

O que é o fluxo dos gases?

1 Introdução

O modelo SAHF foi idealizado pelo australiano Shan Raffel no início dos anos 2000. Após muito debater com colegas, e sob a influência do americano Ed Hartin, mais tarde o modelo mudou um pouco para B-SAHF. Este modelo foi também chamado de "leitura do incêndio". É uma ferramenta para determinar com que tipo de incêndio nos deparamos no teatro de operações. B-SAHF significa Construção (Building), Fumo (Smoke), caminho do ar (Air Track), Calor (heat) e Chamas (Flames). O objetivo deste artigo é elaborar o parâmetro: caminho do ar.

2 Fluxo do ar (Air track)

2.1 Porque é que o fumo flui?

2.1.1 Flutuabilidade ou princípio de Arquimedes

A teoria do fluxo é muito complicada. Muitos parâmetros físicos estão envolvidos. Aqui vamos tentar descrever o que está a acontecer durante um incêndio.

Durante um incêndio, um papel crucial é desempenhado pelo seu foco, dado produzir fumo quente. Sendo este fumo mais quente que o ar circundante. Todos sabemos que quando os objetos são aquecidos, se expandem. Para sólidos e líquidos, a expansão é bastante limitada. Pelo contrário, para os gases (fumo) o aumento da temperatura causa uma expansão massiva. Devido a esta expansão, a densidade do gás diminui. Isto significa que o peso de 1 metro cúbico de gás diminuirá. O fumo que tem uma temperatura de 315°C tem uma densidade igual a metade da densidade do ar a 20°C. Um aumento de temperatura causa uma diminuição da densidade.

Então, qual é a importância desta diferença de densidades? Para entender isto, é necessário realizar uma experiência mental. Pense numa banheira com água. Pegue numa bola de pingue-pongue e segure-a no fundo da banheira. Agora solte-a. A bola de pingue-pongue subirá para a superfície da água. O motivo da subida da bola é uma diferença de densidade. A água exerce uma força ascendente na bola de pingue-pongue. Isto chama-se de princípio de Arquimedes. A força para cima é diretamente proporcional ao volume da bola e à diferença de densidade entre a bola e a água. Dado a bola de pingue-pongue ser muito mais leve que a água, esta subirá.

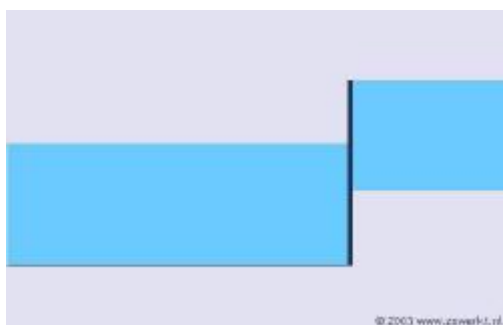
Devido ao facto de o fumo ter uma densidade menor que o ar circundante, este subirá. Enquanto o fumo está a subir, o ar está a misturar-se, fazendo com que a temperatura do fumo diminua. Devido à descida de temperatura, a diferença de densidades também diminui. E, posteriormente, a flutuabilidade também diminuirá. A partir do momento em que o fumo arrefece até ao ponto em que sua temperatura é igual à do ar circundante,

fica estagnado. Por vezes, pode-se observar este fenómeno numa sala cheia de pessoas que fumam cigarros.

Ao contrário da bola de pingue-pongue, não estamos a lidar com uma única partícula de fumo, mas com um fluxo contínuo de fumo. E, contrariamente à banheira, não há superfície da água. Aqui a fronteira do ar é composta pelo teto. O fumo será, portanto, incapaz de subir indefinidamente. Poderíamos ver isto como se lançássemos dezenas de bolas de pingue-pongue no fundo de um aquário. Passado um tempo, as bolas que chegam ao teto afastarão as que já estão lá. A mesma coisa ocorre num fluxo de fumo. O fumo fluirá até ao teto, desviará e fluirá horizontalmente ao longo deste.

