

# Análise das temperaturas de um compartimento durante treinamentos de combate a incêndio

*Analysis of temperatures of a compartment during firefighting training*

Kamyla Lima da Mata   
Rodrigo Barreto Caldas   
Francisco Carlos Rodrigues   
João Victor Fragoso Dias 

## Resumo

**E**ste trabalho apresenta uma análise da influência do tipo de combate a incêndio nas temperaturas desenvolvidas em um compartimento utilizado pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) em seus treinamentos. Os tipos de combate variaram com o modo de aplicação de água em pulsos simples, dois pulsos ou pulsos mais longos. Os resultados demonstraram que os treinamentos representam bem os incêndios reais em ambientes construídos com as fases de início do incêndio e sua propagação, inflamação generalizada (*flashover*) e pós-*flashover*. Observou-se que a taxa de aplicação de água influencia inversamente no tempo de duração do incêndio e na temperatura da região onde os combatentes se localizam. Foram realizados também ensaios sem intervenção e constatou-se que não há uma diferença significativa nas temperaturas máximas atingidas em comparação com os treinamentos normais. Os ensaios realizados no compartimento também demonstraram que ele pode ser utilizado para estudo de elementos construtivos e estruturais em situação de incêndio.

**Palavras-chave:** Temperatura. Incêndio em compartimento. Segurança contra incêndio. Comportamento em temperatura elevada.

## Abstract

*This paper presents an analysis of the influence of the type of firefighting technique at temperatures developed in a compartment used by the Minas Gerais Firefighting Department - CBMMG, Brazil, in its firefighting training. The types of firefighting varied according to the mode of deployment of water in simple pulses, two pulses or longer pulses. The results showed that the training appropriately represents real fires in buildings, presenting the fire ignition and growth phases, flashover and after flashover. The study showed that the rate of water application inversely affects the duration of the fire and the temperature in the region where the firefighters are located. Tests were also performed without intervention and showed that there is no significant difference in the maximum temperatures reached compared to normal training. The tests performed in the compartment also showed that they can be used for the study of building and structural elements in fire situations.*

**Keywords:** Temperature. Compartment Fire. Fire Safety. Behaviour under high temperatures.

<sup>1</sup>Kamyla Lima da Mata  
<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

<sup>2</sup>Rodrigo Barreto Caldas  
<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

<sup>3</sup>Francisco Carlos Rodrigues  
<sup>3</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

<sup>4</sup>João Victor Fragoso Dias  
<sup>4</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

Recebido em 14/03/19  
Aceito em 05/06/19

## Introdução

Os incêndios oferecem risco à vida e são em grande parte dos casos responsáveis por severas perdas patrimoniais. O fogo em grandes proporções pode levar uma edificação ao colapso total ou parcial, impossibilitando a fuga de seus usuários, a aproximação e o acesso de meios de combate a incêndio. Assim, de modo a otimizar e garantir as operações de combate e resgate, é essencial que se compreenda de modo teórico e prático o comportamento do incêndio, bem como do compartimento para que os elementos construtivos e estruturais sejam dimensionados adequadamente e as edificações estejam aptas a resistir à temperatura elevada, pelo menos durante o tempo necessário para evitar seu colapso antes de sua completa desocupação.

Em diversos países, containers marítimos têm sido utilizados como equipamentos simuladores de incêndio durante os treinamentos de corpos de bombeiros e brigadas. De acordo com Casey (2018), quando adotados para essa finalidade, é fundamental atentar-se a questões estruturais e de construção; à segurança imediata e a longo prazo dos combatentes; a diferenças de comportamento do fogo; e à conformidade com os padrões estabelecidos pelas autoridades. Esses treinamentos permitem otimizar a habilidade, os métodos de combate e apresentam uma gama de resultados positivos quando examinada a relação entre o processo de aprendizagem e a eficácia do combate a incêndio. A experiência adquirida durante os treinamentos resulta em decisões mais assertivas durante as situações reais e, por conseguinte, minimizam o estresse físico e reduzem a exposição ao calor dos combatentes (HORA; ŽIŽKA, 2016). Além disso, segundo Bernatíková *et al.* (2012), os simuladores tornam possível observar o curso do fogo e permitem demonstrar as diversas formas de aplicação de água até a sua extinção.

Na Austrália os treinamentos em containers foram implementados de modo a instruir os bombeiros com conhecimento e experiência necessários para lidar de forma eficiente e segura em sinistros em compartimentos. As técnicas de combate buscam resfriar a camada de gases quentes e reduzir os riscos de *flashover* e *backdraft*, antes de atacar diretamente o foco do fogo. Dessa forma, é possível controlar o ambiente, melhorando as condições de busca e resgate de ocupantes dentro do compartimento (MACKAY; MACKAY; BARBER; YEOH, 2010).

No centro de treinamento de West Midlands, em Oldsbury, na Inglaterra, uma estação de treinamento foi recentemente construída com seis andares de containers com diferentes configurações em cada andar que podem representar escritórios e residências. Além disso, é equipado com uma escadaria pressurizada, um poço de elevador e sistemas de controle de fumaça (CASEY, 2018).

Entre outros casos observados em nível mundial, o município de Zbiroh, na República Tcheca, também possui um centro constituído por diversos locais de treinamento, de forma que incêndios podem ser simulados tanto em espaço compartimentado, quanto ao ar livre (BERNATÍKOVÁ *et al.*, 2012).

No Brasil, o estado de Minas Gerais é o terceiro a adotar containers para treinamentos, seguindo o estado do Espírito Santo e o Distrito Federal (CORPO..., 2015). Os treinamentos têm o intuito de capacitar os bombeiros no combate ofensivo e atender às novas premissas de melhoria das táticas de combate que atualmente pregam por economia de esforços militares, otimização técnica e economia de água. Durante o treinamento de aproximadamente 25 min, os participantes são confrontados com visibilidade restrita devido à saturação de fumaça, ao calor extremo, ao vapor d'água e às chamas reais, o que propicia um treinamento mais realista, melhorando a atuação nas ocorrências. Os profissionais do CBMMG efetuam os ataques com jatos d'água direto, indireto ou tridimensional (CORPO..., 2017; CORPO..., 2018). A maior parte dos treinamentos consiste na aplicação do ataque tridimensional, caracterizado pela aplicação de uma neblina de água em pulsos<sup>1</sup> rápidos e controlados, de maneira que o tamanho das gotículas de água é importante para que ocorra a sua vaporização, absorvendo calor e diminuindo a temperatura do compartimento. Essa técnica permite que a frente de combate avance até alcançar o foco ou a região de concentração da queima. Nesse momento, os jatos são substituídos por pacotes de água<sup>2</sup>, jatos mais condensados diretamente nos materiais em combustão. Com a maior redução das temperaturas, a equipe pode se aproximar do foco, aplicar o jato mole<sup>3</sup> e realizar a operação de rescaldo. Braga, Neto e Salazar (2016) fizeram medições durante os

<sup>1</sup>Pulsos: consistem na abertura total do fluxo d'água com seu imediato fechamento (0,2 a 0,5 s), resultando na aplicação de uma neblina de água. Nesse caso o esguicho é aberto a 60°.

<sup>2</sup>Pacotes d'água: consistem na abertura total do fluxo d'água, resultando em um jato estreito (1 s) de maior alcance, com esguicho aberto a 0°.

<sup>3</sup>Jato mole: consiste na regulagem do jato para compacto abrindo parcialmente o esguicho, permitindo o escape da água sem velocidade pelo bocal e deixando-a escorrer sobre toda a superfície do material.

treinamentos do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e constataram que a diferença de temperatura na altura do ombro de um bombeiro agachado (0,9 m) e em pé (1,5 m) pode chegar até 550 °C, e o fluxo de calor até 6 kW/m<sup>2</sup>.

