

# Aberturas de ventilação e incêndios

Existe uma grande confusão nos serviços de bombeiros sobre quando se devem criar/recorrer a aberturas para ventilar durante o combate ao incêndio. Na Bélgica, a ventilação com pressão positiva (VPP) geralmente não é iniciada até que o incêndio tenha sido extinto, desta forma a ventilação não afeta o seu comportamento. Noutros países, é costume iniciar a ventilação durante o combate ou inclusivamente antes do ataque interior. Este procedimento, especialmente antes de realizar o combate, pode influenciar o comportamento do incêndio, sendo este o caso, mesmo quando a ventilação utilizada é a natural. É importante que o serviço de bombeiros perceba que abrir uma porta de acesso ao incêndio equivale à ventilação natural. Assim sendo, significa isto que a abordagem belga ao incêndio (sem VPP) pode afetar o seu desenvolvimento

## 1 Influência no comportamento do incêndio

Para entender a influência no comportamento do incêndio, ao criar aberturas de ventilação, primeiro é preciso entender o próprio comportamento do incêndio, desta forma distinguimos dois tipos diferentes de comportamentos. Por um lado, temos o comportamento de um incêndio "ventilado" e por outro lado temos o comportamento de um incêndio "infraventilado". Para entender estes dois termos, vamos primeiro explicar os diferentes regimes de combustão: controlado pelo combustível e controlado pela ventilação.

### 1.1 Regime de combustão

No início de um incêndio, apenas uma pequena quantidade de combustível está envolvida na combustão. Existe ar mais que suficiente para alimentar esse pequeno incêndio. As características do material (combustível) e sua distribuição no compartimento determinarão o seu desenvolvimento. Outros atributos importantes são a propagação da chama, que é a velocidade à qual as chamas se propagam na superfície e a velocidade de libertação de energia, que é a velocidade à qual o combustível produz energia. Na fase inicial do incêndio, o combustível controla o desenvolvimento, sendo este estágio conhecido como um incêndio "controlado pelo combustível"

Passado algum tempo o incêndio desenvolve-se mais, a temperatura aumenta enquanto que a concentração de oxigénio diminui, formando-se uma camada de fumo. Passado algum tempo, esta camada de fumo inflamasse (o rollover). Por este motivo, a radiação de calor para o combustível que está abaixo desta camada de fumo aumenta significativamente e o flashover ocorre. Para que este cenário ocorra, deve existir uma suficiente quantidade de ar. Significando isto que é preciso ter pelo menos uma porta ou uma janela aberta. Outra possibilidade é que uma janela (por exemplo, de vidro simples) se parta durante o desenvolvimento do incêndio.

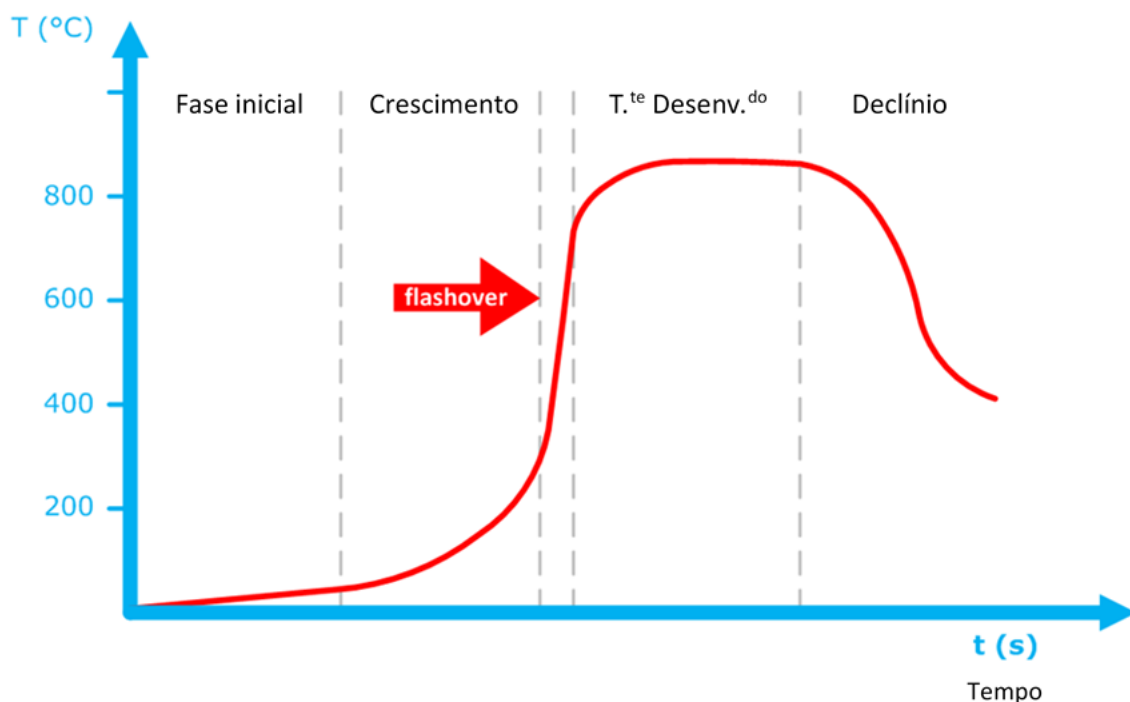
Após o flashover, todo o compartimento está em chamas. O incêndio consome o oxigénio para si próprio por qualquer abertura disponível. Tipicamente saem chamas pelas aberturas do compartimento. Ocorrendo isto porque o suprimento de ar que entra pelas aberturas é insuficiente para o incêndio e, como não há oxigénio suficientemente disponível no interior, parte do fumo inflamasse no lado exterior, dado que fora do

