



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Segurança de Veículos em Incêndios Florestais**

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

**Autor**

**Joel Ricardo da Silva Teixeira**

**Orientador**

**Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas**

**Coorientador**

**Jorge Rafael Nogueira Raposo**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo</b> Professor Associado da Universidade de Coimbra <b>Professor Doutor Jorge Campos da Silva André</b> Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
<b>Vogais</b>	<b>Professor Doutor Domingo Xavier Filomeno Carlos Viegas</b> Professor Catedrático da Universidade de Coimbra <b>Mestre Jorge Rafael Nogueira Raposo</b> Investigador da ADAI

**Colaboração Institucional**

---



**Coimbra, Julho, 2015**

O importante não é aquilo que fazem de nós, mas que nós mesmos fazemos do  
que os outros fazem de nós.

JEAN-PAUL SARTRE

Aos bombeiros que todos os dias saem em combate sem saberem se irão voltar.

## Agradecimentos

O percurso académico concluído com o trabalho aqui apresentado, só foi possível de realizar devido ao empenho, colaboração e apoio de algumas pessoas e entidades, às quais quero deixar um sincero agradecimento.

Em primeiro lugar ao Professor Doutor Domingos Xavier Viegas por ter aceitado ser orientador na dissertação de mestrado, por toda a disponibilidade mostrada e pela oportunidade que me deu em integrar a equipa da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI). Oportunidade esta que me permitiu alargar os meus conhecimentos numa temática tão importante como dos incêndios florestais.

Deixo também especial agradecimento ao Jorge Raposo, pelo tempo disponibilizado para me apoiar nos ensaios laboratoriais, pelos ensinamentos que me possibilitaram uma resposta apropriada no tratamento de dados, e por todo o auxílio prestado ao longo de todo o meu trabalho.

Uma palavra de apreço ao Ricardo Oliveira, à Cármen Rocha e à restante equipa da ADAI pelo bom ambiente vivenciado.

Aos meus colegas de curso pelo percurso académico de Coimbra, suportando-me sempre em todos os momentos.

Aos amigos de longa data Vítor Lopes, Luís Félix e Diana Ferreira pelo apoio prestado e por partilharem comigo todos os momentos importantes deste percurso.

A ti minha “estrelinha” que sempre me guias no meu dia-a-dia.

Por fim, aos mais especiais quero agradecer do fundo do coração aos meus pais e irmão por todos os esforços feitos para que tivesse a possibilidade de concluir mais um sonho.

Um profundo e sincero obrigado a todos.

## Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido e testado um equipamento que permite avaliar o desempenho de sistemas de proteção térmica, aplicáveis em geral aos veículos de transporte ameaçados pelo avanço de frentes de fogo de um incêndio florestal. Em particular a proteção de veículos utilizados na supressão de incêndios florestais, associada à capacidade de proteger a vida dos ocupantes, é o objetivo principal deste trabalho, tornando a cabine num abrigo coletivo contra incêndios.

Novos materiais cerâmicos, mantas e espumas, são usados no sentido de reforçar a capacidade de proteção sem exigir o uso de grande quantidade de água, que podem não estar disponíveis no caso de encurralamento pelo fogo

Este sistema é relevante principalmente para os bombeiros, para melhorar a sua segurança, é de grande interesse para os proprietários dos meios de transporte que possam estar a vigiar áreas suscetíveis ao incêndio, para evitar a sua distrição Instituições públicas e privadas que empregam pessoal envolvido nas atividades de gestão de incêndios irão beneficiar das soluções desenvolvidas. A cooperação com um dos maiores fabricantes de veículos de combate em Portugal foi criada para melhor desenvolver e incorporar as soluções propostas e apresentadas.

Vários testes foram realizados com um sistema de simulação de impacto de frente de fogo da ADAI com cabines dos veículos de bombeiros. Esses veículos foram colocados em frente desta frente de fogo com sistema de proteção e sem sistema de proteção as condições dentro das cabines foram registadas e avaliadas com o objetivo de perceber as condições que permitem a proteção das tripulações e conseqüentemente dos veículos.

Além disso, a distância mínima entre a frente de fogo e um bombeiro exposto fora da cabine foi estudada tendo em conta o calor libertado pela frente de fogo para um modelo de um bombeiro colocado em diferentes posições.

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

## Abstract

In this work was developed and test a thermal protection system applicable to general transport vehicles endangered by an advancing forest fire. It is aimed in particular to protect vehicles used in forest fire suppression to provide a life guard capacity for its occupants.

New materials namely ceramic composites and foams were used to develop enhanced protective capacities without requiring the use of large amounts of water that may not be available in the case of fire entrapment.

This system is relevant mainly for fire fighters to improve their safety and is of great interest for owners of transport means that may be travelling in fire prone areas, to avoid their destruction. Public and private agencies employing personnel involved in fire management activities will benefit from the developed solutions. A cooperation with Vehicle manufacturer of Portugal was established to improve to incorporate the proposed solutions.

Several tests were performed in a system of simulation of fire front impact of ADAI with cabins of firefighter's vehicles. Those vehicles were placed in front of the fire fronts with protection and without protection and the conditions inside of the cabins are registered and evaluated with the goal of realise the conditions the allows the protection of the crews.

Also the minimum distance between the fire front and a firefighter was studied taking in the account of the heat realised by the fire front to a model of firefighter.

**Keywords** Burnover, Thermal-protection-system, Forest-fires, Fire-fighting-vehicles.

## Índice

Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Siglas .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e âmbito de estudo .....	1
1.2. Definição do trabalho.....	2
1.3. Limitações.....	3
2. Estado da Arte .....	4
2.1. Historial de acidentes.....	4
2.2. Sistemas de Proteção coletiva.....	9
• Sprinklers .....	9
• Sistema Termo-Gel Fire Cel .....	10
• Agulhetas manuais ou canhões de água.....	11
• Cortinas contra o fluxo de calor.....	12
3. Metodologia Experimental .....	14
3.1. Sistemas parciais utilizados .....	14
• Plataforma de ensaio .....	14
• Caracterização da estrutura de queima .....	15
• Cabine de ensaio .....	16
• Sistema de medição e processamento de dados .....	17
3.2. Procedimento de ensaio .....	20
4. Resultados e discussão .....	24
4.1. Ensaio Sem Proteção .....	24
• Temperatura no Interior da Cabine (Manequim) .....	24
• Variação de massa no sistema de queimadores .....	25
• Fluxo de Calor no exterior da cabine.....	26
4.2. Ensaio Com Proteção .....	29
• Temperatura no Interior da Cabine (Manequim).....	29
• Variação de massa no sistema de queimadores .....	31
• Fluxo de Calor no exterior da cabine.....	33
5. conclusões.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
ANEXO A .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. a) Posicionamento da viatura; b) Viatura.(fotos: CEIF/ADAI). ....	4
Figura 2.2. Viatura da corporação de Miranda do Douro (foto: CEIF/ADAI).....	5
Figura 2.3. a) Posicionamento da viatura; b) Refúgio sobrevivente (foto: CEIF/ADAI). ....	6
Figura 2.4. Viaturas incêndio de Guadalajara (foto: CEIF/ADAI). ....	6
Figura 2.5. Viatura queimada no incêndio de 1995, Long Island. ....	7
Figura 2.6. Viatura dos bombeiros de Gouveia com sistema proteção de sprinklers (foto: CEIF/ADAI). ....	9
Figura 2.7. Aplicação de Termo-Gel num ensaio de uma viatura. (foto: Bushfire CRC)...	11
Figura 2.8. Viatura dos bombeiros de Macedo de Cavaleiros com sistema proteção de canhão de água (foto: CEIF/ADAI). ....	11
Figura 2.9. a) Ensaio com canhão; b) Canhão (foto:projecto Integral Safety Kit).....	12
Figura 2.10. Cortinas contra calor radiante (foto: David Nichols).....	13
Figura 3.1. Plataforma de ensaio. ....	14
Figura 3.2. Simulador frente de fogo carregado com combustível (foto: CEIF/ADAI). ....	15
Figura 3.3. Simulador frente de fogo numa queima (foto: CEIF/ADAI). ....	16
Figura 3.4. a) Distribuição dos termopares; b) Interior da cabine, manequim (foto: CEIF/ADAI). ....	16
Figura 3.5. Fluxograma de medições.....	17
Figura 3.6. Células de carga (foto: CEIF/ADAI). ....	17
Figura 3.7. Sensores de fluxo de calor da Vattel (foto: CEIF/ADAI). ....	18
Figura 3.8. Conjunto de equipamentos NI (foto: CEIF/ADAI).....	19
Figura 3.9. a) Software em linguagem LabView; b) Interface gráfica do software desenvolvido na ADAI.....	19
Figura 3.10. Medição de temperaturas com a camara IV (foto: CEIF/ADAI).....	20
Figura 3.11. Esquema de configurações adotadas nos diversos ensaios. ....	22
Figura 3.12. Medidor de humidade (foto: CEIF/ADAI). ....	22
Figura 3.13. a) Cesto carregado de combustível; b) Balança (foto: CEIF/ADAI). ....	23
Figura 4.1. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 11. ....	24
Figura 4.2. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 11. ....	25
Figura 4.3. Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 11. ....	26

---

Figura 4.4. Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 11. ....	27
Figura 4.5. Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 11.....	28
Figura 4.6. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 15. ....	29
Figura 4.7. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 14. ....	30
Figura 4.8. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 15. ....	31
Figura 4.9. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 14. ....	32
Figura 4.10. Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 15. ....	33
Figura 4.11. Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 14. ....	34
Figura 4.12. Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 15. ....	35
Figura 4.13. Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 14. ....	36
Figura 4.14. Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 15.....	37
Figura 4.15. Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 14.....	38

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Acidentes com registo de vítimas mortais ocorridos em Portugal. ....	5
Tabela 3.1. Ensaios Preliminares.....	21
Tabela 3.2. Ensaios gerais. ....	21
Tabela 0.1. Dados dos ensaios.....	41
Tabela 0.2. Registos .....	42

## **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

## 1.1. Motivação e âmbito de estudo

Os incêndios florestais têm sido um grave problema ao longo dos anos. O seu combate tem requerido o uso de equipamentos cada vez mais complexos, aumentando o seu grau de importância, tanto a nível de combate como de proteção dos combatentes.

Todos os anos os incêndios florestais causam perdas significativas, seja a nível material (viaturas, acessórios proteção pessoal e outros), ou a nível humano (Nichols, et al., 2003) e (Viegas, 2015).

A perda de vidas humanas tem despertado ao longo dos anos o interesse dos especialistas, de vários continentes. Exemplo disso são as atividades desenvolvidas por técnicos Australianos e Americanos. Assim, tem-se desenvolvido esforços a fim de melhorar os recursos disponíveis para a proteção das pessoas envolvidas no combate, infelizmente sem grande sucesso.

Neste trabalho foi desenvolvido e testado um equipamento que permite avaliar o desempenho de sistemas de proteção térmica, aplicáveis em geral aos veículos de transporte ameaçados pelo avanço de frentes de fogo de um incêndio florestal. Em particular a proteção de veículos utilizados na supressão de incêndios florestais, associada à capacidade de proteger a vida dos ocupantes, é o objetivo principal deste trabalho, tornando a cabine num abrigo coletivo contra incêndios.

É neste âmbito de desenvolvimento e teste do desempenho de sistemas de proteção térmica, aplicáveis em veículos de transporte e seus ocupantes, ameaçados pelo avanço de frentes de fogo de um incêndio florestal que se insere o tema abordado nesta dissertação, que tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de teste de sistemas de proteção coletiva, com maior enfoque no sistema criado e patenteado pela equipa da ADAI. Este sistema de proteção para as cabines das viaturas de combate aos incêndios florestais, permite em caso de ocorrência de algum incidente, durante o combate que, os bombeiros possam ter um refúgio que salvaguarde a sua integridade física.

Espera-se com este trabalho contribuir para a proteção daqueles que todos os dias são chamados a combater incêndios florestais e veem assim a sua vida ser colocada em perigo em muitas situações.

## 1.2. Definição do trabalho

O que se pretende com este trabalho é a conceção de uma estrutura de teste e ainda de uma metodologia que permita testar o sistema de proteção coletiva desenvolvido na ADAI.

Este sistema passa pela implementação de uma proteção radiativa e convectiva que utiliza uma pequena quantidade de água, que é injetada no seu interior.

Este estudo foi realizado recorrendo a uma série de ensaios (procedimento adotado descrito no capítulo 3), nos quais se utilizou mato como combustível, para que se atingissem as condições as mais próximas possíveis de um incêndio florestal.

Estes ensaios tiveram como objetivo avaliar a potência libertada na queima do combustível florestal, o fluxo de calor que chega à cabine e medir as temperaturas atingidas no interior da cabine devido ao impacto de tal fonte de calor, pois são estes uns dos principais indicadores acerca das condições de sobrevivência no interior de uma cabine que seja utilizada como refúgio, em caso de emergência.