O objetivo deste trabalho é analisar a influência do tipo de combate a incêndio, nas temperaturas desenvolvidas em um compartimento do tipo container, utilizado pelo CBMMG em seus treinamentos. Os tipos de combate (intervenção) analisados variaram de acordo com o modo de aplicação de água: em pulsos simples (0,2 a 0,5 s); dois pulsos; pulsos mais longos (1,5 s); ou, conforme um combate real no qual todos os modos de aplicação são combinados. Após a aplicação dos pulsos, que buscam resfriar a camada de gases quentes, são aplicados pacotes d'água diretamente no foco, seguidos de jato mole para posterior rescaldo.

Os resultados das análises apresentadas neste trabalho auxiliam na verificação da eficiência e melhoria das práticas adotadas pelos bombeiros. Também, a ação térmica nos elementos construtivos e estruturais das edificações é diminuída mediante a ação do combate. Tal fato é considerado de maneira indireta, por exemplo, na diminuição do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), por meio do método do tempo equivalente (ABNT, 2013, 2012). Assim, esse compartimento e o adequado conhecimento da dinâmica do incêndio nele desenvolvido, além de ferramenta importante para treinamento dos bombeiros, pode fomentar pesquisas sobre o comportamento de elementos construtivos e estruturais, promovendo, em vários seguimentos, o desenvolvimento de tecnologias do ambiente construído para situações de incêndio.

## Materiais e métodos

### Compartimento de treinamento

O CBMMG utiliza para treinamento dos seus profissionais um container marítimo do tipo *high cube* (Figura 1) com dimensões nominais de 12,03 m de comprimento, 2,35 m de largura, totalizando 28,3 m<sup>2</sup> de área interna do piso, com 2,70 m metros de altura, como exibido na Tabela 1.

Figura 1 - Esquema do container de treinamento



Tabela 1 - Dados do container marítimo utilizado para treinamento do CBMMG

	Abertura-padrão	
	2,34 m x 2,59 m	
	Aberturas laterais	
	0,80 m x 2,10 m	
	Capacidade	
	Total: 76,4 m <sup>3</sup>	
Medidas externas	Medidas internas	Pesos
Comprimento: 12,19 m	Comprimento: 12,03 m	Máximo: 32.500 kg
Largura: 2,44 m	Largura: 2,35 m	Tara: 3.900 kg
Altura: 2,90 m	Altura: 2,70 m	Carga: 28.600 kg

Nota: \*espessura do aço: 2,6 mm.

A reutilização desse container para treinamentos de combate a incêndio permite reproduzir mais de um compartimento, como uma sala ou um quarto, a partir da inserção de uma divisória em chapa de aço (que inclui o vão de uma porta), delimitando o volume final. Exceto nesse caso, os containers passam por poucas alterações antes de abrigar os treinamentos. No container utilizado pelo CBMMG existem duas portas laterais com dimensões de 0,80 m de largura e 2,10 m de altura, além da abertura frontal que foi dividida em quatro partes iguais de 1,17 m de largura por 1,29 m de altura, sobrepostas duas a duas (Figura 1).

O piso no local de queima do material combustível, constituído por paletes de madeira (Figura 2), é revestido com tijolos refratários no comprimento de 2,15 m a partir do fundo do compartimento.

### Instrumentação do compartimento

As temperaturas durante os ensaios foram medidas com termopares tipo K (Cromel/Alumel) de bainha rígida com diâmetro de 3 mm e comprimento de 1.000 mm, capazes de medir temperaturas entre -200 °C e 1.200 °C. Os dados foram coletados por um sistema de aquisição da marca Lynx com auxílio dos *softwares Lynx AqDados* e *Lynx AqDAnalysis*, versões 7.2 (LYNX, 2008). Foram definidas cinco seções transversais espaçadas a cada 2,0 m, conforme a Figura 3, com três sensores por seção, totalizando 15 termopares - TMP. Os termopares foram introduzidos no compartimento por meio de furos de 4 mm de diâmetro em uma das laterais. As pontas dos termopares no interior do compartimento alcançavam as alturas: 0,80 m; 1,47 m e 2,15 m. As Figuras 3 e 4 apresentam as posições dos TMPs e a localização dos bombeiros - BM. Não foram instalados termopares para medir a temperatura externa do compartimento.

### Programa experimental

O programa experimental foi composto de 10 ensaios com o objetivo de analisar a influência nas temperaturas do compartimento devido às formas de combate que variaram de acordo com o modo de aplicação de água: em pulsos simples (0,2 a 0,5 s); dois pulsos; pulsos mais longos (1,5 s); ou, conforme um combate real no qual todos os modos de aplicação são combinados.

Figura 2 - Material combustível no local de queima



Figura 3 - Posição dos termopares, vista em planta do compartimento - sem escala

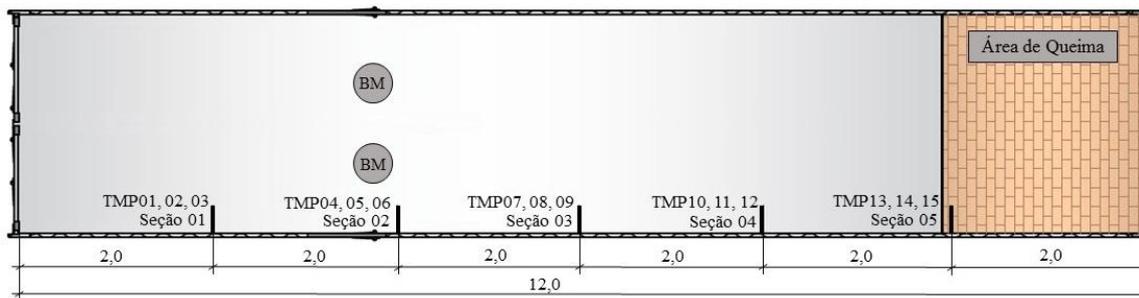
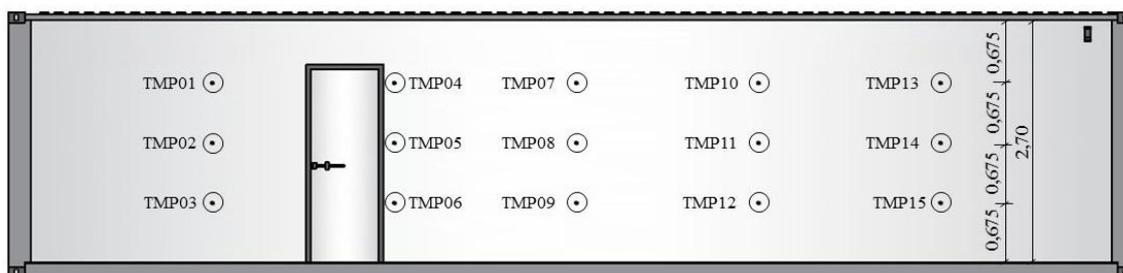
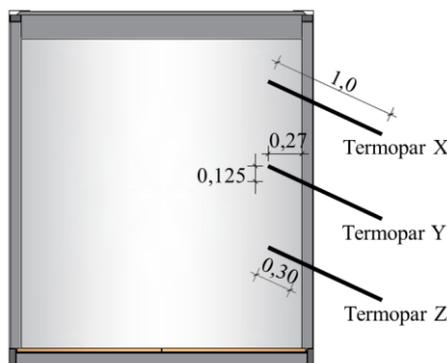


Figura 4 - Nomenclatura e posição dos termopares - sem escala



(a) Vista lateral do container



(b) Seção transversal com a posição dos termopares

Em um primeiro dia foram realizados quatro ensaios nomeados como 01, 02, 03 e 04, considerando os procedimentos de um treinamento normal com ataques tridimensionais por meio de aplicação de jatos d'água na camada de gases quentes (pulsos simples de 0,2 a 0,5 s aplicados um a um), seguidos de ataques combinados (pulsos e pacotes de água), finalizando apenas com aplicações de pacotes de água até que fosse possível o jato mole para posterior rescaldo.