compartimento, existe oxigénio suficiente. A intensidade do incêndio já não está determinada pela quantidade de combustível, é a ventilação (oxigénio) quem determina o seu desenvolvimento. Para cada quilograma de oxigénio que entra no compartimento, podem ser liberados cerca de 13 Megajoules (MJ) de energia. Na prática podemos dizer que podem ser libertados 3MJ de energia por cada metro cúbico de ar. Quando o ar flui a 1m/s através de uma porta de 2 mt. <sup>2</sup>, pode alimentar um incêndio de 6MW. Como é a ventilação quem agora condiciona o desenvolvimento, o incêndio passa a estar "controlado pela ventilação".

## 1.2 Dois tipos de comportamentos de incêndio

### 1.2.1 Comportamento do incêndio ventilado

O comportamento do incêndio ventilado desenvolve-se por 5 etapas, desde a fase inicial, passando para a fase de crescimento, estando em ambas as fases controlado pelo combustível, transitando a flashover. Nesta fase ocorre a transição de regime, de controlado pelo combustível para controlado pela ventilação. O quarto estágio é o total desenvolvimento durante o qual, o incêndio está controlado pela ventilação. Quando o combustível acabar, a potência do incêndio diminuirá assim como a necessidade de oxigénio. Em algum momento, este incêndio retornará à fase controlado pelo combustível.



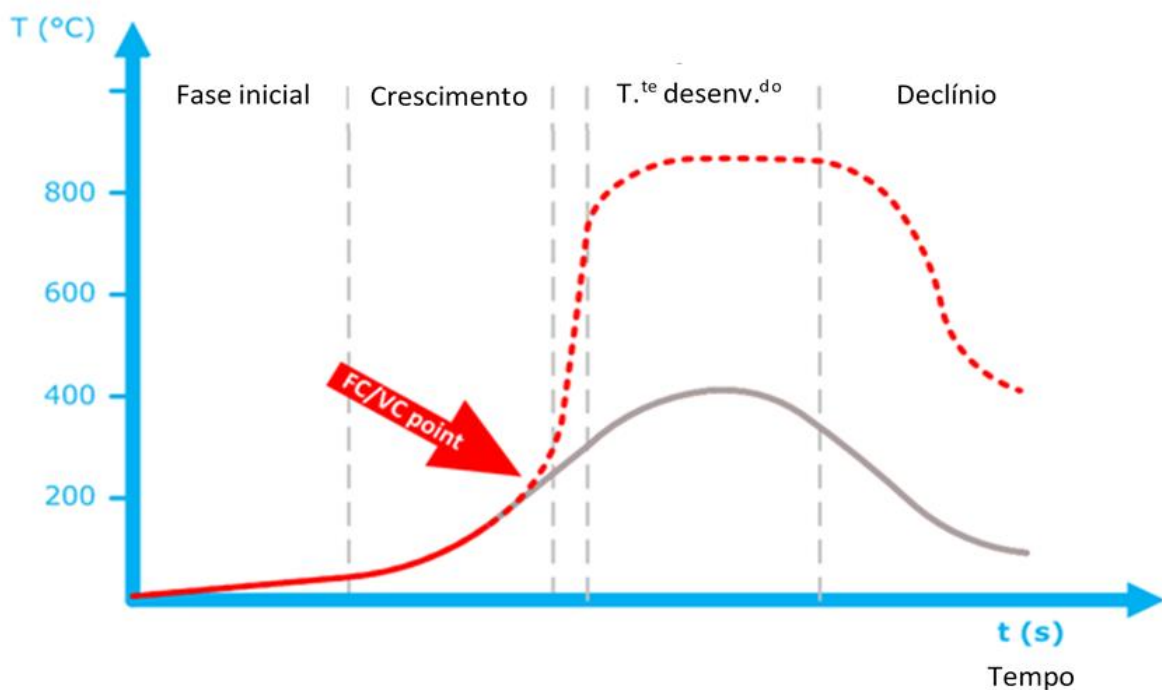
**Figura 1** Comportamento do incêndio ventilado (Gráfico: Karel Lambert)

