas a diferentes cotas), se superior à condição anterior;
- A uma cota definida pela regulamentação aplicável (nesse caso a existência de barreiras arquitetónicas deverá permitir que esse limite seja cumprido).

Quadro 2.3 – Altura mínima do fumo acima dos caminhos de evacuação³

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

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 Equação 2.7 e considerando as curvas características de desenvolvimento de incêndio expressas pela Equação 2.2 resulta o gráfico da Figura 2.4, que apresenta uma estimativa da libertação de fumo ao longo do tempo.

A temperatura do fumo T pode ser calculada de acordo com a Equação 2.9. Conhecendo a temperatura, o caudal volúmico \dot{V} pode ser obtido por aplicação da Equação 2.10.

$$\dot{Q} = \dot{M}_f(c_p T - c_{p\infty} T_\infty) \Leftrightarrow T = \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{M}_f} + \frac{c_{p\infty}}{c_p} T_\infty \quad \text{Equação 2.9}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{M}_f}{\rho} \quad \text{Equação 2.10}$$

As grandezas envolvidas nas equações 2.9 e 2.10 têm as seguintes dimensões:

\dot{Q} - Potência calorífica libertada (W)

\dot{M}_f - Caudal mássico de fumo (kg/s)

c_p - Calor específico a pressão constante dos gases quentes [J/(kg.K)]

T - Temperatura média da camada quente (K)

$c_{p\infty}$ - Calor específico a pressão constante do ar [J/(kg.K)]

T_∞ - Temperatura do ar (K)

³ Neste quadro o H representa o pé-direito do local.

\dot{V} - Caudal volúmico de fumo (m^3/s)

ρ - Massa volúmica (kg/m^3)

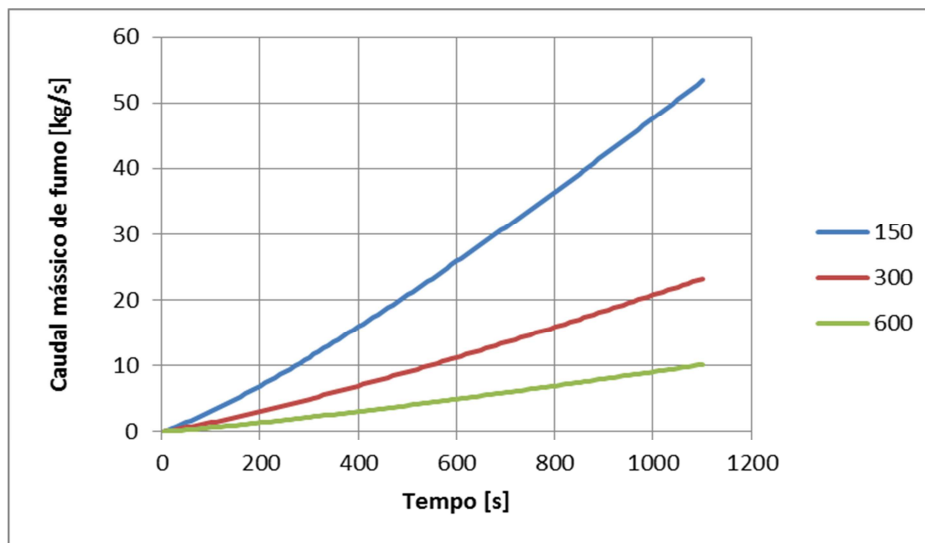


Figura 2.4 – Curvas de crescimento do caudal mássico de fumo a 3 m de altura

Na Figura 2.5 apresenta-se a estimativa da temperatura média na camada quente, para as mesmas condições que serviram de base ao gráfico da Figura 2.4.

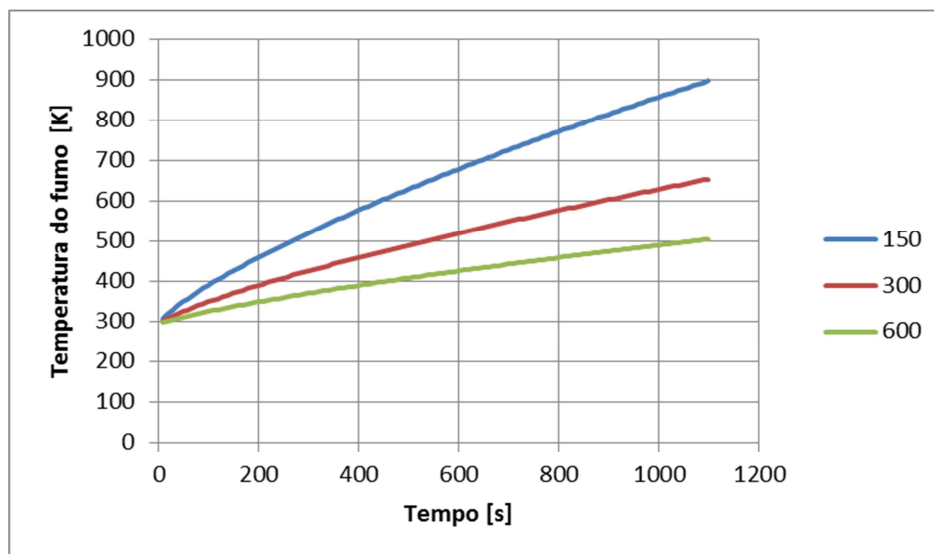


Figura 2.5 – Curvas de crescimento da temperatura da pluma a 3 m de altura

Na Figura 2.6 apresenta-se, também para as mesmas condições, a estimativa do caudal volúmico de fumo libertado.

Note-se que as exigências de projeto em controlo de fumo para especificação de ventiladores mecânicos são estabelecidas, normalmente, em termos de caudal volúmico.

