



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Alexandrina Carreira Brinca

**PROTEÇÃO DE ESTAÇÕES DE  
TELECOMUNICAÇÕES CONTRA INCÊNDIOS  
FLORESTAIS**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo de Produção e Projeto orientada pelo Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas e pelo Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.**

Outubro de 2020



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

## **Proteção de estações de telecomunicações contra incêndios florestais**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

## **Protection of telecommunications stations against forest fires**

Autor

**Alexandrina Carreira Brinca**

Orientador

**Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas**

Coorientador

**Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo**

Júri

Presidente **Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva  
Ribeiro**

Orientador **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra  
Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas  
Professor Catedrático da Universidade de Coimbra**

**Professor Doutor Carlos Xavier Pais Viegas  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**

Vogais **Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz  
Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia de  
Coimbra**



**Coimbra, Outubro, 2020**



“Remember that happiness is a way of travel, not a destination.”

Roy M. Goodman



## Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não seria possível sem o apoio e a compreensão de diversas pessoas, às quais não poderia deixar de agradecer.

Ao professor Domingos Xavier Viegas, ao professor Jorge Raposo, ao Doutor Luís Reis e ao Thiago Barbosa pelos conhecimentos partilhados, pelo apoio e pela disponibilidade ao longo desta dissertação.

À Vodafone Portugal e à Telcabo pela disponibilização da estrutura em aço e dos armários de telecomunicações essenciais ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais, por me proporcionarem esta oportunidade, pelos valores passados, pelo carinho e pelo apoio incansável durante todo o meu percurso académico.

Ao meu irmão, por todos os momentos partilhados.

Ao meu avô e à minha avó, pelo carinho sempre demonstrado.

Ao Miguel, pela presença diária durante todo o percurso, pelo apoio, ajuda, compreensão e por todos os momentos partilhados.

Aos meus amigos, Tatiana Alves, Sara Tomás, Susana Tomás, Joana Pires, Fábio Seixas e Miguel Sousa por toda a amizade.



**Telcabo**





## Resumo

Os incêndios florestais são catástrofes que devastam o nosso país todos anos, colocando as populações em perigo e provocando um grande impacto social, económico e ambiental.

Os grandes incêndios que ocorreram no nosso país em 2017 demonstraram da pior forma que as infraestruturas dos sistemas de telecomunicações não possuíam a proteção e resiliência necessárias para enfrentar catástrofes desta natureza.

Este trabalho tem como objetivo otimizar uma barreira térmica de um estudo anterior, de modo a proteger o armário de telecomunicações em caso de incêndio florestal e a mitigar o aumento da temperatura no interior do armário provocado pela presença da própria proteção, em funcionamento normal e em situação de incêndio.

Este estudo dividiu-se em duas fases. Na primeira fase, idealizaram-se várias proteções e com recurso ao *software Inventor*<sup>®</sup> foi criado o desenho das mesmas. Posteriormente, duas destas proteções foram sujeitas a simulações numéricas, no *software ANSYS*<sup>®</sup>, de modo, a analisar a sua eficácia na presença e na ausência de fogo. Na segunda fase, realizaram-se ensaios experimentais em laboratório, de modo, a analisar o desempenho das proteções e a verificar a veracidade das simulações com fogo. Com este procedimento, foi possível encontrar uma proteção mais eficaz.

**Palavras-chave:** Incêndios florestais, Estação de telecomunicações, Armário, Proteção, simulação numérica.



## Abstract

Forest fires are catastrophes that devastate our country every year, putting populations in danger and causing a great social, economic and environmental impact.

The big fires that occurred in our country in 2017 demonstrated, in the worst way, that the infrastructures of the telecommunications systems did not have the necessary protection and resilience to face catastrophes of this nature.

This work aims to optimize a thermal barrier from a previous study, in order to protect the telecommunications cabinet in case of forest fire and to mitigate the temperature increase inside the cabinet caused by the presence of the protection itself, in normal operation and in fire situation.

This study was divided into two phases. In the first phase several protections were devised and, using the *Inventor*<sup>®</sup> software, their design was created. Subsequently, two of these protections were subjected to numerical simulations, using the *ANSYS*<sup>®</sup> software, in order to analyze their effectiveness in the presence and absence of fire. In the second phase, experimental tests were carried out in the laboratory, in order to analyze the performance of the protections and to verify the veracity of the fire simulations. With this procedure, it was possible to find a more effective protection.

**Keywords** Forest fires, Telecommunications stations, Telecommunications cabinet, Protection, Numerical simulation.



---

## Índice

Índice de Figuras .....	viii
Índice de Tabelas .....	xi
Simbologia e Siglas .....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas .....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Motivação .....	2
1.3. Objetivos.....	2
2. Fundamentos Teóricos.....	5
2.1.1. Conceito e comportamento do fogo.....	5
2.1.2. Modos de transferência de calor .....	6
2.1.3. Proteção ativa e passiva.....	6
2.1.4. Estação de telecomunicações.....	7
2.1.5. Simulação computacional.....	8
3. Metodologia.....	9
3.1. Proteção e armário de telecomunicações .....	9
3.2. Simulações numéricas.....	12
3.2.1. Simulações numéricas sem fogo.....	14
3.2.2. Simulações numéricas com fogo .....	21
3.3. Ensaios experimentais.....	23
4. Análise e Discussão dos Resultados.....	27
4.1. Simulações numéricas.....	27
4.1.1. Sem fogo.....	27
4.1.2. Com fogo .....	31
4.1.3. Discussão dos resultados .....	35
4.2. Ensaios experimentais.....	36
4.2.1. Ensaios sem proteção.....	36
4.2.2. Ensaios com proteção 2 .....	39
4.2.3. Ensaios com proteção 1 .....	42
4.2.4. Discussão dos resultados .....	45
5. Conclusões.....	49
Referências Bibliográficas.....	51
ANEXO A .....	53
ANEXO B .....	57
ANEXO c .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. O quadrado do fogo. ....	6
Figura 2.2. Medidas associadas às estações de telecomunicações (Comunicações 2017b)..	8
Figura 3.1. Proteção 1: (a) estrutura em aço e armário de telecomunicações; (b) manta superior e inferior com um espaço destinado à circulação de ar indicado pela seta a azul. ....	9
Figura 3.2. Interior do armário de telecomunicações com os equipamentos que dissipam energia em destaque. ....	11
Figura 3.3. Armário de telecomunicações: (a) exterior; (b) interior com os respectivos rádios. ....	15
Figura 3.4. Sem proteção e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho.	16
Figura 3.5. Proteção 1: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	17
Figura 3.6. Com a proteção 1 e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho. ....	18
Figura 3.7. Proteção 2: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	19
Figura 3.8. Com a proteção 2 e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho. ....	20
Figura 3.9. Condições de contorno do tipo parede, com as faces expostas diretamente ao fogo indicadas a cor de laranja e as faces não expostas ao fogo indicadas a azul: (a) com a proteção 1 e com fogo; (b) com a proteção 2 e com fogo. ....	22
Figura 3.10. Esquema da disposição dos equipamentos, da proteção do armário e do leito de combustível no túnel de combustão durante os ensaios experimentais. ....	24
Figura 4.1. Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, numa situação sem proteção e na ausência de fogo. ....	28
Figura 4.2. Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 1 na ausência de fogo. ....	29
Figura 4.3. Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 2 na ausência de fogo. ....	30
Figura 4.4. Perfil de temperaturas na manta de proteção, com a proteção 1 e com fogo. ....	31
Figura 4.5. Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 1 e com fogo.	32
Figura 4.6. Perfil de temperaturas na manta de proteção, com a proteção 2 e com fogo. ....	33
Figura 4.7. Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 2 e com fogo.	34

---

Figura 4.8. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº1 (sem proteção e sem vento).....	36
Figura 4.9. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº2 (sem proteção e com vento, $U = 1 \text{ m/s}$ .....	38
Figura 4.10. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº3 (com a proteção 2 e sem vento).....	40
Figura 4.11. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº4 (com a proteção 2 e com vento, $U = 1 \text{ m/s}$ ).....	41
Figura 4.12. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº6 (com a proteção 1 e sem vento).....	43
Figura 4.13. Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº5 (com a proteção 1 e com vento, $U = 1 \text{ m/s}$ ).....	44
Figura 4.14. Temperaturas máximas sem proteção, com a proteção 1 e com a proteção 2, na ausência de vento, $U = 0 \text{ m/s}$ . ....	45
Figura 4.15. Temperaturas máximas sem proteção, com a proteção 1 e com a proteção 2, na presença de vento, $U = 1 \text{ m/s}$ .....	47
Figura A.1. Proteção 1: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	53
Figura A.2. Proteção 2: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	54
Figura A.3. Proteção 3: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	54
Figura A.4. Proteção 4: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço. ....	55
Figura B.1. Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, sem proteção na ausência de fogo.....	57
Figura B.2. Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 1 na ausência de fogo.....	58
Figura B.3. Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 2 na ausência de fogo.....	58
Figura B.4. Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 1 numa situação de fogo. ....	59
Figura B.5. Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 2 numa situação de fogo. ....	60
Figura C.1. Ensaio nº1. ....	61
Figura C.2. Ensaio nº2. ....	61
Figura C.3. Ensaio nº3. ....	62
Figura C.4. Ensaio nº4. ....	62
Figura C.5. Ensaio nº5. ....	63
Figura C.6. Ensaio nº6. ....	63

---





---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Propriedades da manta (dados fornecidos pelo fabricante Empatec). .....	10
Tabela 3.2. Potências consumidas e dissipadas pelos rádios.....	11
Tabela 3.3. Propriedades do aço inoxidável AISI 304 (AISI 304 (1.4301) Stainless Steel Matmatch n.d.). .....	12
Tabela 3.4. Propriedades do alumínio 6061-O (Aluminum 6061-O n.d.).....	12
Tabela 3.5. Parâmetros obtidos após a geração de malha. ....	14
Tabela 3.6. Geração de calor em cada rádio.....	16
Tabela 3.7. Condições de contorno, sem proteção e sem fogo.....	17
Tabela 3.8. Condições de contorno, com a proteção 1 e sem fogo. ....	18
Tabela 3.9. Condições de contorno, com a proteção 2 e sem fogo. ....	20
Tabela 3.10. Resultado de um ensaio experimental realizado na dissertação anterior com a proteção 1. ....	21
Tabela 3.11. Condições de contorno, com a proteção 1 ou 2 na presença de fogo. ....	22
Tabela 3.12. Ensaio experimentais realizados pela ordem apresentada com diferentes variáveis.....	26



## **SIMBOLOGIA E SIGLAS**

### **SIMBOLOGIA**

$A$  – Área do leito de combustível

FMC – Teor de humidade do combustível

$h$  – Coeficiente de transferência de calor

$M_T$  – Massa de combustível

T – Temperatura

$U$  – Velocidade do escoamento

$W$  – Carga de combustível

### **SIGLAS**

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações

CEIF – Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais

CFD – Dinâmica de fluidos computacional

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

No ambiente de alterações climáticas, em que vivemos, o aumento da temperatura global da atmosfera amplifica o período propício à existência de incêndios florestais e a reduzida precipitação favorece a propagação de grandes incêndios. Deste modo, as alterações climáticas amentam a intensidade e a ocorrência de incêndios florestais (Aquecimento global, SAPO).

Um incêndio florestal é um fogo que se propaga de forma descontrolada numa área florestal. Esta catástrofe assola Portugal ano após ano, constituindo uma fonte de perigo para as populações e provocando prejuízos avultados em termos ambientais e económicos.

Em Junho de 2017, deflagrou um complexo de incêndios que ficou conhecido como incêndio de Pedrógão Grande, uma vez que foi nesse local que teve origem o primeiro incêndio. Este complexo de incêndios ficou para a história por ter provocado “65 vítimas mortais e mais de 200 feridos, tornando-o um dos mais graves acidentes ocorridos no nosso país, e um dos piores da Europa” (Viegas et al., 2017a). Devido ao comportamento atípico deste incêndio, à reduzida prestação de socorro, à falta de energia eléctrica, de água e de comunicações, numerosas pessoas tentaram fugir, o que conduziu a um elevado número de mortes. “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” (Viegas et al., 2017a). Com a falha do sistema de comunicações não se sabia efectivamente o que estava a acontecer no teatro de operações, acabando por não existir uma estratégia para controlar a situação. O combate e a prestação de socorro ficaram então comprometidos.

Em Outubro de 2017, deflagrou um conjunto de incêndios que percorreu, em poucas horas, mais de duzentos mil hectares na zona Centro de Portugal e provocou 51 vítimas mortais. A situação catastrófica e, principalmente, a falha do sistema de

comunicações impediram uma coordenação geral, ficando cada corporação entregue à sua própria capacidade de resposta (Viegas et al., 2017b).

Devido aos incêndios de 2017, a ANACOM verificou um forte impacto nas infraestruturas de comunicações. Mais de duas centenas de locais de instalação de estações de radiocomunicações foram afetados, o comprimento total de cabos ardidos ultrapassou o meio milhar de quilómetros e arderam mais de meia dezena de milhar de postes de comunicações. A ANACOM destacou também alguns problemas associados às estações de radiocomunicações, nomeadamente a presença de folhas e ramos secos no interior da zona vedada de algumas estações, chegando a observa-se uma estação com vegetação densa na zona interior, a presença de vegetação em torno das estações sem zona de separação, o que permitiu, por vezes, a observação das copas das árvores sobre a zona vedada e, por último, a utilização de critérios diferentes nas entradas de cabos na zona das estações, entradas que às vezes estavam próximas da vegetação (Comunicações 2017a).

## **1.2. Motivação**

Numa era em que os incêndios florestais são cada vez mais frequentes e de maior intensidade, os grandes incêndios de 2017 vieram demonstrar que as infraestruturas de comunicações não possuíam a proteção e resiliência necessárias para enfrentar catástrofes desta natureza.

Os incêndios de 2017 permitiram mostrar da pior forma a grande importância que os sistemas de telecomunicações têm na coordenação dos serviços de combate, bem como, na proteção das populações. A falha dos sistemas de comunicações contribuiu para as consequências devastadores destes incêndios, o que destaca a grande importância em proteger as infraestruturas dos sistemas de telecomunicações, para que, na presença destes fenómenos continue a ser possível a comunicação. Neste contexto, surge a grande motivação desta dissertação.

## **1.3. Objetivos**

Tendo em conta o risco de incêndio florestal, surgiu um protocolo entre a ADAI, a Telcabo e a Vodafone Portugal com o intuito de desenvolver uma barreira térmica para a proteção de armários presentes nas estações de telecomunicações. Esta barreira,

além da função protetora, tem que garantir um bom funcionamento dos rádios existentes nos armários, para tal, a Telcabo/Vodafone indica um limite de temperatura, na zona dos rádios, de 60 °C.

Este trabalho surge como uma continuação de uma dissertação de Mestrado anterior (Lopes and Barge 2019). Nessa dissertação estudou-se uma proteção constituída por uma estrutura em aço inoxidável (projetada pela ADAI e pela Telcabo), coberta por uma manta de fibra de vidro com um revestimento de alumínio na face exterior. Através de ensaios experimentais com fogo, verificou-se que, com a proteção a temperatura na frente do armário era inferior. Além disso, com a ventilação do armário desligada e com a proteção as temperaturas na zona dos rádios foram inferiores, comparativamente com a situação sem proteção. Através da monitorização de uma estação de telecomunicações, na ausência de incêndio florestal, constatou-se que, com a proteção, a temperatura no interior do armário aumentava cerca de 5 °C. Este aumento de temperatura não comprometeu o bom funcionamento dos rádios nas situações registadas na estação em estudo, contudo seria possível em condições mais desfavoráveis que se atingisse ou ultrapassa-se o valor limite. Observou-se também que com a proteção a humidade no interior do armário diminuía cerca de 20%, o que era favorável. Além disso, verificou-se que esta configuração da manta permitia a acumulação de água na zona superior, o que provoca a sua degradação.

Esta dissertação tem como objetivo otimizar a proteção existente com recurso a programas como o *Inventor*<sup>®</sup> e o *ANSYS*<sup>®</sup>. Pretende-se, numa situação sem fogo, mitigar o aumento de 5 °C no interior do armário, principalmente na zona dos rádios, para que os equipamentos não estejam sujeitos a temperaturas tão elevadas e para que o sistema de ventilação não entre em funcionamento tão facilmente. O sistema de ventilação entra em funcionamento sempre que é atingida uma temperatura de 40 °C na zona dos rádios. Na exposição ao fogo, com a nova proteção pretende-se diminuir a temperatura no interior do armário. A proteção otimizada deverá ainda impedir a acumulação de água.





## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1.1. Conceito e comportamento do fogo

Para uma melhor compreensão dos incêndios florestais é necessário um conhecimento prévio do fenómeno fogo.

O fogo resulta de uma reação de oxidação (combustão) entre um combustível e um comburente (oxigénio, por exemplo) na presença de uma fonte de calor que fornece a energia de ativação.

Quando uma partícula de combustível é sujeita a uma fonte de calor, primeiro começa por perder a água que possui e depois liberta componentes inflamáveis que sofrem uma reação de combustão. Se a reação surgir na superfície do combustível, sem libertação de voláteis, ocorre uma combustão sem chama (combustão lenta), Se a reação ocorrer no estado gasoso forma-se uma chama (combustão viva ou com chama), que ocorre frequentemente num incêndio florestal com propagação de superfície. Este modo de propagação pode evoluir para um fogo de copas se as intensidades forem suficientes para tal. Por último, existem os focos secundários resultantes da projeção de partículas incandescentes (Viegas 2006).

