



Gilberto Carlos da Costa Martins

Caracterização Experimental de Detetores de Incêndio

Setembro 2013



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Faculdade de Ciências e Tecnologia

da Universidade de Coimbra

Departamento de Engenharia Electrotécnica

e de Computadores

Caracterização Experimental de Detetores de Incêndio

Gilberto Carlos da Costa Martins

Coimbra, 2013

“ I’m a great believer in luck, and I find the harder I work, the more luck I have. ”

Thomas Jefferson

Caracterização Experimental de Detetores de Incêndio

Orientador: PROFESSOR DOUTOR LINO JOSÉ FORTE MARQUES

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Jurí:

Presidente: PROFESSORA DOUTORA MARIA DO CARMO RAPOSO DE MEDEIROS

Vogal: PROFESSOR DOUTOR NUNO MIGUEL M. DA SILVA GONÇALVES

Vogal: PROFESSOR DOUTOR LINO JOSÉ FORTE MARQUES

Setembro, 2013

Nomenclatura

AFA	Adaptative Fusion Algorithm
ANN	Rede Neuronal Artificial
CDI	Central de detecção de incêndios
CEN	Comité Europeu de Normalização
CFD	Computational fluid dynamics
CPU	Central Processing Unit
EMF	Electromotive force
EUA	Estados Unidos da América
FET	Field-effect transistor
GSM	Groupe Special Mobile
LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light emitting diode
MOX	Metal oxide gas sensor
NDIR	Non dispersive infrared
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standards and Technology
NTC	Negative temperature coefficient
PNN	Probabilistic neural network
PTC	Positive temperature coefficient

RF	Radio frequency
RTI	Response time index model
SADI	Sistema Automático de Detecção de Incêndio
TF	Fogo tipo
UDP	User Datagram Protocol
WFSC	World Fire Statistic Center

Lista de Figuras

2.1	Curva típica de um incêndio.	6
2.2	Triângulo do Fogo	6
2.3	Tetraedro do fogo	7
3.1	Célula eletroquímica e o princípio de funcionamento. 1- Cátodo 2- Anodo 3- Membrana permeável a gases 4- Medição da corrente 5- Fluxo de corrente devido à dissolução de moléculas de gás na solução eletrolítica.	20
3.2	Detetor de chamas de ultravioleta [Hamamatsu, 2008].	20
3.3	Espetro de várias fontes de luz, e resposta do UVTRON.	21
3.4	Exemplo de central endereçável (Global Fire JUNIOR V4) e central convencional (UTC 1X-F2)	22
3.5	a) Circuito de ligação de um sistema convencional. b) Circuito de ligação de um sistema endereçável.	23
3.6	a) Exemplo de ligação de um <i>loop class B</i> . b) Exemplo de ligação de um <i>loop class A</i> .	24
3.7	Corte transversal de um detetor de temperatura que utiliza dois termístores (adaptado de Apollo XP 95 [Apollo, 2013])	24
3.8	Tipos de aparato de deteção de fumo.	25
3.9	Esquema de um detetor de fumo com a câmara livre de partículas (esquerda), câmara com partículas de fumo (direita).	25
3.10	Lista de fogos-tipo	28
3.11	Classificação de detetores e fumo segundo EN 54-9	29
4.1	Câmara de ensaios.	32
4.2	Conjunto de detetores térmicos.	32

4.3	Conjunto de detetores de fumo óticos.	33
4.4	Conjunto de detetores multi-sensor ótico e térmico.	33
4.5	Arquitetura do sistema para ensaio de temperatura.	34
4.6	Analogia elétrica ao sistema de controlo de temperatura da câmara de ensaios.	34
4.7	Circuito de controlo de aquecimento das resistências.	35
4.8	Coordenadas 3D da câmara de ensaio.	36
4.9	Aparato para realizar ensaios de temperatura.	36
4.10	a) Software de controlo e monitorização de temperatura, para ensaios aos detetores térmicos e multi-sensor.	
	b) Software de monitorização dos ensaios aos detetores de fumo e multi-sensor.	37
4.11	Arquitetura para os ensaios de fumo.	38
4.12	Tube de entrada de ar e borboleta (aberto e fechado).	38
4.13	Sensor GE Telair T6613	39
4.14	Tube perfurado para medição da opacidade.	39
4.15	Amplificador de transimpedância.	39
4.16	Material utilizado nos ensaios aos detetores de fumo	40
4.17	Preparação dos materiais(madeira, algodão, espuma) para o ensaio.	40
4.18	Multi-sensor desenvolvido FireNose	41
4.19	Tube de dreno para análise aos gases resultantes do processo de combustão.	42
4.20	Processamento de informação num neurónio de uma rede neuronal artificial.	43
5.1	Resultado do treino da rede neuronal para classificação do tipo de material.	50
5.2	Resultado da rede neuronal com os dados para teste.	50
5.3	Resultado da rede para identificação da existência ou não de fogo.	51
5.4	Resultado da rede após utilizar os dados de teste.	51
6.1	Sensor TGS 2620.	63
6.2	Curva característica de sensibilidade.	64
6.3	Circuito de aplicação do sensor TGS 2620.	64
6.4	Sensor TGS 4161.	65
6.5	Curva característica do sensor TGS 4161.	65
6.6	Circuito de aplicação do sensor TGS 4161.	66
6.7	Sensor TGS 2442 Monóxido de Carbono.	66
6.8	Curva de sensibilidade TGS 2442.	66
6.9	Circuito típico de utilização do sensor TGS2442.	67