O trabalho desenvolveu-se em três fases que são enunciadas de seguida:

1 – Desenvolver e operacionalizar um novo sistema de ensaio que se dispõe para utilização no LEIF. A nível mundial estruturas para teste de proteções de cabines das viaturas de combate aos incêndios florestais são quase inexistentes, assim, foi necessária a criação de uma estrutura de teste e uma metodologia de base que permita a realização dos ensaios e a obtenção de resultados satisfatórios.

2 – Desenvolver e testar um sistema de proteção de viaturas proposto pela ADAI. Uma solução desenvolvida pela ADAI, foi colocada à prova em diversas condições, a fim de se garantir a sua eficácia como sistema de proteção coletiva, em caso de aprisionamento pelo fogo.

3 – Testar a eficácia de sistemas de proteção existentes. Nesta tarefa pretende-se testar a eficácia de sistemas de proteção coletiva existentes no mercado, a fim de assegurar que, que numa ocorrência os mesmos darão garantias de segurança aos operacionais.

### 1.3. Limitações

Uma das limitações deste trabalho prende-se com o facto de ser um tema pouco desenvolvido, havendo a necessidade de desenvolver uma metodologia de trabalho a partir do zero, criando um procedimento padrão para a avaliação dos sistemas de proteção de cabines.

Na realização deste trabalho que, foi desenvolvido no exterior do laboratório (céu aberto), foram surgindo algumas limitações na realização dos ensaios. As constantes alterações climáticas foram um grande entrave à realização dos ensaios, pois, ora chovia o que impedia a queima, ora o vento era em excesso o que dificultava toda a operação, ou as temperaturas eram elevadas o que aumentava em muito o risco de fazer uma queima.

Outro aspeto que se pode ver como limitação foi a utilização de um só combustível (mato), característico desta zona do país, o que em situações reais e em outras zonas do país seria diferente, levando assim a comportamentos do fogo diferentes, podendo ser mais intensos, libertando maior energia o que afetaria de forma diferente as tripulações combatentes.

Outra limitação foi o facto de estar previsto a realização de ensaios em cabines diferentes, umas sem proteção, outras com proteções já existentes e por fim com o sistema de proteção em estudo. Tal não foi possível de realizar pois durante este período as cabines não estiveram todas disponíveis.

Contudo há que salientar que se conseguiram realizar diversos ensaios e que foram obtidos resultados positivos e conclusivos.

Como trabalho a desenvolver no futuro surge a necessidade de aperfeiçoamento da metodologia desenvolvida. Deve pensar-se numa solução que possa proteger o simulador de frente de fogo, uma vez que se faz sentir vento, na zona de ensaio e tal deve ser eliminada ou controlado. Deve proceder-se à realização de ensaios comparativos envolvendo sistemas de proteção existentes no mercado e o sistema em estudo.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Historial de acidentes

O Ser humano é confrontado regularmente com a necessidade de lidar com o fogo, podendo ser uma ação voluntária, como por exemplo as queimadas, ou imposta como é o caso dos incêndios florestais de larga escala, sendo que em qualquer um dos casos há registos de incidentes e acidentes que colocam em risco bens materiais e vidas humanas.

A problemática dos incêndios florestais é uma constante em Portugal, que é anualmente devastado pelos incêndios florestais, uma vez que a sua localização geográfica e o clima do país assim o favorecem.

Em Portugal um dos acidentes mais graves ocorreu no concelho de Mortágua a 28 de Fevereiro de 2005 (um dos piores anos a nível de ocorrências de incêndios florestais), neste acidente perderam a vida quatro operacionais de combate que se encontravam no local, havendo o registo de uma viatura queimada (Viegas, 2005), como é visível na Figura 2.1.



**Figura 2.1.** a) Posicionamento da viatura; b) Viatura.(fotos: CEIF/ADAI).

No ano de 2014, no dia 16 de Julho, deflagrou um incêndio em Macedo de Cavaleiros. Durante o combate foi solicitada a ajuda de várias corporações de bombeiros, estando entre elas a corporação de Miranda do Douro que viria a perder uma viatura conforme é mostrado na Figura 2.2. De registar que não houveram mortos apenas feridos (Viegas, 2014).



**Figura 2.2.** Viatura da corporação de Miranda do Douro (foto: CEIF/ADAI).

Na Tabela 2.1 são apresentados outros exemplos de acidentes com vítimas mortais ocorridos em Portugal. De salientar que a tabela é apenas informativa quanto ao número de vítimas podendo estas não ter ocorrido nos acidentes mais graves (Viegas, 2015).

**Tabela 2.1.** Acidentes com registo de vítimas mortais ocorridos em Portugal.

<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Nº de Vítimas Mortais</b>
1995	S. Domingos	4
2000	Alvão	4
2003	Freixo de Espada a Cinta	2
2005	Mortágua	4
2010	S. Pedro do Sul	1
2012	Coja	2
2013	S. Marcos (Caramulo)	2

Portugal não é o único país a ser devastado pelos incêndios florestais, há também registos de acidentes com fins trágicos em todo o mundo.

A título de exemplo apresenta-se abaixo uma pequena listagem de ocorrências em diversos países.

Também em Espanha há registo de acidentes, em 2005, em Guadalajara de um incêndio florestal num desfiladeiro vitimou 11 bombeiros, sobrevivendo apenas 1 que utilizou como refúgio a parte traseira da viatura que conduzia conforme se verifica na Figura 2.3 (Viegas, et al., 2009).



**Figura 2.3.** a) Posicionamento da viatura; b) Refúgio sobrevivente (foto: CEIF/ADAI).

Neste acidente foram queimadas um total de 5 viaturas, algumas visíveis na Figura 2.4.



**Figura 2.4.** Viaturas incêndio de Guadalajara (foto: CEIF/ADAI).

Em 1958 na Austrália um incêndio florestal vitimou 11 bombeiros, dos quais apenas 3 sobreviveram, dos 3 sobreviventes, 1 protegeu-se atrás de uma das rodas da viatura de combate e 2 mantiveram-se no interior da cabine.

No sul da Califórnia à data de 1993, uma equipa de bombeiros perdeu a vida por não serem suficientemente rápidos a abrigarem-se na cabine da viatura.

Em 1995 muitas viaturas foram destruídas num incêndio florestal em Long Island, NY, os bombeiros sobreviveram pois conseguiram atempadamente abandonar as viaturas (Mangan, 1997). A Figura 2.5 mostra uma das viaturas destruída nesse incêndio.



**Figura 2.5.** Viatura queimada no incêndio de 1995, Long Island.

A 5 de Agosto de 1949 um acidente ocorrido nos EUA, também conhecido como o acidente de Mann Gulch, vitimou 12 “Smoke Jumpers” e um guarda florestal, tendo apenas sobrevivido 3 pessoas do grupo de combate (Viegas, 2015).

Os constantes acidentes envolvendo operacionais de combate e bens materiais tem-se repetido com demasiada frequência e como consequência dos mesmos a necessidade de proteção é cada vez mais um aspeto a ter em conta.

Neste contexto é então necessária uma investigação no que concerne a acidentes que envolvem e vitimam operacionais de combate e as suas viaturas, de forma a melhorar a segurança de todos os que se dispõem a combater os incêndios.

Tem havido investigações de forma a melhorar a proteção da tripulação durante o combate a um incêndio florestal e em caso de aprisionamento durante o incêndio, contudo há ainda muito a pesquisar e descobrir sobre proteção de tripulações no interior das cabines dos veículos de apoio ao combate de incêndios florestais sendo exemplo algumas pesquisas (Nichols, et al., 2003).

A segurança e proteção de uma viatura de combate aos incêndios florestais são tão importantes como a segurança e proteção dos operacionais de combate, uma vez que

muitas vezes estão interligados. O uso destas viaturas de suporte ao combate é cada vez maior em todo o mundo, exemplo disso são os Estados Unidos da América, Austrália, Espanha, França, Portugal entre outros, seja para transporte das tripulações, transporte de água (com ou sem espuma) para o próprio combate ao incêndio ou transporte de equipamentos de proteção individual. Devido ao grau de importância assumido por estes meios como ferramenta de combate aos incêndios, o risco de ficarem cercados durante o combate aumentou também tornando-se numa preocupação crescente, (Nichols, et al., 2003) e (Mangan, 1997).

No combate aos incêndios florestais é de extrema importância a proteção dos operacionais. Os equipamentos de proteção têm como objetivo ser a última barreira entre o combatente e os elementos suscetíveis de lhe causar lesões.

É desejável a aplicação e utilização dos melhores equipamentos de proteção disponíveis no mercado, mas tendo em atenção que o seu uso nunca deverá conduzir a comportamentos de risco por parte dos utilizadores (Viegas, et al., 2011)

Os equipamentos de proteção são divididos em dois grupos: Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC). Neste estudo será dado mais ênfase aos equipamentos de proteção coletiva. O uso deste tipo de sistemas tem como finalidade a proteção de grupos (com mais ou menos elementos), sendo que o elemento de proteção coletiva mais comum neste caso é a viatura de apoio ao combate de incêndios florestais.

O uso das viaturas sem quais quer sistemas de proteção adicionais para salvaguardar a integridade da cabine, de modo a ser usada como refúgio, pode apresentar inconvenientes, pois há registo de vítimas que tentaram proteger-se dentro da viatura mas sem sucesso. O facto de a cabine no seu interior conter elementos inflamáveis constitui uma desvantagem no uso desta como meio de proteção. Estes produtos inflamáveis podem levar à libertação de gases prejudiciais quando inalados. Outra desvantagem é o facto de a viatura apresentar vidros opacos que permitem a transferência de calor sob forma de radiação prejudicial também ao ser humano (Viegas, et al., 2011).

De forma a contornar as desvantagens acima mencionadas, podem portanto adotar-se alguns cuidados, como a utilização de objetos opacos nos vidros (mantas), uso de equipamento de proteção individual apropriado, uso de isolantes reforçados e de boa qualidade nas portas e vidros que impeçam a penetração do fumo no interior da cabine.

## 2.2. Sistemas de Proteção coletiva

Atualmente existem no mercado soluções para estes problemas que melhoram a capacidade de resistência das cabines ao fogo, são exemplo disso os Sprinklers (pulverizadores de água), o sistema de Termo-Gel, as agulhetas manuais ou canhões de água, as cortinas contra fluxo de calor, painéis de proteção metálica, e ainda motores de admissão de ar de metal (pré-limpeza), (Nichols, et al., 2003) e (Viegas, et al., 2011).

- **Sprinklers**

Os Sprinklers são objetos difusores de um fluxo de água (pulverizadores) que estão orientados para a cabine, permitindo assim que a água utilize a energia proveniente das chamas para a sua mudança de fase, diminuindo o fluxo de calor transferido para o interior da cabine. Estes são os sistemas mais regularmente utilizados de entre o leque disponível dos sistemas de proteção coletiva em viaturas.

Este sistema surgiu através de um estudo realizado pelo CSIRO, (Nichols, et al., 2003).



**Figura 2.6.** Viatura dos bombeiros de Gouveia com sistema proteção de sprinklers (foto: CEIF/ADAI).

Este tipo de sistemas visível na Figura 2.6 é aplicado em Portugal pelos fabricantes de viaturas de combate aos incêndios florestais, contudo apresentam vantagens e desvantagens.

Possui como vantagens o facto de ser eficiente quando e se for utilizado em condições adequadas, apresentam uma boa resistência a incêndios com baixas/médias intensidades e não necessitam de operador no exterior sendo esta a maior das vantagens relativamente a outros sistemas, pois, garante a segurança de toda a tripulação.

Mas como ainda não se encontrou o sistema ideal, este, possui algumas desvantagens como são exemplo a dependência da integridade da bomba (devido a fumo intenso que se observa num incêndio florestal esta pode apresentar problemas de funcionamento ou uma falha total), é sensível aos ventos fortes que podem desviar a água da zona que se pretende proteger e assim diminuir a sua eficácia, apresenta um elevado consumo de água entre os 200/300 litros por minuto e embora tenha um tanque próprio para o referido sistema esta dependência da reserva existente é prejudicial, sendo um sistema fixo na parte superior da viatura a sua orientação é também ela um problema, caso surja a necessidade de mudar a sua orientação esta é impossível de alterar, (Oliveira, 2015), (Nichols, et al., 2003) e (Viegas, et al., 2011).

- **Sistema Termo-Gel Fire Gel**

Na Figura 2.7 é notória a aplicação de um sistema que pode ser aplicado com água através de pulverização sobre a viatura a proteger, formando uma camada protetora que irá parar o fogo quando se aproximar da viatura, sistema em estudo e desenvolvido na Austrália.



Figura 2.7. Aplicação de Termo-Gel num ensaio de uma viatura. (foto: Bushfire CRC).

- **Aguhentas manuais ou canhões de água**

Este sistema é utilizado em auxílio ao combate direto do incêndio, funcionando como sistema de proteção de viaturas em último recurso e só no caso de ser garantida a permanência do operador fora da viatura. Visualização do sistema na Figura 2.8.



Figura 2.8. Viatura dos bombeiros de Macedo de Cavaleiros com sistema proteção de canhão de água (foto: CEIF/ADAI).

A aplicação deste sistema apresenta algumas vantagens como o facto de o jato da água poder ser direccionado conforme as necessidades, assim sendo o problema dos ventos fortes deixa de existir, com a sua utilização a área protegida será maior.