A compreensão do comportamento do fogo é fundamental na gestão dos incêndios florestais, uma vez que determina as estratégias e medidas a adotar (Viegas 2006). O comportamento do fogo pode ser definido pela forma como o combustível entra em ignição, a chama se desenvolve e o fogo se propaga (CIFFC, 2017). Normalmente, considera-se que o comportamento é influenciado por três factores: a topografia, o combustível e a meteorologia, formando o “triângulo de fogo”. A topografia inclui fatores determinantes como o declive e a curvatura do terreno. O combustível inclui fatores como a carga, a altura do leito, a composição, o teor de humidade, entre outros. A nível meteorológico, a temperatura, humidade relativa do ar, o vento, a radiação solar e a precipitação influenciam o teor de humidade do combustível. “O principal fator meteorológico que afeta a propagação do fogo é o vento, que se caracteriza em cada ponto e em cada instante de tempo, por um valor da velocidade e da direcção” (Viegas 2006).

Os estudos realizados mostram que existe um outro fator que influencia o comportamento do fogo, o tempo. O comportamento do fogo é dinâmico, ou seja, para determinadas condições do ambiente, a velocidade de propagação do fogo varia ao longo do tempo. Deste modo, tem-se o “quadrado do fogo”.

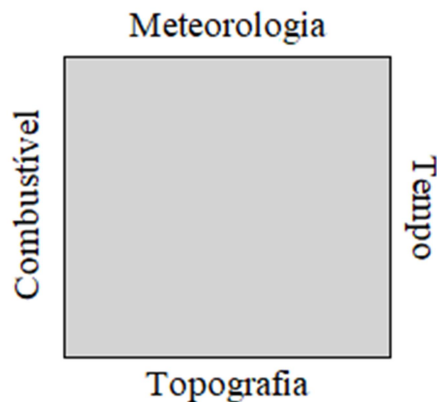


Figura 2.1. O quadrado do fogo.

### 2.1.2. Modos de transferência de calor

A transferência de calor pode ocorrer por condução, convecção e radiação.

Durante a propagação de um fogo na vegetação, a condução é irrelevante, uma vez que representa apenas 5% da transferência de calor. Já num fogo de solo, a condução é o modo de transferência predominante (F.A.O. 2009).

A convecção e a radiação são os modos de transferência de calor mais importantes num incêndio florestal. Os gases quentes da combustão juntam-se com o ar ambiente aquecido e através das correntes de convecção aquecem os combustíveis. A radiação é a energia emitida na forma de ondas electromagnéticas.

### 2.1.3. Proteção ativa e passiva

Todo o estudo apresentado centra-se num mecanismo de proteção passiva. Desta forma é feita de forma meramente elucidativa a distinção entre os sistemas de proteção ativa e passiva contra incêndios.

Os sistemas de proteção ativa são equipamentos e sistemas que têm como objetivo o combate ao incêndio e a evacuação das pessoas, respetivamente. Existem vários sistemas de proteção ativa, nomeadamente extintores, chuveiros automáticos, iluminação e saídas de emergência (Damasceno 2020)

Os sistemas de proteção passiva são soluções implementadas em estruturas com o objetivo de proporcionar uma resistência ao fogo durante mais tempo, oferecendo mais proteção às estruturas e às pessoas. Destacam-se vários sistemas de proteção passiva: revestimentos intumescentes, argamassas, painéis resistentes ao fogo e mantas fibrosas resistentes ao fogo. As mantas apresentam uma instalação limpa e com libertação de poucos resíduos.

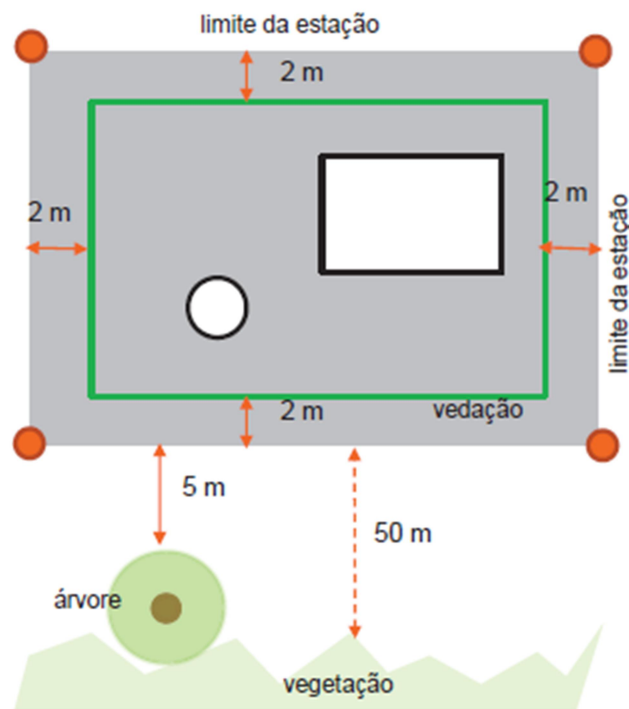
#### **2.1.4. Estação de telecomunicações**

As estações de telecomunicações fazem parte de um sistema que permite a comunicação entre as pessoas.

Uma estação de telecomunicações é constituída por uma caixa transcetora com rádios (armário), uma linha de transmissão e uma torre com antenas. A torre tanto recebe ondas electromagnéticas como sinais através de cabos. Estes sinais são provenientes da caixa transcetora que combina num só dispositivo um emissor e um recetor, e é responsável pelo processamento do sinal.

Na sequência dos incêndios de 2017, a ANACOM considera que as medidas propostas pelo Grupo de Trabalho dos Incêndios Florestais são decisivas para o aumento da proteção e resiliência das infraestruturas de telecomunicações.

As medidas associadas às estações de telecomunicações encontram-se ilustradas na Figura 2.2. As medidas incluem a presença de uma faixa pavimentada de 1 a 2 m à volta das estações de radiocomunicações, cortar e desbastar as copas das árvores e dos arbustos de modo a existir uma distância mínima adequada à estação de 5 m, limpeza do espaço interior à vedação e do terreno à volta da estação (50 m). Proteção de entrada de cabos, substituição dos cabos aéreos por cabos subterrâneos, entre outros.



**Figura 2.2.** Medidas associadas às estações de telecomunicações (Comunicações 2017b).

### 2.1.5. Simulação computacional

Nos dias de hoje as empresas são cada vez mais competitivas e a inovação e a otimização são cruciais, o que torna a simulação computacional uma ferramenta fundamental. No desenvolvimento dos projetos a simulação reduz o tempo e os custos associados aos métodos experimentais. Além disso, permite identificar e corrigir erros nas fases iniciais dos projetos, proporcionando maior eficiência e qualidade.

Este estudo irá centra-se na dinâmica de fluidos computacional (CFD), “área do conhecimento que trata da simulação numérica de escoamentos de fluidos, transferência de calor e fenómenos relacionados, como reações químicas, combustão e aeroacústica”(Fontes 2019). Para a realização das simulações utilizou-se o *software ANSYS® FLUENT®*. O *FLUENT®* é uma ferramenta CFD.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo dividiu-se em duas fases. Numa primeira fase, através do *software Inventor*<sup>®</sup> criaram-se os desenhos de várias proteções e do armário de telecomunicações. Posteriormente, recorrendo ao *software ANSYS*<sup>®</sup>, realizaram-se simulações com o intuito de analisar o desempenho de duas proteções, na presença e na ausência de fogo. Numa segunda fase, realizaram-se ensaios experimentais no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) na Lousã. Nestes ensaios o armário e duas proteções foram expostos ao fogo de modo a avaliar, de modo experimental, o desempenho das proteções.

#### 3.1. Proteção e armário de telecomunicações

No estudo anterior foi utilizada uma proteção (Figura 3.1) constituída por uma estrutura em aço coberta por uma manta de fibra de vidro com um revestimento muito fino de alumínio no seu exterior. Ao longo deste estudo esta proteção irá denominar-se proteção 1.



(a)



(b)

**Figura 3.1.** Proteção 1: (a) estrutura em aço e armário de telecomunicações; (b) manta superior e inferior com um espaço destinado à circulação de ar indicado pela seta a azul.

A manta protetora divide-se em manta superior e inferior. Entre as mantas existe um espaço destinado à circulação de ar, de aproximadamente 14 *cm*, indicado na Figura 3.1b pela seta a azul. As propriedades da manta protetora encontram-se na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Propriedades da manta (dados fornecidos pelo fabricante Empatec).

Referência do fornecedor	Espessura [mm]	Densidade [ $kg/m^3$ ]	Temperatura de serviço [ $^{\circ}C$ ]	Calor específico (25 $^{\circ}C$ ) [ $J/(kg \cdot K)$ ]	Condutividade térmica (23 $^{\circ}C$ ) [ $W/(m \cdot K)$ ]
TVL 126	0.5	220	600	795	0.04

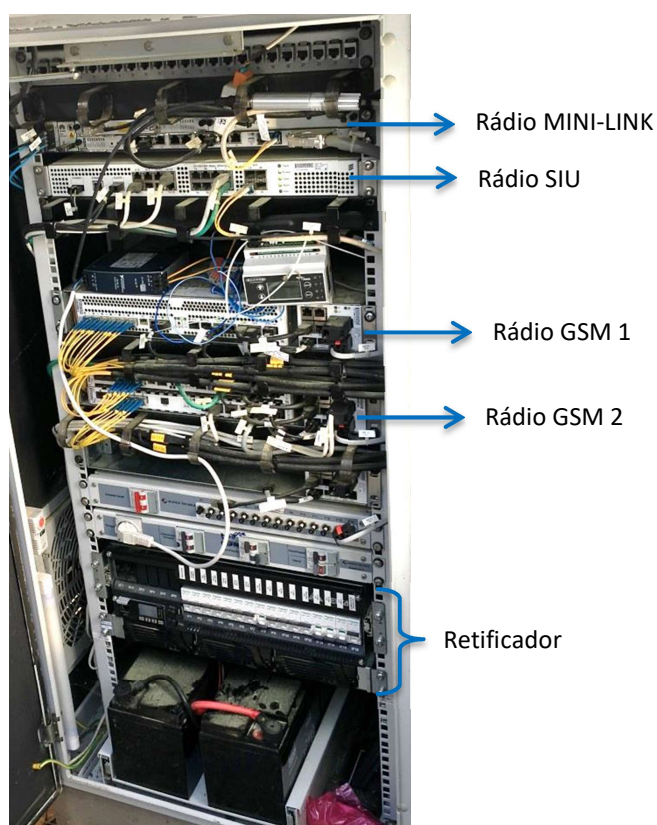
Para a realização de simulações numéricas mais precisas foi necessário estudar os equipamentos presentes no interior do armário, mais especificamente os equipamentos que dissipam energia. Destes equipamentos fazem parte quatro rádios (MINI-LINK, SIU, GSM 1 e GSM 2) e um retificador, indicados na Figura 3.2.

Os retificadores têm rendimentos elevados, cerca de, 96 % ou 97 %, pelo que, durante as simulações estes equipamentos foram desprezados.

Através do contacto com a empresa Telcabo foram fornecidos pelo Eng.º Carlos Carrapiço as potências consumidas pelos quatro rádios. As potências dissipadas pelos rádios GSM 1 e GSM 2 obtiveram-se pelo catálogo (Ericsson 2013). Relativamente aos rádios MINI-LINK e SIU, como não foi possível obter informação a cerca do valor da potência dissipada considerou-se a situação mais desfavorável, ou seja, o valor da potência dissipada igual à potência consumida. Os valores das potências dos quatro rádios são apresentados na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2.** Potências consumidas e dissipadas pelos rádios.

Rádios	Potência consumida(W)	Potência dissipada(W)
MINI-LINK	144	144
SIU	144	144
GSM 1	1000	500
GSM 2	1000	500

**Figura 3.2.** Interior do armário de telecomunicações com os equipamentos que dissipam energia em destaque.

Considerou-se que o armário é constituído por aço inoxidável 304, cujas propriedades encontram-se na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3.** Propriedades do aço inoxidável AISI 304 (AISI 304 (1.4301) Stainless Steel Matmatch n.d.).

Densidade [ $kg/m^3$ ]	Calor específico (20 °C) [ $J/(kg \cdot K)$ ]	Condutividade térmica (20 °C) [ $W/(m \cdot K)$ ]
8000	500	16.2

Admitiu-se que os quatro rádios são constituídos por alumínio 6061-O, cujas propriedades encontram-se na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4.** Propriedades do alumínio 6061-O (Aluminum 6061-O n.d.).

Densidade [ $kg/m^3$ ]	Calor específico [ $J/(kg \cdot K)$ ]	Condutividade térmica (25 °C) [ $W/(m \cdot K)$ ]
2700	896	180

### 3.2. Simulações numéricas

Neste estudo idealizaram-se várias proteções e recorrendo ao *software Inventor*<sup>®</sup> criaram-se os desenhos das mesmas (Anexo A), bem como, o desenho do armário de telecomunicações.

Após uma análise às novas proteções optou-se por simular a proteção que ocupava menos espaço e apresentava maior simplicidade, designada proteção 2. Esta proteção diferencia-se da proteção 1 através de uma abertura circular existente no topo da manta superior.

O armário e as proteções 1 e 2 foram sujeitos a simulações numéricas, no *software ANSYS*<sup>®</sup>, de modo a analisar a eficácia destas proteções na presença e na ausência de fogo.



---

O *software ANSYS® FLUENT®* baseia-se no método dos volumes finitos. O domínio é discretizado num conjunto de volumes de controlo. Em cada um desses volumes são resolvidas as equações de conservação: da massa, da quantidade de movimento e da energia (ESSS 2016).

A simulação numérica incluiu as seguintes etapas:

- Identificaram-se os domínios sólidos de interesse e introduziram-se os respetivos desenhos no *ANSYS®*;
- Criaram-se sólidos (volumes) para cada domínio fluido;
- Gerou-se a malha;
- Definiram-se os materiais, os modelos físicos, os domínios, as condições de contorno e criaram-se monitores;
- Calculou-se a solução;
- Analisaram-se os resultados.

Consideraram-se domínios sólidos de interesse, o armário e as proteção 1 e 2 sem as estruturas em aço. Estas estruturas foram desprezadas por considerar-se que não terão grande influência na solução final, reduzindo assim a complexidade do problema e o custo computacional.

Normalmente, para que exista independência de malha, ou seja, para que os resultados das simulações não dependam da malha gerada, aumenta-se sucessivamente o refinamento da malha até os resultados não alterarem mais. Como neste estudo a licença do *software* era limitada a 512000 elementos ou nós, procurou-se utilizar um número de elementos próximo do limite.

De modo a ser possível a comparação dos resultados das diferentes simulações utilizaram-se os mesmos métodos de criação de malha, a mesma taxa de crescimento dos elementos e o mesmo tamanho dos elementos em todas as simulações.

No processo de geração de malha utilizou-se uma taxa de crescimento dos elementos igual a 1.4. Os métodos de geração de malha implementados foram o *Patch Conforming* e o *Multizone*. Com o *Patch Conforming* geraram-se elementos tetraédricos, enquanto que com o *Multizone* geraram-se elementos hexaédricos.

Para avaliar a qualidade da malha utilizou-se o *skewness*, uma medida de distorção dos elementos. O *skewness* toma valores entre 0 e 1, sendo que 0 é um elemento perfeito e 1 é o pior elemento, recomenda-se um valor no máximo de 0.97.

Após a geração de malha obtiveram-se os parâmetros apresentados na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5.** Parâmetros obtidos após a geração de malha.

	Sem proteção	Proteção 1	Proteção 2
Nº de elementos	426180	511147	511475
Nº de nós	128368	174754	174648
<i>Skewness</i>	Min: 0.00047953	Min: 0.00071219	Min: 0.00060526
	Máx: 0.93847	Máx: 0.92904	Máx: 0.92904
	Média: 0.50814	Média: 0.48396	Média: 0.48329

Verificou-se que o nº de elementos ficou próximo do valor limite e a qualidade da malha ficou dentro dos valores recomendados.

Posteriormente definiram-se as propriedades dos materiais, os modelos físicos, os domínios, as condições de contorno e criaram-se monitores para analisar a evolução de variáveis físicas de interesse ao longo do processo iterativo. Quanto aos modelos físicos, considerou-se um escoamento laminar em regime permanente.

A física converge quando as variáveis físicas de interesse atingem um valor constante. Neste estudo analisou-se a evolução de algumas variáveis, como por exemplo, a temperatura média do ar no interior do armário (Anexo B).

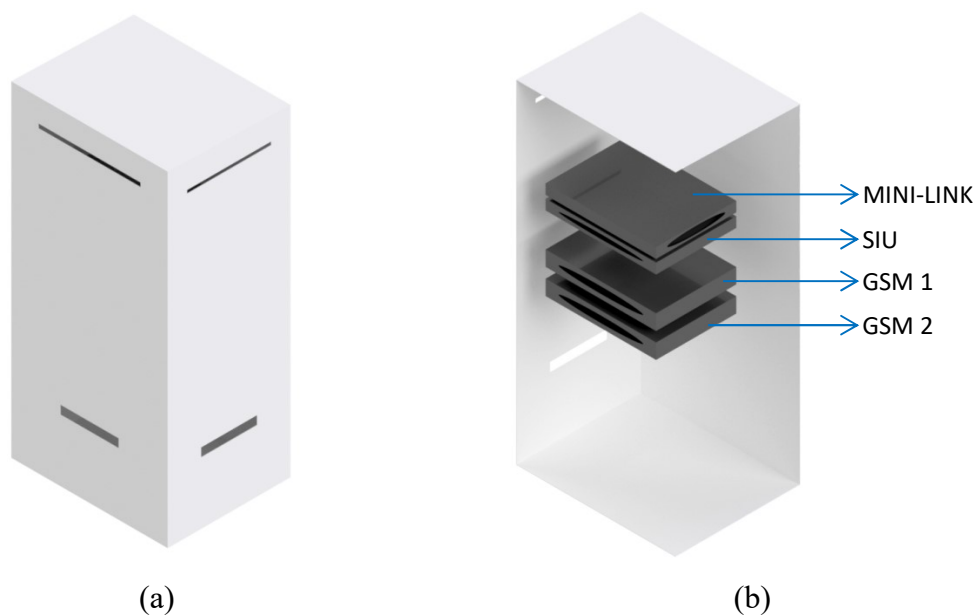
Tanto nas simulações numéricas sem fogo como nas simulações com fogo considerou-se uma temperatura exterior igual a 29 °C.

