



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Estudo de Sistemas de Proteção de Tripulações de Veículos de Combate a Incêndios Florestais**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

## **CREW PROTECTION SYSTEMS IN FOREST FIREFIGHTING VEHICLES**

Autor

**Nuno Filipe Ladeiro Monteiro**

Orientador

**Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas**

Coorientador

**Mestre Ricardo Filipe Oliveira**

Júri

Presidente	<b>Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo</b> Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra <b>Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas</b>
Vogais	Professor Catedrático da Universidade de Coimbra <b>Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro</b> Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial**

---



Associação para o  
Desenvolvimento da  
Aerodinâmica  
Industrial



Centro de Estudos  
sobre Incêndios  
Florestais

**Coimbra, setembro, 2016**



Ser bombeiro é mais do que realizar uma missão, é eternizar momentos com  
sentimentos.

Ana Margarida, 2010



## Agradecimentos

As minhas primeiras palavras de agradecimento terão de ir para o meu orientador, Professor Doutor Domingos Xavier Viegas, a quem me cabe exprimir o meu sincero bem-haja pela forma tão amável, gentil e empenhada com que me acompanhou em todas as fases deste projeto, e por todas as frequentes e enriquecedoras trocas de ideias propiciadas e que foram fundamentais para este estudo.

Agradeço ao mestre Ricardo Filipe Oliveira que, desde o início acompanhou com toda a sua disponibilidade e o seu incentivo, inspirando-me e ajudando-me em todos os obstáculos que foram aparecendo.

Gostava também de agradecer a todos os funcionários do CEIF/ADAI, pela forma tão amável, preocupada e profissional que me ajudaram dentro das suas possibilidades sempre que os solicitei: ao Doutor Jorge Raposo, ao Mestre Joel Teixeira, ao senhor Cardoso, ao senhor José Barbosa, ao mestre Nuno, muito obrigado!

Um agradecimento especial aos meus amigos. Primeiro aos meus companheiros de casa: Sérgio, Tiago e Hugo, foi magnífico este ano, depois a todos os outros, Diogo, Daniel, Batista, João, Rafael, Guilherme, Pedro, Flávio e a tantos outros, companheiros de bons momentos, dos quais nunca me irei esquecer, pois não foi de sempre, mas é para sempre, foram vocês que tornaram a experiência Coimbra tão especial e tão marcante.

Por último quero agradecer aos meus pais, ao meu irmão e a todos os meus familiares, sem vocês nunca seria o que sou hoje.



## Resumo

O fogo é essencial para o equilíbrio dos ecossistemas florestais. No entanto, devido a alterações ocorridas nos regimes de fogo os incêndios florestais tornaram-se nas últimas décadas um problema em diversas regiões do globo, nomeadamente Portugal.

A integridade e a segurança dos bombeiros são, atualmente, temas de extrema importância e de investigação. Os incêndios são uma realidade incontornável à escala mundial e local que muito tem vindo a marcar a vida das populações e dos agentes de prevenção e combate a fogos. Importa aqui sublinhar que este problema comporta consequências prejudiciais a nível ambiental mas também a nível pessoal, como perda de bens e valores materiais, danos físicos e psicológicos e até a possibilidade de morte.

Nesta dissertação realizaram-se alguns testes em simulacro de incêndio dando a conhecer de uma maneira mais aprofundada o veículo como meio de proteção e refúgio, os perigos e os vários sistemas de proteção do bombeiro e do veículo.

O objetivo deste trabalho é testar e verificar a eficácia de utilização do sistema de aspersores numa cabine de veículos utilizados pelos bombeiros, impedindo que o fogo danifique a estrutura e proteja os seus ocupantes e assim concluir se os indivíduos podem permanecer de forma sustentável no interior da cabine ou não.

A água é um agente de supressão extremamente eficiente, devido ao seu elevado calor latente de vaporização, que absorve uma grande quantidade de energia dificultando a combustão.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) da Universidade de Coimbra.

**Palavras-chave:** Sistema de proteção coletivo, Incêndios florestais, Veículos de combate aos incêndios, Segurança em incêndios, Aspersores.



## Abstract

Fire is essential to the balance of forest ecosystems. However, due to changes in fire regimes in last decades, forest fires have become a serious problem in several regions of the globe, notably in Portugal.

The health and safety of firefighters are currently topics of utmost importance and research. Fires are an inescapable reality on a global and local scale that has come to mark the life populations and also the people that prevent and fight fire.

It is important to notice that this problem involves harmful environmental consequences but also in the personal plan, as the loss of goods and material values, physical and psychological damage and even by the occurrence of death.

In this dissertation some tests on fire drill were performed, showing in a more detailed way the vehicle as a means of protection and refuge, the dangers and the various protection systems of the firefighter and the vehicle.

The aim of this work is to test and verify the efficiency of using the fire sprinklers system in both vehicles used by Fire Department, as a mean to prevent the fire from damaging the structure and protect its occupants, concluding if the individuals can remain sustainably in the vehicle or not.

Water is an extremely efficient suppression agent due to their high latent heat of vaporization which absorbs a lot of energy hindering the combustion.

The tests were performed in the Laboratory of Studies on Forest Fires (LSFF) of the Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADIA) of the University of Coimbra.

**Keywords** Collective protection system, forest fires, fire fighting vehicles, fire safety, sprinklers.



---

## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xv
Simbologia e Siglas .....	xvii
Simbologia.....	xvii
Siglas .....	xvii
1. Introdução.....	1
2. Estado da arte.....	3
2.1. Acidentes .....	3
2.2. Veículo de combate a incêndios e suas limitações .....	5
2.3. Fatores térmicos e tolerância humana ao calor .....	7
2.3.1. Fluxos convectivos .....	7
2.3.2. Radiação .....	8
3. Sistemas de proteção dos veículos de combate a incêndios .....	8
3.1. Aspersores (Sprinklers).....	9
3.2. Mantas de proteção .....	12
3.3. Gel retardador de fogo .....	13
3.4. Canhões de água .....	14
4. Metodologia experimental.....	15
4.1. Sistema de aspersores .....	15
4.1.1. Equipamentos usados nos ensaios .....	15
4.1.2. Procedimento .....	18
4.2. Testes sobre o sistema incluído na cabine .....	21
4.2.1. Equipamento usado nos ensaios .....	22
4.2.2. Procedimento .....	23
4.3. Simulação de frente de fogo .....	25
4.3.1. Equipamentos .....	26
4.3.2. Procedimento .....	29
5. Resultados e discussão .....	31
5.1. Ensaios do sistema .....	31
5.1.1. Teste do sistema da bomba.....	31
5.1.2. Teste sobre os vários aspersores.....	32
5.1.3. Teste sobre o sistema no veículo .....	38
5.2. Ensaios com a frente de fogo .....	43
6. Conclusão .....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXO A .....	69
APÊNDICE A .....	71
APÊNDICE B.....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Distribuição da água dada pelo aspersor.....	9
Figura 3.2 - Sistema de aspersores ativos numa simulação de frente. Foto : CSIRO .....	10
Figura 3.3 - Manta de proteção. Foto : CSIRO .....	13
Figura 3.4 - Canhões montados no veículo. Foto: CEIF/ADAI.....	14
Figura 3.5 - Canhões colocados no terreno .....	14
Figura 4.1- Aspersor 1 (Difusor de ranhura).....	16
Figura 4.2 - Aspersor 2 (Difusor de ranhura).....	16
Figura 4.3 - Aspersor 3 (Difusor de cone).....	16
Figura 4.4 - Aspersor 4 (Difusor de cortina ½’’ tipo janela).....	16
Figura 4.5 - Características da Bomba 1 .....	16
Figura 4.6 - Características da Bomba 2 .....	16
Figura 4.7 - Disposição dos materiais nos testes com vento .....	18
Figura 4.8 - Resultados da calibração.....	18
Figura 4.9 - Teste com aspersor .....	19
Figura 4.10 - Teste com curva .....	19
Figura 4.11 - Sistema de avaliação dos caudais .....	23
Figura 4.12 - Sistema utilizando a bomba 1 .....	23
Figura 4.13 - Sistema utilizando a bomba 2 .....	23
Figura 4.14 - Vista do ensaio TS12-1.....	24
Figura 4.15 - Imagem representativa de um dos ensaios com a frente de fogo.....	25
Figura 4.16 - Estrutura de queima .....	26
Figura 4.17 - Localização dos termopares.....	27
Figura 4.18 - Localização dos termopares no interior da cabine.....	27
Figura 4.19 - Localização do fluxómetro .....	28
Figura 4.20 - Visualização e cálculo da intensidade de chama .....	29
Figura 4.21 - Distância da cabine à frente de fogo.....	30
Figura 5.1 - Pressão em função do caudal à saída da bomba .....	31
Figura 5.2 - Perda de carga (k') .....	32
Figura 5.3 - Perda de carga dinâmica (k) em função do n° de Re .....	33
Figura 5.4 - Ensaio de vento com aspersor 1.....	35
Figura 5.5 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades.....	35
Figura 5.6 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades.....	35

Figura 5.7 - Ensaio de vento com aspersor 2 .....	35
Figura 5.8 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades .....	36
Figura 5.9 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades .....	36
Figura 5.10 - Ensaio de vento com aspersor 3 .....	36
Figura 5.11 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades .....	36
Figura 5.12 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades .....	36
Figura 5.13 - Ensaio de vento com aspersor 4 .....	37
Figura 5.14 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades .....	37
Figura 5.15 - Curva do sistema para as 3 cabines testadas .....	38
Figura 5.16 - Perda de carga (k) em função de Re .....	39
Figura 5.17 - Representação da numeração dos aspersores da cabine 1 e 2 (esquerda) e da cabine 3 (direita) .....	40
Figura 5.18 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 1 .....	41
Figura 5.19 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 2 .....	41
Figura 5.20 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 3 .....	41
Figura 5.21 - Distribuição das pressões pelos aspersores à volta do veículo .....	42
Figura 5.22 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF1) .....	44
Figura 5.23 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF2) .....	44
Figura 5.24 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF1) .....	44
Figura 5.25 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF2) .....	44
Figura 5.26 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF1) .....	45
Figura 5.27 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF2) .....	45
Figura 5.28 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF1) .....	46
Figura 5.29 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF1) .....	47
Figura 5.30 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF1) .....	48
Figura 5.31 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF2) .....	48
Figura 5.32 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF2) .....	49
Figura 5.33 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF2) .....	50
Figura 5.34 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF5) .....	51
Figura 5.35 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF6) .....	51

---

Figura 5.36 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (EF5)	51
Figura 5.37 Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (EF6)..	51
Figura 5.38 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF5).....	52
Figura 5.39 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF6).....	52
Figura 5.40 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF5).....	53
Figura 5.41 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF5).....	53
Figura 5.42 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF5) .....	54
Figura 5.43 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF6).....	54
Figura 5.44 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF6).....	55
Figura 5.45 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF6) .....	56
Figura 5.46 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF7) .....	57
Figura 5.47 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF7).....	57
Figura 5.48 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF7).....	57
Figura 5.49 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF7).....	57
Figura 5.50 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF7).....	58
Figura 5.51 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF7) .....	58
Figura 5.52 - Variação máxima da temperatura do interior da porta em função da distância .....	60
Figura 5.53 - Variação máxima da temperatura do exterior da porta em função da distância .....	60
Figura 5.54 - Variação máxima da temperatura do interior da janela em função da distância .....	60
Figura 5.55 - Variação máxima da temperatura do exterior da janela em função da distância.....	60
Figura 5.56 - Variação máxima da temperatura da peito em função da distância.....	61
Figura 5.57 - Variação máxima da temperatura do ombro em função da distância .....	61
Figura 5.58 - Variação máxima da temperatura do mão em função da distância.....	62
Figura 5.59 - Variação máxima da temperatura do pé em função da distância.....	62
Figura 5.60 - Variação máxima da temperatura do volante em função da distância.....	62
Figura 5.61 - Variação máxima da temperatura do vidro frontal em função da distância ..	62

Figura 5.62 - Variação máxima da temperatura do teto em função da distância ..... 63

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.2.1. Número de vítimas durante o período 2005 até a presente data .....	3
Tabela 4.1 - Referências dos testes sobre os aspersores.....	20
Tabela 4.2 : Esquematização das condições dos ensaios (Aspersores - LEIF) .....	21
Tabela 4.3 - Esquematização das condições dos ensaios .....	24
Tabela 5.1 - Tabela resumo (valores médios de todas as variantes).....	33
Tabela 5.2 - Tabela resumo (valores médios de todas as variantes).....	39
Tabela 5.3 - Esquematização e caracterização dos ensaios com frente de fogo.....	43
Tabela 5.4 - Variação máxima das temperaturas de cada termopar .....	59
Tabela 5.5 - Tabela resumo dos fluxos.....	64



## **SIMBOLOGIA E SIGLAS**

### **Simbologia**

Asp – Aspersor

d – distância

h – altura

$\phi$  – Fluxo de calor

$\Delta T$  – Variação da temperatura

l - litros

m – metros

min – minutos

Q – caudal

Re – Reynolds

s – segundos

T – temperatura

t - tempo

### **Siglas**

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

CEIF – Centro de Estudos Sobre Incêndios Florestais

CSIRO – Commonwealth Science and Industrial Research Organization

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

LEIF – Laboratório de Estudos Sobre Incêndios Florestais

NI – National Instruments



## 1. INTRODUÇÃO

Todos os anos, milhares de bombeiros tentam gerir e suprimir incêndios florestais em áreas rurais e florestais. A deslocação generalizada e corrente dos bombeiros e sapadores florestais é motorizada, tendo como principal apoio os veículos que podem vir a ser expostos a fluxos de calor intensos.

Ao longo do tempo, têm sido feitas pesquisas com enfoque na melhoria dos meios e mecanismos de combate a incêndios, tendo em conta a proteção da tripulação e da sua capacidade de sobrevivência em caso de aprisionamento numa frente de chamas (Bond, 1986, Knight 1988, Budd 1997). No entanto a proteção da tripulação dentro de veículos de combate durante incêndios tem tido expressão em poucas investigações (Mangan 1997 Paix 1999, Cheney 2001).

É sabido que, os combatentes têm de se proteger quando atacados por uma frente de fogo, surgindo o veículo como um dos principais abrigos. Estudos feitos têm desenvolvido meios técnicos com vista a potenciar a eficácia protetora dos veículos naquela tarefa, através de testes de simulação de incêndios instrumentados num cenário de incêndio real. Estes meios reúnem requisitos que tanto ajudam na proteção dos elementos nos veículos servindo de barreira, ajudando mesmo na extinção do próprio incêndio.

A noção de carácter sustentável dentro do interior da cabine é outro tópico estudado, uma vez que, quando alcançadas as condições insustentáveis pode levar a que o pessoal que se encontra no interior da cabine seja obrigado a abandonar o mesmo e enfrentar as chamas diretamente, o que é a última coisa que se espera que aconteça (Brown *et al.*, 2003).

Com a presente dissertação pretende-se dar a conhecer alguns sistemas de proteção do veículo como meio de proteção e refúgio, e analisar alguns destes sistemas de modo a apresentarmos a sua eficácia e analisarmos a capacidade de proteção dos veículos e concluir se os bombeiros podem permanecer de forma sustentável no interior da cabine do veículo.

No plano de estudo, analisou-se a capacidade de proteção de uma cabine numa situação de confronto com uma frente de fogo, através do estudo de um sistema com aspersores, que desenvolvem uma pulverização de água à volta do veículo. Por fim, os resultados foram interpretados e estabeleceu-se relações entre os mesmos, com epílogo nas conclusões. Espera-se que as conclusões sejam importantes tópicos de apoio para estudos

posteriores, dando um contributo para a melhoria dos meios e técnicas de combate e proteção dos bombeiros em todo o mundo contra aquele que é um terrível inimigo, que só ataca, o incêndio florestal.

O projeto vai ser desenvolvido em três fases:

- Primeira etapa: testes sobre os vários aspersores, de forma a termos noção da diferença de aspersão e da capacidade de cada um, assim como, testar o comportamento dos mesmos com alteração do caudal e pressão, visualizando o seu comportamento quando em contato com um agente adverso, como é o vento.
- Segunda etapa: análise da distribuição da água pelos aspersores instalados na cabine e cálculo dos caudais que cada um debita durante a sua utilização, assim como o cálculo da pressão em pontos estratégicos para verificar o comportamento do sistema e tentar apontar melhorias para o futuro.
- Terceira etapa: avaliar o veículo em condições de chama direta com a utilização dos sistemas de proteção dos aspersores, para perceber de que forma este sistema consegue melhorar a segurança dos tripulantes do veículo e avaliar as consequências do fogo na cabine sem qualquer proteção, e comparar os dois casos.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Acidentes

Como prova que os incêndios são um dos fatores que tem levado à morte de muitos bombeiros ao longo destes últimos anos, apresento a seguir uma tabela com o número de vítimas no período de 2005 a 2016, até aos finais de agosto deste ano.

**Tabela 2.2.1.** Número de vítimas durante o período 2005 até a presente data

Ano	Local	Nº de Vítimas Mortais
2005	CBS Coimbra	4
	V. Paço de Sousa	1
	V. Pampilhosa da Serra	1
	V. Oliveira Azeméis	3
	V. Santa Marta Penaguião	1
	V. Mogadouro	1
	Municipais Lousã	1
2006	V. Gonçalo	1
	V. Arrifana	1
	V. Porto	1
2010	V. Alcobaça	1
	V. Lourosa	1
2011	V. Lourosa	1
2012	V. Coja	2
2013	V. Miranda do Douro	1
	V. Covilhã	1
	V. Alcabideche	1
	V. Estoril	1
	V. Carregal do Sal	2
	V. Valença	1
	V. Miranda do Douro	1
		Total = 28

**Fonte:** Liga dos Bombeiros Portugueses (2016)

Tal como noutros países, em Portugal, os incêndios florestais são frequentes, e temos vindo a assistir ano após ano ao depredar das florestas portuguesas. Em relação ao nosso estudo neste tópico, é importante enumerar alguns dos acidentes que envolveram viaturas de combate a incêndios.

O uso de viaturas de suporte no combate a incêndios é cada vez maior em todo o mundo: Estados Unidos da América, Austrália, Espanha, França, Portugal, entre outros,

seja para transporte das tripulações seja no transporte de água (com ou sem espuma) para o combate ao incêndio e mesmo transporte de equipamentos de proteção individual. Devido ao grau de importância assumido por estes meios no combate aos incêndios, o risco de os bombeiros ficarem cercados durante o combate também aumentou, constituindo-se uma preocupação crescente (Mangan, 1997; Nichols, *et al.*, 2003).

Em 28 de Fevereiro de 2005, no concelho de Mortágua, ocorreu um acidente grave, neste acidente perderam a vida quatro operacionais que combatiam incêndios, havendo o registo de queima da viatura (Viegas, 2005).

Pelo mundo fora, há registos de acidentes com bombeiros combatentes de incêndios, como por exemplo em Espanha, onde no ano de 2005, num trágico acidente que vitimou onze bombeiros, saindo apenas um com vida, o qual utilizou parte da viatura para se refugiar e assim conseguiu escapar com vida a este incêndio. (Viegas, *et al.*, 2009)

Nos USA e na Austrália também a ocorrência de fogos e vitimização de bombeiros têm sido uma problemática. Em 1958, na Austrália, um incêndio vitimou onze bombeiros, dos quais apenas três sobreviveram. A sobrevivência destes três deveu-se ao facto de dois bombeiros se terem abrigado dentro do veículo e o outro porque se colocou atrás das rodas da viatura (Mangan, 1997). Em Linton, 1998, um incêndio levou à destruição de um veículo que não teve capacidade de utilizar nenhum meio de proteção, visto que estava esgotada em termos de água, levando consigo a vida de cinco bombeiros; mais à frente estava outro veículo semelhante, porém neste dois dos tripulantes abrigaram-se debaixo de cobertores e os outros três na parte traseira, foram protegidos através da ativação dos seus meios de pulverização que esgotaram os 1000 litros de água disponíveis, o veículo sobreviveu com alguns danos superficiais e não houve vítimas na tripulação (Paix, B, 1999).

Em 1995, perto de Boise, dois bombeiros voluntários morreram dentro do seu veículo devido ao movimento rápido do incêndio e o veículo não foi suficiente para os proteger. No mesmo ano, muitos veículos foram destruídos devido a um grande fogo em Long Island, NY/USA. Felizmente os bombeiros conseguiram abandonar os seus veículos e sobreviveram (Mangan, 1997).

## 2.2. Veículo de combate a incêndios e suas limitações

Os veículos de combate a incêndios são utilizados para a gestão e supressão dos incêndios pelos corpos de bombeiros em todo o mundo, sendo a primeira proteção contra as chamas. Portanto, deve-se dar atenção à sua manutenção e evolução dos veículos enquanto meio já indispensável no combate a incêndios florestais, desde logo no pressuposto de que “Um veículo de combate a incêndio tem de estar sempre equipado com um tanque de água, uma bomba e equipamentos necessários para a pulverização de água e/ou espuma sobre incêndios florestais” (AFAC, 1996). Normalmente a estrutura tem capacidade de cerca de 1500-4000 litros de água e qualquer coisa como 500 a 10500 quilogramas de peso. Segundo o Despacho nº 21638/2009, no seu artigo 29.º, a autonomia da capacidade do depósito de combustível deve permitir realizar um percurso mínimo de 300 km em estrada de perfil medianamente acidentado ou o funcionamento da bomba de serviço de incêndios durante quatro horas consecutivas.

I. Knight afirma que apesar dos veículos serem equipados com materiais que à partida têm capacidade instrumental de o proteger, com o passar dos anos o veículo fica vulnerável aos incêndios, cuja intensidade e duração leva a que as limitações desses materiais sejam expostas. (Knight,1998). Segundo estudos feitos, essas limitações estão relacionadas com os próprios revestimentos do veículo quer no seu interior, quer no exterior. No interior do veículo, com o aumento do calor e das radiações, a probabilidade de volatilização de plásticos e de outros materiais de isolamento é maior, criando a gaseificação dentro da cabine; já no exterior, e como afirmou B. Paix, 1999, no artigo “Bushfire99”, a estrutura do carro deve ser reforçada, visto que em casos de chamas mais intensas, os forros dos tejadilho e da vedação da porta, queimam/destroem-se, originando um posterior aumento de temperatura e de fumos dentro da cabine. I. Knight, 1988, afirmou que o tempo de resistência dos veículos para exposições a intenso fogo são geralmente de 2 a 3 min, quando estão em contacto com radiações de mais de 2000 a 3000 KW por metro.

Para além dos revestimentos, também há outros fatores a ter em conta quando se fala em vulnerabilidade dos veículos, Paix, 1999, disse que era importante incluir o risco da inflamabilidade de outras estruturas/equipamentos, tais como pneus, palas e mangueiras que são fontes de elementos tóxicos e chamas quando expostas a radiações.

Outra e principal limitação dos veículos como meio de proteção, refere-se à grande quantidade de vidros que há nos veículos modernos e que são uma grande ameaça a todos aqueles que se abrigam dentro deles. Em contacto com grandes incêndios as radiações são altamente transmitidas através delas. Com base em estudos Australianos, Cheney, 1972, expôs que 50 % das radiações das chamas incidentes sobre as janelas são transferidas para o seu interior. Isso obriga a que os tripulantes procurem abrigar-se em zonas mais baixas das cabines, junto ao chão, onde as temperaturas são geralmente inferiores.

Outras das limitações originadas nos veículos têm o motor como agente, sendo uma das razões de aprisionamento de um veículo num incêndio florestal. Devido às ações do incêndio, os fumos e radiações em redor deste, criam o chamado “afogamento” do motor, levando à impossibilidade de utilização deste motor, devendo por isso utilizar-se sempre um pré-filtro sobre este, de forma a evitar-se esta limitação.

Sendo que as limitações do veículo não são as únicas preocupações dos bombeiros, neste ponto abordou-se de uma forma sintetizada outro tipo de limitações que podem trazer inconvenientes para os veículos, nomeadamente os agentes exteriores.

Durante um incêndio, são vários os fatores que podem condicionar a segurança, tantos dos bombeiros como dos seus veículos. O comportamento do incêndio depende de várias características: tipos de vegetação, topografia e condições meteorológicas.

Quanto aos tipos de vegetação importa referir como esta arde e em que períodos se torna mais perigosa para o veículo. No início do fogo, durante os primeiros 15-20 min arde a vegetação mais fina, conseguindo o incêndio atingir alturas de chama muito grandes. Ao fim de 20-30 min apenas os grandes troncos permanecem a arder permitindo a movimentação mais livre dos veículos e bombeiros (Knight *et al.*, 2003).

A topografia do terreno pode ser uma condicionante, pois pode dificultar ou impedir a locomoção dos veículos e levar ao seu aprisionamento.

Quanto ao clima, tem-se em atenção diversos fatores: a temperatura (é mais elevada entre as 11 e as 16h), a humidade relativa do ar (crítica abaixo dos 20 %), a pressão atmosférica (quanto menor, mais facilita a expansão dos gases) e a direção e velocidade do vento, que condiciona a propagação das chamas, assim como condiciona o sistema de aspersores, caso o veículo esteja devidamente equipado (Ibid).

### 2.3. Fatores térmicos e tolerância humana ao calor

Segundo Knight *et al.*, 2003, o impulso de radiação associada à passagem da frente de fogo e queima pode apresentar riscos imediatos a curto prazo para os ocupantes da cabine.

Acerca do efeito da radiação sobre o corpo humano, Knight disse: “Os nervos abaixo da superfície da pele respondem à temperatura e não à própria radiação. O limite, expresso em radiação, é, portanto, uma orientação geral. A determinação dos níveis de radiação exata necessária para danificar a pele, exigiria a consideração do fluxo de calor total transmitido para as camadas sensíveis abaixo da superfície da epiderme. Fatores importantes são a temperatura inicial da pele, a temperatura e velocidade de circulação do ar.”

Buettner (1950) e Stoll e Greene (1959) descobriram que quando atingida temperatura entre 42.° C e 45.° C na pele, esta iria transmitir o sentimento de dor, visto que a pele não é capaz de remover o calor que absorve, originando deformações nas células. M. Talaia e V. Ferreira (2010) confirmam esta teoria e sublinham que a vida das células encontra-se entre 0.° C e 45.° C, temperatura superior crítica capaz de provocar a coagulação das proteínas intracelulares e em consequência a morte das células. A radiação térmica, causadora da dor, varia conforme a radiação incidente e o período de exposição. Nos estudos sobre causa-efeito da temperatura na pele, Arnold *et al.* (1973), Backer *et al.* (1976), e mais tarde Budd *et al.* (1997) concluíram que o aumento dos fluxos radiativos de 2 kW/m<sup>2</sup> levava a dores na pele e que valores acima de 84 KJ/m originavam queimaduras na pele.

Para saber os níveis de radiação que um bombeiro devidamente equipado consegue suportar, observamos no anexo 1 os riscos da temperatura em função da radiação térmica.

#### ➤ Fluxos convectivos

Neste tópico é importante definir limites para o aumento da temperatura corporal média, sabendo-se que o ser humano tem a capacidade de regular a temperatura do corpo conforme os aumentos e diminuições de temperatura e que a temperatura normal é de 37 °C. Taylor, 2005, defende que atingidos os 39 °C, o resultado é a hipertermia, também conhecida como “stress térmico” e, assim, define-se um limite máximo de 2 °C para o aumento da temperatura corporal média.

Neste cenário, a quantidade dos ocupantes da cabine também vai ter influência na elevação da temperatura por convecção devido à massa térmica dos ocupantes. A energia necessária para elevar a temperatura de um corpo de uma pessoa de 70 kg em 1 °C é equivalente à energia necessária para elevar a temperatura de um metro cúbico de ar em 340 °C (Knight *et al.*, 2003).

#### ➤ **Radiação**

Na radiação consideramos a radiação direta e a indireta. A radiação direta é aquela que incide diretamente sem encontrar nenhum obstáculo. A indireta é a combinação dos efeitos de transferência convectiva e da radiação indireta sobre a absorção de calor por uma pessoa vestida, associado ao calor transmitido pelas paredes da cabine.

### **3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO DOS VEÍCULOS DE COMBATE A INCÊNDIOS**

Como forma de proteger o veículo e todos os ocupantes que se refugiam dentro dele, foram desenvolvidos e implementados vários sistemas de proteção:

- Aspersores de água
- Cortinas em forma de escudos térmicos
- Gel retardador de fogo
- Canhões de água

Para se estabelecerem e extrapolar em ilações sobre o modo como a proteção das cabines deve ser construída para que seja possível a permanência no seu interior por parte dos bombeiros, recorre-se a dois critérios:

- **Carater sustentável:** a tripulação da cabine encontra-se em boas condições sem perda significativa de raciocínio ou sem efeitos irreversíveis para a sua saúde. Esta deve ser uma meta para o desempenho ideal de um sistema de proteção.
- **Sobrevivência:** a tripulação é capaz de sobreviver dentro da cabine durante um período de tempo sem perda de consciência ou vida. Esta é uma consideração fundamental para que este sistema seja considerado aceitável.