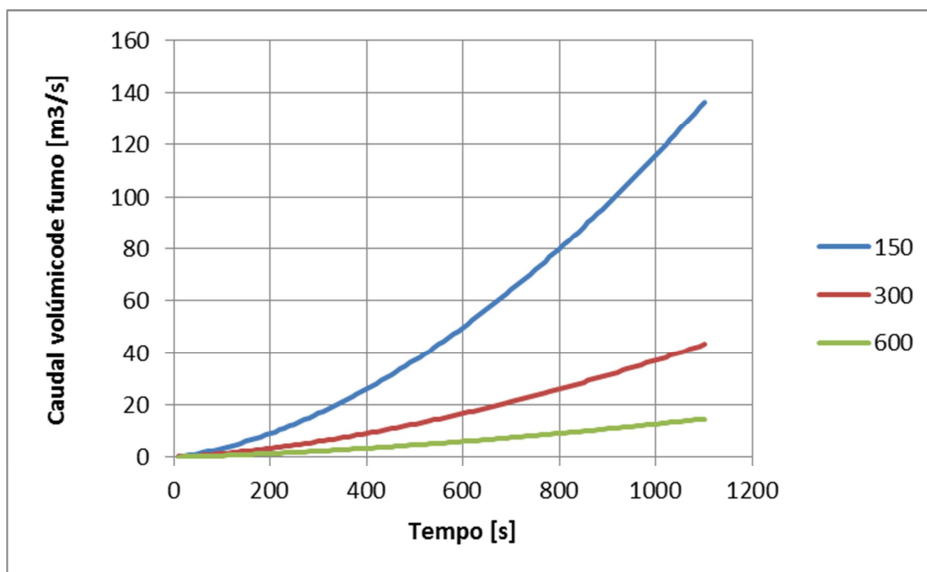


Figura 2.6 – Curvas de crescimento do caudal volumétrico de fumo a 3 m de altura

2.4 Efeitos das exigências regulamentares de meios de ativos de controlo de fumo em locais de risco

Para os locais sinistrados, o número 2 do Artigo 154.º (Instalações de desenfumagem ativa) da Portaria n.º 1532/2008 [1] 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 (no enquadramento do exemplo do qual resultaram as Figuras 2.4, 2.5 e 2.6) para os tempos indicados na Figura 2.7, 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.

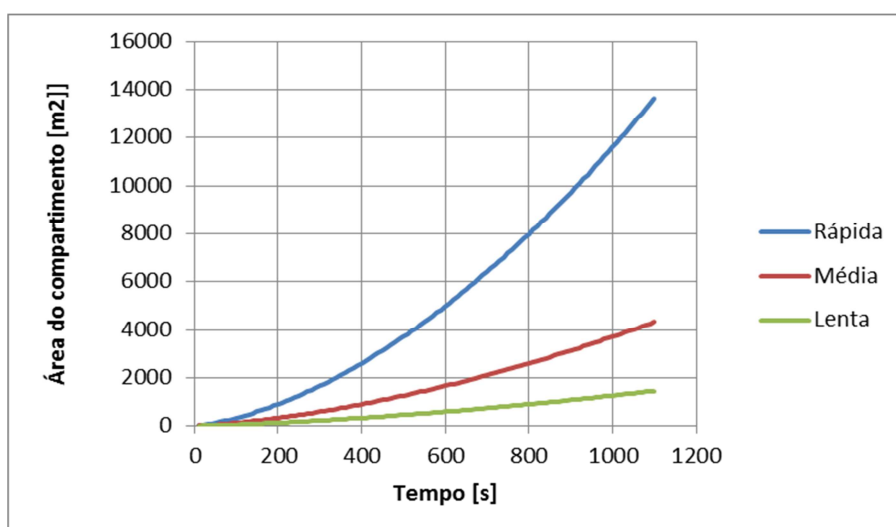


Figura 2.7 – Limite de tempo até ao qual a exigência regulamentar de controlo de fumo é compatível com uma camada fria de 3 m de altura

3 | Tempo de exposição ao incêndio

3.1 Aspetos gerais

A exposição dos ocupantes ao incêndio deve ser a menor possível, pelo que importa que a sua deteção ocorra nos momentos iniciais.

Essa deteção pode ser feita por um sistema automático (SADI) ou de forma casuística nos casos em que os edifícios não têm SADI.

A designada exposição ao incêndio num determinado local corresponde a um período de tempo que decorre entre o instante em que tem origem o incêndio e aquele que coincide com a saída do último ocupante desse cenário de incêndio.

A exposição no cenário de incêndio tem uma componente relativa à deteção do incêndio e outra relacionada com a evacuação desse local, podendo exprimir-se pela seguinte equação:

$$E_{CI} = T_{DI} + T_{ECI} \quad \text{Equação 3.1}$$

em que:

E_{CI} - Exposição no cenário de incêndio (s)

T_{DI} - Tempo de deteção no incêndio (s)

T_{ECI} - Tempo de evacuação do cenário de incêndio (s).

3.2 Tempo de deteção

3.2.1 Aspetos gerais

O instante em que o incêndio é detetado depende de vários fatores dos quais se destacam os seguintes:

- Existência, ou não de sistema automático de deteção de incêndio (SADI) no cenário.
- Ocupação, ou não, do cenário de incêndio.
- Estado de vigilância dos ocupantes.

Com base nos fatores anteriores foram consideradas várias hipóteses distintas quanto à deteção do incêndio, descritas nas secções seguintes.

3.2.2 O cenário de incêndio tem um SADI

A existência dum SADI no cenário de incêndio não significa que a deteção seja feita por esse sistema, pois isso depende do espaço estar, ou não, ocupado e do estado de vigilância dos ocupantes.

Assim, podem ocorrer as seguintes situações distintas:

- a) O incêndio ocorre quando o cenário está ocupado e as pessoas vigilantes
A deteção é dada pelos ocupantes, tendo-se considerado uma potência mínima de 100 kW para determinar esse instante. Nesta situação os ocupantes do cenário de incêndio são também contabilizados para efeitos de determinação do tempo de evacuação.

- b) O incêndio ocorre quando o cenário está ocupado mas as pessoas estão em repouso
A deteção neste caso considera-se que pode ser dada pelo SADI, ou pela manifestação de uma potência que é superior à que se verifica na situação em que as pessoas estão ativas, considerando-se no MARIEE que a potência em causa é significativamente superior à anterior, sendo considerado o menor dos tempos encontrados.

- c) O incêndio ocorre quando o cenário está desocupado
A deteção de incêndio será feita pelo SADI.

Para que se possa considerar a existência do SADI é necessário que no edifício exista energia de emergência e que estejam implementados planos de prevenção.

3.2.3 O cenário de incêndio não tem um SADI

Quando no cenário de incêndio não existe um SADI a deteção de incêndio vai sempre depender da observação casuística das pessoas, quer sejam ocupantes do cenário quer sejam ocupantes do edifício ou pessoas estranhas ao mesmo, podendo ocorrer as seguintes situações distintas:

- a) O incêndio ocorre quando o cenário está ocupado e as pessoas vigilantes
A deteção é dada pelos ocupantes, tendo-se considerado uma potência mínima de 100 kW para determinar esse instante. Nesta situação os ocupantes do cenário de incêndio são também contabilizados para efeitos de determinação do tempo de evacuação⁴.

- b) O incêndio ocorre quando o cenário está ocupado mas as pessoas estão em repouso
A deteção ocorre para uma potência superior à referida anteriormente mas que poderá, em determinados casos, ser inferior àquela que faz funcionar o SADI.