Nos ensaios 05, 06 e 07, realizados em um segundo dia, foram alteradas as formas de combate. No ensaio 05 foram aplicados dois pulsos d'água por vez, seguidos da aplicação de ataques combinados e, por fim, foi realizada apenas aplicação de pacotes de água. No ensaio 06 foram aplicados pulsos mais longos (1,5 s), e posteriormente, ataques combinados. Ao fim, foram aplicados apenas pacotes d'água. O ensaio 07 foi realizado como um combate a incêndio real, mediante aplicação de pulsos e pacotes d'água de acordo com a experiência dos combatentes, de modo que pudessem avançar mais rapidamente até o foco e extinguir o fogo.

Os ensaios 08, 09 e 10 foram realizados em um terceiro dia, sem qualquer aplicação de água, ou seja, o incêndio ocorreu sem qualquer tipo de intervenção deixando-se a carga de incêndio ser totalmente consumida.

Durante os ensaios, a porta inferior esquerda (porta 01), permanece constantemente aberta (Figura 1a). A seguir, é feita a abertura das duas portas do lado direito (portas 03 e 04) do compartimento (Figura 1b) com base na experiência dos instrutores que observam o desenvolvimento da camada de fumaça. A porta superior esquerda é mantida fechada durante todo o restante do processo (Figura 1b). As portas laterais são mantidas fechadas.

### Tratamento de dados

Para análise dos resultados em gráficos de temperatura *versus* tempo, o tempo foi ajustado de forma que o instante de abertura da porta fosse o mesmo para todos os ensaios e igual a zero nos gráficos. Esse ajuste permite uma melhor comparação entre os experimentos, marcando o início das intervenções e do pleno desenvolvimento do incêndio. Também foi definido o termo *tempo efetivo de aplicação das intervenções*, *tempo de combate* ou *tempo de decaimento das temperaturas*, a partir do instante de abertura das portas até o instante no qual a temperatura do TMP 13 diminui até 200 °C (valor adotado para representar o término da atividade de combate antes da aplicação do jato mole e do rescaldo, ou término do ensaio nos casos sem intervenção).

## Carga de incêndio

Para realização dos ensaios, o material combustível foi composto de 11 paletes de madeira leve das espécies *Pinus* ou *Eucaliptus*. Devido ao menor custo e fácil disponibilidade no local os paletes são adotados nos treinamentos. A Figura 2 ilustra a disposição dos paletes durante os ensaios. Para o foco inicial utiliza-se um pallet desmontado.

As dimensões dos paletes utilizados nos ensaios foram próximas do padrão 1,1 m x 0,825 m x 0,15 m, com 0,91 m<sup>2</sup> de área por pallet, conforme padronizado pela norma NBR 8252 (ABNT, 2011). Considerando 11 paletes, em predominância a da espécie *Pinus*, distribuídos no fundo do compartimento conforme a Figura 2, tem-se uma superfície de queima de aproximadamente 7,28 m<sup>2</sup>. A massa média dos paletes foi de 19,15 kg. Tomando o poder calorífico da madeira *Pinus* igual a 19,4 MJ/kg (SOCIETY..., 2016), obtêm-se um total de 4.086 MJ de carga de incêndio, e 561 MJ/m<sup>2</sup> de carga de incêndio específica. A taxa de calor liberado média considerando 1.940 s (tempo médio de realização dos ensaios) é igual a 2,1 MW (BAILEY, 2008). A umidade aparente das madeiras dos paletes era de 12%.

Na Tabela 2 tem-se as massas totais de paletes utilizados em cada ensaio, com média de 204,54 kg para os quatro primeiros ensaios (ensaios 01 a 04), valor bem próximo da média total de todos os ensaios (ensaios 01 a 10), igual a 210,62 kg. A maior diferença de um dos quatro ensaios em relação à média de 204,54 kg é inferior a 10%. No ensaio 05 foram dispostos 221,12 kg de madeira na área de queima do container. Já nos ensaios 06 e 07 foram distribuídos 217,70 kg e 225,75 kg, respectivamente.

No ensaio 08 foram dispostos 213,76 kg de paletes de madeira na área de queima do container, e nos ensaios 09 e 10 foram distribuídos 225,38 kg e 184,82 kg, respectivamente (Tabela 2). A média foi de 207,96 kg de paletes com a maior diferença em relação à média igual a 11,1% para o ensaio 10.

## Quantidade de água

Para a estimativa da quantidade de água aplicada em cada ensaio por meio dos pulsos e pacotes de água, foram medidas para cada combatente a quantidade de água equivalente a aplicação de 20 pulsos e a 20 pacotes, estabelecendo-se a média para cada aplicação. Durante os ensaios, a quantidade de pulsos e pacotes era medida. A quantidade de água aplicada por cada combatente é função da experiência e percepção da temperatura na região em que se encontram.

## Resultados e discussões

### Combate normal: ensaios experimentais 01, 02, 03 e 04

#### Quantidade de água

Nos ensaios 01, 02, 03 e 04, em média, foram aplicados 35 pulsos (totalizando 9,9 l de água) e 56 pacotes (totalizando 6,7 l), resultando em um gasto médio de 16,5 l de água por ensaio, salvo a quantidade utilizada durante o jato mole (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados dos ensaios: quantidade de água e carga de incêndio

		Ensaio									
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Qte ataques	Pulsos	37	45	29	30	47	54	37	-	-	-
	Pacotes	64	40	54	67	67	93	80	-	-	-
Qte água pulsos (litros)		10,4	12,6	8,1	8,4	22,6	24,7	37,52	-	-	-
Qte água pacotes (litros)		7,7	4,8	6,5	8,0	45,8	86,6	33,4	-	-	-
Abertura de portas(min:seg)		12:18	18:38	06:37	07:58	10:28	07:08	09:35	09:02	06:20	09:18
		Carga de incêndio									
Massa paletes (kg)		219,95	204,05	189,04	205,12	221,12	217,70	225,75	213,76	225,38	184,32

## Evolução das temperaturas

Na Figura 5 tem-se as imagens dos ensaios evidenciando a fumaça e abertura das portas. Na Figura 6 é apresentada a evolução das temperaturas para o TMP 13 (mais alto, Figura 4) da seção 05 (mais próxima do foco, Figura 3). Nota-se que as temperaturas antes da abertura das portas tendem a um patamar (indicando uma situação estável) entre 400 °C e 600 °C, situação que demonstra o controle pela ventilação. Após a abertura das portas 03 e 04 (portas da direita sobrepostas, Figura 1) as temperaturas sobem bruscamente, indicando que a ventilação proporciona o pleno desenvolvimento do incêndio. Observa-se que as temperaturas ultrapassam rapidamente os 750 °C, o que indica a inflamação generalizada (aproximadamente aos 600 °C tem-se a inflamação generalizada, conforme comentado por Caldas (2008)). A partir desse instante o incêndio é controlado pela oferta de materiais combustíveis, salvo a influência da intervenção dos bombeiros.

Nas Figuras 5a e 5b observa-se que antes da abertura das portas 03 e 04 a fumaça se apresenta densa, indicando a deficiência de comburente (oxigênio). Como mencionado, nesse estágio o fogo está controlado pela ventilação. Após a abertura das portas, na Figura 5c, quase não se observa fumaça indicando que a combustão é completa (CALDAS, 2008). Nesse estágio os combustíveis controlam o fogo.