(Brown *et al.*, 2003)

### 3.1. Aspersores (Sprinklers)

Os aspersores são dispositivos concebidos para reagir a um determinado ativador, por libertação automática de um fluxo de água distribuído nos padrões especificados e em quantidades designadas para as áreas que estão a proteger. A sua distribuição automática de água destina-se a proteger, evitar e mesmo extinguir a propagação de uma frente de fogo sobre um veículo, caso em que o fogo inicial permanece fora de alcance dos bombeiros que se encontram refugiados no interior do veículo.

Segundo o Despacho nº 3973/2013, o veículo deve ter um dispositivo de proteção térmica que em caso de risco deve ser acionado com a aspersão de água de modo a proteger o veículo, a preservar os pneus e permitir a deslocação do veículo.

Os sistemas de proteção, usando um pulverizador de água, são projetados para aumentar a proteção, mantendo a integridade da cabine, particularmente as janelas, e reduzindo a temperatura ambiente dentro desta.

O sistema é composto por uma bomba que fornece água a determinada velocidade e pressão através dos tubos até que chega ao aspersor e, através de um defletor, o fluxo de água emitido quebra dando origem a um leque em forma de guarda-chuva ou uma meia esfera, como demonstra a Figura 3.1.

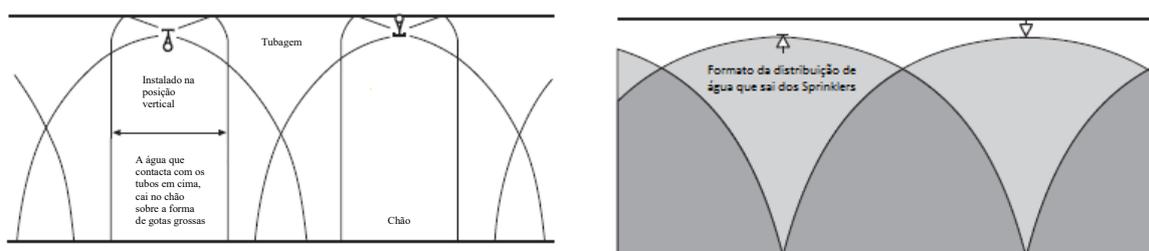


Figura 3.1 - Distribuição da água dada pelo aspersor

O fornecimento de água ao aspersor é realizado através de um sistema de tubulação, estando os aspersores ordinariamente localizados no topo dos lados do veículo e colocados em intervalos equivalentes ao longo dos tubos. A taxa de água que um aspersor descarrega segue as leis da hidráulica e depende de vários fatores, tais como o tamanho do orifício/bico e da pressão da água e deve ser suficiente para produzir o efeito desejado.

Segundo Bruce Paix, 1999, deve ser corrente o uso de mangueiras ou sistemas de autodefesa de pulverização dedicados a projetar uma cortina de água como um escudo de radiação entre o veículo e o fogo, pois têm potencial significativo para melhorar a capacidade

de sobrevivência nos incidentes de incêndios mais graves. O arremesso de água através de mangueiras dirigidas à mão pode ser mais eficaz para um fogo que se aproxima, mas os aspersores fixos podem permitir que a tripulação tenha um pouco mais de cobertura/proteção.

Apesar deste sistema poder ser de certa forma eficaz, apresenta desvantagens, como ser sensível a ventos fortes, que desviam a água das zonas a proteger, depender da integridade da bomba, assim como, depender de uma reserva considerável de água que não poderá ser utilizada no combate ao fogo (Viegas, *et al.*, 2011).

Em testes americanos relativos a este sistema de proteção, fizeram-se observações que deveriam ser cumpridas para que o sistema fosse considerado ideal:

- Ser capaz de funcionar pelo menos 5 min com a reserva de água, podendo ser operado facilmente pelo pessoal, dentro e fora da cabine.
- Ser capaz de funcionar sobre uma quantidade de vento considerável.
- Operar de forma eficaz em todas as faixas de entrega da bomba, da marcha mais lenta até à potência máxima.



Figura 3.2 - Sistema de aspersores ativos numa simulação de frente. Foto : CSIRO

### ***WATER MIST***

O caudal que é expelido pelos aspersores, também designado “*water mist*”, é formado por jatos de água finos que, cujo volume de pulverização de 99 % é composto por gotas com diâmetro inferior a 1000 microns (Z. Lui e Andrew K. Kim, 1999)

Este sistema, se comparado com outros, traz algumas vantagens que podem ser consideradas importantes, tais como o facto de não ter problemas tóxicos ou ambientais, ter um baixo custo e não causar danos ou até ser eficiente na supressão do fogo.

Ao ser usada neste sistema de aspersores, a água que tem propriedades físicas favoráveis para a supressão do fogo, usa calor específico 4,2 J/(g.K) e elevado calor latente de vaporização 2,442 J/g , e conseguindo absorver uma grande quantidade de calor.

Segundo os investigadores canadianos, quando acionado o sistema, a água que é provida dos aspersores é derivada em várias frações:

- Gotas desintegradas antes de chegar ao fogo;
- Gotas que penetram a pluma do fogo;
- Gotas que em contacto com as paredes tendem a arrefecê-las.

Os mecanismos principais deste sistema são:

- **Extração do fogo**
  - Arrefecimento da pluma de fogo
  - Molhante/arrefecimento da superfície do combustível
- **Deslocamento**
  - Deslocamento do oxigénio
  - Diluição do vapor do combustível
- **Atenuação da radiação**
- **Efeitos cinéticos**

Segundo Z. Liu a eficácia deste sistema está relacionada com as características de pulverização produzidas pelos bicos:

- Distribuição do tamanho da gota
- Densidade do fluxo
- Quantidade do movimento de pulverização

Em teoria, pequenas gotas são mais eficientes na supressão do fogo do que as grandes gotas, devido à sua maior área superficial disponível para evaporação e extração de calor. Gotas finas têm maior dificuldade em entrar na pluma do fogo e são facilmente arrastadas pelas correntes de ar para longe. Além disso é necessária mais energia para

produzir gotas mais finas. Já as gotas mais grossas podem penetrar na pluma do fogo, no entanto têm menor superfície de área disponível para a extração de calor e evaporação.

O tamanho de gota torna-se mais fino quando a pressão aumenta. O impacto das gotículas e a densidade do fluxo de pressão também são aumentados por um aumento de pressão de funcionamento.

A forma do defletor e a velocidade do jacto são determinadas pelo tamanho da gota, ângulo do cone, densidade do fluxo e o impulso da pulverização.

### **3.2. Mantas de proteção**

As mantas de fogo reflexivas são equipamentos internamente fixados na cabine do veículo. Quando não estão a ser utilizadas, são enroladas e mantidas arrumadas por cima das janelas da cabine. Embora forneçam algum grau de proteção contra o calor e contra a radiação da chama, numa situação de incêndio de emergência, não fornecem nenhuma proteção externa ao vidro que é exposto diretamente ao calor e às radiações, resultando, por vezes, na sua danificação. É imperativo que, em tal situação, o vidro seja mantido intacto, de modo a manter os níveis de oxigénio dentro da cabine, evitando-se assim a entrada de gases tóxicos, como fumo ou toxinas que podem estar no ar, resultantes da ignição. Esta manta tem uma espessura de 3 mm, cujo consumo de água ronda os 12 L para um veículo ligeiro, conseguindo manter a temperatura no interior relativamente à do ar ambiente (Viegas, *et al.*, 2011).

Na proteção contra o incêndio usa-se a combinação de dois materiais (folha de alumínio e manta de fibra sintética) tendo como princípio a reflexão de radiação. No entanto, também pode resistir-se mais ao calor convectivo devido ao facto de a manta ser embebida em água, que em contacto com calor é absorvido, devido à evaporação da mesma no seu interior (Viegas, *et al.*, 2011).



Figura 3.3 - Manta de proteção. Foto : CSIRO

### 3.3. Gel retardador de fogo

“Um retardante de fogo é uma substância que reduz a inflamabilidade dos combustíveis ou retarda a sua combustão. Este inclui agentes químicos, mas também pode incluir substâncias que funcionam por ação física, tais como no arrefecimento dos combustíveis (...)” (Wikipédia, 2016).

A empresa sul-australiana “Bushfire Defense” inventou um sistema que alega que pode vir a salvar muitas vidas e bens materiais durante um incêndio florestal. Este sistema protege os bombeiros presos nos seus veículos durante os incêndios, quando estes se encontram encurralados e tentam proteger-se dentro do veículo, através da libertação de um sistema de gel retardador de fogo à volta do veículo.

Este gel retardador é um concentrado de gel que, quando adicionado à água transforma-o num inibidor de incêndio e de calor, absorvendo-o. Pode aplicar-se com as mangueiras dos bombeiros ou através dos sistemas de aspersores, fornecendo uma zona isolante entre o fogo e a superfície protegida (neste caso a cabine), mesmo que a temperatura ronde os 2000 graus. Pode ser usado em qualquer estrutura e em áreas verdes pois não danifica a natureza, sendo eficaz em condições exteriores.

Grande parte das viaturas dos bombeiros têm sistemas de pulverização para a proteção contra incêndios, mas alguns deles são veículos ligeiros (VLCI), não podendo levar quantidades suficientes de água para que seja sustentável utilizar-se o sistema de pulverização, logo nestes casos este sistema de gel retardador tende a apresentar-se como uma boa opção e uma boa alternativa aos sistemas de aspersores na proteção do veículo.

### 3.4. Canhões de água

Este é um sistema com um aparelho de combate a incêndios, que pode ser rapidamente e facilmente montado sobre um camião comum. O módulo inclui, geralmente, uma bomba acoplada a um motor para bombear um líquido. Este sistema permite arremessar água diretamente contra a frente de fogo ou em outra qualquer direção, evitando e suprimindo o fogo ao mesmo tempo. O sistema modular tem como grande desvantagem o facto de consumir grandes quantidades de água e ter de ser manuseado no exterior da cabine (Viegas, *et al.*, 2011).

Outros equipamentos com funções muito parecidas são sistemas desenvolvidos em Espanha. Trata-se de um canhão de água portátil que se coloca entre a frente de chama e o veículo, sendo posteriormente ligado a uma bomba que bombeia a água fazendo um leque de água, ajudando a condicionar o contacto da frente de chama ao veículo, à direita na Figura 3.5. Também estão a desenvolver sistema de irrigação tendo esse sistema o objetivo de humidificar as zonas verdes e tentar impedir a propagação do fogo à esquerda na Figura 3.5.



Figura 3.4 - Canhões montados no veículo. Foto: CEIF/ADAI



Figura 3.5 - Canhões colocados no terreno

## 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi realizado no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF), localizado na Lousã.

Este capítulo vai encontrar-se dividido em três partes: uma primeira referente aos ensaios feitos com os aspersores, uma segunda parte sobre os testes feitos com o sistema de proteção de aspersores incorporados no veículo e uma última sobre os testes com o sistema de frente de fogo, simulando condições de incêndio florestal, sobre o veículo e o próprio sistema de proteção.

Uma vez que os equipamentos, procedimentos e os cálculos necessários para o estudo são por vezes distintos, optou-se neste ponto por fazer a sua caracterização isolada.

### 4.1. Sistema de aspersores

Numa primeira fase adquiriram-se os quatro tipos de aspersores que existem atualmente no mercado. Estes aspersores foram testados para visualizar o formato de aspersão conseguido por cada um, e de que forma se comportavam: primeiro alterando o caudal; depois sobre um caudal fixo, para ver como se comportavam perante o vento.

#### 4.1.1. Equipamentos usados nos ensaios

- Aspersores

Os aspersores usados têm formato diferente, expelindo o caudal de formas díspares. Em anexo 3 apresento as medidas e algumas características dos aspersores. O *aspersor 1* (Figura 4.1) e 2 (Figura 4.2) têm seis ranhuras de 1 milímetro, e a água é expelida por eles de forma um pouco aleatória tanto para baixo como para os lados. O *aspersor 3* (Figura 4.3) é composto apenas por um orifício circular no centro que expele a água em forma de cone. E o *aspersor 4* (Figura 4.4) é constituído com uma fenda lateral que expele a água para os lados com um ângulo de 180°, fazendo um leque de água.

A seguir apresentam-se imagens dos vários tipos de aspersores disponíveis, e no Apêndice B encontram-se as medidas significativas de cada um deles.



Figura 4.1- Aspersor 1 (Difusor de ranhura)

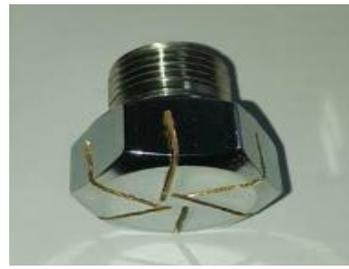


Figura 4.2 - Aspersor 2 (Difusor de ranhura)



Figura 4.3 - Aspersor 3  
(Difusor de cone)



Figura 4.4 - Aspersor 4  
(Difusor de cortina 1/2" tipo janela)

- Bomba

Para a realização dos ensaios foi necessária uma bomba, que bombeia a água do reservatório até ao sistema de aspersores. No processo foram utilizadas duas bombas, uma disponibilizada pela empresa Jacinto, chamada nesta dissertação de “*bomba 1*”, com as características explanadas na Figura 4.5, sendo aquela que geralmente se encontra acoplada aos veículos de combate a incêndios; e uma outra que já se encontrava no LEIF, a qual nesta dissertação vai ser designada de “*bomba 2*”, com maior potência, sendo possível obter valores mais elevados de pressão e caudal, com as características expressas na Figura 4.6. Observamos a seguir as imagens das especificações das duas bombas:



Figura 4.5 - Características da Bomba 1



Figura 4.6 - Características da Bomba 2

- Instrumentos de medição

Para os ensaios realizados com o sistema de aspersores, foram utilizados vários materiais que nos auxiliaram na obtenção de dados, como medidores de pressão e caudal. É de referir que para estes ensaios foi utilizada também uma válvula guilhotina de forma a alternarmos os valores do caudal, aumentando ou reduzindo a secção de passagem da água.

- ❖ Pressão

Durante todos os ensaios com água foram utilizados vários manómetros da marca Wika de referência 232.50.100 em pontos necessários para obter valores de pressão, quando o sistema estava ativo. Foram utilizados manómetros de 0-4 bar e de 0-1,6 bar, conforme foi mais indicado e suficiente para os ensaios.

- ❖ Caudal

- Caudalímetro

Em todos os ensaios também foi visualizado o valor do caudal que era utilizado em cada teste. O caudalímetro utilizado é da marca Omega utilizado com referência FLR8350D, sendo que não houve qualquer tipo de calibração, utilizando a calibração já feita pelo fornecedor, tendo como valores de saída os valores dados pelo *display* do dispositivo, valor dado através do caudalímetro em litro/minuto. De forma a prover-lhe energia foi utilizada uma fonte de energia, trabalhando a 24 v.

Este caudalímetro deu-nos o valor de quantidade de água que entrava no sistema por unidade de tempo.

- Gerador de vento

Numa fase final foi utilizado um gerador de vento composto por 3 ventiladores axiais, com uma dimensão de saída de ar, de 1 metro de altura por 3 de comprimento, de modo a realizar ensaios com os aspersores a diferentes velocidades de escoamento de um fluxo de ar (U). A próxima figura apresenta o modo como foram colocados os materiais.



Figura 4.7 - Disposição dos materiais nos testes com vento

O escoamento foi calibrado antes da sua utilização. Para um determinado valor de frequência dos ventiladores, mediu-se com um anemómetro a velocidade do escoamento na posição onde estava localizado o aspersor. Os resultados dessa calibração estão demonstrados na Figura 4.8.

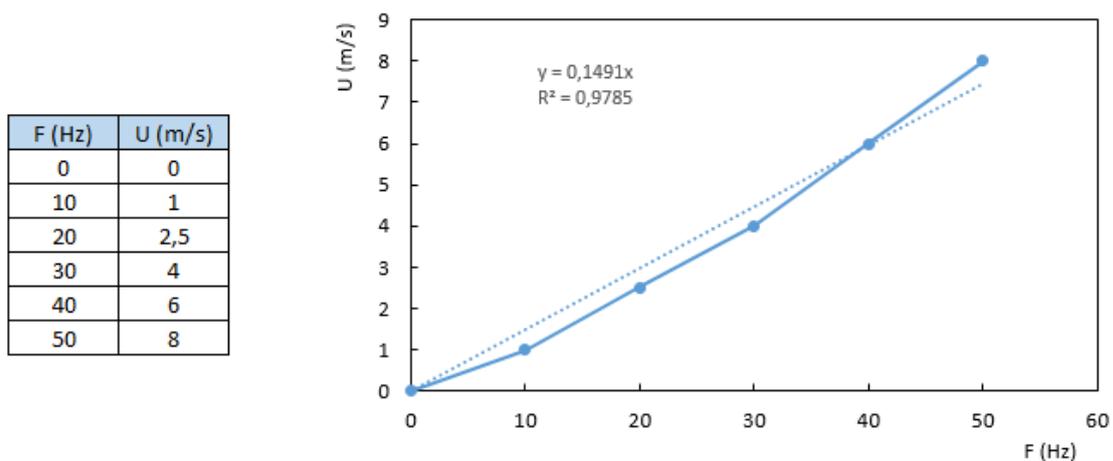


Figura 4.8 - Resultados da calibração

Junto a este equipamento foi utilizada a monitorização dos ensaios com recurso a uma câmara de vídeo numa zona que abrangueu todo o caudal expelido pelo aspersor e deslocado pelo vento. A gravação permitiu determinar com clareza o deslocamento da água.

#### 4.1.2. Procedimento

Os ensaios foram realizados no exterior do LEIF, pois devido à expelição de água pelo sistema, esta poderia danificar os elementos existentes no seu interior.

Numa primeira fase, foram estudados os vários aspersores através de um conjunto de tubos idênticos aos do sistema montado na cabine. Nestes estudos foi utilizado um troço de tubo e um aspersor, de acordo com a Figura 4.9, sendo que no fim do tubo depois do aspersor foi restringida a passagem de caudal de forma a garantirmos que todo o caudal medido pelo caudalímetro era expelido pelos vários aspersores. Já para estudar a curva foi retirado o aspersor e adicionado mais um torço de tubo com um manómetro no seu enfiamento, conforme mostra a Figura 4.10, sendo que aqui não foi restringido o escoamento no fim do tubo, pois o caudal tinha de sair por algum lado.



Figura 4.9 - Teste com aspersor



Figura 4.10 - Teste com curva

Neste estudo foi-se alterando o valor da pressão e do caudal através da válvula guilhotina e retirados os valores da pressão à saída da bomba e imediatamente antes de ser expelida pelo aspersor, de forma a termos os valores necessários para o cálculo da perda de carga e para a construção das curvas relativas aos diferentes aspersores.

Num circuito hidráulico qualquer acessório intercalado nas condutas introduz uma perda de energia mais ou menos localizada, cujo coeficiente de perda de carga há que determinar. No estudo realizado exprimiu-se a perda de carga ( $k'$ ) em função do caudal ao quadrado através da Equação 1, foi também importante saber a perda de carga ( $k$ ) da pressão dinâmica no escoamento com a Equação 3, geralmente utilizada nos estudos de mecânica de fluídos.

$$\Delta H = k' \times Q^2, \quad (1)$$

$$k' = 0,0826 * \frac{k}{d^4}, \quad (2)$$

$$\Delta p = k \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \quad (3)$$

Sendo que o  $\Delta p$  está relacionado com a diferença de pressões em Pa (Equação 5), e  $\Delta H$  significa a diferença de pressões em m.c.a. (Equação 4).

$$\Delta H = H2 - H1, \quad (4)$$

$$\Delta p = p2 - p1 \quad (5)$$

De seguida foi calculada a perda de carga nos aspersores (k), através de duas fórmulas, na primeira utilizando-se a Equação 2, sendo esta simplificação visualizada nos apontamentos de turbomáquinas, e na segunda utilizamos a Equação 3. No primeiro caso foi utilizada a pressão em m.c.a. (metros de coluna de água) enquanto no segundo foi utilizado Pa (Pascal), porém, em ambos o valor do caudal foi dado em m<sup>3</sup>/s. Observamos que os valores rondam mais ou menos as mesmas quantidades das duas formas, logo, optamos aqui por colocar nos gráficos sempre os valores da segunda forma.

O manómetro imediatamente antes do aspersor, na equação 4 e 5, vai dar o valor 2 sendo que o valor 1 é relativo à pressão atmosférica que tem o valor de 0. Já no caso da curva de 90°, aconteceu que não se bloqueou a saída do tubo, podendo o caudal escoar livremente utilizando o valor da pressão antes da curva sendo o representativo 2 e o valor da pressão 1 depois da curva.

A perda de carga dinâmica foi comparada naturalmente com o número de Reynolds. O número de Reynolds (Re) é um número adimensional usado em mecânica dos fluídos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluído, com este número conseguimos saber se o escoamento é laminar ou turbulento, e calcula-se pela equação 6.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (6)$$

**Tabela 4.1 - Referências dos testes sobre os aspersores**

Aspersor	Referência do ensaio
Aspersor 1	TA1
Aspersor 2	TA2
Aspersor 3	TA3
Aspersor 4	TA4
Curva	TA5

Depois de medidos os valores dos caudais e pressões para os vários aspersores, estes foram testados em condições desfavoráveis como são o vento. Foi colocado o mesmo troço com o aspersor em frente ao túnel de vento com os bocais de aspersão virados para cima de forma à melhor visualização do deslocamento do caudal expelido perante os vários momentos de velocidade de vento requeridos (imagem 4.7). Foram desenvolvidos 8 ensaios, 2 para cada aspersor (com caudais diferentes), sendo que apenas 7 deles foram analisados, visto que para um deles a aquisição de imagem foi comprometida e não tivemos acesso a elas. Através das imagens vão ser analisados os ângulos que a água expelida fez e concluídas as observações obtidas para cada velocidade utilizada, nos deslocamentos obtidos.

A construção das referências dos ensaios teve a seguinte formatação:

Tipo de aspersor: Aspersor (Asp), sendo colocado a seguir o número do aspersor (1;2;3 ou4)

Velocidade: Número correspondente à velocidade de escoamento (0; 1; 4 ou 8).

Sequência: Número relativo ao ensaio com o aspersor (1,2)

**Tabela 4.2 : Esquematização das condições dos ensaios (Aspersores - LEIF)**

U (m/s)	Aspersor				Total de ensaios
	1	2	3	4	
0	Asp1-0-1	Asp2-0-1	Asp3-0-1	Asp4-0-1	2
	Asp1-0-2	Asp2-0-2	Asp3-0-2	Asp4-0-2	
1	Asp1-1-1	Asp2-1-1	Asp3-1-1	Asp4-1-1	2
	Asp1-1-2	Asp2-1-2	Asp3-1-2	Asp4-1-2	
4	Asp1-4-1	Asp2-4-1	Asp3-4-1	Asp4-4-1	2
	Asp1-4-2	Asp2-4-2	Asp3-4-2	Asp4-4-2	
8	Asp1-8-1	Asp2-8-1	Asp3-8-1	Asp4-8-1	2
	Asp1-8-2	Asp2-8-2	Asp3-8-2	Asp4-8-2	
					8

## 4.2. Testes sobre o sistema incluído na cabine

O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento do sistema e condições possíveis para a eficácia desse mesmo sistema.

Esta fase de ensaios esteve relacionada com a capacidade do sistema ser capaz de prevenir condições suficientes para a proteção da cabine e dos bombeiros no seu interior.

As cabines utilizadas e todos os componentes deste sistema foram fornecidos pela empresa que fabrica este tipo de materiais, a empresa Jacinto Oliveira Maques Sucrs. Refira-se que foram utilizadas três cabines para estes ensaios, sendo duas delas simples (2 lugares) dimensão e outra dupla (5 lugares), designadas respetivamente por *cabine A, B e C*.

As *cabines A e B* utilizadas tinham uma altura de 1.90m, comprimento 1.95m e de largura 1.1m, sendo constituídas na sua parte superior por 11 aspersores do tipo 1, distanciados entre si 0.54m. Quatro deles estavam localizados na parte frontal da cabine, dois em cada uma das laterais e na parte traseira três aspersores. Esta distribuição dos aspersores não foi decidida por nós, o sistema já vinha montado com a cabine, sendo esta a forma de localização normalizada. Também foram realizados testes com a *cabine C*, com altura de 2m, comprimento 2.35m e largura 2m. É constituída por quinze aspersores do tipo 1 já antes estudado, igualmente espaçados entre si como nas cabines de menor dimensão, sendo quatro deles colocados na frente da cabine e nas suas laterais, e três na parte traseira.

O sistema está acoplado ao veículo, a bomba está ligada diretamente ao depósito adicional de água com capacidade de 400 litros, fazendo com que a água entre na bomba que posteriormente a bombeia para o sistema que está ligado diretamente à saída da bomba. Nos nossos ensaios, devido à necessidade de colocar objetos de medição, o sistema não foi disposto da mesma forma como aconteceu nos veículos, ou seja, a bomba continuou ligada ao depósito de forma idêntica, porém a bomba esteve distanciada do sistema incorporado na cabine. Para que houvesse o transporte da água bombeada, foram utilizadas duas mangueiras de dois metros intercaladas com um caudalímetro.

#### **4.2.1. Equipamento usado nos ensaios**

Nesta fase de ensaios, os equipamentos usados foram idênticos aos utilizados na primeira fase: os dois tipos de bombas e os instrumentos de medição. Relativamente ao sistema de aspersores, utilizámos os sistemas já previamente instalados na cabine, utilizando apenas os aspersores 1.

Nos últimos testes sobre o sistema foi incluído um sistema de medição da distribuição do caudal. Para se medir a distribuição do caudal ao longo de todo o sistema de aspersores, foi utilizado um sistema pensado e montado pela equipa. Foram utilizados pequenos reservatórios de água e um conjunto de tubos, que fizeram o transporte da água expelida por cada aspersor até aos recipientes graduados, colocados no chão de forma a conseguir-se uma medição correta da quantidade de água que cada aspersor era capaz de expelir durante o seu acionamento.

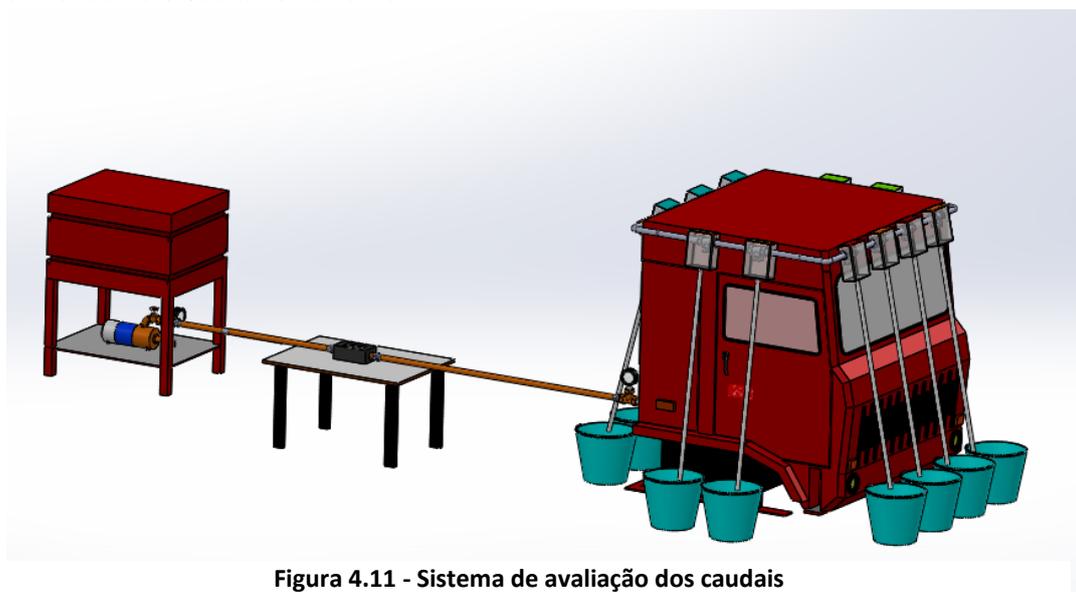


Figura 4.11 - Sistema de avaliação dos caudais

#### 4.2.2. Procedimento

Nos primeiros ensaios foram analisadas as curvas de caudal em relação à pressão obtida nos dois manómetros, colocadas à saída da bomba e à entrada do sistema, sendo a transição feita através de duas mangueiras como explicado anteriormente; já a alteração destas variáveis foi possível através da sua regulação pela válvula guilhotina colocada à saída da bomba.



Figura 4.12 - Sistema utilizando a bomba 1



Figura 4.13 - Sistema utilizando a bomba 2

Com os valores obtidos, foram realizadas no Excel as curvas características das bombas e do sistema para cada uma das bombas utilizadas, sendo que neste passo apenas se utilizou um dos tipos de aspersores, aqueles que são geralmente os utilizados nas cabines.

Os ensaios foram repetidos 3 vezes, no sentido de garantir a credibilidade dos resultados. Com a bomba 1 apenas se realizaram ensaios sobre a cabine 1 e 2; porém com a bomba 2 foram feitos ensaios para as 3 cabines.

**Tabela 4.3 - Esquematização das condições dos ensaios**

		Cabine			Total de ensaios
		1	2	3	
Bomba	1	TS11- 1	TS12- 1		6
		TS11- 2	TS12- 2		
		TS11- 3	TS12- 3		
	2	TS21- 1	TS22- 1	TS23- 1	8
		TS21- 2	TS22- 2	TS23- 2	
		TS21- 3	TS22- 3		

Em seguida, foi calculada a distribuição do caudal através do sistema de retenção de água. Todo o equipamento anteriormente montado foi deixado no mesmo local, sendo adicionados os materiais de retenção do caudal. A seguinte figura demonstra o sistema de retenção de água montado sobre o sistema de aspersores.