### 3.2.1. Simulações numéricas sem fogo

- Sem proteção

Com o objetivo de simular o armário de telecomunicações criou-se no *software Inventor*<sup>®</sup> o desenho do armário com os respetivos rádios no interior, Figura 3.3.

A geometria do armário contém aberturas de entrada e saída de ar, cuja área é equivalente à área das grelhas do armário real. Os desenhos do armário e dos rádios estão de acordo com as dimensões reais.



**Figura 3.3.** Armário de telecomunicações: (a) exterior; (b) interior com os respectivos rádios.

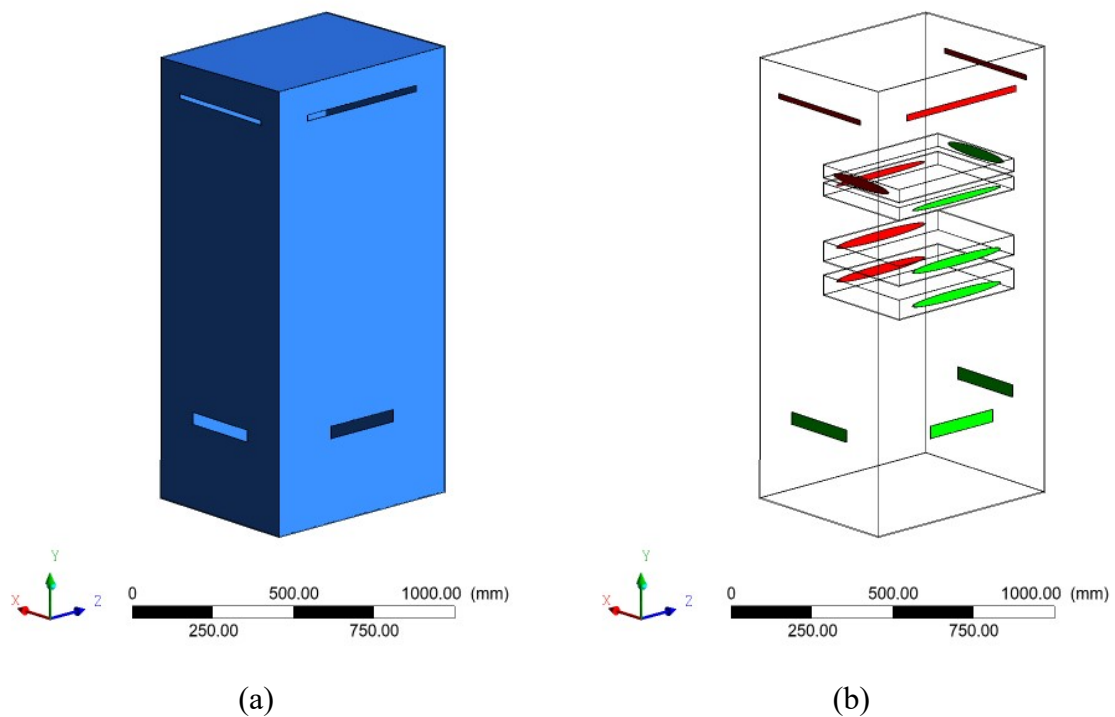
Introduziu-se o desenho do armário no *ANSYS*<sup>®</sup> e criaram-se sólidos em todos os domínios ocupados por ar. Posteriormente gerou-se a malha.

Definiram-se as propriedades dos materiais, os modelos físicos e os domínios. De modo a configurar os domínios, para cada volume definiu-se o tipo de domínio: sólido ou fluido e o material correspondente. Além disso, de forma a simular a potência dissipada pelos rádios introduziu-se no volume interior de cada rádio a geração de calor correspondente. Os valores da geração de calor foram determinados através do quociente entre a potência dissipada e o volume interior de cada rádio, estes valores são apresentados na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6.** Geração de calor em cada rádio.

Rádios	Geração de calor ( $W/m^3$ )
MINI-LINK	21683.3
SIU	21690.8
GSM 1	48595.9
GSM 2	48595.9

As condições de contorno encontram-se descritas na Tabela 3.7 e indicadas na Figura 3.4 com cores diferentes consoante o seu tipo.



**Figura 3.4.** Sem proteção e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho.

**Tabela 3.7.** Condições de contorno, sem proteção e sem fogo.

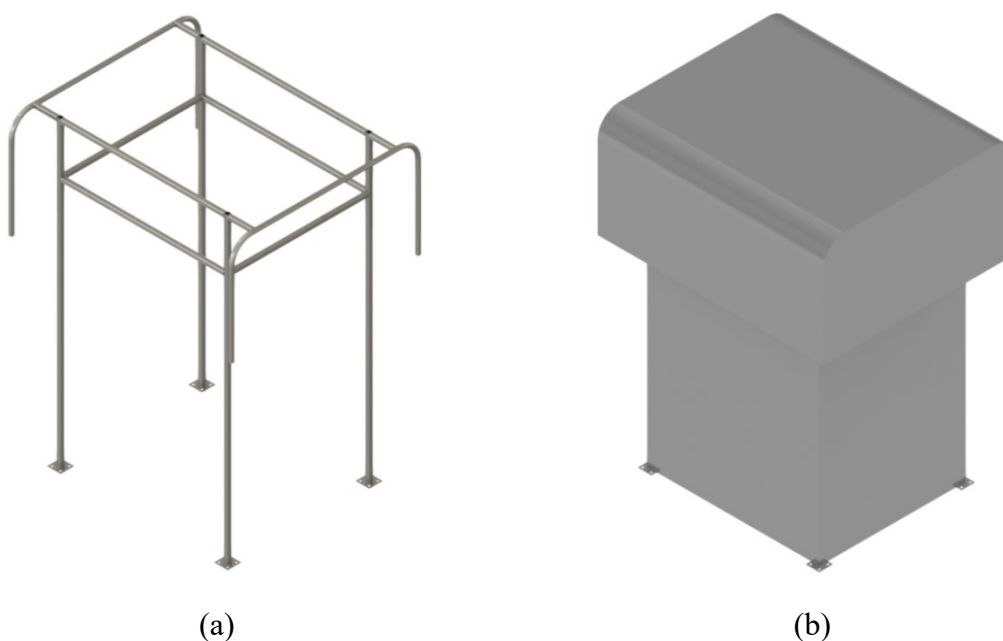
<b>Parede (exterior)</b>	Convecção: $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Entrada</b>	<u>No armário</u> : velocidade do ar = $1.2 \text{ m/s}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ <u>Nos rádios</u> : velocidade do ar = $4 \text{ m/s}$ ; $T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Saída</b>	Pressão relativa igual a zero

Nas faces exteriores do armário ocorre convecção, considerou-se  $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (convecção natural em gases:  $h = 2 \text{ a } 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) e  $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Considerou-se que o ar entra nas aberturas inferiores do armário a uma velocidade de  $1.2 \text{ m/s}$  a  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nos rádios considerou-se que o ar entra a  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  a uma velocidade de  $4 \text{ m/s}$ , pois os rádios possuem ventiladores.

- Proteção 1

Recorrendo ao *software Inventor*<sup>®</sup> criou-se o desenho da proteção 1, constituída por uma estrutura em aço coberta por uma manta de fibra de vidro.

**Figura 3.5.** Proteção 1: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

Introduziu-se o desenho do armário e da proteção 1 no ANSYS® e criaram-se sólidos em todos os domínios ocupados por ar. De seguida gerou-se a malha.

Posteriormente definiram-se os materiais, os modelos físicos, os domínios, as condições de contorno e criaram-se monitores. As condições de contorno são descritas na Tabela 3.8 e indicadas na Figura 3.6 com cores diferentes consoante o seu tipo.

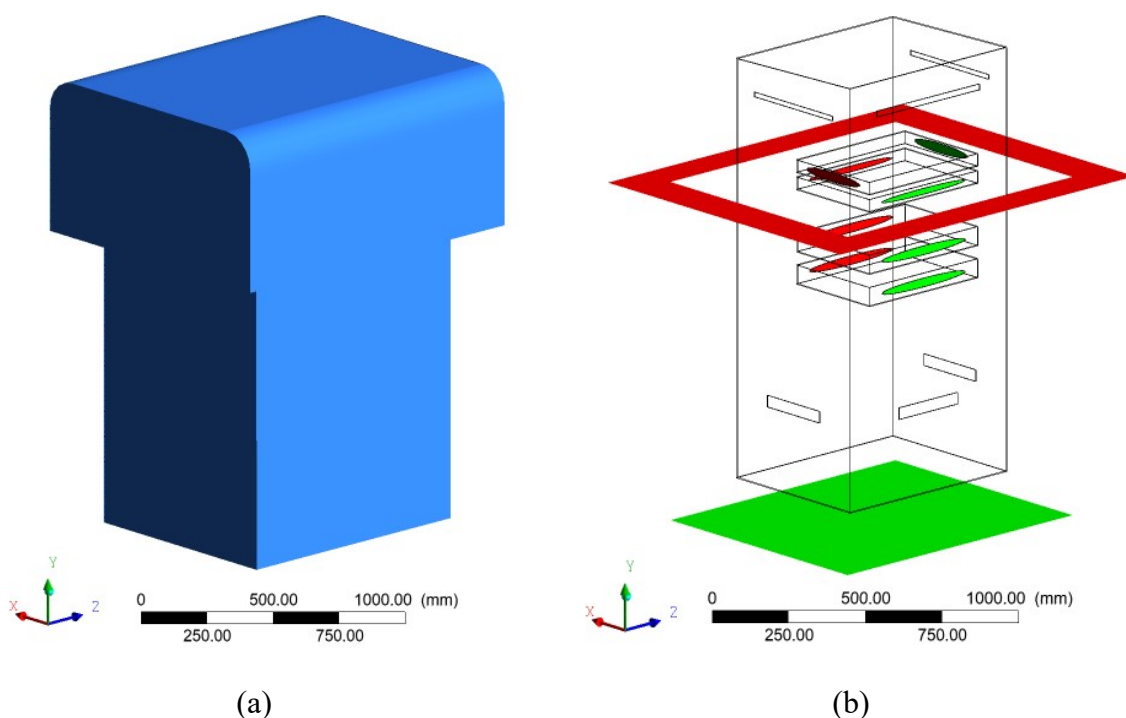


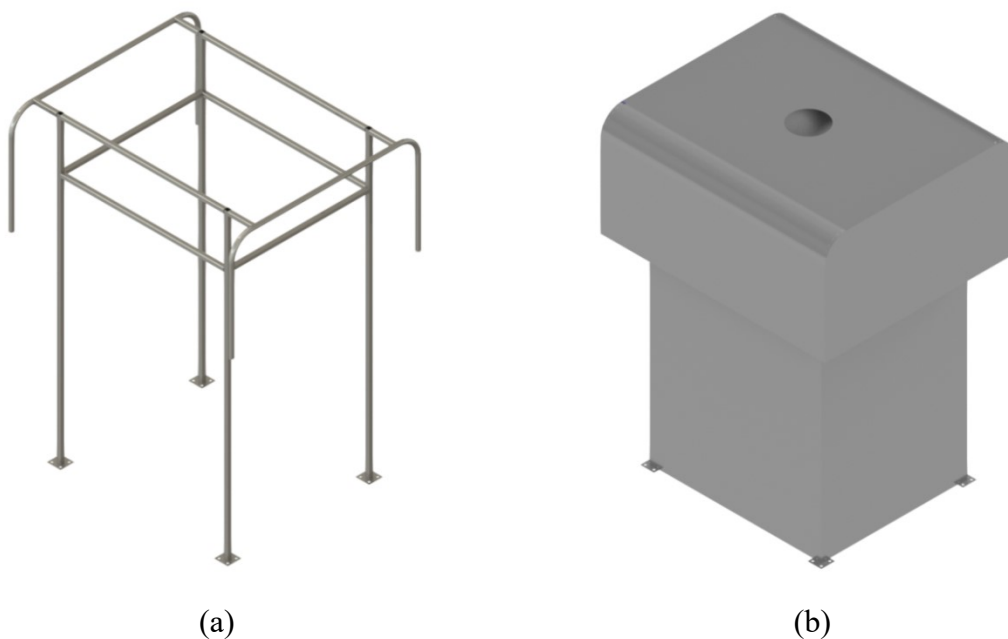
Figura 3.6. Com a proteção 1 e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho.

Tabela 3.8. Condições de contorno, com a proteção 1 e sem fogo.

<b>Parede (exterior)</b>	Convecção: $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Entrada</b>	<u>Na manta inferior</u> : velocidade do ar = $1.2 \text{ m/s}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ <u>Nos rádios</u> : velocidade do ar = $4 \text{ m/s}$ ; $T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Saída</b>	Pressão relativa igual a zero

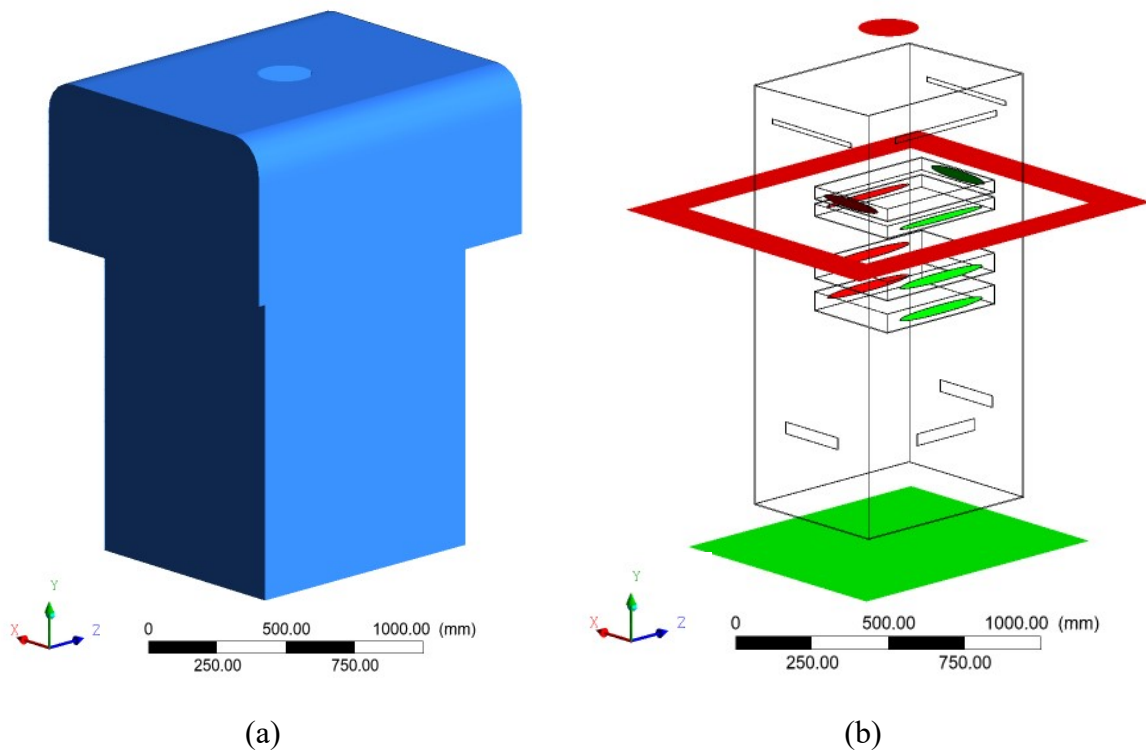
- Proteção 2

Recorrendo ao *software Inventor*<sup>®</sup> criou-se o desenho da proteção 2, que se diferencia da proteção 1 por ter uma abertura circular, de 200 mm de diâmetro, no centro do topo da manta.



**Figura 3.7.** Proteção 2: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

Para a realização da simulação com o armário e com a proteção 2 seguiu-se o mesmo procedimento anterior. As condições de contorno são descritas na Tabela 3.9 e indicadas na Figura 3.8 com cores diferentes consoante o seu tipo.



**Figura 3.8.** Com a proteção 2 e sem fogo, condições de contorno: (a) do tipo parede indicadas a azul; (b) do tipo entrada indicadas a verde e do tipo saída indicadas a vermelho.

**Tabela 3.9.** Condições de contorno, com a proteção 2 e sem fogo.

<b>Parede (exterior)</b>	Convecção: $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Entrada</b>	<u>Na manta inferior</u> : velocidade do ar = $1.2 \text{ m/s}$ ; $T = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ <u>Nos rádios</u> : velocidade do ar = $4 \text{ m/s}$ ; $T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Saída</b>	Pressão relativa igual a zero



### 3.2.2. Simulações numéricas com fogo

Na dissertação anterior (Lopes and Barge 2019) realizaram-se vários ensaios experimentais, com o armário de telecomunicações exposto ao fogo, com e sem proteção.

