

VENTILAÇÃO POR PRESSÃO POSITIVA NO COMBATE A INCÊNDIO URBANO: UMA ANÁLISE QUANTO AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE SEU USO OFENSIVO

*Marcelo Moraes Godoy¹
Joaquim Pereira Lisboa Neto²
Helder de Farias Salazar³
George Braga Cajaty⁴*

RESUMO

Este trabalho faz uma análise dos efeitos que a ventilação por pressão positiva, em uso ofensivo, pode gerar em um incêndio. Para avaliar esses efeitos foram realizados dois testes na qual uma pequena edificação foi submetida a uma situação de incêndio. No primeiro teste foi executada uma ação de ventilação tática ideal, conforme preceitua a literatura estudada, ou seja, criando uma saída da fumaça próxima ao foco, acompanhando-se as alterações das seguintes variáveis: pressão gerada pela incidência de ventilação, temperatura no ambiente, fluxo de calor e visibilidade. Para avaliar os possíveis efeitos negativos, foi realizado um segundo teste em que propositalmente usou-se uma técnica descrita como inadequada segundo a literatura estudada, ou seja, criando uma saída da fumaça em um ambiente distante do fogo. A técnica utilizada de forma correta atingiu o seu objetivo, atenuando as condições extremas de temperatura, fluxo de calor e falta de visibilidade às quais os bombeiros estariam expostos. Os efeitos obtidos com a técnica empregada erroneamente não foram eficientes, mostrando-se particularmente prejudiciais ao combate, aumentando o fluxo de calor no caminho dos bombeiros ao foco.

Palavras chave: Ventilação Tática, Ventilação por Pressão Positiva, Temperatura, Visibilidade, Fluxo de Calor, Incêndio.

¹ Tenente do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Engenheiro de Incêndio pela UnB. Email: marcelomoraesgodoy@gmail.com

² Subtenente do Corpo de Bombeiros Militar Professor do Distrito Federal. Membro da Diretoria de Pesquisa, Ciência e Tecnologia – CBMDF. Email: joaquimlisboaneto@gmail.com

³ Subtenente do Corpo de Bombeiros Militar Professor do Distrito Federal. Membro da Diretoria de Pesquisa, Ciência e Tecnologia – CBMDF. Email: salabomba@gmail.com

⁴ Tenente Coronel do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Doutor em Física pela UnB e PhD pelo NIST – EUA.. Email: george.braga@gmail.com

POSITIVE PRESSURE VENTILATION IN THE URBAN FIRE FIGHTING

ABSTRACT

This article analyses the effects of offensive positive pressure ventilation during a fire. Two tests were made in a small building under fire in order to assess these effects. On the first test, according to the referenced and studied literature, an ideal ventilation technique was used where a smoke exit was created next to the fire origin, and changes in the following variables were measured: pressure generated by the use of ventilation, room temperature, heat flux, and visibility. The second test intended to analyze the negative effects of positive pressure ventilation, and therefore used an inappropriate technique according to the literature, where a smoke exit was created far from the fire origin. The recommended technique attained its objective by lowering the room temperature and heat flux, as well as improving visibility to which the firefighters were exposed. The inappropriate technique didn't attain efficient results showing to be particularly detrimental to firefighting by increasing the heat flux in the firefighter's path to the fire origin.

Keywords: Positive Pressure Ventilation, Temperature, Visibility.

Artigo recebido em 15/01/16 e Aceito em 20/05/16.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação tática é uma técnica empregada rotineiramente pelos Corpos de Bombeiros por todo o mundo e visa minimizar as condições extremas as quais os bombeiros são submetidos quando em combate. A técnica trata da retirada sistemática de fumaça buscando amenizar as altas temperaturas, pouca visibilidade e grande calor às quais as equipes de intervenção estão expostas.

Neste estudo, busca-se aferir, de forma quantitativa, a forma com que o uso de ventiladores pode diminuir ou aumentar os riscos em um incêndio. Portanto, foram feitas simulações de incêndio em uma pequena edificação de cinco cômodos, feita em alvenaria e de aproximadamente 70m² que já estava previamente equipada com sensores de temperatura, pressão, medidores de variação de calor e câmera, que avaliariam as alterações promovidas. Para avaliar os benefícios da técnica foi realizada uma técnica que a literatura pesquisada descreve como ideal, enquanto para avaliar os malefícios foi utilizada uma técnica descrita como errônea pelos autores estudados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão de Literatura

2.1.1 Comportamento do Fogo

O fogo ou combustão é uma reação química que libera luz e calor, e sua existência só é possível quando há a associação de três fatores: combustível, comburente e calor inicial (CBMDF, 2009). O combustível é o material a ser consumido, como um colchão, madeira, armário entre outros. O comburente é qualquer agente oxidante, sendo o mais comum e conhecido o oxigênio. Por fim, o fogo ou energia de ativação é o calor incidido sobre o combustível para que seja possível a reação junto ao oxigênio.

A retirada de qualquer um destes elementos fundamentais para a reação de combustão ocasiona a diminuição na velocidade ou até mesmo o cessar da reação. Em contrapartida, abundância de um destes elementos pode vir a acelerar a reação.

É importante ressaltar a importância que o comburente terá para entendimento deste trabalho, uma vez que o cerne da questão debatida é a manipulação de gases, seus possíveis benefícios e malefícios.

Nesta perspectiva, tomando como referência o CBMDF (2009, p. 5), tem-se que:

Na medida em que a combustão se processa, a quantidade do comburente em um ambiente é determinante para a propagação ou para a extinção do fogo.(...)