O comportamento do incêndio ventilado inicia controlado pelo combustível, passando ao regime de controlado pela ventilação voltando posteriormente ficar controlado pelo combustível.

### 1.2.2 Comportamento do incêndio infraventilado

O comportamento do incêndio infraventilado é o mesmo que o do ventilado, estando controlado pelo combustível tanto na sua fase inicial, como durante o estágio de crescimento. A diferença está na disponibilidade de aberturas de ventilação, quando há pouca ou nenhuma ventilação, a concentração de oxigênio baixa rapidamente. Passando o incêndio a ficar controlado pela ventilação antes da sua transição a flashover ocorrer, permanecendo controlado pela ventilação até que o incêndio se extinga por si mesmo ou pelo serviço de bombeiros.

*"Um incêndio infraventilado é um incêndio que fica controlado pela ventilação antes da sua transição a flashover."*



**Figura 2** Ou comportamento infraventilado: a linha vermelha indica a parte que é comum para os dois tipos de comportamentos. A linha pontilhada vermelha indica o comportamento natural do incêndio ou ventilado, enquanto a linha cinza indica o comportamento do incêndio infraventilado. (Gráfico: Karel Lambert)

O incêndio infraventilado também inicia controlado pelo combustível, mas entra no regime de controlado pela ventilação muito antes, ocorrendo isto antes da sua transição a flashover, permanecendo controlado pela ventilação até se extinguir.

### 1.3 Influência da ventilação

Nos Estados Unidos, é costume ventilar durante as operações de combate a incêndios, significando isto que geralmente são criadas aberturas extra, podendo tal ser conseguido quebrando janelas (ventilação horizontal) e/ou criando aberturas no telhado (ventilação vertical). Na maioria das vezes é realizada a ventilação natural, não sendo, portanto, utilizados os ventiladores de pressão positiva. O Youtube contém inúmeros vídeos de incêndios onde a ventilação faz com que se perca o controlo da situação.

Em dado momento, alguém inventou esta tática. Nos Estados Unidos esta tática foi acreditada por Benjamin Franklin (1706-1790). Este inventor e bombeiro criou a tática para se livrar do fumo durante as operações de combate a incêndios, durante muitos anos esta tática sortiu muito bons resultados. Isto ocorria porque o comportamento dos incêndios era diferente no passado. O combustível era composto maioritariamente por produtos naturais, enquanto hoje o combustível em qualquer casa é composto principalmente de produtos petrolíferos. Steve Kerver mostrou que o tempo para transição a flashover diminuiu imensamente, de cerca de 30 minutos nos anos 50 foi reduzido para 3 ou 4 minutos hoje em dia. Significando isto que, hoje, os incêndios são controlados pelo combustível por um período de tempo muito inferior ao passado.

Recorrer à ventilação a num incêndio controlado por combustível tem um efeito muito limitado. Afinal, o desenvolvimento do incêndio é determinado pelas características do combustível, por este motivo há muito tempo que a ventilação era uma tática padrão nos Estados Unidos. Até ao final do século 20, esta era uma ótima tática.

Nos edifícios modernos, os incêndios muito rapidamente passam a estar controlados pela ventilação, quando tal sucede antes da transição a flashover, estamos perante um incêndio infraventilado, sendo que, ultimamente cada vez mais nos deparamos com este tipo de incêndios. Quando é criada uma abertura num compartimento e estamos perante um incêndio infraventilado, a taxa de libertação de energia do incêndio aumentará, este tipo de ventilação do incêndio determina o seu desenvolvimento, com esta abertura é disponibilizada uma quantidade de ventilação extra. Existem diferentes fórmulas para calcular a potência máxima que um incêndio pode gerar dependendo da área de superfície e da altura das aberturas. Uma porta aberta com uma altura de 2 metros e uma largura de 0,9 metros pode fazer com que a potencia no interior do incêndio aumente 3 ou 4 MW. Quebrar uma janela de 2 metros de largura e 1,5 de altura, pode alimentar o incêndio de 4,7 para 5,5 MW.