Observando a Figura 6, nota-se que a partir da abertura das portas o comportamento das curvas temperatura *versus* tempo é bem próximo, indicando a coerência entre os ensaios 01 e 04. Antes da abertura das portas, fatores como a temperatura e umidade do ambiente podem ter maior influência e afastar as curvas. O ensaio 01 foi realizado no início da manhã do primeiro dia de ensaios e, portanto, sob uma menor temperatura e maior umidade do ambiente, além de não ter o compartimento pré-aquecido por outros ensaios. Pode-se observar, por exemplo, que antes da abertura das portas, os ensaios 03 e 04 têm uma taxa de elevação de temperatura mais acentuada em comparação com os ensaios 01 e 02.

## Tempo de decaimento das temperaturas

O ensaio 01 apresentou aproximadamente 11 min de combate, enquanto os ensaios 02 a 04 exibiram um tempo de aproximadamente 8,5 min, ou seja, uma diferença de 2,5 min. Essa diferença está associada principalmente à experiência de cada combatente, podendo indicar que o combatente do ensaio 01 necessita de maior atenção na aplicação das técnicas. Esse tempo pode ser utilizado como medida de desempenho dos combatentes.

## Temperaturas máximas

Na Tabela 3 tem-se as máximas temperaturas atingidas pelos termopares nos ensaios 01, 02, 03 e 04. Nota-se que a diferença das temperaturas máximas entre o termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizados mais próximos da área de queima (seção 05 – Figura 3, TMPs 13 e 15) chegou a 551 °C no ensaio 03, e próximo do local de combate (seção 2 – Figura 3, TMPs 04 e 06) ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 448 °C, também no ensaio 03.

Figura 5 - Abertura das portas do container: (a) porta 01 aberta; (b) porta 01 aberta; (c) portas 01, 03 e 04 abertas



(a) Porta 01 aberta (b) Porta 01 aberta (c) Portas 01, 03 e 04 abertas

A máxima temperatura atingida, igual a 822 °C, foi observada no ensaio 03, no TMP 13, localizado na posição mais alta da seção 05, mais próxima da área de queima. A temperatura nessa altura, 2,15 m, diminui em direção às portas, chegando a 517 °C no TMP 01, seção 01, ensaio 03, como visto na Figura 7.

Figura 6 - Temperaturas no TMP 13, seção 05 - ensaios 01 a 07

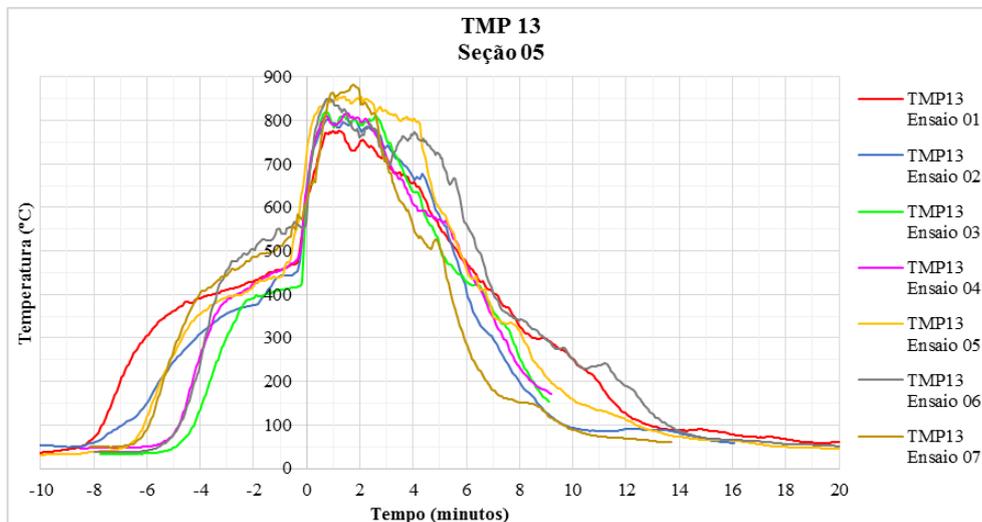
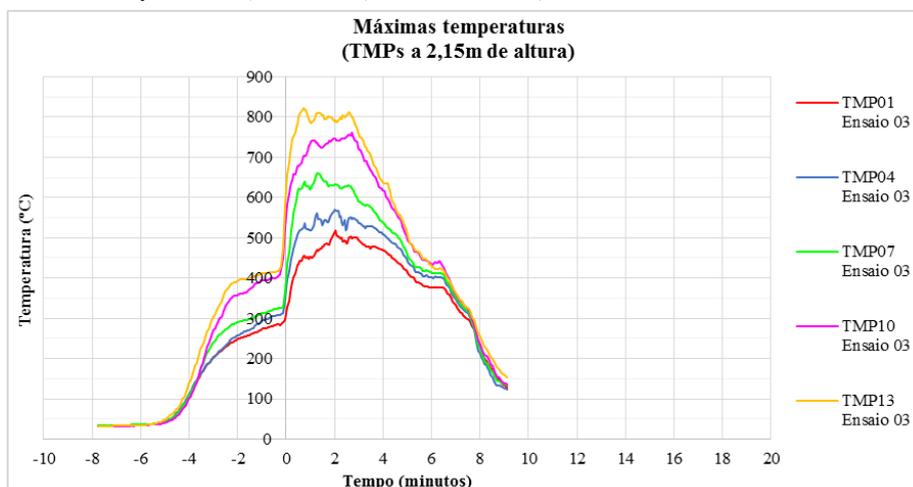


Tabela 3 - Temperaturas máximas nos ensaios 01, 02, 03 e 04

Níveis	2,15 m					1,47 m					0,80 m				
	TMP	01	04	07	10	13	02	05	08	11	14	03	06	09	12
Ensaio 01															
T. Máx. (°C)	477	521	582	713	777	274	265	257	297	439	164	154	137	172	275
Ensaio 02															
T. Máx. (°C)	490	545	631	788	805	291	286	288	375	467	153	142	120	159	273
Ensaio 03															
T. Máx. (°C)	517	571	661	760	822	262	266	292	345	475	141	123	120	176	271
Ensaio 04															
T. Máx. (°C)	521	595	661	770	816	299	316	327	390	500	169	158	178	227	325

Figura 7 - Máximas temperaturas, TMPs a 2,15 m de altura, ensaio 03



## Varição da forma de combate: ensaios experimentais 05, 06 e 07

### Quantidade de água

Os valores relativos à dispersão de água em cada um dos ensaios variaram de acordo com o profissional e o tipo de intervenção. No ensaio 05, com aplicação de dois pulsos associados a pacotes d'água foram aplicados 47 pulsos (22,6 l) e 67 pacotes (45,8 l), o equivalente a 68,4 l de água para o combate, salvo a quantidade utilizada durante o jato mole. No ensaio 06, com aplicação de pulsos mais longos (1,5 s) juntamente com pacotes d'água, foram aplicados 54 pulsos (24,7 l) e 93 pacotes d'água (86,58 l), o equivalente a 111,28 l de água para o combate, exceto a quantidade utilizada para o jato mole (Tabela 2). O ensaio 07 foi realizado exatamente como um combate real, sem especificações exatas do instante a se aplicar os pulsos e pacotes d'água, que ocorreram em um menor espaço de tempo, de acordo com a sensação térmica do combatente, buscando o avanço mais rápido até o foco. No entanto, a quantidade de água ainda foi próxima à aplicada nos ensaios anteriores, com 37 pulsos (37,5 l) e 80 pacotes (33,4 l), o equivalente a 70,9 l de água, salvo a quantidade utilizada para o jato mole. Nesses ensaios, os valores referentes à quantidade de água aplicada foram maiores do que nos ensaios 01 a 04. Isso é justificado pelas diferentes propostas de aplicação dos jatos d'água e a habilidade de cada um dos combatentes, tendo em vista que cada um deles tem uma velocidade diferente para abrir e fechar o esguicho, por exemplo.