A porcentagem de oxigênio em uma edificação indicará uma queima mais rápida ou mais lenta, tanto é verdade que em atmosferas enriquecidas com oxigênio deve haver um cuidado redobrado por parte dos bombeiros já que haverá uma queima de maior velocidade e intensidade.

2.1.2 Comportamento da Fumaça

Um dos grandes perigos de um incêndio, tanto para as vítimas quanto para os bombeiros é a fumaça, ela é resultado de processos incompletos da combustão e, portanto é tomada de gases tóxicos. Suas principais características são: quente, opaca, móvel, inflamável e tóxica.

Quente por ser originada de um fenômeno com liberação de calor; opaca uma vez que possui resíduos suspensos; móvel, pois é um fluido que constantemente sofre empuxo; inflamável por que possui produtos da decomposição de materiais combustíveis em condições de ignir-se; e tóxica, pois os resíduos suspensos quando inalados trazem prejuízo às funções respiratórias, (CBMDF, 2009).

Como está aquecida a uma temperatura maior que a do ambiente, a tendência natural da fumaça, por uma diferença de densidade, é subir até o momento em que encontrar um anteparo que a impeça, normalmente o teto da edificação. Em seguida, haverá um espalhamento horizontal tomando todo o teto até que haja o encontro com as paredes do local. A partir de então, a fumaça irá iniciar um movimento descendente tomando todo o espaço.

Para ilustrar o papel dramático que a fumaça possui, alguns casos de desastres em incêndio podem ser lembrados como a morte de centenas de pessoas no incêndio do MGM Hotel ou no Beverly Hills Supper Club ambos nos EUA (ANGLE et al, 2001) bem como na boate República Cromañon em Buenos Aires, que deixou um saldo de cento e setenta e cinco mortos (Seito et al, 2008) ou então mais recentemente na Boate Kiss no Rio Grande do Sul, com um total de duzentos e quarenta e dois mortos. Nestes casos, o número de corpos carbonizados foi muito pequeno, ou mesmo não houve, o que atribui à fumaça o papel pelas mortes. Isso só vem comprovar na prática os perigos reais da fumaça e as consequências que seu não escoamento pode trazer.

2.1.3 Ventilação Tática

A Ventilação Tática é a remoção sistemática de ar quente, fumaça e gases do interior e injeção de ar limpo e não contaminado (GOMES, 2005). Outro conceito, proveniente do Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF (2009, p. 183) é de que: “Ventilação Tática são ações de controle da circulação de fumaça e de ar, de forma planejada, para obter vantagens operacionais no combate a incêndio”.

Para ambos os conceitos expostos a operacionalização básica da técnica é a mesma: realizar uma abertura na edificação por onde a fumaça possa escoar. Em um nível mais eficiente, está a ventilação cruzada, onde são promovidas duas aberturas em um mesmo andar da edificação e, desta forma, a fumaça será movida conforme a direção, velocidade e intensidade do vento (CBMDF, 2009).

A forma ideal de ventilar uma edificação incendiada é realizar a abertura de escoamento no teto do cômodo incendiado (CBMDF, 2009), desta forma, a fumaça realizará somente a movimentação vertical e saíra da edificação por ação do empuxo, não havendo o espalhamento por toda a estrutura, conforme descrito no subcapítulo anterior que tratava do comportamento da fumaça.

Como as ações a serem adotadas em um incêndio são muito específicas daquela ocorrência, nem sempre será possível a abertura de forma ideal como descrito anteriormente. Nestes casos, quando não é possível fazer junto ao foco, a atenção deve ser redobrada, por que o movimento da fumaça poderá propagar o fogo a outros ambientes. Além disso, se houver apenas uma abertura e for a de entrada dos bombeiros poderá haver sérios riscos à guarnição, da fumaça, que é inflamável, trazer consigo labaredas em direção à equipe de intervenção (CBMDF, 2009).

2.1.3.1 Ventilação natural e ventilação forçada

O Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo – CBPMESP (2006, p. 2) traz a seguinte definição para ventilação natural:

A ventilação natural utiliza o fluxo natural do ar para retirar a fumaça do ambiente sinistrado. O fluxo natural da fumaça no interior da edificação pode ser produzido pelo vento ou pelo efeito chaminé. Para fazer a ventilação natural, o bombeiro retira as obstruções que impedem o fluxo natural do ar. Estas obstruções podem ser portas, janelas, alçapões fechados, paredes e tetos (coberturas ou telhados).

Os objetivos da ventilação natural da forçada são os mesmos, o que as difere é o uso de aparelhos ventiladores ou exaustores para realizar o controle de fumaça. Nesta perspectiva o CBMDF (2009, p. 194) prevê que:

A ventilação forçada é sempre do tipo cruzada, [...], ou seja, exige duas aberturas, uma de entrada de ar e outra de saída de fumaça. O uso de aparelhos permite escolher a direção preferencial para dirigir a fumaça, mesmo que seja para baixo ou contra o vento.

2.1.3.2 Ventilação por pressão positiva - VPP

O principal aparelho para uso Ventilação por Pressão Positiva são os ventiladores que podem ser usados na fase de ataque ao fogo ou no rescaldo. Antes de se usar a VPP na fase ativa de combate, os bombeiros devem saber a localização exata do fogo, o grau de desenvolvimento do incêndio e se o foco encontra-se no estado de baixa ventilação (GRINWOOD, 2003). Caso estes preceitos não sejam observados, a inserção abrupta e em alta intensidade de oxigênio pode alastrar o fogo fugindo ao controle dos bombeiros ou então provocar um fenômeno denominado *backdraft* que é muito semelhante a uma explosão e, portanto muito perigoso.