No entanto também é notória a existência de algumas contradições ao seu uso como a necessidade do operador permanecer fora da viatura, apresenta uma dependência da integridade da bomba que durante um incendio por diversas causas pode apresentar falhas ou inaptidão para a sua função e um elevado consumo de água no caso do canhão que durante o incêndio ficará dependente da reserva de água existente, (Viegas, et al., 2011).

Há um projeto (Integral Safety Kit) a ser desenvolvido em Espanha pela empresa Safety zone, que pretende recriar e melhorar este sistema, criando uma barreira térmica utilizando um jato de alta pressão, que cria uma barreira de água que deflete o calor convectivo e atenua o radiativo criando uma zona de segurança como se confirma na Figura 2.9.



**Figura 2.9.** a) Ensaio com canhão; b) Canhão (foto:projecto Integral Safety Kit).

- **Cortinas contra o fluxo de calor**

Uma vez que a entrada do fluxo de calor radiativo para o interior da cabine é talvez o fator mais crítico no que diz respeito á sobrevivência sem mazelas dos combatentes, esta proteção assume um papel importantíssimo na manutenção das condições de sobrevivência no interior da viatura, (Nichols, et al., 2003).



**Figura 2.10.** Cortinas contra calor radiante (foto: David Nichols).

As cortinas contra o fluxo de calor radiativo visíveis na Figura 2.10, apresentam bastantes aspetos positivos relativos à sua utilização, tais como, uma boa eficiência contra o aumento das temperaturas no interior da cabine pois são eficientes contra o fluxo calor radiativo que é a causa do aumento ou não das temperaturas, são eficazes contra o impacto direto com as chamas e apresentam uma boa proteção contra a entrada de gases tóxicos no interior da cabine, (Viegas, et al., 2011).

Contudo apresenta limitações, uma vez que se forem expostas a chamas diretas durante muito tempo a sua degradação é facilmente vista o mesmo se aplica contra a proteção do fluxo de calor pois para grandes intensidades de chamas estes sistemas baixam a sua eficiência.

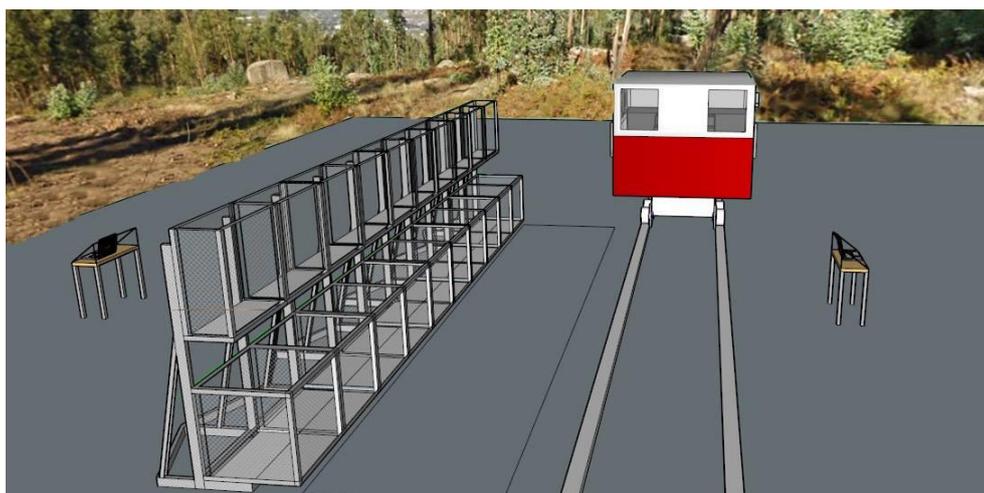
### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

#### 3.1. Sistemas parciais utilizados

- **Plataforma de ensaio**

A plataforma construída no LEIF para o desenvolvimento do estudo do sistema de proteção em viaturas de combate aos incêndios florestais é única e inovadora no meio da comunidade ligada aos incêndios florestais.

É constituída por um simulador de frente de fogo colocado a 2 metros de distância dos carris onde é possível mover a cabine. Estes 2 metros podem ser alterados, sendo possível aproximar ou afastar o mesmo da cabine. A cabine encontrasse em cima de um vagão com motorização elétrica, controlo à distância através de um central de controlo, onde é possível definir parâmetros de movimentação da cabine, ao longo dos carris. A cabine durante os ensaios pode estar em repouso numa dada posição ou em movimento com velocidade constante ou variável. A velocidade máxima de ensaio é de cerca de 35km/h. Contudo, durante o programa experimental levado a cabo optou-se por manter a cabine em repouso, posicionando-a previamente à realização de cada ensaio, visto que corresponde a uma situação em que haja “afogamento” do motor pela saturação do ar envolvente com fumo, o que conduz à perda da mobilidade da viatura, sendo uma das situações que coloca os combatentes em situações delicadas de encurralamento pelo fogo. A Figura 3.1 representa uma vista 3D da plataforma situada no LEIF.



**Figura 3.1.** Plataforma de ensaio.

- **Caracterização da estrutura de queima**

A estrutura de queima (simulador de frente de fogo) é uma inovação, não existe registo de outra semelhante em todo o mundo. Esta estrutura é diferente do que existe, pois, permite a queima de combustíveis presentes nas florestas portuguesas (mato) o que torna possível a recriação de frentes de fogo com características próximas das registadas em incêndios florestais reais.

É composta por um conjunto de cinco estruturas individuais, podendo ser retiradas ou movidas sempre que necessário, cada uma contém um total de quatro cestos, estando estes agrupados dois a dois, ou seja, dois cestos de maior dimensão na parte inferior e dois cestos de menor dimensão na parte superior da estrutura, permitindo assim a recriação de frente de fogo com alturas e intensidades diferentes de chamas. Este simulador é visível na Figura 3.2 e Figura 3.3.



**Figura 3.2.** Simulador frente de fogo carregado com combustível (foto: CEIF/ADAI).

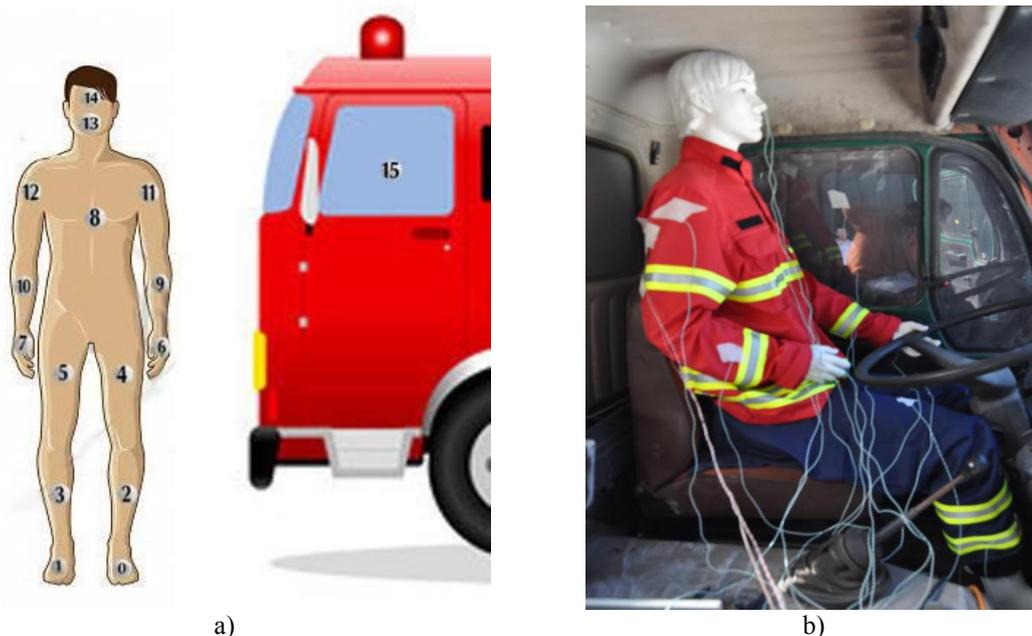


**Figura 3.3.** Simulador frente de fogo numa queima (foto: CEIF/ADAI).

- **Cabine de ensaio**

A cabine utilizada nos ensaios realizados pertencia a uma viatura de combate aos incêndios florestais que já estava fora de serviço. Esta cabine foi testada com e sem proteção.

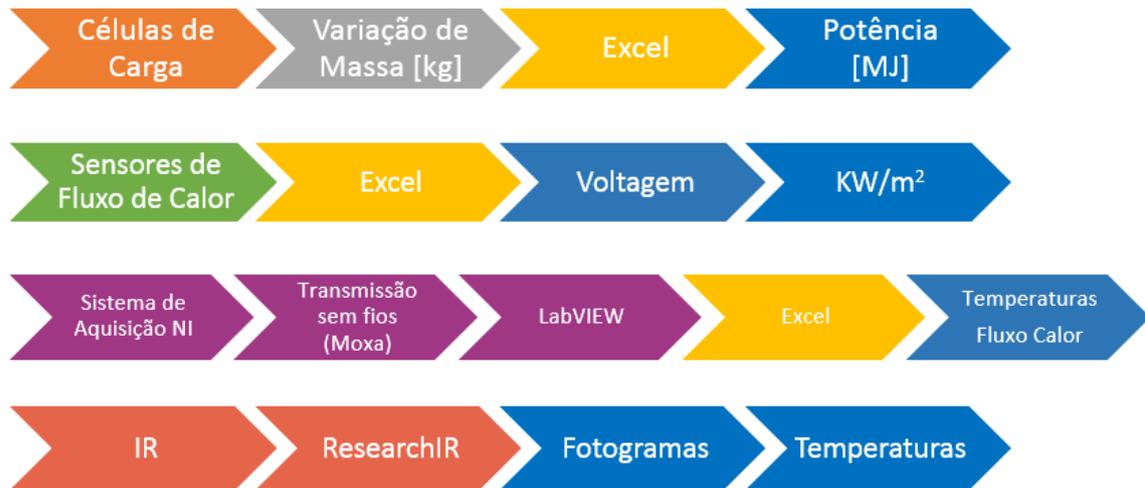
No exterior e junto a porta do condutor estava equipada com sensores de fluxo de calor, no interior foi colocado um manequim equipado e instrumentado com termopares espalhados pelo corpo como se verifica na Figura 3.4.



**Figura 3.4.** a) Distribuição dos termopares; b) Interior da cabine, manequim (foto: CEIF/ADAI).

- **Sistema de medição e processamento de dados**

Os dados recolhidos durante cada ensaio são representados pelo fluxograma apresentado na Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Fluxograma de medições.

- **Medição da variação de massa**

As células de carga Figura 3.6, colocada uma em cada estrutura do simulador de frente de fogo são ligadas a um computador através de cabos USB, este contém um software (Quick Analyzer) apropriado que foi desenvolvido e fornecido pelo fabricante e que permite o registo da variação de massa, posteriormente analisada através do Excel que permite determinar a potência libertada durante a queima.



**Figura 3.6.** Células de carga (foto: CEIF/ADAI).

- **Fluxo de Calor**

Os sensores de fluxo de calor refrigerados a água, estão ligados através de fios a um equipamento datalogger (PicoLog®), este está conectado por um cabo USB ao computador no qual está instalado um software (PicoLog Recorder) que permite o armazenamento de dados que serão transportados para um ficheiro Excel permitindo a análise do fluxo de calor em ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ), que chega à porta da viatura. Os sensores utilizados são sensores da Vattel, vistos na Figura 3.7.



**Figura 3.7.** Sensores de fluxo de calor da Vattel (foto: CEIF/ADAI).

- **Sistema de Medição de temperaturas**

No interior da cabine foi colocado um conjunto de equipamentos visíveis na Figura 3.8, (fonte de alimentação NI PS-15, um Moxa AWK 3121, um chassi NI cDAQ-9188XT e uma placa NI 9213) adquiridos á National Instruments aos quais são ligados os termopares.

A fonte de alimentação NI PS-15 é alimentada a 24v por uma ficha de corrente vinda do exterior ou por uma bateria, ligado á fonte está o Moxa AWK 3121. Na placa de aquisição NI 9213 estão ligados os termopares, esta por sua vez é colocada no chassi cDAQ-

9188XT que através de um cabo de rede é ligado ao Moxa AWK 3121 emitindo assim o sinal a ser recebido num computador que contém o software desenvolvido na ADAI.



Figura 3.8. Conjunto de equipamentos NI (foto: CEIF/ADAI).

Este conjunto de equipamentos está ligado a um computador por via wireless, que contém um software em linguagem LabView desenvolvido pela ADAI representado na Figura 3.9, que permite a aquisição de dados em Excel em tempo real.