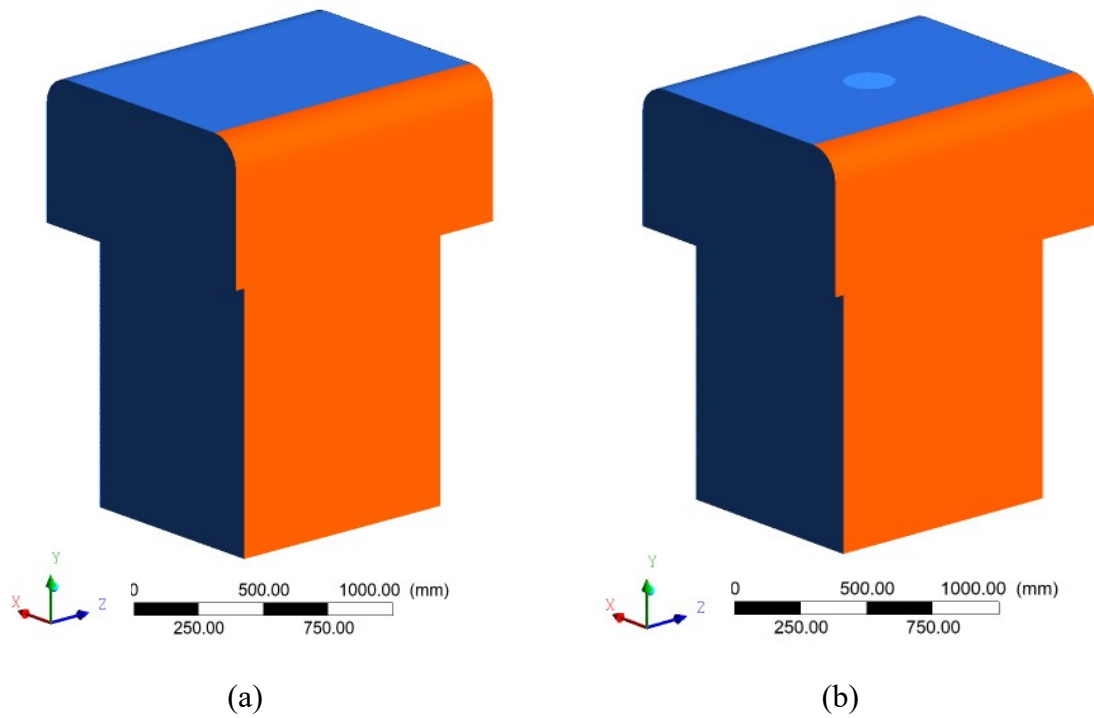
Neste estudo, de modo a introduzir na simulação numérica o efeito do fogo na proteção, utilizou-se o valor da temperatura máxima registada na manta num ensaio da dissertação anterior, indicado na Tabela 3.10. Na simulação as faces da manta expostas ao fogo consideraram-se a 207.1 °C.

**Tabela 3.10.** Resultado de um ensaio experimental realizado na dissertação anterior com a proteção 1.

Ventilação	$\Delta x$ (m)	$U$ (m/s)	$T$ , laboratório (°C)	$T_{m\acute{a}x}$ , frente exterior do armário(°C)	$T_{m\acute{a}x}$ , manta (°C)	$T_{m\acute{a}x}$ , rádios (°C)
Off	1	2	29	50.9	207.1	53

- Proteção 1 e proteção 2

As condições de contorno encontram-se descritas na Tabela 3.11 e as do tipo parede são apresentadas na Figura 3.9 para cada proteção.



**Figura 3.9.** Condições de contorno do tipo parede, com as faces expostas diretamente ao fogo indicadas a cor de laranja e as faces não expostas ao fogo indicadas a azul: (a) com a proteção 1 e com fogo; (b) com a proteção 2 e com fogo.

**Tabela 3.11.** Condições de contorno, com a proteção 1 ou 2 na presença de fogo.

<b>Parede (exterior)</b>	<p><u>Faces não expostas ao fogo:</u> Convecção  <math>(h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; T = 29 \text{ }^\circ\text{C})</math></p> <p><u>Faces expostas ao fogo:</u> <math>T = 207.1 \text{ }^\circ\text{C}</math></p>
<b>Entrada</b>	<p><u>Na manta inferior:</u> velocidade do ar =  <math>1.2 \text{ m/s}; T = 29 \text{ }^\circ\text{C}</math></p> <p><u>Nos rádios:</u> velocidade do ar = <math>4 \text{ m/s};</math>  <math>T = 32 \text{ }^\circ\text{C}</math></p>
<b>Saída</b>	Pressão relativa igual a zero

### 3.3. Ensaio experimentais

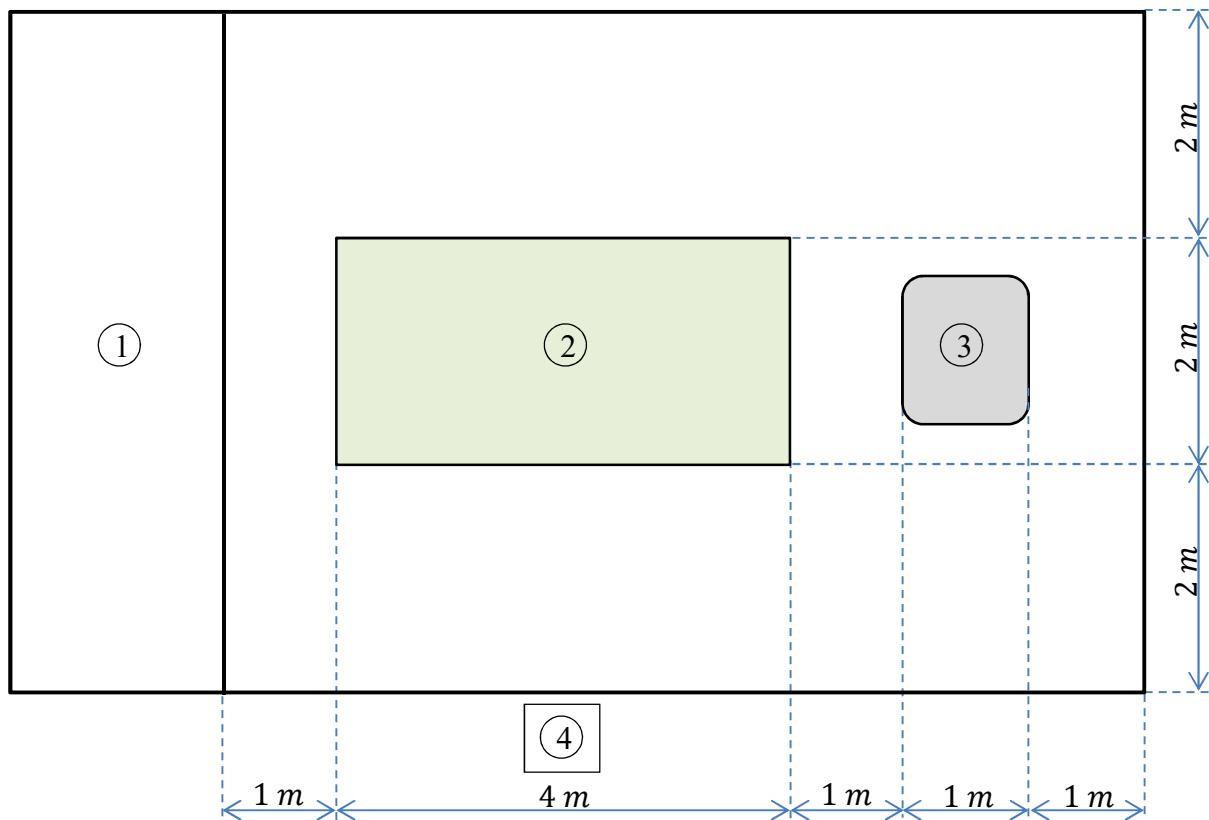
Nos ensaios experimentais o armário de telecomunicações foi sujeito a diferentes níveis de exposição ao fogo. Deste modo foi possível estudar o comportamento térmico do armário em função de algumas variáveis, tais como:

- velocidade do vento ( $U$ ) igual a 0 ou 1 m/s;
- proteção inativa (sem proteção), ativa 1 (com proteção 1) ou ativa 2 (com proteção 2).

Para a realização dos ensaios utilizaram-se os seguintes equipamentos e materiais:

- armário de telecomunicações sem rádios;
- proteção 1 e 2 (quando aplicável);
- um aquecedor de 2000W com o intuito de simular a potência dissipada pelos rádios durante o seu funcionamento;
- cinco termopares;
- um computador com o programa *FlexLogger*;
- uma câmara termográfica de infravermelhos (IR) de alta resolução modelo SC660 da *FLIR*;
- uma máquina fotográfica *CANON EOS 550D*;
- duas câmaras de vídeo *SONY* modelo FDR-AX53 e HXR-NX30E;
- mato como combustível;
- um analisador de humidade (*AND ML-50*, com resolução de 0.1% e  $Max = 51g$ );
- uma balança.

Na Figura 3.10 apresenta-se um esquema com a disposição dos equipamentos, da proteção do armário e do leito de combustível no túnel de combustão, com as respetivas distâncias.



- ① Ventiladores do túnel
- ② Leito de combustível
- ③ Armário
- ④ Câmaras de vídeo e câmara de infravermelhos

**Figura 3.10.** Esquema da disposição dos equipamentos, da proteção do armário e do leito de combustível no túnel de combustão durante os ensaios experimentais.

Nos ensaios utilizaram-se cinco termopares, com as respectivas localizações:

- termopar 1 - colocado atrás do armário, a uma distância de 1 m da plataforma do túnel de combustão, de modo a medir a temperatura ambiente;
- termopar 2 - colocado no interior do armário, junto à parte de trás no eixo de simetria, a cerca de 40 cm da sua base;

- termopar 3 - posicionado na frente exterior do armário a 40 *cm* de altura, no eixo de simetria;
- termopar 4 - posicionado na frente exterior do armário a 130 *cm* de altura, no eixo de simetria;
- termopar 5 - nos ensaios com a proteção foi colocado na frente exterior da manta, a 1 *m* de altura, no eixo de simetria. Nos ensaios sem proteção o termopar foi colocado na lateral exterior do armário a 40 *cm* de altura, no eixo de simetria.

Para a concretização dos ensaios experimentais realizaram-se uma série de etapas.

Começou-se por colocar os equipamentos necessários e o armário na plataforma do túnel de combustão, de acordo com a disposição apresentada na Figura 3.10.

De seguida, determinou-se a humidade do combustível a utilizar, para tal utilizou-se um analisador de humidade. Neste equipamento colocou-se aproximadamente 0.6 *g* de mato, durante 10 *min* a 105 °C. Depois, calculou-se a massa de combustível,  $M_T$  (*kg*), a colocar na área do leito de cada ensaio, através da equação:

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

onde  $W$  ( $kg \cdot m^{-2}$ ) é a carga de combustível,  $FMC$  (%) é a humidade do combustível e  $A$  ( $m^2$ ) é a área do leito de combustível. Considerou-se uma carga de combustível igual a 1  $kg \cdot m^{-2}$  (Raposo 2016). A quantidade de combustível calculada foi colocada na área do leito, a 1 *m* da proteção do armário.

Posteriormente, verificou-se o funcionamento dos equipamentos e do programa *FlexLogger*. Este programa registava os valores de temperatura dos termopares a cada segundo.

No início de cada ensaio registavam-se a temperatura e a humidade do laboratório. O ensaio iniciava quando através de uma linha de lã embebida em gasolina o combustível entrava em ignição. Para os ensaios com vento, utilizaram-se os ventiladores do túnel de vento que forneceram uma velocidade do ar de 1 *m/s*.

O ensaio terminava assim que todo o combustível era consumido.

**Tabela 3.12.** Ensaio experimentais realizados pela ordem apresentada com diferentes variáveis.

<b>Ensaio</b>	<b>Proteção</b>	<b><math>U(m/s)</math></b>	<b>Altura média leito (cm)</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>Humidade do ar (%)</b>	<b>Teor de humidade em base húmida (%)</b>
1	Sem proteção	0	14.4	25.6	38	15.1
2	Sem proteção	1	12	25.2	39	15.1
3	2	0	12.6	20.6	48	15.1
4	2	1	14.2	20.6	55	12.6
5	1	1	13.6	21.7	47	12.6
6	1	0	14.8	21.2	48	12.6

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo divide-se em duas fases, uma fase de análise e discussão dos resultados das simulações numéricas e a uma segunda fase de análise e discussão dos resultados dos ensaios experimentais realizados no LEIF.

### 4.1. Simulações numéricas

Neste subcapítulo apresenta-se uma análise e discussão dos resultados das simulações numéricas na ausência e na presença de fogo.

#### 4.1.1. Sem fogo

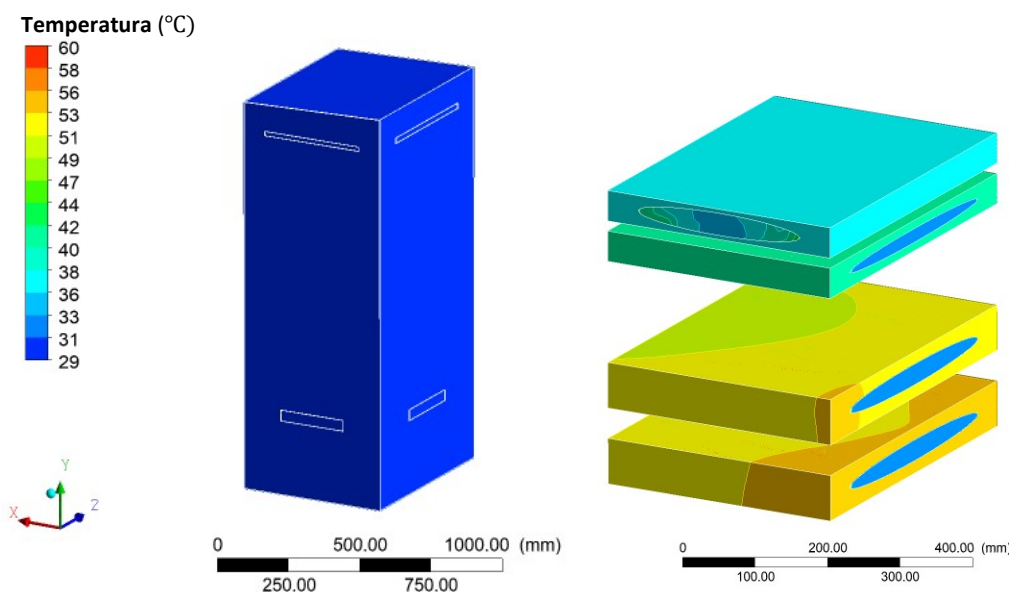
Nas três simulações sem fogo considerou-se a temperatura do ar exterior igual a 29 °C.

##### Sem proteção

A Figura 4.1 apresenta o comportamento térmico do armário telecomunicações e dos rádios, resultante da simulação numérica sem qualquer proteção e sem fogo.

Recorrendo ao *software ANSYS*<sup>®</sup> foi possível determinar, nas zonas de maior interesse, as seguintes temperaturas:

- Temperatura média do ar no interior do armário: 29.4 °C;
- Temperatura média na frente exterior do armário: 29.2 °C;
- Temperatura máxima na face superior do rádio GSM 2: 54.2 °C;
- Temperatura máxima na face inferior do rádio GSM 1: 53.5 °C.



**Figura 4.1.** Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, numa situação sem proteção e na ausência de fogo.

Através da Figura 4.1, é possível observar que as temperaturas nas superfícies dos rádios GSM 1 e GSM 2 são superiores às temperaturas nas superfícies dos rádios MINI- LINK e SIU, o que era expectável, uma vez que, os rádios GSM 1 e GSM 2 apresentam uma maior dissipação de energia.

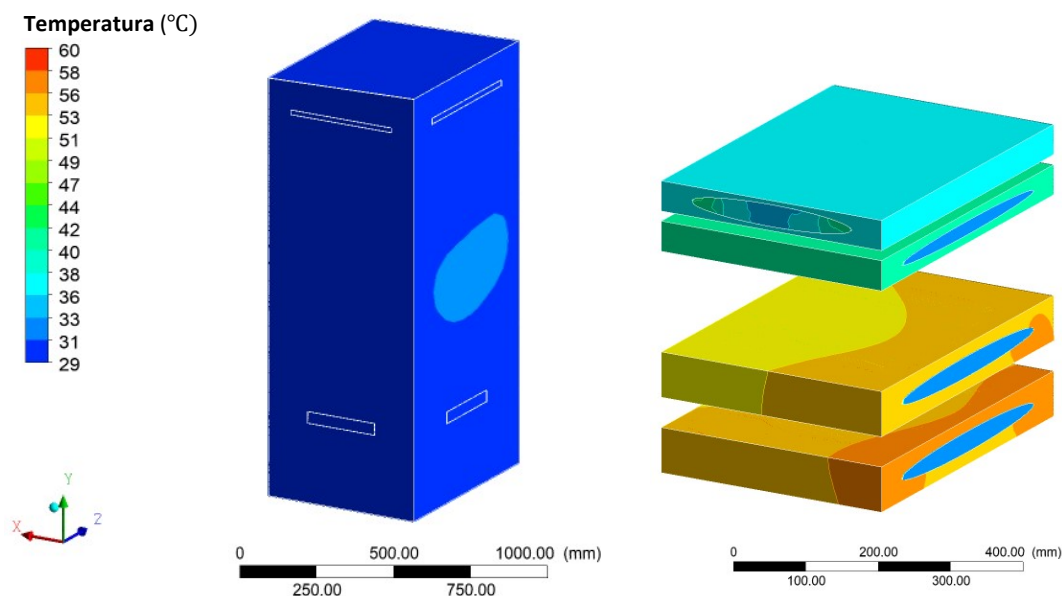
### **Proteção 1**

A Figura 4.2 apresenta o comportamento térmico do armário telecomunicações e dos rádios, resultante da simulação numérica com a proteção 1 na ausência de fogo.