Segundo o CBPMESP (2006, p. 67):

É essencial reconhecer que o uso da VPP é simplesmente uma extensão do uso da ventilação natural. O princípio fundamental se aplica a ambos. Se a VPP é usada para acelerar os efeitos da ventilação natural, deve-se lembrar de todos os efeitos desejados e indesejados podem ser acelerados. Por esta razão é essencial que os bombeiros tenham um bom entendimento do comportamento do fogo e os princípios de ventilação antes de se considerar o uso da VPP.

O princípio de atuação do ventilador é a inserção de ar em alta pressão na edificação, fazendo com que haja um aumento da pressão interna e conseqüentemente uma alta vazão de ar na saída mais próxima. Nem todo o ar produzido pelo ventilador é aproveitado pela ventilação. Somente 25% do volume inserido saem pelo local designado, o restante escapa por frestas, ou portas mal fechadas ou perde-se na produção do cone de entrada de ar (CBMDF, 2009).

Outro conceito importante, descrito por Grinwood (2003) como anti-ventilação e no CBMDF (2009) definido como técnica defensiva de VPP consiste em fechar o cômodo em que se localiza o foco, limpar o ambiente esfumaçado com o uso de ventiladores, posicionar as equipes de ataque ao foco e quando o ambiente estiver livre de fumaça proceder ao ataque.

Já a ação ofensiva caracteriza-se pelo uso durante a ação de controle e extinção do incêndio, com ventilação atingindo o foco do incêndio e expulsando gases tóxicos. Essa ação deve ser associada a uma progressão de bombeiros com uma linha de mangueira em punhos, situação em que a guarnição terá mais visibilidade e sofrerá menos com as altas temperaturas do incêndio.

3 Metodologia

Tendo o arcabouço teórico definido conforme descrito na revisão de literatura, a continuidade deste trabalho foi a realização de duas simulações de incêndio sendo:

1. Ventilação Tática com saída de fumaça no mesmo cômodo do foco de incêndio;
2. Ventilação Tática com saída de fumaça em cômodo diferente do foco de incêndio.

As variáveis estudadas foram:

- a) Temperatura;
- b) Calor irradiado pelo incêndio;
- c) Pressão Positiva gerada pelo ventilador que promove a VPP, que traduz indiretamente, a quantidade de fumaça que seria expelida da edificação;
- d) Visibilidade.

Na Fase 1, busca-se aferir o quanto a VPP diminuirá, nos cômodos da edificação, a temperatura e calor irradiado que seria percebido pelos bombeiros.

Quanto à pressão positiva gerada nesta etapa, busca-se aferir a quantidade de pressão gerada no cômodo do incêndio, pois essa é uma medida indireta que se correlaciona com o volume de fumaça que sairia da edificação. Sobre a visibilidade almeja-se verificar a velocidade na volta da visibilidade para uma equipe de intervenção que esteja em combate.

Na Fase 2, a saída de fumaça será feita em cômodo diferente daquele em que se encontra o foco. Desta forma haverá provavelmente o espalhamento do calor e fumaça pela edificação o que deverá acarretar um aumento nas temperaturas nos demais cômodos da edificação. Quanto a mensuração da visibilidade e pressão gerada os objetivos são os mesmos da Fase 1, já descrito anteriormente.

3.1 Materiais

Na Tabela 1 seguem descritos todos os materiais com sua respectiva Marca/Tipo e a finalidade a que se destinou durante a pesquisa.

Tabela 1 - Equipamentos e materiais utilizados

Equipamento/Material	Marca/Tipo	Função
Termopares	Omega – Tipo k	Medir temperaturas
Câmera	Polaroid Xs 100	Verificar a visibilidade na edificação
Hardware de leitura de dados analógicos	Compact DAQ 9174 módulos NI 9213 e NI9205	Enviar para o computador os dados emitidos pelos equipamentos
Material Combustível	Pranchas de Madeira (Madeirite), e Paletes.	Material para ser queimado durante as queimas.
Medidor de Fluxo de Calor	Schmidt-Boelter	Avaliar a taxa de calor emanado pelo incêndio.
Software de análise dos dados	LAB VIEW	Traduz os dados elétricos e apresenta gráficos e tabelas
Transdutor de Pressão Diferencial	Setra System Model 264	Avaliar a Pressão, positiva ou negativa nos cômodos
Ventilador a Combustão	Leader MT236 <i>Easy pow'air</i>	Realizar Técnica Americana

Para aferição de temperatura foram utilizados medidores tipo termopares da marca Omega com diâmetro de 0.5mm e classe K. Foram

exclusivamente feitas para a pesquisa, três estruturas de metal, que neste trabalho serão denominadas matrizes, nas quais os termopares foram acoplados em diferentes alturas. Na primeira matriz (T1), localizada no cômodo do foco do incêndio, três termopares foram dispostos à altura de 1m, 1,5m e 2m. No cômodo 2 e 6, os termopares foram dispostos em suas respectivas matrizes (T2 e T3) com altura de 0,5m, 1m, 1,5m e 2m.

Quanto aos medidores de Pressão Diferencial, um dos sensores ficou posicionado a uma altura de 0,5m enquanto o outro sensor ficou posicionado a uma altura de 1,75m, ambos no cômodo incendiado.

Quanto aos medidores de fluxo de calor, na Fase 1 o posicionamento deles foi: um interno HF1 e um externo HF2, o primeiro veria a dissipação de calor pela edificação e a alteração promovida quando ocorresse o acionamento dos ventilador, já o segundo ficaria no caminho de saída de fumaça e analisaria o calor que saía do cômodo incendiado. Já na Fase 2 ambos os sensores foram posicionados internamente à edificação uma vez que o intuito era aferir com a maior precisão possível se haveria a dissipação de calor pela edificação quando do acionamento do ventilador e abertura de saída de fumaça em cômodo diferente daquele que estava incendiando-se.