Portanto, a ventilação deve ser manuseada cuidadosamente ao estarmos perante este tipo de incêndios. A taxa de libertação de energia, sempre que se realiza uma abertura aumenta. Os bombeiros nos Estados Unidos ao estarem cada vez mais conscientes disto, entre outras ações, introduziram o "homem da porta". Este bombeiro garante que a porta permaneça o mais fechada possível. Aplicando este princípio, a taxa de libertação de energia do incêndio é limitada.

## **2 Eficácia das aberturas de ventilação**

Outra questão importante é a que surge com o tamanho da abertura de ventilação. Muito se tem escrito sobre este assunto na literatura dos bombeiros. Nos Estados Unidos, uma saída de 4 por 4 pés (1,2 x 1,2 mt.) é considerada normal, representando uma abertura de 1,44 mt<sup>2</sup>. Recentemente tem sido sugerido que não são suficientemente grandes pelo que uma abertura de 4 por 8 pés seja mais utilizada hoje em dia, isto é, 2,88 mt<sup>2</sup>. Na Europa, a criação de aberturas de cobertura não é prática comum. Normalmente mantemos aberturas ou quebramos janelas. Nestas situações, o tamanho da abertura é frequentemente ditado pelo tamanho das janelas existentes. É preferível abrir as janelas do que as quebrar, pois uma janela aberta quando representa um fluxo de ventilação indesejado pode ser novamente fechada, não havendo a mesma possibilidade se forem quebradas.

Ao manter a entrada e a saída numa proporção específica entre si, a ventilação pode ser realizada de forma mais eficiente, significando isto que pode ser obtido através de determinada abertura o maior fluxo possível.

Para determinar essa relação ideal, deve ser feita uma distinção entre a ventilação natural e a pressão positiva. Os parágrafos seguintes referem-se a situações em que uma abertura é utilizada unicamente como entrada e outra apenas como saída. Sendo dum modo geral o caso da ventilação vertical. Na prática, a ventilação horizontal é mais complexa. Com frequência, as aberturas são utilizadas em duas direções. Cada abertura tem um fluxo duplo através delas. É impossível simplificar este fenómeno em particular, portanto, vamos simplificar as coisas nas seções seguintes.

## 2.1 Ventilação natural

A ventilação envolve basicamente o transporte de uma massa de fumo do interior para o exterior. Como não é possível criar um vácuo, essa massa de fumo será substituída por uma massa igual de ar. No caso de ventilação natural, o fumo deixará o compartimento por flutuabilidade. A força ascendente é o resultado da diferença de densidade (temperatura) entre o ar e o fumo. Para que a ventilação funcione corretamente, deve fluir ar suficiente para o interior do compartimento. Estudos mostraram que 90% de eficiência é alcançada quando o ponto de entrada tem duas vezes o tamanho do ponto de saída (para qualquer saída). Este rácio reduz-se a 80% de eficiência quando a entrada tem a mesma dimensão que a saída (ver figura 3).

Um exemplo numérico poderá esclarecer um pouco melhor as coisas. Suponhamos que um compartimento tem que ser ventilado e tem uma porta (largura x altura: 1x2 metros) e quatro janelas de 1 mt<sup>2</sup>. Suponhamos que o fumo tenha uma temperatura de 300°C. Se uma janela se abre para servir de saída e a porta funciona como uma entrada, forma-se um rácio de entrada / saída de 2, dando origem a uma eficácia de 94% (relativamente ao fluxo máximo teórico) através da saída. O compartimento é ventilado em 2,67 kg de fumo por segundo. Se uma segunda janela for aberta, o rácio entrada / saída cairá para 1. A eficiência de cada janela separada diminuirá em 81%. No entanto, a área total de todas as saídas é dupla. Isto significa que a capacidade máxima teórica alcançada de uma janela é de 1,61 vezes. Na verdade, é melhor do que 0,94 vezes da capacidade de uma única janela. De facto, por segundo saem 4.81kg de fumo. Quando todas as quatro janelas estão abertas, rácio entrada / saída cai para 0,5. A eficiência de cada janela é de 57%. No entanto, existem agora quatro janelas abertas. Para este exemplo, obtêm-se valores de 7,26 kg / s. Sempre que se abrem mais janelas, a eficiência por janela torna-se cada vez mais reduzida. Se o ponto de saída tem três vezes o tamanho do ponto de entrada, a abertura de janelas adicionais torna-se inútil.