Recorrendo ao *software ANSYS*<sup>®</sup> foi possível determinar, nas zonas de maior interesse, as seguintes temperaturas:

- Temperatura média do ar no interior do armário: 30.6 °C;
- Temperatura média na frente exterior do armário: 30.5 °C;
- Temperatura máxima na face superior do rádio GSM 2: 56.5 °C;
- Temperatura máxima na face inferior do rádio GSM 1: 55.7 °C.





**Figura 4.2.** Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 1 na ausência de fogo.

Comparando os valores da temperatura média do ar no interior do armário com a proteção 1 e sem proteção verifica-se que, com proteção a temperatura média do ar no interior do armário foi 1.2 °C superior, o que faz sentido pois a manta desfavorece as trocas térmicas com o exterior.

Quanto à temperatura média na frente exterior do armário, verifica-se que com a proteção 1 a temperatura aumentou 1.3 °C relativamente à situação sem proteção.

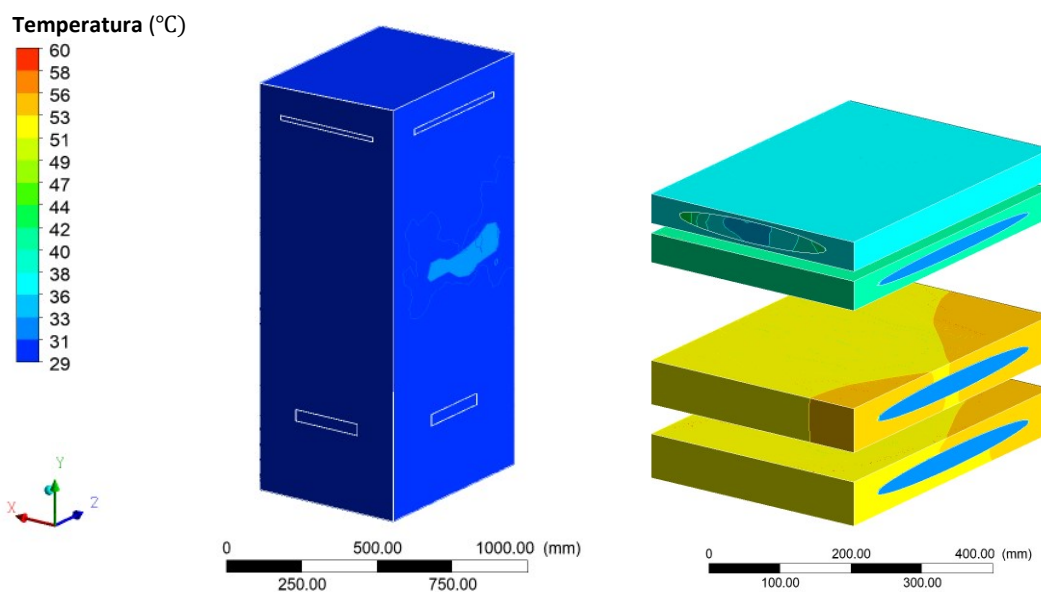
Nesta simulação a temperatura máxima obtida na face superior do rádio GSM 2 foi 2.3 °C superior ao valor registado sem proteção. A temperatura máxima obtida na face inferior do rádio GSM 1 com a proteção 1 foi 2.2 °C superior ao valor registado sem proteção. Apesar do aumento da temperatura com a proteção 1, não foi atingido o limite de temperatura de 60 °C, pelo que, o bom funcionamento dos rádios não foi comprometido.

### **Proteção 2**

A Figura 4.3 apresenta o comportamento térmico do armário telecomunicações e dos rádios, resultante da simulação numérica com a proteção 2 na ausência de fogo.

Recorrendo ao *software ANSYS®* foi possível determinar, nas zonas de maior interesse, as seguintes temperaturas:

- Temperatura média do ar no interior do armário: 30.5 °C;
- Temperatura média na frente exterior do armário: 30.4 °C;
- Temperatura máxima na face superior do rádio GSM 2: 54.2 °C;
- Temperatura máxima na face inferior do rádio GSM 1: 54.9 °C.



**Figura 4.3.** Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 2 na ausência de fogo.

Após uma análise, verifica-se que a temperatura média do ar no interior do armário com a proteção 2 é igual à temperatura obtida com a proteção 1.

Quanto à temperatura média na frente exterior do armário, verifica-se que as temperaturas registadas com a proteção 2 e com a proteção 1 são aproximadamente iguais.

Nesta simulação a temperatura máxima obtida na face superior do rádio GSM 2 foi 2.3 °C inferior ao valor registado com a proteção 1. A temperatura máxima obtida na face inferior do rádio GSM 1 com a proteção 2 foi 0.8 °C inferior ao valor obtido com a proteção 1.

#### 4.1.2. Com fogo

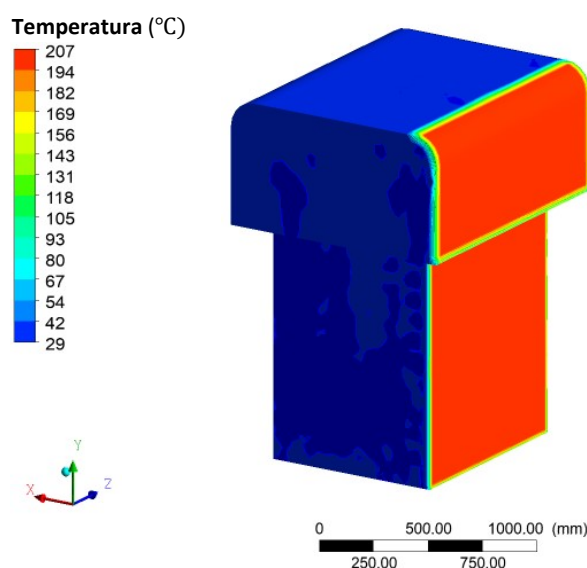
Nas simulações seguintes, de modo a reproduzir uma situação com fogo, considerou-se que a manta superior e inferior apresentavam uma temperatura de 207.1 °C em determinadas faces, indicadas no capítulo anterior. Considerou-se também uma temperatura do ar exterior igual a 29 °C.

##### Proteção 1

As Figura 4.4 e Figura 4.5 apresentam o comportamento térmico da manta de proteção, do armário telecomunicações e dos rádios, resultante da simulação numérica com a proteção 1 numa situação de fogo.

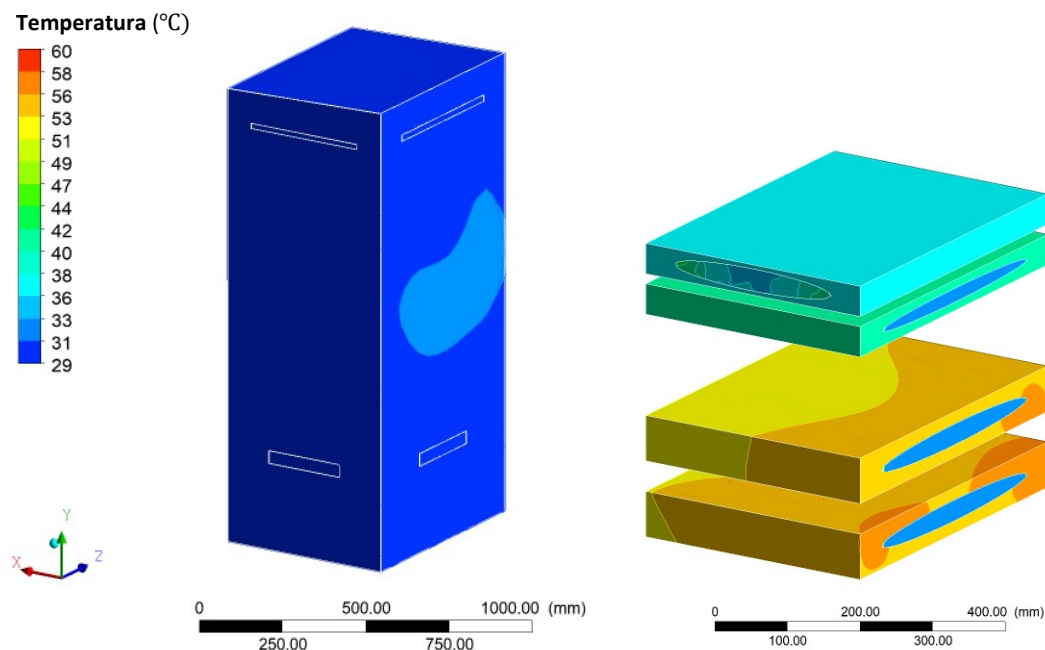
Recorrendo ao *software ANSYS®* foi possível determinar, nas zonas de maior interesse, as seguintes temperaturas:

- Temperatura média do ar no interior do armário: 31 °C;
- Temperatura média na frente exterior do armário: 30.8 °C;
- Temperatura máxima na face superior do rádio GSM 2: 56 °C;
- Temperatura máxima na face inferior do rádio GSM 1: 55.7 °C.



**Figura 4.4.** Perfil de temperaturas na manta de proteção, com a proteção 1 e com fogo.

Na Figura 4.4 é possível observar facilmente as faces da manta que se encontram à temperatura de 207.1 °C.



**Figura 4.5.** Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 1 e com fogo.

Analisando as temperaturas no armário e nos rádios GSM 1 e GSM 2 com a proteção 1 numa situação com fogo e comparando estes valores com a situação sem fogo, verifica-se que estas temperaturas têm uma variação pouco significativa.

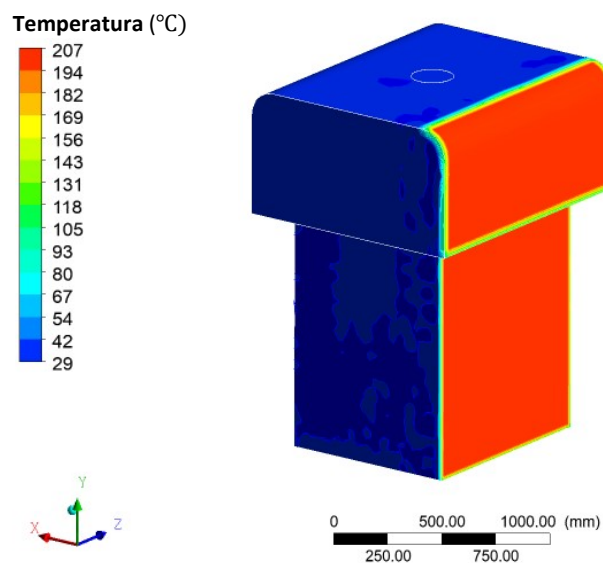
### **Proteção 2**

As Figura 4.6 e Figura 4.7 apresentam o comportamento térmico da manta de proteção, do armário telecomunicações e dos rádios, resultante da simulação numérica com a proteção 2 numa situação de fogo.

Recorrendo ao *software ANSYS*<sup>®</sup> foi possível determinar, nas zonas de maior interesse, as seguintes temperaturas:

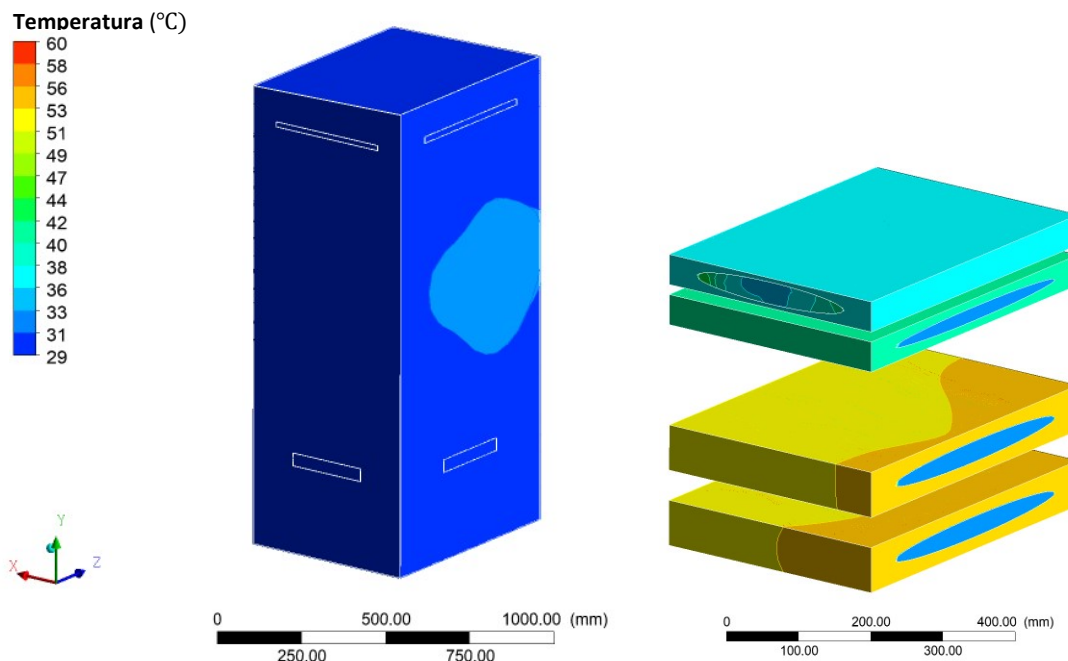
- Temperatura média do ar no interior do armário: 30.9 °C;
- Temperatura média na frente exterior do armário: 30.8 °C;

- Temperatura máxima na face superior do rádio GSM 2: 55 °C;
- Temperatura máxima na face inferior do rádio GSM 1: 54.9 °C.



**Figura 4.6.** Perfil de temperaturas na manta de proteção, com a proteção 2 e com fogo.

Na Figura 4.6, tal como na Figura 4.4, é possível observar facilmente as faces da manta que se encontram à temperatura de 207.1 °C.



**Figura 4.7.** Perfil de temperaturas no armário e nos rádios, com a proteção 2 e com fogo.

Analisando as temperaturas no armário e nos rádios GSM 1 e GSM 2 com a proteção 2 sem fogo e comparando estes valores com a situação com fogo, verificou-se que, a maior variação da temperatura ocorreu na face superior do rádio GSM 2 com um aumento da temperatura máxima de 0.8 °C na situação com fogo.

Comparando os valores da temperatura média do ar no interior do armário com a proteção 1 e com a proteção 2, verificou-se que a variação não foi significativa.

Quanto à temperatura média na frente exterior do armário, obtiveram-se as mesmas temperaturas com a proteção 2 e com a proteção 1.

Nesta simulação a temperatura máxima obtida na face superior do rádio GSM 2 foi 1 °C inferior ao valor registado com a proteção 1. A temperatura máxima obtida na face inferior do rádio GSM 1 com a proteção 2 foi 0.8 °C inferior ao valor obtido com a proteção 1.

### 4.1.3. Discussão dos resultados

Tendo em conta os resultados obtidos com as simulações sem fogo, verificou-se que, de um modo geral, a temperatura no armário e nos rádios aumenta com a utilização das proteções, o que era expectável, uma vez que, as proteções desfavorecem as trocas térmicas.

Com os resultados obtidos sem fogo, constatou-se também que apesar da temperatura média do ar no interior do armário e a temperatura média na frente exterior do armário não variarem com a alteração da proteção, as temperaturas máximas registadas nos rádios sofreram alteração, principalmente no rádio GSM 2. Com a proteção 2 registou-se uma diminuição da temperatura, em relação à proteção 1, de 2.3 °C e 0.8 °C, nos rádios GSM 2 e GSM 1, respetivamente. Esta diminuição das temperaturas deve-se à abertura circular no topo da proteção 2 que facilita a convecção natural. Portanto, sem fogo, a proteção 2 é a mais favorável.

Quanto aos resultados das simulações com fogo, verificou-se, novamente, que a alteração da proteção não provocou alterações na temperatura média do ar no interior do armário nem na temperatura média na frente exterior do armário, no entanto as temperaturas máximas registadas nos rádios sofreram alteração. Com a proteção 2 obteve-se uma diminuição da temperatura de 1 °C e 0.8 °C, nos rádios GSM 2 e GSM 1, respetivamente. Portanto, nas condições de fogo consideradas, a proteção 2 é a proteção mais favorável.

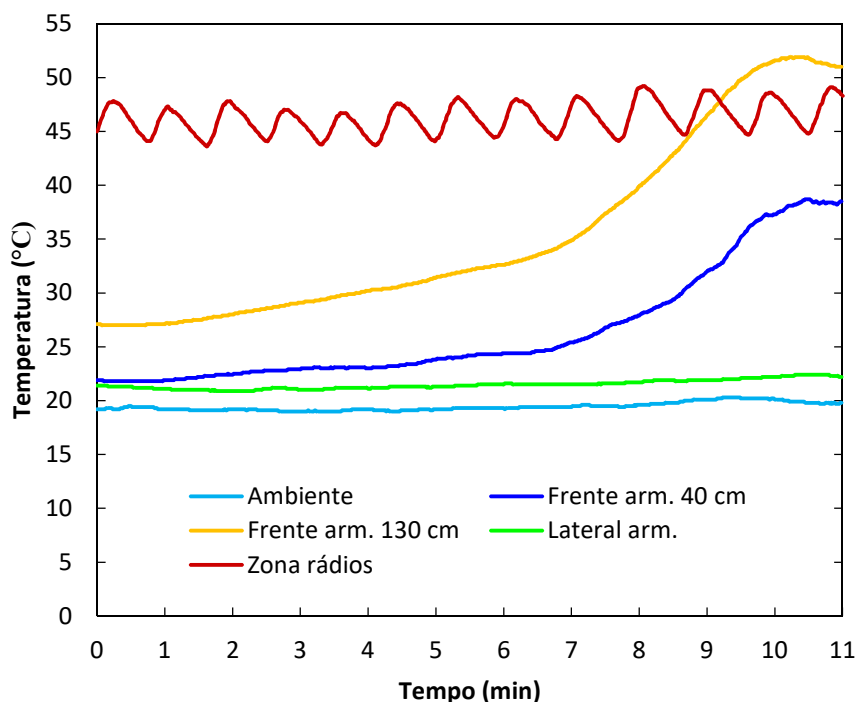
## 4.2. Ensaaios experimentais

Neste subcapítulo apresenta-se uma análise dos resultados dos ensaios experimentais indicados na Tabela 3.12, com o armário exposto ao fogo sem qualquer proteção e com diferentes proteções.

