



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Pedro Miguel de Jesus Monteiro

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE PAINÉIS RÍGIDOS  
PARA PROTEÇÃO DE INFRAESTRUTURAS  
CONTRA INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo  
de Energia e Ambiente orientada pelo Professor Doutor Jorge Rafael Nogueira  
Raposo e pelo Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz e apresentada ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciência e Tecnologias da  
Universidade de Coimbra**

Julho de 2021



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

# **Estudo da resistência de painéis rígidos para proteção de infraestruturas contra incêndios florestais**

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

## **Study of the resistance of rigid panels in order to protect infrastructures against forest fires**

Autor

**Pedro Miguel de Jesus Monteiro**

Orientadores

**Gilberto Cordeiro Vaz**

**Jorge Rafael Nogueira Raposo**

Júri

Presidente	Professor Doutor Almerindo Domingues Ferreira Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Coimbra Professor Doutor José Carlos Miranda Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Luís Carlos Duarte dos Reis Investigador Sénior da Universidade de Coimbra



Associação para o  
Desenvolvimento da  
Aerodinâmica  
Industrial



Centro de Estudos  
sobre Incêndios  
Florestais

Coimbra, Julho, 2021



*“Our greatest glory is, not in never falling, but in rising every time we fall”.*

Nelson Mandela



## Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não seria possível sem o apoio e colaboração de diversas pessoas, às quais não podia deixar de prestar o devido agradecimento.

Assim sendo, gostaria de agradecer em primeiro lugar ao Professor Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo e ao Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz por me terem proporcionado esta oportunidade e por toda a ajuda e partilha de conhecimento durante todo o semestre.

Agradecer também a toda a equipa da ADAI, em particular ao Professor Doutor Luís Reis por todos os conselhos dados e pela ajuda incansável aquando da realização dos ensaios experimentais.

A todos os meus amigos, em especial ao António Saraiva por todos os anos de amizade e apoio incondicional, e ao Manuel Jesus pelo companheirismo e trabalho de equipa na realização de todo este processo neste semestre.

Um especial agradecimento à minha namorada, Inês Escalda, por toda a ajuda e motivação durante este percurso e por todo o carinho, compreensão e momentos partilhados ao longo dos anos. Agradecer também a toda a família pela preocupação e ajuda demonstrada.

Aos meus pais, avó e irmão obrigado por todo o apoio ao longo deste percurso académico e todos os valores e ensinamentos transmitidos durante toda a minha vida.





## Resumo

Os incêndios florestais são uma das principais catástrofes que assombram e devastam o nosso país ano após ano. A destruição provocada por estes fenómenos gera impactos a vários níveis, sejam sociais, ao colocar em risco a vida da população, sejam económicos através da destruição de um vasto leque de infraestruturas e bens, sejam ambientais devido à extrema desflorestação e ao elevado número de poluentes que são libertados para a atmosfera.

Os incêndios que têm vindo a ocorrer no país e em especial os de 2017, permitiram salientar a importância das infraestruturas associados aos sistemas de telecomunicação tanto na coordenação e organização dos serviços de combate, bem como no pedido de socorro por parte da população.

Com isto em mente surge uma parceria com a Telcabo e a Vodafone Portugal com o intuito de desenvolver uma proteção rígida aplicável a armários presentes nas estações de telecomunicações e que a qualquer instante possam vir a ser afetados por um incêndio florestal.

O objetivo deste trabalho é a criação de uma proteção com painéis rígidos, o seu estudo e análise do comportamento / resistência quando exposta a cenários próximos da realidade de um incêndio florestal. O trabalho foi desenvolvido através de ensaios experimentais em laboratório.

Numa primeira análise foi realizado um estudo sobre materiais que poderiam vir a ser usados na criação da proteção e de seguida partiu-se para os ensaios laboratoriais de forma a determinar se a estrutura protetora seria eficaz.

Após este procedimento foi possível criar e testar a proteção concluindo-se, após análise dos dados obtidos nos ensaios experimentais, que esta será eficaz no desempenho da função estipulada e salvaguardando a integridade e bom funcionamento dos armários de telecomunicações.

**Palavras-chave:** Incêndios florestais, Estação de telecomunicações, Painéis rígidos, Ensaios experimentais, Interface urbano-florestal.



## Abstract

Forest fires are one of the main disasters that haunt and devastate our country every year. The destruction caused by these phenomena generates impacts at several levels, whether social by putting at risk the population lives, whether economic through the destruction of a wide range of infrastructures and essential goods, or environmental due to the extreme deforestation and the high number of pollutants that are released into the atmosphere.

The forest fires that have been occurring in the country, and especially those in 2017, have highlighted the importance of infrastructures associated to the telecommunications systems, both in the coordination and organization of the combat services, as well as in the population's call for help.

With that in mind, emerged a partnership with Telcabo and Vodafone Portugal with the aim of developing a rigid protection that can be installed in cabinets present in telecommunications stations and that could be affected by a forest fire at any time.

The main objective of this work is the creation of a protection with rigid panels and the study and analysis of its behavior and resistance when exposed to real life scenarios through experimental tests in the laboratory.

In a first analysis, a study was carried out on materials that could be used in the creation of the protection and then went on to laboratory tests in order to determine whether the protective structure would be effective.

After this proceeding, it was possible to create and test the protection, concluding, after analyzing the data obtained in the experimental tests, that it will be effective in performing the stipulated function and safeguarding the integrity and proper functioning of the telecommunications cabinets.

After this procedure, it was possible to create and test the protection, concluding, after analyzing the data obtained in the experimental tests, that it will be effective in performing the stipulated function and safeguarding the integrity and proper functioning of the telecommunications cabinets.

**Keywords** Forest fires, Telecommunications station, Rigid panels, Experimental tests, Wildland-Urban Interface.



---

## Índice

Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Simbologia e Siglas .....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas .....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação .....	2
1.2. Objetivo .....	3
1.3. Estado da Arte .....	3
2. Fundamentos teóricos.....	5
2.1. Definição e comportamento do fogo .....	5
2.2. Modos de transferência de calor.....	7
2.2.1. Radiação .....	7
2.2.2. Convecção .....	7
2.3. Proteção ativa e proteção passiva .....	8
2.4. Estação de telecomunicações.....	8
3. Metodologia experimental.....	11
3.1. Estrutura protetora e armário de telecomunicações.....	11
3.2. Ensaio Experimentais.....	14
3.2.1. Configuração dos ensaios .....	16
3.2.2. Método de análise dos resultados .....	19
4. Análise e Discussão de resultados .....	21
4.1. Velocidade de propagação.....	21
4.2. Intensidade de chama.....	23
4.3. Temperatura.....	25
4.4. Fluxo de calor .....	31
4.5. Compilação e discussão de resultados.....	34
5. Conclusões e perspectivas futuras .....	37
Referências Bibliográficas.....	39
Apêndice A.....	41
Apêndice B .....	43
Apêndice C .....	45



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. O triângulo do fogo adaptado de: (Kern & Krausmann, 2020).....	6
Figura 2.2. O quadrado do fogo adaptado de: (Viegas, 2006).....	6
Figura 2.3. Estação de Telecomunicações adaptado de: (Barge, 2019). ....	9
Figura 3.1. Comparação entre a placa MAGOXX e outros materiais adaptado de: (MGOBoard, 2020). ....	13
Figura 3.2. (a) Armário de telecomunicações; (b) Armário com proteção aplicada. ....	14
Figura 3.3. Esquema de disposição do armário, equipamentos e leito de combustível no túnel de combustão 3. ....	16
Figura 3.4. Vista geral da disposição dos equipamentos no túnel de combustão.....	17
Figura 3.5. Esquema de instalação dos equipamentos.....	18
Figura 3.6. <i>Frames</i> retirados a diferentes gamas de temperatura (a)[-40-120°C]; (b)[300- 1500°C]; (c) [0-500°C]. ....	19
Figura 4.1. Evolução da velocidade de propagação sem paredes laterais. ....	21
Figura 4.2. Evolução da velocidade de propagação com paredes laterais.....	22
Figura 4.3. Evolução da intensidade de chama sem paredes laterais. ....	23
Figura 4.4. Evolução da intensidade de chama com paredes laterais.....	24
Figura 4.5. Evolução de temperaturas para o Ensaio 01 (U=0 m/s).....	25
Figura 4.6. Evolução das temperaturas do Ensaio 02 (U=1 m/s). ....	26
Figura 4.7. Evolução das temperaturas no Ensaio 03 (U=3 m/s). ....	26
Figura 4.8. Evolução das temperaturas do Ensaio 04 (U=0 m/s). ....	27
Figura 4.9. Evolução das temperaturas no Ensaio 05 (U=1 m/s). ....	27
Figura 4.10. Evolução das temperaturas no Ensaio 06 (U=3 m/s). ....	28
Figura 4.11. Evolução das temperaturas no Ensaio 07 (U=0 m/s). ....	29
Figura 4.12. Evolução das temperaturas no Ensaio 08 (U=1 m/s). ....	29
Figura 4.13. Evolução das temperaturas no Ensaio 09 (U=0 m/s). ....	30
Figura 4.14. Evolução das temperaturas no Ensaio 10 (U=1 m/s). ....	30
Figura 4.15. Evolução das temperaturas no Ensaio 11 (U=3 m/s). ....	31
Figura 4.16. Evolução do fluxo de calor para U=0 m/s.....	32
Figura 4.17. Evolução do fluxo de calor para U=1 m/s.....	33
Figura 4.18. Evolução do fluxo de calor para U=3 m/s.....	33

Figura A.0.1. Evolução da velocidade de propagação para $U=0$ m/s. ....	41
Figura A.0.2. Evolução da velocidade de propagação para $U=1$ m/s. ....	41
Figura A.0.3. Evolução da velocidade de propagação para $U=3$ m/s. ....	42
Figura B.0.1. Evolução da intensidade de chama para $U=0$ m/s.....	43
Figura B.0.2. Evolução da intensidade de chama para $U=1$ m/s.....	43
Figura B.0.3. Evolução da intensidade de chama para $U=3$ m/s.....	44
Figura C.0.1. Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e $U=0$ m/s.....	45
Figura C.0.2. Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e $U=1$ m/s.....	45
Figura C.0.3. Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e $U=3$ m/s.....	46
Figura C.0.4. Esquema da propagação do fogo com paredes laterais e $U=0$ m/s. ....	46
Figura C.0.5. Esquema da propagação do fogo com paredes laterais com $U=1$ m/s. ....	47
Figura C.0.6. Esquema da propagação do fogo com paredes laterais e $U=3$ m/s. ....	47



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Materiais identificados para o estudo .....	12
Tabela 3.2. Lista de ensaios.....	15
Tabela 4.1. Compilação das variáveis e resultados em estudo.....	34



## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$\varepsilon$  – Emissividade

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzaman [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ ]

R – Velocidade de propagação [ $\text{cm}/\text{s}$ ]

$R_0$  – Velocidade básica de propagação [ $\text{cm}/\text{s}$ ]

$R'$  – Velocidade de propagação adimensional

U – Velocidade de escoamento [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$I_p$  – Intensidade de propagação [ $\text{MW}/\text{m}$ ]

t – Tempo [s]

x – Posição da chama [cm]

$M_c$  – Carga de combustível [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

$\Delta H_c$  – Poder calorífico do combustível [ $\text{MJ}/\text{kg}$ ]

### Siglas

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ROS – Rate Of Spread



## 1. INTRODUÇÃO

O cenário de alterações climáticas em que atualmente vivemos propiciam e intensificam a ocorrência de incêndios florestais. Na origem destes fenómenos estão, entre outras, duas principais razões: o abandono da gestão florestal que implica uma excessiva acumulação de materiais combustíveis para a deflagração de um incêndio, e o aquecimento global que contribui para o alargamento do período propício à ocorrência de situações de risco (do Ó et al., 2009).

Em Portugal este tipo de catástrofes são cada vez mais recorrentes. Tomando como exemplo o ano de 2017, foram registados até ao dia 19 de Outubro, 356 incêndios florestais com uma área ardida estimada em 520.515 hectares (ANACOM, 2017). Foi também neste ano que deflagrou o complexo de incêndios de Pedrógão Grande que ficou para a história como sendo um dos piores incêndios do país e da Europa. Esta terrível catástrofe tirou a vida a dezenas de pessoas, feriu centenas e provocou uma onda de destruição por todos os pontos onde passou. Durante este acontecimento, inúmeras infraestruturas foram destruídas, nomeadamente estações de telecomunicações, postes e cabos de cobre e fibra ótica levando à existência de inúmeros problemas de comunicação. Baseado no relatório da Comissão Técnica Independente (2017), Viegas et al. (2017) afirmaram que “A falha do sistema de comunicações terá contribuído para a falta de coordenação dos serviços de combate e de socorro, para a dificuldade de pedido de socorro por parte das populações e para o agravamento das consequências do incêndio”. A falha do sistema de comunicações juntamente com a falta de preparação para uma ocorrência desta magnitude, levou a que se instalasse o pânico junto da população que viu anulada a capacidade de pedir socorro, e fez ainda com que o combate ao incêndio ficasse comprometido uma vez que não foi possível a comunicação entre as várias entidades presentes levando a que não existisse uma tática bem definida para o controlo da situação.

## 1.1. Motivação

O registo contínuo de um elevado número de incêndios florestais em território nacional e um pouco por todo o planeta levantam um vasto número de problemas nas mais variadas áreas. A nível ambiental, devido à desflorestação, destruição de toda a biodiversidade e libertação de vários poluentes para a atmosfera, a nível económico por toda a destruição de infraestruturas e outros bens que muitas vezes são imprescindíveis para a sobrevivência económica da população, e por último, e indiscutivelmente a mais importante, a nível social uma vez que põe em risco a vida das pessoas gerando muitas vezes um elevado número de feridos e até mesmo, no extremo, mortes.

Desta forma, é de extrema importância apostar nas ações preventivas para que seja possível minimizar ao máximo as consequências e para que todos os meios estejam preparados para cenários extremos. Como se tem vindo a verificar, nomeadamente nos grandes incêndios de 2017, a falha nos sistemas de telecomunicações é um dos problemas recorrentes e o qual tem merecido atenção por parte de várias entidades. Com base nisso, surge a grande motivação deste trabalho de forma que seja possível reduzir ao máximo essas falhas e possa continuar a haver comunicação por parte da população e dos meios de socorro num contexto de incêndio florestal.

O presente trabalho foi enquadrado dentro da investigação dos Projetos FCT, FIRESTORM (PCIF/GFC/0109/2017), MCFIRE (PCIF/MPG/0108/2017) e SMOKESTORM (PCIF/GFC/0109/2017). Nestes projetos são analisados o comportamento do fogo, sistemas de proteção e segurança e a humidade dos combustíveis florestais, tendo em conta as mudanças climáticas em curso que criam condições mais frequentes para a ocorrência de secas e ondas de calor que facilitam a incidência de eventos extremos de fogo (EWE).

## 1.2. Objetivo

No contexto do elevado risco de incêndios florestais no nosso país, surgiu uma parceria entre a ADAI, a Telcabo e a Vodafone Portugal cujo objetivo é desenvolver uma proteção aplicável a armários que estejam inseridos nas estações de telecomunicações e que estão na iminência de ser afetados por incêndios.

O objetivo desta dissertação será então o desenvolvimento de uma proteção constituída com painéis rígidos a qual será aplicada a um armário. Numa primeira fase serão analisadas algumas soluções possíveis no que diz respeito ao tipo de materiais a utilizar e verificar se satisfazem as necessidades requeridas. Após a escolha do material serão realizados ensaios laboratoriais nos quais se irá estudar o comportamento da proteção e do armário quando expostos ao fogo e analisar a viabilidade da mesma para o uso em situações reais.

## 1.3. Estado da Arte

Segundo (Andrade & Souza, 2015) os materiais usados para proteção contra incêndio podem ser classificados segundo três grandes grupos: materiais rígidos e semirrígidos; tintas intumescentes; materiais projetados. Nesta dissertação serão utilizados painéis rígidos que serão aplicados a um armário idêntico ao presente nas estações de telecomunicações e como tal, para além da resistência ao fogo terá também que resistir a todas as condições adversas.

Takahashi (2019) mostrou que o uso de mantas de proteção constituídas por múltiplas camadas de fibras permite a proteção de infraestruturas contra incêndios. No entanto, a aplicação deste tipo de proteção apenas se torna viável quando o tempo de exposição é relativamente curto, uma vez que para exposições mais prolongadas torna-se evidente a deterioração da mesma.

O trabalho a desenvolver surge como uma continuação de estudos feitos anteriormente (Brinca, 2020) sendo que nestes foi usada uma manta de fibra de vidro revestida com alumínio de forma a proteger um armário de telecomunicações. Esta proteção, para além de se ter revelado eficaz na proteção contra incêndio, veio demonstrar também que a temperatura no interior do armário aumentava mesmo quando não existia exposição ao fogo. Assim, a autora deixou em aberto a possibilidade de ser usado outro tipo de proteções e realizar a comparação com os resultados obtidos.





## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

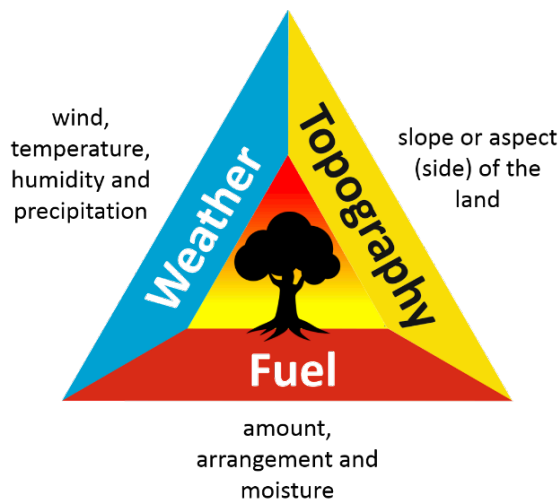
### 2.1. Definição e comportamento do fogo

Para que seja possível compreender um incêndio florestal e posteriormente realizar este trabalho é necessário, numa primeira fase, ter em mente o conceito do fenómeno do fogo.

