

Um olhar atento sobre incêndios infraventilados

Os estudos sobre incêndios infraventilados estão em ascensão, dado os serviços de bombeiros cada vez mais frequentemente se depararem com estes tipos de incêndios no seu dia a dia. Esses estudos não ensinam muito sobre o comportamento do fogo nestes incêndios. Neste artigo vamos olhar mais aprofundadamente o comportamento do fogo nos incêndios infraventilados.

1 Qual é a diferença entre um incêndio ventilado e um incêndio infraventilado?

Quando um incêndio tem início num edifício no qual exista uma carga de combustível normal, em algum momento este incêndio passará a estar controlado pela ventilação. Significando isto que a sua intensidade será determinada pela quantidade de ar fresco existente que flui para o compartimento do incêndio.

1.1 Desenvolvimento do incêndio ventilado.

Quando uma janela grande está aberta, pode entrar muito ar no compartimento do incêndio desde o seu início. Permitindo isto que o incêndio se desenvolva muito. Num compartimento incendiado, o fogo pode desenvolver-se sem obstáculos e transitar a flashover. Flashover significa que o incêndio transitou do seu estágio de crescimento para o seu estágio de total desenvolvimento. Todo o combustível existente dentro do compartimento participará no incêndio. Significando que a necessidade de ar crescerá substancialmente. Não sendo as aberturas (janelas e portas) capazes de fornecer ar fresco suficiente para o incêndio. O incêndio passa agora a estar controlado pela ventilação. O período de tempo em que o incêndio passa de controlado pelo combustível para controlado pela ventilação é o chamado ponto CC/CV.

Um incêndio que se torna controlado pela ventilação durante o flashover é chamado incêndio ventilado. Afinal, tem que haver ar suficiente desde o início para permitir que o fogo se desenvolva até ao flashover.

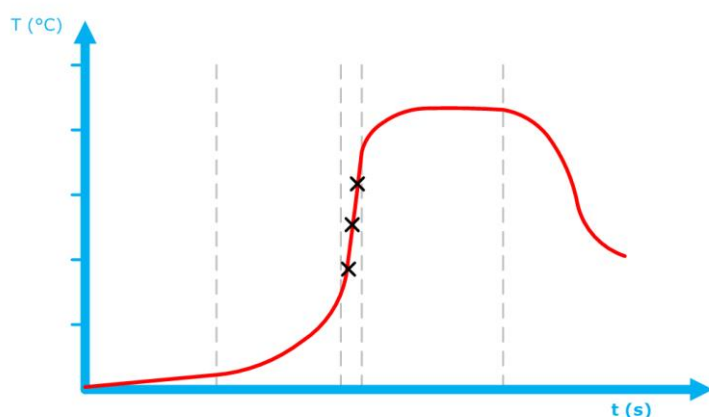


Figura 1 Possível localização do ponto CC / CV num incêndio ventilado. (Gráfico: Bart Noyens)

A figura 1 mostra o gráfico de um incêndio ventilado. Normalmente não se sabe exatamente onde o ponto CC/CV está neste tipo de desenvolvimento de incêndio. Será em algum momento durante o estágio a flashover, mas ninguém sabe com certeza exatamente onde. Alguns especialistas afirmam que o ponto CC/CV pode ser localizado antes, pouco antes do início do flashover. Eles comparam o crescimento do incêndio com um navio no mar. Quando paramos

o motor do barco, este continua a avançar um pouco. Por isso, afirmam que precisa ser libertada energia suficiente num compartimento, perto do final do estágio de crescimento, para que o flashover ocorra. Cada "x" marca uma possível localização do ponto CC/CV. Para incêndios ventilados, na realidade não importa onde é exatamente este ponto. É importante que os bombeiros sejam capazes de distinguir um incêndio em desenvolvimento de um incêndio totalmente desenvolvido, pois estes incêndios exigem táticas diferentes. Além disso, é extremamente importante que os bombeiros possam reconhecer os sinais de um flashover iminente:

- Calor intenso proveniente da camada superior de fumo;
- Chamas "a dançar" na camada de fumo, que é o começo dos rollovers;
- Camada de fumo que desce rapidamente ou que já esteja muito baixa;
- A camada de fumo fica muito turbulenta (movimento de redemoinho);
- Pirólise repentina de objetos inflamáveis no compartimento.