### 4.2.1. Ensaios sem proteção

Nos ensaios sem proteção colocaram-se termopares no espaço de ar (Ambiente) a 1 m do túnel, no interior do armário a 40 cm de altura da sua base (Zona rádios), na frente do armário a 40 cm (Frente arm. 40 cm) e a 130 cm (Frente arm. 130 cm) de altura e, por último, na lateral do armário a 40 cm de altura (Lateral arm.).

Na Figura 4.8 representa-se o comportamento térmico do armário resultante do ensaio nº1. Este ensaio foi realizado sem proteção e sem vento ( $U = 0 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.8.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº1 (sem proteção e sem vento).



Pela Figura 4.8 é possível observar que o ensaio durou 11 *min*, momento em que o combustível ficou completamente consumido.

De um modo geral, ao longo do ensaio a temperatura aumentou em todos os locais.

A frente do armário, a 40 e 130 *cm*, foi o local com o aumento de temperatura mais acentuado principalmente na fase final do ensaio, uma vez que é nessa altura que as chamas ficam mais próximas do armário. Comparando as temperaturas máximas obtidas na frente do armário a 40 *cm* e a 130 *cm*, verifica-se que a temperatura a 130 *cm* é 13.2 °C superior, o que era expectável devido às correntes de convecção.

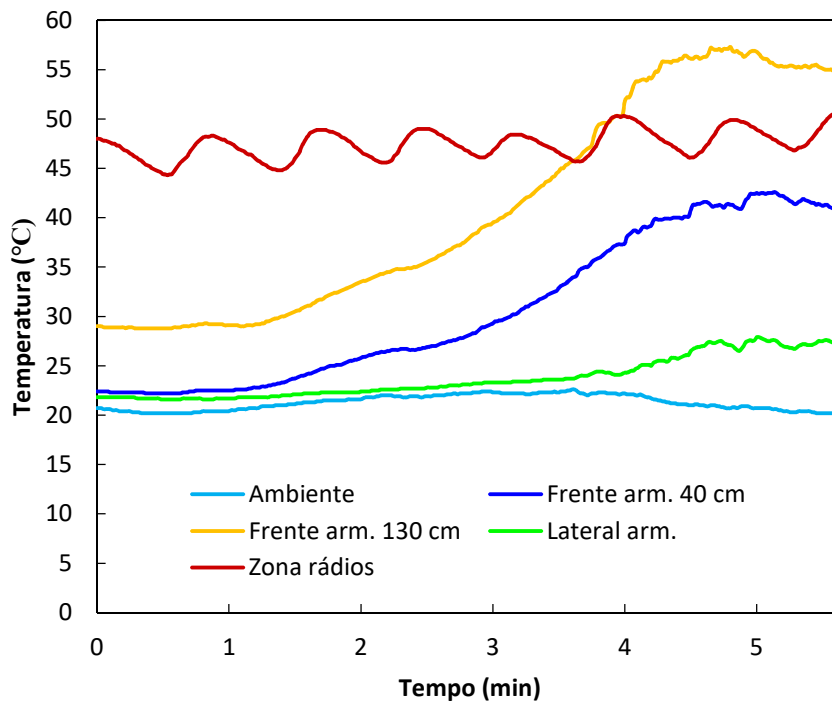
A temperatura na zona dos rádios apresentou um comportamento sinusoidal e aumentou cerca de 2 °C durante o ensaio.

A temperatura ambiente e a temperatura na lateral do armário a 40 *cm* apresentaram ao longo do tempo apenas um ligeiro aumento, cerca de 1 °C.

Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

- Temperatura ambiente - 20.3 °C;
- Temperatura na zona dos rádios - 49.2 °C;
- Temperatura na frente do armário a 40 *cm* - 38.7 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 *cm* - 51.9 °C;
- Temperatura na lateral do armário a 40 *cm* - 22.4 °C.

Na Figura 4.9 representa-se o comportamento térmico do armário resultante do ensaio nº2. Este ensaio foi realizado sem proteção e com vento ( $U = 1 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.9.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº2 (sem proteção e com vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ ).

Ao analisar a Figura 4.9 verifica-se que a temperatura na frente do armário, tal como no ensaio nº1 teve um aumento acentuado na fase final do ensaio, momento em que as chamas ficam mais próximas do armário.

Comparando com o ensaio anterior, neste ensaio as temperaturas máximas atingidas na frente e na lateral do armário foram superiores, pois com o aumento da velocidade do ar o fluxo de calor direcionado ao armário também aumenta, logo as temperaturas são mais elevadas.

A temperatura na zona dos rádios ao longo do ensaio sofreu um aumento de cerca de 2 °C, tendo atingido um valor máximo de 50.7 °C, valor ligeiramente superior ao máximo alcançado no ensaio anterior.

Relativamente à temperatura ambiente, a sua variação foi pouco significativa.

Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

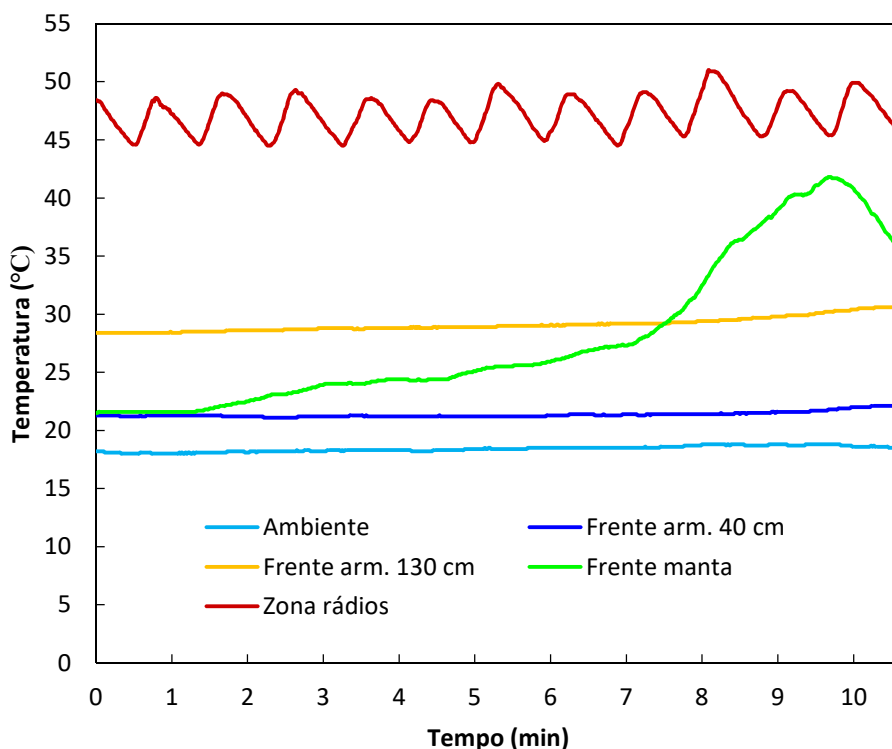
- Temperatura ambiente - 22.6 °C;
- Temperatura na zona dos rádios - 50.7 °C;

- Temperatura na frente do armário a 40 *cm* - 42.6 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 *cm* - 57.3 °C;
- Temperatura na lateral do armário a 40 *cm* - 27.9 °C.

#### **4.2.2. Ensaio com proteção 2**

Nos ensaios com proteção colocaram-se termopares no espaço de ar (Ambiente) a 1 *m* do túnel, no interior do armário a 40 *cm* de altura da sua base (Zona rádios), na frente do armário a 40 *cm* (Frente arm. 40 *cm*) e a 130 *cm* (Frente arm. 130 *cm*) de altura e, por último, na frente exterior da manta a 100 *cm* de altura (Frente manta).

Na Figura 4.10 representa-se o comportamento térmico do armário e da manta resultante do ensaio nº3. Este ensaio foi realizado com a proteção 2 e sem vento ( $U = 0 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.10.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº3 (com a proteção 2 e sem vento)

Analisando a Figura 4.10 verifica-se que a temperatura na frente da manta sofreu um aumento acentuado com a proximidade das chamas. A temperatura na frente do armário sofreu um aumento pouco significativo, entre 1 a 2 °C.

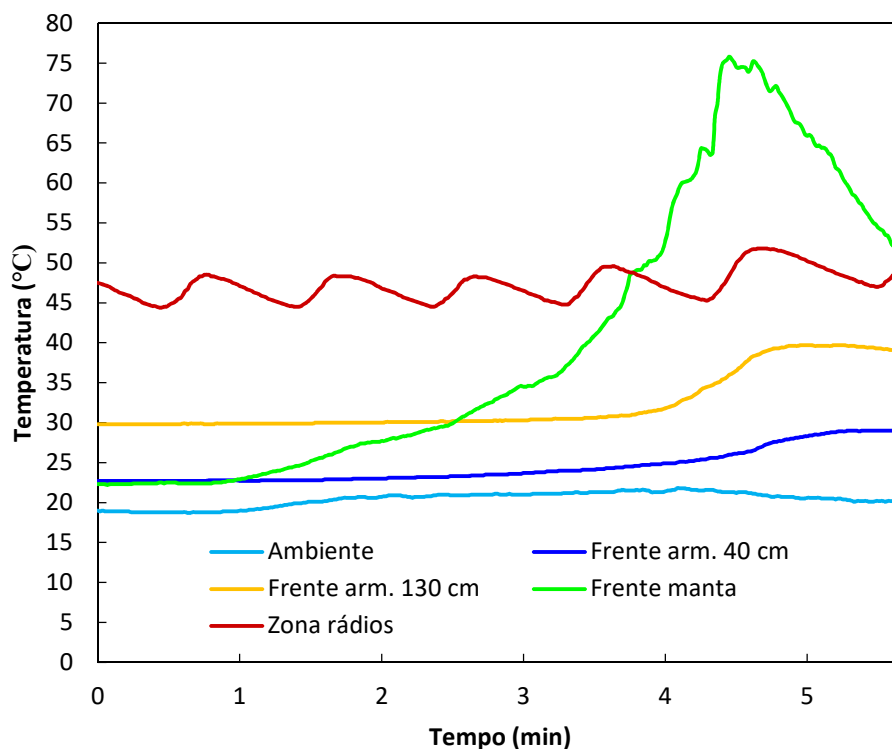
A temperatura na zona dos rádios apresentou um comportamento sinusoidal e aumentou ligeiramente ao longo do tempo, tendo atingido um valor máximo de 51 °C.

A temperatura ambiente teve uma variação pouco significativa.

Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

- Temperatura ambiente - 18.8 °C;
- Temperatura na zona dos rádios - 51 °C;
- Temperatura na frente do armário a 40 cm - 22.2 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 cm - 30.6 °C;
- Temperatura na frente da manta a 100 cm - 41.8 °C.

Na Figura 4.11 representa-se o comportamento térmico do armário e da manta resultante do ensaio n.º4. Este ensaio foi realizado com a proteção 2 e com vento ( $U = 1 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.11.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio n.º4 (com a proteção 2 e com vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ ).

Analisando a Figura 4.11 verifica-se que com a proximidade da chama a temperatura na frente da manta aumentou consideravelmente, tendo atingido uma temperatura máxima de  $75,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , muito superior aos  $41,8 \text{ }^\circ\text{C}$  atingidos nos ensaio n.º3.

As temperaturas na frente do armário a  $130 \text{ cm}$  e  $40 \text{ cm}$  aumentaram aproximadamente  $10$  e  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ , respetivamente.

Comparando com o ensaio n.º3, verifica-se que com vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ , atingiram-se temperaturas muito superiores na frente da manta e do armário, pois com vento o fluxo de calor direcionado ao armário e à manta é superior.

Na zona dos rádios, a temperatura apresentou um comportamento sinusoidal e um aumento ligeiro ao longo do tempo, tendo alcançado um máximo de 51.8 °C, valor um pouco superior ao registado no ensaio nº3.

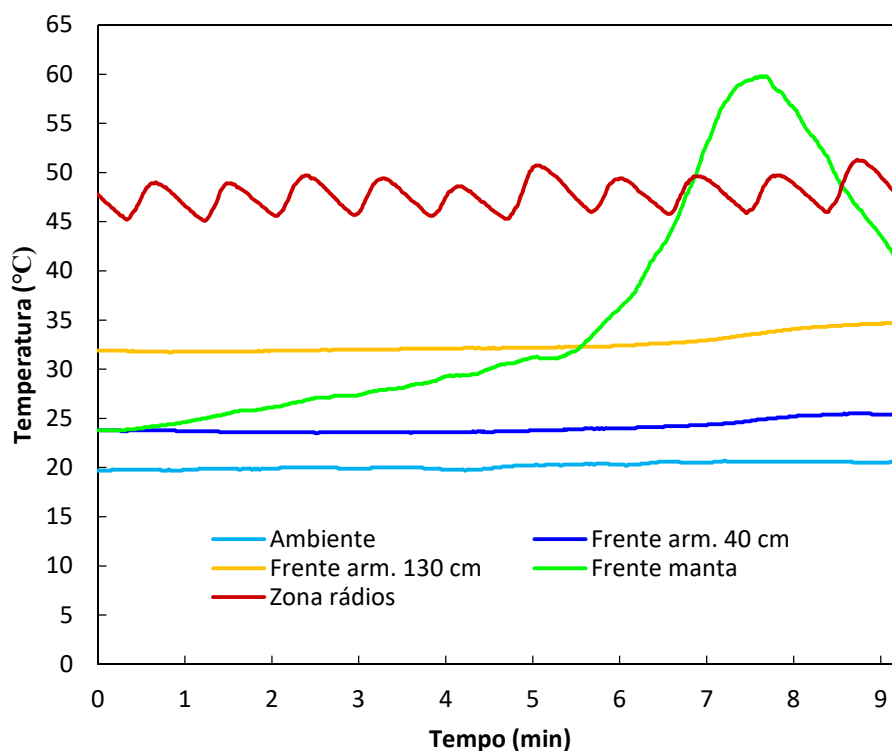
A temperatura ambiente teve uma variação pouco significativa.

Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

- Temperatura ambiente - 21.8 °C;
- Temperatura na zona dos rádios -51.8 °C;
- Temperatura na frente do armário a 40 *cm* - 29 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 *cm* - 39.7 °C;
- Temperatura na frente da manta a 100 *cm* - 75.8 °C.

#### **4.2.3. Ensaios com proteção 1**

Na Figura 4.12 representa-se o comportamento térmico do armário e da manta resultante do ensaio nº6. Este ensaio foi realizado com a proteção 1 e sem vento ( $U = 0 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.12.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio n°6 (com a proteção 1 e sem vento).

Pela Figura 4.12 observa-se que a temperatura na frente da manta aumentou consideravelmente com a proximidade das chamas, atingindo um máximo de 59.8 °C.

As temperaturas na frente do armário aumentaram cerca de 2 °C.

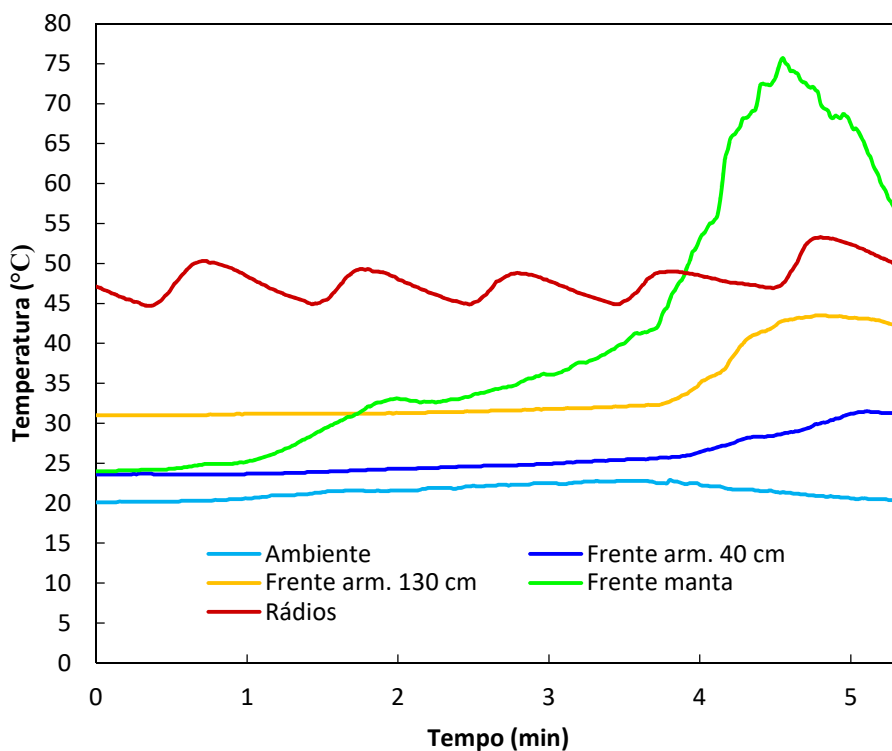
A temperatura na zona dos rádios teve um comportamento sinusoidal e aumentou ligeiramente ao longo do tempo, tendo atingido um valor máximo de 51.3 °C.