2.1.2 Diferenças de pressão

Outra forma de examinar o fluxo do ar é observar a diferença de pressão entre duas áreas. Um exemplo bem conhecido disto é uma barragem. Uma barragem é construída para atingir um nível de água mais alto de um lado e um mais baixo do outro lado. Por



este motivo, a pressão de um lado também é maior que do outro. Abaixo da superfície, um ducto pode ser aberto para permitir que a água flua de um lado para o outro. A água fluirá sempre da área de maior pressão para a área de menor pressão. O fluxo está a tentar anular a diferença de pressão continuando até que deixe de existir diferenças de pressões. Quanto maior for a diferença de pressão, mais violento será o fluxo.

Figura 1 Desenho esquemático de uma barragem.

O mesmo fenómeno ocorre ao lidar com gases. O cilindro do aparelho respiratório (ARICA) é disto um exemplo bem conhecido entre os bombeiros. Dentro do ar do cilindro, a pressão é mantida muitas vezes superior que a do ar circundante. Quando se abre a torneira do cilindro, disponibilizasse uma saída da qual pode escapar o excesso de pressão. O ar está a ser expelido, produzindo isto muito barulho. O ar está a fluir bastante rápido. Isto ocorre devido à grande diferença de pressão entre o ar no interior do cilindro do ARICA e a pressão atmosférica exterior. Esta fuga gradual de ar fará com que a pressão interior diminua. A velocidade do ar a sair diminui e o ruído também. No entanto, o fluxo de ar continuará até que a pressão do ar do cilindro do ARICA seja igual à pressão exterior. Quando durante um incêndio é criada uma sobrepressão em determinada área, é criado um fluxo de ar quando é realizada uma abertura. A natureza tentará eliminar essa diferença de pressão.

2.2 O que acontece a seguir?

O desenvolvimento futuro dependerá da dimensão do incêndio. Se este cresce e se expande, a quantidade de energia libertada aumenta. Neste caso, a quantidade de fumo produzido também aumenta.

Karlsson & Quintiere descrevem o desenvolvimento de incêndios no seu livro "Enclosure Fire Dynamics". A descrição é bastante esquemática, mas é uma boa abordagem da realidade. São descritos quatro perfis de pressão diferentes que um incêndio exhibe desde a fase incipiente até à sua fase de total desenvolvimento. Durante a fase incipiente do incêndio, é criada uma sobrepressão no interior do compartimento pelo fumo. O fumo

que está a ser produzido expandir-se-á. Este processo está a ser dificultado pelo ar presente no ambiente circundante. Isto causa um leve excesso de pressão. Se fosse realizada uma abertura, a pressão poderia ser aliviada.

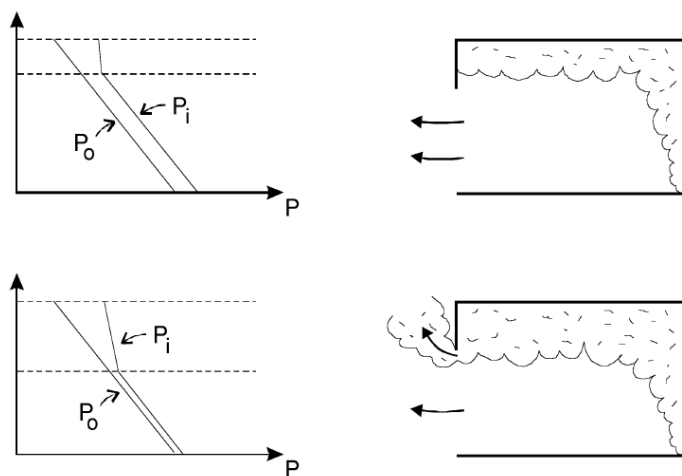


Figura 2 Perfis de pressão A e B. (Gráfico: Karlsson & Quintiere)

A Na Figura 2, A mostra a situação na fase incipiente do incêndio. O foco de incêndio está a produzir fumo. O fumo subirá e formará uma camada contra o teto.