1.2 Desenvolvimento de incendio infraventilado

Para incêndios infraventilados, a localização do ponto CC/CV é extremamente importante. Neste tipo de incêndios, este ponto está localizado antes do flashover. Estes não têm oxigénio suficiente para progredirem a flashover. O incêndio quer seguir o gráfico de incêndio ventilado, mas, como não existe oxigénio suficiente, ele é forçado a uma taxa inferior de libertação de calor. Pode-se comparar isto com uma autoestrada quando está em obras. Normalmente, o limite de velocidade é reduzido para 70 km/h. Assim que os motoristas virem o sinal de trânsito, eles diminuirão de 120 km/h para 70 km/h. Querendo circular mais rápido, mas o sinal limita a sua velocidade, assim como o incêndio que quer produzir mais energia, mas não consegue, querendo progredir em direção a uma maior taxa de libertação de energia, mas a falta de ar torna isto impossível.



Figura 2 O limite de velocidade de 70 km/h numa autoestrada em obras é uma boa analogia de um incêndio infraventilado. O incêndio quer arder mais forte, mas não pode por falta de ar.

O tamanho do compartimento e a ventilação existente determinarão quando o incêndio irá passar de um regime de combustão controlada pelo combustível para controlada pela ventilação. A figura 3 mostra várias diferenças entre incêndios infraventilados e ventilados. A diferença entre estes incêndios é que cada um fica controlado pela ventilação um pouco antes do outro. O incêndio "verde" está controlado pela ventilação em primeiro lugar, enquanto o incêndio "amarelo" representa uma situação em que há um pouco mais de oxigénio disponível. O incêndio permanecerá controlado pelo combustível durante mais um minuto antes de ficar controlado pela ventilação. Novamente, o "x" representa o ponto CC/CV para cada um. Agora. Que incêndio parece mais perigoso?

A resposta óbvia é a do incêndio ilustrado pela linha amarela. Este incêndio é o último a transitar de controlado por combustível para controlado pela ventilação. Significando isto

que a temperatura dentro da sala no momento do ponto CC/CV é maior em comparação com os outros dois.

Se a temperatura no compartimento for muito baixa, os riscos para as equipas de extinção também serão reduzidos. Suponhamos por momentos que a temperatura da linha verde não excede 200°C, então não haverá muitos gases de pirólise. Esta não aqueceu suficientemente os objetos até a temperatura limite na qual a pirólise inicia. A temperatura na qual um objeto começa a pirolisar é altamente dependente do tipo de material do qual é feito. Uma boa regra é que acima de 300°C haverá abundância de gases de pirólise. Objetos perto do foco de incêndio ter-se-ão aquecido rapidamente, devido ao calor radiante proveniente das chamas.