O fogo é uma reação química originada na presença de energia inicial de ativação, de um combustível e de um comburente. De forma a despoletar esta reação é necessária a existência de uma fonte de calor exterior de modo a fornecer a energia necessária ao desencadeamento da ignição. Já a facilidade com que um combustível entra em ignição é dada por uma característica denominada de inflamabilidade e representa a maior ou menor quantidade de energia necessária para produzir a ignição (Viegas, 2006).

O comportamento do fogo, segundo *Canadian Interagency Forest Fire Centre* (CIFFC, 2021), é definido como sendo o modo como o combustível entra em ignição, a forma como as chamas se desenvolvem e o fogo se propaga, determinado através da interação entre os combustíveis, o clima e a topografia. Com isto em mente, é possível afirmar que o estudo e compreensão do comportamento do fogo é assim extremamente importante na gestão de um incêndio florestal na medida em que permite determinar as estratégias e medidas a pôr em prática face a um cenário extremo (Viegas, 2006).

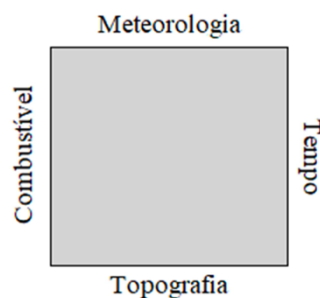
Vários estudos sugerem que o comportamento do fogo é assim influenciado por três principais fatores formando o “triângulo do fogo” que é atualmente bastante aceite na comunidade científica.



**Figura 2.1.** O triângulo do fogo adaptado de: (Kern & Krausmann, 2020).

Nesta vertente entram parâmetros como o combustível que engloba fatores como a carga, composição, o teor de humidade e a altura do leito. O clima que inclui fatores como a temperatura, precipitação, radiação solar, vento, humidade relativa do ar, entre outros. Por fim, a nível da topografia os fatores determinantes são o declive do terreno e a sua concavidade.

Contudo, segundo Viegas (2006), existe um quarto fator que não deve ser ignorado e que considera essencial na análise do comportamento do fogo. Uma vez que o comportamento de fogo é dinâmico, ou seja, mesmo que outras características se mantenham inalteradas, as características de propagação variam com o tempo. Desta forma, o autor defende a existência de um “quadrado do fogo” com a entrada do parâmetro tempo, ao invés do que foi dito anteriormente.



**Figura 2.2.** O quadrado do fogo adaptado de: (Viegas, 2006).

## 2.2. Modos de transferência de calor

O fenómeno da transferência de calor ocorre sempre que existem elementos de um ou mais sistemas com variação de temperaturas, sendo que esta pode ser efetuada através de condução, convecção e radiação.

Na ocorrência de um incêndio florestal é possível desprezar a componente da condução, uma vez que representa uma parte ínfima quando comparada com os elevados valores de convecção e radiação. Este facto pode ser explicado com base nos valores da condutividade térmica do próprio armário e da proteção em uso, uma vez que esta apresenta um valor inferior a 1 W/m.K e o aço do armário na ordem de 50 W/m.K. fazendo com que as trocas de calor por condução entre estas duas superfícies sejam de facto baixas.

### 2.2.1. Radiação

Ao fluxo de radiação eletromagnética emitido por um corpo, denominamos de radiação térmica. Todos os corpos emitem radiação proporcionalmente à quarta potência da temperatura e, como tal, este fenómeno é particularmente relevante no caso da transferência de calor de um incêndio devido aos elevados valores de libertação de calor.

Desta forma, a radiação pode ser definida através da Lei de Stefan-Boltzmann a qual está representada na equação (2.1):

$$q_r'' = \sigma * T^4 \quad (2.1)$$

onde  $\varepsilon$  representa a emissividade,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ) e  $T$  [K] é a temperatura absoluta do corpo.

### 2.2.2. Convecção

A convecção consiste na movimentação de fluidos originada na diferença de temperaturas em diferentes pontos do fluido. Assim, existem duas formas de trocas de calor por convecção, são elas a convecção natural e a forçada.

A convecção natural é a forma mais simples e resulta simplesmente da diferença de densidades do fluido resultante da diferença de temperaturas em diferentes localizações. No que diz respeito à convecção forçada, o princípio é idêntico com a diferença de que o escoamento é originado por meios externos.

Desta forma este fenómeno pode ser representado pela Lei de Newton que está representada na equação (2.2):

$$q_c'' = h_{conv} * (T_s - T_a) \quad (2.2)$$

em que  $h_{conv}$  [W/m<sup>2</sup>K] é coeficiente de transmissão de calor por convecção da superfície,  $T_s$  e  $T_a$  [K] são, respetivamente, a temperatura da superfície e a temperatura do fluido.

### **2.3. Proteção ativa e proteção passiva**

O desenvolvimento da proteção em estudo baseia-se nos mecanismos de proteção passiva. Contudo é necessário ter presente a noção de ambos os conceitos de forma a melhor perceber o que irá ser feito.

Os sistemas de proteção ativa consistem nos meios e medidas disponíveis para o combate imediato de um incêndio. Estes meios podem ser desde extintores, detetores de fumo, alarmes, saídas de emergência, aspersores, entre outros e permitem o combate ao incêndio e em simultâneo garantir a evacuação de pessoas em segurança.

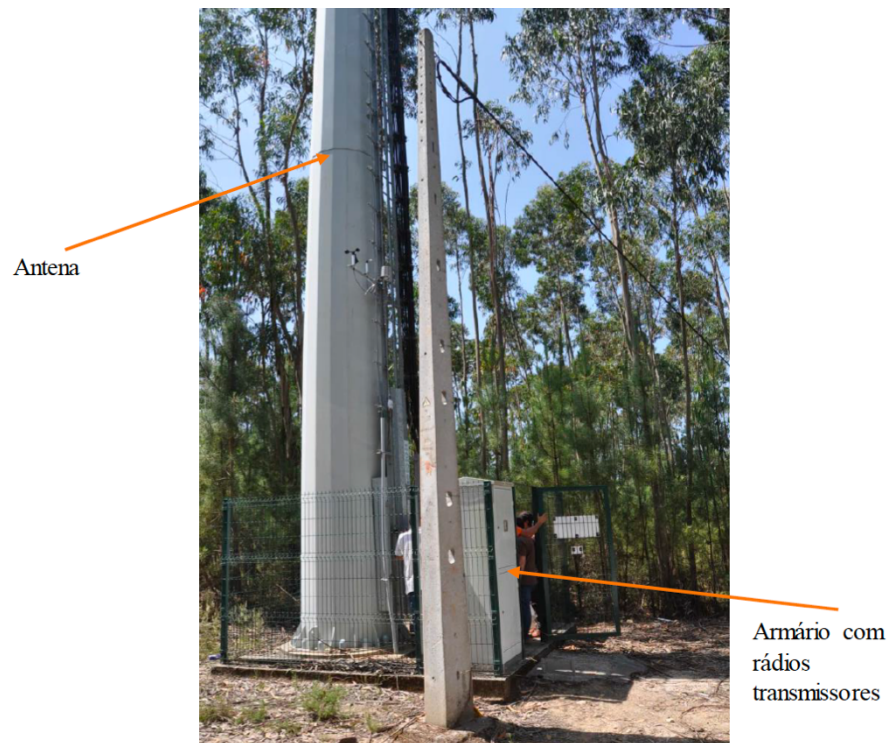
No caso dos sistemas de proteção passiva, estes são relativamente menos conhecidos que os anteriores, mas também de extrema importância. Estes sistemas consistem num conjunto de soluções aplicadas a infraestruturas cujo principal objetivo é isolar o foco de incêndio. Estas soluções permitem não só aumentar a resistência ao fogo como também ganhar tempo para a evacuação. Dentro destes sistemas existem várias opções que podem ser aplicadas em função das necessidades de cada caso, destacando-se os painéis rígidos, as tintas ou revestimentos intumescentes, argamassas e as mantas térmicas (MAPFRE Global Risks, 2019).

### **2.4. Estação de telecomunicações**

As estações de telecomunicações são compostas por um conjunto de dispositivos que entre si formam um sistema capaz de permitir a comunicação via rádio entre pessoas.

Na sua composição entram assim três componentes principais: um transceptor de radiocomunicação (armário), uma torre com antenas e uma linha de transmissão. O transceptor é um dispositivo que combina em si tanto um emissor como um recetor e como tal é responsável pelo processamento do sinal. As antenas permitem transformar a energia

eletromagnética em energia irradiada ou vice-versa. Por último, a linha de transmissão permite que o sinal se transporte entre o transceptor e as antenas (Barge, 2019).



**Figura 2.3.** Estação de Telecomunicações adaptado de: (Barge, 2019).

Após os incêndios de 2017 e salientada a importância do bom funcionamento das estações de telecomunicações para a gestão do combate e sobrevivência da população em geral, a ANACOM estabeleceu um conjunto de requisitos que visam a proteção e prorrogação do tempo de vida útil destes equipamentos. Desta forma passa a ser obrigatório a criação de uma área pavimentada circundando a estação com uma largura mínima adequada (1 a 2 metros), corte e desbaste das copas das árvores e arbustos numa distância de cinco metros à estação, limpeza do terreno em redor da estação de forma a estabelecer uma faixa de gestão de material combustível (50 metros) e assim tornar-se menos suscetível de ser afetada por um incêndio, limpeza do espaço interior da vedação, promover a substituição de cabos aéreos por traçados subterrâneos, entre outras (ANACOM, 2017).



### **3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Com vista ao melhoramento da resistência dos armários de telecomunicações a um incêndio e de forma a garantir o seu correto funcionamento em situações extremas, é possível afirmar que este trabalho foi dividido em duas fases. A primeira fase consistiu na pesquisa e estudo dos diferentes materiais que seriam exequíveis de utilizar e escolha do mesmo. Numa fase posterior foram realizados ensaios experimentais no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) na Lousã e nos quais foi testado o desempenho e viabilidade da proteção quando exposta ao fogo.

#### **3.1. Estrutura protetora e armário de telecomunicações**

Na primeira fase deste estudo foram identificadas e analisadas várias soluções de materiais que permitem ser uma opção de proteção dos armários de telecomunicações simples, eficaz e que sobretudo apresente os requisitos necessários para cumprir a função estipulada.

Desta forma, o material a utilizar tem de ser principalmente resistente ao fogo, de resistir às adversidades climáticas, resistir ao impacto e apresentar condutividade térmica relativamente baixa de forma que o interior do armário não atinja temperaturas elevadas que possam comprometer o seu funcionamento. Com base nestes requisitos foi possível reunir um conjunto de produtos passíveis de ser utilizados e que se encontram compilados na Tabela 3.1 juntamente com algumas das principais características.

**Tabela 3.1.** Materiais identificados para o estudo.

	<b>DuraSteel</b> (Invicta DuraSteel, n.d.)	<b>Promatec-XW</b> (Promat, n.d.)	<b>WeatherKem</b> (SPEEDPANEL, n.d.)	<b>SpeedPanel</b> (SPEEDPANEL, n.d.)	<b>MAGOOX</b> <b>Board</b> (MGOBoard, 2020)	<b>TriplacM</b> (TRIA, n.d.)
<b>Fornecedor</b>	Promat	Promat	Kemwell	Speedpanel	MGOBoard	TRIA
<b>Composição</b>	2 placas de aço perfurado e núcleo de cimento reforçado com fibras	-	Mistura de cimento, fibras de celulose e aglutinantes à base de silício	Núcleo de cimento e revestimento de aço galvanizado	Óxido de magnésio reforçado com malha de fibra de vidro	Magnésio, fibras reforçadas e outros materiais refratários
<b>Espessura [mm]</b>	9,5	15	6-18	51; 64; 78;	4-18	24-30
<b>Resistência ao fogo [min]</b>	240	≤ 60	-	Varia com a espessura (60; 90; 120)	60-90	180-240
<b>Resistência às adversidades climatéricas</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Resistência ao impacto</b>	Sim	-	-	-	Sim	-
<b>Condutividade Térmica (aprox. 20°C) [W/m.K]</b>	0,55	0,264	-	-	0,213	0,29



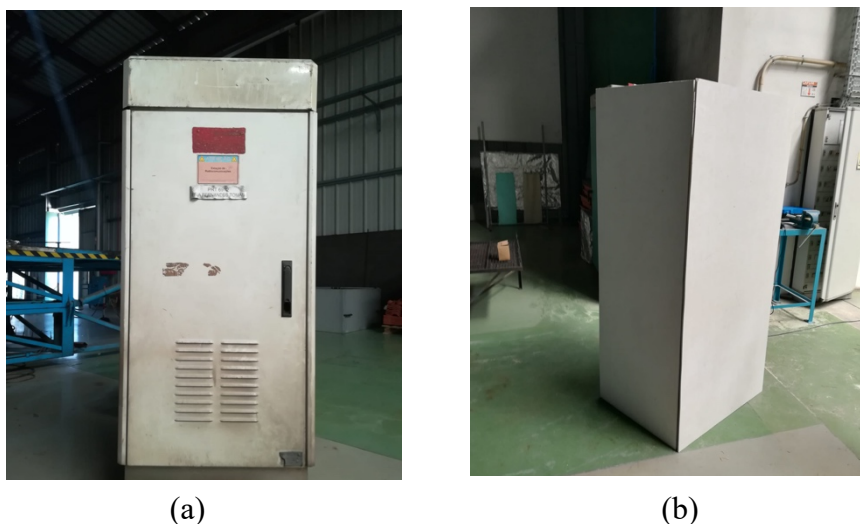
Na tabela anterior foi identificado uma seleção materiais/fornecedor que se consideraram adequados para o caso de estudo. Os painéis a serem testados serão os *MAGOOX Board* com 9 milímetros de espessura, compostos por óxido de magnésio reforçado com fibra de vidro. Esta composição permite que este material seja adequado uma vez que apresenta uma resistência ao fogo de cerca 60 a 90 minutos, julgando ser suficiente face a um cenário de incêndio florestal que possui uma duração de passagem não superior a 15 a 20 minutos e que muitas vezes atingem velocidades de propagação bastante elevadas (cerca de 29 km/h) (Raposo et al., 2018).

Para além de todas as características do material favoráveis para esta escolha, o fator ambiental pesou também na decisão. Numa época em que se faz sentir uma enorme pressão para que tudo seja mais sustentável e amigo do ambiente, a escolha destes painéis teve também isso em conta e como tal são cem por cento (100%) recicláveis e não tóxicos uma vez que são isentos de silicatos e amianto (MGOBoard, 2020).

	MAGOOX®	Silicato de cálcio	OSB	Fibrocimento	Placa de gesso
Resistência ao fogo	++	++	--	+	+-
Reciclagem	++	--	+	-	+
Emissões de CO <sub>2</sub>	++	+	++	--	--
Economia de espaço	++	++	--	-	--
Humidade	++	+-	--	+-	--
Moldagem	++	++	-	++	-
Custos	+-	--	++	+	++

**Figura 3.1.** Comparação entre a placa MAGOOX e outros materiais adaptado de: (MGOBoard, 2020).

Após a seleção do material a ser utilizado, foi possível aplicar esses mesmos painéis ao armário de maneira a poderem ser testados no laboratório, como é apresentado na Figura 3.2. De notar que os painéis foram aplicados e para tal foram utilizados espaçadores que permitiram criar uma caixa de ar entre a proteção e o armário com cerca de 5 centímetros em redor do mesmo.



**Figura 3.2.** (a) Armário de telecomunicações; (b) Armário com proteção aplicada.

### 3.2. Ensaios Experimentais

De forma que fosse possível estudar o comportamento térmico do armário e respetiva proteção, estes foram sujeitos a uma série de testes efetuados em laboratório e nos quais se fez variar a velocidade do vento ( $U$ ), a existência ou não de proteção e a existência de paredes laterais, que promovem a chegada de uma frente estruturada (sem efeito de bordo) e previsivelmente de maior intensidade (Jesus, 2021). A lista de ensaios realizados e respetivas variáveis estão representadas na Tabela 3.2, sendo que os mesmos foram realizados por ordem aleatória.

**Tabela 3.2.** Lista de ensaios.

	<b>Velocidade do Vento (U [m/s])</b>	<b>Proteção</b>	<b>Paredes Laterais em material ignífugo</b>
<b>Ensaio 01</b>	0	PRESENTE	NÃO
<b>Ensaio 02</b>	1	PRESENTE	NÃO
<b>Ensaio 03</b>	3	PRESENTE	NÃO
<b>Ensaio 04</b>	0	PRESENTE	SIM
<b>Ensaio 05</b>	1	PRESENTE	SIM
<b>Ensaio 06</b>	3	PRESENTE	SIM
<b>Ensaio 07</b>	0	AUSENTE	NÃO
<b>Ensaio 08</b>	1	AUSENTE	NÃO
<b>Ensaio 09</b>	0	AUSENTE	SIM
<b>Ensaio 10</b>	1	AUSENTE	SIM
<b>Ensaio 11</b>	3	AUSENTE	SIM

Para cada um dos ensaios realizaram-se as repetições que se consideraram necessárias para que houvesse resultados coerentes.