**Figura 4.14 - Vista do ensaio TS12-1**

Foi acionada a bomba que bombeou a água até ao sistema, sendo esta conservada, para que no fim se fizesse a contabilização da água retida nos vários recipientes colocados sobre cada aspersor. Com os valores dos caudais obtidos nos recipientes,

relativamente aos valores dos caudais expelidos pelos aspersores, foi feita a representação em termos de percentagem que cada aspersor expelia durante o ensaio.

Foram realizados 15 ensaios, 5 em cada cabine para diferentes valores de caudal. Apesar dos valores do caudal por vezes serem muito próximos, realizaram-se ensaios com maior valor de caudal e visualizou-se que a alteração dos resultados eram insignificantes, concluindo-se que qualquer que fosse o caudal exposto, os valores iriam continuar a ser muito semelhantes.

A realização de todos os ensaios foi cronometrada, foram todos realizados num período de cerca de 5 min, para que se pudessem proceder às necessárias comparações.

### 4.3. Simulação de frente de fogo

Para os vários ensaios desenvolvidos com a atuação do fogo, foi utilizado uma plataforma que está localizada no LEIF. Esta é uma estrutura móvel, que permite aproximar ou afastar da cabine que estamos a testar. Nos nossos estudos a cabine manteve-se estável/fixa num determinado ponto, podendo de certa forma representar um situação em que o veículo ficou imobilizado, ou por incapacidade de movimento ou por afogamento do motor devido ao fumo, colocando os Bombeiros que estão dentro dela em condições de risco.

Com o desenvolvimento e repetições dos ensaios vamos mover as estruturas para distância (d) de 2,5 m; 1,5 m; 1 m e 0,25 m.



Figura 4.15 - Imagem representativa de um dos ensaios com a frente de fogo

### 4.3.1. Equipamentos

- Caracterização da estrutura de frente de fogo

Esta é uma estrutura especial de queima, que permite a recriação de uma frente de fogo, com uma grande aproximação ao que acontece durante os incêndios florestais.

Esta estrutura é constituída no seu total por 20 cestos, sendo que no nosso caso apenas foram utilizados 6, onde é colocado o mato (combustível). A estrutura é constituída por 3 estruturas individuais de 4 cestos. Os cestos de cima (não utilizados) têm medidas de 1x0,5x1 m enquanto os de baixo são maiores, com medidas de 1x1x1 m. Tanto as estruturas como os cestos são amovíveis, ou seja, podem-se colocar e tirar e também se podem afastar ou aproximar entre si conforme as necessidades e a intensidade de chama que queiramos obter.



Figura 4.16 - Estrutura de queima

- Cabine de ensaio

A *cabine A*, com capacidade para 2 pessoas no seu interior, inclusive o condutor que vai ser representado através de um manequim nos ensaios. A cabine vai ser testada com e sem o sistema de proteção de aspersores ativados.

Devido à necessidade de registar as temperaturas foram colocados no exterior 4 termopares estrategicamente dispostos, assim como um medidor de fluxo de calor. No interior da viatura foram colocados termopares em pontos estratégicos da cabine e sobre o manequim, como é demonstrado nas figuras 4.17 e 4.18.



Figura 4.17 - Localização dos termopares

Nota: quando estão dois números juntos, o primeiro representa o termopar no interior e o segundo no exterior

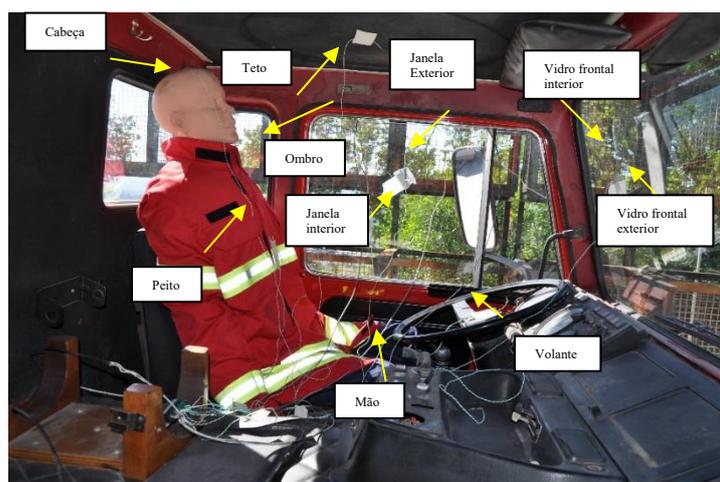


Figura 4.18 - Localização dos termopares no interior da cabine

- Sistema de medição
  - ❖ Fluxo de calor

O fluxo de calor foi medido através de sensores da *Vattel* de um equipamento datalogger (PicoLog), sendo este ligado ao computador, e através do programa (PicoLog Recorder) podemos armazenar os dados e por fim analisá-los, permitindo ver a forma como o fluxo de calor em  $\text{kW/m}^2$  invade o veículo.



Figura 4.19 - Localização do fluxómetro

❖ Medição da temperatura

A temperatura foi medida através de um equipamento da National Instruments. Foram colocados os termopares, ligados a uma placa de aquisição NI 9213 colocada sobre chassi cDAQ-9188XT, ligado à corrente elétrica. Este chassi foi também ligado a um aparelho com o nome Moxa AWK 3121, ligado a uma bateria. Esta ligação entre o chassi e o Moxa foi feita por um cabo *ethernet*, sendo o Moxa, o responsável por transmitir os dados para o computador via *wireless* através de software desenvolvido pela ADAI.

O computador possui um *software* em linguagem LabView que permite a aquisição dos dados transmitidos para um ficheiro Excel em tempo real.

❖ Intensidade térmica

A intensidade disponibilizada pela frente de fogo é expressa em unidades de potência por unidade de comprimento da chama, e pode ser calculada através da altura de chama, visto nos nossos ensaios não termos a possibilidade de acesso à perda de carga.

Recorrendo aos vídeos das câmaras e as ferramentas do Word mediu-se a altura de chama (m) e através da Equação 7 (Rothermel e Deeming, 1980) chegou-se ao valor requerido (kW/m).

$$I = 258 \times h (\text{altura de chama})^{2,17} \quad (7)$$



Figura 4.20 - Visualização e cálculo da intensidade de chama

- Captação de imagem

Todos os ensaios realizados foram captados em imagem estática (fotografia), com várias câmaras a circular ao redor da cabine, e por formato de vídeo, sendo que estes vídeos foram registados por máquinas de filmar.

Estes registos fotográficos e vídeo foram importantes na análise de dados e para as conclusões, pois auxiliaram na comparação com os gráficos obtidos e permitiram termos noção mais precisa do que aconteceu e como aconteceu.

#### 4.3.2. Procedimento

Estes ensaios desenvolveram-se no LEIF, localizado na Lousã,

Seis operadores auxiliaram na metodologia do ensaio. Dois ficaram responsáveis por todo o sistema de captação de dados de temperaturas e fluxos de calor, os restantes por colocar combustível nos cestos da estrutura de frente de fogo, assim como do posicionamento da cabine, posterior ignição e auxílio na captação de imagens. Todo o equipamento selecionado e reunido foi colocado/instalado no seu devido local.

Primeiramente posicionou-se a cabine, numa primeira instância a 2,5 m da frente de fogo, depois foi-se aproximando a estrutura a 1,5m; 1m e 0,25 m. Foi também colocado o reservatório de água com a bomba perto do veículo, instalando entre eles, o caudalímetro e o manómetro para observação dos caudais e pressões obtidas nos ensaios.

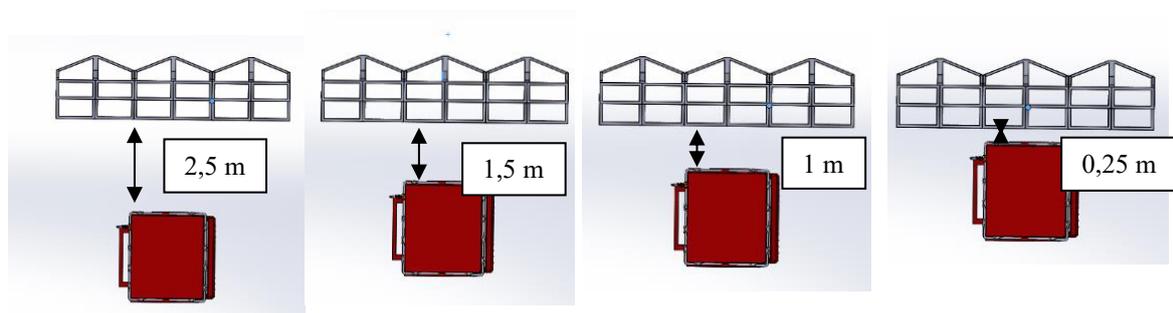


Figura 4.21 - Distância da cabine à frente de fogo

Posteriormente colocaram-se os termopares em vários pontos, para as análises que procurávamos e foi também instalado e posicionado o fluxómetro.

Com tudo posicionado nos seus locais colocou-se o mató nos respetivos cestos, sendo devidamente pesados. Ao mesmo tempo foram medidos os valores de teor de humidade do combustível. Efetuou-se a recolha da amostra do combustível, anotando-se o tipo de combustível utilizado a temperatura e humidade relativa do ar.

A medição do teor de humidade de combustível foi possível através da utilização do Analisador de Teor de Humidade (A&D MX-5 com 0,1 % de precisão). Estes valores são importantes pois determinam a quantidade de água existente no combustível, valor necessário para no fim calcularmos o peso exato do combustível seco. Neste momento foram colocados os dispositivos de recolha de imagem em vários pontos ao redor do veículo, para que fosse possível o acesso a todo o processo de queima.

Com tudo pronto deu-se início ao ensaio, através do necessário sinal iniciou-se a ignição do combustível, através de um pinga-lume. Foram recolhidos todos os dados e guardados para uma posterior análise.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De seguida, serão apresentados os resultados representativos de todos os ensaios realizados, relativos aos testes com a frente de fogo (com e sem proteção) e aos testes realizados sobre o sistema de aspersores.

### 5.1. Ensaio do sistema

#### 5.1.1. Teste do sistema da bomba

Procederam-se a testes de forma a determinar a curva característica da bomba, colocando o manómetro à saída da bomba e um caudalímetro posteriormente, regulando a saída da água pela bomba, com uma válvula reguladora.

O gráfico da figura 5.1 é representativo desta curva, cada ponto de cor representa os vários resultados de cada ensaio, para as várias repetições realizadas, sendo a linha representativa do valor médio dessas repetições.

#### Curva caraterística da bomba

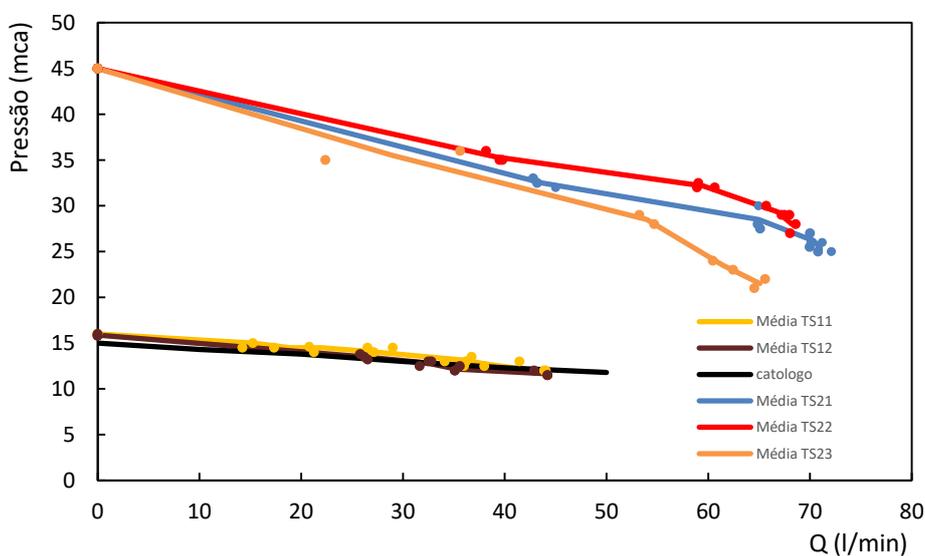


Figura 5.1 - Pressão em função do caudal à saída da bomba

Através do gráfico da Figura 5.1 observamos pela curva caraterística da bomba que a pressão máxima de saída de caudal através da bomba fixa-se num valor de 1,6 bar, o equivalente a 16 m.c.a., e que este valor tende a diminuir se aumentarmos o caudal.

Utilizando a bomba 2, a bomba com maior potência e maior capacidade de elevar a pressão com que a água entra no sistema de aspersores, verifica-se que a pressão à saída da bomba atinge um valor máximo de 4,5 bar (45 m.c.a.).

### 5.1.2. Teste sobre os vários aspersores

Os resultados obtidos são mostrados a seguir, com a elaboração de vários gráficos, representativos das perdas de carga, sendo o primeiro representativo do valor de perda de carga ( $k'$ ) expressa em metros de coluna de água em função do caudal e o segundo gráfico representativo do valor da perda de carga ( $k$ ) em função da pressão dinâmica do escoamento numa conduta, utilizando o número de Reynolds.

A seguir temos uma noção da forma como varia a pressão (m.c.a.) com o caudal ( $Q^2$ ). Apenas são representadas as curvas dos *aspersores 1 e 3*, sendo que os resultados dos restantes estão representados no esquema resumo (Tabela 5.1).

#### Aspersores 1 e 3

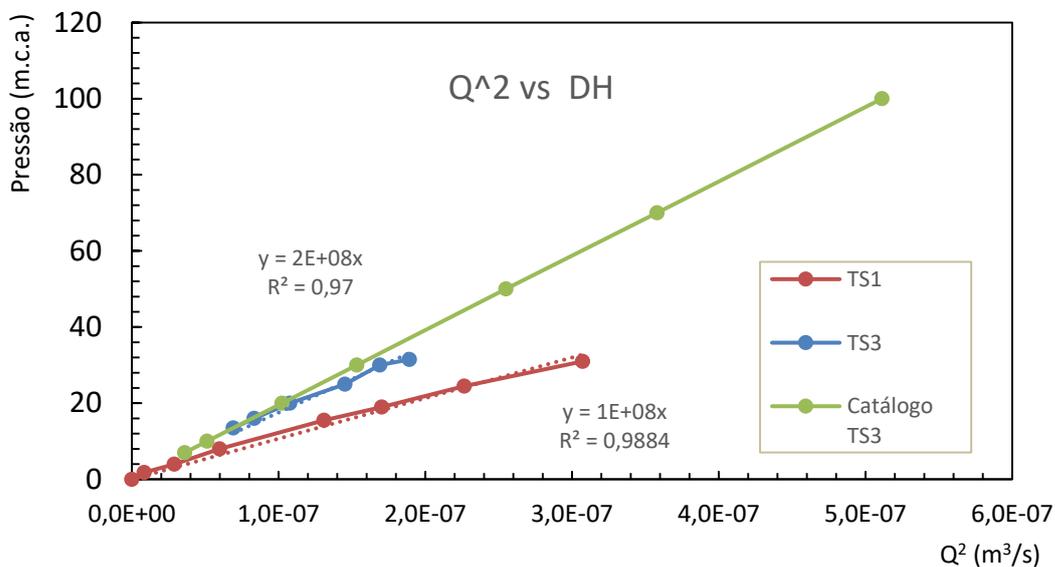


Figura 5.2 - Perda de carga ( $k'$ )

De seguida colocamos o valor de perda de carga em função do número de Reynolds para ver quais as diferenças ocorridas.

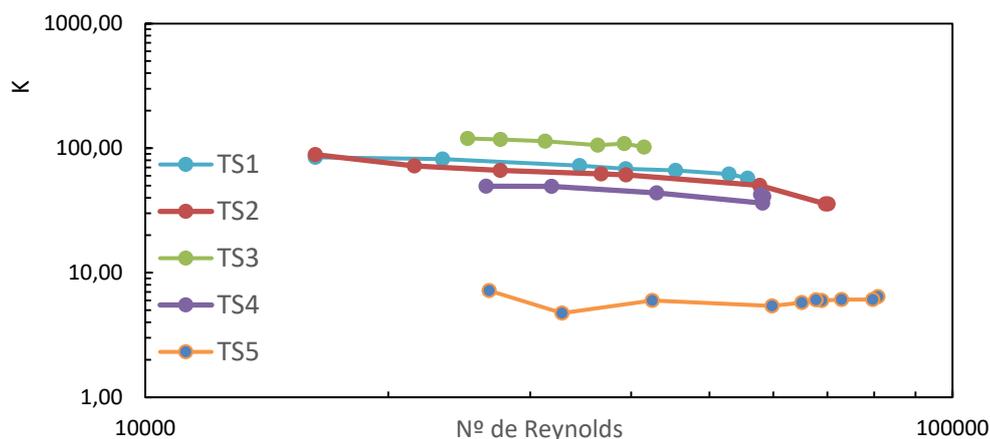


Figura 5.3 - Perda de carga dinâmica (k) em função do nº de Re

Tabela 5.1 - Tabela resumo (valores médios de todas as variantes)

	k		k'	
	Valor médio	Desvio Padrão	Valor médio	Desvio Padrão
TA1	70,37	9,24	$1 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$
TA2	64,46	22,3	$9 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$
TA3	111,21	6,34	$1,8 \times 10^8$	$1,03 \times 10^7$
TA4	43,68	4,65	$6,6 \times 10^7$	$7,6 \times 10^6$
TA5	5,86	0,62	$9,56 \times 10^6$	$1,01 \times 10^6$

Nos casos em que a água sofre mudança de direção, com passagem em curvas ou reduções, ocorre uma perda de carga, denominada de “perda de carga localizada”. Nestes locais, há uma grande turbulência concentrada, a qual aumenta os choques entre as partículas da água; é por isso que quanto maior for o número de conexões existentes, maior será a perda de carga ou perda de pressão, que origina uma maior perda de energia do escoamento.

Os aspersores como vemos são locais onde é possível observar-se uma grande perda de carga, visto que o escoamento do caudal é fortemente alterado. Nestes casos o caudal transita de um escoamento linear, de um tubo (onde não há grande turbulência), para o exterior, sendo esta passagem originária de uma forte alteração da constituição do caudal, originando nalguns casos gotas mais grossas e noutros gotas mais finas, isto dependendo das obstruções a que o caudal vai estar exposto. No *aspersor 3* vemos claramente que foi aquele em que a perda foi mais elevada, devido este aspersor conseguir expelir a água no formato de um cone perfeito, sendo que esta passagem faz com que seja necessária muita energia para o conseguir. Este valor de perda de carga está também relacionado com o facto de a

água expelida por este ser constituída por gotas muito finas, o que requer maior energia utilizada, como já anteriormente foi referido.

Nos outros aspersores os valores já foram menores devido ao caudal não ser tão alterado/obstruído, no entanto os resultados apresentam ainda valores altos pelo facto de o caudal passar pelas várias fendas e ranhuras que origina perdas significativas. Os aspersores 1 e 2 são idênticos como tal apresentam valores de perda idênticos, sendo que a diferença está no facto de que o *aspersor* 1 ter menores dimensões, sendo o caudal mais obstruído, visto passar por zonas mais estreitas, o que faz com que haja maior alteração do escoamento ao contrário do *aspersor* 2 em que essa obstrução não foi tão significativa. Dos 4 aspersores, o *aspersor* 4 é aquele com menor perda, pois o escoamento apenas passa pelo pequeno orifício antes de sair, indo posteriormente ao encontro de uma superfície de forma a originar o efeito de leque. Já os valores da perda de carga da curva, como era expectável, são claramente menores que os dos aspersores, dado que aqui apenas existe uma alteração da direção do escoamento.

Os gráficos do  $k'$  e do  $k$  estão relacionados e representam o mesmo, a diferença apenas se encontra nas unidades que ambos possuem. O primeiro é representativo da forma como se altera a pressão conforme o caudal que é expelido pelo aspersor. Foi usado para medirmos os valores da pressão em cada aspersor à volta da viatura durante o acionamento do sistema, nos testes realizados. O último está representado o valor do  $k$  em função do número de Reynolds, de forma a identificarmos o perfil de escoamento. Observando os gráficos vemos que é altamente turbulento, pois é muito superior ao limite de laminar, sendo normal, visto que o escoamento é excessivamente alterado.

## Ensaio com vento

Foram realizados ensaios com o objetivo de observar de que forma se alterava/movimentava o fluxo de água expelido pelos vários tipos de aspersores. De seguida foram seleccionados os ângulos desde o centro até aos pontos extremos do formato de jacto de aspersão originado. São apresentadas imagens referentes aos ângulos que estamos a estudar, a sua movimentação, assim como gráficos representativos dessa mesma movimentação com o aumentar de velocidade. De notar que o ângulo move-se no sentido positivo se o extremo se movimentar no sentido dos ponteiros do relógio, no sentido contrário aos ponteiros do

relógio move-se no negativo. De referir também que foram utilizadas as 3 velocidades, sendo elas, de  $U=1$  m/s, 4 m/s e 8 m/s.

- Aspersor 1

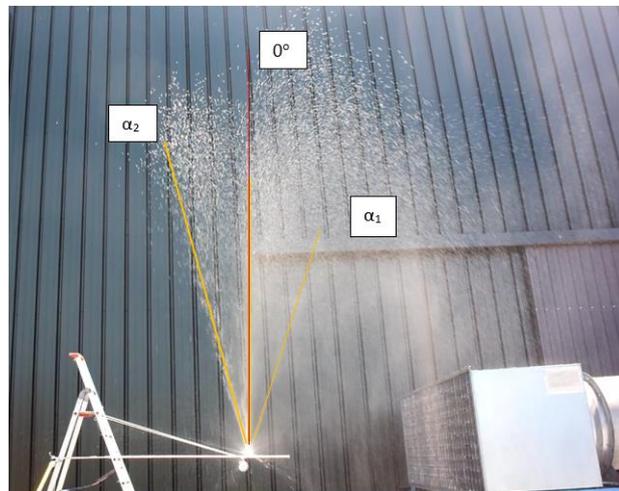


Figura 5.4 - Ensaio de vento com aspersor 1

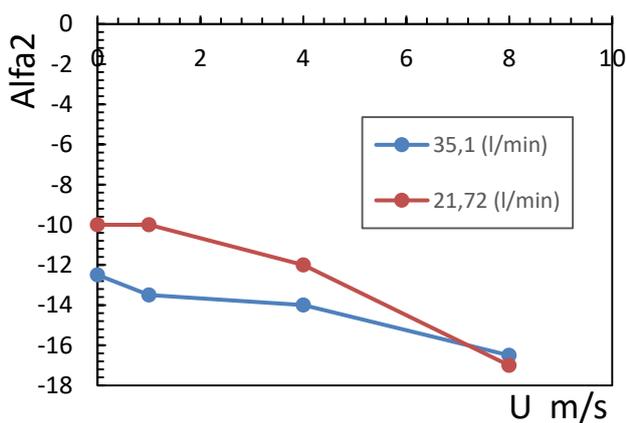


Figura 5.5 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades

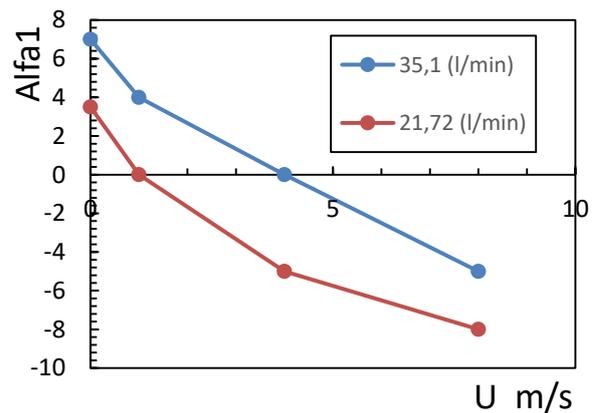


Figura 5.6 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades

- Aspersor 2

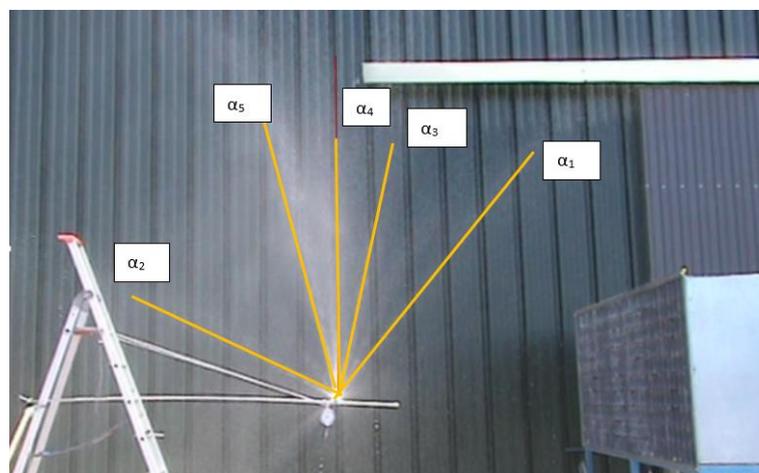


Figura 5.7 - Ensaio de vento com aspersor 2

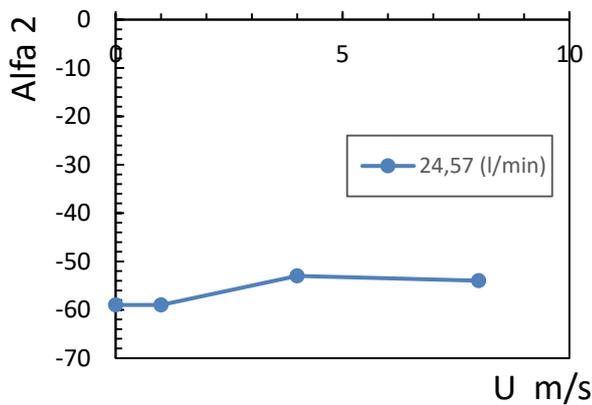


Figura 5.8 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades

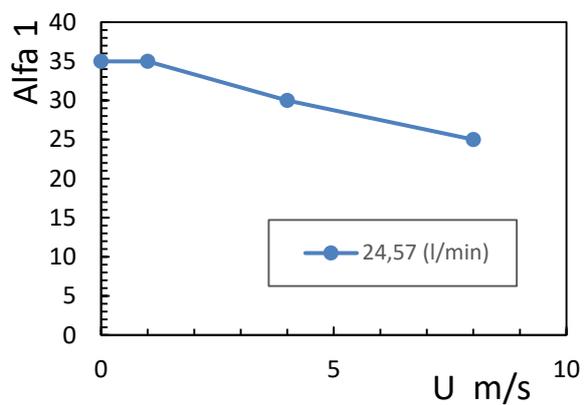


Figura 5.9 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades

- Aspersor 3

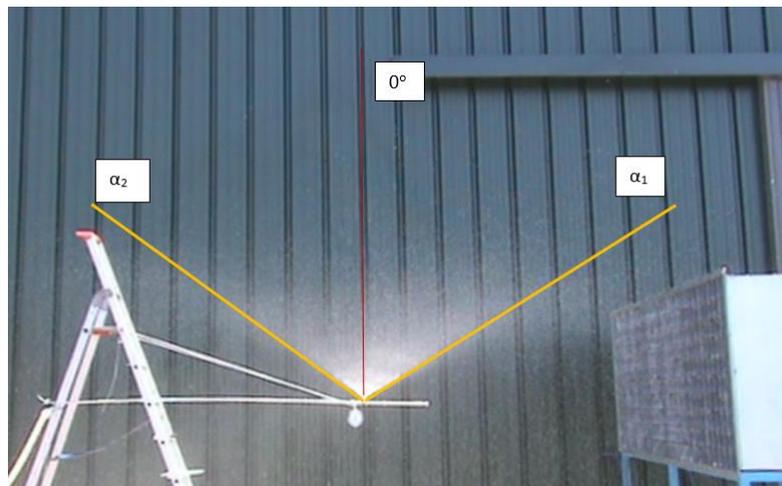


Figura 5.10 - Ensaio de vento com aspersor 3

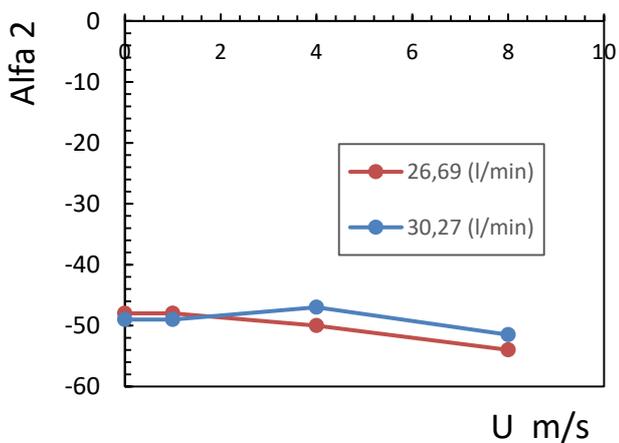


Figura 5.11 - Alteração do ângulo ( $\alpha_2$ ) em função das várias velocidades

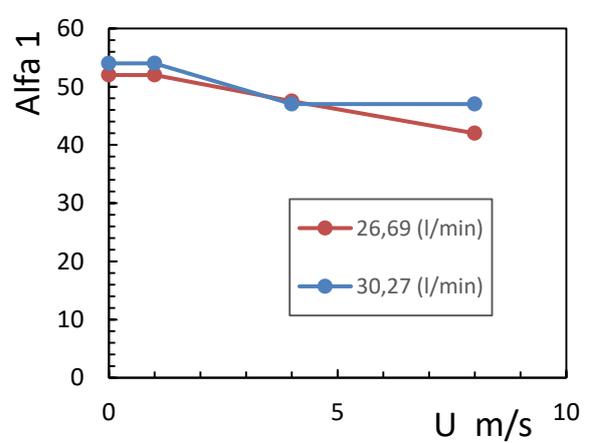


Figura 5.12 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades

- Aspersor 4

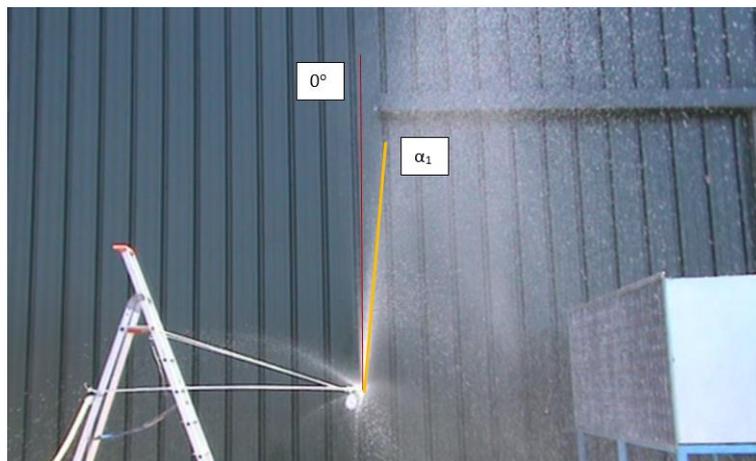


Figura 5.13 - Ensaio de vento com aspersor 4

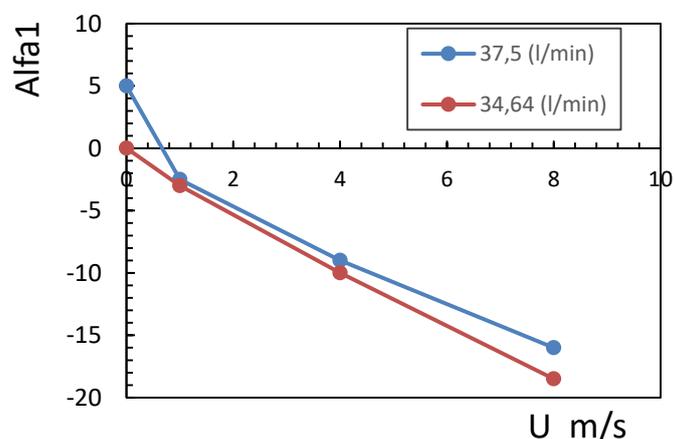


Figura 5.14 - Alteração do ângulo ( $\alpha_1$ ) em função das várias velocidades

Através destes gráficos temos uma noção da forma como o caudal expelido pelos aspersores se altera e se desloca quando o vento é projetado na sua direção.