A câmera utilizada para verificação da visibilidade foi do tipo Polaroid Xs 100 envolvida com uma balaclava e papel alumínio, para proteção contra o calor. Foi posicionada a uma altura de 0,3m e a uma distância de 4m do cômodo em chamas.

O ventilador utilizado na pesquisa foi o Leader MT 236 a gasolina com uma vazão de ar de 43.100 m³/h e potência de 5.5HP. Foi posicionado em frente à porta de entrada da edificação a uma distância de 4m.

Foi utilizado como carga de incêndio, em cada uma das fases da pesquisa 7 (sete) pranchas de madeira (madeirites), com dimensões de 2,2m de altura, por 1,1m de largura e 0,005m de espessura e peso de 9Kg. Além

disto, foram utilizados 1 caixote (palete) de madeira e papelão para início da queima.

A Figura 1 e Figura 2 ilustram a disposição dos materiais, bem como a numeração dos cômodos para um melhor entendimento da pesquisa.

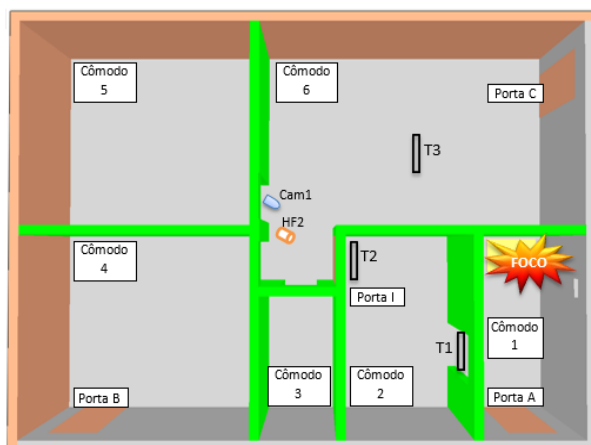


Figura 1: Croqui da edificação com a disposição de materiais – Fase 1

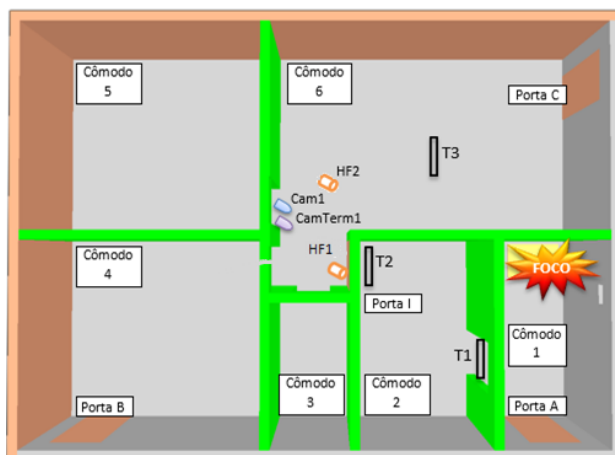


Figura 2: Croqui da edificação com a disposição de materiais – Fase 2

3.2 Métodos

3.2.1 Fase 1 - Ventilação Tática com a Técnica Ideal

Esta fase da pesquisa foi realizada no dia 14 de agosto de 2014. Três bombeiros, com equipamentos de proteção individual – EPI's seriam os

responsáveis por realizar os procedimentos que serão descritos a seguir sob o comando de um quarto bombeiro que cronometrava as ações e operava o software de análise dos resultados.

Tendo em vista que o cômodo do foco de incêndio não possuía janelas, e para que a saída de fumaça fosse simulada como se ocorresse em uma janela, utilizou-se duas pranchas de madeira, uma colocada horizontalmente e outra verticalmente. A prancha vertical era retirada no momento das ventilações e a horizontal permanecia por todo o teste, ficando desta forma um vão para escoamento de fumaça de 1m x 0,80m.

A queima foi iniciada utilizando-se um maçarico, assim que a combustão era constatada, a contagem de tempo começava. Os três primeiros minutos de queima foram realizados com a porta “B” aberta (Ver Croqui). Depois de decorrido este tempo, ela era fechada e a queima prosseguia consumindo o oxigênio remanescente na edificação.

Aos 7min40s a janela (madeira vertical da porta “A”) da edificação era aberta e em seguida, a porta “B”, iniciando desta forma a ventilação natural cruzada. Em seguida, aos 11min, o ventilador era ligado em sua velocidade máxima, caracterizando a VPP. Tal situação permanecia até os 12min20s, momento em que a prancha horizontal que cobria a porta era retirada e que se considerou encerrada a Fase 1.

3.2.2 Fase 2 - Ventilação Tática com saída de fumaça feita em cômodo diferente do foco do incêndio.

Esta fase do experimento foi realizada no dia 21 de agosto de 2014, e os procedimentos adotados seriam os mesmos, contudo, com a saída de fumaça pelo cômodo 6. No cômodo 1 (foco do incêndio) foi colocada somente uma prancha vertical, pois neste local não seria feita ventilação.

Aos 7min47s a janela de saída de fumaça do cômodo 6 foi aberta. Logo em seguida, foi aberta a porta de acesso da edificação (Porta B) e assim iniciou-se a ventilação natural cruzada.

A ventilação natural prosseguiu até os 11min, momento em que se acionava o ventilador, começando, portanto a Ventilação por Pressão Positiva – VPP. Aos 12min30s, abriu-se completamente a porta do cômodo de saída (prancha horizontal retirada), desta forma encerrando-se a Fase 2.