Foram definidos também todos os materiais necessários para a realização e posterior análise dos ensaios. Assim, foram usados os seguintes equipamentos:

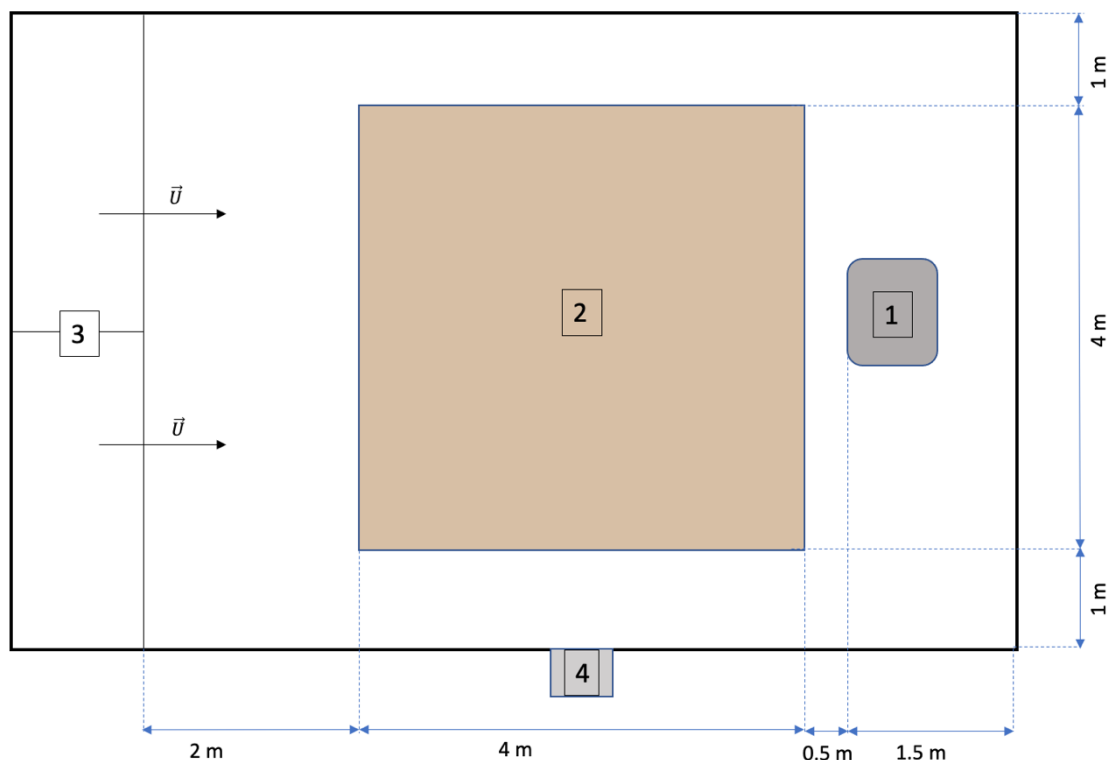
- Armário de telecomunicações;
- Placas MAGOOX;
- Um computador conectado a um módulo de entrada de temperatura e um módulo de entrada de tensão;
- Uma câmara térmica de infravermelhos (IR) *FLIR ThermaCam SC660*;
- Uma máquina fotográfica *CANON EOS-550D*;
- Duas câmaras de vídeo da *SONY* modelos *FDR-AX100E* e *FDR-AX53*;
- Cinco termopares do tipo K com diâmetro de 1mm;
- Um fluxómetro *Hukseflux IHF01* de forma a medir o fluxo de calor radiativo e convectivo;
- Um analisador de humidade *AND ML-50* com resolução de 0,1%;

- Uma balança digital;
- Mato como combustível.

### 3.2.1. Configuração dos ensaios

A realização dos ensaios experimentais, tal como já referido, foram realizados nas instalações do LEIF utilizando o Túnel de Combustão 3 que dispõe de dois ventiladores de 35kW capazes de produzir velocidades até 8 m/s. Este túnel apresenta dimensões de 8 metros de comprimento, 6 metros de largura e paredes laterais com 2 metros de altura.

Inicialmente começou por se colocar os respetivos equipamentos nas posições corretas como representado na Figura 3.3. Uma câmara de vídeo e a câmara IR foram colocadas numa plataforma elevatória (Figura 3.4) numa posição ortogonal ao leito e foram realizadas as respetivas correções à distorção causada pela lente. A segunda câmara de vídeo foi colocada no solo, na lateral do túnel de combustão de forma a analisar a altura da chama.



(1): Armário de telecomunicações; (2): Leito de combustível; (3): Ventiladores do túnel; (4): Câmaras de vídeo e IR

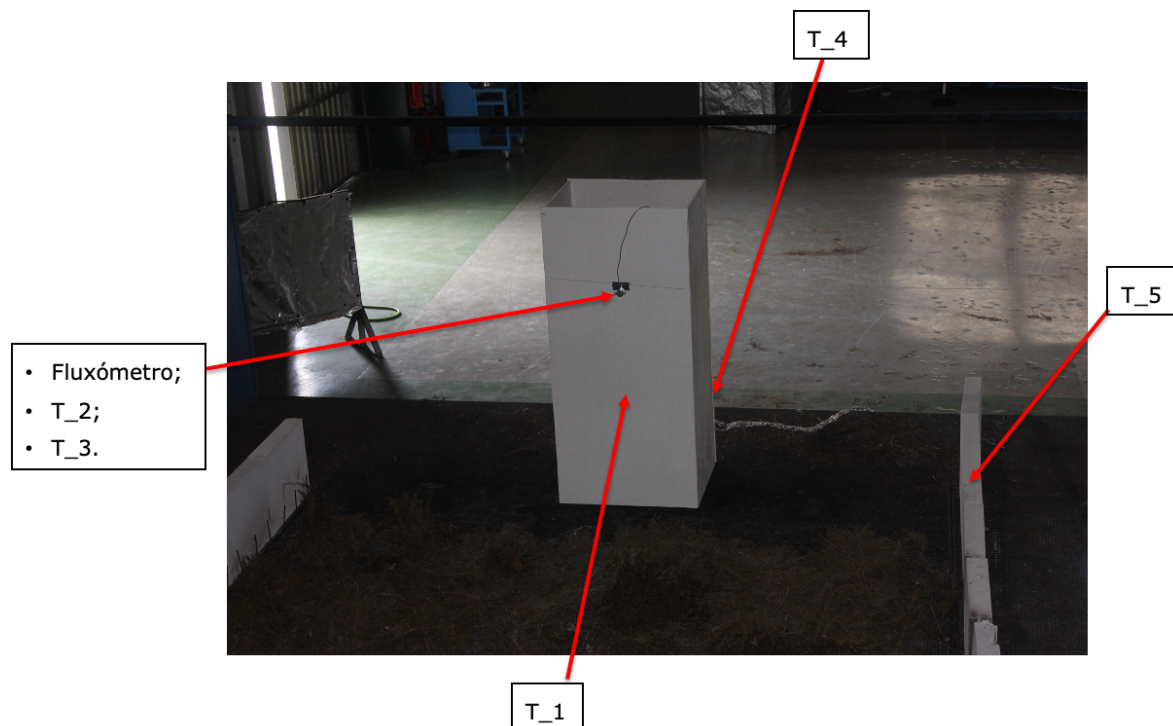
**Figura 3.3.** Esquema de disposição do armário, equipamentos e leito de combustível no túnel de combustão 3.



**Figura 3.4.** Vista geral da disposição dos equipamentos no túnel de combustão.

Para a instalação dos termopares e o fluxómetro no armário e respetiva proteção foram utilizadas uma placa de aquisição NI chassi cDaq 9174, um módulo de entrada de temperatura 9213, um módulo de entrada de tensão 9211 e um computador com o programa *signalExpress* com uma frequência de aquisição de 1 Hz. Os termopares e o fluxómetro foram instalados nas seguintes posições:

- Termopar 1 (T\_1): colocado no interior do armário;
- Termopar 2 (T\_2): colocado na superfície interior frontal da proteção (a cerca de 1,30m do solo) sendo que nos ensaios realizados sem proteção este foi colocado na lateral do armário;
- Termopar 3 (T\_3): colocado na superfície exterior frontal da proteção a cerca de 1,30 metros do solo;
- Termopar 4 (T\_4): colocado atrás do armário afastado cerca de 1 metro de forma a ser possível avaliar a temperatura ambiente;
- Termopar 5 (T\_5): colocado na parede lateral de material ignífugo (quando aplicável);
- Fluxómetro: colocado na superfície exterior frontal da proteção (ou do armário, respetivamente se forem ensaios com ou sem proteção), a cerca de 1,30 metros do solo.



**Figura 3.5.** Esquema de instalação dos equipamentos.

Relativamente à configuração do leito de combustível optou-se por fixar nas medidas 4x4 metros, sendo que se manteve o mesmo valor para todos os ensaios de forma a não influenciar os resultados finais.

No que diz respeito à massa de combustível a ser usada, esta é necessário ser calculada tendo em conta a humidade do combustível. Como tal, foi utilizado um analisador de humidade e de seguida aplicada a equação (3.1):

$$M_T = C \times \left( 1 + \frac{FMC}{100 - FMC} \right) \times A , \quad (3.1)$$

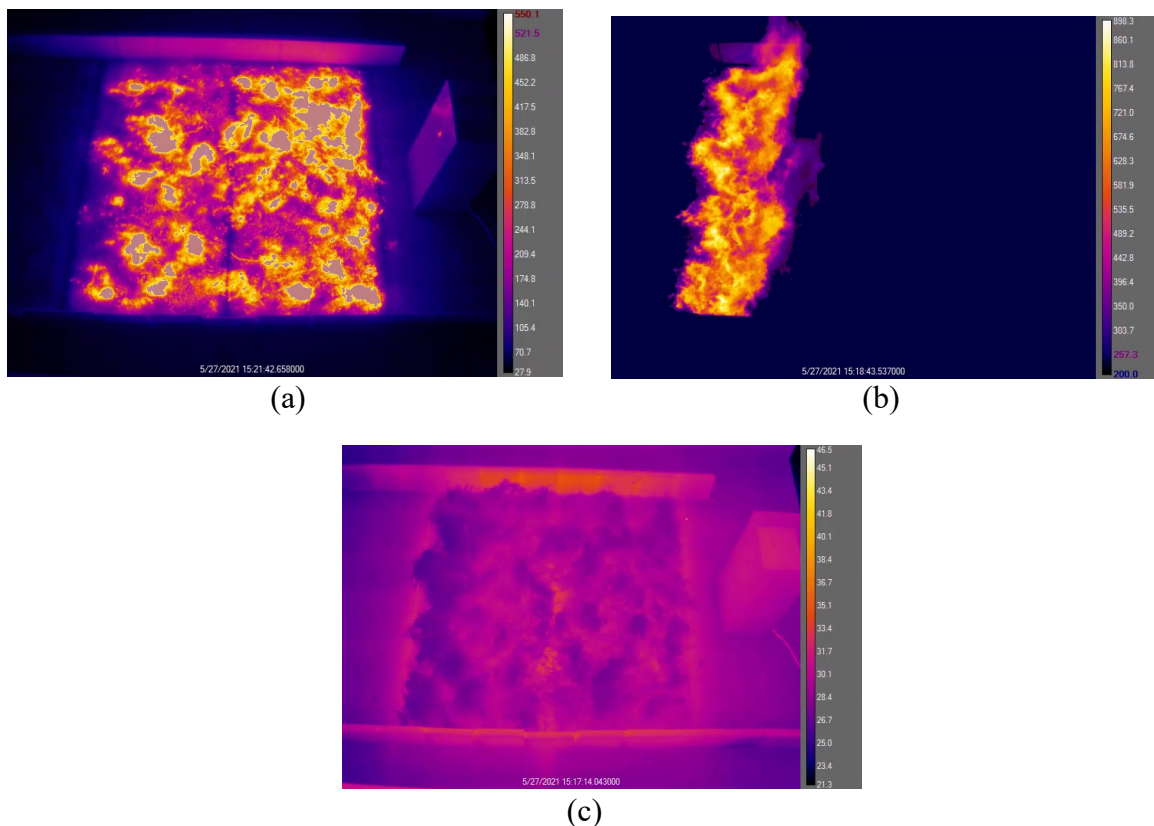
onde  $M_T$  [kg] é a massa de combustível a ser utilizada,  $C$  [kg / m<sup>2</sup>] é a carga de combustível e que neste caso foi usado o valor de 1.5 kg / m<sup>2</sup> (J. Raposo, 2016),  $FMC$  [%] é a humidade do combustível lida no analisador e  $A$  [m<sup>2</sup>] é a área do leito.

Após este procedimento, e imediatamente antes do início de cada ensaio foram também registados os valores de humidade e temperatura do ar no laboratório. Para cada ensaio a ignição foi concebida através de um fio de lã embebido em gasolina. Os ensaios começavam no exato momento da ignição e terminavam quando todo o combustível era consumido.

### 3.2.2. Método de análise dos resultados

Estando concluída a preparação dos ensaios a fase seguinte é a respetiva análise dos resultados obtidos. As principais características a analisar serão assim a velocidade de propagação, a intensidade de chama, as temperaturas registadas e o fluxo de calor.

No que diz respeito à velocidade de propagação (ROS – *Rate Of Spread*) foram usadas as imagens capturas pela câmara IR nas diferentes gamas disponíveis (-40-120; 0-500; 300-1500 [°C]) conforme melhor se adequavam ao momento a capturar e como é possível observar na Figura 3.6. Cada vídeo do respetivo ensaio foi convertido em *frames*, sendo que os ensaios cuja velocidade do vento foi nula obtiveram-se *frames* de 20 e 20 segundos, para velocidade de 1 m/s de 10 em 10 segundos e, para 3 m/s de 5 em 5 segundos de forma que fosse possível retirar praticamente o mesmo número de imagens em cada ensaio. Após a obtenção dessas imagens foi possível traçar linhas correspondentes à frente de chama e através delas retirar as respetivas medições de forma a calcular o ROS.



**Figura 3.6.** *Frames* retirados a diferentes gamas de temperatura (a)[-40-120°C]; (b)[300-1500°C]; (c) [0-500°C].

Segundo (D. X. Viegas & Neto, 1991), para que seja possível minimizar as variações nas propriedades do leito de combustível recorre-se a parâmetros adimensionais. Como tal, a velocidade de propagação ( $R$ ) virá na sua forma adimensional ( $R'$ ) e é calculada recorrendo à velocidade básica de propagação ( $R_0$ ).

Este parâmetro corresponde à velocidade de propagação obtida num ensaio mais básico possível, isto é, um leito horizontal, com uma frente de chamas linear, largura do leito bastante superior à altura das chamas e em condições de ausência de vento. Como ensaio de referência foi usado o Ensaio 01 que respeita as condições necessárias e após o cálculo da média das velocidades nesse ensaio, obtemos um valor de  $R_0$  igual a 1,009 m/s.

Assim, o parâmetro adimensional da velocidade de propagação é calculado recorrendo à seguinte equação:

$$R' = \frac{R}{R_0} \quad (3.2)$$

No que respeita à intensidade de chama ( $I$  [MW/m]), esta é calculada recorrendo à equação (3.3):

$$I = R * \Delta H_c * C \quad (3.3)$$

onde,  $R$  [m/s] é a velocidade de propagação,  $\Delta H_c$  [MJ/kg] é o poder calorífico do combustível e assume o valor 20 MJ/kg para o combustível utilizado, e  $C$  [kg/m<sup>2</sup>] é a carga de combustível utilizada (Weise & Biging, 1996).

Os valores do fluxo e das temperaturas nos vários pontos da proteção e armário foram recolhidos diretamente dos dados dos termopares e convertidos em *Microsoft Excel*®.



## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

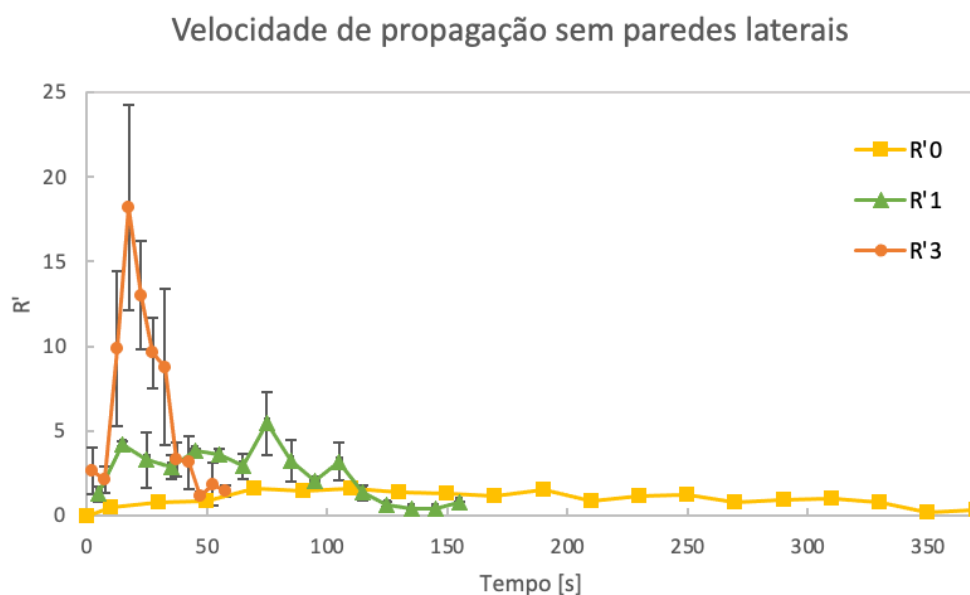
Tal como foi referido no capítulo 3 foram realizados diversos ensaios tendo em consideração diferentes variáveis. Numa primeira etapa será feita uma análise à velocidade de propagação e respetiva intensidade, parâmetros que são independentes do uso da proteção em estudo. De seguida serão analisadas as temperaturas obtidas e realizada uma comparação onde será tido em conta o fator uso de proteção.