Vemos claramente através do gráfico que o *aspersor 3* é aquele que tem menor alteração do formato de aspersão, porém o seu jato de água é bastante arrastado, isto devido à expelição de gotas muito finas, que com o vento, como vimos anteriormente, mais facilmente são arrastadas. Isto pode ser visualizado através da altura conseguida pela água expelida por este aspersor, sendo cada vez menor conforme o aumentar de velocidade de vento.

Observamos que o *aspersor 4* em condições de vento é o mais afetado, alterando muito a disposição do seu leque. Apesar de ser visível que este aspersor projeta gotas de

maior dimensão, este cria um leque de água de grande dimensão, com o jato muito disperso, não tendo o seu fluxo compactado/condensado, o que com vento mais facilmente é arrastado.

Já nos *aspersores 1 e 2*, também são de certa forma alterados os formatos da aspersão, sendo que o deslocamento não é tão alterado pois a aspersão destes é mais compacta e expelle gotas mais grossas; em condições de vento estão criadas condições para que a sua deslocação esteja mais dificultada.

### 5.1.3. Teste sobre o sistema no veículo

Também para o sistema procedeu-se a testes de forma a vermos a curva de entrada do sistema, curva esta realizada através dos valores obtidos por meio do manómetro colocado à entrada do sistema e de um caudalímetro entre a bomba e o sistema, sendo os valores alterados através de uma válvula reguladora.

O seguinte gráfico é representativo desta curva, com os vários pontos ao lado das linhas representativos dos valores obtidos nas várias repetições dos ensaios, e as linhas representativas da média dessas repetições.

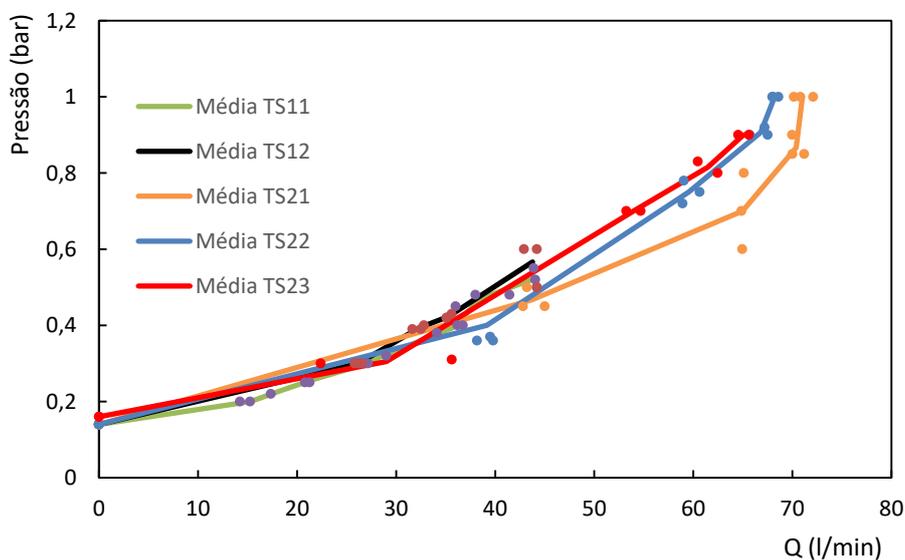


Figura 5.15 - Curva do sistema para as 3 cabines testadas

Através do gráfico, tendo em conta os ensaios desenvolvidos com a bomba 1, observamos de que forma varia o caudal e a pressão na entrada do sistema quando aumentamos ou reduzimos a secção de passagem de caudal. Verificamos que o caudal aumenta conforme aumenta a pressão, tendo-se atingido o valor máximo para uma pressão

perto de 0,45 bar para um caudal um pouco superior aos 40 litros/minuto, quando a válvula reguladora de caudal está toda aberta.

No ensaio com a bomba 2, através do Figura 5.15, vemos que atinge um máximo de 1 bar à entrada do sistema, com um caudal a rondar os 70 litros/minutos.

Tal como fizemos nos aspersores também aqui podemos ver qual a perda de carga referente à entrada no sistema, através das pressões e caudais existentes à entrada do sistema.

A Figura 5.16 demonstra a perda de carga dinâmica em função do número de Reynolds.

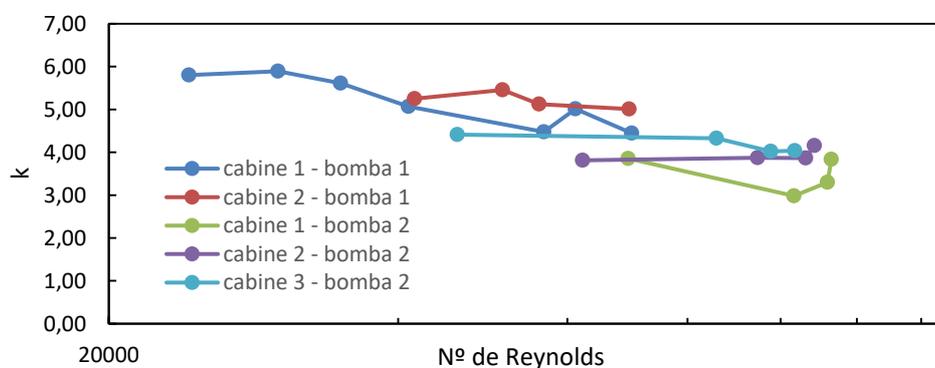


Figura 5.16 - Perda de carga (k) em função de Re

De seguida represento uma tabela resumo dos valores tanto de  $k'$  como de  $k$ , sendo estes os valores médios, de todos os pontos calculados:

Tabela 5.2 - Tabela resumo (valores médios de todas as variantes)

	Bomba 1				Bomba 2			
	k		k'		k		k'	
	Valor médio	Desvio Padrão	Valor médio	Desvio Padrão	Valor médio	Desvio Padrão	Valor médio	Desvio Padrão
Cabine 1	5,10	0,54	$8,3 \times 10^6$	$8,9 \times 10^5$	3,43	0,36	$5,6 \times 10^6$	$5,9 \times 10^5$
Cabine 2	5,11	0,16	$8,4 \times 10^6$	$2,7 \times 10^5$	3,85	0,13	$6,3 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$
Cabine 3					4,12	0,17	$6,7 \times 10^6$	$3,8 \times 10^5$

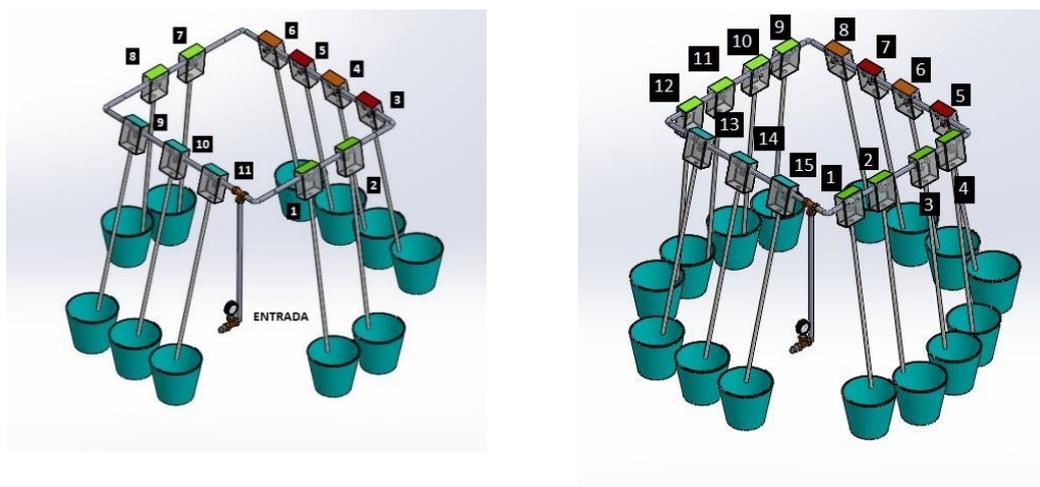
Através destes dados também podemos tirar ilações tal como fizemos para as perdas de carga dos aspersores. Ao contrário do que se esperava nas duas cabines idênticas os valores de perda de carga não são iguais mas são muito próximos. Já na *cabine 3* vê-se

que, como se esperava, ser aquela onde a perda de carga foi maior, isto porque a água entrou num sistema com maiores dimensões e com maior número de perdas localizadas, o que influenciou a entrada da água. Na *cabine 3* foi necessária uma maior quantidade de energia relativamente às outras duas. Também se pode concluir comparando as duas bombas que a *bomba 1* fornece perda de carga maior, dado estar relacionada com menores valores de pressão e caudal que esta consegue transmitir, o que influencia, visto que neste ponto houve uma perda de pressão, e havendo pouca pressão mais a perda vai ser notada.

Depois de analisada a variação de pressão e o caudal à entrada, foram desenvolvidos testes para ver como ocorria a distribuição desse caudal pelos vários aspersores do sistema.

À volta da cabine foi desenvolvido um sistema com o auxílio de recipientes graduados, de forma a medir toda a distribuição do caudal ao longo dos aspersores, para observarmos como se desenrolava a distribuição com o sistema ativo. Este teste foi desenvolvido para as três cabines.

De seguida são apresentados os gráficos que demonstram a forma como o caudal se desenvolve ao longo do sistema de aspersores e a percentagem de água que cada aspersor lançou em testes de períodos de 5 min.



**Figura 5.17 - Representação da numeração dos aspersores da cabine 1 e 2 (esquerda) e da cabine 3 (direita)**

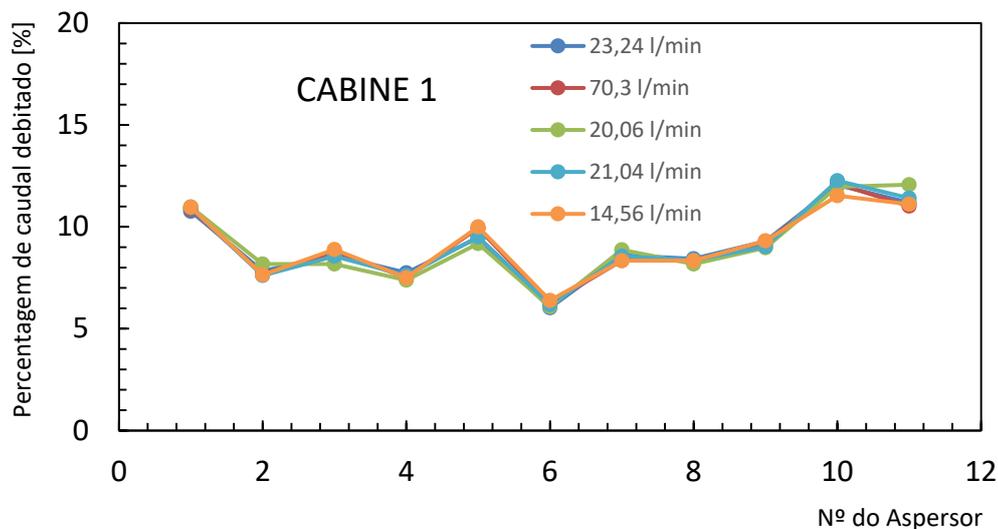


Figura 5.18 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 1

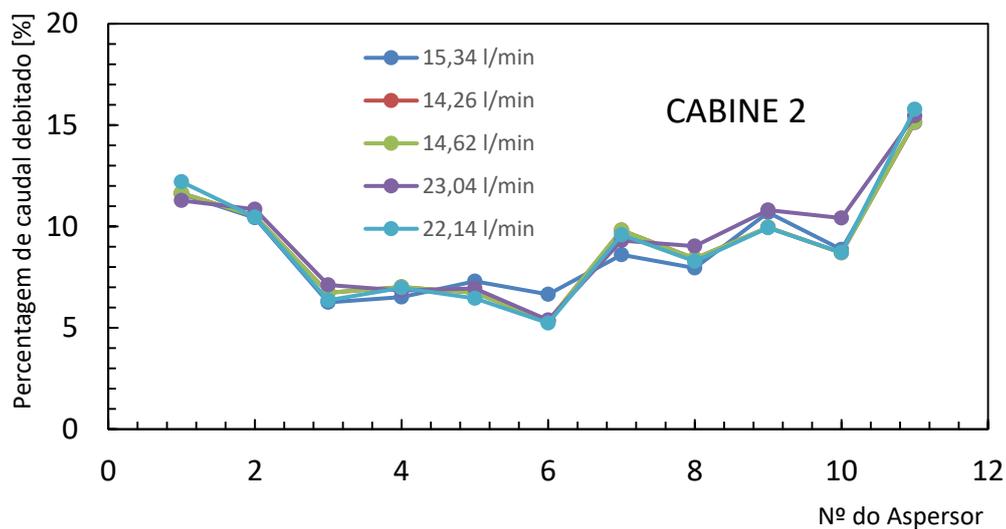


Figura 5.19 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 2

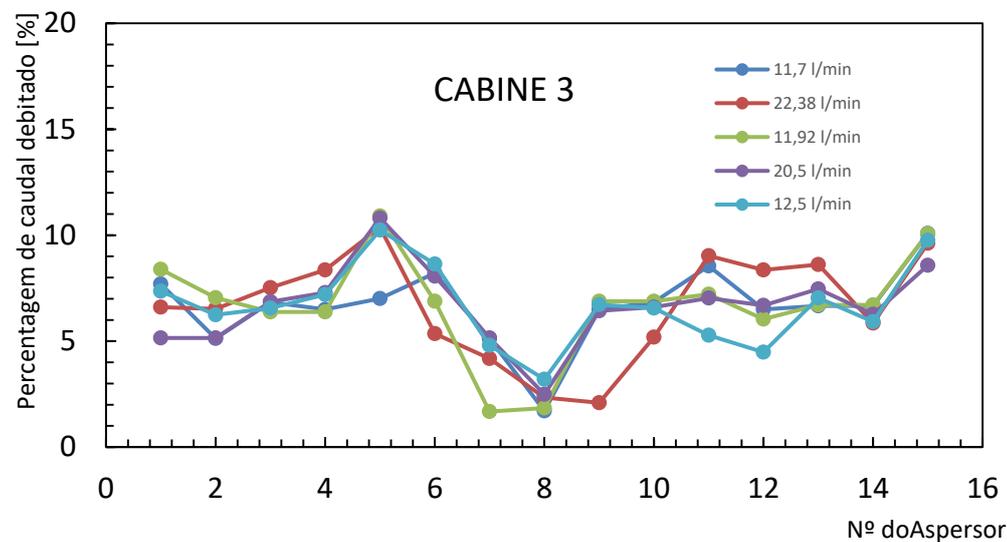


Figura 5.20 - Distribuição dos caudais pelos aspersores na cabine 3

Como é observado nos três gráficos da página anterior, é possível verificar que há uma variação do caudal expelido nos vários pontos do sistema, não se mantendo constante sobre todos os aspersores.

Entre os aspersores 6 e 8, localizados na ponta contrária à entrada de água, pudemos observar que é o local onde a percentagem de caudal expelido é menor, podendo ser perigoso, visto que esses aspersores cobrem a zona do condutor, que devia ser a zona melhor protegida. Isto aconteceu porque o caudal chega a estas zonas já com pouca pressão e em pequena quantidade, pois já teve a passagem por muitos aspersores, tendo ocorrido muita perda de carga contínua através do tubo como localizadas.

Por outro lado como são expectáveis, as zonas mais próximas à entrada da água no sistema são as zonas onde a água sai em maior quantidade.

Outra conclusão é que a distribuição dos caudais altera de veículo para veículo, mesmo os dois que têm dimensões idênticas apresentaram percentagens diferentes ao longo da sua distribuição.

De seguida, a partir dos valores retirados dos gráficos originários dos valores de  $k'$  e com os valores de caudal expelido pelos aspersores, registados pelos recipientes graduados, conseguimos saber a pressão em cada ponto do sistema referente aos ensaios sobre a *cabine 1* para  $Q = 70.3$  l/min, sendo que o valor de 0 é figurativo do valor disponibilizado pelo manómetro à entrada do sistema, e os restantes pontos são representativos dos aspersores à volta do veículo:

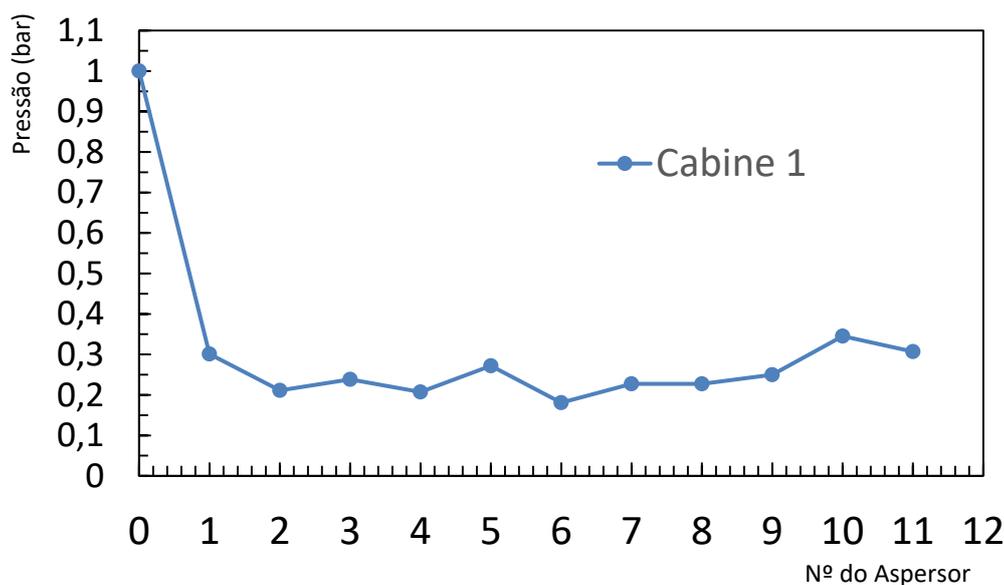


Figura 5.21 - Distribuição das pressões pelos aspersores à volta do veículo

## 5.2. Ensaios com a frente de fogo

Numa última fase, testámos o sistema em confronto com uma frente de fogo. De seguida apresentamos uma tabela com as características de todos os ensaios realizados.

**Tabela 5.3 - Esquematização e caracterização dos ensaios com frente de fogo**

	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
Hora inicial	10h03	10h30	11h04	14h52	15h26	16h01	16h40	17h17
Temperatura ambiente (°C)	21,3	20,7	23,4	30,3	29,4	29,8	30,6	30,2
Humidade relativa (%)	70	75	75	40	45	43	39	39
Humidade do combustível (%)	14,60	14,60	41,40	49,20	10,30	11,50	44	42,20
Quantidade de combustível em base seca (Kg)	60	60	60	60	60	60	60	60
Distância da frente de fogo à cabine (m)	2,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,0	0,25	0,25
Distância da frente de fogo ao fluxómetro (m)	2,5	2,5	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0
Sistema de aspersores ativos	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Caudal (l/min)	73,33	-	73,26	-	71,45	-	73,18	-
Pressão (bar)	3	-	3	-	3	-	3	-

Durante esta fase de testes recorreu-se a um simulador de fogo para testar a cabine num incêndio, de forma a podermos ver a alterações ocorridas nos diferentes pontos representados por termopares.

Foram realizados 8 ensaios, 3 de manhã e os restantes de tarde. Estes 8 ensaios foram agrupados 2 a 2 relativamente a distância da frente de fogo à cabine; num ensaio o sistema de proteção de aspersores esteve ativado e no outro não.

É de realçar que houve dificuldade em impedir que a água entrasse para dentro da cabine, dado que a cabine não possuía grande isolamento. Com a entrada de gotas os valores de vários termopares que se encontravam perto da janela, alteraram-se ligeiramente, mas a alteração não foi significativa (cerca de 3 graus).

É de anotar também que os dois últimos ensaios foram realizados sob condições extremas, colocando a frente de fogo extremamente perto da cabine (0,25m) não possibilitando a queima natural como acontecera nos outros ensaios. No sétimo ensaio como o sistema estava ativo, a água expelida embateu na frente de fogo abafando e apagando mesmo a chama que se encontrava ao lado da viatura. No ensaio oitavo como o sistema

estava desativado, teve que se proceder à extinção do fogo, para proteger a cabine, pois observou-se que se ia degradar.

## Resultados obtidos

### Ensaio EF1 e EF2

#### Fluxo de calor e intensidade calorífica no exterior da cabine

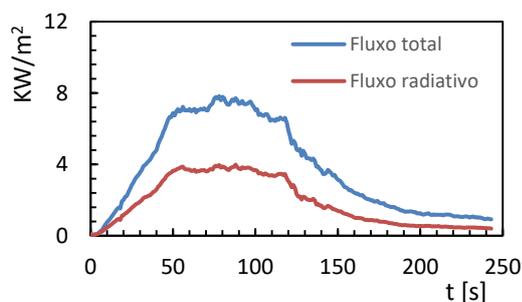


Figura 5.22 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF1)

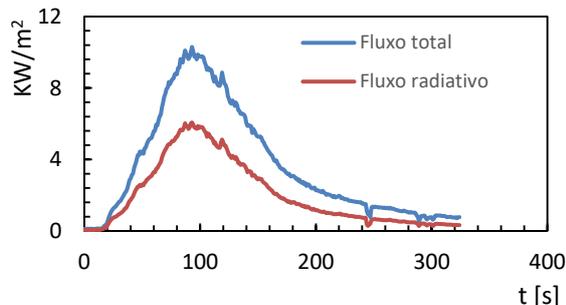


Figura 5.23 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF2)

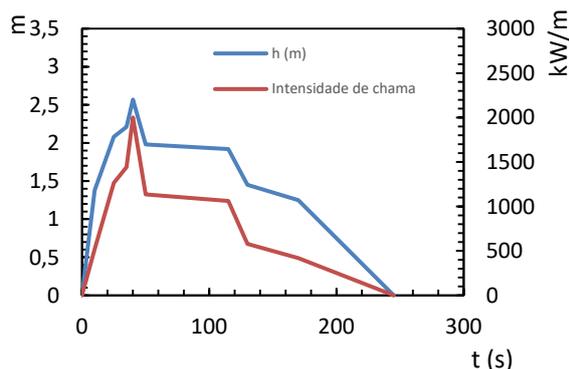


Figura 5.24 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF1)

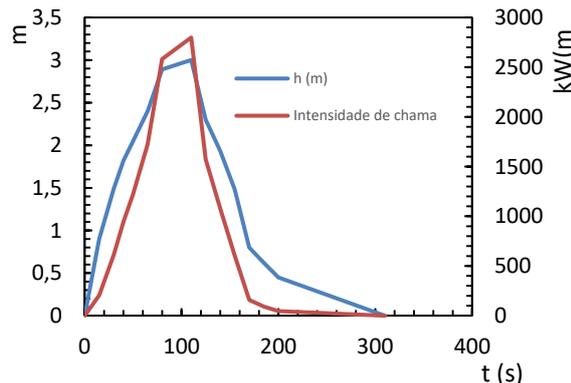


Figura 5.25 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF2)

Nos dois primeiros gráficos anteriores, Figura 5.22 e 5.23, são apresentados os valores relativos ao fluxo radiativo e ao fluxo total de calor, que incidiram junto à porta da cabine colocada a 2,5 m de distância do simulador de frente de fogo, quando da realização do ensaio 1 e ensaio 2. Observa-se para o caso do 1º ensaio que o fluxo total atinge o valor do pico em cerca de 8 kW/m<sup>2</sup>; no 2º ensaio o pico nos 10,3 kW/m<sup>2</sup>.

Quanto ao fluxo radiativo, o pico é atingido aos 4 kW/m<sup>2</sup> e aos 6 kW/m<sup>2</sup>, para o ensaio 1 e 2, respetivamente.

Neste ensaio observa-se que o fluxo total é superior ao fluxo radiativo, devido ao facto de as chamas terem pendido no sentido da localização dos sensores de fluxo, sendo a convecção registada nos sensores de aquecimento.

Através do fluxo radiativo no ensaio EF1 podemos concluir que o fluxo máximo atingido é compatível com as condições máximas de convivência do bombeiro devidamente equipado, dado que o calor radiativo máximo não chega a atingir os  $4 \text{ kW/m}^2$  (Foster e Roberts, 1994). Já no ensaio EF2 as condições de convivência do bombeiro com a fonte de calor devidamente equipado são distribuídas nos primeiros 85 s e a partir dos 125 s havendo, portanto, um intervalo de risco de 40 s podendo gerar-se uma situação crítica com uma temperatura acima dos  $235 \text{ }^\circ\text{C}$ . Observando o fluxo radiativo máximo que se avizinha dos  $6 \text{ kW/m}^2$ , a realidade passa por um período de tolerância por parte do bombeiro por que o valor temporal da ocorrência é menor que 3 min. Visto que o nosso estudo se baseia no interior da cabine, estes valores podem não ser preocupantes dado que a cabine protege e diminui as radiações absorvidas pelos seus habitantes.

Através das Figuras 5.24 e 5.25 verificamos que no primeiro ensaio a intensidade máxima ocorrida sucedeu perto dos 50 s, atingindo uma chama de altura 2,56 m, dando em potência  $1983,81 \text{ kW/m}$  sendo considerado um valor de combustibilidade/ dificuldade moderada. Já no segundo ensaio a altura máxima de chama ocorreu aos 80 s atingindo uma altura de 3 m produzindo uma potência de  $2798,81 \text{ kW/m}$ , considerado um valor de combustibilidade/dificuldade elevada (Alexander, *et al.*, 1989).

