

Utilização de sistemas totalmente redundantes que garantam o correcto funcionamento dos sistemas instalados, independentemente dos condicionantes inerentes às falhas, danos e/ou avarias.

Da análise dos diferentes acidentes é possível destacar três factores comuns à maioria dos incêndios e responsáveis pelas graves proporções que estes atingem: o efeito do fumo, a dificuldade em criar condições seguras que protejam o pessoal interveniente no combate ao incêndio e o comportamento humano.

Relativamente a esta última, é notório que a grande maioria dos problemas que advêm dos incêndios são criados por decisões humanas desadequadas e que, muitas das vezes, são agravadas pela falta de preparação das pessoas para lidar com situações de pânico desta natureza.

Uma solução passaria pela divulgação de informação ao público em geral que instruisse sobre a forma correcta de comportamento em situações de incêndio, nomeadamente através dos meios audiovisuais, nas escolas e

nas infra-estruturas em questão. Quantos de nós saberemos que, em caso de incêndio de um veículo dentro de um túnel, deverão ser efectuados todos os esforços para deslocar o veículo para fora do túnel?

Apesar do fogo continuar a ser considerado por muitos como a maior descoberta do Homem, é igualmente verdade que tem sido a fonte de alguns dos maiores acidentes e fatalidades da nossa História. É natural e indispensável que o fogo continue a ser alvo de elevado estudo e análise.

Controlo de fumo em pisos enterrados

Paulo Prata Ramos*

Sócio-gerente de ETU, Espaço Tempo e Utopia

A IMPORTÂNCIA DO CONTROLO DE FUMO

A salvaguarda da vida humana é o principal objectivo da regulamentação de Segurança contra Incêndios em Edifícios (SCIE). A inalação de fumos é responsável por 95% das mortes em incêndios urbanos, sendo normal que a legislação atribua grande importância ao controlo de fumo. De facto, durante o processo de combustão são libertados vários gases tóxicos, como sendo o monóxido de carbono (CO), o ácido clorídrico gasoso (HCl), ou os vapores nitrosos (NO e NO₂). De acordo com o tipo de matéria combustível, temos maior ou menor produção de cada um destes gases, sendo um factor crítico para a manutenção da vida a relação entre a concentração destes gases e o tempo de exposição do indivíduo.

Mas a análise da importância do controlo de fumo num incêndio não se deve esgotar nas considerações sobre o seu potencial de mortalidade. Aqui há que ter em consideração diversos factores. O fumo pode causar o pânico, levando a uma evacuação descontrolada, o que em edifícios com grande efectivo, e em particular aqueles que recebem público, pode ser catastrófico. O fumo diminui as condições de sustentabilidade da via de evacuação, quer por diminuir as condições de visibilidade – sendo aqui importante a avaliação da densidade óptica de fumo –, quer por criar um fluxo radiante, que acima dos 2.000 W/m²

causa dor em exposições na ordem dos 30 segundos. Mesmo que tenhamos uma altura livre de fumo suficiente para a circulação, a densidade óptica de fumo pode anular por completo a visibilidade da sinalética e a eficácia da iluminação de emergência. Além disso, o fumo é um agente propagador do incêndio, uma vez que a sua temperatura pode levar à auto-ignição de matérias combustíveis. Por exemplo, a madeira incendeia-se a uma temperatura de 280°, mesmo que não esteja exposta directamente a uma chama.

Por fim, em circunstâncias específicas, o fumo pode constituir uma atmosfera explosiva, podendo ocorrer uma explosão de fumo ou *backdraft*. A situação mais usual em que tal pode ocorrer é numa combustão com carência de oxigénio, havendo uma menor produção de dióxido de carbono (CO₂), que é incombustível, e uma maior produção de monóxido de carbono (CO), que é combustível em concentrações compreendidas entre 12,5% e 74,2% e que tem uma temperatura de auto-ignição de 609°. Caso o monóxido de carbono alcance as condições de concentração e temperatura de forma repentina, dá-se a explosão da camada de fumo. Às vezes, para tal, é suficiente abrir a porta do compartimento sinistrado.