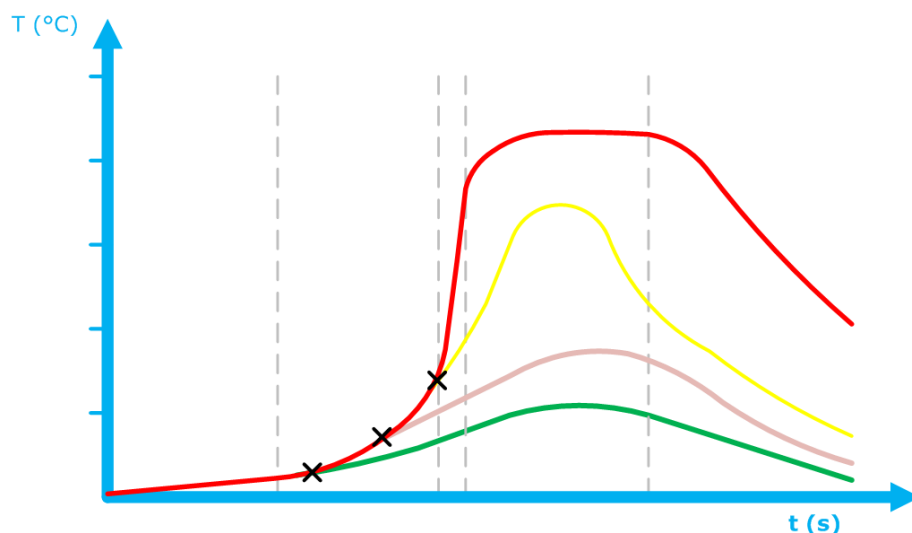


Figura 3 A linha vermelha ilustra o progresso de um incêndio ventilado. As outras três linhas mostram três tipos diferentes de incêndios infraventilados. A linha verde representa um incêndio num edifício hermético com forte isolamento. Isto faz com que o fogo seja rapidamente controlado pela ventilação. A linha rosa representa um incêndio que tem um pouco mais de ar disponível. A linha amarela um incêndio que se torna limitado pela ventilação pouco antes do flashover. (Gráfico: Bart Noyens)

Só quando a temperatura atinge um nível suficientemente alto no compartimento e se forma uma camada de fumo, é que os objetos no interior começarão a pirolisar. O calor irradiado virá principalmente da camada de fumo. Os objetos envolvidos em fumo começarão a aquecer por convecção.

A localização do ponto CC/CV no gráfico sobre o desenvolvimento do incêndio é, portanto, muito importante. Quanto maior o aumento de temperatura no momento em que o incêndio fica controlado pela ventilação, mais perigoso será o incêndio.

O perigo de um incêndio também varia dependendo do tempo decorrido. Em qualquer incêndio, um certo poder foi gerado. Isto é chamado de taxa de libertação de calor (TLC). Significando isto que a cada segundo se produz uma quantidade de energia (medida em joules). No entanto, a energia também se perde. Num compartimento fechado, a energia perde-se normalmente devido à condução através das paredes. Isto basicamente significa que uma certa quantidade de energia por segundo está a sair do

compartimento. O fogo está a gerar energia e, ao mesmo tempo, a energia perde-se através das paredes. Num incêndio controlado pelo combustível, a taxa de libertação de calor gerada pelo incêndio está a aumentar. Esta TLC será maior que a TLC que se perde através das paredes.

Quando (medido por segundo) é produzida mais energia do que aquela que se está a perder, a temperatura aumenta. Logo após o ponto CC/CV, a temperatura continuará a subir por um curto período de tempo adicional. A TLC do incêndio vai estagnar ou até cair. Mas isto levará alguns segundos antes que a TLC perdida pelas paredes exceda a TLC gerada pelo incêndio. Assim que a energia perdida for maior que a produzida, a temperatura começará a diminuir. Uma vez mais a analogia do navio pode ajudar a ilustrar isto. O poder dos motores do navio pode ter sido limitado, mas, mesmo assim, o navio continuará a avançar por algum tempo. A TLC do incêndio é limitada, mas a temperatura continuará a subir, mesmo que a potência seja limitada, porque se está a gerar mais calor do que aquele que se está a perder.

A velocidade pela qual se perde a energia dependerá da temperatura do compartimento, da temperatura externa e da temperatura da parede. Além disto, certas características dos materiais de construção (condução de calor, densidade e capacidade específica de calor) desempenham também um papel importante. A espessura das várias camadas na parede (por exemplo, alvenaria, tijolo, isolamento) também é importante.

Uma questão importante a ser feita é: quando a equipa de extinção cria uma abertura? Assim que os bombeiros abrirem uma porta, o ar fresco será sugado e o fumo sairá. Este ar fresco pode aumentar a TLC do incêndio. Quanto mais rápido o fluxo de ar entrar, mais perigoso será o incêndio.