As diferenças entre os ensaios 05 e 06 são pequenas (Figura 8), apesar do consumo maior de água no ensaio 06 (111,28 l) em relação ao ensaio 05 (68,4 l). No ensaio 07 buscou-se a simulação de um combate real, diferente dos ensaios anteriores que visavam principalmente ao treinamento para aprimorar a aplicação dos pulsos e o condicionamento físico e mental dos bombeiros. A quantidade de água consumida foi de 70,9 l, bem próximo do que foi consumido no ensaio 05, porém essa quantidade foi aplicada em um tempo menor, resultando em uma taxa maior de dispersão.

### Evolução das temperaturas

Quando analisados comparativamente, na Figura 8, os gráficos dos ensaios 05, 06 e 07, referentes aos termopares mais altos (TMP 04) próximos da área em que os profissionais ficam posicionados para realização do combate e próximo da área de queima (TMP 13), o ensaio 05, realizado com intervenção de dois pulsos, apresentou crescimento mais lento, que pode ser justificado pela menor temperatura, maior umidade do ambiente e sem pré-aquecimento (primeiro ensaio do dia). Os ensaios 05 e 06 apresentaram decaimento mais lento após a temperatura máxima devido ao modo de aplicação das intervenções, que não tinham a preocupação de simular um combate real, voltado principalmente para o treinamento da forma de combate. O ensaio 06 apresentou crescimento de temperatura mais acentuado no início do incêndio.

### Tempo de decaimento das temperaturas

Quando comparados os tempos efetivos de execução das intervenções (tempos de decaimento), o ensaio 05 exibiu aproximadamente 9,5 min de combate, enquanto os ensaios 06 e 07 apresentaram um tempo de aproximadamente 12 min e 6,5 min, respectivamente. A partir dessas informações é possível constatar que o ensaio 07 teve uma redução significativa, de 6 min, em relação ao ensaio 06, e de 3 min quando comparado ao ensaio 05.

Comparativamente, também é válido ressaltar que o ensaio com jatos d'água mais longos (ensaio 06) consome aproximadamente 40 l de água a mais, quando relacionado aos ensaios 05 e 07, não sendo eficaz, uma vez que os ensaios 05 e 07 apresentaram queda de temperatura igual ou até superior ao ensaio em questão. A partir disso, conclui-se que a condição na variação do tempo de decaimento, bem como no tempo de duração desses ensaios, está relacionada ao modo de execução do combate, ou seja, a taxa de aplicação dos pulsos. Além disso, a aplicação excessiva de água leva a uma grande formação de vapor no compartimento, que penetra a roupa dos combatentes e pode causar queimaduras.

### Temperaturas máximas

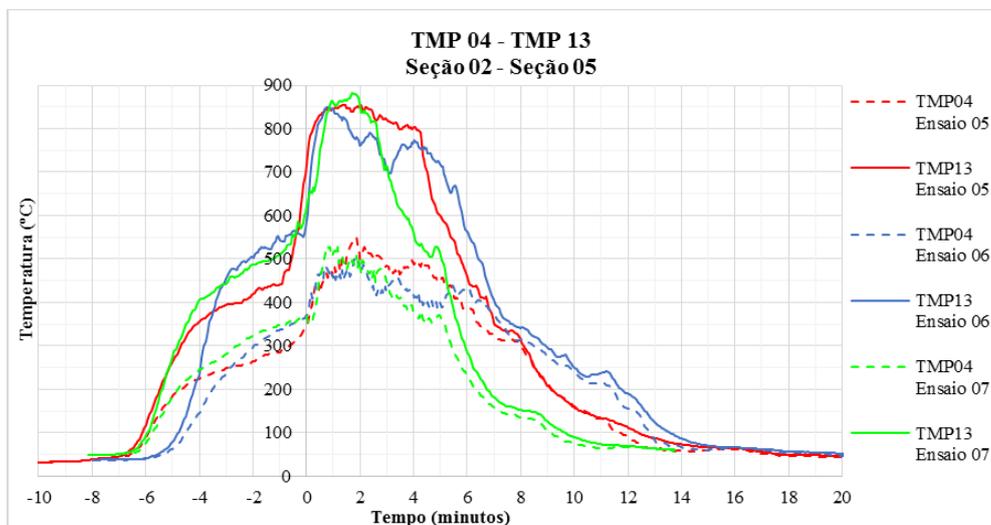
Na Tabela 4 são exibidas as máximas temperaturas registradas pelos termopares dos ensaios 05, 06 e 07.

Haja vista todos os dados resultantes, constata-se que a diferença do pico de temperatura entre o ponto do termopar mais alto (2,15 m) e o do termopar mais baixo (0,80 m), localizados próximos da área de queima (seção 05 – Figura 3, TMPs 13 e 15) chegou a 525 °C no ensaio 05, 600 °C no ensaio 06, 543 °C no ensaio 07, e, próximo do local de combate (seção 2 – Figura 3, TMPs 04 e 06) ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 399 °C no ensaio 05, 344 °C no ensaio 06 e 522 °C no ensaio 07.

Tabela 4 - Temperaturas máximas nos ensaios 05, 06 e 07

Níveis	2,15 m					1,47 m					0,80 m				
	01	04	07	10	13	02	05	08	11	14	03	06	09	12	15
TMP															
Ensaio 05															
T. Máx. (°C)	494	549	631	773	855	277	134	312	371	489	152	147	142	186	327
Ensaio 06															
T. Máx. (°C)	452	504	623	767	850	282	270	282	400	547	174	171	161	200	262
Ensaio 07															
T. Máx. (°C)	458	532	631	791	883	275	265	280	357	556	177	184	180	195	342

Figura 8 - Gráfico de evolução da temperatura, TMP 04 e TMP 13, seções 02 e 05, ensaios 05 a 07



As cargas de incêndio adotadas para realização desses ensaios apresentaram massas próximas, portanto a diminuição de temperatura após os valores máximos deve estar relacionada à taxa de pulsos e pacotes d'água (relação pulsos ou pacotes por tempo) adotados durante os ensaios, uma vez que a quantidade de água empregada nos ensaios é próxima e no ensaio 07 tem-se uma duração menor.

### Sem combate: ensaios experimentais 08, 09 e 10

#### Temperaturas máximas

Na Tabela 5 são exibidas as máximas temperaturas dos termopares nos ensaios 08, 09 e 10.

Em vista dos resultados dos ensaios 08, 09 e 10, concluiu-se que a diferença do pico de temperatura entre o ponto do termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizados próximo da área de queima (seção 05 – Figura 3, TMPs 13 e 15) chegou a 477 °C no ensaio 08 e 520 °C no ensaio 10, e, próximo do local de combate (seção 2 – Figura 3, TMPs 04 e 06) que seria ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 452 °C no ensaio 08, 490 °C no ensaio 09 e 468 °C no ensaio 10.