**Figura 3** Eficiência do fluxo relativamente à proporção entre a entrada e saída de fumo a uma temperatura de 300°C. Quando ponto de entrada é duas vezes maior que o ponto de saída, a eficiência é de 94%. Quando a entrada tem o mesmo tamanho que a saída, esta é reduzida para 81%.

Em resumo, pode-se afirmar que a relação de entrada / saída de 2/1 para uma única janela obtém a maior eficiência. Abrir mais janelas leva a uma menor eficiência por janela, mas a um maior fluxo total. Quando uma proporção de 1/3 for atingida, não haverá mais utilidade na abertura de mais janelas. É importante ter em mente que isto é válido para ventilação vertical. A porta está completamente abaixo da camada de fumo e as janelas estão acima do plano neutro, sendo totalmente utilizadas como saídas.

## 2.2 Ventilação com pressão positiva

Para ventilação com pressão positiva, para que seja conseguido o fluxo ideal a relação entre a entrada e a saída tem de ser diferente. A proporção é a oposta à da ventilação natural. Por outras palavras, para se obter um fluxo ideal, a saída



**Figura 4** Posicionamento de dois ventiladores de pressão positiva em formação de V. (Foto: Frank Meurisse)

deve ter o dobro do tamanho da entrada. No exemplo anterior, a eficiência ideal era alcançada quando todas as quatro janelas estavam abertas. Desta forma o rácio entrada

/ saída é 1/2. Este fluxo não é criado pela diferença de temperatura entre o fumo e o ar, mas sim forçado pelo ventilador. Uma vez mais, é possível melhorar o efeito da ventilação abrindo mais janelas. Contudo como na ventilação natural, não faz sentido tentar obter uma relação inferior a 1/3.

### 3 Vento

Na seção anterior, examinamos a eficiência do fluxo de uma única janela sem considerar as condições locais. Na verdade, esta não é forma correta de proceder. Antes de fazer qualquer abertura de ventilação, temos que verificar se há vento e qual a sua direção.

No caso da ventilação natural, o vento terá uma grande influência. Portanto, é imperativo tentar ventilar sempre "com o vento". Implicando isto que a entrada deve ser criada no lado onde o vento está a soprar (barlavento), e de preferência, a saída deve ser criada do lado oposto (sotavento). Mesmo quando a saída for criada num telhado inclinado, o melhor é seguir esta regra. Quando tal é impossível de se conseguir, tentar-se-á a maior eficiência possível com a abertura de ventilação (ver acima).

A ventilação com pressão positiva faz com que a situação seja menos dependente do vento. Ventilar contra o vento pode ser conseguido de forma limitada. Nestas situações, a saída pode permanecer pequena, isto levará a uma maior sobrepressão interior. Para pequenas velocidades de vento, isto pode ser suficiente para superar a pressão que este exerce, podendo também pode ser útil para situações em que não é possível criar aberturas a sotavento. No entanto, é importante perceber que esta opção é muito limitada. Estudos revelam que os ventiladores VPP, que normalmente existem nas viaturas de bombeiros, podem criar uma sobrepressão de 26 Pascal, equivalendo isto, aproximadamente, à pressão criada por um vento de 20km / h. Ventilar contra a direção do vento só funcionará com velocidades de vento muito baixas, várias fontes mencionam que não se pode passar o limite de 10 km / h, para velocidades de vento inferiores, a ventilação contra o vento é eficaz. Acima desta velocidade, a sua eficiência diminui drasticamente.

#### 4 Bibliografia

- [1] *Lambert Karel, New insights into ventilation, De brandweerman, May 2011*
- [2] *Hartin Ed, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)*
- [3] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [4] *Kerber Steve, Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes, Fire Technology, vol. 48, p 865-891, 2012*
- [5] *Merci Bart, Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent, 2010*
- [6] *Svensson Stefan, Fire Ventilation, Swedish Rescue Services Agency, 2000*
- [7] *Christian Gryspeert, personal communication, 2014*
- [8] *Kerber Steve, Madrzykowski Dan & Stroup David, Evaluating positive pressure ventilation in large structures: high-rise pressure experiments, NISTIR 7412, Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2007*

Karel Lambert