Quando olhamos para a figura 3, 'podemos observar que o tempo é extremamente importante no teatro de operações. Se quando os bombeiros abrem a porta, a linha amarela atinge seu pico, o risco será muito maior do que quando isto acontece no pico da linha rosa. No entanto, é evidente que a temperatura diminuirá mais rapidamente. Suponhamos que ninguém alerta atempadamente para o incêndio, e os bombeiros abrem a porta uma hora ou mais depois do ponto CC/CV ter ocorrido. Neste caso, o incêndio pode-se ter extinguido por si mesmo. Normalmente, as temperaturas no interior não serão muito altas e a velocidade do ar que entra será limitada. Assim, torna-se evidente que a linha rosa pela sua curva é uma situação mais perigosa do que a linha amarela, dado ter perdido todo o seu calor.

Para avaliar o risco, devemos ter em conta duas coisas:

- Quando é que o incêndio ficou controlado pela ventilação? (Quão quente estava nesse momento?)
- Quão quente está o compartimento quando os bombeiros abrem a porta?

2 Pressão

Durante um incêndio infraventilado um padrão peculiar de pressão pode ocorrer dentro do compartimento. Um incêndio fará com que a temperatura aumente. O fumo é muito mais quente que o ar circundante. Qualquer coisa que aqueça expande-se. Se o incêndio

se estiver a desenvolver numa sala na qual a porta foi deixada aberta, o fumo sairá para o exterior. Isto compensará parcialmente o aumento da temperatura. Devido à grande abertura presente (cerca de 2 m² no caso de uma porta), o incêndio não será capaz de aumentar a pressão.

Se as portas e janelas permanecerem fechadas, será criado um padrão diferente de pressões. O compartimento será gradualmente preenchido com o fumo. A temperatura no seu interior aumentará. Fazendo isto com que a pressão dentro do edifício aumente também. Enquanto o incêndio tiver ar suficiente, a TLC aumentará e a temperatura dentro do edifício aumentará também. Começará também a se esgotar o oxigénio no interior. Num determinado momento, o incêndio alcançará o ponto CC/CV como acima descrito. A produção de calor diminuirá enquanto a energia perdida pelas paredes permanecerá mais ou menos a mesma. A temperatura atingirá um pico após o qual as altas perdas de energia farão com que a temperatura diminua rapidamente.

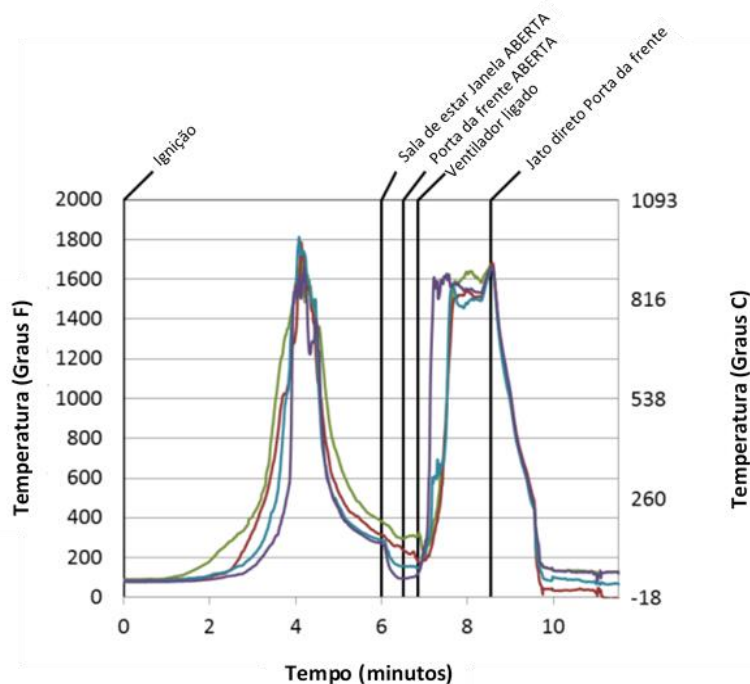


Figura 4 Gráfico de temperatura num dos testes U.L. As temperaturas mostradas são aquelas medidas dentro do compartimento onde está localizado o foco de incêndio. As diferentes cores indicam medições em diferentes alturas. Verde: 2,1 mt; Vermelho: 1,5 mt; azul: 0,9 mt; Lilás: 0,3 mt. Está claro que a temperatura aumenta no início e diminui posteriormente. (© Figure: UL FSRI)