### 4.1. Velocidade de propagação

A análise deste parâmetro foi, como referido no capítulo anterior, realizada através da medição da frente de fogo numa sequência de *frames* ao longo de cada ensaio.

Para esta análise foi tida em conta a influência da velocidade do vento imposta e das paredes laterais (material ignífugo), na velocidade de propagação.

Desta forma a Figura 4.1 e a Figura 4.2 representam as respetivas velocidades de propagação (adimensional) para ensaios com velocidade de vento de 0, 1 e 3 m/s. As séries do gráfico (R'0, R'1 e R'3) correspondem, respetivamente, às médias da velocidade de propagação adimensional de cada ensaio em condições semelhantes.



**Figura 4.1.** Evolução da velocidade de propagação sem paredes laterais.

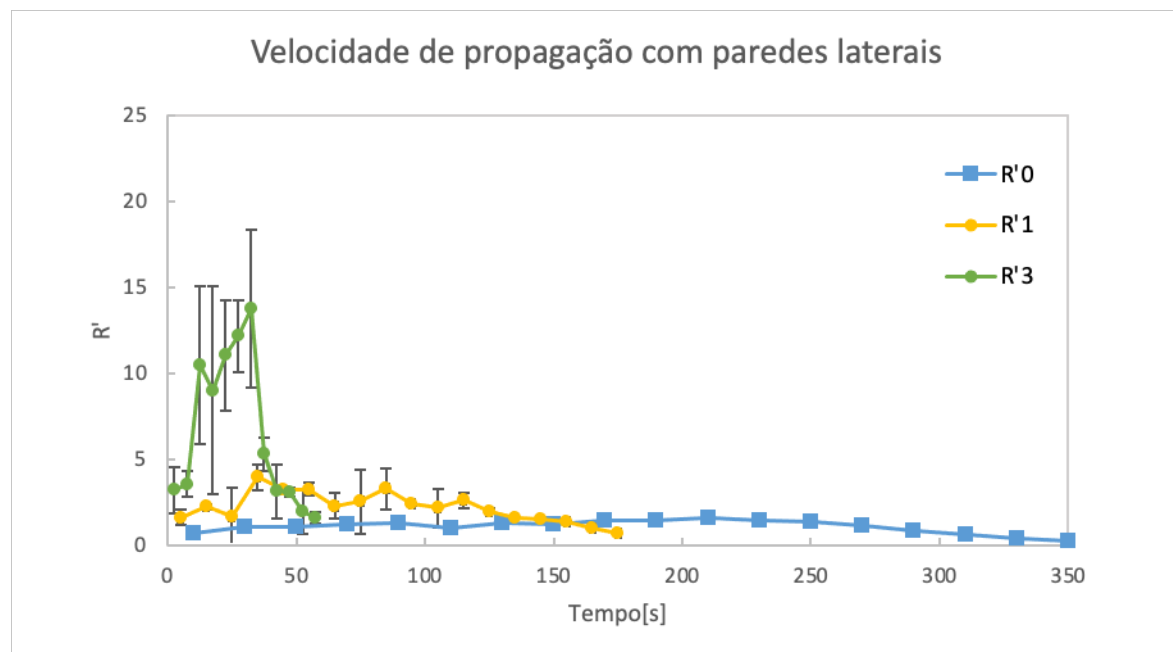


Figura 4.2. Evolução da velocidade de propagação com paredes laterais.

Como é possível verificar em ambos os gráficos apresentados, a velocidade de propagação é fortemente afetada pela velocidade de escoamento. Assim, quanto mais elevada é a velocidade do vento, maior será também a velocidade de propagação do fogo e menor será o tempo de cada ensaio, contudo maior será a margem de erro considerada.

Em ambos os casos é possível observar que para a velocidade do vento nula ( $R'0$ ) ocorre uma propagação praticamente linear ao longo de todo o ensaio. No caso de velocidades de escoamento superiores, principalmente para a velocidade do vento igual a 3 m/s, verifica-se a existência de um pico de velocidade de propagação. Assim, para a situação sem paredes laterais, esse pico ocorre no instante correspondente a um tempo médio de 17,5 segundos e cujo valor de velocidade de propagação é 18,19. No caso de existir paredes laterais, o máximo ocorre no instante 32,5 segundos e toma o valor de 13,76. A partir desses instantes a velocidade diminui até ao final do ensaio.

Da análise dos gráficos da Figura 4.1 e da Figura 4.2 é possível observar que a existência de paredes laterais, em material ignífugo impõe apenas uma ligeira flutuação no máximo atingido pelo ensaio realizado com uma velocidade de escoamento superior, mas no geral, ambos os casos são bastantes proporcionais e sem grandes variações que requeiram maior atenção.

## 4.2. Intensidade de chama

O parâmetro da intensidade de chama é, como já foi referido no capítulo anterior, calculado recorrendo à equação (3.3). Para esta análise foi utilizado o mesmo método que foi aplicado na velocidade de propagação tendo-se obtido as médias dos valores de cada ensaio realizado nas mesmas condições de velocidade de escoamento. Para uma melhor compreensão das possíveis variações que possam existir serão também apresentados os gráficos respeitantes à comparação de cada ensaio realizado com a mesma velocidade de escoamento com a variável das paredes laterais no Apêndice A.

Assim, na Figura 4.3 e na Figura 4.4 são apresentados os gráficos da evolução da intensidade de chama ao longo do tempo de cada ensaio.

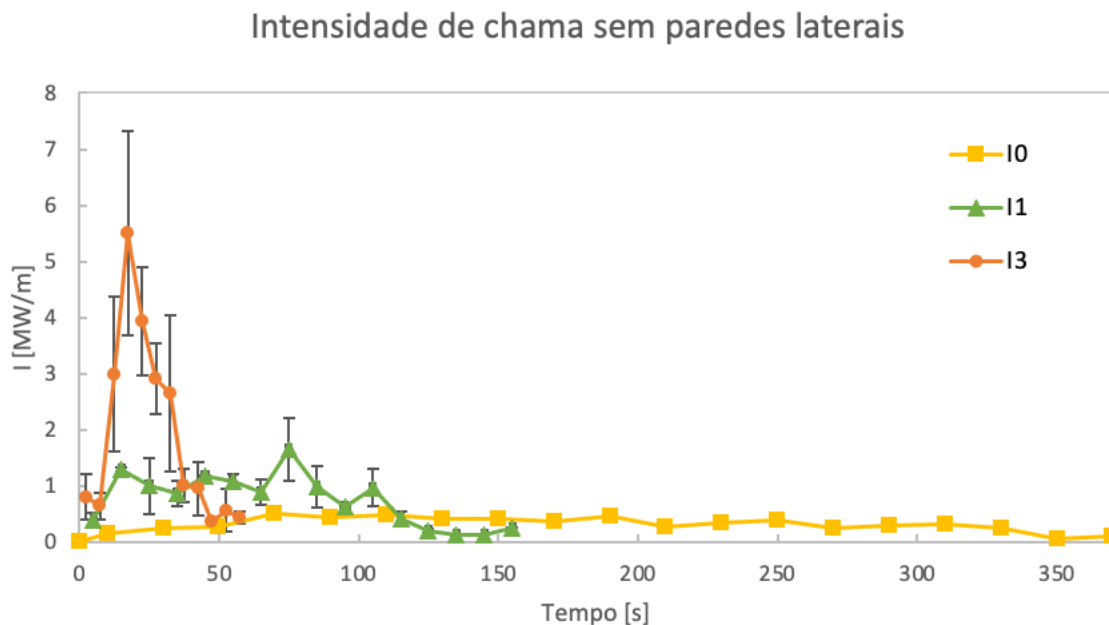
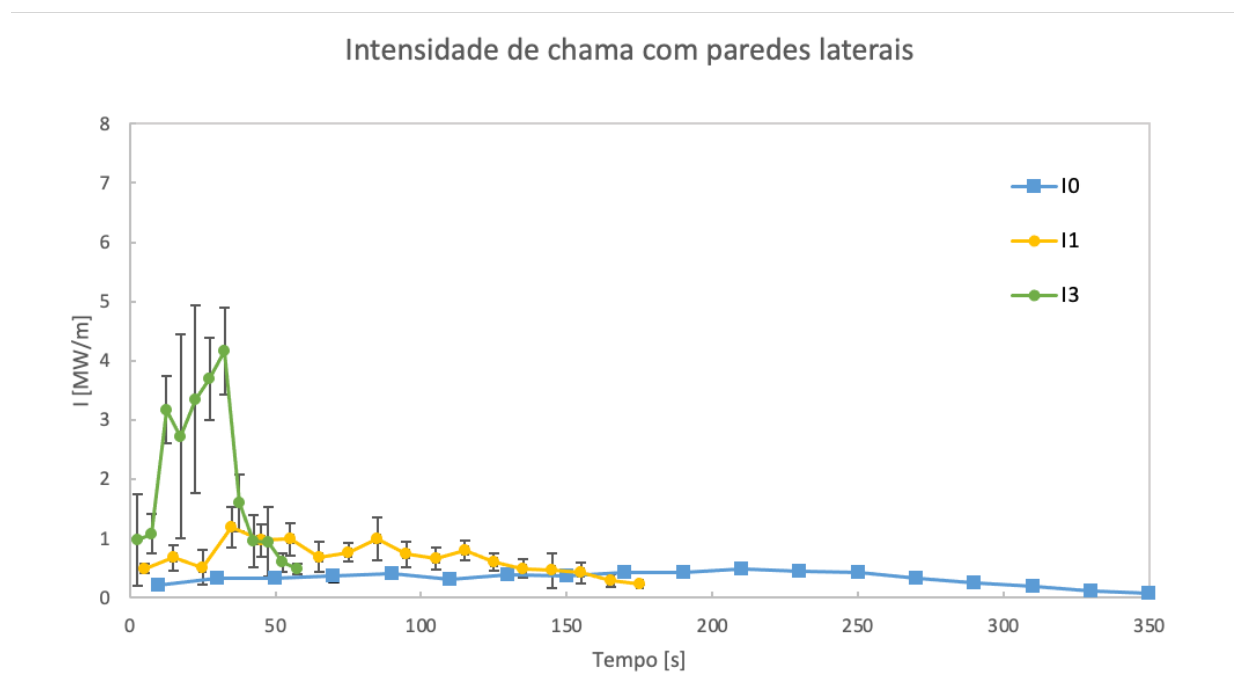


Figura 4.3. Evolução da intensidade de chama sem paredes laterais.



**Figura 4.4.** Evolução da intensidade de chama com paredes laterais.

No que concerne à intensidade de chama, é possível apurar que nos ensaios sem a utilização das paredes laterais são atingidos picos de maior intensidade. Ora, este facto vai contra o que seria esperado, no entanto, pode ser explicado tendo em conta a medição efetuada. A intensidade de chama é apresentada em função da velocidade de propagação como foi demonstrado na equação (3.3) sendo que este parâmetro foi avaliado na zona central do leito. Uma vez que os ensaios sem paredes laterais promovem o efeito de bordo (como se pode verificar pelas imagens do APÊNDICE C), a velocidade de propagação será maior no centro comparativamente às extremidades pelo que, para trabalhos futuros seria interessante realizar a avaliação das velocidades de propagação em três zonas do leito de forma a obter a velocidade média de cada ensaio e a respetiva intensidade de chama.

Na prática é possível afirmar que a existência de paredes laterais promove a chegada de uma frente mais homogênea, sem flutuações de maior relevo e mais intensa a nível global apesar de não o transparecer a nível pontual (Jesus, 2021).

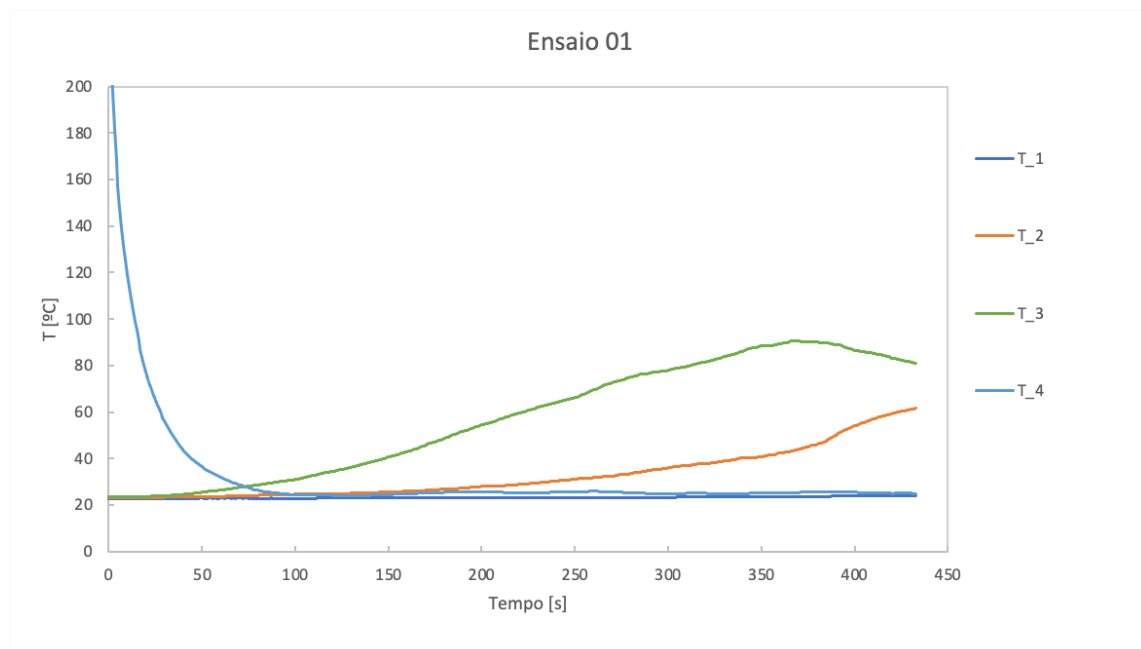
### 4.3. Temperatura

Na análise das temperaturas do armário de telecomunicações e respetiva proteção foram utilizados os dados fornecidos pelos termopares instalados. As séries dos gráficos ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  e  $T_5$ ) correspondem respetivamente a cada um dos termopares e cujas posições estão descritas no capítulo anterior.

Nos gráficos que se seguem é possível observar que no caso da série  $T_4$ , que corresponde ao termopar instalado com a função de medir a temperatura ambiente, existe um pico bastante elevado no instante inicial do ensaio. Esta situação ocorreu por influência manual e serve como método de referência do início do ensaio.

De realçar que,  $T_1$  é a temperatura no interior do armário,  $T_2$  é a temperatura na superfície interior da proteção,  $T_3$  é a temperatura na superfície exterior frontal da proteção,  $T_4$  é a temperatura atrás do armário e  $T_5$  é a temperatura na parede lateral do material ignífugo.

Deste modo, as Figura 4.5 a Figura 4.10 demonstram a evolução das temperaturas em cada ensaio realizado com a respetiva proteção aplicada ao armário de telecomunicações.



**Figura 4.5.** Evolução de temperaturas para o Ensaio 01 ( $U=0$  m/s).

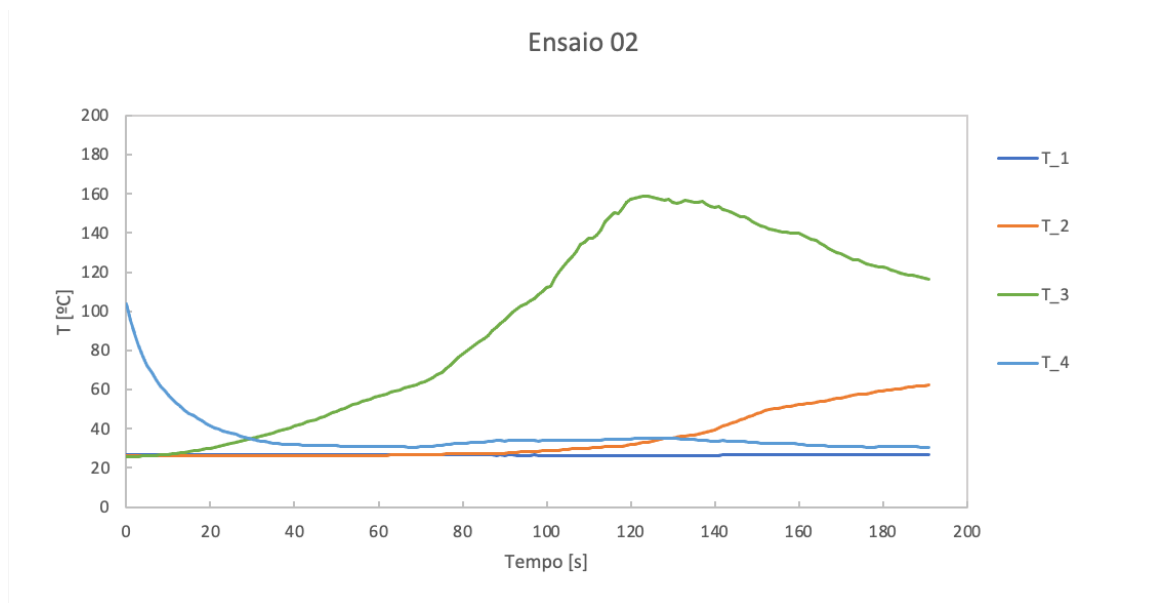


Figura 4.6. Evolução das temperaturas do Ensaio 02 (U=1 m/s).