4 Resultados e Discussão

4.1.1 Quanto ao Fluxo de Calor

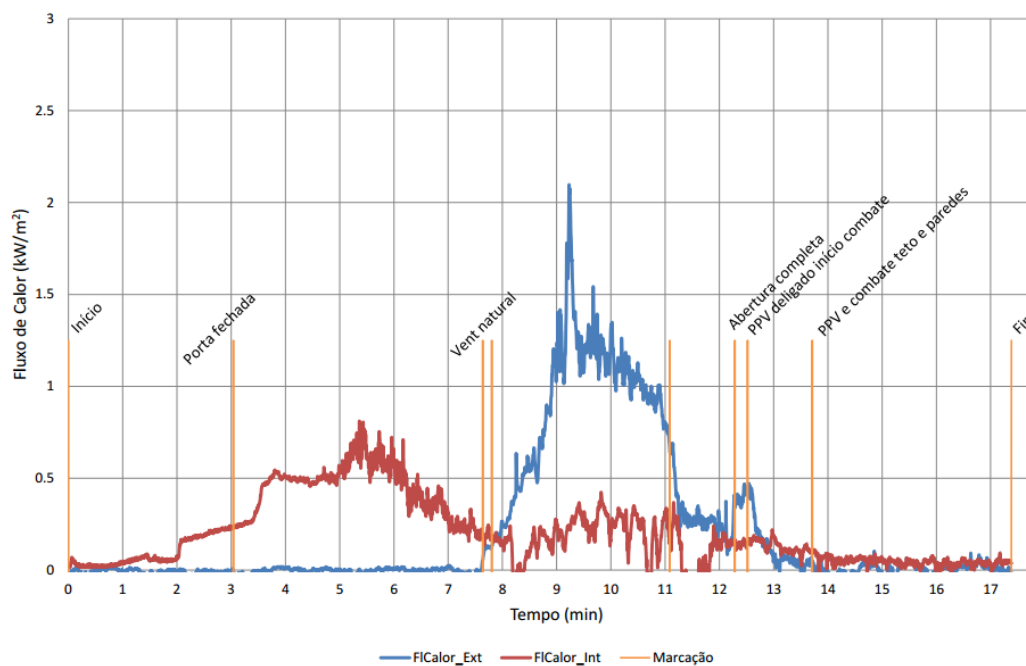


Figura 3: Resultados quanto ao Fluxo de Calor na Fase 1

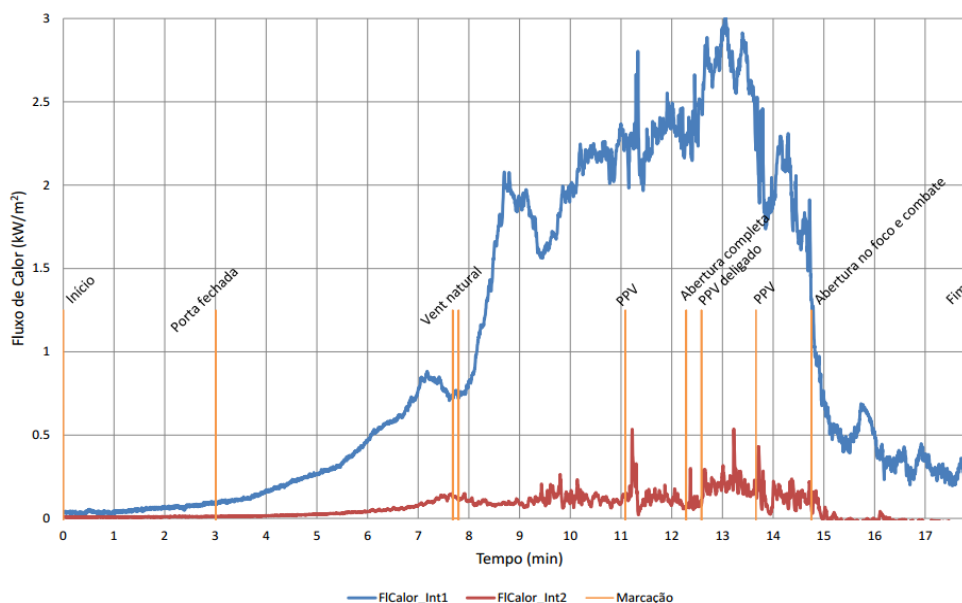


Figura 4: Resultados quanto ao Fluxo de Calor na Fase 2

Na Fase 1 o sensor interno HF1 demonstra aumento até os 5min22s chegando ao pico de 0,67kW/m² momento em que devido à queda na concentração de oxigênio da combustão começa haver uma baixa no calor emanado pela reação como um todo. Posteriormente, após o início da ventilação natural há um momento de queda no calor, instante 7min45s até 8min15s. Isso pode ser justificado pela direção do vento que estava da porta “B” para porta “A” empurrando o calor para longe do sensor.

Ainda na Fase 1, a leitura do sensor externo HF2 só foi iniciada em 7min40s, pois até então havia um anteparo (prancha de madeira) a sua frente. A partir daí subiu bruscamente até atingir no instante 9min21s o pico de 2,1kW/m², provavelmente fruto de um direcionamento do calor para este sensor, seguindo a teoria de direção do vento explicado para o sensor HF1 e também um aumento na taxa de queima do incêndio, devido a uma maior oxigenação. Após atingir o pico, justificado anteriormente, percebe-se uma tendência de queda no fluxo de calor de 2,1kW/m² até 0,6kW/m² em apenas 1min39s. Provavelmente devido ao consumo quase que total do combustível existente.