- c) O incêndio ocorre quando o cenário está desocupado
É previsível que na generalidade dos casos o incêndio só seja detetado quando a potência calorífica é bastante mais elevada do que a referida na hipótese anterior, dependendo de diversos fatores. Neste caso o efetivo usado para determinação do tempo de evacuação não considera os ocupantes do cenário de incêndio.

Das três situações anteriormente consideradas é necessário avaliar aquela que é mais desfavorável. No estado atual de desenvolvimento do MARIEE foi somente considerada a situação a).

⁴ Porque não existem espaços permanentemente ocupados deve ser analisada a hipótese do cenário estar desocupado, situação prevista na alínea c).

3.3 Modelação do tempo de resposta dos sistemas de deteção

3.3.1 Transferência de calor para o detetor

É possível estimar-se o instante de tempo a partir do qual ocorre a deteção (contado a partir da ignição) considerando que a evolução do incêndio corresponde a uma sucessão de estados estacionários. Nestas condições, o tempo de deteção corresponde à soma do tempo que decorre até ser atingida uma certa potência com o tempo de deteção correspondente a essa potência. O valor mínimo desta soma, quando se consideram diversas potências caloríficas libertadas, assume-se que corresponde ao instante de tempo de deteção.

Para se determinar o tempo de resposta dos sistemas automáticos de deteção baseados em detetores térmicos, é necessário modelar o escoamento do jato junto ao teto para estimar a temperatura e velocidade dos gases que atingem esses detetores.

Na Figura 3.1 representa-se esquematicamente a troca de calor entre o meio ambiente e a unidade de deteção.

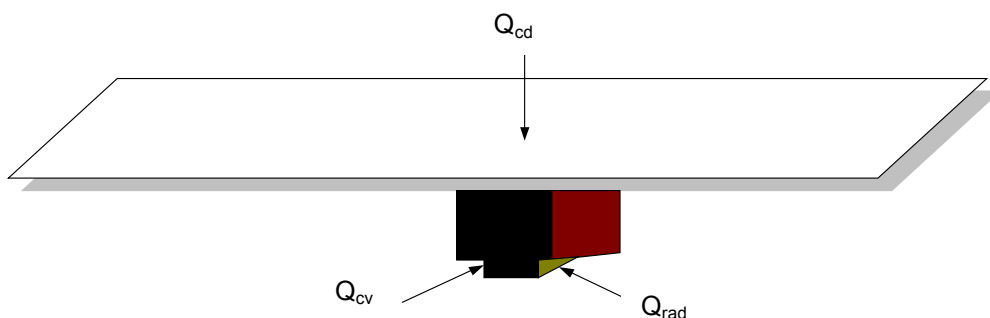


Figura 3.1 – Representa esquemática da transferência de calor para o detetor

A potência calorífica total Q_T que é recebida pelo elemento do detetor de incêndio que vai “medir” a variação de temperatura é igual a:

$$Q_T = Q_{cd} + Q_{cv} + Q_{rad} \quad \text{Equação 3.2}$$

- Q_T – Potência calorífica total (kW)
- Q_{cd} – Potência transmitida por condução (kW)
- Q_{cv} – Potência transmitida por convecção (kW)
- Q_{rad} – Potência transmitida por radiação (kW)

Na fase inicial de desenvolvimento do incêndio a transmissão por radiação pode ser desprezada pelo que resta a transmissão por condução e por convecção. Contudo, como os elementos da maior parte dos detetores de calor estão isolados do resto da unidade pode-se considerar, teoricamente, que o calor recebido pelo elemento do detetor que vai “medir” a variação da temperatura é devido

essencialmente ao fenómeno de convecção (Q_{cv}) sendo traduzido localmente pela seguinte equação [6]:

$$Q_{cv} = h_{cv} \times A_s (T_g - T_d) \quad \text{Equação 3.3}$$

em que:

h_{cv} - Coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A_s - Área do elemento do detetor que “mede” a variação da temperatura (m^2)

T_g - Temperatura dos gases do jato de teto que vão atuar sobre o detetor ($^\circ\text{C}$)

T_d - Temperatura do elemento de deteção ($^\circ\text{C}$)

Considerando que o elemento de deteção pode ser tratado como um corpo de massa m (kg), a variação da sua temperatura é traduzida pela seguinte equação:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{Q_{cv}}{m \times c} \quad \text{Equação 3.4}$$

em que:

$\frac{dT_d}{dt}$ - Variação da temperatura no elemento de deteção

m - Massa do elemento de deteção (kg)

c - Calor específico do elemento de deteção ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

Substituindo na equação anterior o valor de Q_{cv} pelo obtido a partir da Equação 3.3 resulta que:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{h_{cv} \times A_s (T_g - T_d)}{m \times c} \quad \text{Equação 3.5}$$

Considerando que o termo $\frac{m \times c}{h_{cv} \times A_s}$ representa a constante de tempo do detetor, substituindo o seu valor por τ a equação anterior toma a seguinte forma:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{A_s (T_g - T_d)}{\tau} \quad \text{Equação 3.6}$$

Para uma dada temperatura dos gases e velocidade do escoamento o fator τ aumenta com a massa do detetor, pelo quando esta é maior mais lento será o aquecimento do elemento.

Da análise da equação que dá o valor do τ verifica-se que a massa é independente da variação da temperatura e da velocidade do jato de teto que atinge o deteto e que o calor específico depende pouco da temperatura, ao contrário do coeficiente de transferência de calor por convecção que depende dessa velocidade.

Hollman [7] demonstrou que para corpos de forma esférica ou cilíndrica, como são os elementos dos detetores que “medem” a variação da temperatura, o coeficiente τ é aproximadamente proporcional à raiz quadrada do número de Reynolds (Re).

De forma a caracterizar a resposta dos detetores térmicos foi definida uma outra grandeza, designada de índice de tempo de resposta (RTI)⁵, cuja relação com τ é dada pela seguinte equação:

$$RTI = \tau \sqrt{u} \quad \text{Equação 3.7}$$

A variação da temperatura no elemento de deteção em função do RTI é igual a:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{1}{RTI} u^2 (T_g - T_d) \quad \text{Equação 3.8}$$

Conhecida a temperatura do jato de teto e a velocidade deste, assim como as características do detetor (RTI), o tempo de operação do detetor é determinado a partir da Equação 3.11.

Conhecida a equação fundamental que nos relaciona a variação da temperatura no elemento de deteção com as características, importa conhecer, quer a velocidade do jato de teto quer a sua temperatura, existindo vários modelos que nos permitem calcular esses valores, utilizando-se no MARIEE uma formulação proposta por Alpert [7].