B O incêndio criará um ligeiro excesso de pressão. Por causa desta parte, o ar mais frio dentro da sala, será forçado a sair. À esquerda deste desenho, um diagrama mostra o perfil de pressão. O eixo horizontal

indica a pressão. Isto significa que a pressão aumenta para a direita. O eixo vertical indica altitude. A linha rotulada P_o representa a pressão do ar exterior. A pressão do ar é representada pelo peso do ar na terra. Quanto mais alto, mais fino o ar fica. A pressão do ar diminui. A inclinação da linha é obviamente exagerada, mas isto serve ao propósito de mais claramente ilustrar o fenómeno. A pressão dentro do compartimento é representada pela linha rotulada P_i . O gráfico mostra que a pressão interior é um pouco maior que a exterior. A linha P_i está localizada mais em direção ao lado direito. O que também é claro de ver é que essa linha é paralela à linha P_o . O ar dentro da sala tem mais ou menos a mesma temperatura que o ar exterior. Neste caso, a pressão também diminui igualmente de acordo com a altitude. No momento em que P_i toca a camada de fumo dentro da sala, a linha desvia. A temperatura da camada de fumo é muito mais elevada que a temperatura do ar circundante. A densidade do fumo é, portanto, menor. Isto significa que o fumo pesa menos que o ar circundante. Se alguém se elevar neste ambiente, a pressão irá diminuir menos rapidamente.

À medida que o incêndio cresce, várias coisas vão ocorrer. A camada de fumo cairá. Isto significa que o momento em que P_i se desvia será também posicionado mais baixo. A sobrepressão diminuirá porque o ar está a ser expelido pela abertura da porta. A linha P_i deslizará para a esquerda e será posicionada mais próxima da linha P_o . Este último ainda representa a pressão do ar exterior. Esta linha permanecerá inalterada durante todo o desenvolvimento do incêndio. Em poucas palavras, não é por existir um incêndio, que existe uma alteração nas condições atmosféricas.

Posteriormente, um segundo perfil de pressão está a ser criado no momento em que a camada de fumo desce abaixo da altura da abertura da porta. Este perfil de pressão é chamado perfil B e dura apenas alguns instantes. Nesta fase, o ar frio e o fumo quente fluem pela abertura da porta. Isto rapidamente causa a eliminação da sobrepressão no interior da sala. Este é um tipo de fase de transição que é necessário apenas para permitir a compreensão do seguinte desenvolvimento.

2.3 A fase de desenvolvimento e o incêndio totalmente desenvolvido

O incêndio atingiu a fase de desenvolvimento. A camada de fumo (smoke layer) já desceu severamente. A temperatura do fumo aumentou muito. O foco de incêndio está a consumir uma substancial quantidade de ar. O ar no interior da sala deixa de ser suficiente para alimentar o incêndio, estando a ser aspirado do exterior para alimentar a necessidade do incêndio.

Será criado o perfil de pressão C.

A linha P_i (pressão do ar interior) move-se mais para a esquerda. A linha mudou tanto que a pressão do ar ao nível do solo no exterior é agora maior que a pressão do ar no interior.

Por causa da ainda mais acentuada descida da camada de fumo (smoke layer),

a linha agora desvia ainda mais perto do nível do solo do que no perfil B. Podendo agora, ser claramente distinguidas duas zonas separadas. A zona abaixo da camada de fumo na qual a temperatura é aproximadamente igual à temperatura exterior. Nesta zona, ambas as linhas serão paralelas. A pressão do ar diminuirá igualmente de acordo com a altitude, porque a densidade é a mesma. Devido ao facto da pressão interior ser menor do que a pressão exterior, está a ser formado um caminho de ar de fora para dentro. Este é o fluxo de ar que alimenta o incêndio.

A segunda zona está a ser formada pela camada de fumo. Dentro dela, a linha P_i desvia. Significa isto que a diferença entre a pressão interior e a pressão exterior está a diminuir. Num certo ponto, a linha que representa a pressão interior (P_i) cruza com a linha que representa a pressão exterior (P_o). Neste ponto, a pressão interior é igual à pressão exterior. Sendo isto o chamado plano neutro. Normalmente, o neutro está localizado cerca de 10 cm acima do fundo da camada de fumo. Esta distinção é de pouca importância para os bombeiros. Na prática, o fundo da camada de fumo serve como uma boa indicação para o plano neutro.