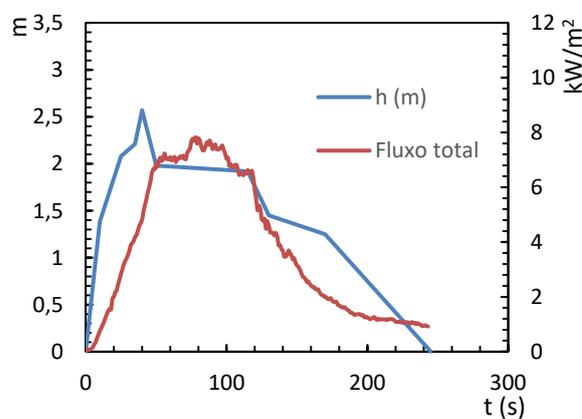


Figura 5.26 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF1)

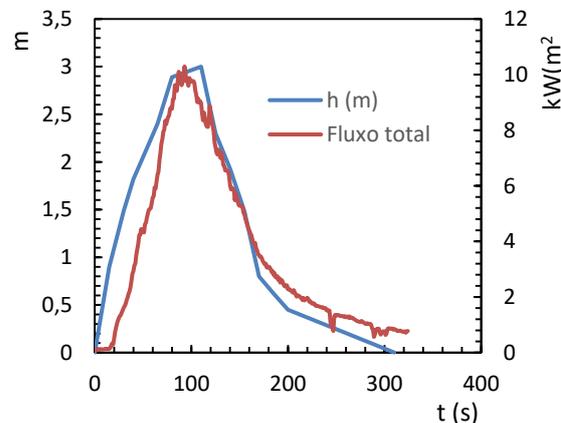


Figura 5.27 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF2)

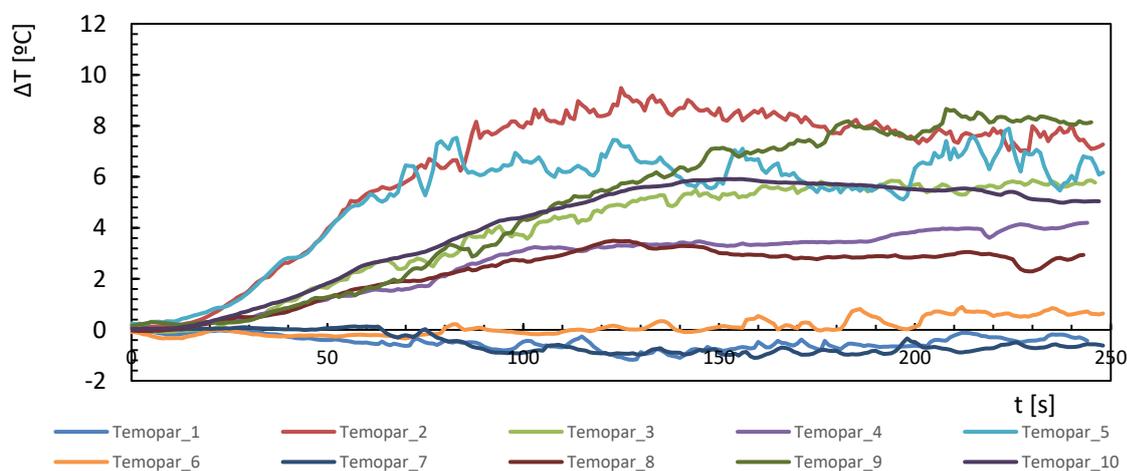
Nas Figuras 5.26 e 5.27 são apresentados os valores dos fluxos totais e da altura da chama para os ensaios a 2,5 m com e sem o sistema de aspersores ativado respetivamente. De referir que ambos os dados estão sincronizados, o que possibilita a análise desta relação. Podemos com isto relacioná-los constatando que no primeiro ensaio o pico da altura de chama é atingido um pouco antes do pico do fluxo, mas que a altura de chama continua relativamente alta conforme o fluxo, tendo começado a descer praticamente no mesmo

momento que a descida do fluxo. Já no ensaio 2 as duas curvas quase que estão sobrepostas. É expectável que isto mesmo aconteça visto serem dados que estão correlacionados, conforme maior for a altura de chama mais elevadas serão as intensidades e fluxos fornecidos pela frente de chamas.

- **Variação da temperatura no interior e exterior da cabine**

De seguida apresentamos e analisamos os resultados da variação de temperatura que ocorreram em todos os pontos seleccionados com termopares, das diferenças que aconteceram quando a cabine esteve com proteção adicional de aspersores e quando esta foi colocada em contacto com uma frente de fogo diretamente sem proteção.

A temperatura inicial dos termopares antes de se realizarem os vários ensaios não foi a mesma, devido à estratificação térmica ocorrida na cabine; por os ensaios terem sido realizados em várias partes do dia (onde as temperaturas exteriores variaram) e devido ao calor acumulado dos ensaios anteriores. Então optámos por colocar em todos gráficos a variação da temperatura em vez da temperatura real registada pelos termopares, pois neste estudo interessava analisar as variações da temperatura em vários pontos da cabine e observar as diferenças de ensaio para ensaio.



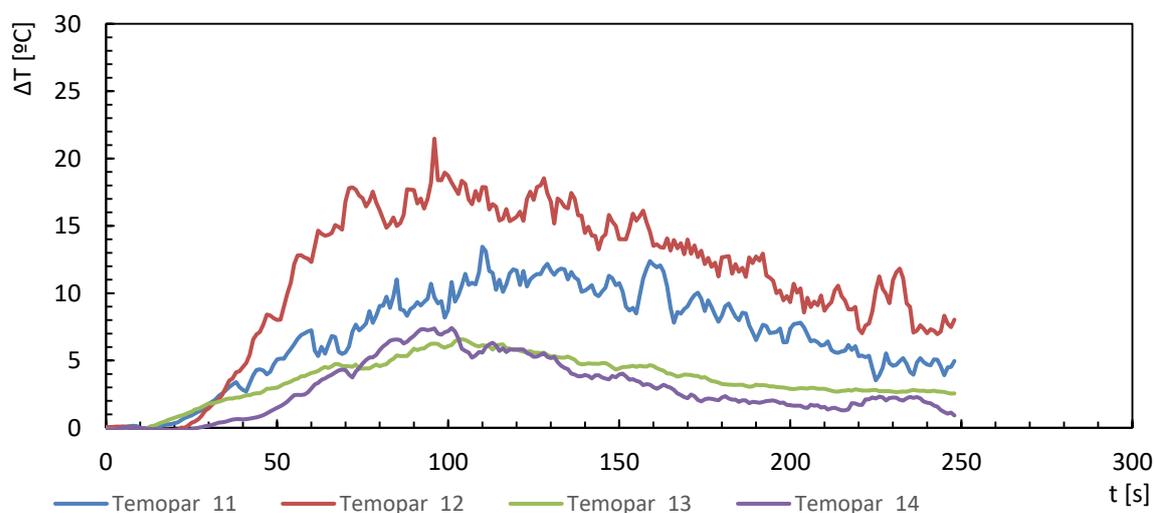
**Figura 5.28 – Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF1)**

Este ensaio teve a duração de 4,17 min.

As temperaturas registadas pelos termopares na cabine a uma distância de 2,5 m tendem a aumentar com o desenvolvimento do ensaio. A variação da temperatura registou valores negativos na porta interior e no pé esquerdo, ou seja, a temperatura inicial com o desenrolar desceu para valores menores, devido à cabine disponível não ser totalmente isolada e entrarem pingos para o seu interior, embatendo no termopar e reduzindo-lhe a

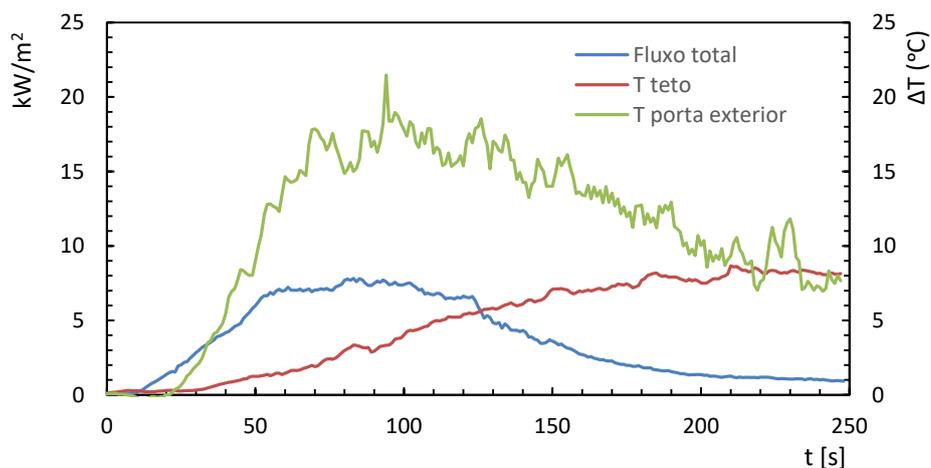
temperatura. A nível da mão, também junto à porta, as temperaturas mantiveram-se com pequenas oscilações, tendo aumentado em 0,8 °C.

A maior subida da temperatura registou-se na zona do vidro da janela, tendo aumentado 10 °C; no teto, acima do condutor, a temperatura aumentou em 8,6 °C, isto porque o calor tende a acumular e a concentrar-se no ponto mais alto. Quando descemos em altitude, para a zona da cabeça vemos que o aumento de temperatura já foi menor, tendo subido no máximo 5,9 °C, continuando para a zona do peito a subida foi de 4,2 °C e na zona do volante foi de 3,5 °C.



**Figura 5.29 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF1)**

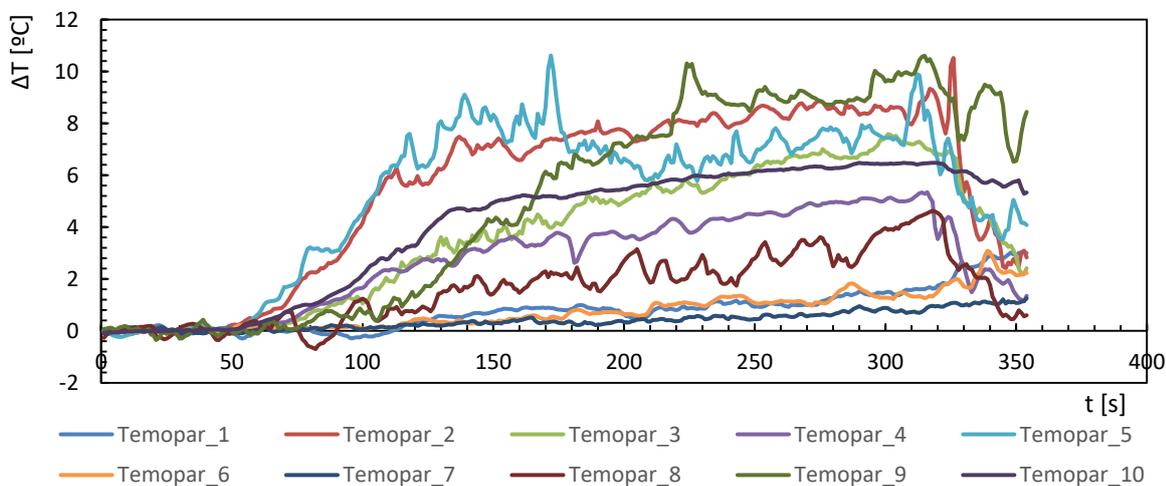
Relativamente aos termopares colocados no exterior, podemos observar através do gráfico, que a frente de fogo incidiu com maior força sobre a porta. Os escudos térmicos utilizados nas portas poderão ter influenciado na maior concentração de temperatura nesta componente da viatura. Na porta houve um aumento de temperatura até 21,4 °C, enquanto na janela da porta foi de 12,4 °C. Quanto aos outros dois termopares colocados na janela da frente da cabine e na parte superior da cabine, como a chama não incidiu diretamente sobre eles, verificou-se uma menor variação da temperatura, mesmo assim aumentou 6,6 °C e 7,5 °C respetivamente.



**Figura 5.30 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF1)**

Na Figura 5.30 podemos comparar a evolução das temperaturas no interior e no exterior com o fluxo total que é recebido pelo fluxómetro.

Comparando estes dados, vemos que o intervalo entre os 30 s e os 120 s é o período de tempo em que a temperatura começa a aumentar tanto no interior como no exterior da cabine, devido ao facto da intensidade de chama ser mais elevada neste momento, levando por sua vez à maior transferência de energia. Depois desse período, esses valores tendem a manter-se constantes no interior da cabine, apesar da frente de fogo começar a transmitir cada vez menor intensidade essas temperaturas estagnam, uma vez que dentro da cabine houve acumulação de calor, e esse calor mantém-se porque não há movimentação do ar. No exterior verifica-se que os valores das temperaturas estão relacionados com os valores dos fluxos, ou seja, as maiores temperaturas ocorreram nos momentos em que a intensidade das chamas foi mais elevada, porém quando o fluxo foi diminuindo os valores da temperatura também diminuíram.



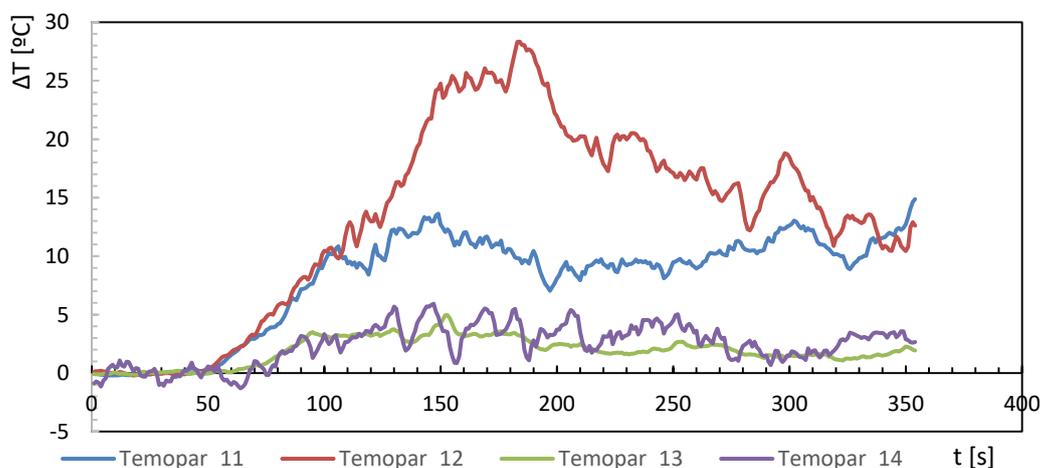
**Figura 5.31 - Variação das temperaturas registradas no interior da cabine através de termopares (EF2)**

A duração do ensaio 2 foi de 5,20 min.

No ensaio, sem o sistema de aspersor ativo, ou seja com a cabine sujeita a uma frente de fogo, observamos claramente alterações dos resultados, com um maior aumento de temperatura em todos os termopares.

Relativamente ao interior as maiores variações ocorreram nos pontos mais próximos da janela, ou seja, junto ao ombro e na própria janela, sendo este aumento contabilizado com uma subida até 10,5 °C, sendo que, estes valores máximos ocorreram em tempos desiguais. Como nos ensaios anteriores, em que os aspersores estavam ativados, a temperatura tende a diminuir, conforme menor é a altitude dentro da cabine. No ponto mais alto, junto ao teto, houve um aumento até 10,6 °C. Na cabeça temos uma variação de 7,5 °C, no peito de 5,4 °C, no volante de 4,6 °C. Já nos pontos mais baixos da cabine, junto à mão houve um aumento de 2,2 °C, aos pés do manequim, houve um aumento máximo de 1 °C.

Confrontando com os valores retidos dos ensaios com sistema ativo podemos concluir que houve uma eficácia do sistema na redução das temperaturas no interior da cabine. É visível que as temperaturas quando o sistema está desativo tomam valores mais elevados, podendo prejudicar a permanência no seu interior.



**Figura 5.32 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF2)**

No exterior, sem o sistema ativado as temperaturas que se obtiveram foram mais elevadas, na porta (a zona mais crítica como já foi referido na análise da Figura 5.29), a temperatura variou cerca de 28,4 °C, na janela 14,8 °C, no vidro da frente e na zona superior, a subida foi até aos 5 °C.

Também no exterior certificou-se uma eficácia por parte do sistema de aspersores em reduzir as temperaturas que chegavam ao corpo exterior da cabine, algo que é muito benéfico juntando ao facto de que humidificando o exterior, este sistema vai dificultar que ocorra a combustão do vidro e das portas, algo que ao acontecer podia colocar em perigo extremo os tripulantes da cabine.

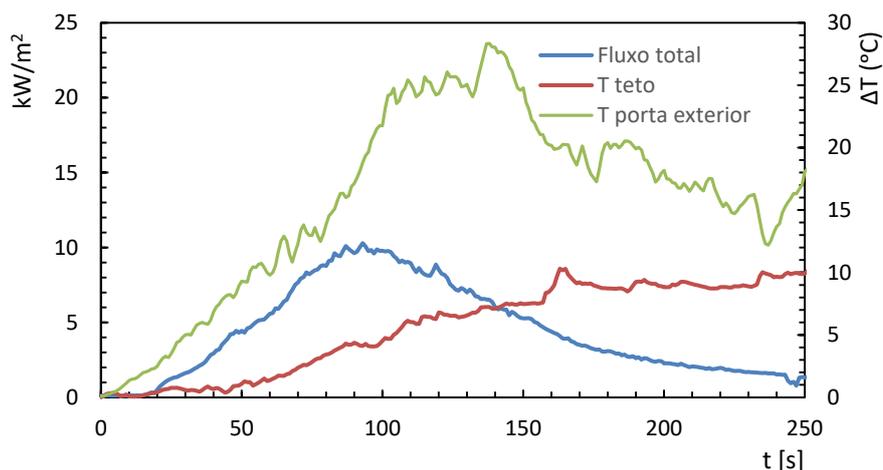


Figura 5.33 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF2)

Através da Figura 5.33 relacionamos uma vez mais o fluxo total com as temperaturas, agora para o ensaio 2. A variação máxima de temperatura na porta rondou os 28° C, verificada aos 138 s e 10,3° C para o teto aos 165 s, ou seja, mais 73 s após o valor máximo apontado anteriormente para a porta. Esta situação confirma mais uma vez que vai havendo acumulação de calor após o valor máximo de calor radiativo apurado na porta.

A acumulação cada vez maior de calor pode ser contrariada pela pesquisa experimental de um material, neste caso a natureza da chapa da porta e até os escudos protetores da porta e dissipadores de calor, com a menor condutividade térmica possível.

## Ensaios EF5 e EF6

### • Fluxo de calor e intensidade calorífica no exterior da cabine

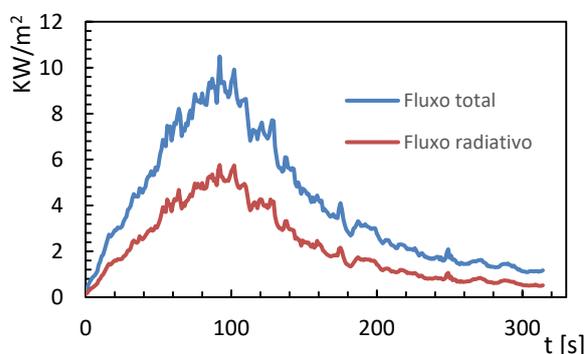


Figura 5.34 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF5)

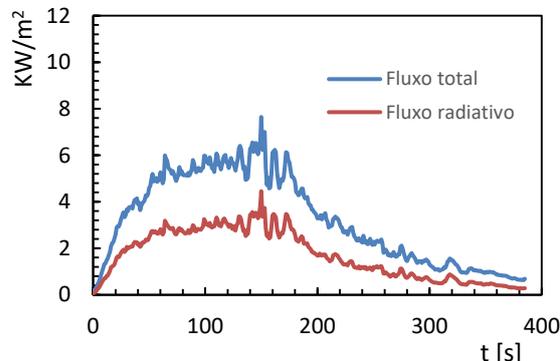


Figura 5.35 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF6)

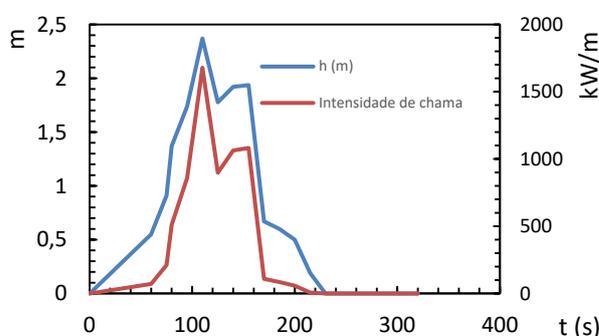


Figura 5.36 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (EF5)

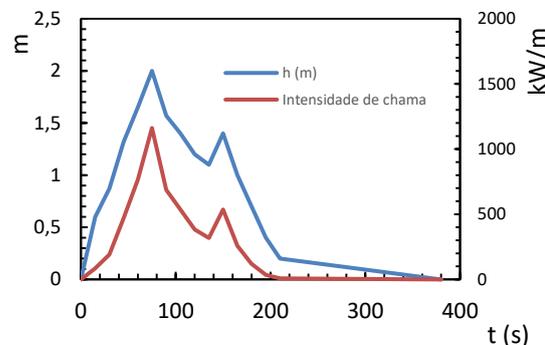


Figura 5.37 Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (EF6)

Os gráficos das Figuras 5.34 e 5.35, apresentam os valores relativos ao fluxo radiativo e ao fluxo total de calor, que incidiram junto ao fluxómetro, colocado a 1,8 m de distância do simulador de frente de fogo, a quando da realização dos ensaios 5 e 6. Observa-se que no 5º ensaio o fluxo total atinge o pico em cerca de 10,5 kW/m<sup>2</sup>. Já no 6º ensaio vemos que atinge o pico nos 7,64 kW/m<sup>2</sup>. Quanto ao fluxo radiativo o pico é atingido ao 5,8 kW/m<sup>2</sup> e aos 4,5 kW/m<sup>2</sup>, para os ensaios 5 e 6 respetivamente.

Nestes ensaios observa-se que o fluxo total é superior ao fluxo radiativo devido ao facto de as chamas terem tombado no sentido da localização dos sensores de fluxo, sendo a convecção registada nos sensores de aquecimento.

O fluxo radiativo máximo nos dois ensaios atingem valores que ultrapassam os 4 kW/m<sup>2</sup> que segundo (Foster e Roberts, 1994) são considerados fluxos de condição extrema, podendo gerar uma situação crítica para os bombeiros, devidamente equipados, que estejam em contato com estes fluxos, visto que a temperatura pode chegar aos 180 °C. Porém como o bombeiro se encontra dentro do veículo, em parte fica protegido dessas radiações.

Através da Figuras 5.36 e 5.37 vemos que no quinto ensaio a potência máxima ocorreu perto dos 100 s, atingindo uma chama com altura de 2,37 m, de intensidade 1678,12 kW/m, considerado um valor de combustibilidade/dificuldade moderada. Já no sexto a altura máxima da chama ocorreu aos 75 s atingindo uma altura de 2 m, produzindo uma intensidade de 1161 kW/m, ambos considerados valores de combustibilidade/dificuldade moderada segundo (Alexander, *et al.*, 1989). Tanto num como no outro vemos que depois de uma descida há uma subida dos valores de altura de chama, que é acompanhada pela intensidade de chama, isto deve-se a algum fator de oxigenação, provocado pelo vento.

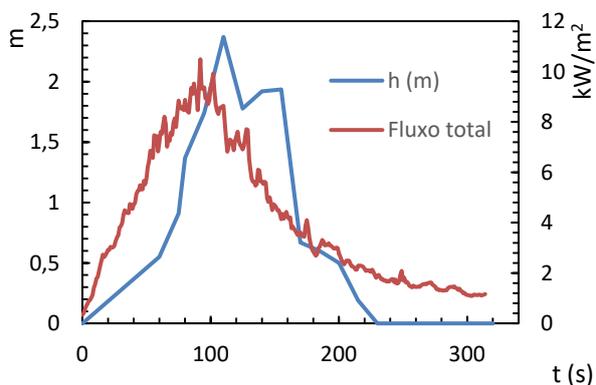


Figura 5.38 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF5)

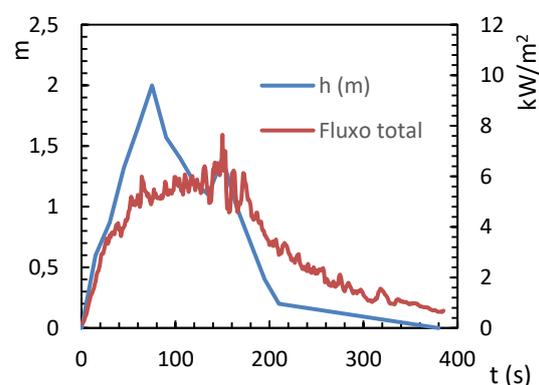


Figura 5.39 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF6)

Nas Figuras 5.38 e 5.39 comparamos a altura de chama com os valores dos fluxos totais. De referir que ambos os dados estão sincronizados o que possibilita a análise desta relação. Podemos com isto constatar que ambos se relacionam. Já no ensaio 6 a altura de chama atinge dois picos, apesar de no primeiro instante ter atingido alturas maiores no segundo instante, perto dos 170 s é que atingiu o maior fluxo. No primeiro instante a frente de fogo ainda estava a desenvolver-se e não tinha atingido a sua combustibilidade máxima. É expetável que isto mesmo aconteça visto serem dados que estão correlacionados, conforme maior a altura de chama maior será a intensidade e fluxos fornecidos pela frente de chamas.

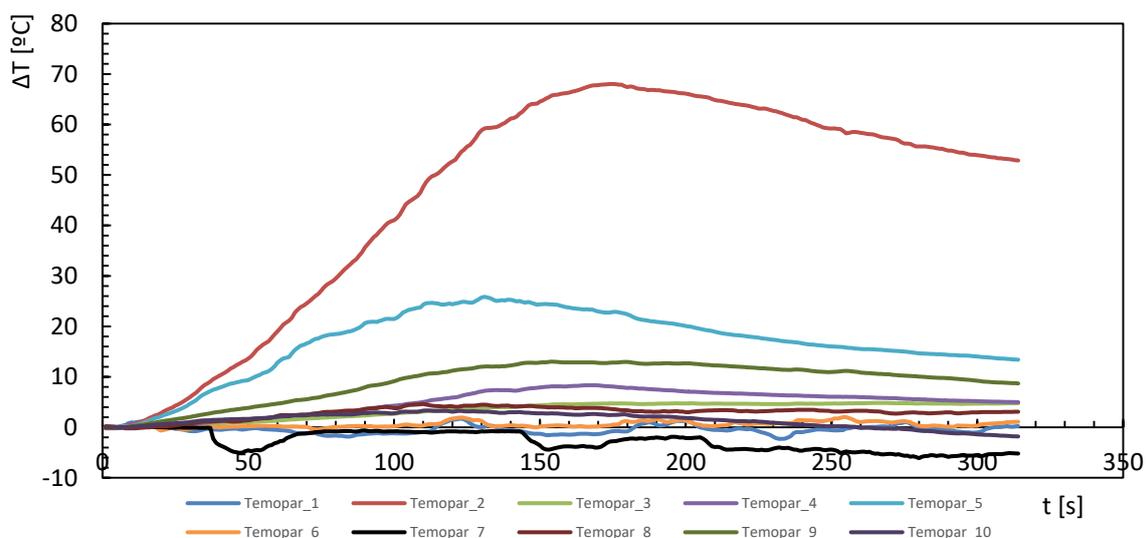


Figura 5.40 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF5)

Relativamente ao ensaio 5, a 1 metro, no interior da janela, obtiveram-se 68 °C de variação de temperatura, sendo esta a maior variação registada nos termopares no interior da cabine. No ombro, muito perto do vidro, obteve-se uma subida de 26 °C; junto ao teto a temperatura acumulada atingiu uma variação de 12,8 °C, no peito a variação foi de 8,3 °C; na cabeça foi observada uma subida de 4,8 °C e no volante a elevação atingiu os 4,5 °C. Já nos pontos de altitude mais baixa, na mão esquerda alterou cerca de 2 °C assim como na porta interior.