### Comparação entre o combate normal e variações: ensaios 01 a 07

Os gráficos das Figuras 9 a 13 apresentam os resultados e buscam auxiliar a comparação entre os diferentes ensaios. Na Figura 9, com as medições no TMP 04 (seção 02 – Figura 3) dos ensaios 01 a 07, observa-se que as máximas temperaturas no treinamento normal (ensaio 04) superam em até aproximadamente 50 °C as do treinamento com dois pulsos (ensaio 05). Por outro lado, a aplicação de pulsos mais longos de aproximadamente 1,5 s (ensaio 06) apresentou uma diminuição de aproximadamente 100 °C em relação ao ensaio 04, e de aproximadamente 30 °C em comparação ao treinamento simulando um combate a incêndio

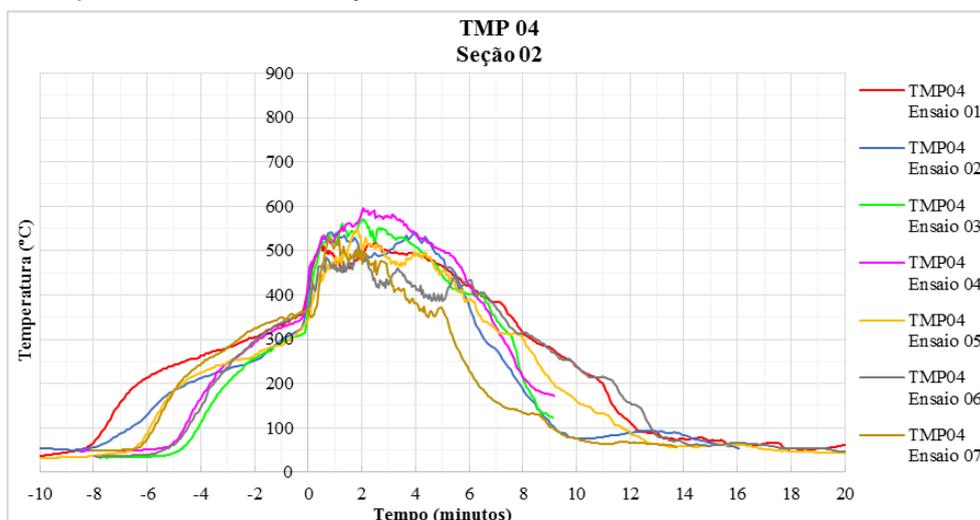
real (ensaio 07) e esse, por sua vez, apresentou redução de aproximadamente 70 °C em relação ao ensaio 04. Observa-se que a simulação de um combate real, no qual a taxa de aplicação dos pulsos é maior, produziu uma redução significativa da temperatura máxima, além da redução do tempo do incêndio, em comparação com os demais ensaios 01 a 05 com intervenção, exceto em relação ao ensaio 06. Essa observação mostra que a maior taxa de aplicação dos pulsos, com o objetivo de resfriar mais rapidamente o compartimento e se atingir o foco do incêndio, é eficaz. Observando o ensaio 06 nota-se que, apesar da duração, limitou a temperatura máxima, ficando abaixo de todos os outros ensaios, indicando que os pulsos mais longos podem reduzir a temperatura máxima, próxima da localização do combatente, de maneira mais eficaz.

Na Figura 6, na qual se observam as temperaturas do TMP 13 (seção 05 – Figura 3), percebe-se que não houve uma diferença considerável na temperatura máxima dos ensaios, ficando em torno de 100 °C para os ensaios 01 a 07, sendo que o ensaio 07 atingiu a maior temperatura, igual a 883 °C. É válido salientar que o TMP 13 do ensaio 07 levou, após o momento de abertura das portas, 6,5 min para voltar a 200 °C. A maior temperatura próxima do foco do incêndio, observada nesse ensaio, pode ser justificada pela influência do ataque mais ofensivo na dinâmica do incêndio, todavia essa influência é pequena frente aos demais ensaios. Interessante notar que o ataque promovido pelos bombeiros leva em conta a percepção da temperatura na seção em que se encontram, dessa forma, na seção 02, para o ensaio 07, essa percepção e a busca em debelar o incêndio mais rapidamente influenciaram significativamente nas temperaturas, promovendo o rápido avanço em direção ao foco (Figura 9). Na seção 05 os efeitos da forma de intervenção não são tão perceptíveis ao se analisar o decaimento das temperaturas, quanto na seção 02.

Tabela 5 - Temperaturas máximas nos ensaios 08, 09 e 10

Níveis	2,15 m					1,47 m					0,80 m				
TMP	01	04	07	10	13	02	05	08	11	14	03	06	09	12	15
Ensaio 08															
T. Máx. (°C)	565	612	681	778	827	325	344	331	419	528	164	168	177	245	359
Ensaio 09															
T. Máx. (°C)	637	700	775	792	648	413	449	423	573	570	170	221	209	312	367
Ensaio 10															
T. Máx. (°C)	577	628	716	792	840	286	304	313	325	68	139	180	187	255	327

Figura 9 - Temperaturas no TMP 04, seção 02, ensaios 01 a 07



De forma geral, o crescimento mais lento ou mais rápido pode estar associado à temperatura e à umidade do ambiente e ao pré-aquecimento pelos ensaios anteriores de um mesmo dia. As temperaturas máximas atingidas nas seções ocupadas pelos combatentes (seção 02) estão associadas à taxa de aplicação de água. O ensaio 06, com pulsos mais longos, aplica uma taxa de quantidade de água por tempo, maior que os anteriores, assim como o ensaio 07, que busca simular um combate real e, portanto, resultaram em menores temperaturas máximas.

Quanto ao tempo efetivo de execução das intervenções, avaliado a partir da abertura das portas até o decaimento da temperatura ao patamar de 200 °C no TMP 13, os ensaios que simularam um treinamento normal (ensaios 01 a 04) tiveram tempos de execução de combate entre 8 e 11 min, enquanto o ensaio 07 teve 6,5 min.

Conclui-se que durante os treinamentos normais (ensaios 01 a 04) os profissionais estão sendo submetidos a um tempo maior do que ao necessário para combater o incêndio proporcionado pelo container com as condições adotadas. Essa situação é intencional, uma vez que os treinamentos normais buscam o aprimoramento e a prática das técnicas, além do condicionamento físico e mental dos bombeiros, sendo importante o tempo que ficam expostos às condições semelhantes a um incêndio real.

Os ensaios 01 a 04 consumiram em média 16,5 l de água, enquanto o ensaio 05 consumiu 68,4 l, os ensaios 06 e 07 consumiram 111,28 l e 70,9 l, respectivamente. Nos ensaios 01 a 06 não há preocupação em se debelar o incêndio rapidamente como em uma situação real e, dessa forma, além da influência da taxa tem-se a diferença de duração.

### **Comparação entre o combate normal e sem combate: ensaios 01 a 04 e 08 a 10**

Na Figura 10, relacionada à seção 02, quando analisadas comparativamente às máximas temperaturas dos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) com as máximas temperaturas coletadas no treinamento sem intervenção (ensaios 08, 09 e 10), observa-se que houve uma diminuição de temperatura de aproximadamente 100 °C, entre os ensaios 04 e 09. Observando o ensaio 08 sem intervenção e o ensaio 04 com intervenção, a diferença significativa é apenas no tempo de duração do ensaio, indicando que os treinamentos normais não impactam nas temperaturas máximas atingidas, ou seja, não promovem um resfriamento efetivo do local ocupado pelos combatentes. Observa-se que nos gráficos que apresentam os resultados dos ensaios 08 a 10 o tempo é apresentado até 30 min.

Na Figura 11, referente à seção 05, não foram indicadas diferenças consideráveis nas temperaturas máximas. O TMP 13 do ensaio 09 apresentou erro e por isso não foram apresentadas as suas leituras.

Após a abertura das portas, o crescimento repentino de temperatura também foi relativamente proporcional quando comparados os termopares das seções 02 e 05 (Figuras 10 e 11).

Quanto ao decaimento nas curvas de temperatura, nota-se que, nos ensaios que simularam um treinamento normal (ensaios 01 a 04) os decaimentos aconteceram de maneira bem semelhante aos ensaios sem intervenção (ensaios 08 a 10) até o tempo de aproximadamente 6 min. No entanto, quando comparado o tempo desde a abertura das portas até o decaimento da temperatura ao patamar de 200 °C, para o TMP 13 do ensaio 10, sem intervenção, o tempo foi de 17,5 min, enquanto o mesmo termopar, nos ensaios de treinamento normal (ensaios 01 a 04), indicou um tempo médio de combate de 9 min, com uma diferença significativa de aproximadamente 8,5 min. Contudo, apesar das diferenças de tempo, nos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) os profissionais são confrontados com temperaturas bem próximas das de um incêndio sem intervenção.