Por todos estes factores não é de estranhar que cerca de um décimo dos artigos do

Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE), publicado pela Portaria 1532/2008 sejam sobre controlo de fumo (artigos 133º a 161º, 225º, 250º, 271º, 272º e 306º).

COMO SE FAZ O CONTROLO DE FUMO?

A designação de controlo de fumo é um pouco enganosa. De facto, quando se trata de fazer o controlo de fumo, não basta apenas fazer a evacuação do fumo em si, sendo indispensável que em simultâneo se faça a admissão de ar novo. Numa circunstância normal, de escoamento laminar, o fumo estratifica-se, formando uma camada razoavelmente uniforme na parte superior do compartimento, ficando a parte inferior do compartimento livre de fumos. Esta estratificação deve-se à diferença de temperatura e pressão entre a camada de fumo e zona livre de fumo. Como é lógico, a tiragem do fumo tem que ser feita com bocas de extracção que estejam dentro da camada de fumo. De igual forma, é impossível fazer a extracção do fumo do compartimento se não se admitir igual volume de ar novo no compartimento (fig. 1).

A admissão de ar novo, sendo indispensável, é particularmente útil. A combustão, sendo uma reacção exotérmica de oxidação, consome oxigénio. O ar é essencialmente

composto por 79% de azoto (N) e 21% de oxigénio. A admissão de ar permite oxigenar a combustão, diminuindo a produção de monóxido de carbono e, consequentemente, diminuindo a probabilidade de se criar uma atmosfera explosiva. Não menos importante, o oxigénio é indispensável à vida, sendo perigoso quando a concentração do oxigénio no ar desce abaixo dos 18%; a admissão de ar novo permite garantir os níveis mínimos de oxigénios necessários à preservação da vida humana. A admissão de ar novo deve ser feita na zona livre de fumo e nunca na camada de fumo, o que no caso dos pisos enterrados pode ser um pouco mais complexo por causa do trânsito das condutas. Admitir ar novo pela camada de fumo faz com que, o ar novo se misture no fumo, aumentando o seu volume (se bem que diminuindo a sua densidade) e leva à diminuição da sua temperatura. A conjugação destes factores leva à diminuição da altura livre de fumo.

O COMPORTAMENTO DO FUMO EM PISOS ENTERRADOS

Nos pisos enterrados, em caso de incêndio e caso não haja controlo de fumo, o fumo tende a escoar-se pelas vias verticais. Isto não só compromete a evacuação do edifício bem como dificulta a intervenção dos meios de socorro, obrigando-os a uma progressão num ambiente adverso, de elevada tempe-

ratura e toxicidade, e baixa visibilidade. Por outro lado, a via vertical por onde o fumo é escoado pode simultaneamente ser a única via de admissão de ar novo, criando fluxos opostos e consequentemente elevada turbulência, destruindo assim a estratificação do fumo (fig. 2).

Tratando-se de pisos enterrados, os bombeiros não podem recorrer a uma ventilação táctica através dos vãos de fachada. De igual forma, não podem fazer um combate defensivo, obrigando à colocação de meios no interior do edifício.

AS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES PARA PISOS ENTERRADOS

Face à particular perigosidade e complexidade do controlo de fumo nos pisos enterrados, as exigências regulamentares são mais gravosas do que noutras circunstâncias. O controlo de fumos em pisos enterrados poderá ser feito por sistemas passivos se houver apenas um piso abaixo do plano de referência, devendo ser activos sempre que houver mais do que um piso abaixo do plano de referência.