O incêndio faz com que a temperatura aumente. Devido ao oxigénio se esgotar no compartimento, o incêndio passa pelo ponto CC/CV. Logo há uma queda massiva da temperatura. Após a ignição inicial, há um estágio incipiente formando-se uma camada de fumo quente em minuto e meio. A linha verde indica a temperatura a 2,1 metros acima do solo. Após cerca de 2,5 minutos, a temperatura a 1,5 metros acima do solo começa a aumentar. Significando isto que a camada de fumo desceu abaixo de 1,5 m. Pouco depois, a temperatura irá disparar de cerca de 200°C (400°F) a 982°C (1800°F), tudo dentro dos 4 minutos posteriores ao início do teste. Um minuto depois, no

Em janeiro de 2015, assisti a uma nova série de testes do Instituto de Pesquisa em Segurança de Bombeiros da Underwriters Laboratories (UL FSRI) em Chicago. Desde há alguns anos, a UL tem vindo a fazer estudos de alta qualidade para bombeiros. Cada ano eles constroem duas casas numa grandes instalações de experiências. Essas casas são incendiadas várias vezes. O objetivo desta pesquisa é o estudo de novas táticas de bombeiros em condições seguras e repetitivas.

O objetivo do estudo de janeiro foi avaliar a eficiência do ataque de pressão positiva (APP). Significando isto o uso da ventilação com pressão positiva antes da extinção.

A figura 4 ilustra o que acima foi descrito. O incêndio faz com que a temperatura aumente. Devido ao oxigénio se esgotar no compartimento, o incêndio passa pelo ponto CC/CV. Logo há uma queda massiva da temperatura. Após a ignição inicial, há um estágio incipiente formando-se uma camada de fumo quente em minuto e meio. A linha verde indica a temperatura a 2,1 metros acima do solo. Após cerca de 2,5 minutos, a temperatura a 1,5 metros acima do solo começa a aumentar. Significando isto que a camada de fumo desceu abaixo de 1,5 m. Pouco depois, a temperatura irá disparar de cerca de 200°C (400°F) a 982°C (1800°F), tudo dentro dos 4 minutos posteriores ao início do teste. Um minuto depois, no

entanto, a temperatura desceu novamente para 200C (400°F). A velocidade a que a temperatura desce é influenciada pela quantidade de isolamento e pelas características dos materiais utilizados.