3.3.2 Resposta dos detetores térmicos

3.3.2.1 *Aspetos gerais*

O algoritmo de Alpert [7] permite estimar a temperatura e a velocidade do jato de teto que atinge o detetor. Das características deste algoritmo destacam-se as seguintes:

- a) A temperatura dos gases do jato de teto é, em cada momento, função do calor produzido.
- b) A velocidade do jato de teto é, em cada momento, função do calor produzido.
- c) Não é contabilizado o tempo necessário para o transporte dos gases quentes até ao detetor.
- d) As correlações baseiam-se na potência calorífica total e não na fração convectiva.

3.3.2.2 *Temperatura do jato de teto em função da posição dos detetores em relação ao foco de incêndio*

A temperatura do jato de teto vai, naturalmente, influenciar o instante em que vai ocorrer a deteção do incêndio.

Considerando, de acordo com a Figura 3.2, que:

r – Distância, medida na horizontal, entre centro do foco incêndio e o detetor

H – Altura entre o foco de incêndio e o detetor

⁵ O recurso ao RTI para representar a transferência de calor é uma simplificação do processo real, pois a modelação do fluxo de gás que passa através objetos com formas irregulares é bastante complexo.

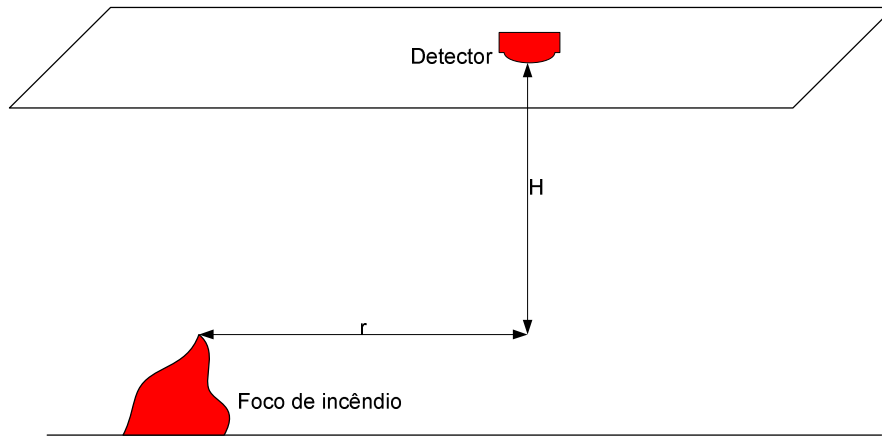


Figura 3.2 – Posição relativa entre o foco de incêndio e o detector

O valor da temperatura dos gases do jato de teto em função da relação entre r e H é o seguinte:

$$T_g - T_a = \begin{cases} \frac{5,38 \times \left(\frac{Q_T}{r}\right)^{\frac{2}{3}}}{H} & \text{se } \frac{r}{H} > 0,18 \\ \text{ou} & \\ \frac{16,9 \times Q_T^{\frac{2}{3}}}{H^{\frac{5}{3}}} & \text{se } \frac{r}{H} \leq 0,18 \end{cases} \quad \text{Equação 3.9}$$

em que:

T_g - Temperatura dos gases do jato de teto

T_a - Temperatura ambiente

3.3.2.3 Velocidade do jato de teto

Quanto à velocidade de escoamento do jato de teto as expressões deduzidas por Alpert são as seguintes:

$$u = \begin{cases} \frac{0,20 \times Q_T^{\frac{1}{3}} \times H^{\frac{1}{2}}}{r^{\frac{5}{6}}} & \text{se } \frac{r}{H} > 0,15 \\ \text{ou} & \\ 0,95 \times \left(\frac{Q_T}{H}\right)^{\frac{1}{3}} & \text{se } \frac{r}{H} \leq 0,15 \end{cases} \quad \text{Equação 3.10}$$

Nas equações anteriores o significado das diversas variáveis é o seguinte:

T_g - Temperatura dos gases junto do teto (oC)

T_a - Temperatura ambiente (oC)

Q_T - Potência calorífica total (kW)

r - Distância o eixo da pluma e o detector (m)

H - Altura entre o material que deu origem ao incêndio e o detetor (m)

u - Velocidade do jato de teto (m/s)

3.3.2.4 Tempo de resposta dos detetores

Do conhecimento da temperatura e da velocidade do jato de teto obtidos a partir das equações apresentadas e das características do detetor (RTI), é possível determinar o tempo de atuação deste a partir da seguinte equação:

$$t_r = \frac{RTI}{u^2} \left(\frac{T_g - T_a}{T_g - T_r} \right) \quad \text{Equação 3.11}$$

em que:

t_r - Tempo de atuação (ou de operação) do detetor (s)

RTI - Índice de resposta do detetor ($m^{1/2} \cdot s^{1/2}$)

u - Velocidade de escoamento do jato de teto (m/s)

T_g - Temperatura dos gases do jato de teto ($^{\circ}C$)

T_a - Temperatura ambiente antes do incêndio ($^{\circ}C$)

T_r - Temperatura de operação do detetor ($^{\circ}C$)

Quer T_r quer RTI são características do detetor utilizado, enquanto u e T_g dependem do tipo de incêndio e do posicionamento dos detetores.

Na tabela apresentada no Anexo I apresentam-se os tempos de resposta de um SADI baseado em detetores térmicos, tendo o cálculo sido feito, considerando que se está em regime estacionário e, ainda, as seguintes hipóteses:

RTI = $50 m^{1/2} \cdot s^{1/2}$ (trata-se de um valor médio)

$T_r = 57^{\circ}C$ (trata-se de um valor conservativo; se se decrementar esta temperatura reduz-se o tempo de deteção)

$T_a = 20^{\circ}C$

O espaçamento de 7 m entre detetores⁶

Pé direito local igual a 7 m

Como a temperatura de operação foi considerada igual a $57^{\circ}C$ não aparecem nas tabelas valores inferiores a esta.

Para se operacionalizar os cálculos, os valores da tabela do Anexo I foram ajustados, através do método dos mínimos quadrados, a uma função contínua, tendo sido obtida a seguinte equação:

⁶ Corresponde à máxima distância entre o centro da pluma e o detetor e trata-se duma hipótese conservativa, pois na generalidade dos casos os projetistas usam regras práticas que conduzem a menores distâncias.

$$t_r = \frac{82500}{\dot{Q} - 1421.01} + 7.9117 \quad \text{Equação 3.12}$$

Na Figura 3.3 apresentam-se graficamente os resultados da referida tabela e da função de ajustamento, verificando-se uma forte correspondência entre eles.