Nos termos do RT-SCIE, todas as vias verticais enclausuradas devem ter controlo de fumo. No caso particular dos pisos enterrados, esse controlo de fumos tem que ser feito por sobrepressão, excepto se a via tiver saída directa para o exterior. O regulamento exige ainda que, nos pisos abaixo do plano

de referência, as vias verticais enclausuradas sejam protegidas com câmara corta-fogo (CCF), que deverá dispor de sistema de controlo de fumo. Se a CCF for estabelecida até um piso abaixo do plano de referência o controlo de fumo poderá ser passivo, devendo ser por sobrepressão nos restantes casos.

Nas vias horizontais de evacuação, é obrigatório a existência de sistemas de controlo de fumo sempre que o comprimento da via ultrapassar os 10 metros.

No que diz respeito aos locais de risco em pisos enterrados, é exigido controlo de fumo, sempre que o compartimento seja acessível ao público ou que a sua área seja superior a 200 m². É ainda exigido o controlo de fumo em gares subterrâneas e respectivos troços de túnel adjacentes.

Na tabela 1 é feita uma síntese do tipo de controlo de fumo aplicável a cada espaço e as respectivas exigências regulamentares.

CASO DE ESTUDO

Para demonstração da necessidade do controlo de fumo e avaliação da sua eficácia, foi realizado um estudo com base em simulações feitas por computador recorrendo ao software CFAST (*Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport*) desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*). As simulações consideraram três cenários, sendo um sem controlo de fumo (fig. 3),

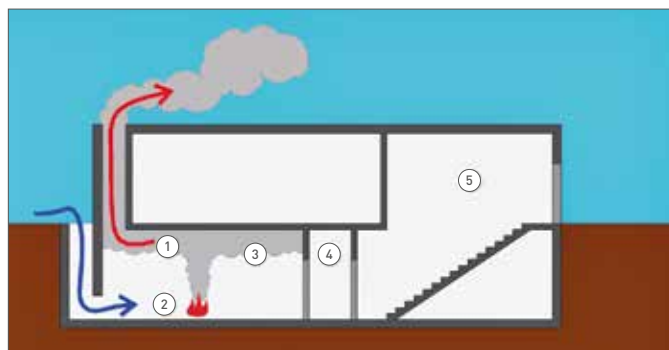


Fig. 1 Piso com controlo de fumo.

1. Escoamento do fumo através de condutas, com bocas de extração junto ao tecto.
2. Admissão de ar novo junto ao pavimento.
3. Camada de fumo perfeitamente estratificada.
4. Câmara corta-fogo com controlo de fumo.
5. Via de evacuação livre de fumo permitindo a evacuação e o acesso seguro dos meios de socorro.

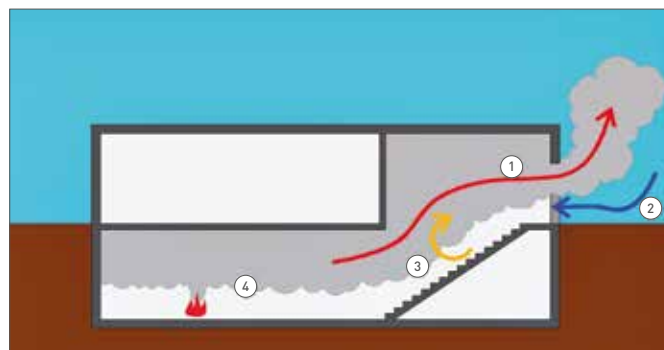


Fig. 2 Piso sem controlo de fumo [exemplo não regulamentar].

1. Escoamento do fumo através da via de evacuação.
2. Admissão de ar novo através da via de evacuação.
3. O ar novo é misturado com o fumo criando turbulências.
4. A camada de fumo misturada com o ar novo desce, diminuindo a zona livre de fumo.