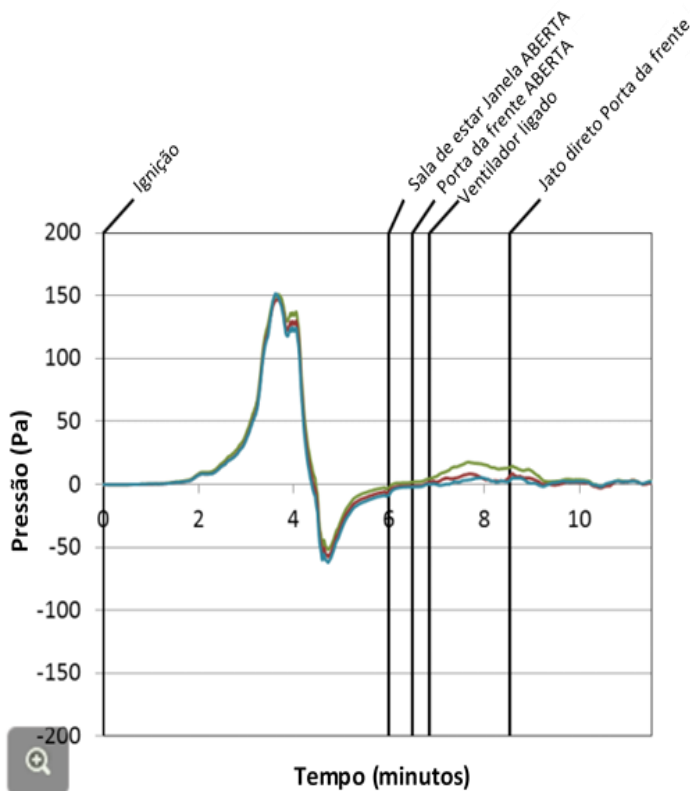


Figura 5 A alteração da pressão no teste. É claro que o aumento da pressão está ligado ao aumento da temperatura. Uma vez atingido o pico de temperatura, a pressão começa a cair. (© Figura: UL FSRI)

Durante os primeiros 4 minutos do incêndio, a pressão no compartimento aumentará. A figura 5 ilustra a importância do aumento de pressão. A sobrepressão no compartimento atinge 150Pa. Isto é aproximadamente igual a uma força de 15kg/m² de superfície. Se houver uma porta na sala com uma área de 2 m², o fumo quente exercerá uma força de 30 kg em direção à porta. Houveram casos documentados no estrangeiro onde os moradores não puderam fugir das suas casas porque a alta pressão nos compartimentos impediram que eles abrissem as portas.

Assim que o incêndio atinge o seu pico de temperatura, a expansão de fumo pára. O fumo não aquece mais. Quando a temperatura dentro do compartimento diminui, o fumo arrefece também. Mas

sempre que houver uma sobrepressão dentro do compartimento, o fumo continuará a ser expelido para o exterior deste. Fazendo isto com que a sobrepressão diminua gradualmente como um pneu de bicicleta furado.

Os gases quentes expandem-se. Os gases frios contraem-se. Quando contraídos, a sobrepressão diminui ainda mais. Afinal, estes gases ocupam menos volume quando arrefecidos. Uma vez que determinada quantidade de fumo tenha sido expelida, os gases mais frios não conseguem desta forma encher todo o compartimento. O arrefecimento faz com que a pressão dentro deste compartimento se altere para uma depressão. Nesta experiência foram obtidas depressões de 50 Pa. Assim, o ar frio é expelido pelas mesmas aberturas até que a pressão interior se iguale com a exterior.

Se colocarmos a Figura 4 em cima da Figura 5, facilmente podemos observar que ambos os fenómenos estão interligados. A pressão aumenta enquanto a temperatura aumenta. As imagens de vídeo da experiência evidenciam que o fumo escapa por todas as aberturas. Uma vez que o ponto CC/CV tenha passado, a temperatura começa a baixar. Em simultâneo, a pressão também diminui. O vídeo mostra que o fluxo de fumo pára repentinamente. A entrada de ar fresco não é visível ao olho humano. Por fim, é importante observar que os gráficos acima ilustram um único teste. Outros testes teriam outros padrões de pressão. A mudança de pressão e temperatura depende de vários parâmetros. Certos gráficos podem parecer totalmente diferentes dos acima demonstrados.

3 Chegada do serviço de bombeiros.

Agora devemos perguntar-nos: "como podemos utilizar o conhecimento prévio num teatro de operações deste tipo de incêndios?"



Figura 6 o fumo está a sair por uma janela. Olhando para a cor, velocidade de saída... pode-se determinar a gravidade da situação. (© Foto: Warre St-Germain)

Todos devem tentar ter uma ideia do que está acontecer dentro do prédio em chamas. Especialmente os oficiais e os chefes de equipa precisam formular uma imagem correta da situação. Ao olhar para as aberturas de ventilação, para o seu tamanho e localização, os bombeiros podem determinar se estão perante um incêndio ventilado ou infraventilado. Quando uma porta se abre e o fumo sai, é provável que seja ventilado.