A temperatura ambiente manteve-se praticamente constante.

Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

- Temperatura ambiente - 20.7 °C;
- Temperatura na zona dos rádios - 51.3 °C;
- Temperatura na frente do armário a 40 cm - 25.5 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 cm - 34.7 °C;
- Temperatura na frente da manta a 100 cm - 59.8 °C.

Na Figura 4.13 representa-se o comportamento térmico do armário e da manta resultante do ensaio nº5. Este ensaio foi realizado com a proteção 1 e com vento ( $U = 1 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.13.** Variação da temperatura do armário e do laboratório durante o ensaio nº5 (com a proteção 1 e com vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ ).

Pela análise da Figura 4.13 observa-se que a temperatura na frente da manta aumentou consideravelmente durante o ensaio, atingindo um valor máximo de  $75.7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A temperatura na frente do armário a  $130 \text{ cm}$  e  $40 \text{ cm}$  aumentou cerca de  $12.5$  e  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , respetivamente. Comparando com o ensaio nº6, verifica-se que as temperaturas na frente da manta e do armário foram superiores no ensaio nº5, devido à existência de vento.

Na zona dos rádios a temperatura teve um comportamento sinusoidal e aumentou ligeiramente ao longo do tempo, atingindo um máximo de  $53.3 \text{ }^\circ\text{C}$ , valor superior ao registado no ensaio nº6.

Por último, a temperatura ambiente apresentou uma variação insignificante.



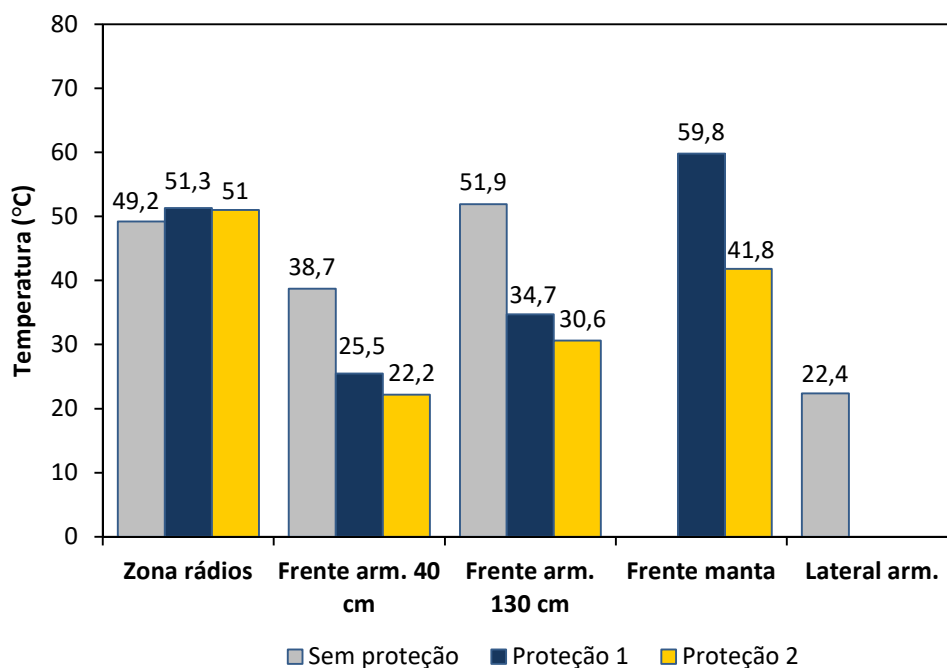
Obtiveram-se as seguintes temperaturas máximas:

- Temperatura ambiente - 22.9 °C;
- Temperatura na zona dos rádios -53.3 °C;
- Temperatura na frente do armário a 40 cm - 31.5 °C;
- Temperatura na frente do armário a 130 cm - 43.5 °C;
- Temperatura na frente da manta a 100 cm - 75.7 °C.

#### 4.2.4. Discussão dos resultados

Nesta secção faz-se uma síntese dos resultados obtidos nos ensaios experimentais sem proteção e com as duas proteções, de modo a encontrar a melhor solução.

A Figura 4.14 apresenta as temperaturas máximas registadas no armário e na manta (quando aplicável), sem proteção e com as proteções, na ausência de vento ( $U = 0 \text{ m/s}$ ).



**Figura 4.14.** Temperaturas máximas sem proteção, com a proteção 1 e com a proteção 2, na ausência de vento,  $U = 0 \text{ m/s}$ .

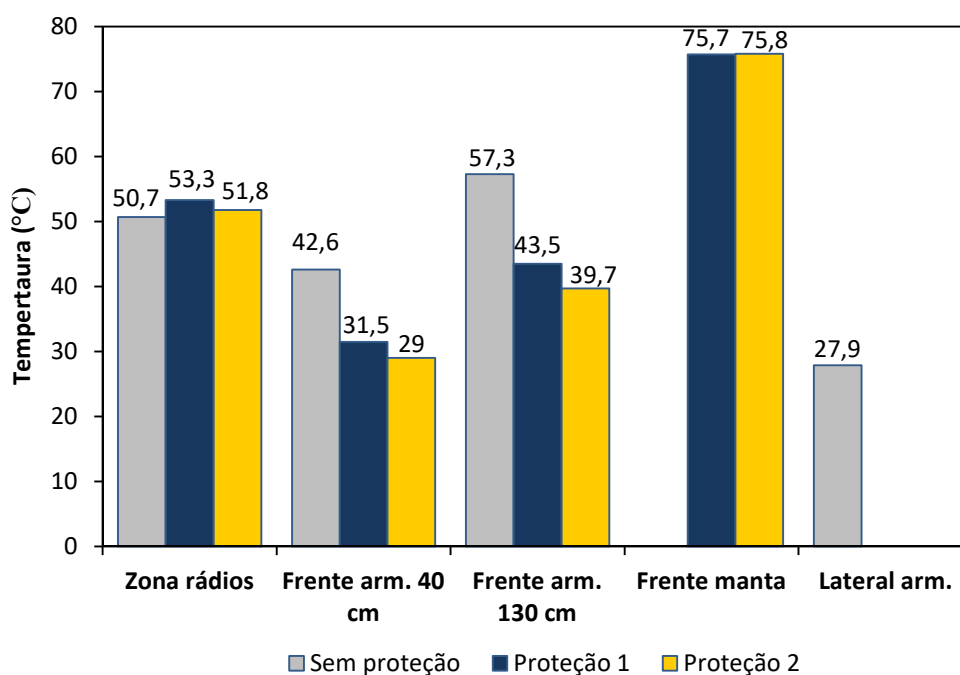
Através da Figura 4.14, observa-se que na ausência de vento, sem proteção a temperatura máxima na zona dos rádios é inferior à temperatura registada com as proteções. Este acontecimento poderá dever-se ao facto do fluxo de calor não ter sido suficientemente elevado para provocar um aquecimento superior na situação sem proteção.

Comparando a temperatura na zona dos rádios com as diferentes proteções, verifica-se que a temperatura é aproximadamente igual. Pelo que ambas as proteções conferem a devida proteção.

Analisando as temperaturas na frente do armário a 40 e a 130 *cm*, verifica-se que, com as proteções, as temperaturas são muito inferiores, pois o fluxo de calor que seria direcionado para o armário é, neste caso, absorvido pela manta. Comparando as temperaturas obtidas na frente do armário com cada proteção, verifica-se que com a proteção 2 as temperaturas são inferiores, porque esta proteção possui uma abertura no topo da manta que favorece as trocas térmicas com o exterior.

Por último, sem proteção verifica-se que as temperaturas na frente do armário são mais elevadas do que na lateral, pois o fluxo de calor que atinge a frente do armário é superior.

A Figura 4.15 apresenta as temperaturas máximas registadas no armário e na manta (quando aplicável), sem proteção e com as proteções, na presença de vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ .



**Figura 4.15.** Temperaturas máximas sem proteção, com a proteção 1 e com a proteção 2, na presença de vento,  $U = 1 \text{ m/s}$ .

Pela Figura 4.15 observa-se que na presença de vento ( $U = 1 \text{ m/s}$ ), sem proteção, a temperatura na zona dos rádios é menor do que com as proteções, tal poderá dever-se ao facto do fluxo de calor não ter sido suficientemente elevado.

Comparando as duas proteções, verifica-se que a proteção 2 proporciona uma temperatura na zona dos rádios  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  inferior à proteção 1. Pelo que a proteção 2 é a proteção mais favorável.

Na frente do armário a 40 e 130 cm, verifica-se, mais uma vez, uma redução das temperaturas com a utilização das proteções. Comparando as duas proteções, observa-se que a proteção 2 proporciona uma menor temperatura na frente do armário, pois a abertura circular facilita a circulação de ar.

Por último, sem proteção as temperaturas na frente do armário são mais elevadas do que na lateral, porque o fluxo de calor que atinge a lateral é menor.



## 5. CONCLUSÕES

Após a análise e discussão dos resultados foi possível chegar à mesma conclusão com os ensaios experimentais e com as simulações numéricas.

Através das simulações numéricas sem fogo e com fogo, concluiu-se que a proteção 2 é a proteção mais favorável. Apesar da temperatura média do ar no interior do armário e da temperatura média na frente exterior do armário não terem variado com a alteração da proteção, as temperaturas registadas na zona dos rádios sofreram alterações significativas, principalmente na face superior do rádio GSM 2. Nesta face, na situação sem fogo, com a proteção 2 obteve-se uma diminuição da temperatura de 2.3 °C, em relação à proteção 1, na situação com fogo com a proteção 2 obteve-se uma diminuição de 1 °C.

Através dos ensaios experimentais foi possível concluir que na presença de um incêndio com as condições consideradas, a proteção 2 é a proteção mais favorável. Sem vento, a temperatura obtida na zona dos rádios foi aproximadamente igual com as duas proteções, pelo que ambas conferem a devida proteção. Com  $U = 1 \text{ m/s}$ , a proteção 2 proporcionou uma temperatura na zona dos rádios 1.5 °C inferior à proteção 1, pelo que a proteção 2 é a melhor solução.

Deste modo, a proteção 2 além da função de proteção contra o fogo, proporciona menores temperaturas o que permite uma maior durabilidade dos equipamentos e do sistema de ventilação presentes no interior do armário. Além disso, a proteção 2 possui uma outra vantagem, a abertura circular no topo da manta é extremamente essencial para a água da chuva não ficar acumulada na manta, evitando assim a sua degradação.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante realizar a simulação de outras proteções para comparar com os resultados obtidos nesta dissertação. Uma outra sugestão seria monitorizar a temperatura e a humidade de uma estação de telecomunicações com a proteção 2, de modo, a analisar estas duas variáveis numa situação real.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “AISI 304 (1.4301) Stainless Steel - Matmatch.” <https://matmatch.com/learn/material/aisi-304-stainless-steel> (November 5, 2020).
- “Aluminum 6061-O.”  
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=626ec8cdca604f1994be4fc2bc6f7f63&ckck=1> (November 5, 2020).
- “Aquecimento Global, o Catalisador Dos Incêndios Florestais - Atualidade - SAPO 24.”  
<https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/aquecimento-global-o-catalisador-dos-incendios-florestais> (November 1, 2020).
- CIFFC Glossary Task Team and Training Working Group. 2017. “Canadian Wildland Fire Management Glossary.” : 34. [https://www.ciffc.ca/sites/default/files/2019-03/CIFFC\\_Canadian\\_Wildland\\_Fire\\_Mgmt\\_Glossary\\_2017\\_10\\_24.pdf](https://www.ciffc.ca/sites/default/files/2019-03/CIFFC_Canadian_Wildland_Fire_Mgmt_Glossary_2017_10_24.pdf).
- Comunicações, ANACOM - Autoridade Nacional de. 2017a. “Incêndios Florestais - Medidas de Proteção e Resiliência de Infraestruturas de Comunicações Eletrónicas.” : 1–14.
- . 2017b. *Incêndios Florestais - Medidas de Proteção e Resiliência de Infraestruturas de Comunicações Eletrónicas*.
- D.X. Viegas, M.F. Almeida, L.M. Ribeiro, J. Raposo, M.T. Viegas, R. Oliveira, D. Alves, C. Pinto, H. Jorge, A. Rodrigues, D. Lucas, S. Lopes, L.F. Silva (2017). 2017. “O Complexo de Incêndios de Pedrógão Grande e Concelhos Limítrofes, Iniciado a 17 de Junho de 2017.” *Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA), Coimbra.*: 238 pp.
- Damasceno, Paulo Augusto C. “Proteção Ativa e Passiva Contra Incêndios: O Que é e Qual a Diferença? – Mifire.” 2020. <https://www.mifire.com.br/2019/11/28/protecao-ativa-e-passiva-contraincendios-o-que-e-e-qual-a-diferenca/> (December 16, 2020).
- Ericsson. 2013. “RBS6601\_Description.”  
[https://www.academia.edu/12914843/RBS6601\\_Description](https://www.academia.edu/12914843/RBS6601_Description) (November 6, 2020).
- ESSS, Equipa. 2016. “Fluidodinâmica Computacional: O Que É?”  
<https://www.esss.co/blog/fluidodinamica-computacional-o-que-e/> (December 14,

2020).

F.A.O. 2009. “International Handbook on Forest Fire Protection - Technical Guide for the Countries of the Mediterranean Basin.” : 1–163. <http://www.fao.org/forestry/27221-06293a5348df37bc8b14e24472df64810.pdf>.

Fontes, Carlos Eduardo. 2019. “FEA Ou CFD: Em Qual Física Aprofundar Os Estudos Em Simulação Computacional?” <https://www.esss.co/blog/fea-ou-cfd-qual-escolher-simulacao-computacional/> (October 5, 2020).

Lopes, Pedro, and Pinho Barge. 2019. “José Pedro Lopes Pinho Barge P ROTEÇÃO DE SISTEMAS DE.”

Mec, Engenharia. 2019. “OF i F :” : 3–5.

Raposo, Jorge Rafael Nogueira Raposo. 2016. “Extreme Fire Behaviour Associated to Merging of Two Linear Fire Fronts.” (April): 110.

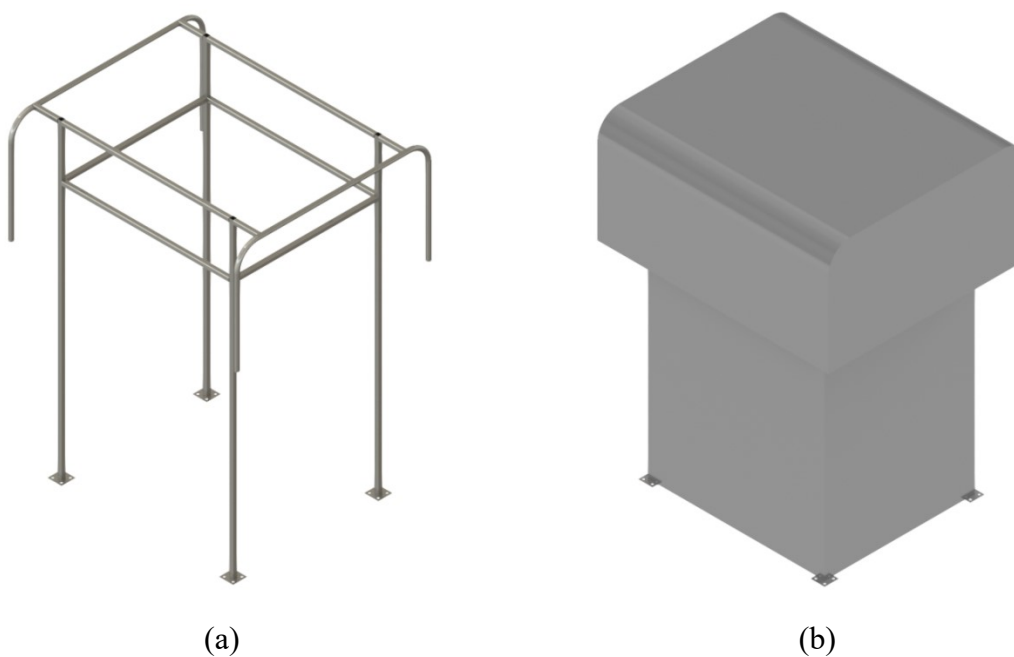
Viegas, Domingos Xavier. 2006. “Comportamento Do Fogo e Segurança Pessoal.” : 1–27.