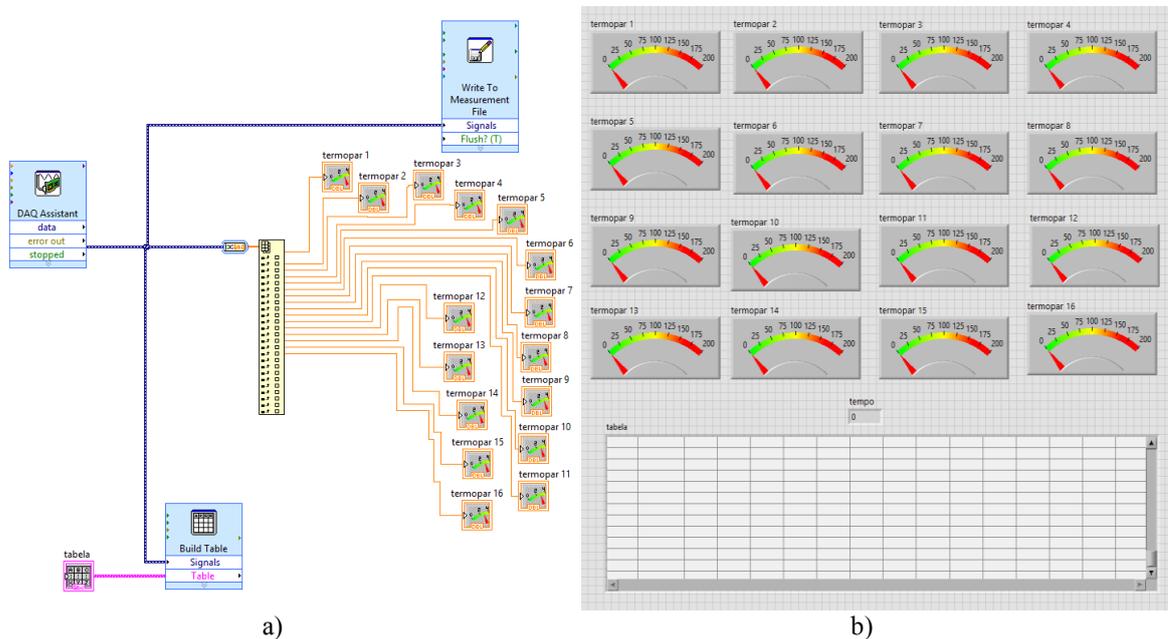
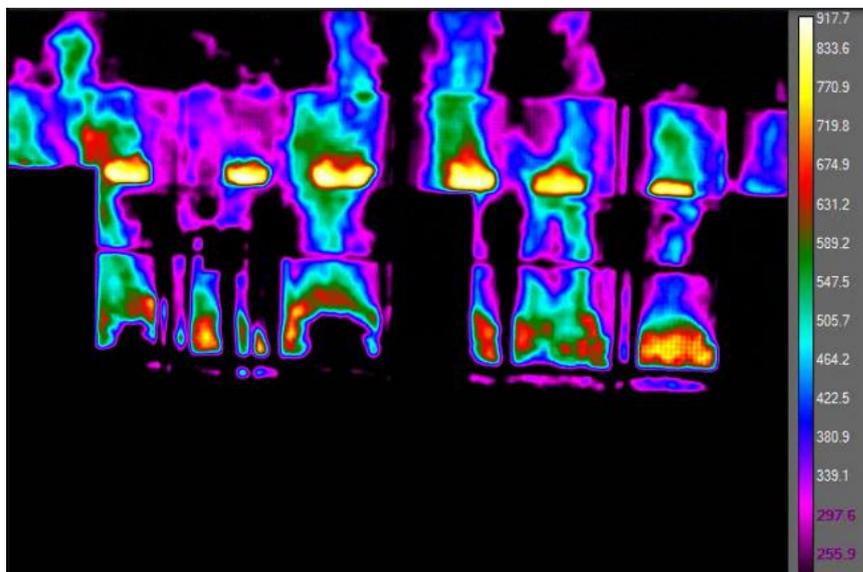


Figura 3.9. a) Software em linguagem LabView; b) Interface gráfica do software desenvolvido na ADAI.

- **Câmara de infravermelhos**

A câmara de infravermelhos (IV) é utilizada com a finalidade de medir as temperaturas da frente de fogo e distribuição das mesmas conforme a Figura 3.10.



**Figura 3.10.** Medição de temperaturas com a câmara IV (foto: CEIF/ADAI).

### 3.2. Procedimento de ensaio

O programa experimental foi realizado no LEIF. Este laboratório está equipado com o que de melhor e mais inovador existe em Portugal, para a realização deste tipo de estudos, permitindo a realização de vários estudos na área dos incêndios florestais.

Os ensaios foram agrupados em duas tabelas distintas, uma série com ensaios referentes a testes preliminares, Tabela 3.1, como os referentes ao simulador de frente de fogo, os relativos às células de carga e os dos sensores de fluxo de calor, numa segunda tabela, Tabela 3.2, estão agrupados os ensaios globais. Foram realizados 16 ensaios sendo que em alguns não constam os dados na tabela pois não foi possível a obtenção de registos.

**Tabela 3.1.** Ensaios Preliminares.

Ensaio	Proteção	T(°C)	mf(%)	HR(%)	Mcomb(kg)
					Real
SFF 01	não	27,40	12,50	46,00	64,50
SFF 02	não	27,40	12,50	46,00	40,40
SFF 03	não	-	-	-	-
SFF 04	não	-	-	-	-
SFF 05	não	17,80	19,00	69,00	20,10
SFF 06	não	-	-	-	-
SFF 07	não	-	15,06	-	20,40
SFF 08	não	22,90	-	39,00	10,50
SFF 09	não	20,20	11,38	40,00	5,43
SFF 10	não	18,00	11,38	40,00	50,00
SFF 12	não	30,40	10,57	28,00	45,00
SFF 13	não	22,90	17,00	46,00	45,00

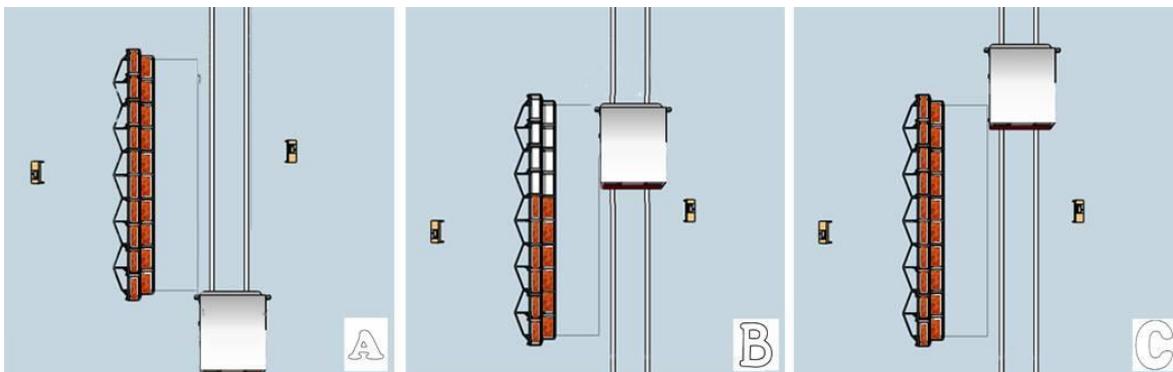
**Tabela 3.2.** Ensaios gerais.

Ensaio	Proteção	T(°C)	mf(%)	HR(%)	Mcomb(kg)	Configuração
					Real	
SFF 11	não	20,40	-	40,00	75,00	A
SFF 14	sim	28,90	24,80	39,00	45,00	B
SFF 15	sim	28,40	24,80	34,30	75,00	C
SFF 16	sim	-	-	-	75,00	A

Os ensaios SFF (Simulação de frentes de fogo) foram realizados com o objetivo de estudar a eficácia de um sistema de proteção coletiva desenvolvida na ADAI, assim foi seguida uma metodologia inovadora, desenvolvida e adotada no LEIF.

Todo o equipamento necessário é selecionado e reunido e é iniciada a sua instalação.

Em primeiro lugar é efetuado o posicionamento preciso da cabine a ensaiar recorrendo ao sistema de movimentação anteriormente descrito. Nos ensaios realizados a cabine foi posicionada de acordo com as seguintes configurações da Figura 3.11.



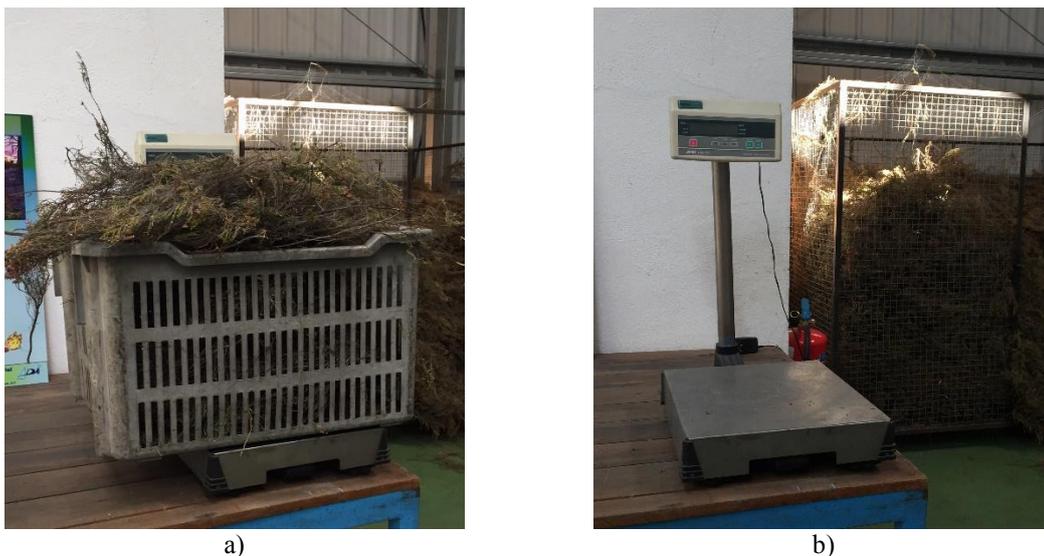
**Figura 3.11.** Esquema de configurações adotadas nos diversos ensaios.

As células de carga são colocadas na parte traseira das estruturas, para cada estrutura corresponde uma célula de carga. Depois de colocadas procede-se á respetiva calibração através de um software existente já referido.

O teor de humidade do combustível (mato) é medido para o cálculo do peso do combustível necessário e para efeitos de controlo, foi determinado através de um analisador de humidade, que determina a quantidade de água existente no combustível(Figura 3.12), o valor obtido do analisador é depois inserido numa folha de cálculo Excel, que permite determinar o peso exato de combustível a usar compensando a massa de água existente. Após o cálculo da massa de combustível necessária, esse valor era pesado numa balança (Figura 3.13) e posteriormente colocado nos cestos que compõe as cinco estruturas do simulador de frente de fogo.



**Figura 3.12.** Medidor de humidade (foto: CEIF/ADAI).



**Figura 3.13.** a) Cesto carregado de combustível; b) Balança (foto: CEIF/ADAI).

Em seguida é colocada em frente ao simulador de frente de fogo uma estrutura que contém dois sensores refrigerados a água, que permite o registo do fluxo de calor total e radiativo durante a queima, este registo é feito através de um software já referido.

Nesta altura é colocado no interior da cabine um conjunto de componentes da National Instruments (NI) aos quais irão ser ligados um conjunto de termopares e sensores de fluxo de calor previamente incorporados num manequim. Isto permite através de um software desenvolvido na ADAI que se obtenham os registos no interior da cabine para posterior análise.

Após esta instrumentação é colocado o sistema de proteção desenvolvido na ADAI, na cabine.

Neste momento são instaladas em diversos pontos um conjunto de camaras de vídeo e fotográficas para permitirem o registo de todo o processo de queima.

Confirmada a prontidão de todos os pontos de registo é dado o sinal e iniciada a ignição através de um pinga-lume no simulador de frente de fogo.

Por fim é recolhido todo o material e são guardados todos os dados para uma análise mais detalhada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados resultados representativos da totalidade dos ensaios realizados, relativos aos testes com proteção e sem proteção, para que sejam evidenciadas possíveis diferenças inerentes à utilização ou não do referido sistema.