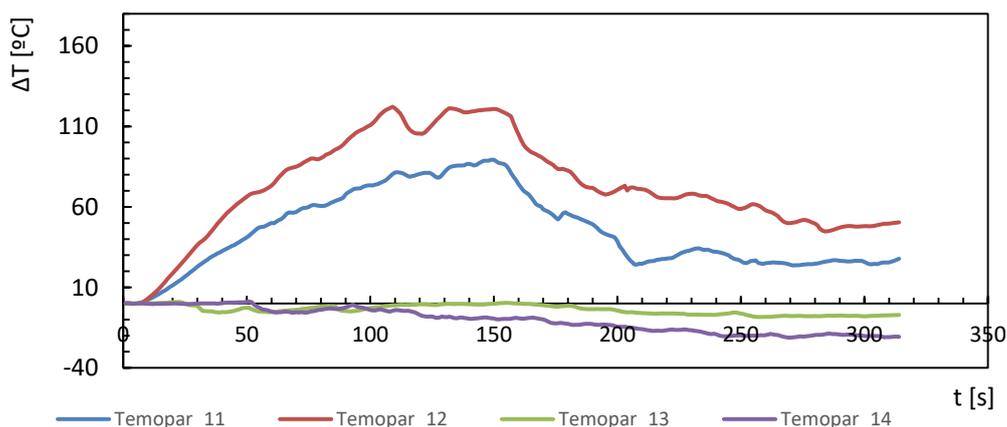
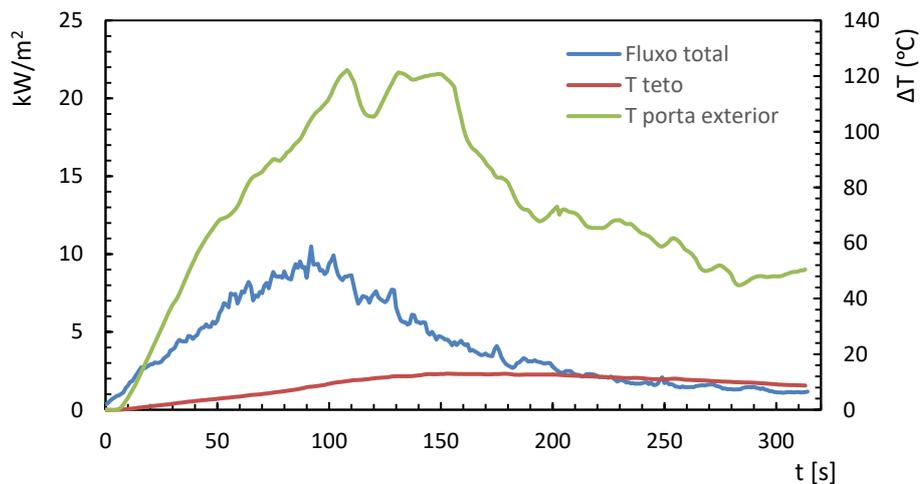


Figura 5.41 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF5)

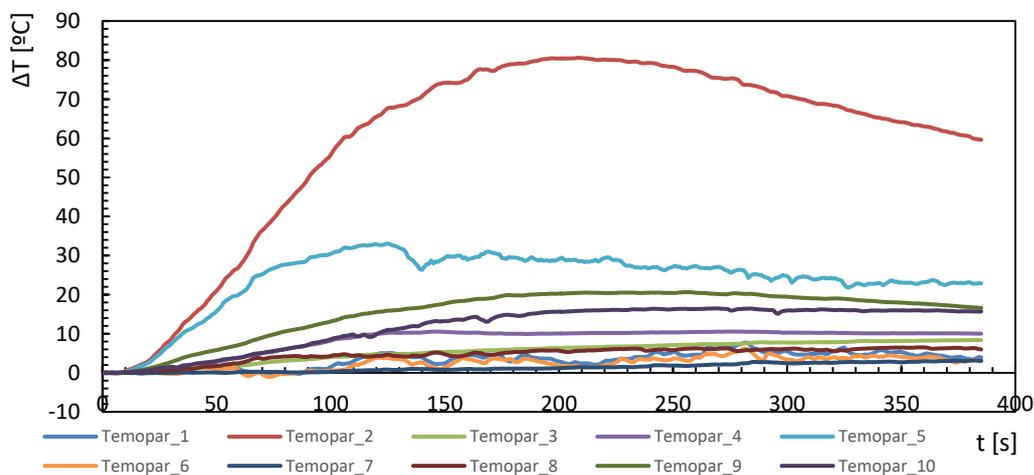
Quanto ao exterior as maiores variações, e as mais importantes, ocorreram na zona da porta, onde a alteração foi de 122 °C e no vidro foi de 89 °C.



**Figura 5.42 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF5)**

Na Figura 5.42 podemos comparar a evolução das temperaturas no interior e no exterior com o fluxo total que é recebido pelo fluxómetro. Os termopares escolhidos para serem representativos, foram os do teto, dentro da cabine, e os da porta, no exterior.

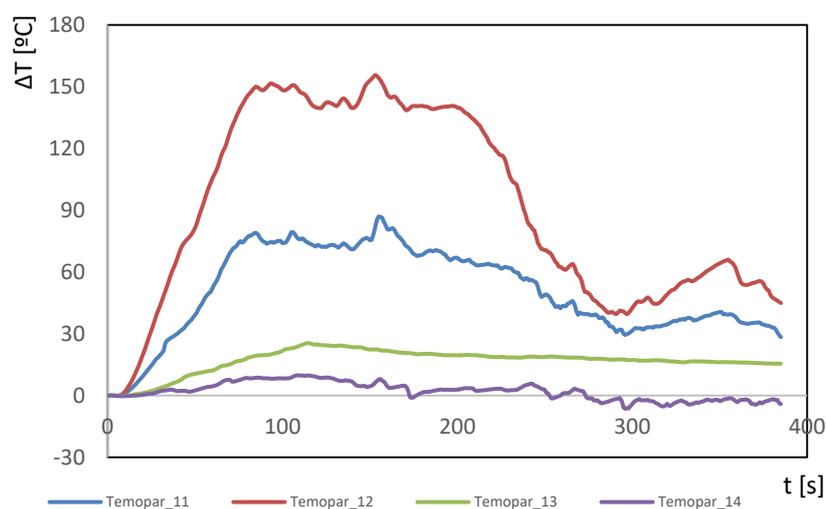
Comparando estes dados, observamos que no período compreendido entre os 50 e os 150 s a temperatura começa a aumentar no interior da cabine, pois a intensidade de chama é cada vez mais elevada, levando por sua vez à maior transferência de energia. Depois desse período, esses valores tendem a manter-se constantes no interior da cabine, apesar da frente de fogo começar a transmitir cada vez menor intensidade, essas temperaturas estagnam devido à acumulação de calor. No exterior constata-se que os valores da temperatura estão relacionados com os valores dos fluxos, ou seja, as maiores temperaturas ocorreram nos momentos em que a intensidade das chamas foi mais elevada, porém quando o fluxo foi diminuindo, chegando a valores com pouca intensidade, os valores da temperatura também baixaram.



**Figura 5.43 - Variação das temperaturas registradas no interior da cabine através de termopares (EF6)**

Analisando o gráfico da Figura 5.43 a 1 metro da frente de fogo, quando o sistema estava desativo, observamos que junto à janela a temperatura subiu 80,4 °C. Já no ombro essa elevação atingiu os 33 °C, no teto tivemos uma subida de 20,6 °C, no peito 10,5 °C, na cabeça 8,3 °C e no volante 6,4 °C. Nos pontos mais baixos, na porta interior foi contabilizada uma elevação de 7,7 °C, na mão 6,1 °C, e no pé houve um aumento de 2,8 °C.

Equiparando estes valores com os da Figura 5.40, vemos claramente que houve um maior variação da temperatura quando o sistema estava desativo, maior até do que confrontando com as variações ocorridas à distância de 2,5 metros. Isto permitenos concluir uma vez mais a eficácia do sistema para reduzir a temperatura da cabine, proporcionando assim ganhos úteis para os bombeiros nela refugiados.



**Figura 5.44 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF6)**

Quanto ao exterior através dos dados disponibilizados pelos termopares, observamos que na porta houve um aumento de 155 °C, e no vidro de 90 °C. No vidro frontal a elevação foi de 25,7 °C sendo que na parte superior da cabine a subida de temperatura foi de apenas 9,7 °C.

No exterior o sistema também se toma como eficaz havendo significativas alterações da temperatura comparando com o sistema ativo.

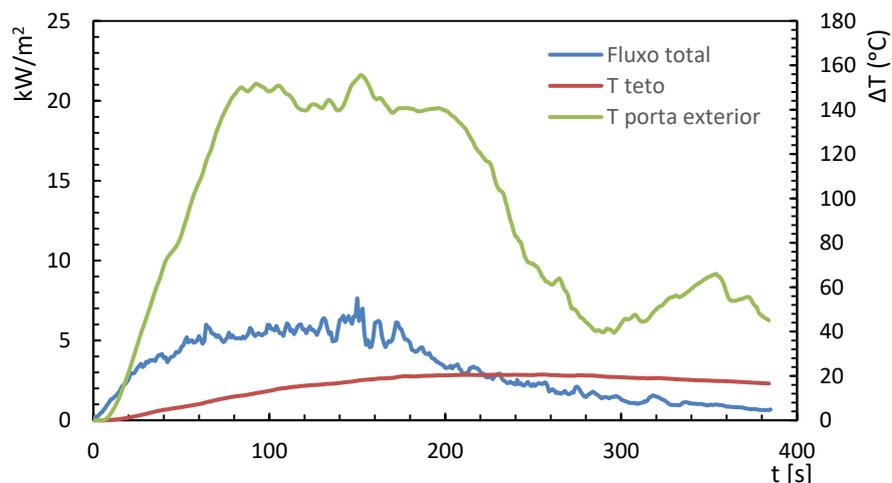


Figura 5.45 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF6)

Na Figura 5.45 podemos comparar a evolução das temperaturas no interior e no exterior com o fluxo total que é recebido pelo fluxómetro. Os termopares escolhidos para serem representativos, foram os do teto, dentro da cabine e os da porta, no exterior.

Comparando estes dados, identifica-se o período entre os 50 s e os 200 s como aquele em que houve maior nível de energia libertada, devido à intensidade de chama ser elevada nesse momento, levando a um aumento natural tanto da temperatura no interior como no exterior. Depois desse período, esses valores tendem a manter-se constantes no interior da cabine, apesar da frente de fogo começar a transmitir cada vez menor intensidade, essas temperaturas estagnam uma vez que dentro da cabine houve acumulação de calor, esse calor mantém-se, visto que é um sítio fechado onde não há movimentação de ar. No exterior constata-se que os valores das temperaturas estão relacionados com os valores dos fluxos, ou seja, as maiores temperaturas ocorreram nos momentos em que a intensidade das chamas foi mais elevada, porém quando o fluxo foi diminuindo, os valores da temperatura também diminuíram, tendo no final do ensaio havido uma subida. Observando através do vídeo conseguimos ver que se deveu a vento que deve ter movimentado gases quentes contra a porta.

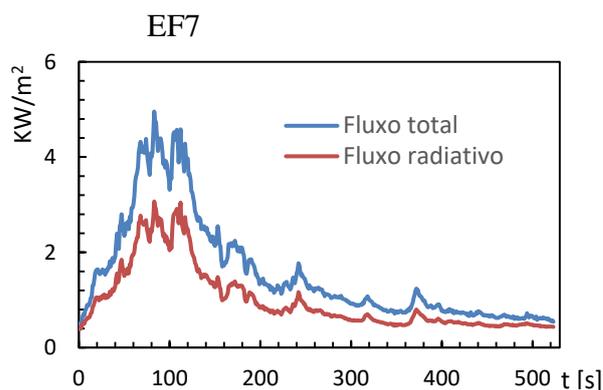


Figura 5.46 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (ensaio EF7)

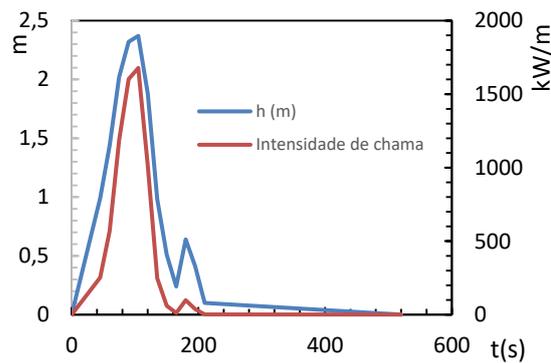


Figura 5.47 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF7)

Observa-se para o caso do 7º ensaio que o fluxo total atinge o pico em cerca de 5 KW/m<sup>2</sup>. Quanto ao fluxo radiativo o pico é atingido aos 3 KW/m<sup>2</sup>.

Através dos outros gráficos vemos que no primeiro ensaio a potência máxima ocorrida sucedeu-se perto dos 100 segundos, atingindo uma chama de altura 2,37 metros, em potência dando 1685,07 KW/m.

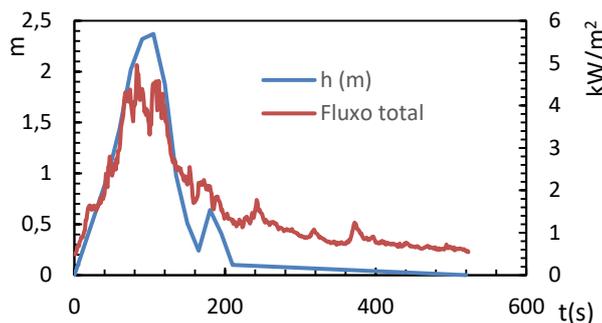


Figura 5.48 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF7)

Com a Figura 5.48 conseguimos denotar que o fluxo está relacionado com a altura de chama, por estar fora do alcance dos aspersores conseguiu transmitir fluxo para o fluxómetro que se encontrava à sua frente. Observamos que, quando uma variável aumenta ou diminuiu na outra também acontece o mesmo.

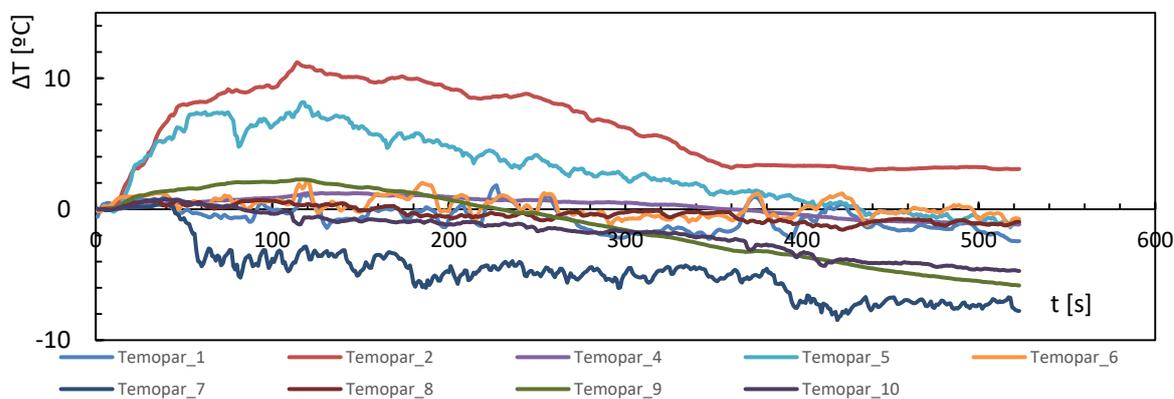


Figura 5.49 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF7)

Nos últimos ensaios colocou-se a cabine a uma distância muito próxima da frente de fogo, 0,25m. Foi observado que quando o sistema de aspersores foi ativado a frente de fogo que entrava em contato com a água não conseguiu atingir o seu pico de chama, tendo mesmo sido apagado, até onde os aspersores conseguiram enviar água. Isso é observado através do gráfico visto que quase todos os termopares não demonstraram variação de temperatura, apenas no vidro e no ombro é que ocorreu uma digna elevação devido ao facto de terem estado mais próximos das chamas e não foram influenciadas pelos aspersores.

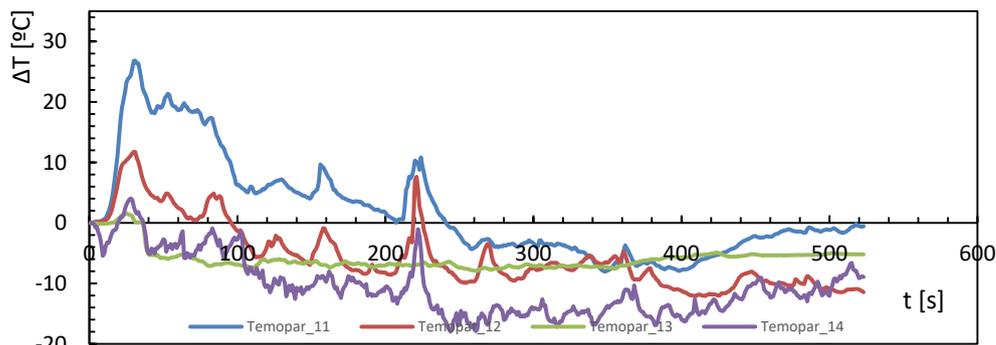


Figura 5.50 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF7)

Tal como na Figura 5.49, na Figura 5.50 observamos o mesmo, devido à extinção das chamas, as temperaturas obtidas foram muito inferiores às observadas nos ensaios que se realizaram a maiores distâncias. De notar que, no início ainda houve um aumento de temperatura devido às pequenas chamas que se originaram, mas depois baixaram e outras extinguíram-se por ação do acionamento dos aspersores.

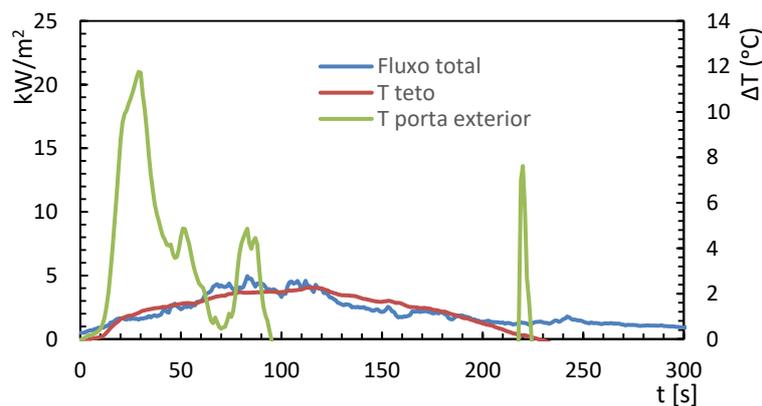


Figura 5.51 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF7)

Desta figura não se podem tirar muitas elações visto que o fluxo que é registado é de chamas que não estavam na direção do veículo, pois as chamas que estavam nessa direção foram apagadas pelos aspersores, com isto concluímos que este fluxo teve pouca influência sobre as temperaturas.

Tabela 5.4 - Variação máxima das temperaturas de cada termopar

Termopar	EF1 (°C)	EF2 (°C)	EF3 (°C)	EF4 (°C)	EF5 (°C)	EF6 (°C)	EF7 (°C)	EF8 (°C)
1 Interior da porta	0,1	2,7	1,4	4,2	1,75	7,7	1,85	3
2 Interior da janela	10	10,5	50	60	68	80,4	11	20
3 cabeça	5,9	7,5	-	6,3	4,8	8,3	1,5	-
4 peito	4,2	5,4	5	7,5	8,3	10,5	1,2	3,8
5 ombro	7,9	10,5	10	17	26	33	8	12
6 mão	0,8	2,2	1,4	3,1	2	6.1	2.2	3
7 pé	0,2	1	1,1	2	0.2	2.8	0.35	0.5
8 volante	3,5	4,6	4	4,9	4.5	6,4	0.8	1
9 Interior do teto	8,6	10.6	10.2	13,2	12,8	20,6	2.1	5.5
10 Interior da janela frontal	6	6.5	0.2	9,4	3,3	16,7	0.8	4.8
11 Exterior da janela	12,4	14,8	30	76,4	89	90	27	36.5
12 Exterior da porta	21,4	28,4	51,1	105	122	155	12	39
13 Exterior da janela frontal	6,6	5	0,3	16,6	1	25,7	1.6	22
14 Exterior do teto	7,5	6	5,3	2,6	1,2	9,7	4	27

Analisando a Tabela 5.4 conclui-se que em todos os ensaios realizados com o sistema ativo os valores da temperatura são inferiores comparando-os com o sistema desativado, inferindo este sistema como eficaz na redução das temperaturas. Mesmo estando este sistema ativo podemos conferir alguns aumentos significativos de temperatura. No entanto um sistema de pulverização bem concebido, permite proporcionar aos Bombeiros que se encontram no interior da cabine boas condições de permanência.

Através dos valores representados podemos ver que à distância de 2.5m com frente de fogo semelhantes a tripulação não se encontra em perigo visto que não se atingem os 45°C, temperatura que a pele humana pode tolerar sem prejuízo. Porém com o aproximar

da frente de fogo e com maiores níveis de temperatura, os valores críticos são atingidos com maior facilidade quando o sistema está desativo, mas com o sistema ativo também podem acontecer, como é o caso do ensaio a 1m, no ombro, onde este valor subiu 26°C relativamente à sua temperatura inicial.

De seguida são apresentados os gráficos, representativos da temperatura em função da distância, em que c/s representa “com o sistema ativo” e s/s representa “sem o sistema ativo”:

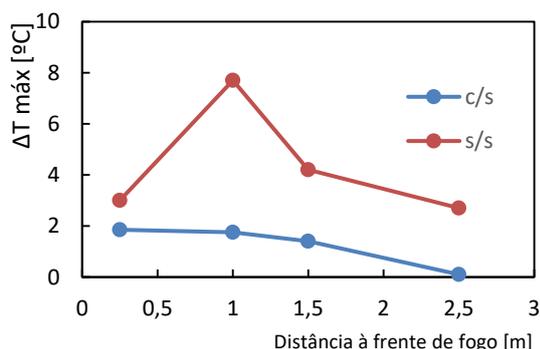


Figura 5.52 - Variação máxima da temperatura do interior da porta em função da distância

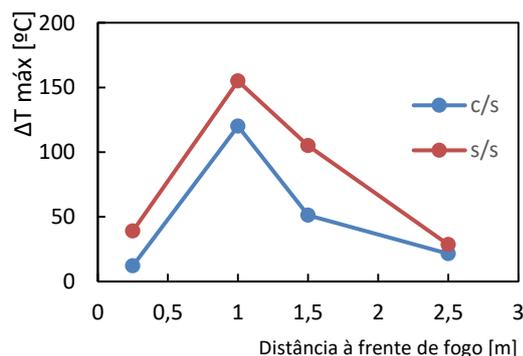


Figura 5.53 - Variação máxima da temperatura do exterior da porta em função da distância

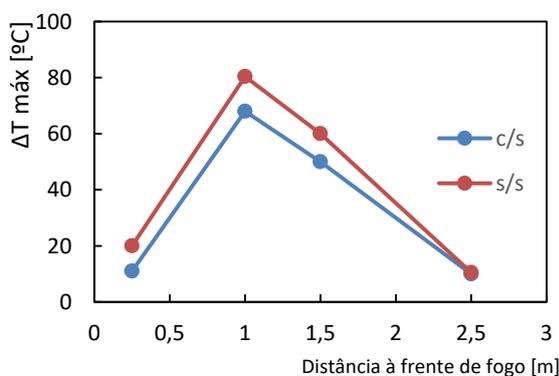


Figura 5.54 - Variação máxima da temperatura do interior da janela em função da distância

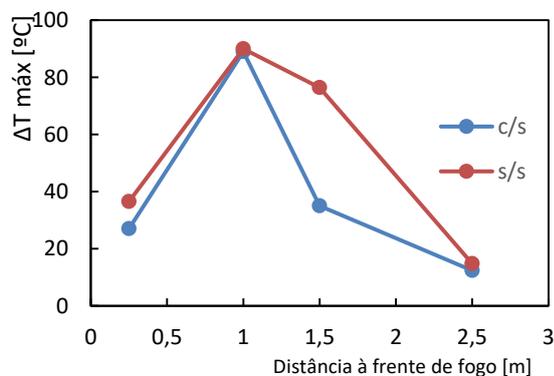
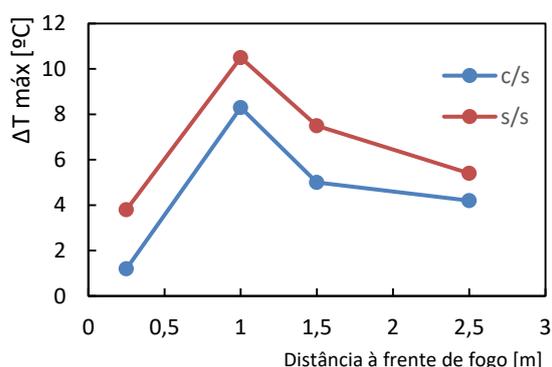


Figura 5.55 - Variação máxima da temperatura do exterior da janela em função da distância

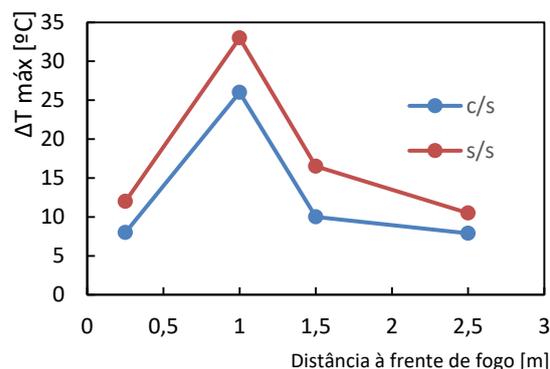
Através dos gráficos relativos a termopares colocados sobre a porta e vidro do lado de dentro e do lado de fora, presenciamos que nas zonas da porta a diferença de temperatura no seu interior varia muito relativamente à temperatura que se obtém na zona exterior, no interior o máximo que se obteve foi de 7,7 °C enquanto no exterior passou dos 155 °C. Concluimos que esta zona protege muito melhor e é capaz de impedir que a temperatura aumente no seu interior, em comparação com as janelas, nestas, as temperaturas no interior e no exterior tendem a manter-se mais próximas umas das outras. No interior

como é óbvio a temperatura é mais baixa, mas mesmo assim há grande transferência de calor e de radiações tal como tínhamos já referenciado antes e agora comprovado.

Vemos que no interior da porta o sistema ativo foi capaz de diminuir em 6 °C a temperatura, enquanto fora da porta diminuiu cerca de 50 °C, comparando os mesmos ensaios quando o sistema estava desativo e quando estava ativo. Quanto à janela também isso é visível, no interior a temperatura foi diminuída 12 °C, no exterior o valor é posto em causa quando a distância foi de 1,5m, pois deve ter caído água que condicionou os dados.



**Figura 5.56 - Variação máxima da temperatura do peito em função da distância**



**Figura 5.57 - Variação máxima da temperatura do ombro em função da distância**

No caso do peito e ombro, a variação da temperatura ocorrida nestes pontos da cabine tendem a aumentar de forma idêntica com o aproximar da frente de fogo, no entanto as temperaturas registadas em cada um são diferentes, no ombro verifica-se que são mais elevadas. Verifica-se que quando aproximamos a frente de fogo à cabine de 2,5 m para 1,5 m registou-se uma subida ligeira comparativamente ao aproximar da cabine de 1,5 a 1 m. Numa primeira aproximação temos uma diferença com o sistema ativo no peito de 0,8 °C e no ombro de 2,1 °C, numa segunda aproximação a diferença no peito já foi de 3,3 °C, no ombro foi de 16 °C. Nos ensaios sem o sistema ativo no peito houve uma subida de 2,1 °C numa primeira aproximação, na segunda um aumento de 3 °C. Já no ombro, primeiro houve um aumento de 6 °C porém na segunda a elevação foi de 16,5 °C. Não é possível continuar esta análise para os valores de 0,25 m pelas razões que referi anteriormente. Uma vantagem do sistema ativo foi conseguir, por exemplo que a temperatura no peito diminuísse 2,5 °C e no ombro 7 °C.

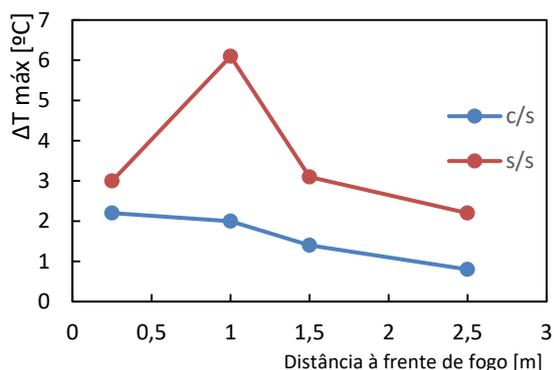


Figura 5.58 - Variação máxima da temperatura da mão em função da distância

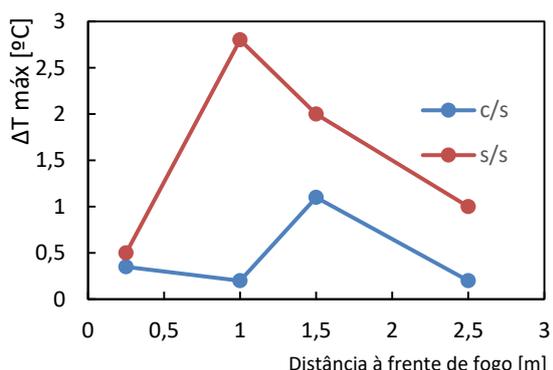


Figura 5.59 - Variação máxima da temperatura do pé em função da distância

Os resultados destes dois gráficos sem o sistema ativo correspondem à normalidade com uma subida de temperatura com o aproximar da frente de fogo. Devido à entrada de gotas de água na cabine, que atingiram o pé, levou a que os resultados não correspondessem ao esperado, com ligeiras diminuições da temperatura.

Apesar disso podemos concluir uma certa eficácia na diminuição da temperatura por parte do sistema. Na mão conseguiu reduzir as temperaturas desde 1,5 até 4 °C e no pé nos primeiros ensaios 1 °C, sendo que no ensaio a 1 metro não se podem tirar conclusões.