## ANEXO A

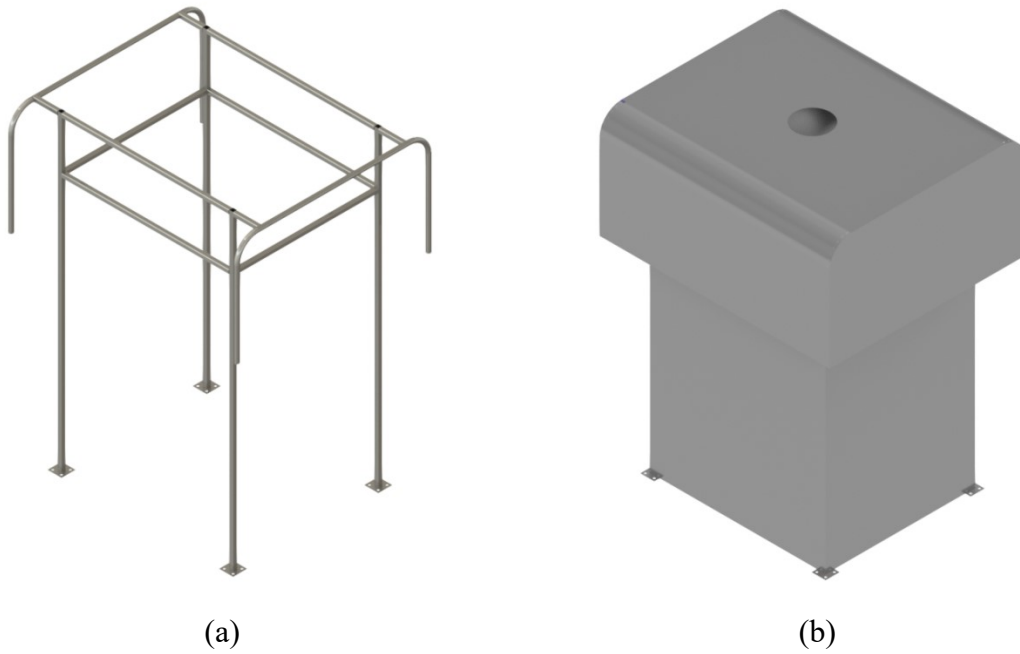
Idealizaram-se várias proteções e recorrendo ao *software Inventor*<sup>®</sup> criaram-se os respetivos desenhos.

### Proteção 1



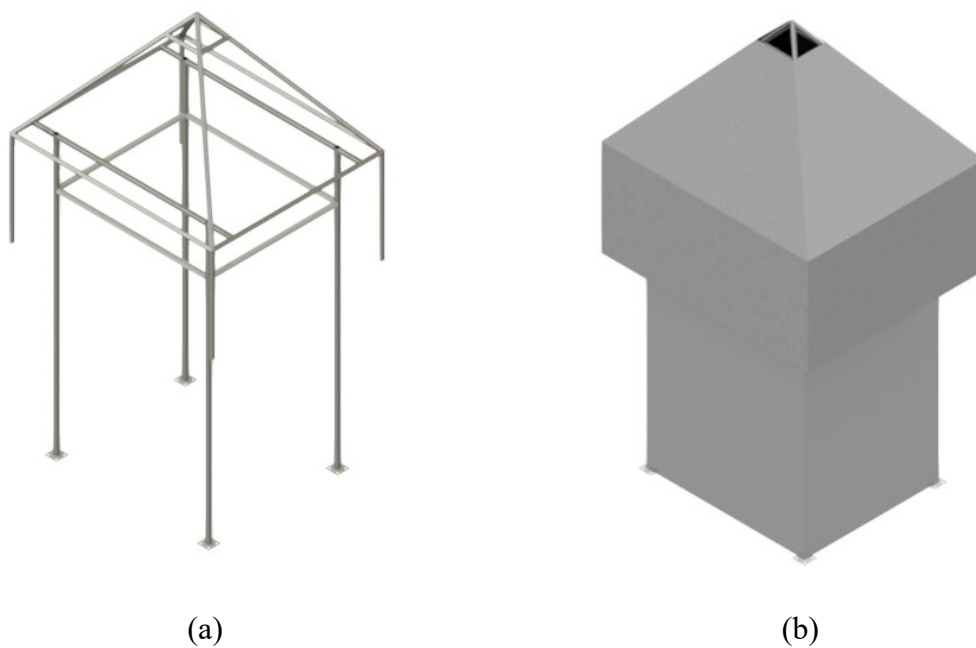
**Figura A.1.** Proteção 1: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

Proteção 2

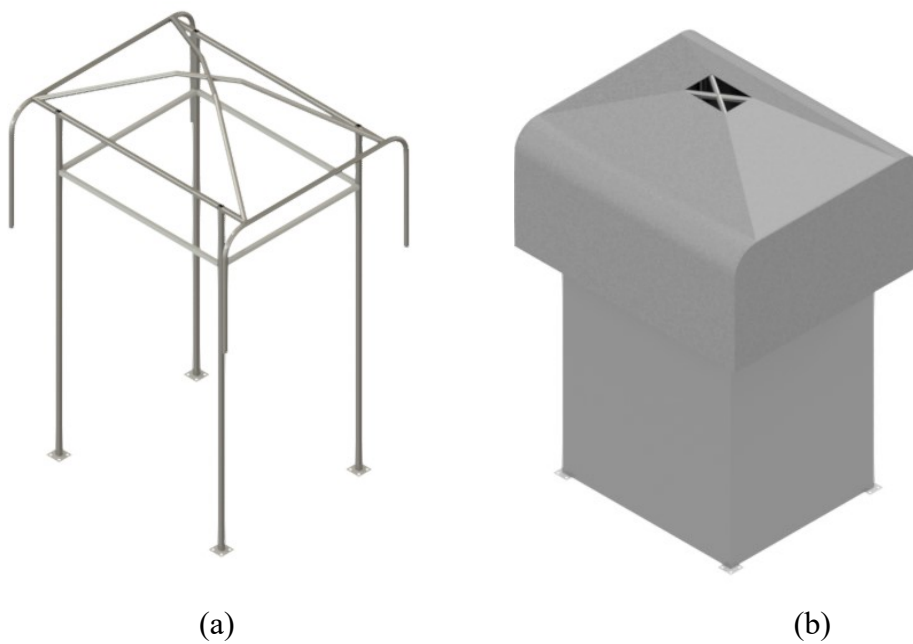


**Figura A.2.** Proteção 2: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

Proteção 3



**Figura A.3.** Proteção 3: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

Proteção 4

**Figura A.4.** Proteção 4: (a) estrutura em aço; (b) manta sobre a estrutura em aço.

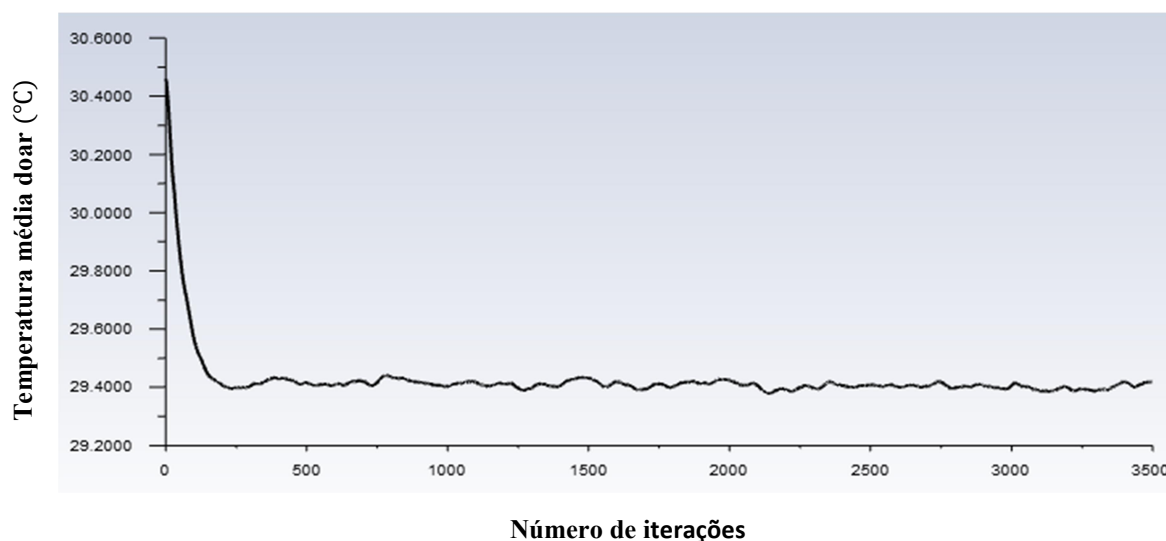


## ANEXO B

### Temperatura média do ar ao longo do processo iterativo

#### Simulações numéricas sem fogo:

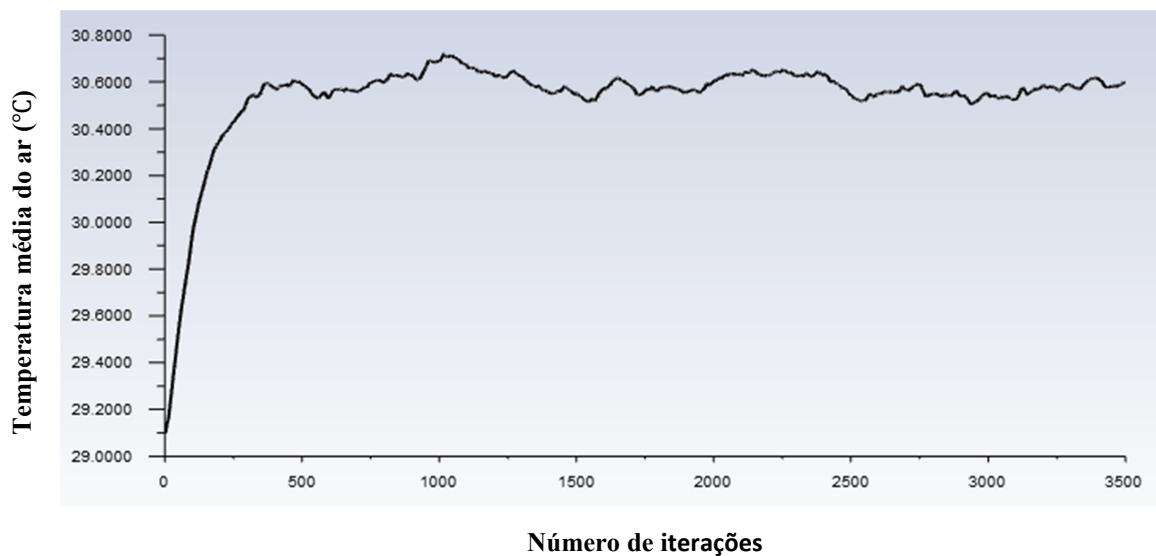
- Sem proteção



**Figura B.1.** Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, sem proteção na ausência de fogo.

Efetuaram-se 3500 iterações em 1h e 51 min.

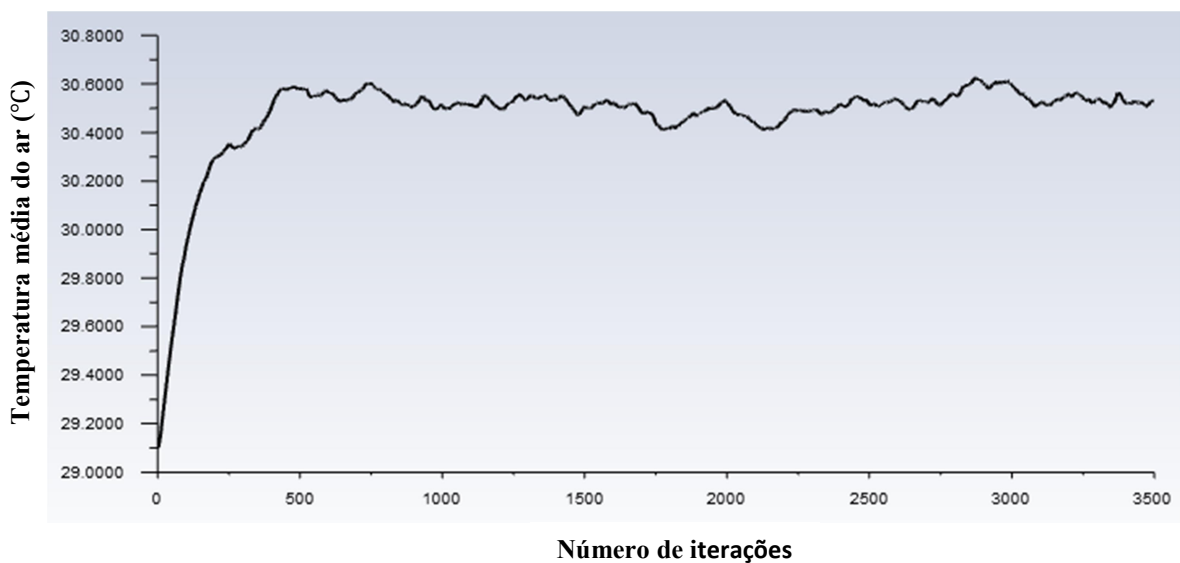
- Proteção 1



**Figura B.2.** Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 1 na ausência de fogo.

Efetuaram-se 3500 iterações em 2h e 24 min.

- Proteção 2

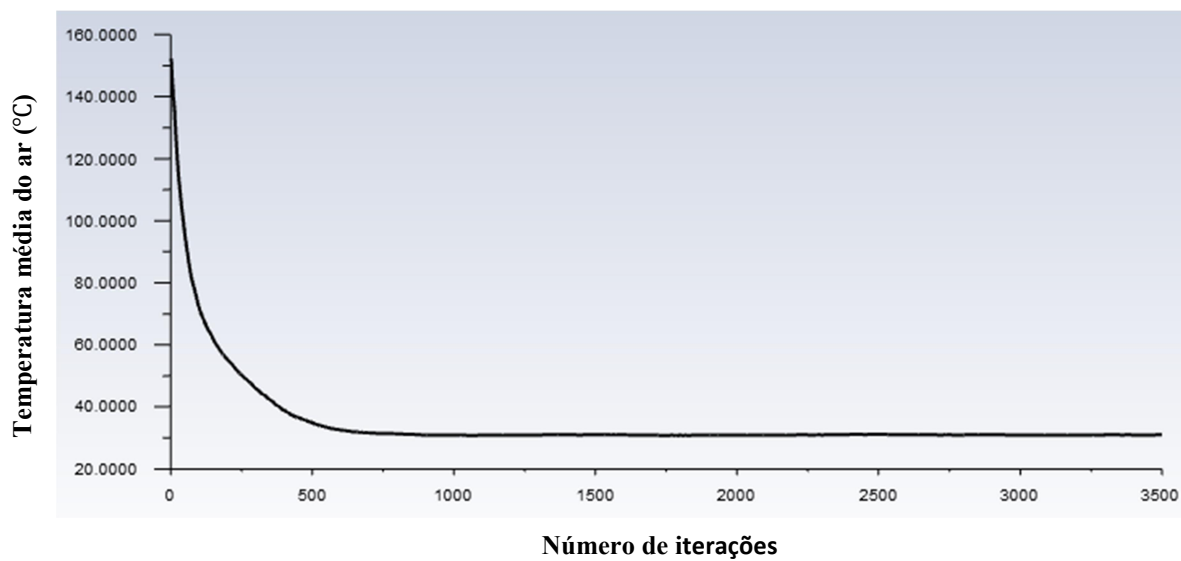


**Figura B.3.** Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 2 na ausência de fogo.

Efetuarão-se 3500 iterações em 2h e 30 min.

### Simulações numéricas com fogo:

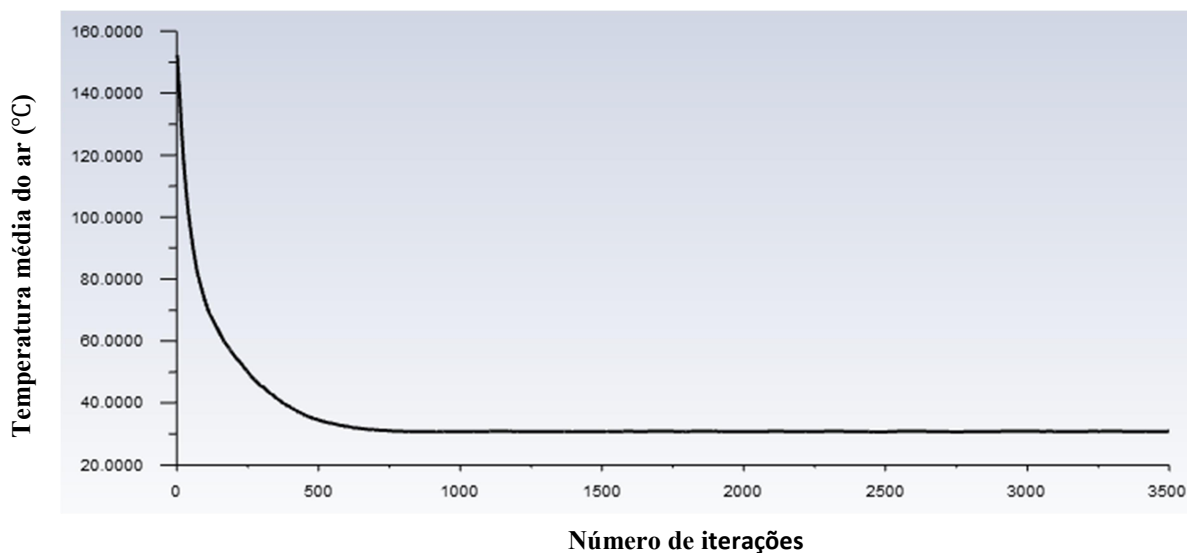
- Proteção 1



**Figura B.4.** Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 1 numa situação de fogo.

Efetuarão-se 3500 iterações em 2h e 24 min.

- Proteção 2



**Figura B.5.** Temperatura média do ar no interior do armário em função do número de iterações, com a proteção 2 numa situação de fogo.

Efetuaram-se 3500 iterações em 2h e 40 min.



## ANEXO C

### Ensaio experimentais



**Figura C.1.** Ensaio nº1.



**Figura C.2.** Ensaio nº2.



**Figura C.3.** Ensaio nº3.



**Figura C.4.** Ensaio nº4.



**Figura C.5.** Ensaio nº5.



**Figura C.6.** Ensaio nº6.