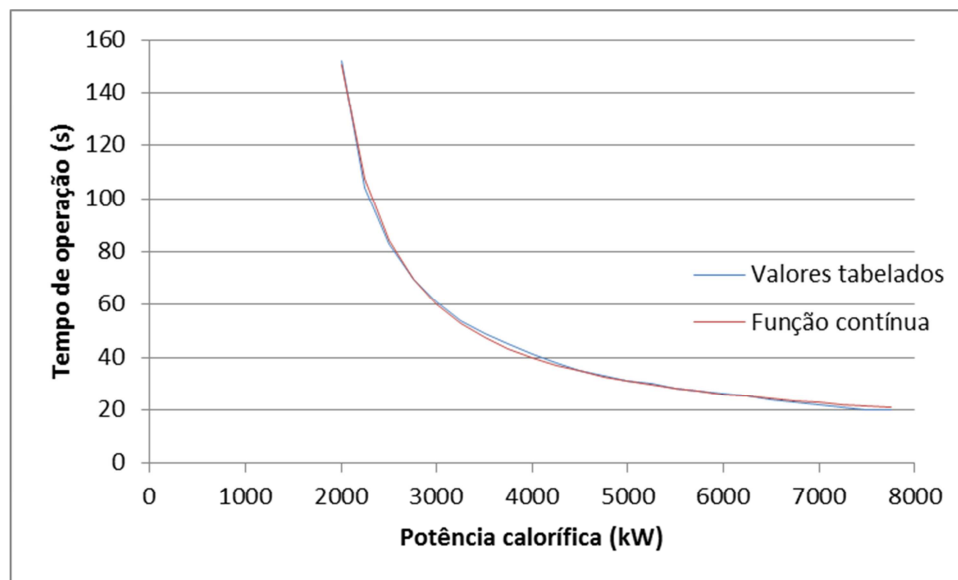


Figura 3.3 – Ajustamento de uma função contínua aos tempos de detecção

Pode, assim, estimar-se o instante de tempo a partir do qual ocorre a detecção (contado a partir da ignição) considerando que a evolução do incêndio corresponde a uma sucessão de estados estacionários.

Nestas condições, o tempo de detecção corresponde à soma do tempo que decorre até ser atingida uma certa potência com o tempo de detecção correspondente a essa potência. O valor mínimo desta soma, quando se consideram diversas potências caloríficas libertadas, assume-se que corresponde ao instante de tempo de detecção.

Utilizando o critério indicado, determinou-se que o instante de detecção corresponde a 318 s para o crescimento rápido da fonte de calor e a 557 s para uma fonte de calor de crescimento médio. Estes valores serão analisados seguidamente face aos tempos de evacuação.

3.4 Tempo de evacuação do cenário de incêndio

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

- a) Tempo gasto pelos primeiros ocupantes para atingir as saídas.
- b) Tempo necessário para os ocupantes atravessar as saídas para as VHE.

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

$$T_{ECI} = T_{PS} + T_{AS} \quad \text{Equação 3-13}$$

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 destaca o efetivo, o número de saídas e sua largura.

Na determinação do referido tempo foram introduzidas diversas hipóteses simplificativas das quais se destacam as seguintes:

- a) A densidade no cenário de incêndio é constante no decurso da evacuação.
- b) 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 [8]:

$$V_E = (112 \cdot D_a^4 - 380 \cdot D_a^3 + 434 \cdot D_a^2 - 217 \cdot D_a - 12) (1,49 - 0,36 \cdot D_a) \quad \text{Equação 3-14}$$

em que:

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

D_a - Densidade adimensional (m^2/m^2)

A partir do conhecimento do percurso médio (L_m) efetuado pelos ocupantes no cenário incêndio e considerando que inicialmente se está na presença de um movimento livre, ao qual corresponde uma velocidade média de 1,36 m/s [8], determina-se a partir da equação seguinte o tempo correspondente a esse percurso:

$$T_{PS} = \frac{L_m}{1,36} \quad \text{Equação 3-15}$$

Considerando que P corresponde ao efetivo do cenário de incêndio e L_S representa o somatório das larguras das várias saídas, então o tempo T_{AS} de atravessamento dos vãos é obtido a partir da seguinte equação⁷:

$$T_{AS} = \frac{P}{L_S \times D_a \times (112 \cdot D_a^4 - 380 \cdot D_a^3 + 434 \cdot D_a^2 - 217 \cdot D_a - 12) (1,49 - 0,36 \cdot D_a) (1,17 + 0,13 \cdot \text{sen}(6,03 \cdot D_a - 0,12))} \quad \text{Equação 3-16}$$

Na tabela do Anexo II apresentam-se os tempos de evacuação de cenários de incêndio com diferentes dimensões, tendo por referência uma densidade média dos espaços igual a 0,5 pessoas/ m^2 , correspondendo a Figura 3.4 à distribuição desses tempos de evacuação em função da área desses cenários.

⁷ Nesta equação o seno está expresso em radianos.

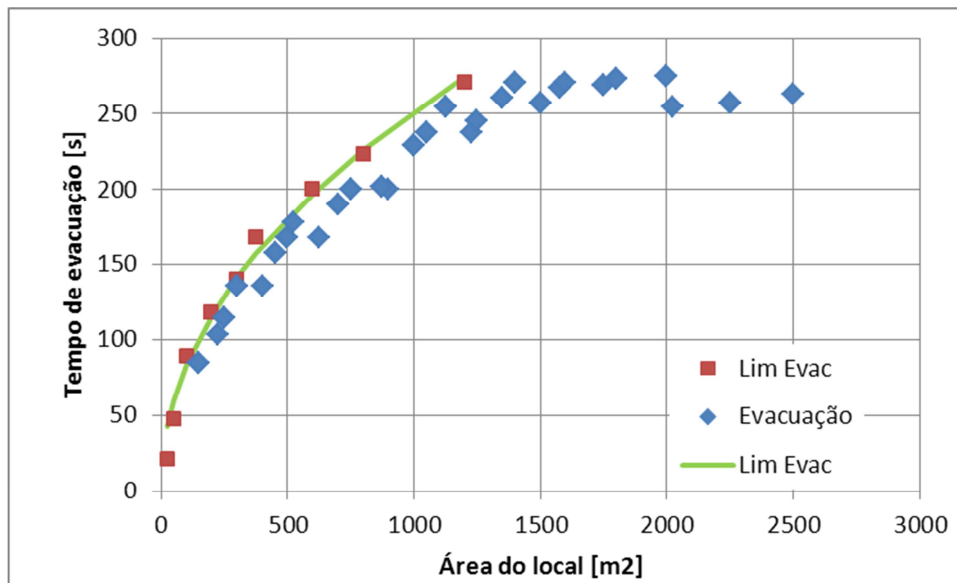


Figura 3.4 – Distribuição do tempo de evacuação em função da área do cenário de incêndio

Verifica-se que os tempos máximos de evacuação Δt_{evac} correspondentes aos exemplos analisados são limitados superiormente por uma curva contínua, representada na Figura 3.4, e dada pela seguinte equação, em que A é a área do local:

$$T_{ECI} = 9,03136A^{0,48} \quad \text{Equação 3.17}$$

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.