### 4.1. Ensaio Sem Proteção

- Temperatura no Interior da Cabine (Manequim)

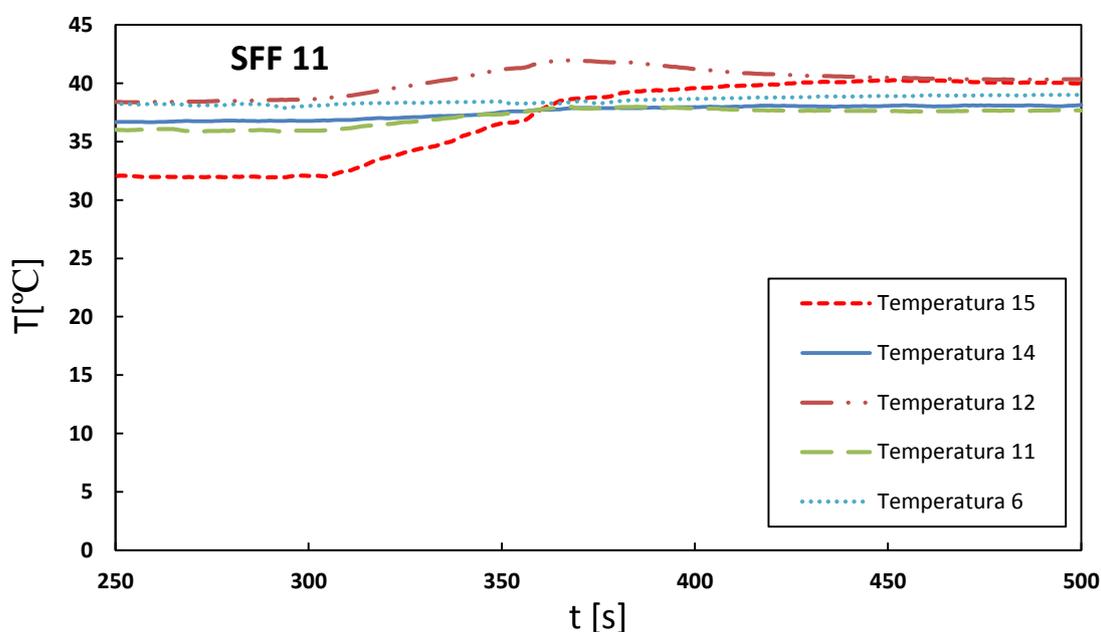


Figura 4.1. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 11.

As temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares visíveis na Figura 4.1, no caso em que não foi utilizada proteção revelam incrementos muito acima daquilo que se considera seguro para o ser humano, como é dito em (Bolgiani, et al., 2010) a pele humana pode tolerar sem prejuízo temperaturas até 44°C acima deste valor são produzidas diferentes lesões. Pelo gráfico anterior vimos que nos termopares nº 12 (ombro do manequim do lado da frente chamas) e nº 15 (vidro do lado das chamas) foram atingidas temperaturas muito próximas do valor crítico para lesões no ser humano de 44°C, o que mostra a vulnerabilidade de uma cabine sem proteção.

- **Variação de massa no sistema de queimadores**

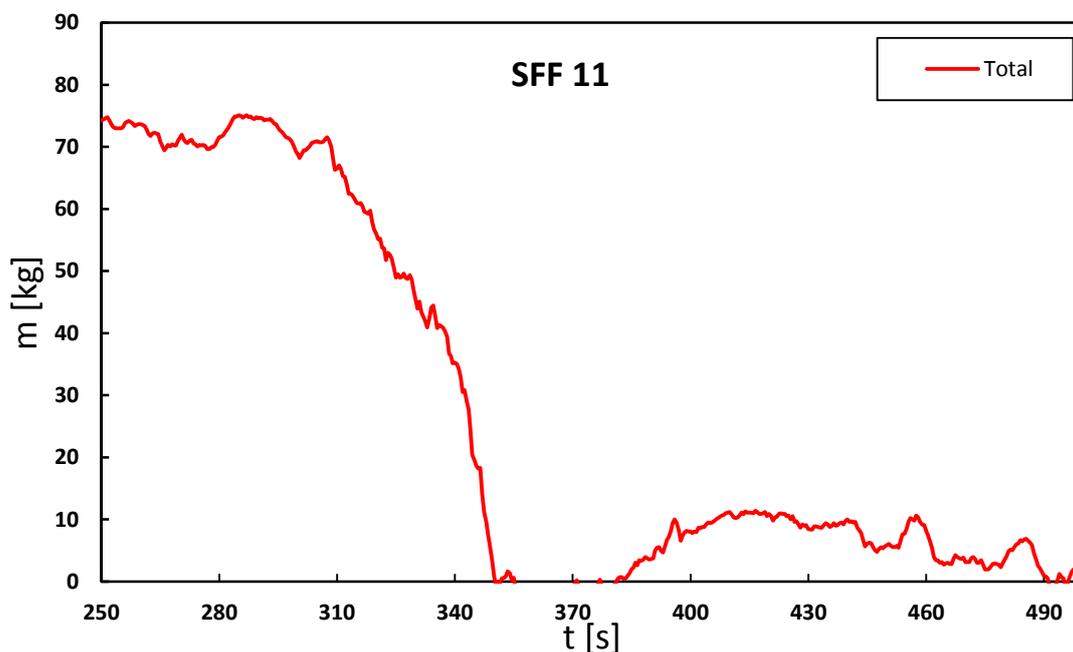


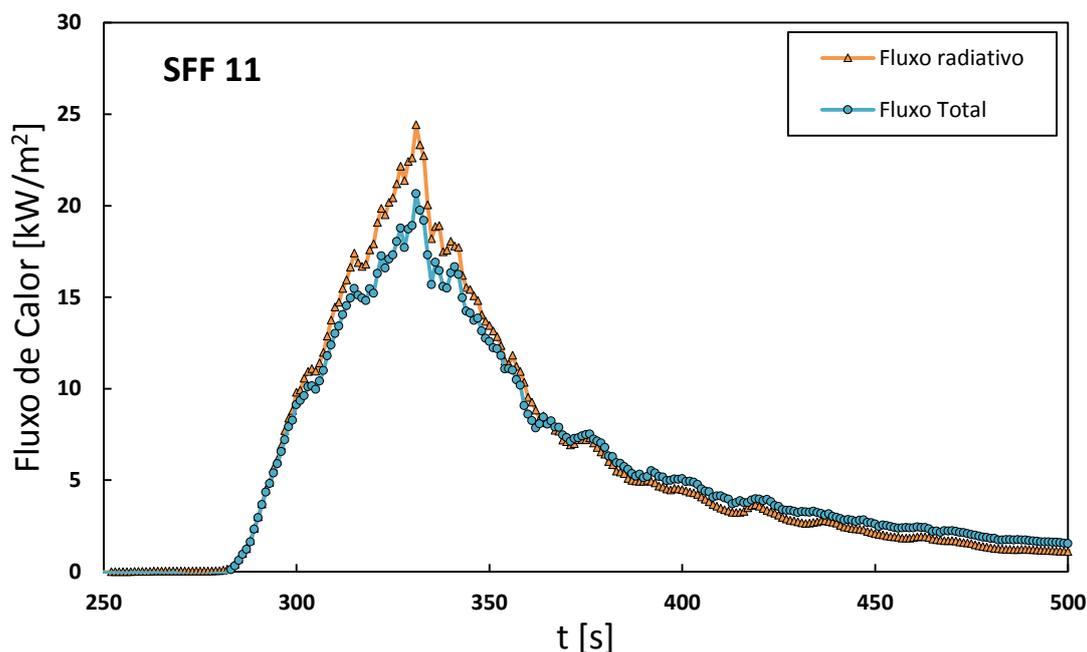
Figura 4.2. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 11.

Na Figura 4.2 podemos ver a evolução da variação de massa que estará diretamente relacionada com a taxa de combustão nos cinco queimadores que compõe o simulador de frentes de fogo.

A evolução geral em cada queimador é idêntica entre eles optando assim pela apresentação da variação de massa do conjunto em detrimento da representação de cada uma das células separadamente.

Observaram-se alguns valores anómalos na medição da massa do combustível que se devem a questões relacionadas com possível alteração das constantes.

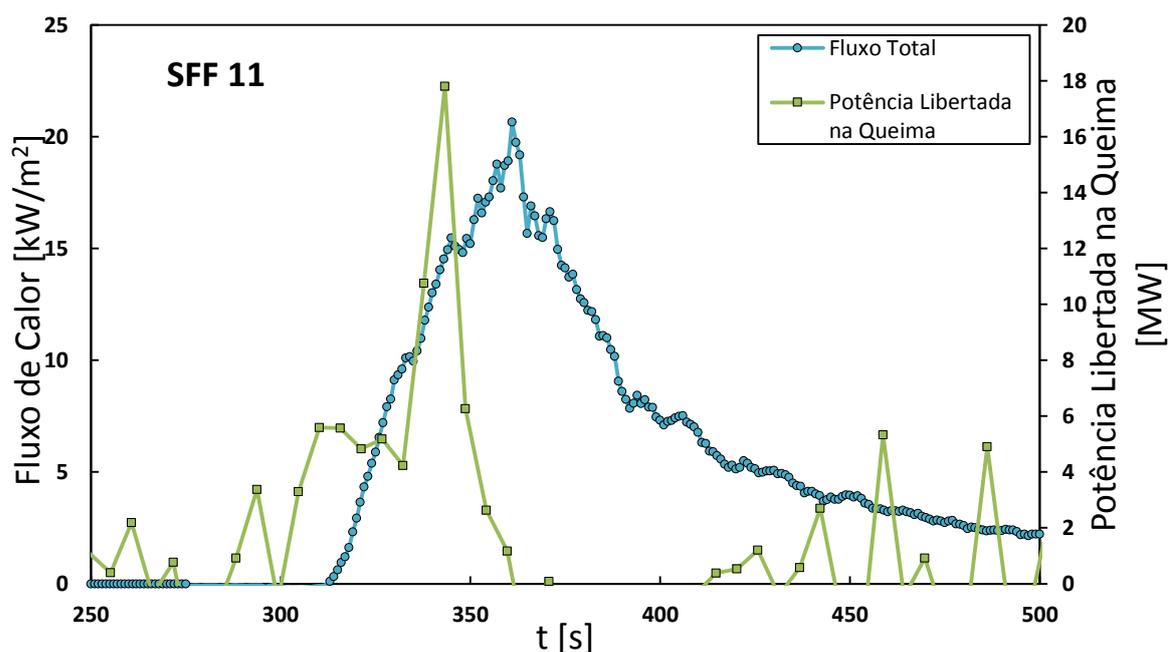
- Fluxo de Calor no exterior da cabine



**Figura 4.3.** Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 11.

Na Figura 4.3 são apresentados os valores relativos ao fluxo radiativo e ao fluxo total de calor que incidem junto à porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, a quando da realização do ensaio SFF 11. Observa-se um incremento do fluxo total e radiativo atingindo-se o valor de pico no fluxo Radiativo cerca de  $25 \text{ kW/m}^2$ . Este valor segundo (Alexander, et al., 1989) corresponde a um fogo com uma intensidade elevada em que o combate direto na frente do incêndio com meios terrestres é ineficaz e o controlo do incêndio pode estar comprometido.

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



**Figura 4.4.** Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 11.

No gráfico da Figura 4.4 é analisado a relação entre a potência libertada na queima do combustível florestal (mato) introduzido nos queimadores do simulador de frentes de fogo e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo posicionados a 2m de distância da frente e junto à cabine, sendo representativo do fluxo que incide na cabine, em função do tempo decorrido desde o início do ensaio. De referir que os sistemas de medição estão sincronizados o que possibilita a análise desta relação.

Constata-se que existe um desfasamento entre os picos devido à distância que os separa. É também notória a dissipação de energia para o meio envolvente sendo valor máximo do fluxo incidente na cabine cerca de 20 kW/m<sup>2</sup> e a potência máxima libertada pelas chamas de 17 MW.

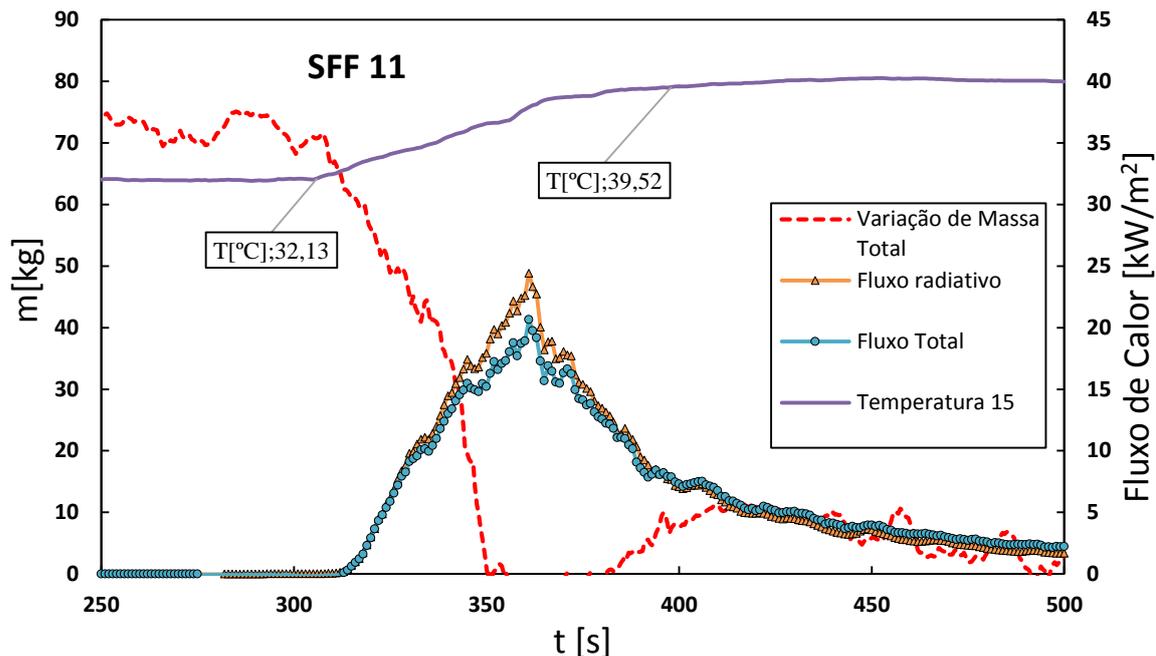


Figura 4.5. Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 11.