Na Figura 12, TMP 04, seção 02, quando analisada a média das máximas temperaturas dos treinamentos sem intervenção (ensaios 08, 09 e 10) com as máximas temperaturas coletadas no treinamento com intervenção de dois pulsos (ensaio 05), nota-se que há uma diminuição de temperatura de aproximadamente 100 °C, enquanto a aplicação de pulsos mais longos – 1,5 s (ensaio 06) apresentou variação de 140 °C, e o treinamento conforme combate a incêndio real (ensaio 07) apresentou diferença de 114 °C. Na Figura 13, seção 05, nota-se uma diferença não muito significativa nas variações desses picos de temperaturas.

Figura 10 - Temperaturas no TMP 04, seção 02 - ensaios 01 a 04 e 08 a 10

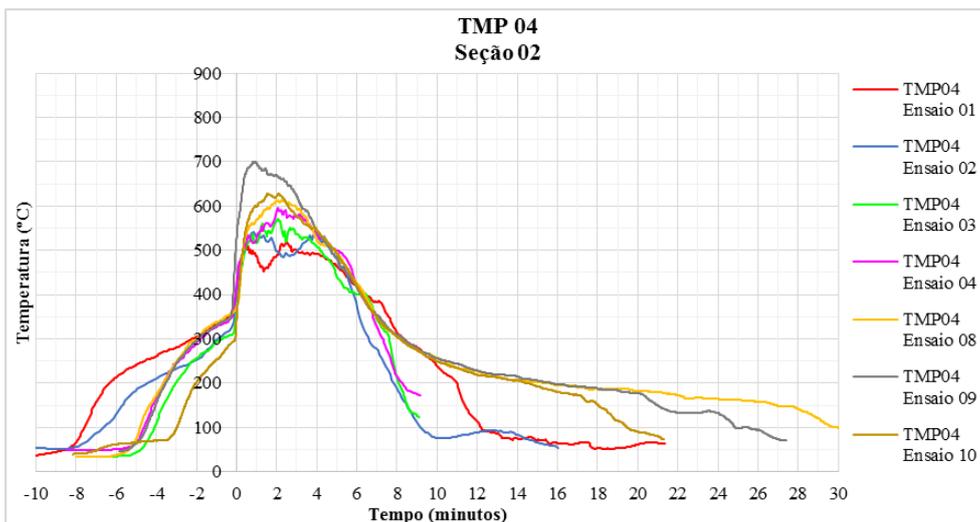


Figura 11 - Temperaturas no TMP 13, seção 05 - ensaios 01 a 04, 08 e 10

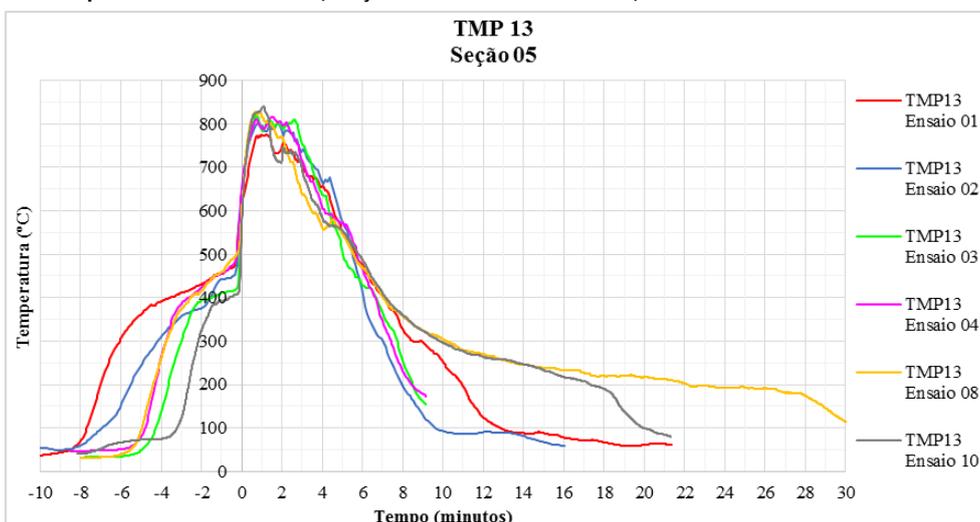


Figura 12 - Temperaturas no TMP 04, seção 02 - ensaios 05 a 10

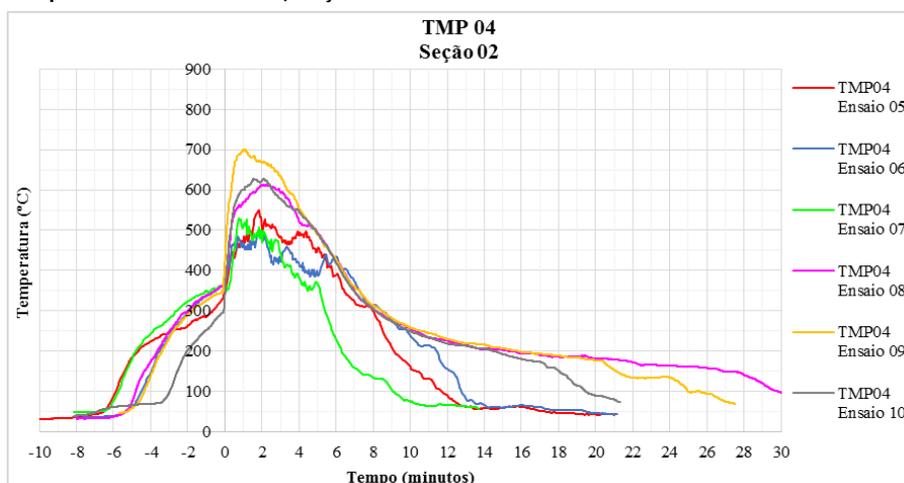
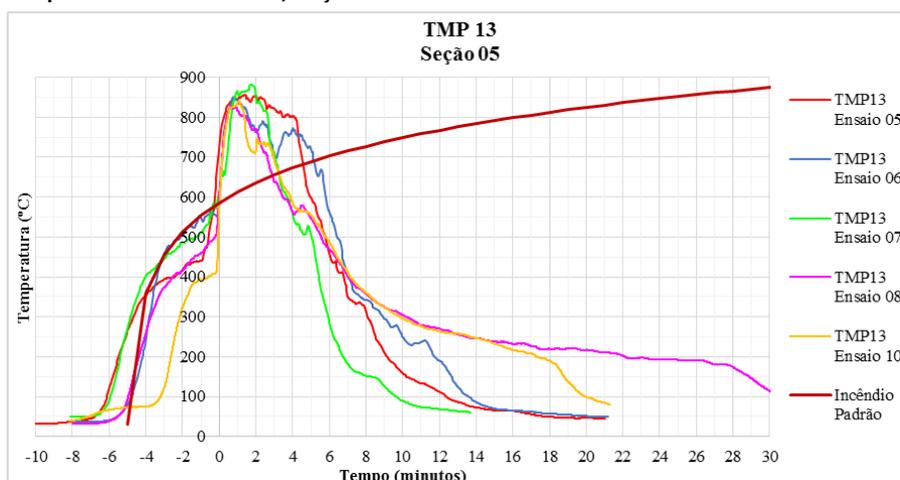


Figura 13 - Temperaturas no TMP 13, seção 05 - ensaios 05 a 08 e 10



Quanto aos diferentes níveis de decaimento tem-se que nos ensaios 05 e 06 esse episódio aconteceu de maneira bem parecida, mas com uma rápida extinção do fogo quando comparado aos ensaios sem intervenção. No entanto, o ensaio 07 se apresentou de maneira mais diferenciada, com redução significativa nas temperaturas após o pico máximo e, por conseguinte, uma ágil extinção do fogo. A maior diferença está no tempo de duração das intervenções realizadas nos ensaios. As intervenções realizadas após a abertura das portas no ensaio 05 tiveram duração de 9,5 min, e nos ensaios 06 e 07 duração de 12 min e 6,5 min, respectivamente. Por outro lado, os ensaios sem intervenção tiveram um tempo médio de decaimento após a abertura das portas de 19,6 min até o patamar de 200 °C. Comparativamente, o ensaio 07, simulando um combate real (intervalo de 6,5 min entre a abertura de portas e o patamar de 200 °C), apontou redução significativa de aproximadamente 15,5 min quando comparado ao ensaio 08, sem intervenção (intervalo de 22 min entre a abertura de portas e o patamar de 200 °C).