SISTEMA DE CONTROLO DE FUMO

	PASSIVO	ACTIVO
LIMITAÇÃO DE USO	Só um piso abaixo do plano de referência.	Mais de um piso abaixo do plano de referência.
LOCAIS	Bocas de admissão totalmente na zona livre de fumo o mais baixo possível; bocas de evacuação totalmente na zona enfumada o mais alto possível; a área das aberturas deve ser objecto de cálculo fundamentado.	Uma boca por cada 320 m ² . Caudal de 1 m ³ /s por cada 100 m ² de compartimento (mínimo 1,5 m ³ /s). Pode ser usado o sistema de climatização, desde que cumpra as exigências.
ESTACIONAMENTOS	Admissível só se for da 1ª categoria, devendo ser garantido um varrimento adequado.	Caudal de 600 m ³ /h por veículo.
VIAS HORIZONTAIS	Bocas de admissão e de extracção alternadas, distando 10 m quando em percursos em linha recta e 7 m nas restantes situações.	Bocas de admissão e de extracção alternadas, distando 15 m quando em percursos em linha recta e 10 m nas restantes situações. Caudal de extracção estabelecido entre duas bocas de 0,5 m ³ /s por UP da via; Pode ser por sobrepressão desde que todos os espaços adjacentes tenham sistemas de controlo de fumo.
VIAS VERTICAIS ENCLAUSURADAS	Aplicável apenas a vias directas ao exterior Grelha permanente de 1 m ² no nível de saída para o exterior, na parte superior da porta ou por cima desta; caudal de compensação ao nível do piso inferior superior a 0,8 m ³ /s ou admissão passiva devidamente calculada.	Sobrepressão, garantindo um diferencial de pressão (com todas as portas fechadas) entre os 20 e os 80 Pa entre a via e os espaços adjacentes no piso sinistrado.
CÂMARAS CORTA-FOGO	Conduitas de entrada e saída com 0,1 m ² .	Sobrepressão que garanta um fluxo de ar entre a CCF e os espaços adjacentes de 1,0 m/s com as duas portas abertas.

um com controlo de fumo passivo (fig. 4) e outro com controlo de fumo activo (fig. 5). Considerou-se um compartimento com 20 metros por 16, com 3 metros de pé-direito. Para simular o incêndio escolheu-se, de entre os objectos disponíveis na base de dados do programa, o “3 panel work station”,

com calor total de combustão de 18.900 MJ. Tendo em conta a área do compartimento, o objecto escolhido representa uma densidade de carga de incêndio de aproximadamente 60 MJ/m², ou seja, foi considerado um incêndio moderado e sem combustão generalizada (*flashover*). A taxa de libertação de calor do

objecto considerado tem o seu pico aos 550 segundos.

No sistema passivo foram consideradas uma boca de admissão junto ao piso e uma boca de evacuação junto ao tecto, ambas com 1,4 m² de área útil. No sistema activo foi considerada a admissão passiva com uma

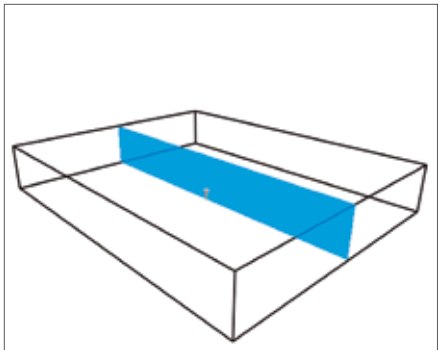


Fig. 3 Sem controlo de fumo.

Ao fim de 30 minutos de incêndio, apesar da camada de fumo estar a uma temperatura baixa (56°), esta preenche a totalidade do pé-direito.

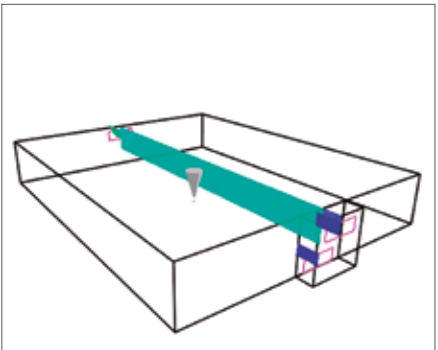


Fig. 4 Controlo de fumo passivo.