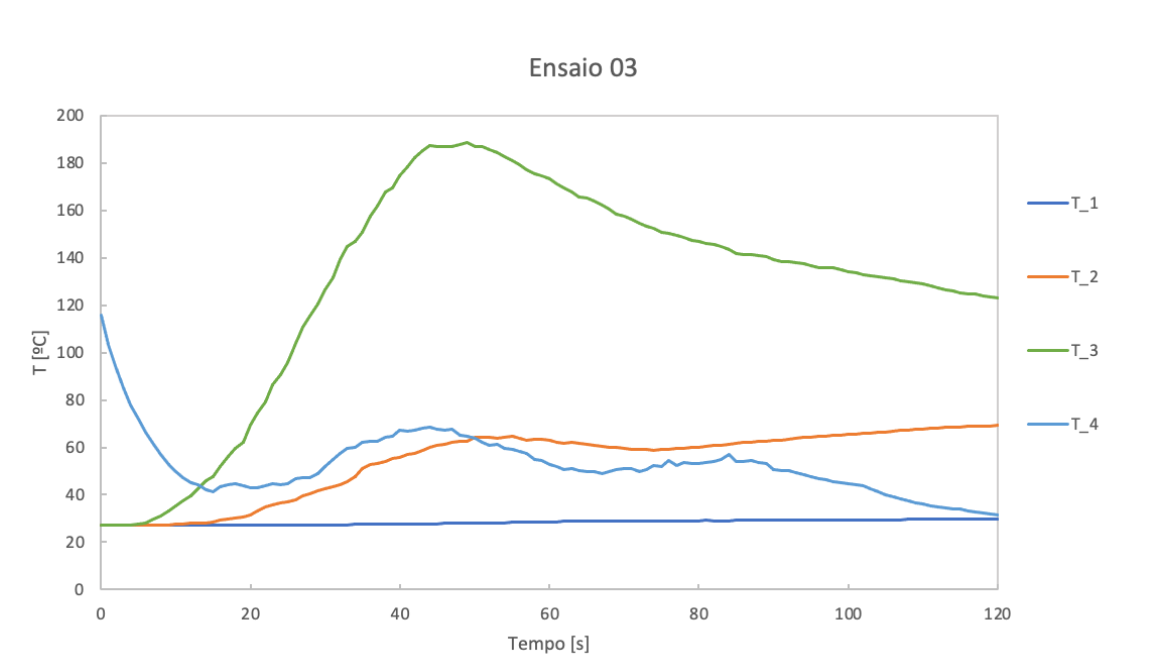
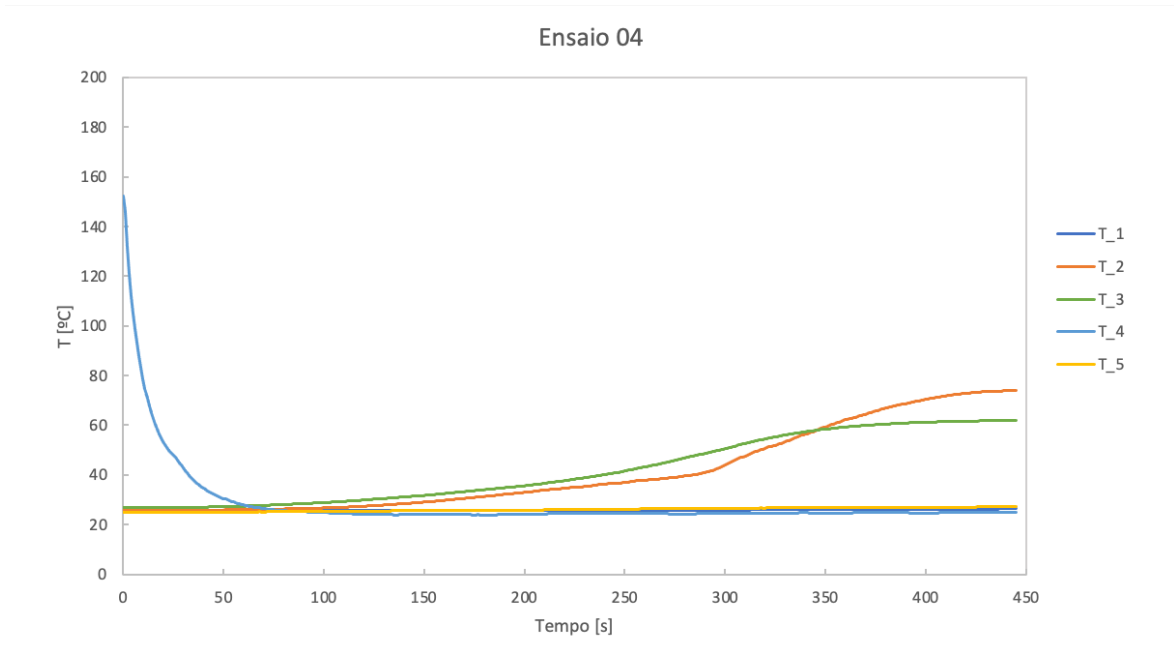
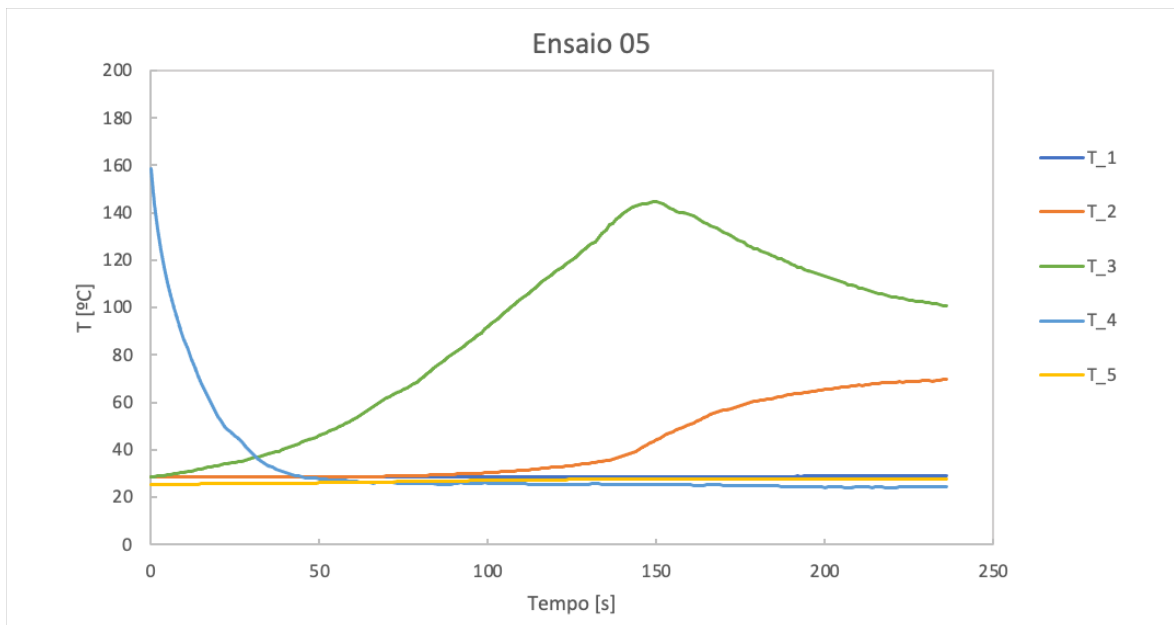


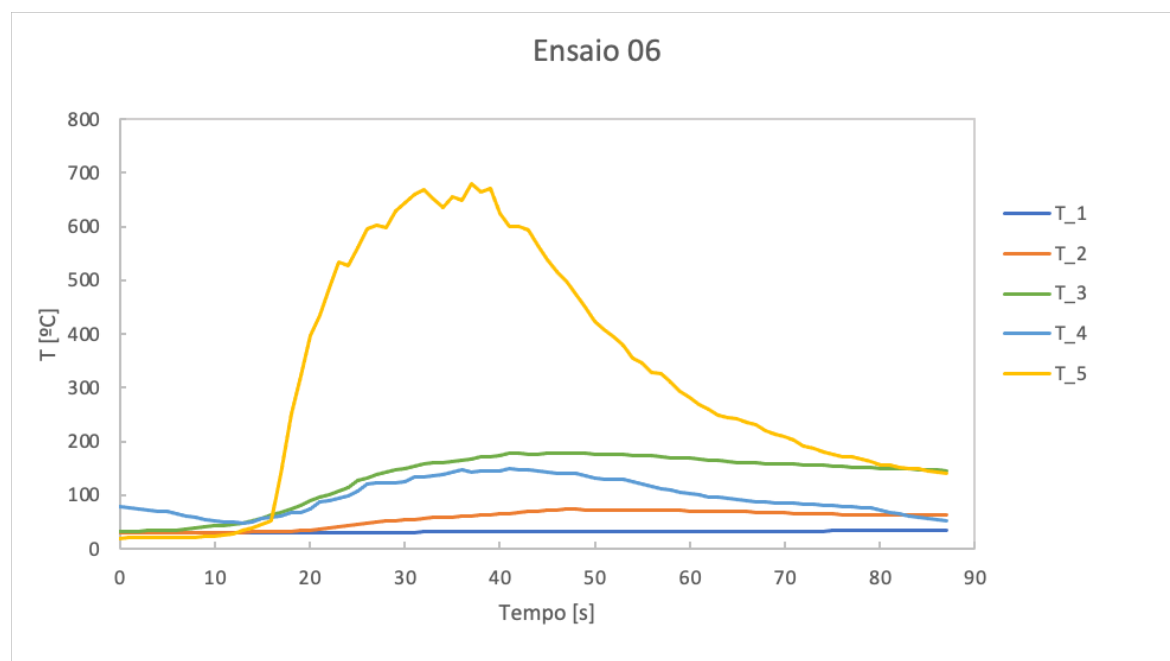
Figura 4.7. Evolução das temperaturas no Ensaio 03 (U=3 m/s).



**Figura 4.8.** Evolução das temperaturas do Ensaio 04 ( $U=0$  m/s).



**Figura 4.9.** Evolução das temperaturas no Ensaio 05 ( $U=1$  m/s).



**Figura 4.10.** Evolução das temperaturas no Ensaio 06 ( $U=3$  m/s).

Da análise dos gráficos apresentados é possível verificar o elevado impacto da velocidade do vento a nível global das temperaturas.

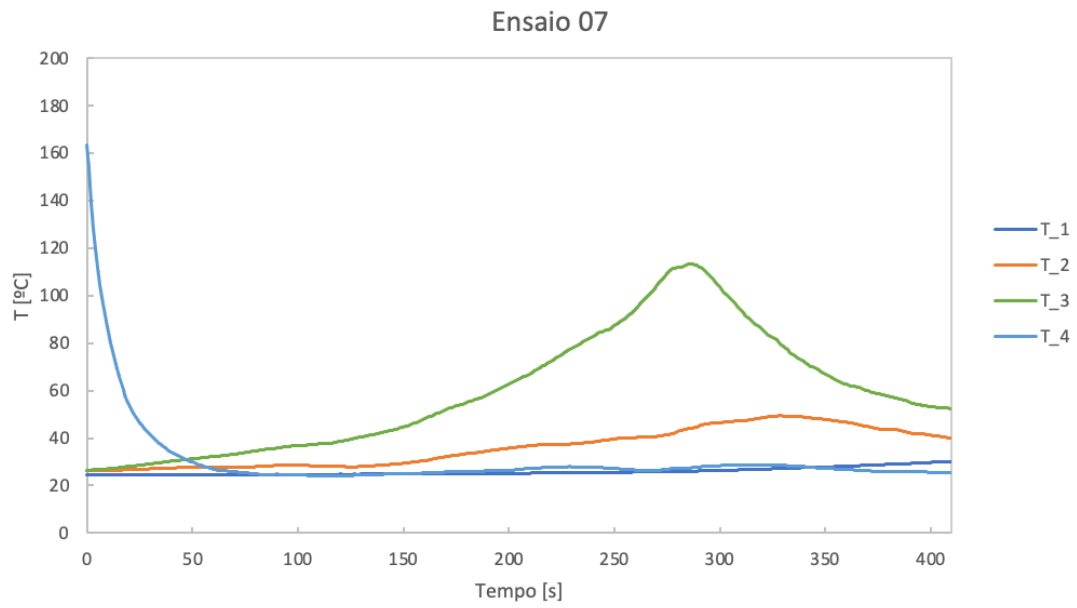
Como seria de esperar, a temperatura na superfície exterior da proteção ( $T_3$ ) apresenta um aumento bastante significativo atingindo mesmo valores entre  $170^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$  nos ensaios realizados com velocidade do vento igual a  $3$  m/s.

É possível observar também que a superfície interior da proteção ( $T_2$ ) sofre um ligeiro aumento com o decorrer do ensaio, no entanto não é um aumento tão significativo como aquele observado no exterior o que demonstra que a proteção é de facto eficaz no que diz respeito a este tópico.

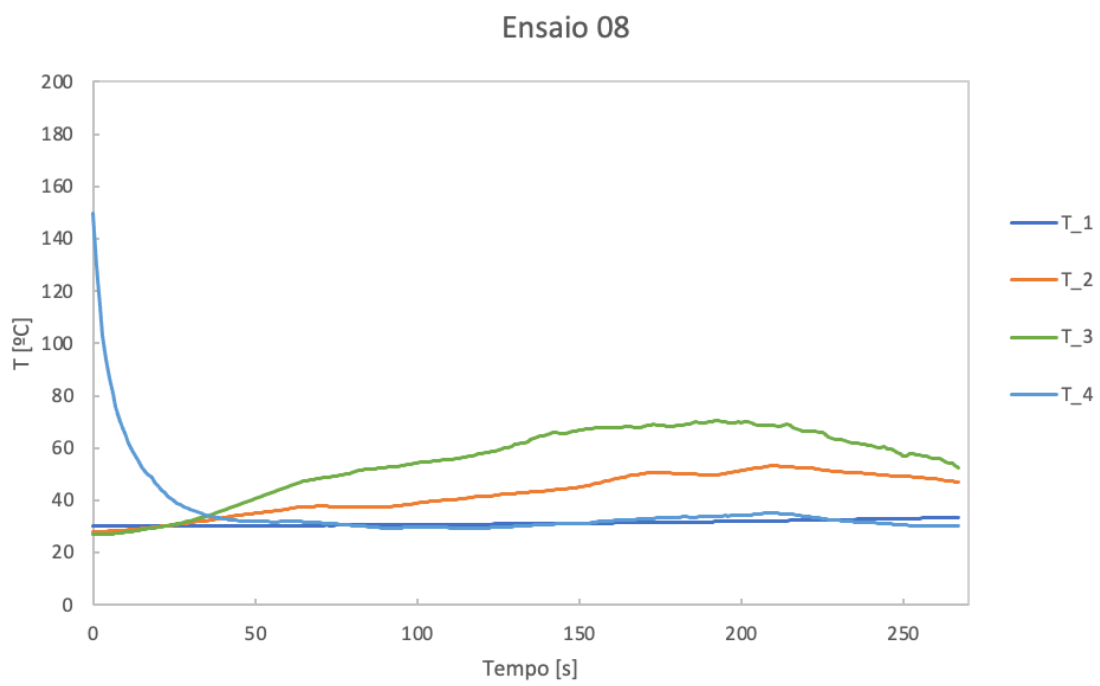
No que concerne à temperatura no interior do armário, é possível verificar que esta mantém uma evolução praticamente linear ao longo do tempo, não indo além de valores entre os  $26^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ , provando realmente que o uso da proteção em estudo é capaz de proteger o armário contra as temperaturas elevadas de um incêndio florestal.

De seguida apresentam-se as Figura 4.11 a Figura 4.15 e que dizem respeito aos ensaios realizados sem a proteção de forma a comprovar a análise que foi realizada nos ensaios anteriores.





**Figura 4.11.** Evolução das temperaturas no Ensaio 07 ( $U=0$  m/s).



**Figura 4.12.** Evolução das temperaturas no Ensaio 08 ( $U=1$  m/s).

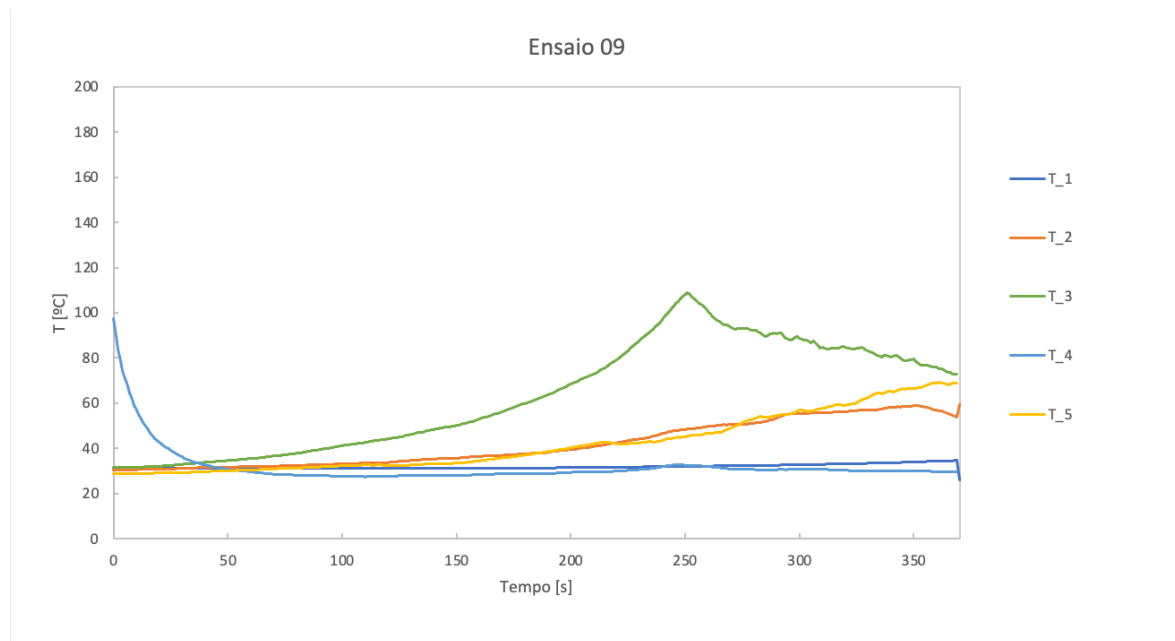


Figura 4.13. Evolução das temperaturas no Ensaio 09 (U=0 m/s).