De maneira geral, conclui-se que próximo da seção 02 (posição ocupada pelos combatentes) as temperaturas (Figura 12) são bem reduzidas quando aplicada qualquer uma das técnicas de combate aqui apresentadas (ensaios 05 a 07), bem como a duração de tempo para extinção do fogo que diminui drasticamente, em comparação aos ensaios sem intervenção.

Na Figura 13, apenas para uma análise qualitativa, apresenta-se a curva do incêndio-padrão (ABNT, 2001). Nota-se que a elevação de temperatura nos ensaios apresenta uma taxa (variação de temperatura com o tempo) coerente com a que é prevista na curva de incêndio-padrão. Também se supõe que é possível um ajuste da carga de incêndio e da ventilação com o objetivo de representar de maneira mais próxima a elevação de temperatura indicada pela curva-padrão. Essas observações demonstram que o compartimento em análise pode ser ajustado para ensaios de elementos construtivos e estruturais. Nesses ajustes podem ser empregadas simulações computacionais como as apresentadas por Meira (2017), Mata *et al.* (2018) e Mata (2019).

## Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que os treinamentos representam bem o comportamento de incêndios reais em ambientes construídos com relação às fases de início do incêndio e sua propagação, inflamação generalizada (*flashover*) e pós-*flashover*. A máxima temperatura observada no compartimento foi de 883 °C. A diferença do pico de temperatura registrado no termopar mais alto (2,15 m) e no termopar mais baixo (0,80 m), localizados próximos da área de queima, chegou a 600 °C. Próximo ao local de combate ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 522 °C. A comparação entre os ensaios que representam os treinamentos normais e os ensaios sem intervenção demonstra que não há uma diferença significativa nas temperaturas máximas atingidas. Dessa forma, os profissionais são submetidos a uma condição próxima de um incêndio real, potencializando os recursos utilizados, conforme proposto pelo Corpo de Bombeiros.

A partir da comparação entre os treinamentos normais e a simulação de um combate real, conclui-se que a taxa de aplicação de água (quantidade de água por tempo) influencia inversamente no tempo de duração do

incêndio e na temperatura na região onde os combatentes se localizam. O tempo para extinção do fogo está associado principalmente à experiência de cada combatente e, portanto, à importância dos treinamentos. Esse tempo pode ser utilizado como medida de desempenho dos combatentes. Também, quanto menor o tempo de duração do incêndio, menor será a ação térmica nos elementos construtivos e estruturais.

A configuração do container, com a divisão da porta frontal em quatro partes, permite controlar a entrada de ar fresco e saída de gases quentes. A dinâmica do incêndio e as temperatura atingidas demonstram que o compartimento pode ser utilizado para o estudo de elementos construtivos e estruturais em situação de incêndio. Em trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um modelo computacional para simulação dos ensaios realizados e estudo dos parâmetros envolvidos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8252**: paletes: dimensões Básicas. Rio de Janeiro, 2011.

BAILEY, C. **Fire modelling**: external window fires. One stop shop in structural fire engineering. 2008. University of Manchester. Disponível em: <http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/strucfire/Design/performance/fireModelling/externalWindowFires/default.htm>. Acesso em: 13 nov. 2018.

BERNATÍKOVÁ, S. *et al.* Monitoring of environment in a flashover container in the course of enclosure fire simulation. **Safety Engineering Series**, v. 7, n. 1, p. 1-6, 2012.

BRAGA, G. C.; NETO, J. P. L.; SALAZAR, H. F. A temperatura e fluxo de calor em uma situação de incêndio e as consequências para os bombeiros. **Revista FLAMMAE**, Recife, v. 2, n. 4, jul./dez. 2016.

CALDAS, R. B. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CASEY, D. **The use of shipping containers in live fire training**: fire engineering magazine. 2018. Disponível em: <http://www.FireEngineering.com>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS. **Manual Operacional de Bombeiros**: combate a incêndio urbano. 2017. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/MOB-Combate-a-Inc%C3%AAndio-Urbano-CBMGO.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **Corpo de Bombeiros adquire simulador de combate a incêndios**. 2015. Disponível em: <http://www.bombeiros.mg.gov.br/component/content/article/20-2o-bbm/45269-corpo-de-bombeiros-adquire-simulador-de-combate-a-incendio.html>. Acesso em: 3 mar. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Manual de Capacitação em incêndio estrutural**. 2018. Disponível em: [http://biblioteca.cbm.sc.gov.br/biblioteca/dmdocuments/MANUAL\\_CIE.pdf](http://biblioteca.cbm.sc.gov.br/biblioteca/dmdocuments/MANUAL_CIE.pdf). Acesso em: 27 abr. 2019.

HORA, J.; ŽIŽKA, J. Influence of the training in relation to the fire-fighting effectiveness under the condition of the indoor fire simulation. **Safety Engineering Series**, v. 11, n. 1, p. 14–26, 2016.

LYNX TESTING AND MEASUREMENT SYSTEMS. **Lynx User Manual**. 2008.

MACKAY, D.; BARBER, T.; YEOH, G. H. Experimental and computational studies of compartment fire behavior training scenarios. In: **BUILDING and Environment**. New York: Elsevier, 2010.

MATA, K. L. **Análise da influência do combate a incêndio nas temperaturas de um compartimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MATA, K. L. *et al.* Estudo teórico-experimental do comportamento de um compartimento em situação de incêndio. In: SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL, 13., Vitória, 2018. **Anais [...]** Vitória, 2018.

MEIRA, L.O. **Simulação computacional da altura e temperatura da camada de fumaça.** Belo Horizonte, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **Handbook of Fire Protection Engineering.** 5<sup>TH</sup>. ed. 2016. Society of Fire Protection Engineers.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), à UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e especialmente ao CBMMG (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais) pelo apoio financeiro e disposição empreendida no desenvolvimento desta pesquisa.

### Kamyla Lima da Mata

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas | Universidade Federal de Minas Gerais | Av. Antônio Carlos, 6627, Bloco 1, 4º andar, Pampulha | Belo Horizonte - MG - Brasil | CEP 31270-901 | Tel.: (34) 99143-9026 | E-mail: kamylalima.arq@gmail.com

### Rodrigo Barreto Caldas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas | Universidade Federal de Minas Gerais | Tel.: (31) 3409-3589 | E-mail: caldas@dees.ufmg.br

### Francisco Carlos Rodrigues

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas | Universidade Federal de Minas Gerais | Tel.: (31) 3409-1044 | E-mail: francisco@dees.ufmg.br

### João Victor Fragoso Dias

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas | Universidade Federal de Minas Gerais | Tel.: (27) 99982-7623 | E-mail: joaovfdias@gmail.com

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.