Ao fim de 30 minutos de incêndio a camada de fumo estabiliza à altura de 1,15 m do chão a uma temperatura de 111°. A solução poderia ser optimizada aumentando a área das bocas de admissão e extracção.

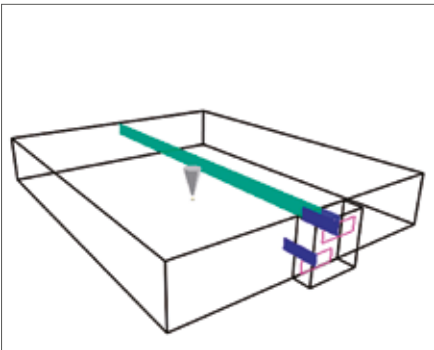
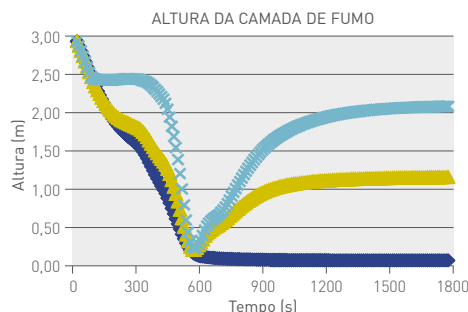
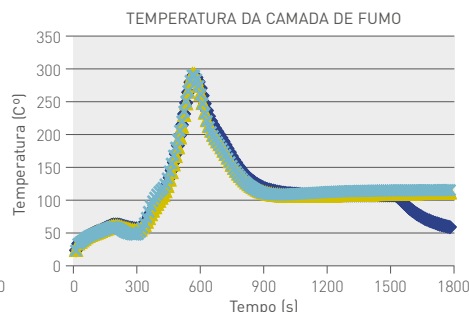


Fig. 5 Controlo de fumo activo.

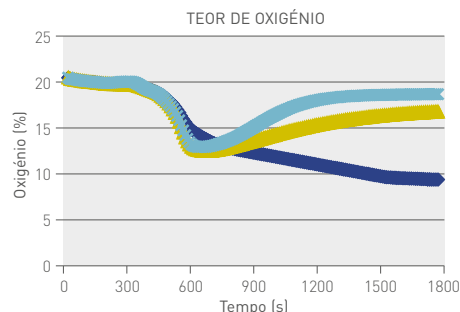
A solução mais satisfatória tem, ao fim de 30 minutos de incêndio, a camada de fumo a 115° a uma altura de 2,11 m do pavimento.



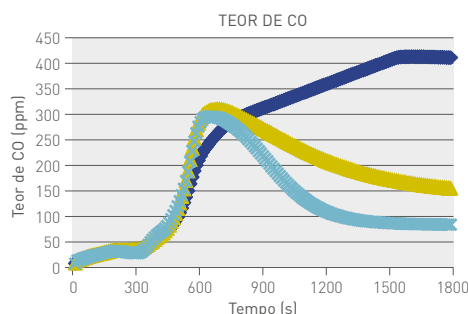
Nas simulações efectuadas, só o sistema activo apresentou uma altura livre de fumo aceitável, acima dos 2 metros na generalidade do tempo. Em todos os cenários, no pico do incêndio a altura do fumo desceu abaixo dos 50 cm. No sistema sem controlo de fumos o fumo preenche a totalidade do compartimento a partir dos 10 minutos de incêndio.



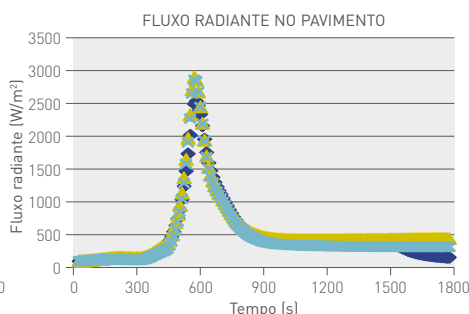
Em todas as simulações, no pico do incêndio a camada de fumos atinge os 300°. Nos cenários com controlo de fumos a temperatura desce então para valores próximos dos 100°. Curiosamente no sistema sem controlo de fumo as temperaturas são mais baixas uma vez que o fogo se extingue de forma prematura por carência de oxigénio.