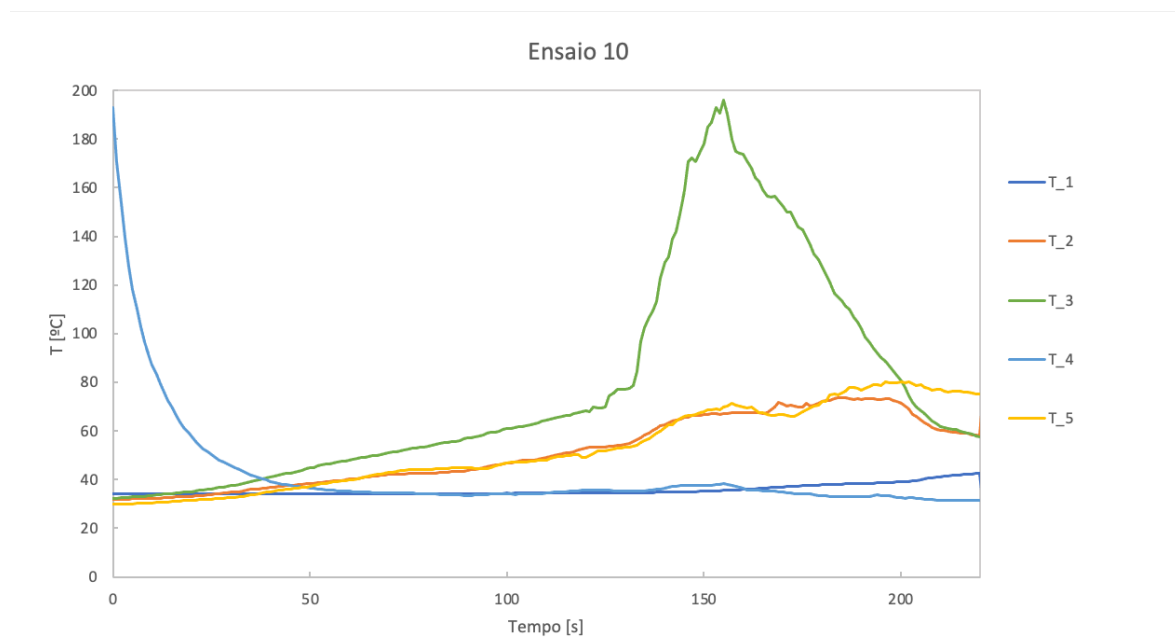
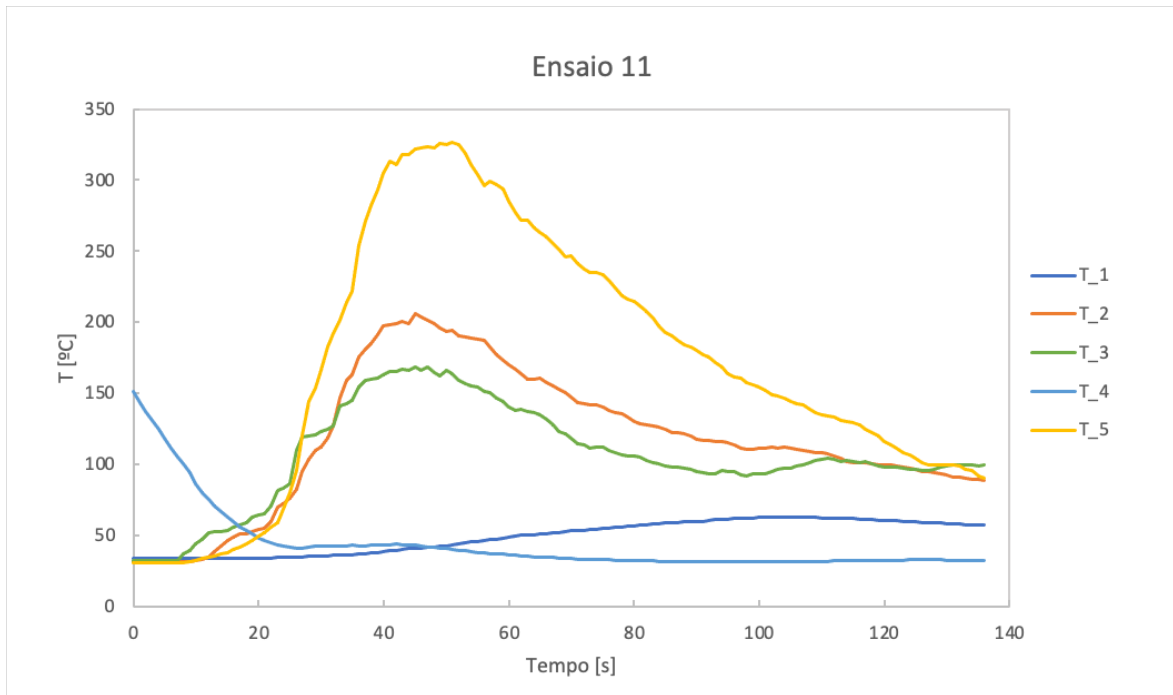


Figura 4.14. Evolução das temperaturas no Ensaio 10 (U=1 m/s).



**Figura 4.15.** Evolução das temperaturas no Ensaio 11 ( $U=3$  m/s).

Para os casos onde não existiu a presença da proteção no armário a evolução das temperaturas é bastante semelhante à observada anteriormente. Contudo, existe uma diferença considerável no que diz respeito à temperatura obtida no interior do armário chegando mesmo a atingir um valor acima de  $60^{\circ}\text{C}$  no ensaio realizado para uma velocidade do vento superior.

Este dado permite comprovar o que se pretendia, isto é, que a proteção e o material usado são de facto eficazes e permitem desempenhar a função para a qual foram projetados.

#### 4.4. Fluxo de calor

Os dados relativos ao fluxo de calor foram obtidos recorrendo ao fluxómetro instalado na placa frontal da proteção (ou na frente do armário nos ensaios onde não foi utilizada a proteção).

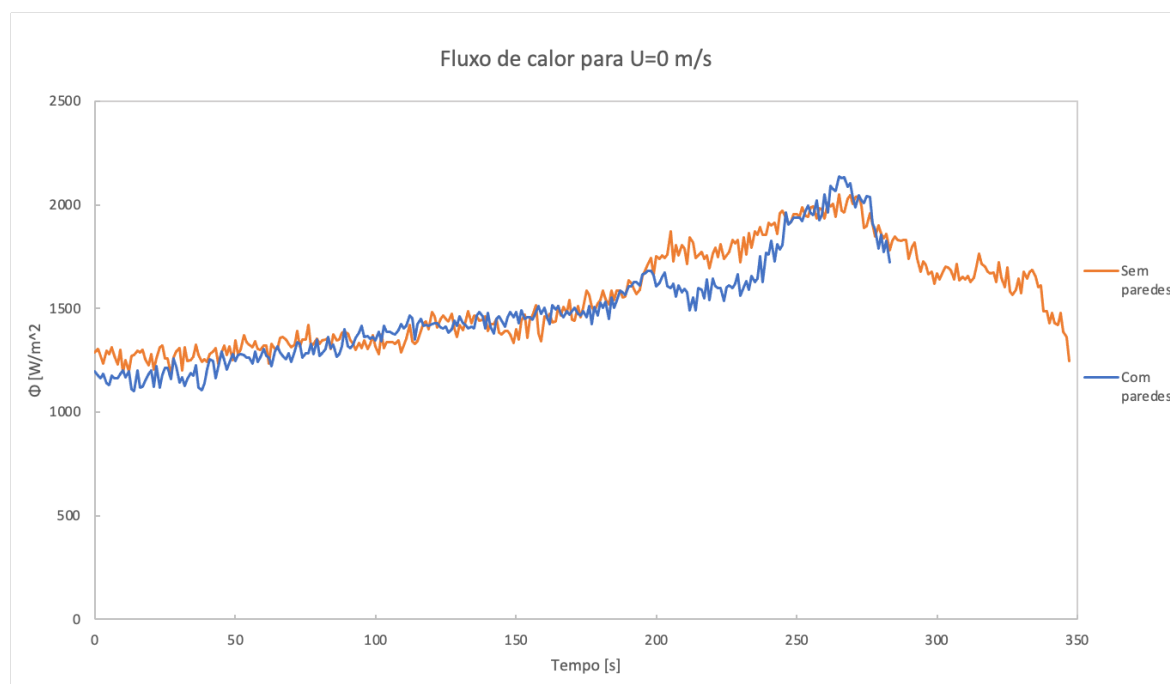
Para a obtenção dos valores corretos para o fluxo é necessário realizar uma correção ao valor lido pelo próprio fluxómetro. Para tal é necessário recorrer ao manual de utilização do fluxómetro e no qual se obtém a equação (4.1):

$$\Phi = \frac{U}{(S * (1 - 0,0005 * (T - 20)))} \quad (4.1)$$

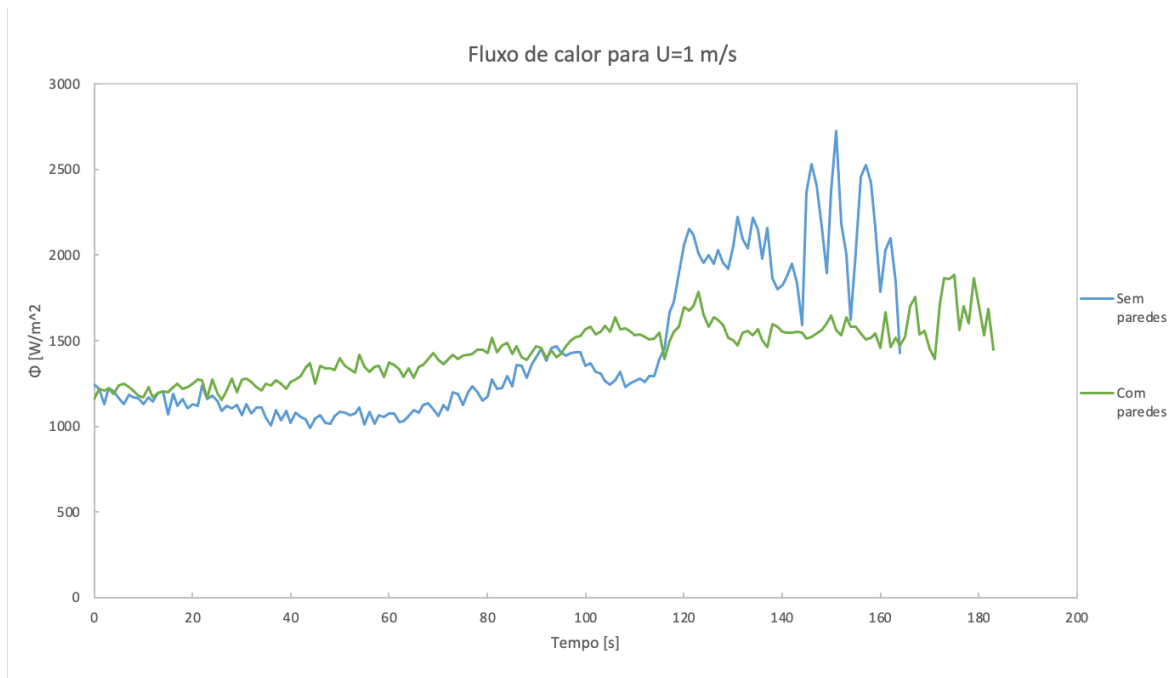
onde  $\Phi$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] é o fluxo de calor,  $U$  [V] é a voltagem de saída que é lida diretamente dos valores gerados pelo fluxómetro,  $S$  [ $\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ ] é a sensibilidade do equipamento e toma o valor de  $9,83 \times 10^{-9}$  e  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] é a temperatura lida no termopar 3 ( $T_3$ ) correspondente à temperatura na superfície exterior da proteção (Hukseflux, 2017).

Para a análise deste parâmetro foi utilizado o valor médio dos dados obtidos nos ensaios realizados nas mesmas condições de velocidade de escoamento do vento.

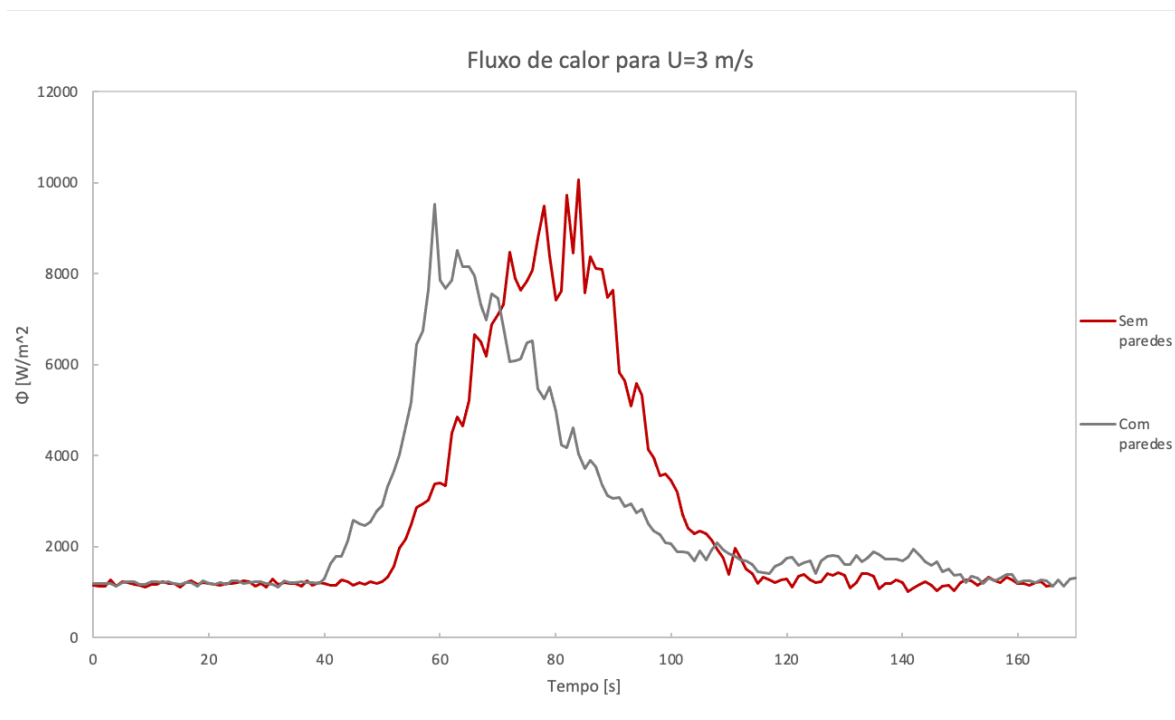
Deste modo, as Figura 4.16 a Figura 4.18 representam a evolução do fluxo de calor para as diferentes velocidades do vento.



**Figura 4.16.** Evolução do fluxo de calor para  $U=0$  m/s.



**Figura 4.17.** Evolução do fluxo de calor para  $U=1$  m/s.



**Figura 4.18.** Evolução do fluxo de calor para  $U=3$  m/s.

A evolução do fluxo de calor é notoriamente influenciada pela velocidade do vento. A discrepância não é tão acentuada para as velocidades inferiores, no entanto para  $U=3$  m/s é visível que são atingidos valores bastante superiores aos restantes casos.

De notar que para o caso de velocidade do vento igual a 1 m/s, mais precisamente no ensaio realizado sem paredes laterais, existiu um problema técnico no gerador dos ventiladores do túnel de vento que provocou que o mesmo se desligasse durante a execução do ensaio. Assim, os valores registados neste ensaio poderão ter sido corrompidos pelo que podem não corresponder à realidade.

É possível verificar também que os valores obtidos nos ensaios com e sem paredes laterais são bastante similares, chegando mesmo a ser ligeiramente superiores nos ensaios sem paredes. Este facto vai ao encontro do que foi explicado para o caso da intensidade relativamente ao efeito de bordo e à medição ser efetuada pontualmente.

## 4.5. Compilação e discussão de resultados

Apresentada a análise a todas as variáveis em estudo, foi possível reunir todos os resultados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Compilação das variáveis e resultados em estudo.

Referência do ensaio	Proteção	U [m/s]	Paredes laterais em material ignífugo	R'máx	Imáx [MW/m]	Tmáx superfície exterior [°C]	Tmáx interior armário [°C]	Fluxo máximo [W/m <sup>2</sup> ]
Ensaio 01	Presente	0	Não	1.95	0.59	90.63	24.10	1.85
Ensaio 02	Presente	1	Não	7.73	2.34	158.90	26.97	5.87
Ensaio 03	Presente	3	Não	18.10	5.48	188.63	29.72	10.07
Ensaio 04	Presente	0	Sim	1.68	0.51	61.87	26.37	2.14
Ensaio 05	Presente	1	Sim	5.71	1.73	144.86	29.02	3.79
Ensaio 06	Presente	3	Sim	14.96	4.53	179.24	33.72	10.12
Ensaio 07	Ausente	0	Não	1.65	0.50	113.51	30.20	2.43
Ensaio 08	Ausente	1	Não	6.80	2.06	70.37	33.46	1.31
Ensaio 09	Ausente	0	Sim	1.63	0.49	108.89	34.60	2.54
Ensaio 10	Ausente	1	Sim	4.56	1.38	196.22	42.64	1.34
Ensaio 11	Ausente	3	Sim	19.85	6.01	168.67	63.03	10.16

Analisando os resultados obtidos é possível verificar que o uso da proteção se revela bastante benéfico. Todo o fluxo de calor que seria absorvido pelo armário de telecomunicações pondo em causa o bom funcionamento deste, é assim retido pelas placas testadas fazendo com que a temperatura da superfície destas aumente significativamente enquanto o interior do armário se mantém numa gama de temperaturas perfeitamente aceitável para desempenhar a sua função.