Na Figura 4.5 podemos comparar a evolução da variação de massa com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura. Desta análise verificamos que devido ao aumento da taxa de variação de massa e consequente aumento da taxa de queima observa um incremento do fluxo recebido pela cabine. Este aumento do fluxo, na ausência de proteção, conduz a um aumento da temperatura interior da cabine para valores próximos dos limites de segurança dos ocupantes. Assim a cabine sem sistema de proteção não poderá ser considerada como uma hipótese de abrigo fiável perante um fluxo de calor desta ordem de grandeza, mesmo não havendo contato direto entre as chamas e a cabine.

## 4.2. Ensaios Com Proteção

### • Temperatura no Interior da Cabine (Manequim)

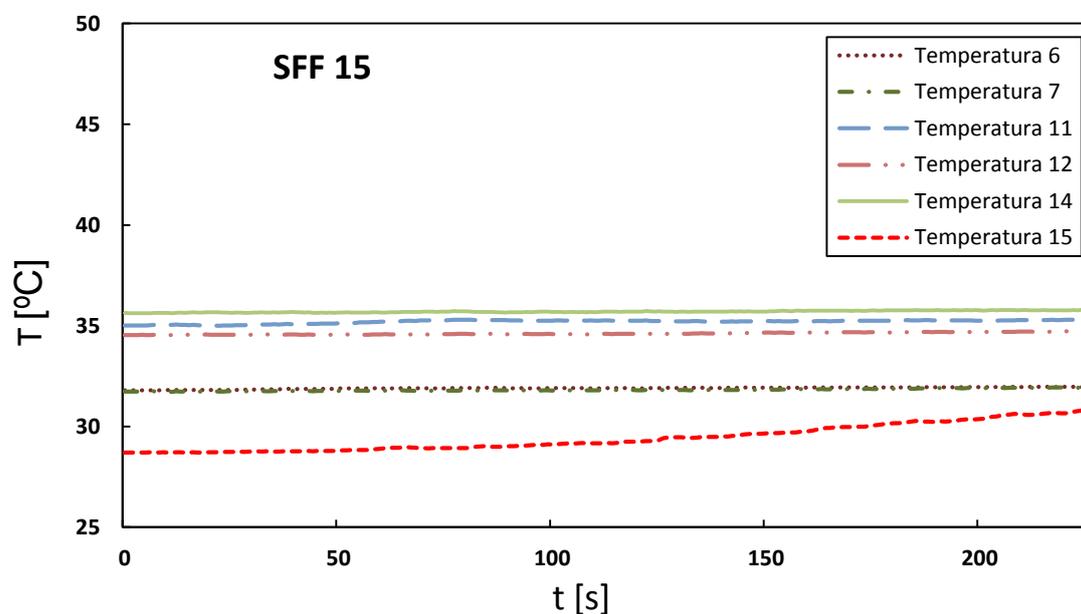


Figura 4.6. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 15.

De acordo com a Figura 4.6 observa-se que as temperaturas do manequim, colocado no interior da cabine, não sofrem qualquer alteração significativa. Consta-se também que devido à presença do sistema de proteção a temperatura junto ao vidro da cabine é inferior à temperatura do ar da cabine e verifica-se apenas um incremento de cerca de 2°C, apesar de estar exposta a uma frente de chamas, a 750°C, durante 4 minutos. A temperatura da frente de chama foi estimada recorrendo a imagens na gama de infravermelhos enquanto as temperaturas no vidro e no interior da cabine (manequim) foram registadas por termopares.

Pela pequena variação da temperatura junto ao vidro e pela não alteração das temperaturas no ar interior da cabine podemos inferir a eficácia do sistema proposto.

Registamos que a diferença medida entre as leituras do termopar nº 14 (colocado na cabeça do manequim), termopares nº 11 e 12 nos ombros e os termopares nº 6 e 7 (colocados nas mãos do manequim) se devem à estratificação térmica ocorrida no interior da cabine pelo facto de esta ter estado no exterior, exposta ao sol, ainda sem o sistema de proteção desenvolvido pela ADAI, num dia em que a temperatura ambiente era de 28.4°C.

Contudo os valores máximos registados são todos condizentes com a permanência de um ser humano sem qualquer tipo de agressão. Devido a calor que as chamas poderiam induzir dentro da cabine se não houvesse proteção obteríamos com certeza temperaturas muito superiores.

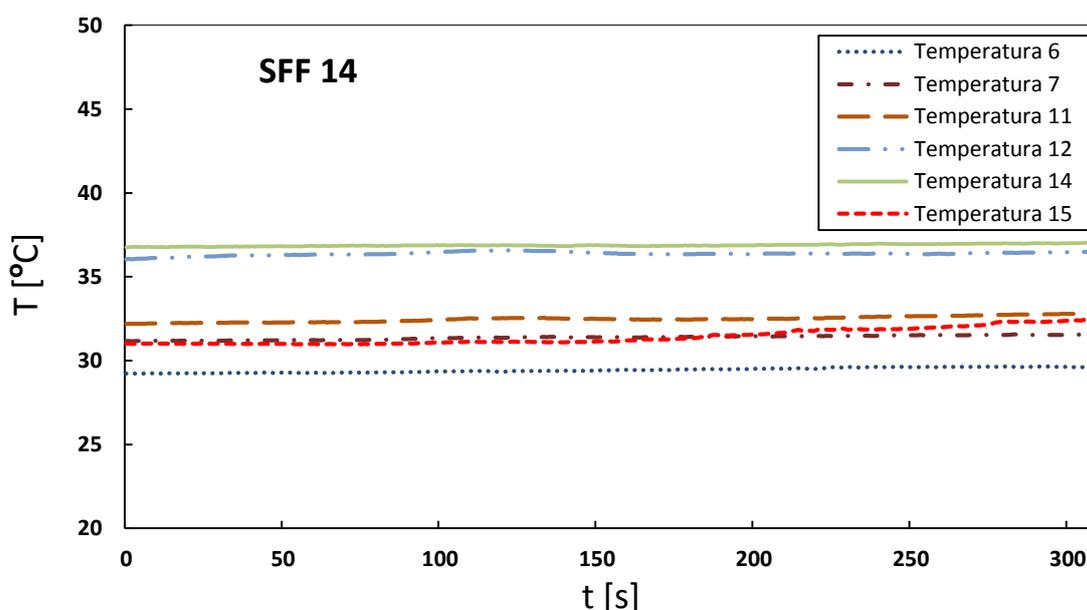


Figura 4.7. Temperaturas registadas no interior da cabine através de termopares, ensaio SFF 14.

Como é possível verificar pela análise da Figura 4.7 observa-se que as temperaturas do manequim não sofrem qualquer alteração significativa, tendo o mesmo comportamento registado no ensaio anteriormente analisado. Verifica-se também que devido à incorporação do sistema de proteção na cabine, a temperatura do vidro é inferior à temperatura registada junto ao tejadilho (cabeça do manequim), havendo apenas um incremento de 1°C, apesar de estar exposta a uma frente de chamas durante 5 minutos. Verificamos que a diferença medida entre as leituras do termopar nº 14 (colocado na cabeça do manequim) e os termopares nº 6 e 7 (colocados nas mãos do manequim) se devem à estratificação térmica ocorrida no interior da cabine pelo facto de esta ter estado no exterior, exposta ao sol, ainda sem qualquer tipo de proteção, igualmente ao sucedido no ensaio anteriormente analisado, num dia em que a temperatura ambiente era de 28.9° C.

Pela falta de variação das temperaturas do ar exterior e pela variação quase nula registada junto ao vidro tal como no ensaio SSF 15 pode dizer-se que o sistema proposto é realmente eficaz.

Foram realizados vários ensaios com sistema de proteção sendo que os resultados registados relativos a temperaturas no interior da cabine (Manequim) são em tudo similares aos aqui apresentados, sendo por isso possível afirmar que se está no bom caminho e que o sistema dará garantias de uma boa eficiência.

- **Variação de massa no sistema de queimadores**

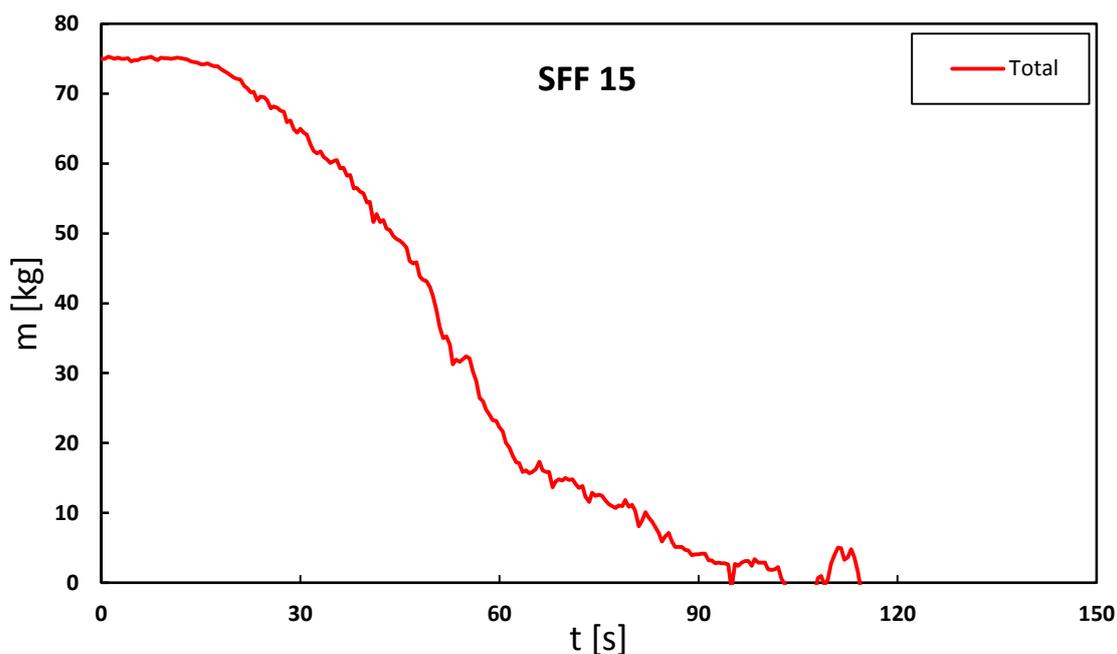


Figura 4.8. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 15.

Na Figura 4.8 pode ver-se a evolução da variação de massa que estará diretamente relacionada com a taxa de combustão nos cinco queimadores que compõe o simulador de frentes de fogo. A evolução geral em cada queimador é idêntica entre eles, assim, apresenta-se apenas a variação de massa do conjunto dos 5 cestos.

Observaram-se valores anómalos na variação da massa de combustível que se devem a questões relacionadas com possível alteração das constantes.