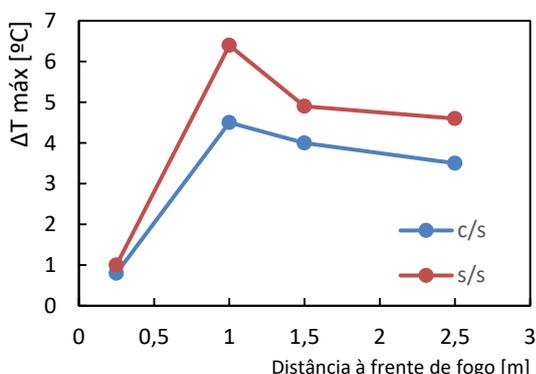


Figura 5.60 - Variação máxima da temperatura do volante em função da distância

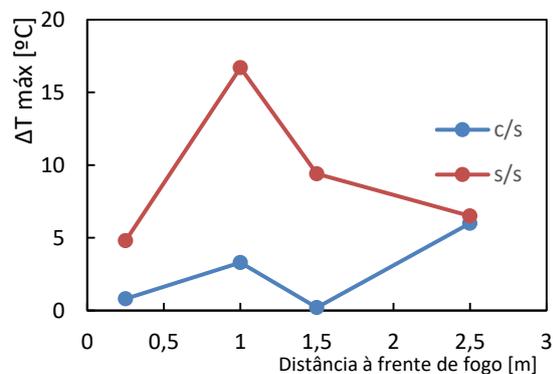
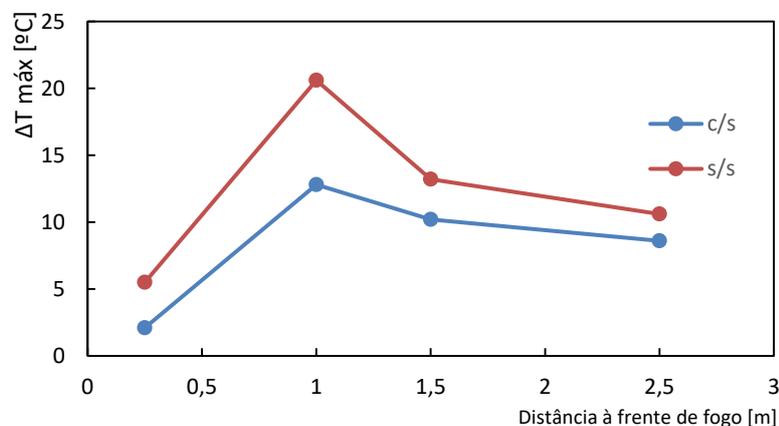


Figura 5.61 - Variação máxima da temperatura do vidro frontal em função da distância

O vidro frontal demonstrou mais uma vez pouca isolamento tendo permitido a entrada de várias pingas, limitando e comprometendo a boa medição dos valores dos termopares; no entanto sem o sistema ativo vemos um aumento normal da temperatura atingindo um máximo na distância de 1m, com um aumento de temperatura de 16,5°C. No volante o aumento foi pouco mas também observamos que conforme se diminuiu a distância, maior variação de temperatura ocorreu.

Os termopares confirmam a capacidade do sistema diminuir as temperaturas na cabine comparativamente aos casos em que não houve essa proteção, sendo que no volante conseguiu reduzir até 2,2 °C.



**Figura 5.62 - Variação máxima da temperatura do teto em função da distância**

Outro caso representativo é a temperatura na zona do teto onde se acumula mais calor e para onde o calor tende a fluir.

Quando o sistema estava ativo a 2,5 m houve um aumento de 8,5°C sobre a temperatura inicial, quando se aproximou a frente de fogo à cabine para 1,5 m e para 1 metro, a variação foi de 10,1 e 13 °C respetivamente. No ensaio em que o sistema estava desativado, a 2,5 m a variação foi de 10,5 °C, a 1,5 m foi de 13°C e a 1 metro foi de 20,5 °C.

Vemos que o sistema conseguiu diminuir até 7,5 °C, quando comparados os valores com o sistema ativo e desativo, podemos também constatar que essa maior diminuição ocorreu quando a frente de chamas estava a 1 m da cabine.

A ilustrar, apresentamos em seguida a tabela resumo dos fluxos.

**Tabela 5.5 - Tabela resumo dos fluxos**

	Fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )	Intensidade (kW/m)	Altura de chama (m)	Momento do ponto máximo da altura de chama (s)
EF1	7,82	1983,81	2,56	40
EF2	10,3	2798,81	3	110
EF3	7,71	2000,67	2,57	85
EF4	7,62	1528,26	2,27	210
EF5	10,49	1678,12	2,37	100
EF6	7,64	1161,06	2	75
EF7	4,95	1678,12	2,37	105
EF8	3,47	586,49	1,46	150

Como não tínhamos células de carga, para medir a variação de massa, recorreu-se à altura da chama. A partir dela conseguimos ter uma noção da forma como a intensidade é libertada pela frente de fogo ao longo do ensaio.

Em apêndice apresento os gráficos referentes aos ensaios que não foram apresentados no texto principal, assim como os gráficos com as temperaturas reais registadas pelos termopares dentro da cabine.

## 6. CONCLUSÃO

O Estudo foi operacionalizado em procedimentos de ensaio com testes vários para a prossecução dos objetivos propostos que consistiram na análise da eficácia dos aspersores em cabines num cenário de frente de fogo. Com os ensaios realizados pretendeu-se dar um contributo para a temática “Estudo de sistemas de proteção de veículos de bombeiros”.

Os testes realizados permitiram explorar o funcionamento do sistema e dos vários componentes, inclusive testar algumas condicionantes, nomeadamente o vento, permitiram concluir através da contabilização do caudal expelido por cada aspersor, que o sistema tem que ser melhorado, já que a zona do condutor foi a menos protegida, o que devendo ser ao contrário, dado encontrarem-se aí os mecanismos que permitem a retirada da viatura.

Realizaram-se oito ensaios agrupados dois a dois relativamente à distância da frente de fogo à cabine (2,5m; 1,5m; 1m e 0,25m); num ensaio o sistema de proteção estava ativado e no outro não. Foram executados no dia oito de junho, o primeiro teve início às 10,03h e o último às 17,17h; três foram no período da manhã e os restantes de tarde. As temperaturas ambientais estiveram compreendidas entre os 21,3°C e os 30,6°C. No primeiro ensaio a temperatura no interior da cabine, rondou os 21°C; nos restantes as temperaturas foram inflacionadas, devido à acumulação do calor dos ensaios anteriores, por terem sido realizados em várias partes do dia (onde as temperaturas exteriores variaram) e devido à estratificação térmica ocorrida na cabine, optou-se então por trabalhar com a variação da temperatura. Cada ensaio teve a duração de cerca de cinco minutos, o caudal bombeado rondou os 73 l/min e usou-se 60 kg de combustíveis distribuídos por uma frente de 6 m.

Os ensaios efetuados permitiram concluir que o sistema de aspersores é eficaz na redução de temperatura, ajudando a diminuir a temperatura no interior da cabine, assim como contribui para o arrefecimento do seu exterior e do espaço envolvente, dificultando a combustão do veículo, visto ser um tópico essencial pois se este for comprometido os seus tripulantes ficam sujeitos a condições extremas. Apesar de ajudar na diminuição da temperatura, alguns valores continuam a ser elevados, não se podendo concluir uma completa eficácia do sistema, nem garantir que perante incêndios de maior intensidade os Bombeiros fiquem fora de perigo. Supondo não se terem realizado ensaios anteriormente e que as temperaturas dos termopares no ensaios a 1.5m se iniciaram à temperatura ambiente,

podemos concluir que com o sistema ativo a temperatura registada no manequim não excedeu limites críticos enquanto sem o sistema ativo o limite de tolerância pode ter sido atingido, neste exemplo o sistema foi benéfico. No entanto no ensaio 5 também junto ao ombro obteve-se um aumento significativo levando a valores de risco, 55.4°C, pondo este sistema em causa. No ensaio com o sistema ativo (ensaio 7), o sistema coibiu o desenvolvimento da chama (humedecendo a zona envolvente, a propagação do fogo foi inibida), impedindo também a danificação do veículo, podemos concluir que neste caso o sistema foi eficaz, pois não havendo propagação do incêndio, não há perigo. No ensaio 8 com o sistema desativado as chamas tiveram que ser extintas para não danificar a cabine.

Relativamente aos aspersores existentes, consideramos que o *aspersor 2* seja o mais indicado para o sistema de proteção, tendo em conta os testes realizados com o vento e o valor da perda de carga de cada um.

Melhorando o sistema com uma cortina mais uniforme e densa de água entre o fogo e a cabine a sua eficiência aumentará. B. Paix, 1999, referiu que são necessários 250 l/min para absorver toda a energia da radiação (2500 kW/m). O sistema utilizado não tendo essas características, usando apenas 74 l/min já contribuiu para uma boa redução da temperatura o que nos permite ter esperança no sistema se for aperfeiçoado.

Para melhorar a proteção, sugerimos a associação de outros sistemas, tal como a manta protetora; ou alterar o próprio sistema, conferindo-lhe aumento do caudal e consecutivamente a pressão dos vários pontos, assim como o acréscimo do número de aspersores colocados à volta do veículo. Sugiro também a modificação do sistema de tubagens para que a distribuição do caudal se faça de forma idêntica para todos os aspersores.

O estudo apresentado neste trabalho teve carácter preliminar, sendo necessário continuar a fazer novos ensaios em condições mais severas, com o sistema melhorado e alterando a posição da cabine relativamente à frente de fogo, por exemplo, colocar a cabine de frente para a frente de fogo.

Em termos de propostas para o trabalhos futuros, emerge a hipótese de um estudo de dois sistemas de proteção ativos em funcionamento simultâneo, e a hipótese de uma análise ao fator dos tóxicos que se encontram dentro da cabine num incêndio, visto ser um dos fatores que pode ser prejudicial à saúde, inclusive levar à morte dos tripulantes, sendo um risco, por vezes até maior que as temperaturas e radiações originárias das frentes de fogo, para todos os bombeiros que se refugiam dentro da cabine do veículo de combate a incêndios.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander M.E. e Lanoville R.A. Predicting fire behavior in the black spruce-lichen woodland fuel type of western and northern Canada. [Diário] // Can., North. Cent. edmonton, Alberta, and Gov. Northwest territ., Dep. RenewableRessor., Terri. FireCent., FortSmith, Northwest Territories. - Canada : [s.n.], 1989.
- Bond, A. and Cheney N.P., 1986. A Discussion Paper on techniques and Equipment For Bush Firefighters Entrapped by Fire. CSIRO, National Bushfire Research Unit, Canberra, Australia.
- Brown, S.K., M.Cheng, K.J. Mahoney, J. Leonard, D. Nichols, A. Canderle, I. Knight., 2003. Air Toxics Factors and Criteria for Crew Survivability/Tenability in Vehicle Burnover. 3rd International Wildland Fire Conference, 3-4 October 2003, Sydney, Australia.
- Cheney NP. (1972). Forestry and timber bureau studies human behaviour in bushfires don't panic and live. Nat/Dev Sept (CSIRO Division of Forestry)
- Cote, A. E., Grant, C. C., Hall, J. R., Powell, P. A., & Solomon, R. E. (2008). Fire protection handbook (Vol. 2). NationalFireProtectionAssoc, Section 16.
- De fogo, stress térmico na frente, no combate a incendio florestal, and avaliação de risco. "jornal homepage: [http://www.nicif.pt/riscos/Territorium/numeros\\_publicados](http://www.nicif.pt/riscos/Territorium/numeros_publicados)."
- Fire retardant In Wikipedia, The Free Encyclopedia. from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fire\\_retardant&oldid=736824886](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fire_retardant&oldid=736824886)
- Foster, J. A., & Roberts, G. V. (1994). Measurements of the firefighting environment. Home Office Fire Research and Development Group.
- Knight I.K., 1988. What Intensity of Fire Can a Firefighter Survive in a Reflective Shelter. Fire Technology Vol 24, No. 4 Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts, USA.
- Knight, I., J. Leonard, D. Nichols, A. Canderle, 2003. Thermal Factors for Human Survival in Fire Tanker Burnovers. 3rd International Wildland Fire Conference, 3-4 October 2003, Sydney, Australia.
- Leonard, J, 2010, "Fire Note", issue 9 November 2010, "Passenger Vehicle Burnover In Bushfire", pág, 2-3
- Leonard, J, "Australia Fire, Winter 2008, Cars put to the tes", pág. 10-11
- Liu, Zhigang, and Andrew K. Kim. "A review of water mist fire suppression systems—fundamental studies." Journal of fire protection engineering 10.3 (1999): 32-50.
- MacIndoe L., J. Leonard, R. Blanche, S. Brown, 2009, Fire Tanker Tests April 2009. CSIRO Sustainable Ecosystems, USP 2008/017, May 2009, Crace, Australian Capital Territory, Australia.
- Mangan R. Surviving Fire Entrapments - Comparing Conditions Inside Vehicles and Fire Shelters [Relatório]. - Missoula, Montana : United States Department of Agriculture - Forest Service - Technology & Development Program, 1997.

- Nichols D [et al.] Development of Fire Fighting Vehicle Crew Protection Systems [Diário] // 3rd International Wildland Fire Conference,. - Sydney, Australia : CSIRO, 2003.
- Nichols D. [et al.] Development of Fire Fighting Vehicle Crew Protection Systems [Diário]. - Melbourne, Victoria, Australia : [s.n.], 2003.
- Nichols, D., 2004. Hazard in the Workplace – Fire Crew Protection. 11th Annual AFAC Conference & Inaugural Bushfire CRC Conference, 7-9 October 2004, Perth, Australia.
- Paix, B. 1999. Improving Burnover Protection for Australian Bushfire Appliances. Proceedings Bushfire 99, July 1999, Albury, Victoria, Australia.
- Paix, B. From Wandilo to Linton – Lessons learned from an indepth analysis of 40 years of Australian Bushfire Tanker Burnovers. International Association of Wildland Fire 3<sup>rd</sup> Annual Safety Summit, Sydney Australia, 2-5 Nov 1999.
- Quintal, Pedro Emanuel da Silva - Caracterização do stresse térmico no combate a incêndios e avaliação de sistemas de arrefecimento individual.Coimbra:[s.n],2012. Dissertação de Mestrado
- Taylor, N. A. S. (2005), “Challenges to Temperature Regulation When Working in Hot Environments”, Human Performance Laboratories, School of Health Sciences, University of Wollongong, Australia.
- Teixeira, Joel Ricardo da Silva (2015) – “Segurança de Veículos em Incêndios Florestais” Dissertação de Mestrado Universidade de Coimbra
- Viegas D.X. Estudo do acidente ocorrido no Concelho de Mortágua- 28 de Fevereiro de 2005 [Relatório]. - Coimbra : ADAI-CEIF, 2005.
- Viegas D.X., Rossa C. e Ribeiro L.M. Incêndios Florestais [Livro]. - Lisboa : Verlag Dashofer, 2011. - Vol. I.

## ANEXO A

### Limites de exposição térmica quando os bombeiros estão expostos a um incêndio

1. De rotina – Condição de operação mais comum para o Bombeiro. Limite de 25 min a 100°C na roupa com radiação térmica limite de 1kW/m<sup>2</sup>;
2. De perigo – Espera-se quando o bombeiro irá trabalhar por um período curto de tempo em alta temperatura em combinação com alta radiação térmica. Limite de 1 minuto a 160°C na roupa com radiação térmica de 4 kW/m<sup>2</sup>. Um limite intermediário foi criado para representar as condições que podem ser toleradas até 10 min;
3. Extremas – Ocorre tipicamente em situações de resgate, ou, no pior caso, da fuga em uma situação de generalização do incêndio. Acontece na região acima de 1 min a 160°C na roupa com radiação térmica de 4 kW/m<sup>2</sup> e abaixo de 235°C e 10 kW/m<sup>2</sup>.
4. Críticas – São condições acima de 235°C na roupa e radiação térmica acima de 10 kW/m<sup>2</sup>. Existe o risco de morte. (Foster e Roberts, 1994)

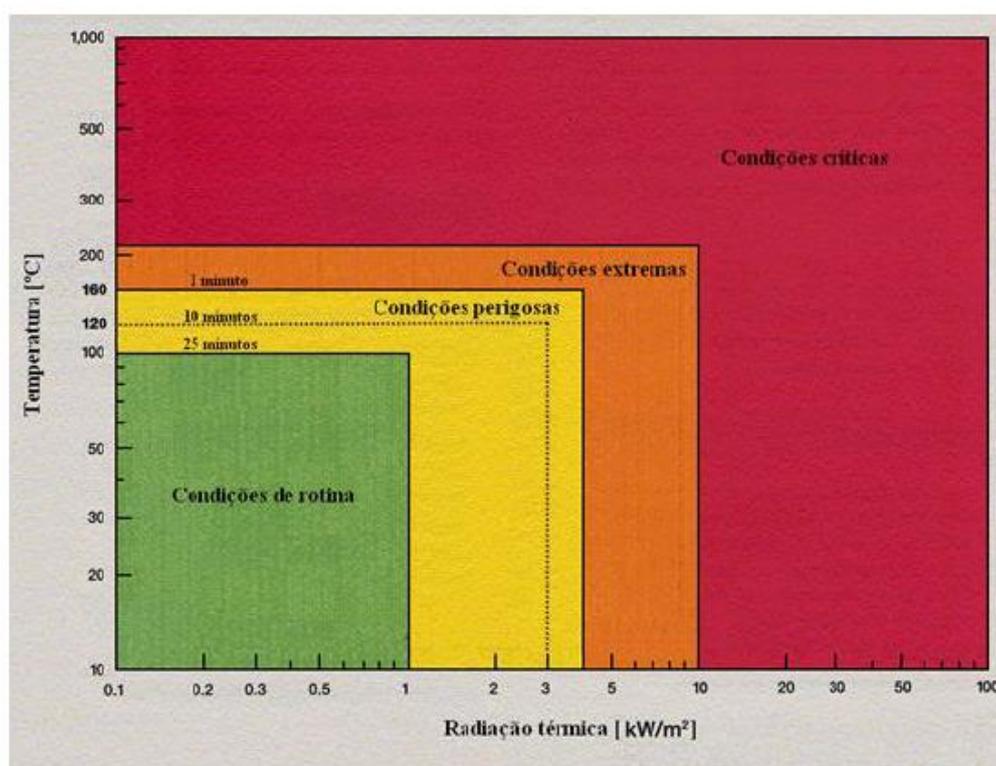


Figura A1 - Limites de exposição térmica quando expostos a um incêndio. Adaptado de Foster e Roberts, 1994



## APÊNDICE A

### Ensaio EF3 e EF4

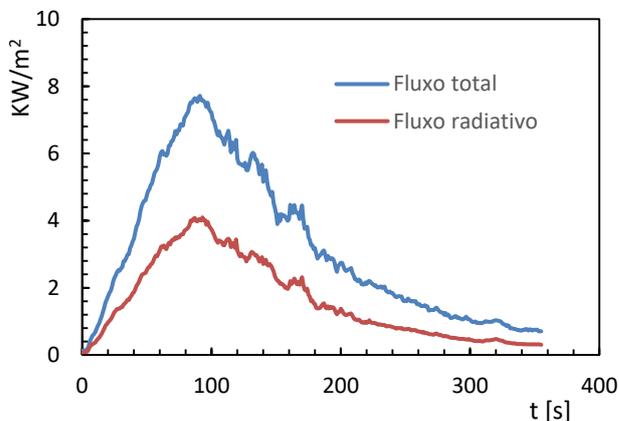


Figura A2 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (EF3)

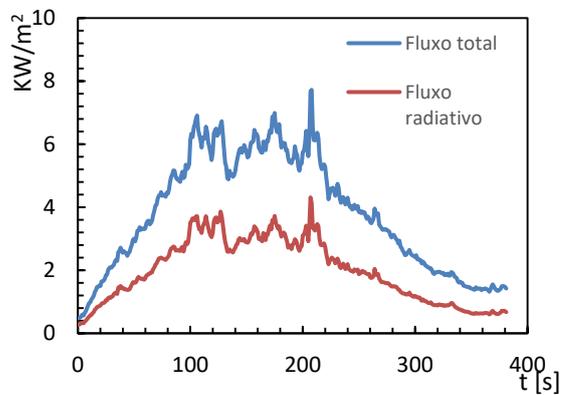


Figura A3 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (EF4)

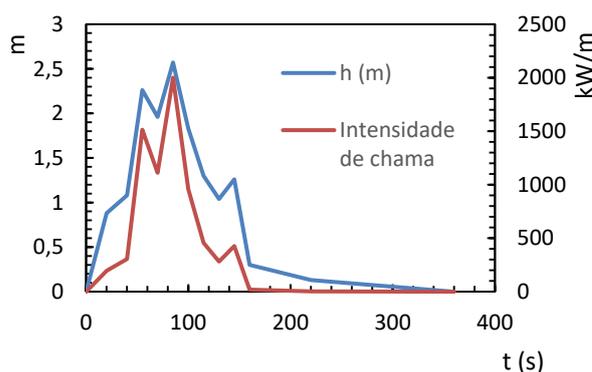


Figura A4 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF3)

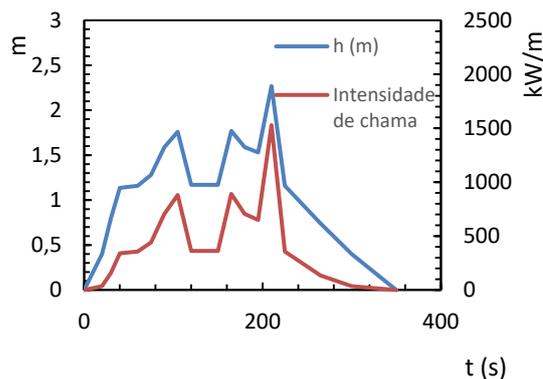


Figura A5 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF4)

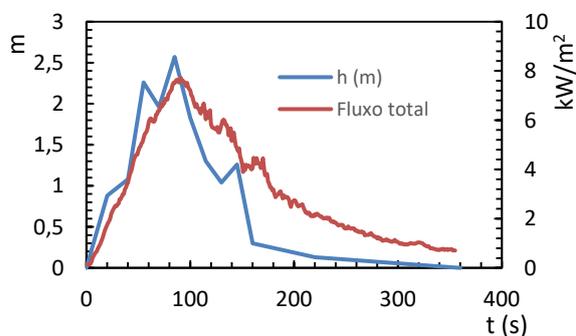


Figura A6 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF3)

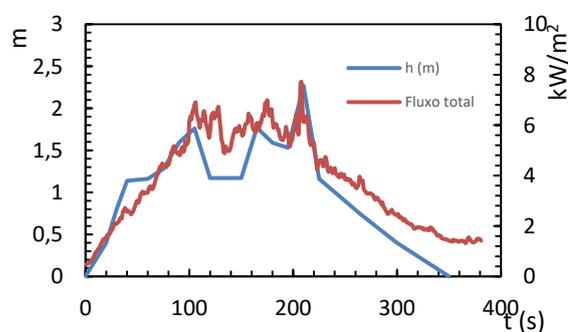


Figura A7 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF4)

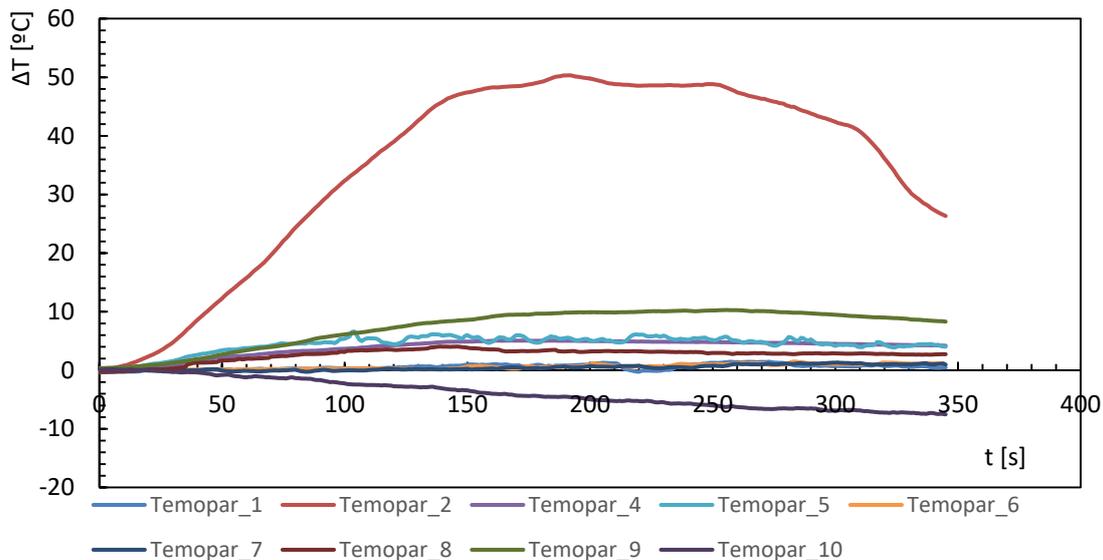


Figura A8 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF3)

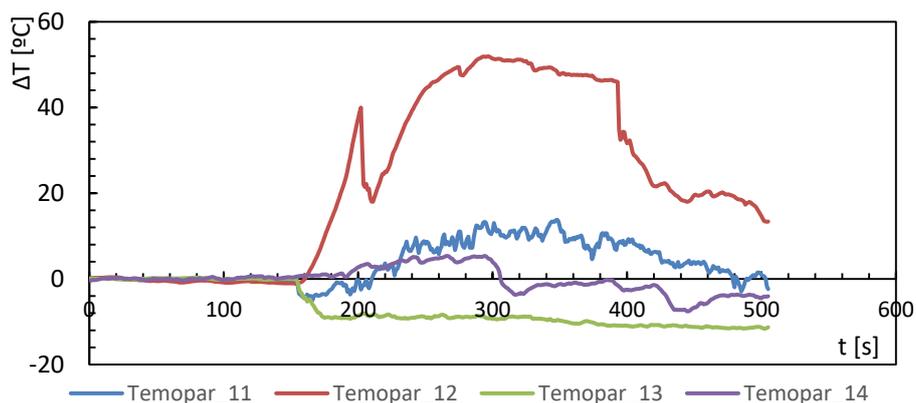


Figura A9 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF3)

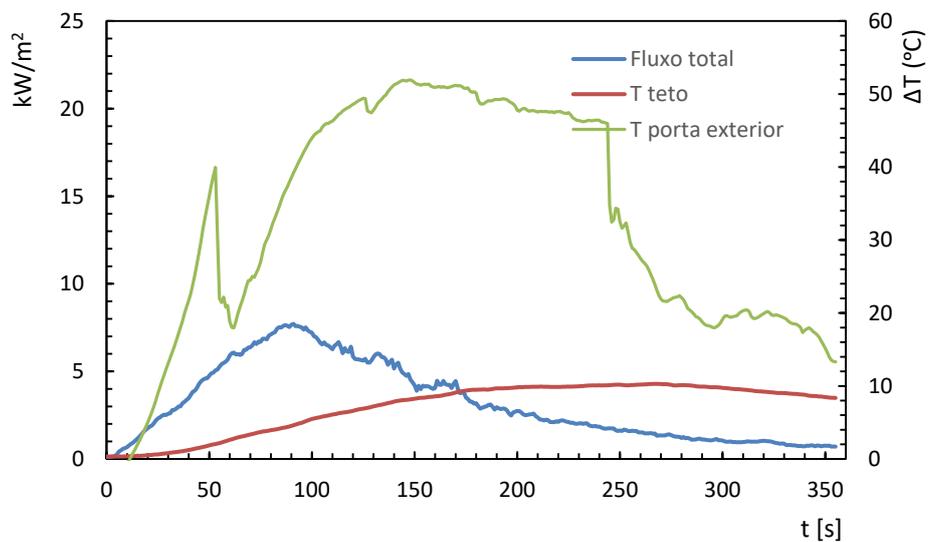


Figura A10 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF3)

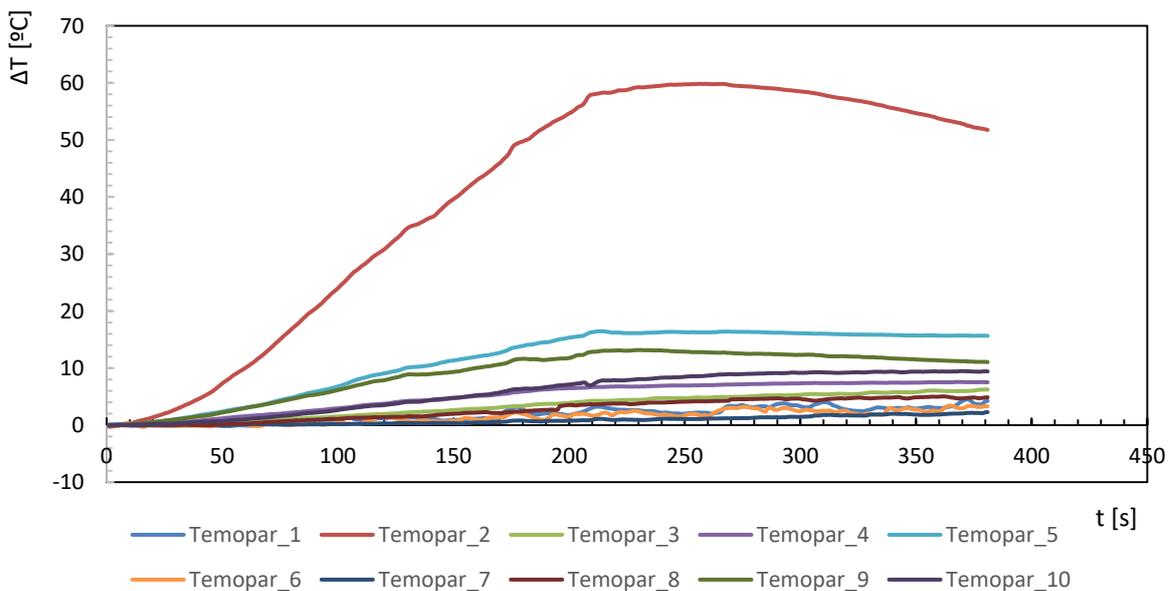


Figura A11 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF4)