A situação é diferente quando o serviço de bombeiros chega a um edifício que está completamente fechado. Quando todas as janelas e portas estão fechadas, a ventilação é insuficiente para que o incêndio se desenvolva completamente. Claro, que isto tem de ser considerado no contexto certo. Numa casa moderna, o volume dos

compartimentos é pequeno e o incêndio, é provavelmente, incapaz de quebrar uma janela ou forçar uma abertura através da camada externa de construção. A equipa de extinção pode assumir que o perfil de ventilação permanecerá estável até à sua entrada. Num hangar de uma fábrica com grande volume, é possível que o incêndio se desenvolva significativamente antes de transitar a controlado pela ventilação. Afinal, um hangar grande tem uma enorme quantidade de ar disponível. Além disso, é possível que um elemento de construção de plástico na parede (por exemplo, uma porta) ou no telhado (por exemplo, uma telha transparente ondulada) derreta, criando-se desta forma uma abertura através da qual a ventilação se desenvolva.

É possível, tendo em conta o tamanho do edifício, ao olhar para as aberturas nas paredes e tetos avaliar se o incêndio está ventilado ou infraventilado.

3.1 Incêndio infraventilado pouco depois do ponto CC/CV

Quando não existem aberturas, é preciso olhar para o fumo que sai. Acima explicamos que num incêndio a desenvolver-se dentro de um compartimento, a pressão no seu interior aumenta. A pressão positiva fará com que o fumo seja expulso através de pequenas aberturas para o exterior. Quanto maior a pressão, maior será a quantidade e velocidade a que vai fluir o fumo.



Figura 7 Durante este incêndio infraventilado, a temperatura interior era muito alta. A sobrepressão interior empurra o fumo para o exterior. (© Foto: Zbigniew Wozniak)

Quando o fumo está a ser expulsado para o exterior, significa que existe uma grande sobrepressão dentro do compartimento. Traduzindo também que foi atingida uma alta temperatura no interior. Se neste momento, se abre uma porta para aceder ao interior, cria-se um fluxo perigoso de ar. O fumo será expelido violentamente e o ar será sugado. Por norma, forma-se um túnel de ar. A parte superior da porta é utilizada como exaustor do fumo, enquanto a parte inferior como um túnel de fornecimento de ar. Esta situação

não durará muito tempo, dado que a sobrepressão irá diminuir perante esta grande abertura. Contudo continuará a existir uma entrada de ar e uma saída de fumo quente. Podendo esta situação transitar rapidamente a um flashover induzido pela ventilação. Em casos raros, pode mesmo ocorrer um backdraft.

A situação acima ilustrada é claramente reconhecível no teatro de operações. Os bombeiros podem entender o que está acontecer se tiverem sido bem formados em desenvolvimento de incêndios infraventilados, alterações de temperatura e pressão. O que acontece quando uma porta se abre pode novamente ser ilustrado recorrendo à analogia da "autoestrada em obras". Antes das obras, os condutores

tiveram que baixar a velocidade para 70 km/h. No entanto, a maioria dos condutores com a pressa quer voltar novamente aos 120 km/h o mais rápido possível. Assim que saem da área em obras e passam o sinal que anula a redução de velocidade, acelerarão até estarem a 120 km/h. Um incêndio, como o acima descrito, progredirá rapidamente assim que obtiver o ar de que necessita, progredindo até à sua TLC máxima que pode ser alcançada com a quantidade de ar que está disponibilizada pela abertura da porta da frente.



Figura 8 No final da zona de obras, é aumentado o limite de velocidade. O incêndio tem um TLC limitada devido à falta de ar. Assim que a porta é aberta, esta restrição é eliminada e o incêndio transitará a flashover induzido pela ventilação. (Foto: shutterstock)

3.2 Incêndio infraventilado com uma depressão

A secção anterior explica como um incêndio infraventilado se sufoca a si mesmo. Tanto a temperatura como a pressão diminuirão no interior. O fluxo de saída de fumo será interrompido. O fumo deixa frequentemente algumas marcas, podendo ser observadas

manchas de fuligem ao redor das janelas e portas. Essas manchas podem ser o único sinal visível de que o incêndio esteve ou está a desenvolver-se no interior. Não ficando claro desde o exterior se este atingiu o seu estágio de depressão ou se ficou extinto por completo.