4 | Comparação entre tempo disponível e o necessário para evacuar o cenário de incêndio

Na Figura 4.1 apresenta-se a comparação dos tempos de evacuação com as exigências regulamentares de caudal de controlo de fumo, expressas em função de área do cenário de incêndio (como apresentado na Figura 2.7).

Da análise da Figura 4.1 constata-se o seguinte:

- Os caudais de exaustão de fumo regulamentares são inteiramente compatíveis com os tempos previstos de evacuação na condição de incêndio de crescimento médio.
- Para locais com mais de 1500 m² de área todas as configurações permitem tempos de evacuação compatíveis com a condição de incêndio de crescimento rápido.
- Em geral os tempos de evacuação são pouco superiores aos compatíveis com a condição de incêndio de crescimento rápido.

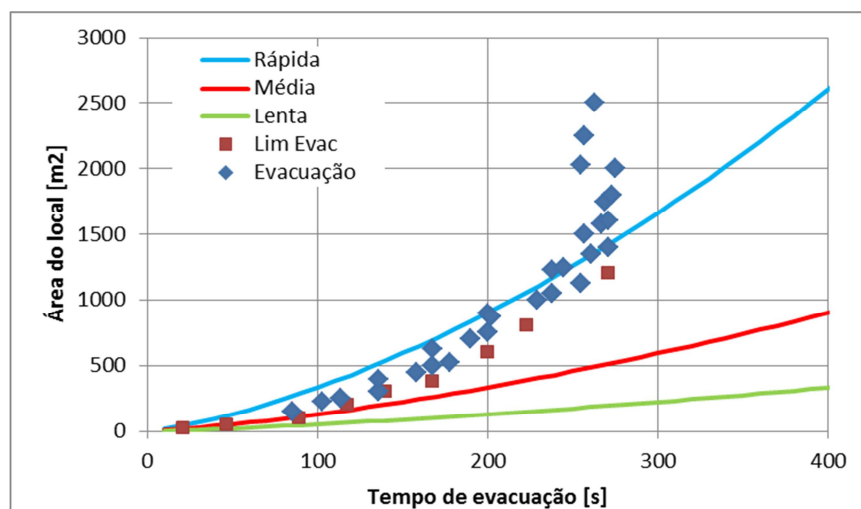


Figura 4.1 – Comparação dos tempos previstos de evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo

Correntemente considera-se que a intensidade de radiação de 2,5 kW/m² 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 °C (aproximadamente 453 K).

Na Figura 4.2 comparam-se os tempos previstos de evacuação do cenário de incêndio com a temperatura do fumo (admitindo que a pluma tem 3 m de altura) para as três taxas de crescimento da potência calorífica libertada, verificando-se que:

- Só os locais que são evacuados em menos de 200 s são compatíveis com as temperaturas desenvolvidas com o crescimento rápido.
- As temperaturas desenvolvidas com o crescimento médio são compatíveis com a evacuação de todos os locais estudados.

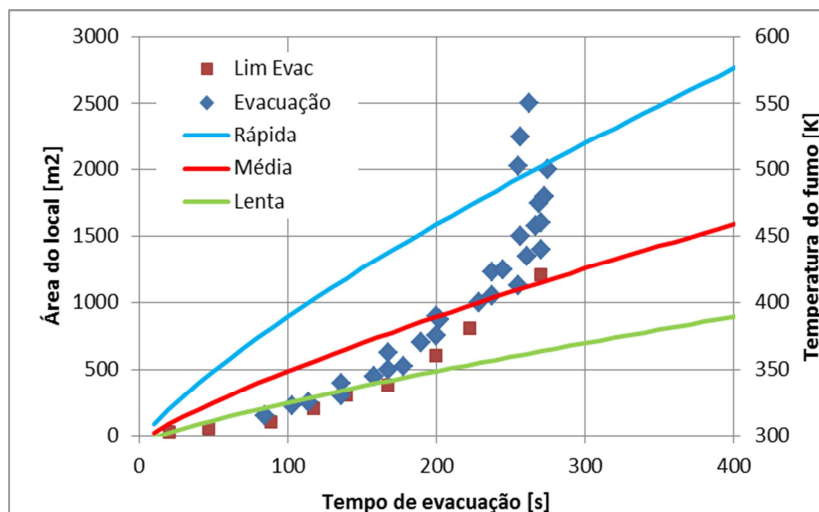


Figura 4.2 – Comparação dos tempos previstos de evacuação com a temperatura do fumo

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). Estes tempos podem ser consultados na tabela do Anexo II, apresentando-se na Figura 4.3 e na Figura 4.5 uma comparação entre esses tempos e a evolução do incêndio para diferentes áreas do cenário de incêndio.

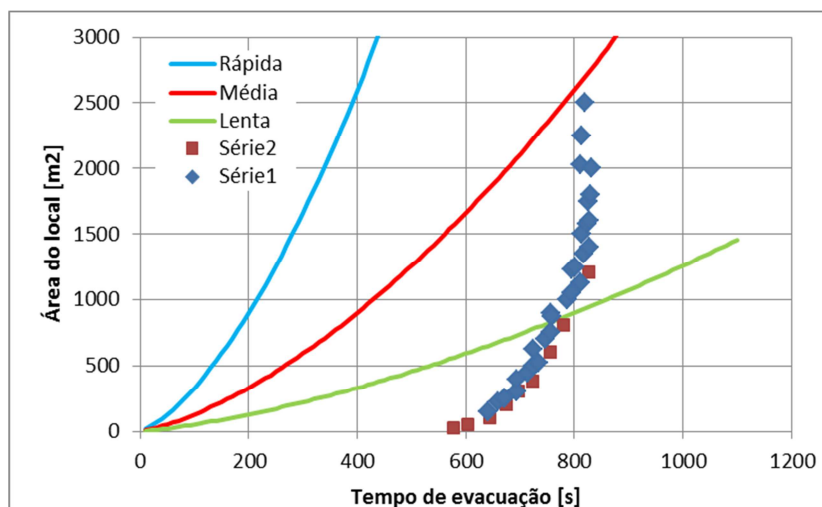


Figura 4.3 – Comparação dos tempos previstos de deteção e evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo com o início da evacuação dado pelo quadro do Anexo II