Na Fase 2 há um crescente aumento de calor de HF1, atingindo no instante 5min22s o valor de 0,29kW, mas o pico ocorreria somente aos 7min10s com medição de 0,75kW/m². O gráfico também demonstra que o crescimento se tornou muito mais rápido a partir do momento da ventilação natural, o que demonstra que houve o espalhamento de calor pela edificação.

Quanto ao HF2, que se encontrava no meio do cômodo 6, com o sensor de calor não apontado diretamente ao fogo, as alterações ocorridas foram muito pequenas, não sendo relevantes para a pesquisa.

Na fase 1, após o acionamento do ventilador, o as mensurações de HF1 e HF2 caem abruptamente. No instante imediatamente anterior a VPP, HF1 marcava 0,33kW/m² e HF2 0,73kW/m², após 30s HF1 e HF2 chegam, respectivamente, a aproximadamente 0kW/m² e 0,21kW/m².

Ainda sobre a primeira fase é importante observar que os sensores já apresentavam tendência de queda antes da VPP por estar havendo uma depleção do combustível na reação, ainda assim, a queda após o ventilador é bem perceptível. Outro importante ponto é que durante a VPP houve momentos de pequenas elevações nos valores medidos, mas em nenhum momento, mesmo com a maior oxigenação, voltaram aos valores antes do VPP.

Na fase 2, após o acionamento do ventilador, a reação que já vinha espalhando calor pela edificação com a ventilação natural se intensifica com a VPP. Para exemplificar, o pico na ventilação natural foi próximo de 2,25kW/m², e durante a VPP houve situação de 2,78kW/m².