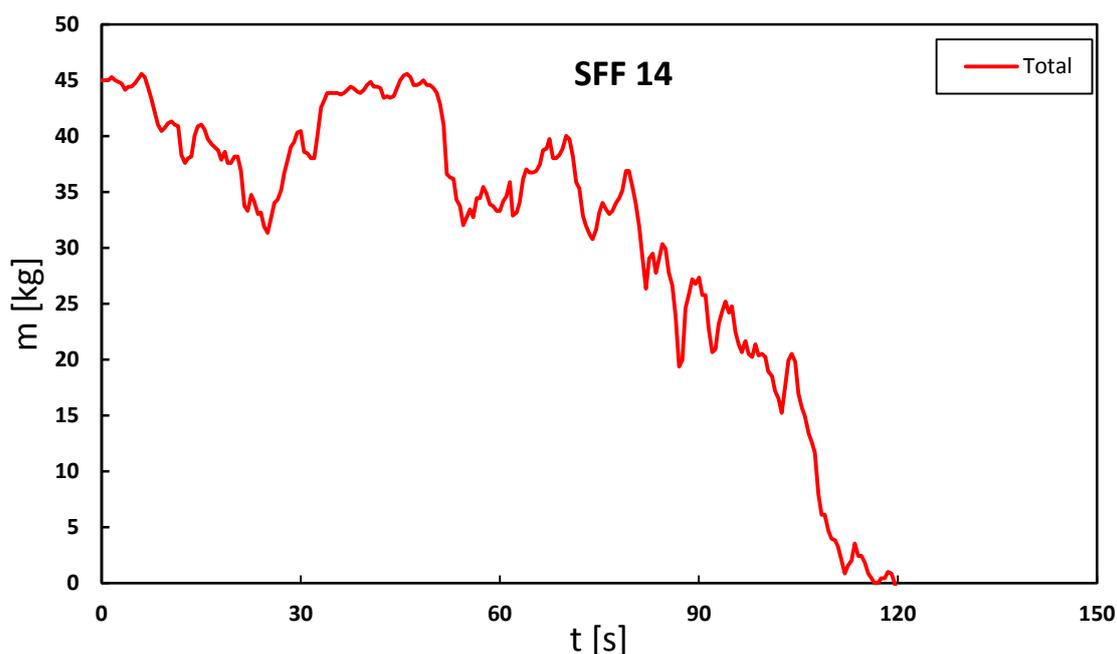


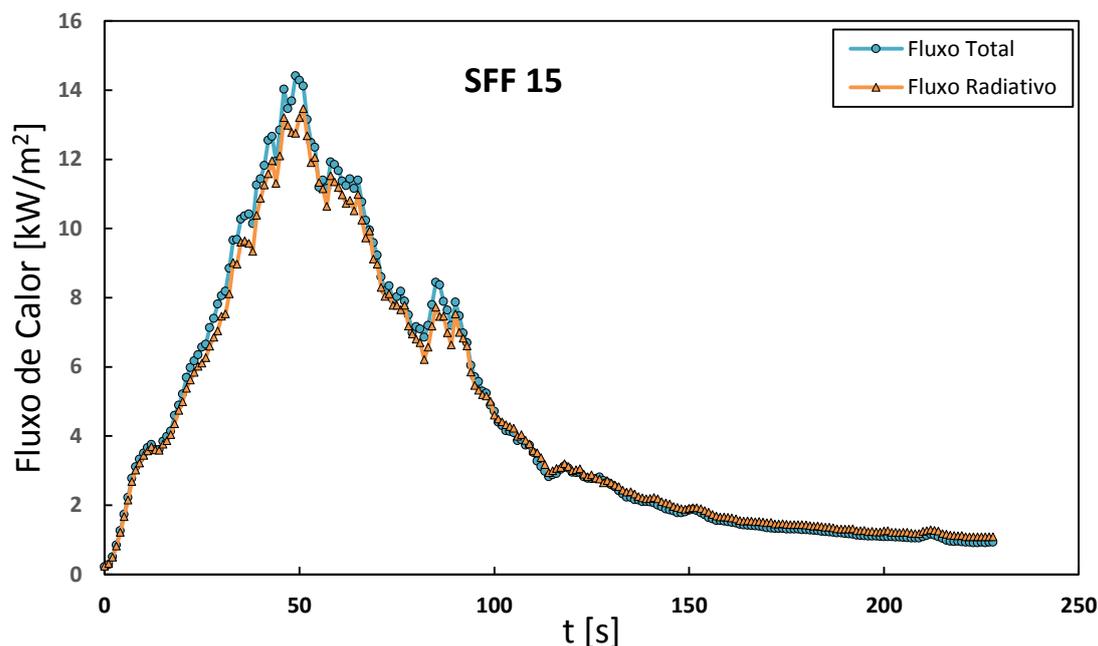
Figura 4.9. Variação da massa durante a queima, ensaio SFF 14.

A Figura 4.9 mostra a evolução da variação de massa que estará diretamente relacionada com a taxa de combustão em três dos cinco queimadores que compõe o simulador de frentes de fogo.

A evolução geral em cada queimador é muito semelhante entre eles, podendo alguma diferença dever-se as condições de combustão do mato.

Observaram-se valores anómalos na variação da massa de combustível, sendo que neste caso são mais visíveis que no ensaio SFF 15, que se devem a questões relacionadas com possível alteração das constantes.

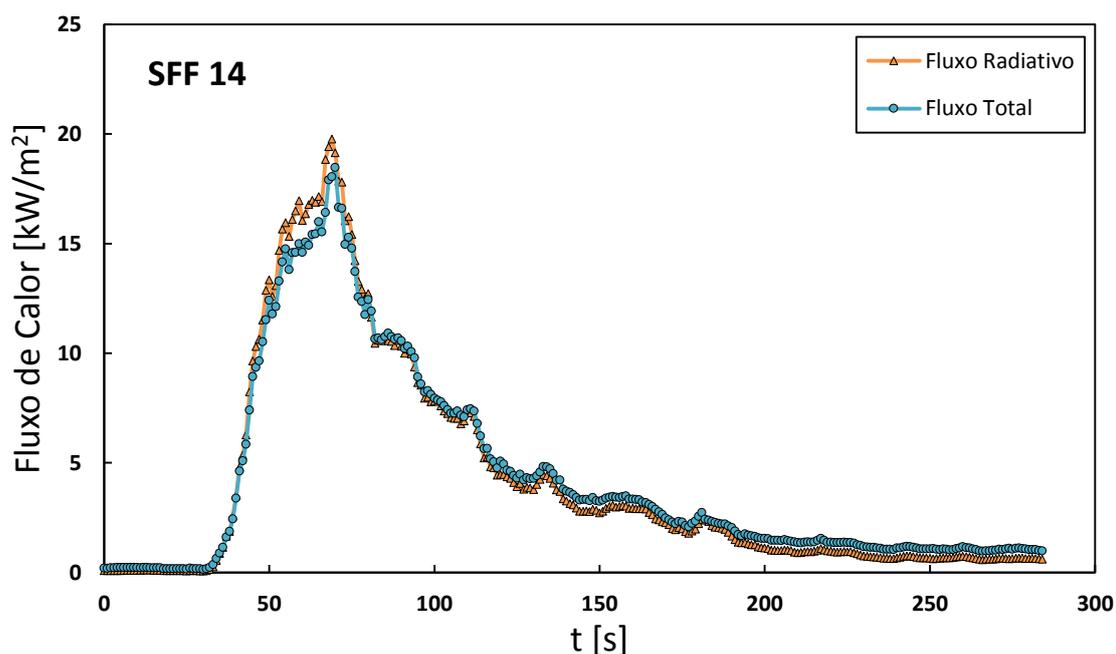
- Fluxo de Calor no exterior da cabine



**Figura 4.10.** Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 15.

Na Figura 4.10 são representados os valores relativos ao fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância do simulador de frente de fogo, a quando da realização do ensaio SFF 15. Observa-se um incremento do fluxo total e radiativo atingindo-se o valor de pico do fluxo total de cerca de 15 kW/m<sup>2</sup>. Este valor segundo (Alexander, et al., 1989) corresponde a um fogo com uma intensidade moderada (a propagação do fogo apresenta velocidade média, com chamas moderadamente altas. O incêndio florestal pode ser contido em ataque direto por meios terrestres com recurso a água ou fogo tático).

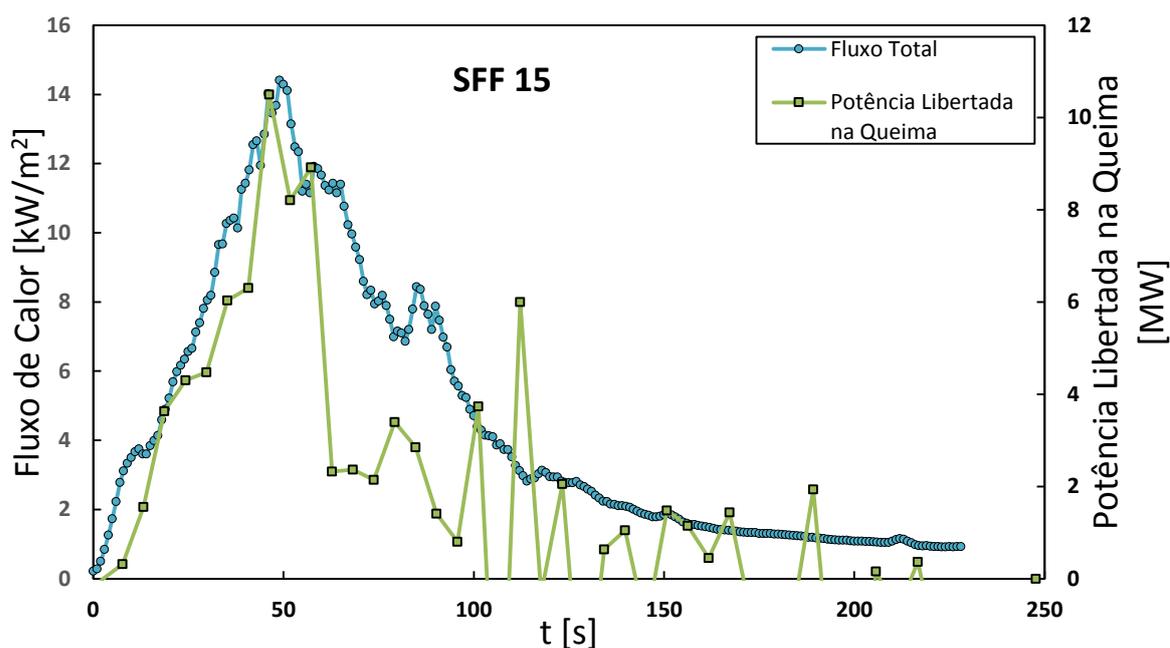
Neste ensaio observa-se que o fluxo total é superior ao fluxo radiativo devido ao facto de as chamas terem tombado no sentido da localização dos sensores de fluxo, sendo a convecção registada nos sensores de aquecimento.



**Figura 4.11.** Fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, ensaio SFF 14.

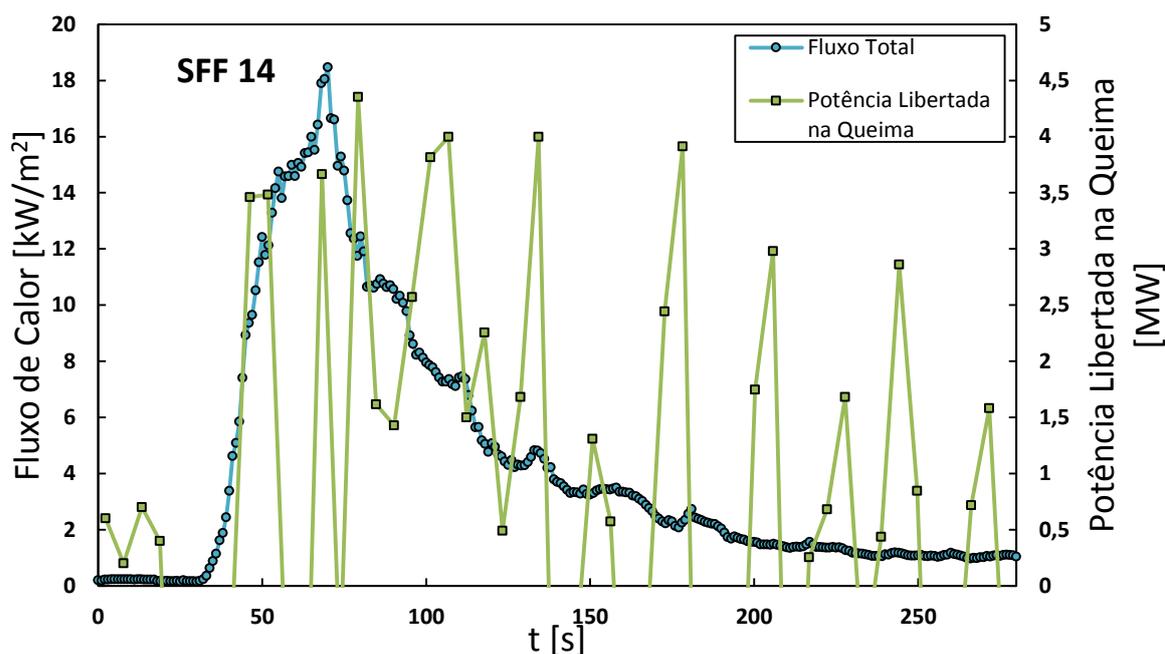
Na Figura 4.11 são apresentados os valores relativos ao fluxo radiativo e fluxo total de calor que incidem junto a porta da cabine colocada a 2m de distância dos queimadores do simulador de frente de fogo, a quando da realização do ensaio SFF 14. Observa-se um incremento do fluxo total e radiativo atingindo-se o valor de pico no fluxo Radiativo cerca de  $19 \text{ kW/m}^2$ . Este valor segundo (Alexander, et al., 1989) corresponde a um fogo com uma intensidade moderada tal como no ensaio SFF 15.