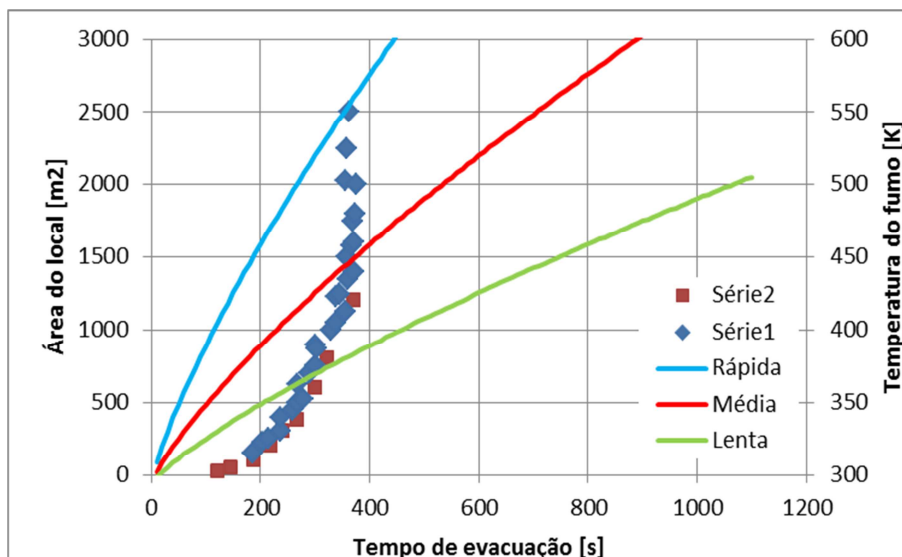


Figura 4.4 – Comparação dos tempos de percepção e previsto para a evacuação com a temperatura do fumo com o início da evacuação dado pelo quadro do Anexo II

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, como se referiu nas secções 3.2.2 e 3.2.3 deste documento, 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 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.

Assim, alterando o tempo de início da evacuação para os 100 s, o gráfico da Figura 4.3 e o gráfico da Figura 4.5 assumem o aspeto representado na Figura 4.6 e na Figura 4.6.

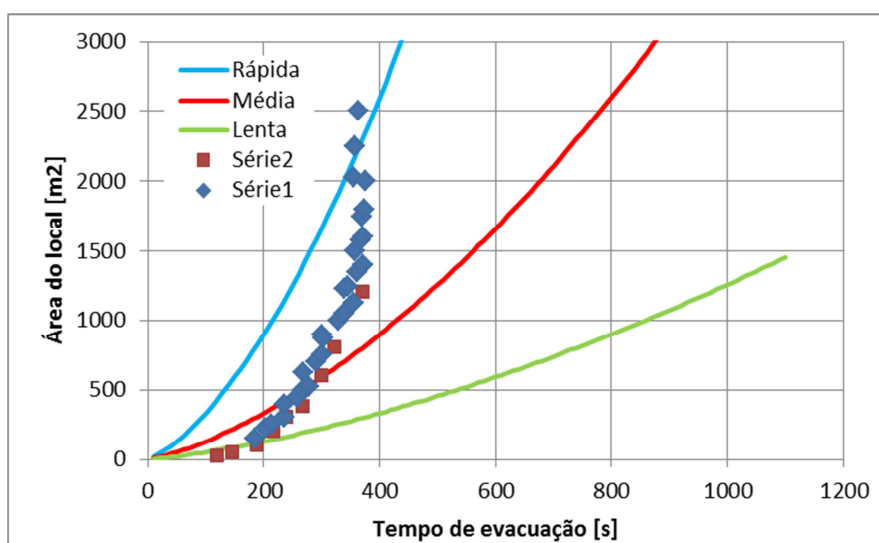


Figura 4.5 – Comparação dos tempos de percepção de incêndio e previsto para a evacuação com exigência regulamentar de controlo de fumo com início da evacuação aos 100 s

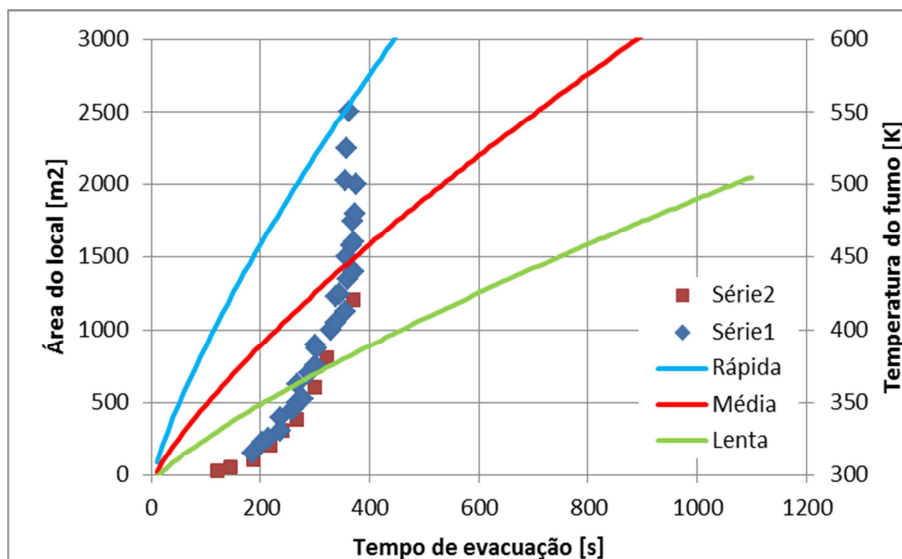


Figura 4.6 – Comparação dos tempos de percepção e previsto para a evacuação com a temperatura do fumo com início da evacuação aos 100 s

Em consequência da referida alteração, constata-se que os locais com mais de 300 m² são compatíveis com estes tempos de percepção e de evacuação, quando se considera um incêndio de crescimento médio, e o critério de temperatura é inteiramente satisfeito. Salienta-se, ainda, que em locais mais pequenos os ocupantes vão aperceber-se mais rapidamente da necessidade de evacuarem o local sinistrado, reduzindo, ainda mais, o tempo entre o início do incêndio e o da evacuação.

5 | Conclusões

Os cálculos precedentes evidenciam que as exigências regulamentares são coerentes com o desenvolvimento de um incêndio de crescimento médio para um cenário de incêndio com as características indicadas neste documento.

Assim, é razoável considerar como critério para a determinação do perigo de incêndio para os ocupantes do compartimento sinistrado a comparação entre o tempo total de evacuação e o 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 no cenário de incêndio (que se designa aqui como tempo de perigo) e o tempo máximo de evacuação (Δt_{evac}) acrescido do tempo que decorre até ao início da evacuação ($\Delta t_{inicial}$). O tempo de perigo (Δt_{per}) é o mínimo correspondente aos seguintes tempos:

- a) Tempo a partir do qual a temperatura da camada quente excede 180 °C, calculado pela Figura 15 (por tabela ou diretamente a partir das equações anteriormente descritas).
- b) Tempo a partir do qual o plano de interface desce abaixo de um valor convencional (ver Quadro 2.3), calculado pela Figura 2.7 (por tabela ou diretamente a partir das equações anteriormente descritas).