Acima do plano neutro, ambas as linhas continuam ao longo dos seus respetivos caminhos. Isto causa uma nova diferença de pressão entre o interior e o exterior. A pressão dentro da sala é maior que a pressão exterior. Esta diferença de pressão aumenta em relação à altitude. Quanto mais alto o plano neutro, maior a diferença de pressão. Não sendo este o caso abaixo do plano neutro. Lá, a diferença de pressão permanece constante para cada altitude. Acima do plano neutro, será criado um fluxo de fumo. A velocidade com que este fluxo circula aumenta quando o fumo fica mais quente e quando sobe mais acima do plano neutro. Durante o perfil de pressão C, existe um fluxo para o interior de ar fresco abaixo e um fluxo para fora de fumo. Este perfil será mantido até ocorrer o flashover. O tempo necessário para que isto ocorra depende da carga de combustível e das especificidades do compartimento. Como mencionado nos

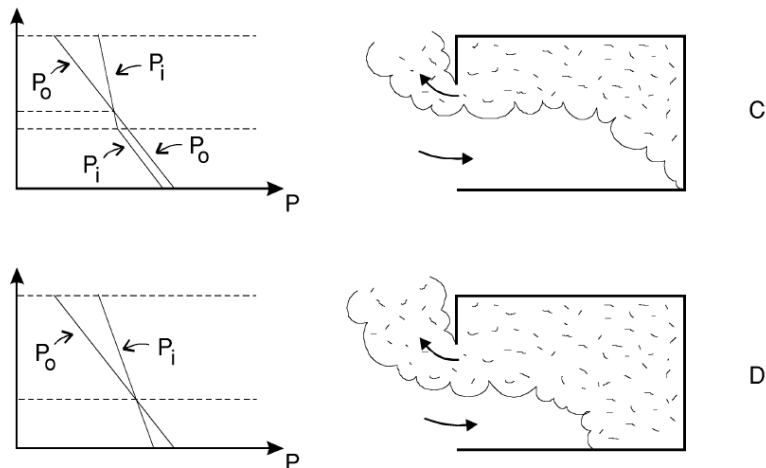


Figura 3 Perfil de pressão C e D (Gráfico: Karlsson & Quintiere)

artigos anteriores, este período diminuiu consideravelmente nas últimas décadas. O prazo para que o flashover ocorra hoje em dia, por norma, demora cerca de 3 a 4 minutos. A experiência mostrou-nos que a propagação do combustível de incêndio dentro da sala ou a falta de oxigénio como resultado de uma abertura muito pequena pode causar o atraso do flashover.



Figure 4 Double flow for a compartment fire. Smoke is flowing out from the top of the door opening. Air is flowing in from the bottom. (Photo: Nico Speleers)

Após o flashover, deixam de existir duas zonas separadas com temperaturas diferentes. O compartimento é considerado uma zona única com aproximadamente a mesma temperatura em toda a sala. Deixa de existir uma camada de fumo definida. O lado inferior das aberturas ainda é utilizado para aspirar o ar fresco, mas a camada de fumo que era claramente distinguida durante a fase de desenvolvimento encheu agora por completo o compartimento. Além disto, o fumo inflamou-se. A Figura 3, D mostra o perfil de pressão desta fase. A pressão do ar exterior P_o ainda permanece inalterada. O perfil de pressão interior assumiu uma nova forma. Considerando que a temperatura interior é aproximadamente a mesma do outro lado da sala, a linha que representa

esta pressão deixa de ter desvio. A temperatura dentro da sala é muito maior do que fora. Isto significa que a densidade interior é muito menor que a exterior. Por sua vez, isto faz com que a pressão diminua menos rapidamente de acordo com a altitude. O ponto no qual as duas linhas de pressão se cruzam agora, indica o plano neutro. Neste ponto, a pressão interior é igual à pressão exterior. Abaixo deste plano, o ar fluirá para dentro, enquanto acima, o fumo (e as chamas) fluirão para o exterior.