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



**Figura 4.12.** Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 15.

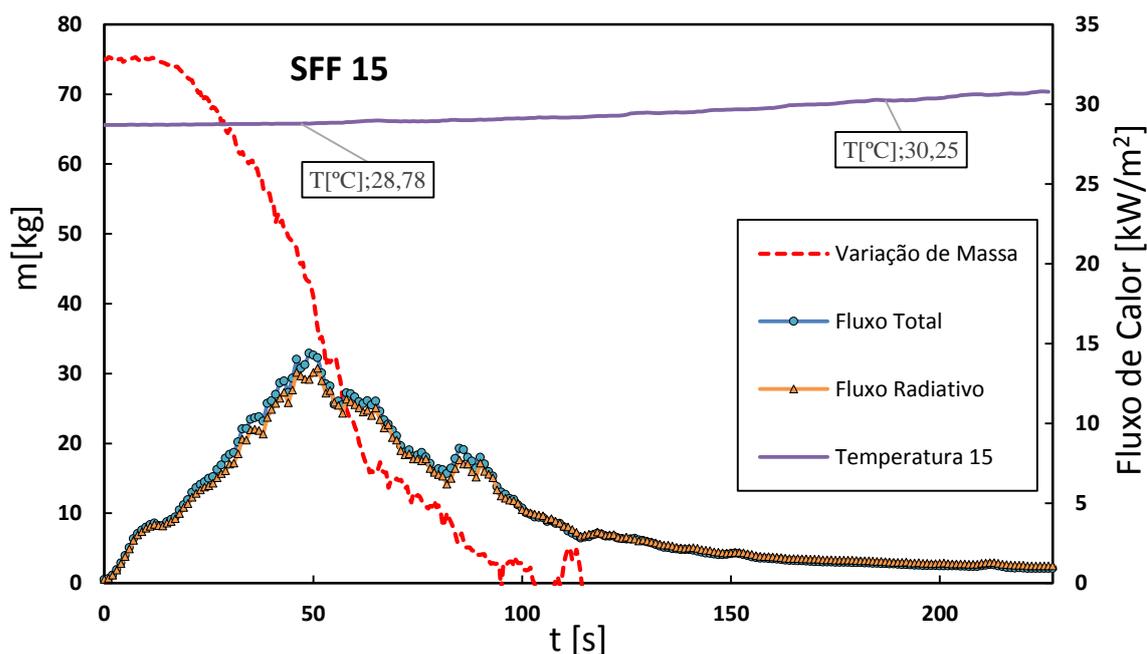
No gráfico da Figura 4.12 é analisado a relação entre a potência libertada na queima do combustível florestal (mato) introduzido nos queimadores do simulador de frentes de fogo com o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo posicionados a 2m de distância da frente de chamas e junto à cabine, sendo representativo do fluxo que incide na cabine. É notória a semelhança de registo do tempo em que ocorrem os picos máximos. É também visível a dissipação de energia para o meio envolvente sendo valor máximo do fluxo incidente na cabine aproximadamente 14 kW/m<sup>2</sup>.



**Figura 4.13.** Relação entre a potência libertada na queima do combustível e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo na porta da cabine, ensaio SFF 14.

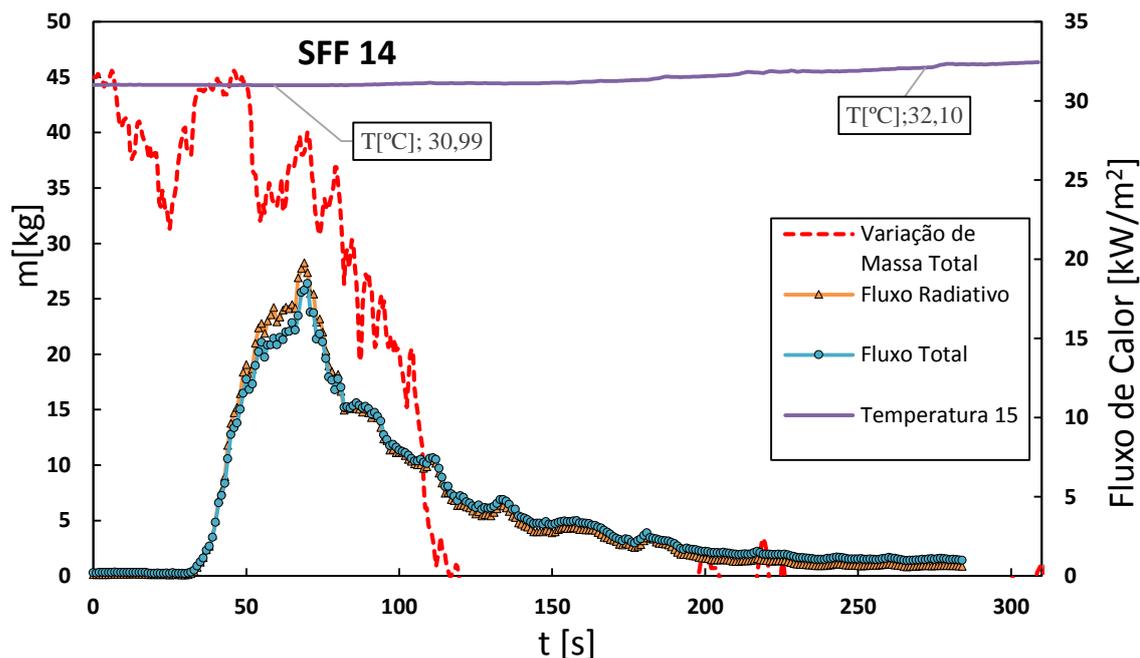
No gráfico da Figura 4.13 é analisado para o ensaio SFF 14 a relação entre a potência libertada na queima do combustível florestal (mato) introduzido nos queimadores do simulador de frentes de fogo com o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo.

A potência é marcada por uma série de picos embora o pico máximo ocorra aproximadamente ao mesmo tempo que o pico máximo do fluxo registado pelos sensores. Observa-se também a mesma tendência geral de evolução entre a potência gerada e o fluxo recebido na porta da cabine.



**Figura 4.14.** Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 15.

Da análise dos valores de variação de massa, fluxo e temperatura conjuntos da Figura 4.14, verificamos que devido ao aumento da taxa de variação de massa e consequentemente aumento da taxa de queima observa-se um incremento do fluxo recebido pela cabine, sendo o fluxo total superior ao fluxo radiativo. Devido ao facto das chamas estarem tombadas na direção da cabine ocorre um incremento da temperatura relacionado com o calor transferido por radiação bem como pela convecção de aquecimento que atinge a cabine, embora não significativo. Mesmo com este impacto severo sobre a cabine, podemos observar, que devido à presença da proteção a temperatura no interior da cabine não sofre alteração significativa, mantendo-se a segurança dos ocupantes. Assim a cabine com sistema de proteção poderá ser considerada como uma hipótese de abrigo fiável, mesmo exposta às condições severas representadas, pelo fluxo medido consequente da queima do combustível na direção da cabine.



**Figura 4.15.** Comparação da evolução da variação de massa, com o fluxo recebido no exterior da cabine e a evolução da temperatura, ensaio SFF 14.

Como referido pela análise parcial dos dados da Figura 4.15, a tendência de comportamento é semelhante ao ensaio SFF 15. Da análise dos valores de variação de massa, fluxo e temperatura conjuntos, verificamos que devido ao aumento da taxa de variação de massa e consequentemente aumento da taxa de queima observa-se um incremento do fluxo recebido pela cabine. Embora inicialmente se observe variação da massa, tal não conduz a um aumento ou variação do fluxo recebido. Pela análise mais cuidadosa dos dados verificamos que esses instantes iniciais não corresponde a uma verdadeira variação da massa, mas a apenas a oscilações não totalmente controladas no sistema de monitorização da variação da massa. Contudo assim que o declive da variação da perda de massa começa a ter uma tendência marcada registamos variação do fluxo recebido pela cabine, que é maioritariamente radiativo devido ao facto de as chamas estarem tombadas numa direção que leva a que não exista uma convecção de aquecimento tão intensa. Contudo registou-se novamente um impacto térmico severo sobre a cabine, que devido à presença da proteção foi neutralizado levando a que a temperatura no interior da cabine não tenha sofrido alteração relevante, mantendo-se a segurança dos ocupantes. Como no caso anterior concluímos que, com sistema de proteção a cabine é abrigo fiável durante uma situação de emergência.

## 5. CONCLUSÕES

Através do sistema de simulação de frentes de fogo foram criadas e simuladas frentes de fogo com intensidades de fluxo que atingiram valores de pico de cerca de 25 kW/m<sup>2</sup>. Este valor corresponde a um fogo com uma intensidade elevada em que o combate direto na frente do incêndio com meios terrestres é ineficaz e o controlo do incêndio pode estar comprometido. Tal leva a concluir que o simulador está desenhado e operacionalizado de maneira a criar as condições próximas de um fogo real, que se pretende simular com este sistema. Sendo um instrumento único disponível para o teste de viaturas, sistemas de proteção e outros equipamentos que se pretenda verificar e estudar, desenvolvido no decorrer deste trabalho.

Foram testadas cabines de veículos de combate aos incêndios florestais, com e sem sistema de proteção térmica. Analisados os estes verificou-se que sem o sistema de proteção, as temperaturas registadas no interior da cabine, medidas através de termopares, revelam incrementos nas temperaturas acima daquilo que se considera seguro para o ser humano, sendo atingidas temperaturas que podem produzir diferentes lesões. Podendo estas condições serem mais extremas para configurações menos favoráveis, não implementadas neste trabalho, o que levaria ao registo de condições ainda mais adversas. Nos casos em que se testou a proteção térmica desenvolvida e patenteada pela ADAI, foi possível verificar que mesmo com o impacto severo sobre a cabine, a temperatura no interior da cabine não sofre alteração significativa, mantendo-se a segurança dos ocupantes. A cabine com sistema de proteção foi validada como uma hipótese de abrigo fiável, utilizando uma pequena quantidade de água, sendo este fator muito importante, pois durante o combate ao incêndio o nível de água pode ser drasticamente reduzido, não devendo este tipo de proteções requer uma grande quantidade de água.

Como trabalho futuro recomenda-se a realização de novos ensaios com diferentes configurações, que permitam validar esta proteção para condições ainda mais severas. O teste comparativo com outros sistemas será também importante para a demonstração da qualidade do sistema em estudo.

## 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. ReenewableRessor., Terri. FireCent., FortSmith, Northwest Territories. - Canada : [s.n.], 1989.
- Bolgiani A.N. e Serra M.C.** Atualização no tratamento local das queimaduras [Diário] // Rev. Brasileira de Queimaduras. - 2010. - Vol. 9. - pp. 38-44.
- 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.
- Oliveira R.** Segurança Pessoal no Combate aos Incêndios Florestais - Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva [Livro]. - Coimbra : ADAI - CEIF, 2015.
- Viegas D [et al.]** Recent Forest Fire Related Accidents in Europe. [Diário]. - Louxemburg : Publications Office of the European Union, 2009. - Vol. JRC56107.
- Viegas D.X.** Estudo do acidente ocorrido no Concelho de Mortágua- 28 de Fevereiro de 2005 [Relatório]. - Coimbra : ADAI-CEIF, 2005.
- Viegas D.X.** Nota Técnica Sobre o Acidente de Macedo de Cavaleiros - 26 de Agosto [Relatório]. - Coimbra : ADAI - CEIF, 2014.
- Viegas D.X.** Segurança Pessoal no Combate aos Incêndios Florestais- Aspectos Gerais dos IF [Livro]. - Coimbra : ADAI-CEIF, 2015. - pp. 3-7.
- Viegas D.X., Rossa C. e Ribeiro L.M.** Incêndios Florestais [Livro]. - Lisboa : Verlag Dashofer, 2011. - Vol. I.

## ANEXO A

Tabela 0.1. Dados dos ensaios

Ensaio	T(°C)	mf(%)	HR(%)	1	2	3	4	5
				Mcomb(kg)	Mcomb(kg)	Mcomb(kg)	Mcomb(kg)	Mcomb(kg)
				Real	Real	Real	Real	Real
SFF 01	27,40	12,50	46,00	32,94	31,58	-	-	-
SFF 02	27,40	12,50	46,00	20,30	20,10	-	-	-
SFF 03	-	-	-	-	-	-	-	-
SFF 04	-	-	-	-	-	-	-	-
SFF 05	17,80	19,00	69,00	20,10	-	-	-	-
SFF 06	-	-	-	-	-	-	-	-
SFF 07	-	15,06	-	20,40	-	-	-	-
SFF 08	22,90	-	39,00	10,50	-	-	-	-
SFF 09	20,20	11,38	40,00	5,43	-	-	-	-
SFF 10	18,00	11,38	40,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
SFF 11	20,40	-	40,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
SFF 12	30,40	10,57	28,00	-	15,00	15,00	15,00	-
SFF 13	22,90	17,00	46,00	15,00	15,00	15,00	-	-
SFF 14	28,90	24,80	39,00	15,00	15,00	15,00	-	-
SFF 15	28,40	24,80	34,30	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
SFF 16	-	-	-	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

**Tabela 0.2.** Registos

nsaios	Perdas de Massa	Fluxo Radiativo	Fluxo Total	Temperaturas Interiores	Fotos	Video	IR
SFF 01	sim	sim	sim	-	-	sim	sim
SFF 02	sim	sim	sim	-	-	sim	sim
SFF 03	-	-	-	-	-	-	-
SFF 04	-	-	-	-	-	-	-
SFF 05	-	-	-	-	-	-	-
SFF 06	-	-	-	-	-	-	-
SFF 07	sim	-	-	-	-	-	-
SFF 08	sim	-	-	-	-	-	-
SFF 09	sim	sim	sim	-	sim	sim	-
SFF 10	-	sim	sim	-	sim	sim	-
SFF 11	sim	sim	sim	sim	sim	sim	-
SFF 12	-	sim	sim	-	sim	sim	-
SFF 13	-	sim	sim	-	-	sim	-
SFF 14	sim	sim	sim	sim	sim	sim	-
SFF 15	sim	sim	sim	sim	sim	sim	-
SFF 16	-	sim	-	sim	sim	-	sim