4.1.2 Quanto à variação de temperatura

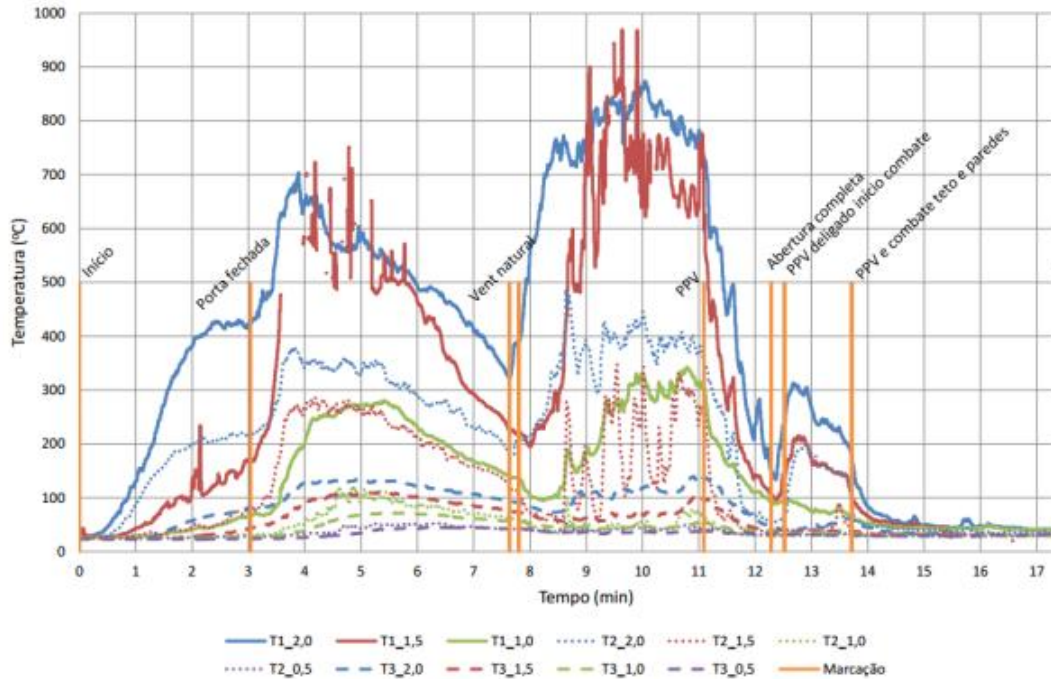


Figura 5 – Resultados quanto a Variação de Temperatura – Fase 1

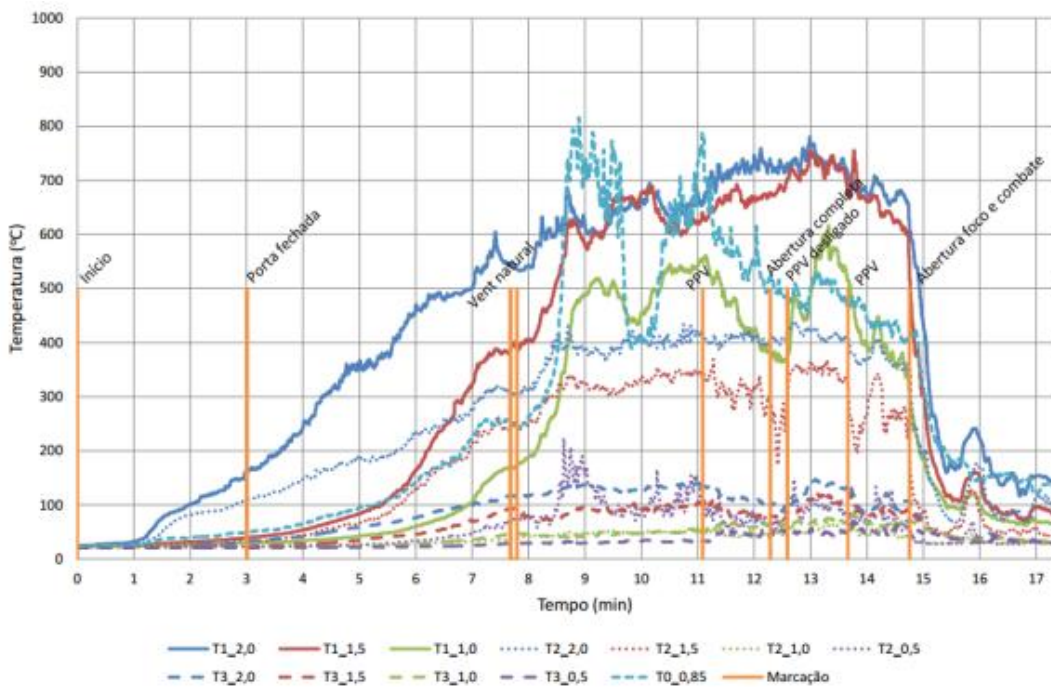


Figura 6 - Resultados quanto a Variação de Temperatura – Fase 2

A Figura 3 demonstra a variação de temperatura de diversos pontos da edificação durante a queima. Na Fase 1 houve um erro no sensor T1_1,5 posicionado na matriz mais próxima ao foco que será desconsiderado neste trabalho.

Nesta primeira Fase, todos os termopares, com exceção dos dois mais baixos no cômodo 6 (T3_1,0 e T3_0,5) apresentaram aumento durante o período de queima com porta aberta. Depois de fechada a porta, eles seguiram aumentando a temperatura, contudo, dado um determinado tempo com restrição de comburente começaram a indicar queda. O sensor T1_2,0, por exemplo, atingiu o valor de 700°C em 3min55s seguido de queda até o momento da ventilação natural. O sensor T3_1,0 aumentou até 120°C e caiu até 100°C. Esse comportamento de alta seguido de queda se deve ao fato do consumo de oxigênio que acarreta menor velocidade na queima e consequentemente menores temperaturas.

Contudo, após a ventilação natural e inserção de oxigênio na reação, os termopares vão indicar aumento de temperatura. Os picos são de 870°C e 335°C para a matriz T1; 490°C, 350°C, 100°C, 50°C para T2 e 130°C, 100°C, 50°C e 40°C para T3. Isso demonstra que as maiores alturas foram também os pontos mais quentes, fruto das fontes de convecção que devido ao empuxo espalham primeiro verticalmente o calor, para depois haver a distribuição horizontal da fumaça.

Após atingirem seu máximo, as temperaturas tenderam a cair, pois já havia ocorrido um grande consumo do material combustível presente, o que também foi percebido na Figura 19, no gráfico quanto ao fluxo de calor.

Após o início da VPP até a abertura completa da porta houve uma queda muito grande na temperatura de todos os termopares. Como exemplo podemos citar em T1_2,0 houve uma queda de 770°C para 160°C e de T1_1,0 a queda foi de 300°C para 100°C. Em T2_2,0 de 380°C para 60°C e T2_1,0 de 75°C

para 35°C. Em T3 os dois sensores mais altos apresentaram variação em T3_2,0 foi de 140°C para 45°C e em T3_1,5 de 100°C para 43°C, já os mais baixo tiveram uma diferença muito pequena. Após desligado o ventilador as temperaturas voltaram a subir.

Já na Figura 4, que trata do comportamento da temperatura na Fase 2, percebe-se um comportamento distinto. Em um primeiro momento, percebe-se um crescimento gradual de temperatura que aumenta bruscamente com o início da ventilação natural. Na matriz T2, que fica no cômodo ao lado do incendiado, os comportamentos são os mesmos.

Durante a ventilação natural, há oscilações nas temperaturas. Em T1, no foco do incêndio, as temperaturas aumentam. Em T2, há um ligeiro aumento, de 300°C para 420°C a dois metros de altura, e de 250°C para 340°C para T2_1,5. Já no cômodo 6 todos os termopares indicaram uma constância na temperatura.

Quando iniciada a VPP a variação de temperatura em cada cômodo é muito particular, não havendo uma constância para todos, como percebido na Fase 1 desta pesquisa. No cômodo 1 os locais de maior altura aumentam a temperatura enquanto os de menor altura têm queda. T1_2,0 e T1_1,5 saem de 660°C e 650°C para 710°C, já T1_1,0 cai de 545°C para 380°C.

No cômodo 2 os aumentos de temperatura também são percebidos nas maiores alturas, mais especificamente somente no sensor T2_2,0. A partir de T2_1,5 o comportamento é de ligeira queda ou de estabilidade. Em síntese, a VPP promoveu aumento das grandes alturas, e nas médias e baixas alturas manteve a estabilidade e quando muito, ligeiras quedas, com exceção de T1_1,0 que teve queda brusca.

Já no cômodo 3 as alterações não foram significantes, tendo aumentado as temperaturas durante a ventilação natural e depois se mantiveram constantes.

4.1.3 Quanto à visibilidade

Quanto à visibilidade é importante destacar que esta foi a única variável analisada qualitativamente, de forma que apesar das marcações feitas com fita reluzente cinza, a definição de retorno ou não da visibilidade teve um caráter predominantemente subjetivo.

A queima da Fase 1, como pôde ser percebido em análises anteriores, foi mais rápida que a da Fase 2, houve uma liberação de calor mais rápida, assim como o aumento de temperatura. Com a visibilidade não foi diferente. Na Fase 1 a perda total de visibilidade ocorreu aos 5min14s enquanto na Fase 2 dois somente de 7min16s.