É notável também a influência que a velocidade do vento tem em todas as variáveis. Numa situação real, cujas velocidades do vento podem ser ainda mais elevadas, a utilização da proteção poderá fazer a diferença uma vez que é possível observar que quanto maior a velocidade de escoamento, maiores serão as temperaturas obtidas seja na superfície exterior, seja no interior do armário.

De referir igualmente a influência das paredes laterais em material ignífugo. Apesar dos valores obtidos para cada ensaio não se revelarem muito discrepantes, é visível a influência destas no comportamento do fogo como demonstrou Jesus (2021).





## 5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Os relatos de falhas de comunicação face a um incêndio são inúmeros. Falhas essas que podem ser fulcrais na sobrevivência de pessoas ou na proteção de infraestruturas e outros bens essenciais. Com isto em mente, surgiu o grande objetivo desta dissertação.

Este trabalho focou-se no estudo do comportamento/resistência de uma proteção composta por painéis rígidos com o intuito de salvaguardar os armários de telecomunicações face a um cenário de incêndio florestal. A realização de diferentes ensaios experimentais no túnel de combustão do LEIF permitiu a obtenção de resultados bastante positivos e que poderão servir como ponto de partida para a aplicação de proteções idênticas à utilizada em situações reais.

Relativamente à resistência ao fogo, as placas do material escolhido para o efeito, revelaram elevada eficácia mesmo tendo baixa espessura. Face ao número de ensaios realizados a proteção não apresentou danos visíveis e manteve a sua integridade.

Relativamente aos valores de temperatura e fluxo de calor obtidos, é também notável a influência da presença da proteção uma vez que reduz consideravelmente o impacto térmico sentido pelo armário. Verifica-se que numa situação de exposição ao fogo com a proteção aplicada, as temperaturas sentidas na superfície exterior e principalmente no interior do armário, não sofrem um aumento tão pronunciado como quando o armário está desprotegido. Este facto é suficiente para que o bom funcionamento do sistema de rádios presente no interior do armário não seja comprometido.

Como trabalho futuro seria interessante estudar o comportamento desta proteção numa situação real, bem como otimizar e industrializar a mesma de forma a aumentar a sua praticabilidade. Caso a avaliação se revelasse positiva seria importante, como medida preventiva, aplicar este tipo de proteção nas estações de telecomunicação e outras infraestruturas igualmente importantes de forma a minimizar ao máximo falhas catastróficas nos sistemas e conseqüentemente a perda de vidas humanas.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANACOM. (2017). *Incêndios Florestais-Medidas de Proteção e Resiliência de Infraestruturas de Comunicações Eletrónicas*. Publicado em <https://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1419861> a 20/10/2017.
- Andrade, C. C., & Souza, J. C. (2015). *Projeto de arquitetura-proteção contra incêndio em elementos estruturais de aço*. 2, 49–68. <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao>
- Barge, P. L. P. (2019). *Proteção de Sistemas de Telecomunicações*.
- Brinca, A. C. (2020). *Protection of telecommunications stations against forest fires*.
- CIFFC. (2021). *Canadian Wildland Fire Glossary*.
- Comissão Técnica Independente. (2017). *RelatórioCTI\_VF*.
- do Ó, A., Bugalho, M., Silva, L., & de, J. (2009). *Incêndios Florestais e Alterações Climáticas*. WWF Mediterranean Programme. Via Po, 25C. Roma, Itália
- Hukseflux. (2017). *IHF01 industrial heat flux sensor user manual*. [www.hukseflux.com](http://www.hukseflux.com)
- Invicta DuraSteel. (n.d.). *What is DuraSteel*. Retrieved March 22, 2021, from <https://www.durasteel.net/durasteel/what-is-durasteel/>
- Jesus, M. (2021). *The Effect of Fuel Bed Edges on Fire Dynamics in Wind Tunnel*.
- Kern, H., & Krausmann, E. (2020). *Wildfires triggering Natech events A structural analysis of Natech hazards in the context of the emerging wildfire threat in Europe*. <https://doi.org/10.2760/402113>
- MAPFRE Global Risks. (2019). *Inovação em Proteção contra Incêndios*. <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/estudos/inovacao-em-protecao-contra-incendios/?lang=pt-br>
- MGOBoard. (2020). *Placa MAGOXX*. <https://mgoboard.pt/fichastecnicas/Ficha-Técnica-Placa-MAGOXX-9mm-Março-2020.pdf>
- Promat. (n.d.). *PROMATECT -XW*. Retrieved March 22, 2021, from <https://www.promat.com/en-gb/construction/products-systems/products/boards/promatect-xw/>
- Raposo, J. (2016). *EXTREME FIRE BEHAVIOUR ASSOCIATED WITH THE MERGING OF TWO LINEAR FIRE FRONTS*.

- Raposo, J. R., Viegas, D. X., Xie, X., Almeida, M., Figueiredo, A. R., Porto, L., & Sharples, J. (2018). Analysis of the physical processes associated with junction fires at laboratory and field scales. *International Journal of Wildland Fire*, 27(1). <https://doi.org/10.1071/WF16173>
- SPEEDPANEL. (n.d.). *Simplicity and efficiency combined*. Retrieved April 1, 2021, from <https://speedpanel.com.au/products/51mm-speedpanel>
- Takahashi, F. (2019). Whole-House Fire Blanket Protection From Wildland-Urban Interface Fires. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmech.2019.00060>
- TRIA. (n.d.). *Sistemas de Proteção ao Fogo*. Retrieved April 1, 2021, from [https://www.tria.pt/wp-content/uploads/2020/04/Triplac-M\\_PT-2.pdf](https://www.tria.pt/wp-content/uploads/2020/04/Triplac-M_PT-2.pdf)
- Viegas, D. X., & Neto, L. (1991). Wall Shear-Stress as a Parameter to Correlate the Rate of Spread of a Wind Induced Forest Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 1(3). <https://doi.org/10.1071/WF9910177>
- Viegas, Domingos Xavier. (2006). *Comportamento do Fogo e Segurança Pessoal por Domingos Xavier Viegas*.
- Weise, D. R., & Biging, G. S. (1996). Effects of wind velocity and slope on flame properties. *Canadian Journal of Forest Research*, 26(10), 1849–1858. <https://doi.org/10.1139/x26-210>
- Xavier, D., Coordenação, V., Domingos, T., Viegas, X., Almeida, M. F., Ribeiro, M., de Investigação Domingos, E., Raposo, J., Viegas, M. T., Oliveira, R., Alves, D., Pinto, C., Jorge, H., Rodrigues, A., Lucas, D., Lopes, S., & Silva, F. (2017). *O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de Junho de 2017*.

## APÊNDICE A

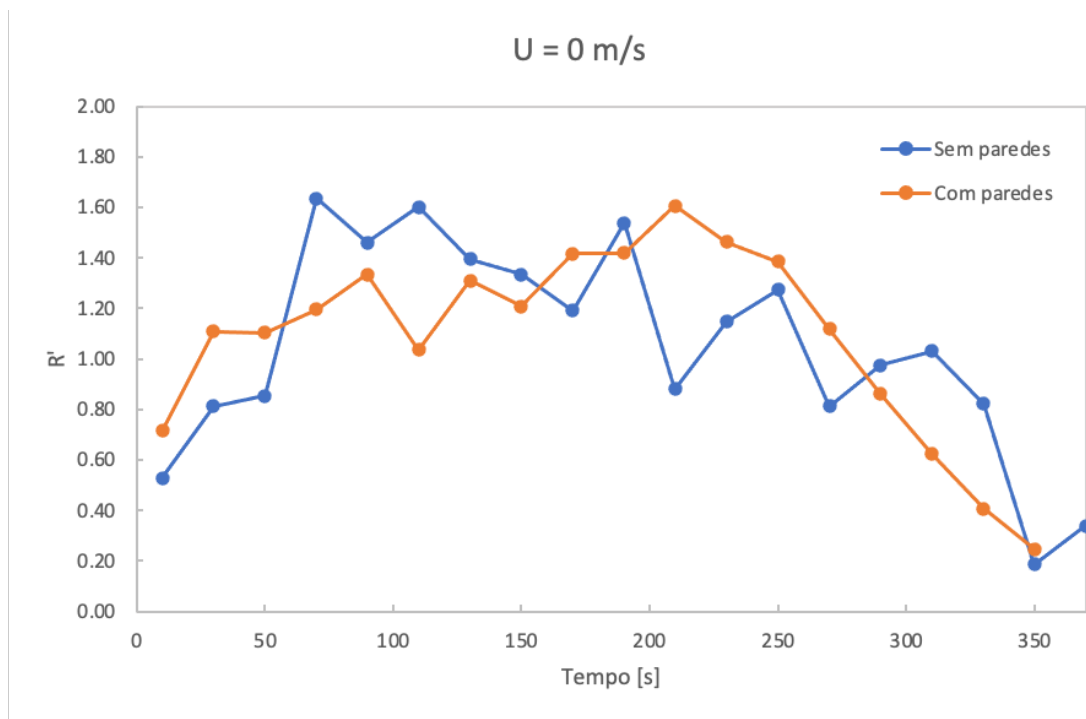


Figura A.0.1. Evolução da velocidade de propagação para U=0 m/s.

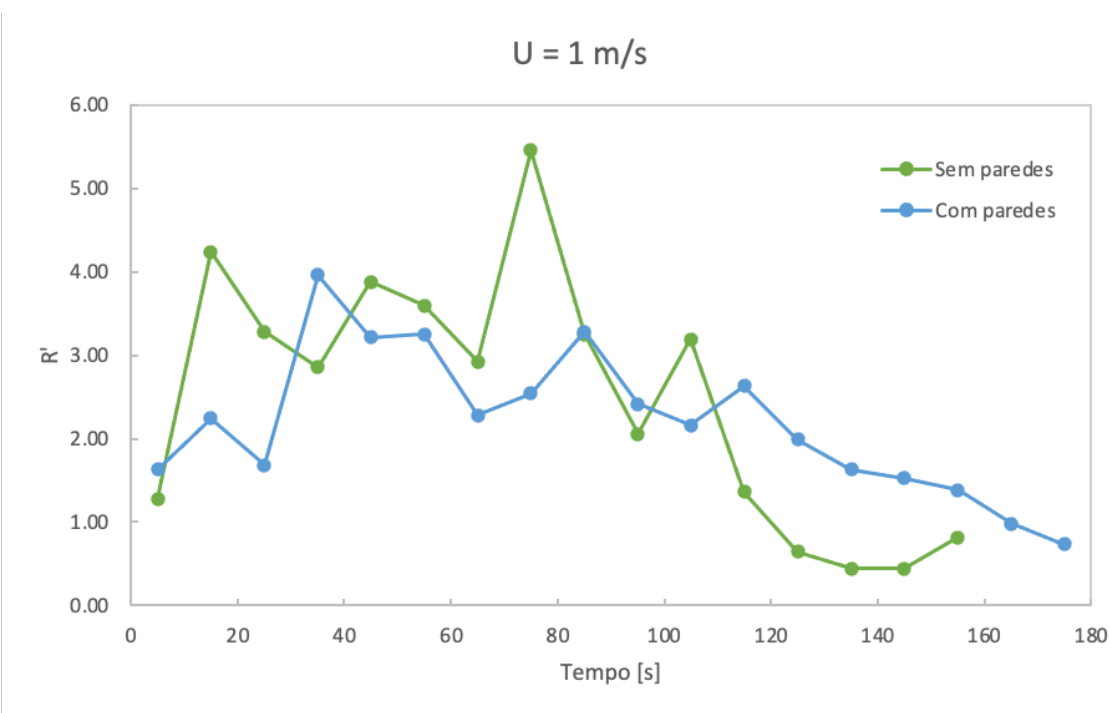


Figura A.0.2. Evolução da velocidade de propagação para U=1 m/s.

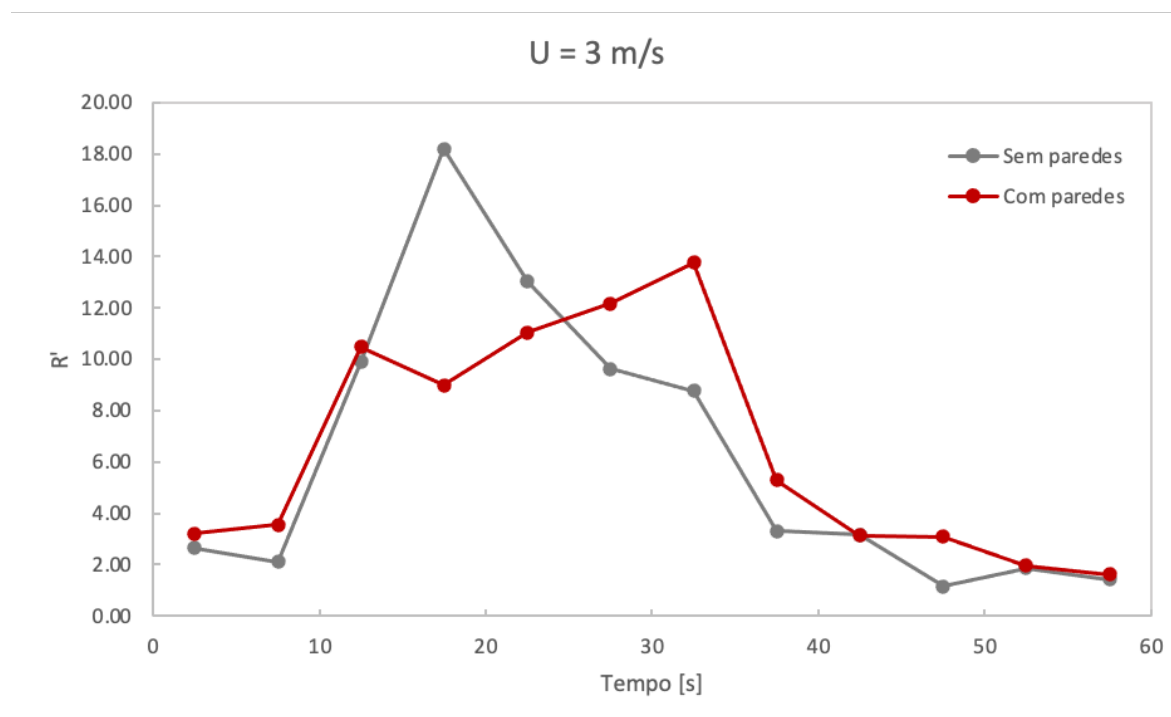
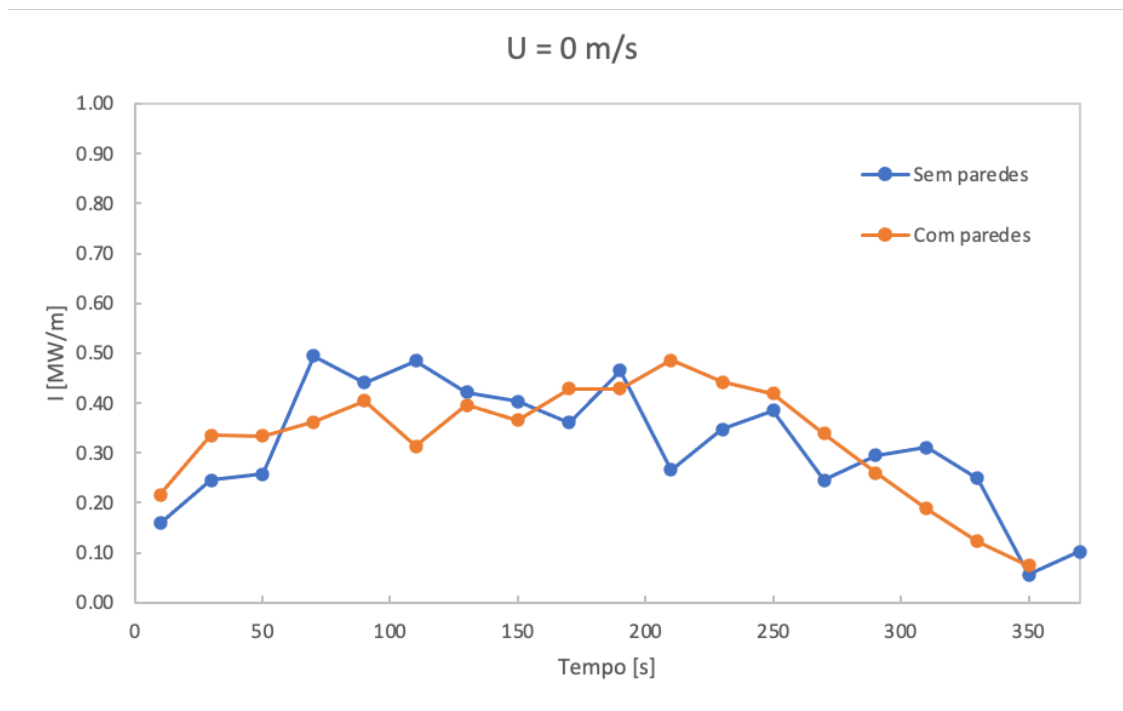
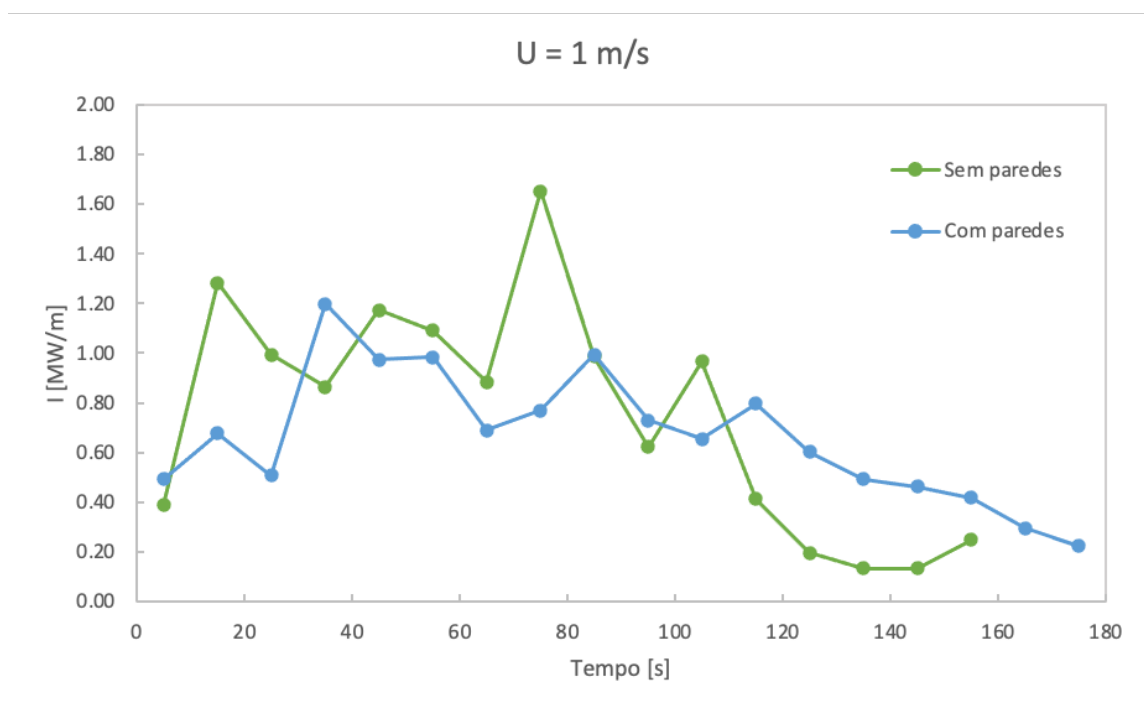


Figura A.0.3. Evolução da velocidade de propagação para U=3 m/s.