No pico do incêndio e em todas as simulações o teor de oxigénio vai abaixo dos 15%. Nos cenários com controlo de fumos há uma recuperação do teor de oxigénio, mas ainda assim abaixo dos 18% para o sistema passivo.



Nos sistemas com controlo de fumo o teor de monóxido de carbono não ultrapassa muito a fasquia das 300 p.p.m., que é um valor aceitável para o tempo de exposição em causa. No sistema sem controlo de fumo chega às 400 p.p.m. o que mesmo assim é admissível para exposições até uma hora. O teor de CO nunca chega a ser suficiente para criar uma atmosfera explosiva.



O fluxo radiante ao nível do pavimento é muito semelhante em todos os cenários. No pico do incêndio alcança os 3.000 W/m², sendo suficiente para causar queimaduras num tempo de exposição de 60 segundos. Os valores atingidos não criam as condições necessárias para a combustão generalizada.

boca junto ao chão com 1,4 m² de área útil e a extracção junto ao tecto com caudal de extracção nos termos do regulamento (1 m³/s por cada 100 m² de área).

A simulação foi feita no período de 30 minutos, que é um tempo suficiente para que o fogo fique praticamente extinto por combustão do objecto. Foi considerada uma temperatura inicial de 20° e uma humidade relativa de 50%. Os resultados obtidos para a altura da camada de fumo (m), temperatura da camada de fumo (°C), teor de oxigénio na camada de fumo (%), teor de monóxido de carbono na camada de fumo (p.p.m.) e fluxo radiante no pavimento (W/m²) estão patentes nos gráficos adiante.

Nos gráficos surge a azul escuro a solução sem controlo de fumo, a amarelo a solução

com controlo de fumo passivo e a azul claro a solução com controlo de fumo mecânico.

A simulação sem controlo de fumos revela que a partir de 8 minutos e meio deixa de haver condições de sustentabilidade da vida no compartimento, tornando claro que é indispensável a existência de sistemas de controlo de fumo. O sistema com controlo de fumo passivo apresenta uma performance sofrível, mas que poderia ser facilmente optimizada aumentando a área útil das bocas de admissão e extracção. O cenário com controlo de fumo activo apresentou bons resultados. Consta-se ainda que no pico do incêndio nenhum dos dois sistemas foi eficaz, não ficando garantidas momentaneamente as condições de evacuação. Ou seja, a evacuação do compartimento teria

que ser feita forçosamente nos primeiros 8 minutos de incêndio.

ASPECTOS TÉCNICOS A TER EM CONSIDERAÇÃO

Conforme referido, em pisos enterrados, sempre que haja mais do que um piso abaixo do plano de referência, os sistemas de controlo de fumo deverão ser activos. Ora os sistemas activos precisam de ser suportados por fontes de energia de emergência, que para equipamentos de potência reduzida poderão ser locais (UPS), devendo nas demais circunstâncias ser fontes centrais (grupo gerador). Essas fontes devem garantir a alimentação dos equipamentos pelo menos para o tempo exigido para a maior resistência ao fogo dos elementos de construção do edifício, com o mínimo de uma hora. Na fase inicial do projecto é importante fazer a avaliação dos sistemas que terão que ser activos e respectivas potências, para decidir que tipo de fonte de energia de emergência deverá ser adoptado. Esta questão é tanto mais importante uma vez que o RT-SCIE estabelece algumas limitações em relação à localização do grupo gerador. Caso se constate que o grupo gerador só é necessário por causa dos sistemas de controlo de fumo dos pisos enterrados, poderão estudar-se soluções arquitectónicas que levem à dispensa dos sistemas de controlo de fumo nos pisos enterrados.

* Aluno de Doutoramento da FCTUC/LNEC (paulopr@dec.uc.pt).