Se este incêndio ocorre durante a noite, à chegada do serviço de incêndios, estes tipos de sinais são facilmente ignorados. Na verdade, não há fumo visível. Portanto, é extremamente importante não tirar nenhuma conclusão pelo facto de que nada se avista. Ed Hartin dos EUA usa a seguinte frase: "Se nada for mostrado, significa exatamente isso: nada!". Nos casos em que nada é avistado de fora à chegada dos bombeiros, nada acontece na maioria das vezes. No entanto, isto pode levar à rotina e complacência. Somente quando a porta for aberta, é que ficará evidente se se passa algo ou não.

Quando o incêndio está num estágio de depressão, abrir uma porta causará uma entrada de ar rápida e turbulenta sem que em simultâneo saia fumo para o exterior. Esta entrada de ar pode ser tão forte que se torne impossível fechar a porta novamente. Este fluxo indica que um incêndio intenso se está a desenvolver no interior. As Figuras 4 e 5 mostram a temperatura interior de cerca de 200°C enquanto a depressão nesse momento é de 50 Pa. Se as equipas de extinção abrirem a porta sob essas condições, ocorrerá um flashover induzido por ventilação num razoável curto período de tempo (dois a quatro minutos).

É um cenário familiar para bombeiros e pode ser facilmente explicado pela compreensão da relação entre o desenvolvimento do incêndio, aberturas no compartimento, temperatura e pressão. É importante que os oficiais ao comando reconheçam estes sinais e percebam o que está a acontecer. Desta forma, podem ajustar corretamente as suas táticas e combater o incêndio com segurança e eficiência.

3.3 Incêndio infraventilado muito depois do ponto CC/CV

Há também uma terceira possibilidade a do incêndio se ter extinguido por si. A figura 3 mostra três incêndios infraventilados. A linha amarela ilustra um incêndio que corresponde ao gráfico da figura 4. A temperatura aumenta significativamente antes da falta de oxigénio. É claro que a temperatura depois também diminuirá rapidamente. Nas casas modernas, é altamente improvável que uma janela se quebre. O volume mantém-se, portanto, fechado. Passado algum tempo, o incêndio extingue-se devido à falta de oxigénio. O fumo quente transferirá sua energia para as paredes da mesma forma que para o ar. Passado algum tempo, a temperatura voltará a atingir os níveis que existiam antes do incêndio ter ocorrido.

Quando o serviço de bombeiros abre uma porta neste tipo de situações, é criado um pequeno fluxo de ar. Não há praticamente nenhuma diferença de pressão com o ambiente exterior. Além disso, a diferença de temperatura entre o fumo e o ar exterior é quase nula. A formação de qualquer eventual fluxo ocorre lentamente. Este é novamente um cenário óbvio para os bombeiros. Uma câmara de visão térmica não mostrará quase nenhum aumento da temperatura no interior. Quando o incêndio estiver completamente extinto, a temperatura no interior permanecerá a mesma. Uma câmara de visão térmica é, portanto, uma ferramenta valiosa ao avançar para um incêndio infraventilado. No momento em que ainda exista um foco de incêndio e a TLC aumente, a câmara permitirá

que os bombeiros a interpretem antes de começarem a sentir a temperatura subir, através do seu EPI.

4 Bibliografia

- [1] *Study of the Effectiveness of Fire Service Positive Pressure Ventilation During Fire Attack in Single Family Homes Incorporating Modern Construction Practices, UL FSRI, resultatenverwacht in 2016*
- [2] *Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, Kerber Steve, 2011*
- [3] *Ventilating today's residential fires, Kerber Stephen, presentatie op FDIC, 2011*
- [4] *Fire dynamics: Technical approach, tactical application, Lambert Karel & Baaij Siemco, 2015*
- [5] *Scientific research for the development of more effective tactics, UL FSRI, Fire Department New York & NIST, 2012*