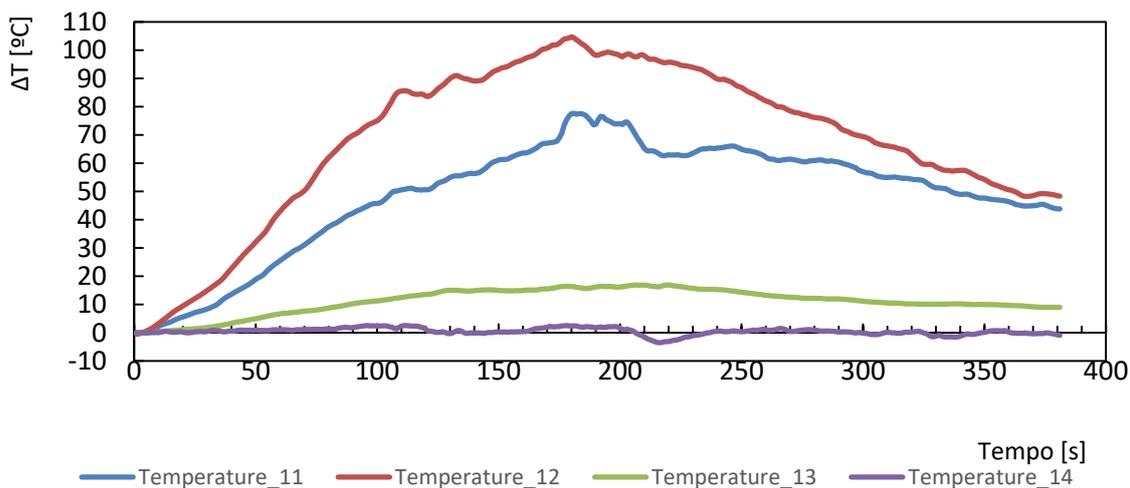


Figura A12 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF4)

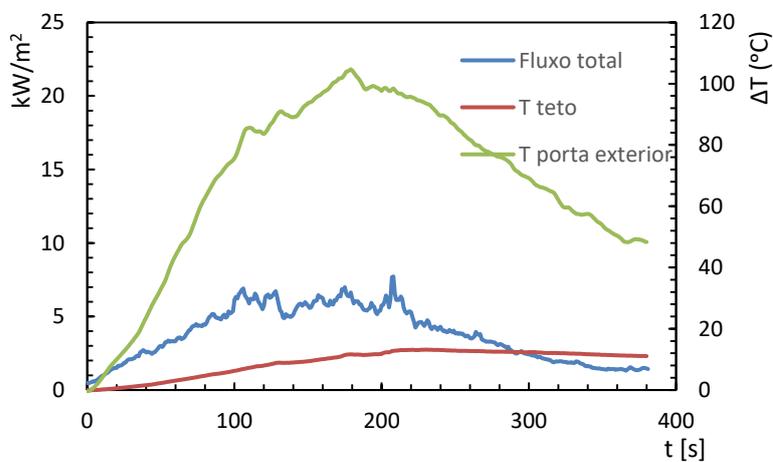
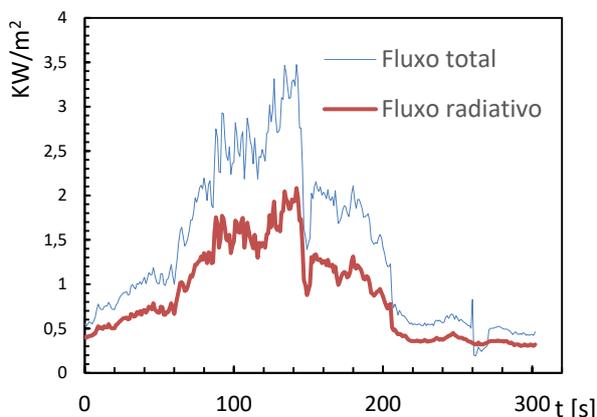
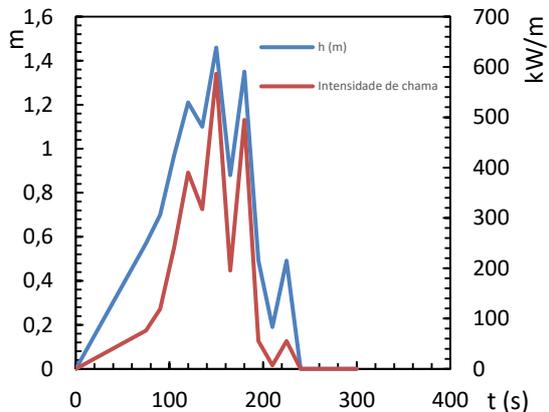


Figura A13 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF4)

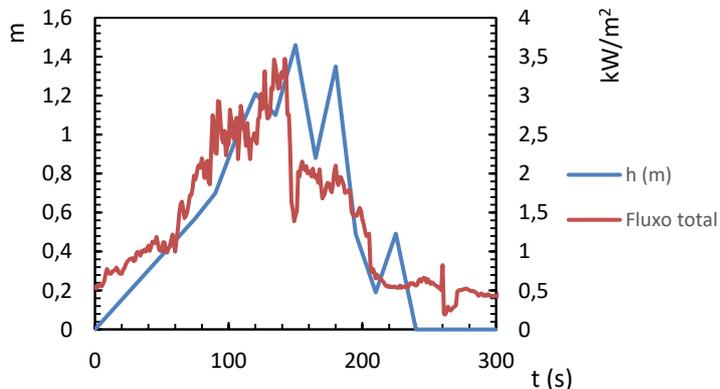
**Ensaio EF8**



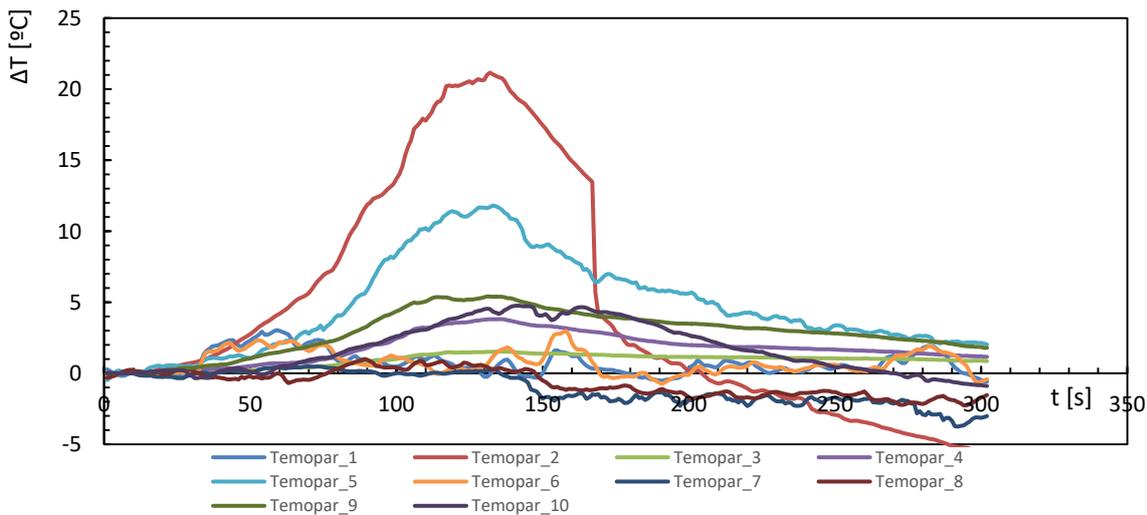
**Figura A14 - Fluxo radiativo e fluxo total de calor em função do tempo (EF8)**



**Figura A15 - Intensidade e altura da chama da frente de fogo em função do tempo (ensaio EF8)**



**Figura A16 - Relação entre altura de chama e fluxo total (EF8)**



**Figura A17 - Variação das temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF8)**

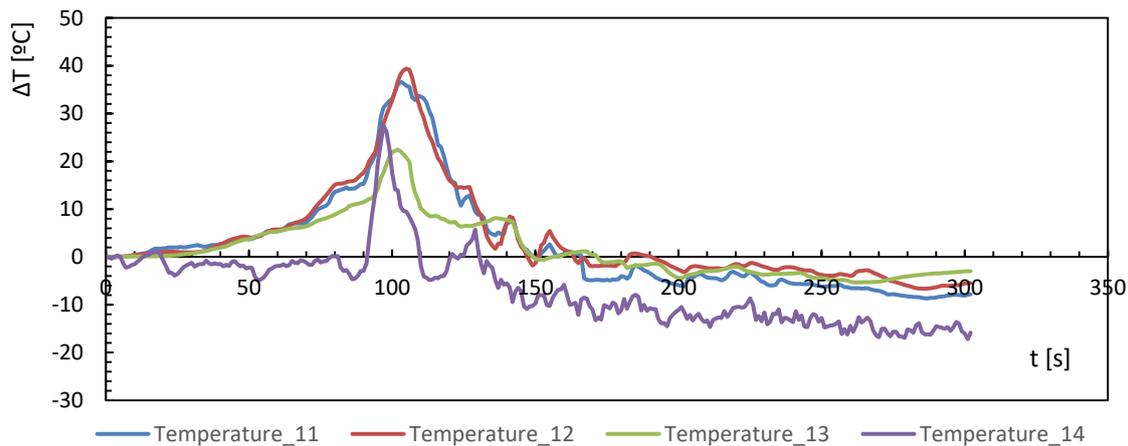


Figura A18 - Variação das temperaturas registadas no exterior da cabine através de termopares (EF8)

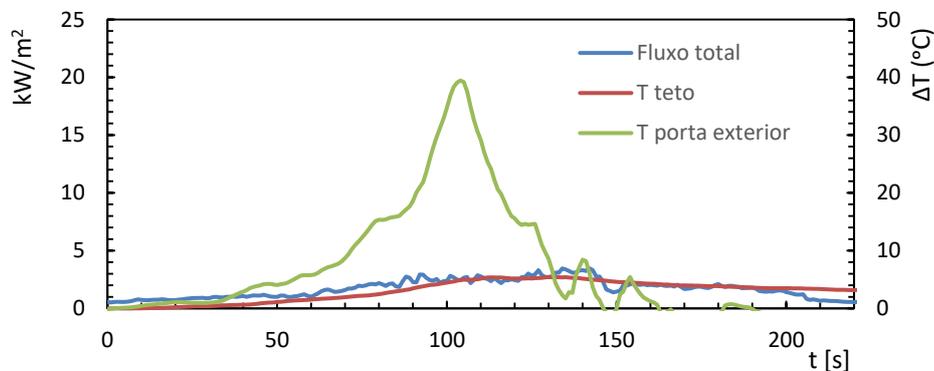


Figura A19 - Relação entre o Fluxo e termopares (EF8)

**Temperaturas reais**

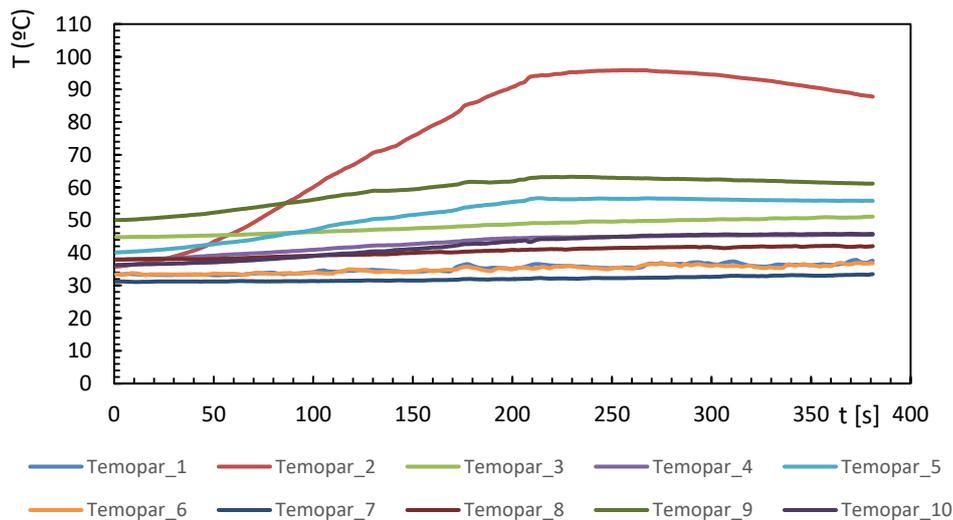


Figura A20 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF1)

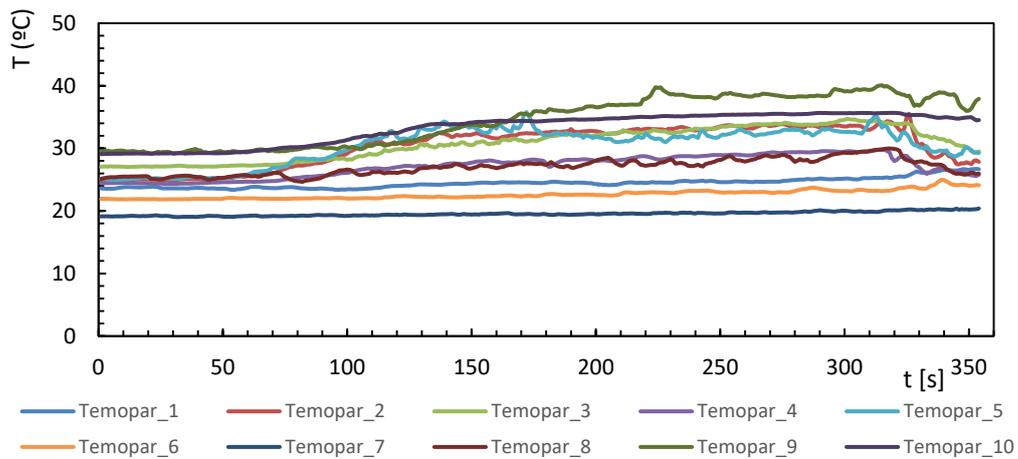


Figura A21 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF2)

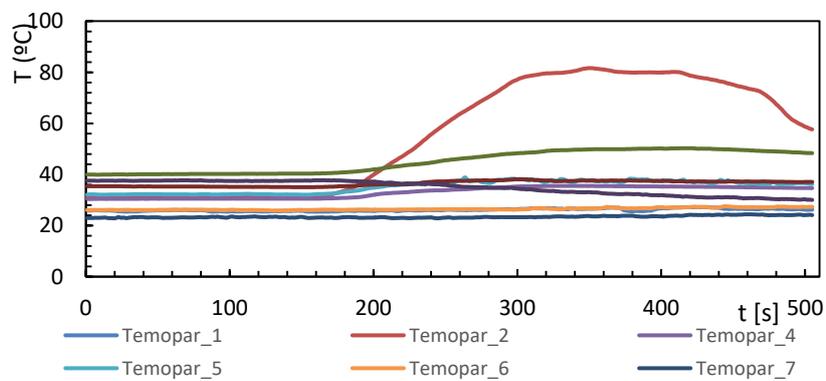


Figura A22 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF3)

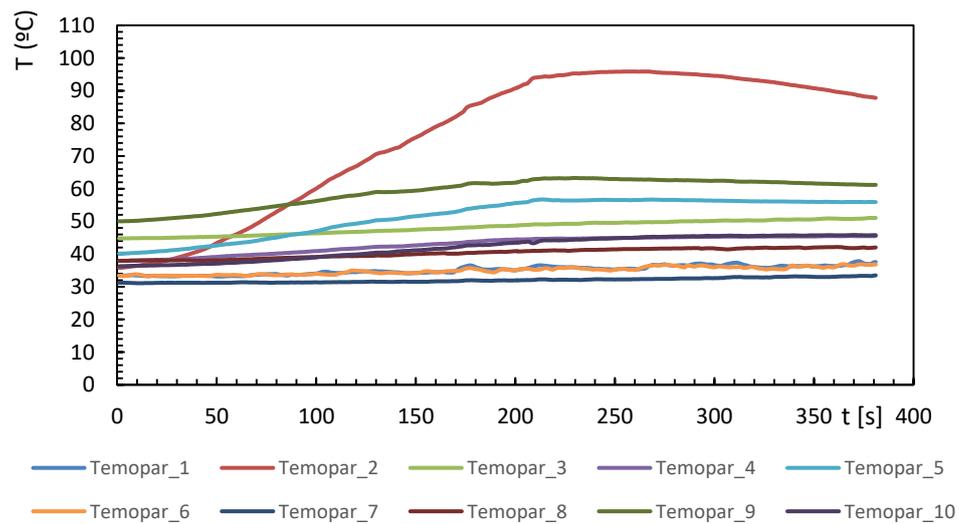


Figura A23 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF4)

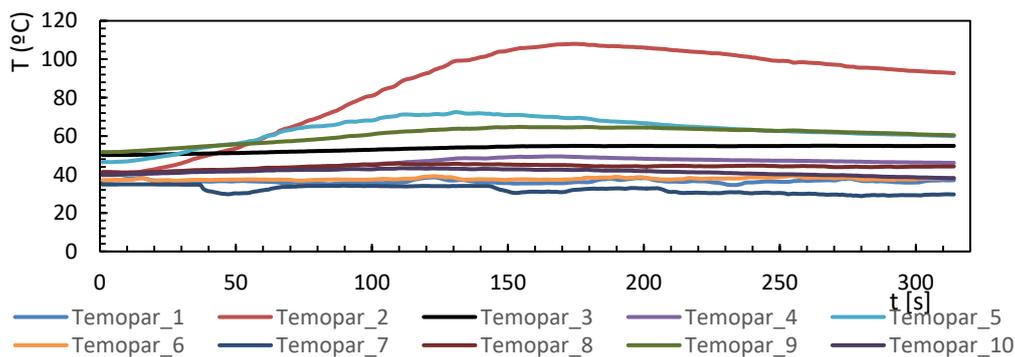


Figura A24 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF5)

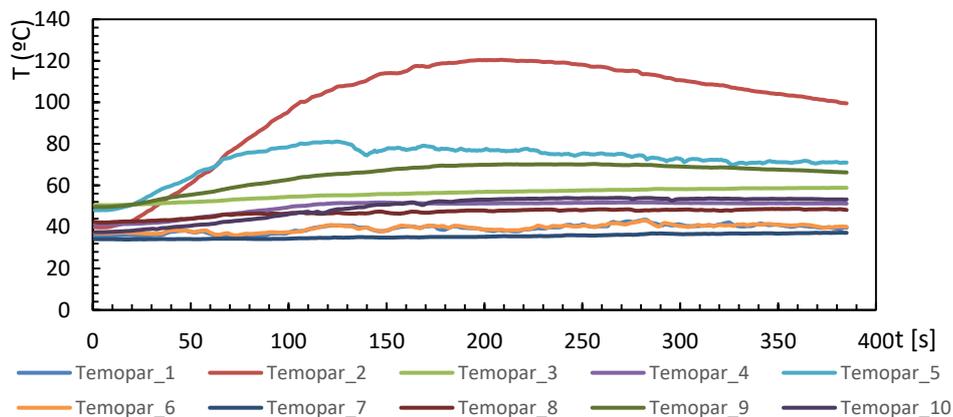


Figura A25 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF6)

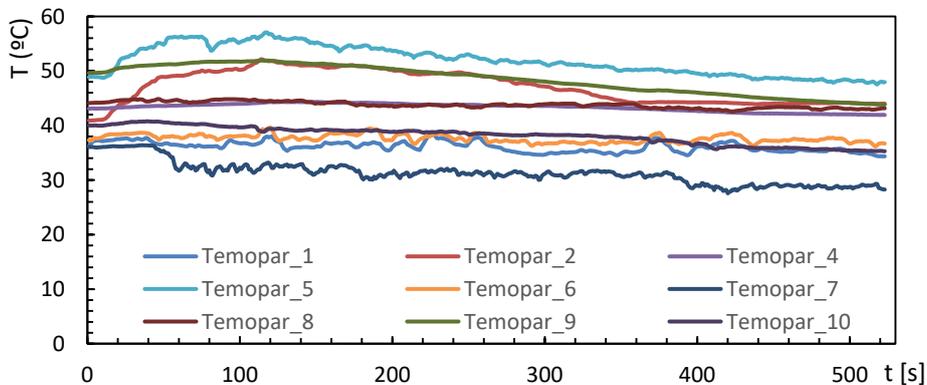


Figura A26 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF7)

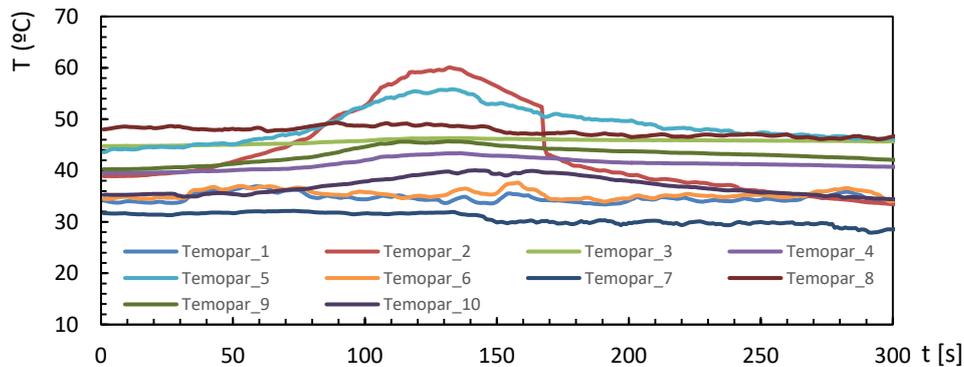


Figura A27 - Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares (EF8)



## APÊNDICE B

### Medidas Sprinkler

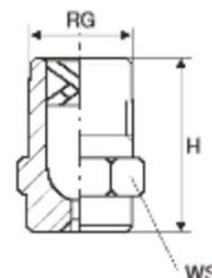
#### Cone

DDW 2235 T1 PNR

Polegadas : ½ / Code : DD / H (altura) = 3.3 cm / WS = 2,2 cm

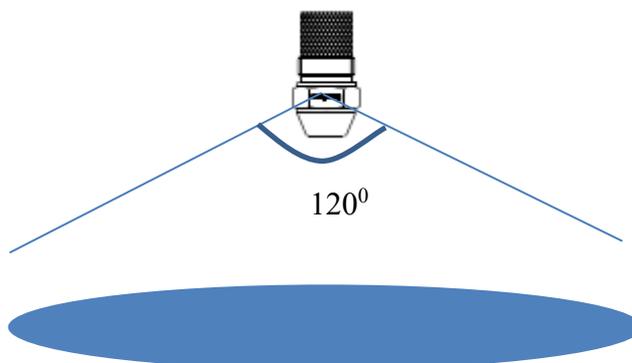
Diâmetro no interior da rosca : 1,3 cm

Diâmetro interior do bico do aspersor : 0,64 cm



Spray angle 120°

DAW	DBW	DCW	DDW	Code	D	D1	0.7	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10
•				1118 xx	1.2	0.8	0.57	0.68	0.96	1.18	1.52	1.80	2.15
•				1147 xx	1.3	0.9	0.71	0.85	1.20	1.47	1.90	2.25	2.68
•				1188 xx	1.5	1.0	0.91	1.09	1.54	1.88	2.43	2.87	3.43
•				1212 xx	1.6	1.1	1.02	1.22	1.73	2.12	2.74	3.24	3.87
•				1235 xx	1.6	1.2	1.14	1.36	1.92	2.35	3.03	3.59	4.29
•				1294 xx	1.9	1.3	1.42	1.70	2.40	2.94	3.80	4.49	5.37
•				1370 xx	2.1	1.4	1.79	2.14	3.02	3.70	4.78	5.65	6.76
	•	•		1470 xx	2.4	1.6	2.27	2.71	3.84	4.70	6.07	7.18	8.58
	•	•		1588 xx	2.7	1.8	2.84	3.39	4.80	5.88	7.59	8.98	10.7
	•	•		1659 xx	3.0	1.8	3.18	3.80	5.38	6.59	8.51	10.1	12.0
	•	•		1740 xx	3.1	1.9	3.57	4.27	6.04	7.40	9.55	11.3	13.5
	•	•		1835 xx	3.3	1.9	4.03	4.82	6.82	8.35	10.8	12.8	15.2
	•	•		1940 xx	3.5	1.9	4.54	5.43	7.68	9.40	12.1	14.4	17.2
	•	•		2105 xx	3.7	2.3	5.07	6.06	8.57	10.5	13.5	16.0	19.2
		•		2117 xx	3.8	2.4	5.65	6.75	9.55	11.7	15.1	17.9	21.4
		•		2147 xx	4.2	2.7	7.10	8.49	12.0	14.7	19.0	22.5	26.8
		•		2164 xx	4.4	2.7	7.92	9.47	13.4	16.4	21.2	25.1	29.9
		•	•	2188 xx	4.6	3.1	9.08	10.9	15.4	18.8	24.3	28.7	34.3
			•	2235 xx	5.3	3.3	11.4	13.6	19.2	23.5	30.3	35.9	42.9
			•	2294 xx	5.9	4.1	14.2	17.0	24.0	29.4	38.0	44.9	53.7
			•	2370 xx	6.6	4.7	17.9	21.4	30.2	37.0	47.8	56.5	67.6



### **Cortina**

Polegadas da rosca :  $\frac{1}{2}$  / H (altura) = 4,51 cm / WS = 2,4 cm

Diâmetro no interior da rosca (à entrada) : 1,35 cm

Vai diminuindo até

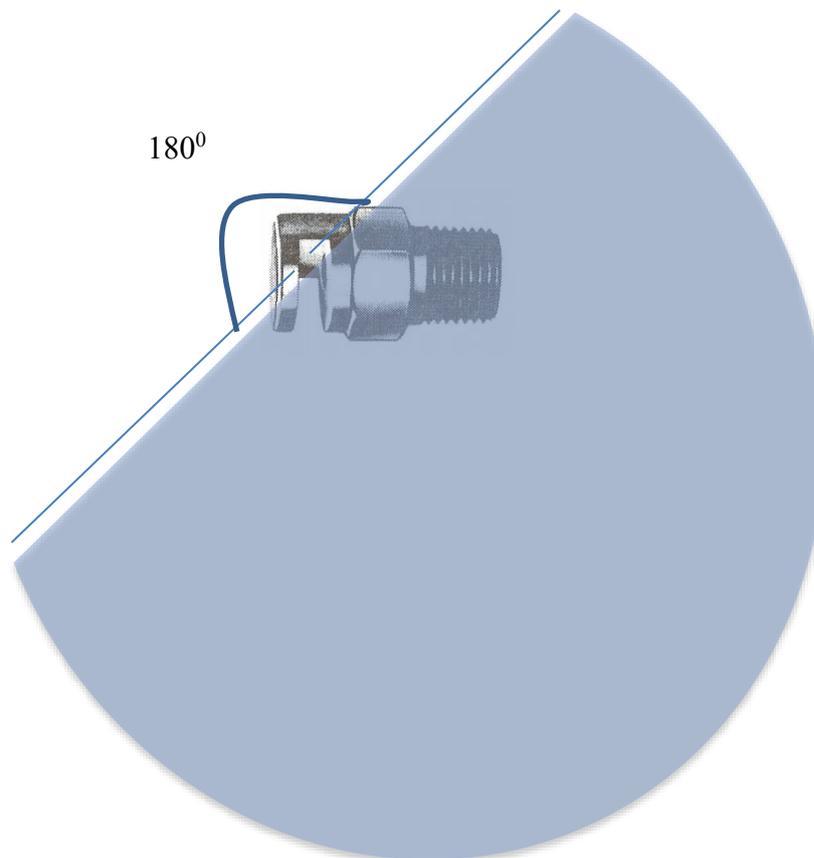
Diâmetro interior do aspersor (à saída) : 0,64 cm

Diâmetro exterior da cabeça do aspersor : 2,39 cm

Ranhura :

0,5 cm de abertura

1,3 cm de profundidade



**Normal com ranhuras perpendiculares à porca (composto por 6 ranhuras)**

Polegadas da rosca :  $\frac{1}{2}$  / H (altura total) = 2,90 cm / WS = 2,44 cm

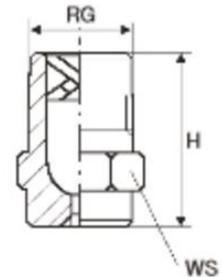
Diâmetro no interior da rosca : 1,6 cm

Ranhuras:

Em cima = 0,94 cm

De lado = 0,77 cm

Altura da cabeça = 1,2 cm

**Normal com ranhuras diagonais à porca (composto por 6 ranhuras)**

Polegadas da rosca :  $\frac{1}{2}$  / H (altura total) = 3,14 cm / WS = 2,91 cm

Diâmetro no interior da rosca : 1,6 cm

Ranhuras:

Em cima = 1,44 cm

De lado = 1,04 cm

Largura = 1mm

Altura da cabeça = 1,45 cm