3 Prático?

O parágrafo anterior descreve as diferenças de pressão e como é originado o fluxo do ar. Posteriormente, foram discutidos os diferentes perfis de pressão pertencentes a um incêndio num compartimento. É possível aplicar este conhecimento praticamente durante a leitura de um incêndio. O caminho seguido pelo fumo do foco de incêndio para o exterior é chamado de fluxo dos gases. Uma boa observação do fluxo do ar combinado com o conhecimento sobre o desenvolvimento do incêndio pode resultar numa grande quantidade de informações sobre o mesmo. No entanto, é importante perceber que tudo isto se refere a pequenos compartimentos, ou seja, quartos com menos de 70m². Além disso, a altura do teto não pode exceder os 4 metros.

3.1 Altura da camada de fumo

A altura da camada de fumo diz-nos algo sobre o nível de desenvolvimento do incêndio. Se houver apenas uma camada de fumo no teto, o incêndio provavelmente ainda estará na fase incipiente. No entanto, também não se pode ter 100% certeza disto. É bem possível que exista uma saída de ventilação presente em algum local elevado. Isto influenciará a normal forma como o fumo se apresenta.

Se, no entanto, a camada de fumo atingir uma espessura de cerca de 1 metro, o incêndio alcançará a fase de desenvolvimento. Estudos recentes mostraram que o tempo necessário para que um incêndio ventilado atinja o flashover é de aproximadamente dois a quatro minutos. À medida que o incêndio se desenvolve ainda mais em direção ao flashover, a camada de fumo desce.

Quando a camada de fumo desce a 1 metro do nível do solo, o incêndio terá chegado muito perto do ponto de flashover. A evolução da altura da camada de fumo (smoke layer) (e do plano neutro, localizado um pouco mais acima) é um bom indicador que pode ser utilizado para avaliar a velocidade com que o incêndio se expande e o risco de flashover.

3.2 Velocidade do fluxo

O início deste artigo explica como um é criado um fluxo devido a uma diferença de temperatura. Quanto maior a diferença, mais rápido será o fluxo. Quando o fumo começa a fluir muito rapidamente, a turbulência torna-se claramente visível. Observando a velocidade do fluxo, é possível avaliar a intensidade do incêndio. Um incêndio intenso produzirá mais calor. Este calor levará a uma maior diferença de temperatura. Por sua vez, isto resultará num fluxo mais rápido. Portanto, é possível deduzir se um incêndio está ou não bem desenvolvido, a partir da velocidade deste fluxo. Isto é também uma indicação da fase que o incêndio atingiu no seu desenvolvimento.

3.3 Onde está o fogo?

O fluxo de ar também nos ensina algo sobre a localização do incêndio. O fumo fluirá para longe do foco de incêndio, ao olhar para ele, é possível determinar (talvez com o uso de uma câmara de imagem térmica) em que direção o fumo está a fluir. Se alguém seguir o fumo fluxo adiante, alcançará o foco de incêndio.

Para além disto, também pode ser concluído o contrário: quando uma porta é aberta numa sala e o fumo não se movimenta, isto provavelmente significa que a sala não está ligada à sala que contém o foco de incêndio.

Obviamente, também é necessário considerar a possibilidade de que não esteja ninguém no percurso do fluxo antes de abrir a porta. Depois de a abrir, iniciar-se-á um fluxo, este fornece informações sobre a localização do incêndio, mas é igualmente importante perceber que este recém-criado fluxo de ar fornecerá oxigénio extra ao incêndio.

4 Bibliografia

- [1] *Enclosure fire dynamics*, Bjorn Karlsson & James Quintiere, 2000
- [2] *Binnenbrandbestrijding*, Koen Desmet & Karel Lambert, 2008 & 2009
- [3] Shan Raffel, www.cfbt-au.com
- [4] Ed Hartin, www.cfbt-us.com