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

$$C_r = \frac{\Delta t_{evac} + \Delta t_{inicial}}{\Delta t_{per}} \quad \text{Equação 5.1}$$

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 possa diminuir na medida em que forem adotados meios que reduzam significativamente este coeficiente.

Este coeficiente reflete quer os meios de controlo de fumo quer o tipo de ocupação do local sinistrado e suas condições de evacuação, como a densidade de ocupação e o número e a largura das saídas. Note-se que a existência e eficácia de meios de controlo de fumo nos caminhos de evacuação não estão consideradas neste coeficiente de risco, pelo que deverá ser considerado noutros.

A determinação no MARIEE de um fator designado “de consequência” tem uma importância fundamental para o cálculo do risco, conforme se descreve no documento “MARIEE: Método de Análise do Risco de Incêndio e Edifícios Existentes. Fundamentos do método” [9].

As consequências no MARIEE envolvem não só os locais de risco mas também as vias de evacuação verticais e horizontais.

Neste documento estabeleceu-se a metodologia de determinação desse fator parcial para um local de risco dotado de meios de controlo de fumo.

Lisboa, LNEC, outubro de 2015

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Estudos Urbanos e Territoriais



Vítor Manuel Marques Campos

O Diretor do Departamento de Edifícios



Jorge M. Grandão Lopes

AUTORIA



João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação
Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação,
Componentes e Instalações



António Leça Coelho

Investigador Principal com Habilitação

Referências Bibliográficas

- [1] DECRETO-LEI n.º 220/2008. D.R. I Série. 220 (2008-11-12) 7903-7922 [Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios].
- [2] PORTARIA n.º 1532/2008 “D.R. I Série”, 250 (2008-12-29) 9050-9127 [Aprova o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE)].
- [3] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – **NFPA 92: Standard for smoke control systems**. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, 2012.
- [4] NP EN 1991-1-2. 2010. **Eurocódigo 1: Ações em estruturas. Parte 1-2: Ações gerais. Ações em estruturas expostas ao fogo**. Caparica : Instituto Português da Qualidade.
- [5] CEN/TR 12101-5. 2005. **Smoke and heat control systems - Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems**. Bruxelas: CEN.
- [6] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – **NFPA 72: National fire alarm and signaling code**. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, 2007.
- [7] SCHIFILITI, R. P.; MEACHHAM, B. J.; CUSTER, R. L. – **Design of Detection Systems. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 3rd Edition. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, Inc. Section 4, Chapter 1 (2002) pp. 4-1—4-44.
- [8] PREDTECHENSKII, V. M.; Milinskii, A. I. – **Planning for Foot Traffic Flow in Buildings**. New Delhi: Amerind Publishing Company, Inc., 1978.
- [9] COELHO, A. Leca – **MARIEE: Método de Análise do Risco de Incêndio e Edifícios Existentes. Fundamentos do método**. Relatório a publicar.

Anexos

ANEXO I
Tempo de deteção de SADI baseados em detetores térmicos

Tempo de deteção de SADI baseados em detetores térmicos

Na determinação dos valores apresentados na tabela apresentada neste anexo foram consideradas as seguintes hipóteses:

- RTI = 50 m^{1/2}. s^{1/2} (trata-se de um valor médio);
- Temperatura de operação = 57 °C (é, também, um valor conservativo; se se decrementar esta temperatura reduz-se o tempo de deteção);
- Temperatura ambiente igual a 20 °C;
- Regime estacionário;
- Quanto à instalação dos detetores considerou-se um espaçamento de 7 m entre detetores ;
- Pé direito local igual a 7 m.

Potência calorífica (kW)	Temperatura (°C)	Altura entre o combustível e o teto do local (m)	Tempo de operação (s)
2000	58,9	6	152
2250	62,1	6	104
2500	65,1	6	83
2750	68,1	6	70
3000	70,9	6	61
3250	73,7	6	54
3500	76,5	6	49
3750	79,1	6	45
4000	81,7	6	41
4250	84,3	6	38
4500	86,8	6	35
4750	89,2	6	33
5000	91,6	6	31
5250	94	6	30
5500	96,3	6	28
5750	98,6	6	27
6000	100,9	6	26
6250	103,1	6	25
6500	105,3	6	24
6750	107,5	6	23
7000	109,6	6	22
7250	111,7	6	21
7500	113,8	6	20
7750	115,9	6	20

ANEXO II
Tempos de evacuação do cenário de incêndio

Tempo de evacuação de cenário de incêndio

Na Tabela seguinte apresentam-se os tempos de evacuação para cenários de incêndio diferentes áreas e para uma densidade de 0,5 pessoas por m².

Dimensões do local (m)		Área do local (m ²)	Efetivo	Tempo de evacuação (s)
Largura	Comprimento			
5	5	25	12	21
5	10	50	25	47
10	10	100	50	89
10	15	150	75	85
10	20	200	100	118
10	25	250	125	114
10	30	300	150	140
15	10	150	75	85
15	15	225	112	103
15	20	300	150	136
15	25	375	187	168
15	30	450	225	158
20	10	200	100	118
20	15	300	150	136
20	20	400	200	136
20	25	500	250	168
20	30	600	300	200
20	35	700	350	190
20	40	800	400	223
25	10	250	125	114
25	15	375	187	168
25	20	500	250	168
25	25	625	312	168
25	30	750	375	200
25	35	875	437	202
25	40	1000	500	229
25	45	1125	562	255
25	50	1250	625	245
30	10	300	150	140
30	15	450	225	158
30	20	600	300	200
30	25	750	375	200
30	30	900	450	200
30	35	1050	525	238
30	40	1200	600	271
30	45	1350	675	261
30	50	1500	750	257
35	15	525	262	178
35	20	700	350	190
35	25	875	437	202

Dimensões do local (m)		Área do local (m ²)	Efetivo	Tempo de evacuação (s)
Largura	Comprimento			
35	30	1050	525	238
35	35	1225	612	238
35	40	1400	700	271
35	45	1575	787	267
35	50	1750	875	269
40	20	800	400	223
40	25	1000	500	229
40	30	1200	600	271
40	35	1400	700	271
40	40	1600	800	271
40	45	1800	900	273
40	50	2000	1000	275
45	25	1125	562	255
45	30	1350	675	261
45	35	1575	787	267
45	40	1800	900	273
45	45	2025	1012	255
45	50	2250	1125	257
50	25	1250	625	245
50	30	1500	750	257
50	35	1750	875	269
50	40	2000	1000	275
50	45	2250	1125	257
50	50	2500	1250	263