Figura 7: Visibilidade aos 11min39s – Fase 1

Essa diferença não é significativa, pois, em ambos os casos, os ventiladores foram acionados muito tempo após a perda de visibilidade, aos 11min. Partindo deste ponto, a volta da visibilidade para a Fase 1 foi de 39s enquanto na Fase 2 foi de 40s. Essa diferença mínima deixa claro, que ainda que feita de uma forma não ideal, a ventilação com escoamento de fumaça por

janela longe do foco, no quesito visibilidade teve a mesma eficiência que utilizando a técnica ideal.



Figura 8: Visibilidade aos 11min40s – Fase 2

4.1.4 Quanto à mensuração da pressão gerada.

Os resultados obtidos com a avaliação da pressão gerada não foram conclusivos e eficientes e, portanto serão desconsiderados para esta pesquisa.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi constatado que a ventilação por pressão positiva, é eficiente, em ambientes compartimentados de até 70m², com a saída de fumaça feita no mesmo cômodo em que o foco se encontra. Esta afirmação é baseada nos resultados obtidos quando da simulação feita na Fase 01 do estudo, em que após a VPP o fluxo de calor e as temperaturas em todos os ambientes reduziram significativamente.

Os dados obtidos nos permite afirmar que apesar da reação de combustão poder ter sido acelerada com o início da VPP devido a maior inserção de oxigênio, tanto os termopares quanto os medidores de fluxo de calor, não perceberam tal aceleração, já que o fluxo de vento levou consigo todo o calor gerado, empurrando-o para fora da edificação.

Pode-se pensar inclusive que a queda de temperatura e calor foi proveniente da queima avançada do material combustível, contudo analisando as Figuras 3 e 5 podemos perceber mudanças drásticas no exato momento de acionamento dos ventiladores, demonstrando alteração em decorrência da ação de VPP e não da depleção de combustível onde teria uma queda gradual de liberação de calor e de temperatura.

Já na Fase 2, percebeu-se que quando a VPP foi iniciada, o calor aumentou significativamente no sensor interno. Este sensor ficava entre a porta de entrada e a de saída do fluxo de ar, ou seja, muito próximo do fluxo de ar que foi criado. Sabe-se que fisicamente um fluido em alta pressão proporciona em suas adjacências um efeito baixa pressão, sugando todo o ar das redondezas para a corrente de alta pressão. Ora, se o ar quente em decorrência da queima estava predominando no cômodo ele foi sugado para a corrente de alta pressão que estava perto do sensor, explicando as alterações encontradas. Isso inevitavelmente leva à conclusão que esta forma de se ventilar um ambiente leva a um espalhamento de calor pela edificação prejudicial a possíveis vítimas ou combatentes dentro do imóvel.

Ainda quanto a Fase 2, a variação de temperatura mostrou um comportamento diferente, já que somente os sensores mais altos tiveram um aumento com o início da VPP. Os mais baixos em geral, não aumentaram, mas também não demonstraram queda de temperatura, com exceção de T1_1,0. No entanto, ainda que não tenha trazidos grandes prejuízos a VPP usada desta forma não reduziu as temperaturas, mostrando-se ineficiente em combate.

Quanto à visibilidade em ambos os casos a VPP mostraram-se eficientes.

Pelo exposto, conclui-se que a Ventilação por Pressão Positiva, quando for realizada, em condições como a simulada no estudo, deve ser feita somente

quando for possível uma abertura para saída de fumaça no cômodo incendiado, a não ser é claro que o objetivo da operação seja tão somente a melhoria da visibilidade, que foi o único aspecto positivo da VPP simulada na Fase 2.

Por fim, ressalta-se que a carga de incêndio utilizada no estudo foi insuficiente para aquecer todos os ambientes da edificação, pois os sensores posicionados no Cômodo 6 (Vide Figura 1) foram muito pouco excitados. Em ambos os casos a sensibilização dos termopares não chegou a passar de 100°C a mais de 2m de altura. Caso a carga de incêndio fosse maior a sensibilização destes equipamentos seria maior e mais conclusões quanto ao espalhamento de calor da edificação poderiam ter sido feitas.

6 REFERÊNCIAS

ANGLE, James. et al **Firefighting Strategies and Tactics**, New York: 2001. 524p.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Manual de Ventilação Tática**, 6.ed, São Paulo: Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2006. 101p.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, **Manual Básico de Combate a Incêndio: Módulo 1**, 2.ed, Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2009. 154p.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, **Manual Básico de Combate a Incêndio: Módulo 3**, 2.ed, Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2009. 218p.

GOMES, A. **Ventilação Tática**, 3.ed, Sintra, Portugal: Escola Nacional de Bombeiros, 2005. 62p. Disponível em: http://www.bvpacodesousa.pt/downloads/Manuais_ENB/ventilacao.pdf . Acesso em: 07 abr. 2014.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Seção 1 – Artigos Técnico Científicos

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>

GRIMWOOD, Paul. Tactical Ventilation: Venting Actions by on scene firefighters, used to gain tactical advantage during interior structural firefighting operations, **Asia Pacific Fire Magazine**. Issue, v. 5 p. 55 dez. 2005. Disponível em: <http://issuu.com/mdmpublishing/docs/apf-issue-16> . Acesso em: 01 out 2014.

GRIMWOOD, Paul. **Standarts Operating Guidelines (SOG): Tactical Ventilation**, ago. 2007 disponível em: http://api.ning.com/files/6Yi1*KCqJURLHJoY-9MEUwQ27RCCDEbx9ERFn2gD8s3hsV8ty0Rbt6cLijurtpaKpRV0uM*mSbPNXh-77Rq6zUUJ5YGljwZ/GrimwoodTacticalVentilation.pdf. Acesso em 01 out 2014

SEITO, Alexandre Itiu et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008 p. 496.