## APÊNDICE B



**Figura B.0.1.** Evolução da intensidade de chama para  $U=0 \text{ m/s}$ .



**Figura B.0.2.** Evolução da intensidade de chama para  $U=1 \text{ m/s}$ .

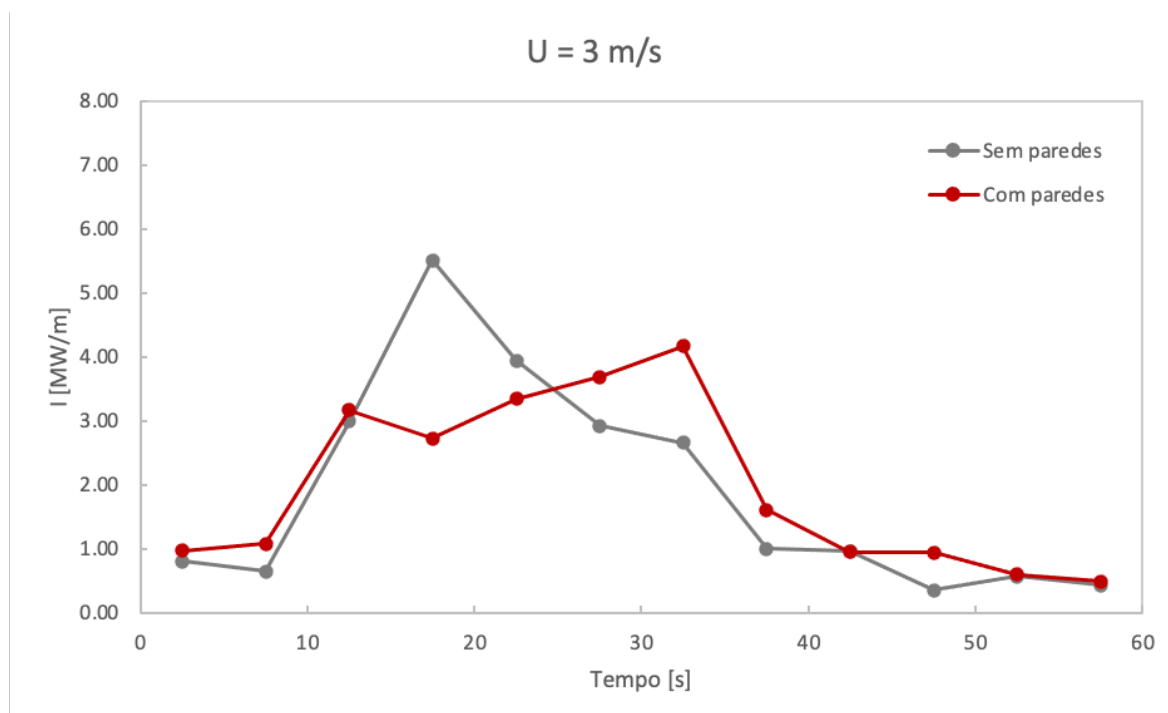


Figura B.0.3. Evolução da intensidade de chama para U=3 m/s.



## APÊNDICE C

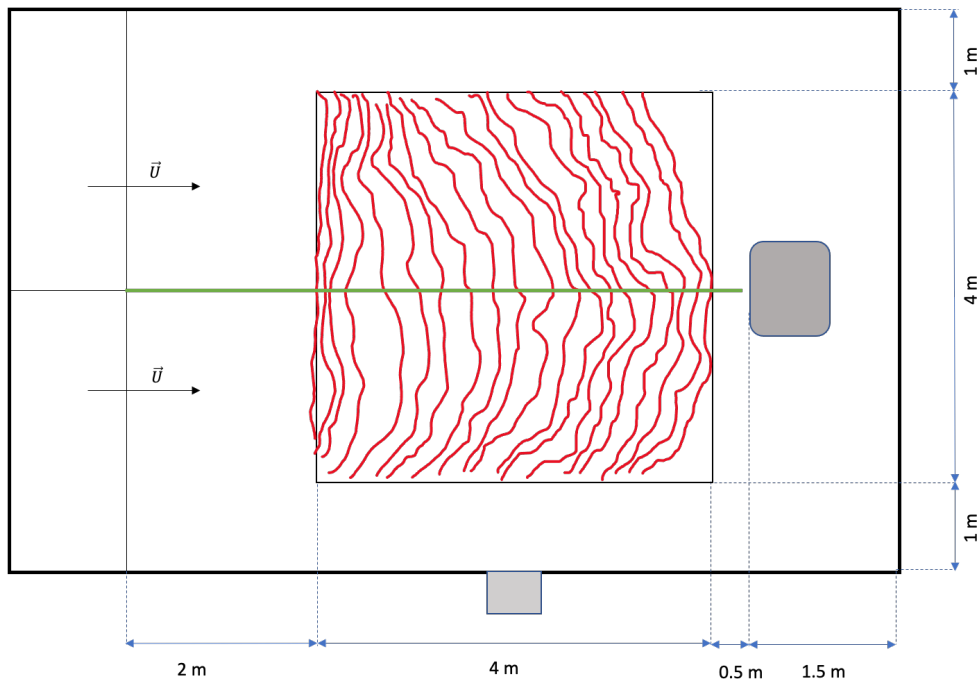


Figura C.0.1. Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e  $U=0$  m/s.

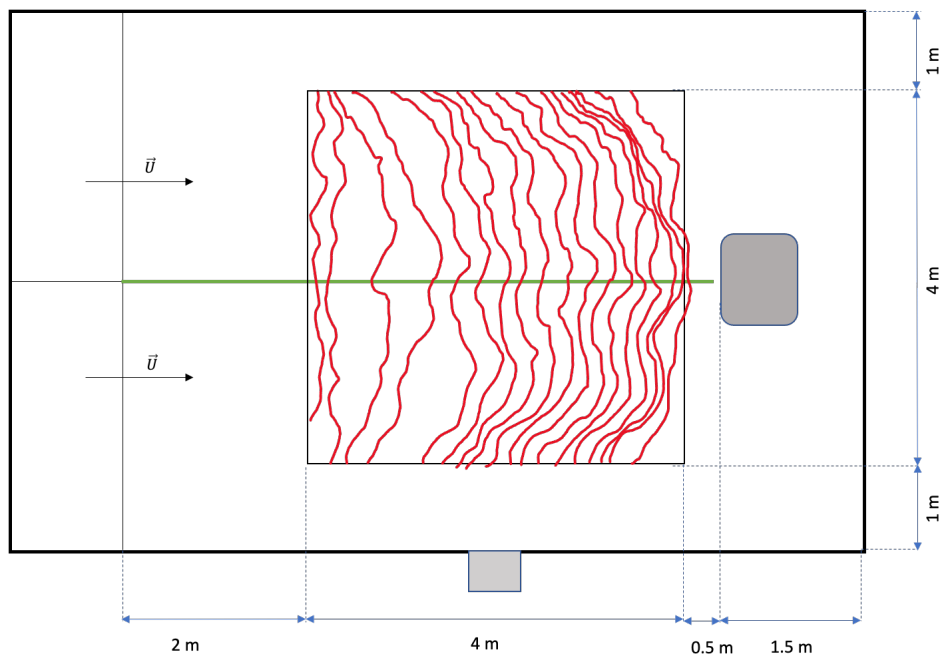
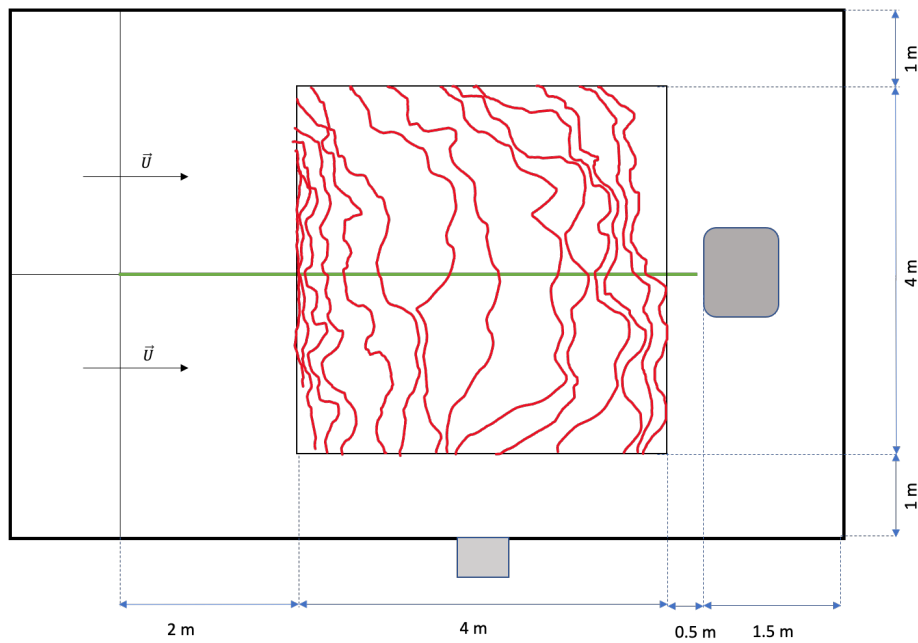
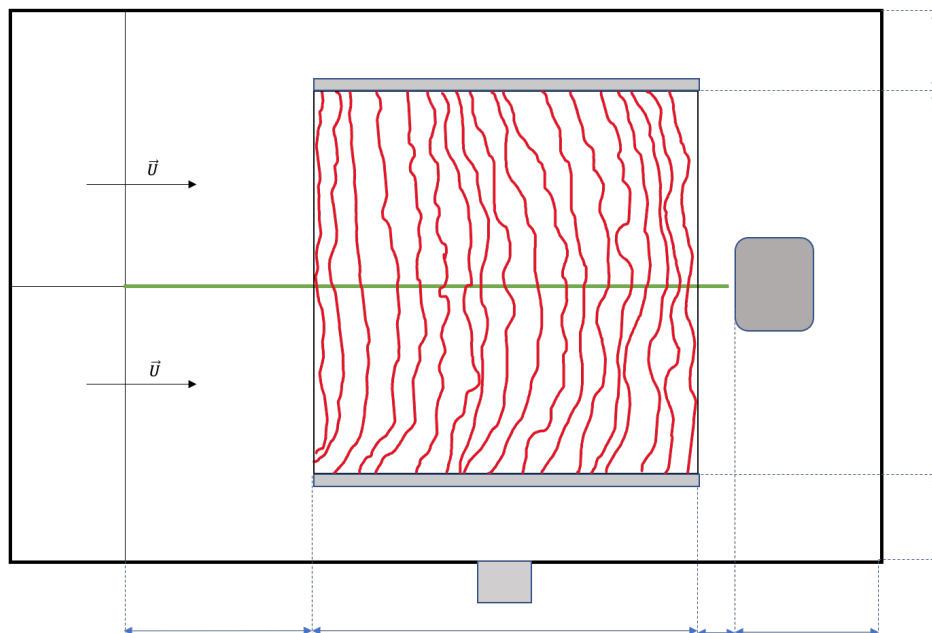


Figura C.0.2. Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e  $U=1$  m/s.



**Figura C.0.3.** Esquema da propagação do fogo sem paredes laterais e  $U=3$  m/s.



**Figura C.0.4.** Esquema da propagação do fogo com paredes laterais e  $U=0$  m/s.

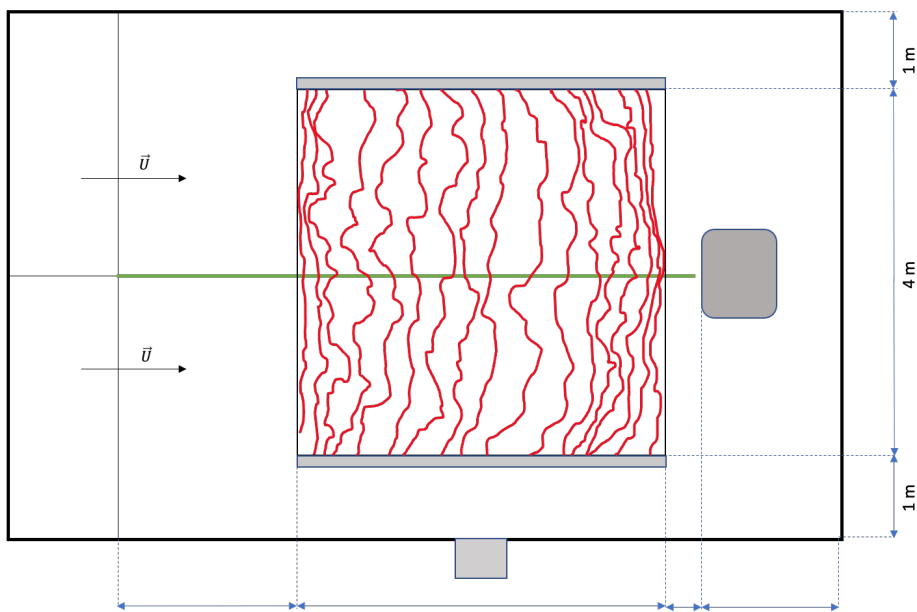


Figura C.0.5. Esquema da propagação do fogo com paredes laterais com  $U=1$  m/s.

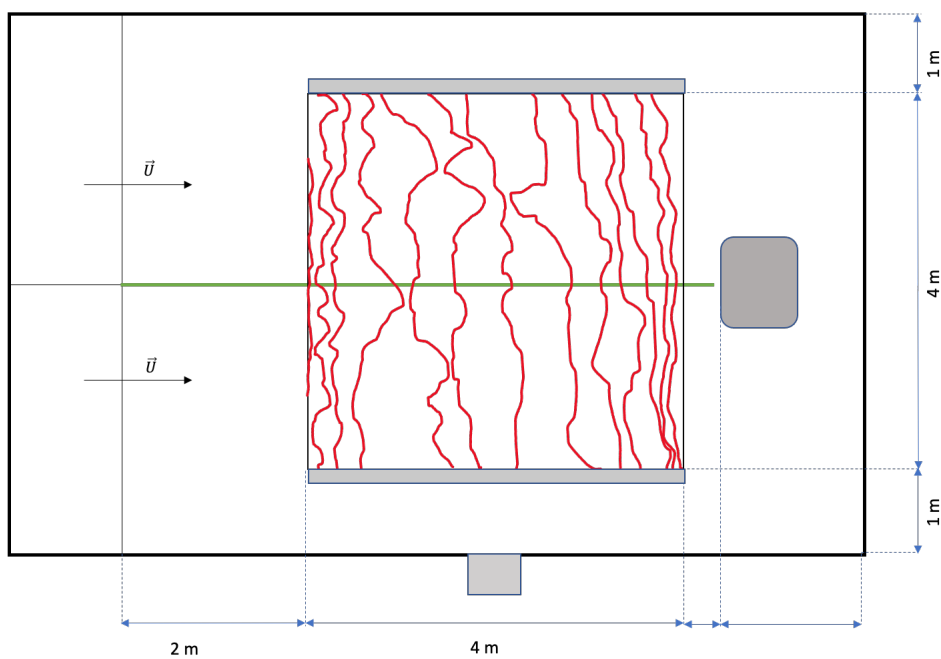


Figura C.0.6. Esquema da propagação do fogo com paredes laterais e  $U=3$  m/s.