6.10	Pulsar de aquecimento da resistência de aquecimento e leitura do valor do sensor.	67
6.11	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 1°C.	69
6.12	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 3°C.	69
6.13	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 5°C	70
6.14	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 10°C	70
6.15	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 20°C	71
6.16	Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 30°C	71
6.17	Ensaio detetor DT-2, incremento 1°C	72
6.18	Ensaio detetor DT-2, incremento 3°C	72
6.19	Ensaio detetor DT-2, incremento 5°C	73
6.20	Ensaio detetor DT-2, incremento 10°C	73
6.21	Ensaio detetor DT-2, incremento 20°C	74
6.22	Ensaio detetor DT-2, incremento 30°C	74
6.23	Ensaio detetor DT-3 , com incremento 1°C	75
6.24	Ensaio detetor DT-3, com incremento de 3°C	75
6.25	Ensaio detetor DT-3, com incremento de 5°C	76
6.26	Ensaio detetor DT-3, com incremento de 10°C	76
6.27	Ensaio detetor DT-3, com incremento de 20°C	77
6.28	Ensaio detetor DT-3, com incremento de 30°C	77
6.29	Ensaio detetor DT-4, com incremento de 1°C	78
6.30	Ensaio detetor DT-4, com incremento 3°C	78
6.31	Ensaio detetor DT-4, com incremento de 5°C	79
6.32	Ensaio detetor DT-4, com incremento 10°C	79
6.33	Ensaio detetor DT-4, com incremento 20°C	80
6.34	Ensaio detetor DT-4, com incremento de 30°C	80
6.35	Ensaio detetor DM-1, com incremento de 3°C	81
6.36	Ensaio detetor DM-1, com incremento de 5°C	81
6.37	Ensaio detetor DM-1, com incremento de 10°C	82
6.38	Ensaio detetor DM-1, com incremento de 20°C	82
6.39	Ensaio detetor DM-1, com incremento de 30°C	83
6.40	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 1°C	83
6.41	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 3°C	84
6.42	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 5°C	84
6.43	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 10°C	85

6.44	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 20°C	85
6.45	Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 30°C	86
6.46	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 1°C	86
6.47	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 3°C	87
6.48	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 5°C	87
6.49	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 10°C	88
6.50	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 20°C	88
6.51	Ensaio detetor DM-3, com incremento de temperatura 30°C	89
6.52	Ensaio detetor DM-1 madeira	92
6.53	Ensaio detetor DM-1 algodão	93
6.54	Ensaio detetor DM-1 espuma	94
6.55	Ensaio detetor DO-1 madeira	95
6.56	Ensaio detetor DO-1 algodão	96
6.57	Ensaio detetor DO-1 espuma	97
6.58	Ensaio detetor DO-4 madeira	98
6.59	Ensaio detetor DO-4 algodão	99
6.60	Ensaio detetor DO-4 espuma	100
6.61	Ensaio detetor DO-2 madeira	101
6.62	Ensaio detetor DO-2 algodão	102
6.63	Ensaio detetor DO-2 espuma	103
6.64	Ensaio detetor DM-2 madeira	104
6.65	Ensaio detetor DM-2 algodão	105
6.66	Ensaio detetor DM-2 espuma	106
6.67	Ensaio detetor DM-3 madeira	107
6.68	Ensaio detetor DM-3 algodão	108
6.69	Ensaio detetor DM-3 espuma	109
6.70	Ensaio detetor DO-3 madeira	110
6.71	Ensaio detetor DO-3 algodão	111
6.72	Ensaio detetor DO-3 espuma	112

Lista de Tabelas

2.1	Diferentes tipos de combustão.	8
2.2	Gases resultantes do processo de combustão.	10
3.1	Comparação de preço de detetores de incêndio de uma marca de referência.	17
3.2	Tabela de conteúdo da EN 54	26
3.3	Velocidade de aceitação do incremento de temperatura	27
3.4	Dimensões da câmara de ensaio	28
3.5	Parâmetros do fogo	28
4.1	Codificação de detetores	33
4.2	Localização dos termístores e detetor de incêndio.	36
5.1	Ensaio ao detetor DT-1	45
5.2	Ensaio detetor DT-2	45
5.3	Ensaio detetor DT-3	46
5.4	Ensaio detetor DT-4	46
5.5	Ensaio detetor DM-1	46
5.6	Ensaio detetor DM-2	47
5.7	Ensaio detetor DM-3	47
5.8	Ensaio detetores fumo - Fogo Tipo 1 - madeira	48
5.9	Ensaio detetores fumo - Fogo Tipo 3 Algodão	48
5.10	Ensaio detetores fumo - Fogo-Tipo 4 (materiais plásticos - poliuretano).	49
5.11	Quadro de capacidade dos detetores, segundo a EN 54-7 e a EN 54-9	49

Conteúdo

Nomenclatura	vii
Resumo	xix
Abstract	xxi
Agradecimentos	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura	2
2 Fundamentos do fogo e sua detecção	5
2.1 Características do fogo	5
2.1.1 Triângulo do fogo	6
2.1.2 Tetraedro do fogo	6
2.2 Tipos de combustão	7
2.3 Processo de combustão	7
2.3.1 Combustão de sólidos	7
2.3.2 Combustão de líquidos	8
2.3.3 Combustão de gases	9
2.4 Produtos resultantes da Combustão	9
2.4.1 Calor	9
2.4.2 Chama	9
2.4.3 Fumo	9

2.4.4	Gases	10
2.5	Variáveis relevantes	11
2.5.1	Temperatura	11
2.5.2	Fumo	11
3	Sistemas de detecção de incêndios	13
3.1	Sensores de monitorização	18
3.1.1	Sensor de temperatura	18
3.1.2	Sensor de fumo	19
3.1.3	Sensor de radiação	20
3.1.4	Sensores óticos	21
3.2	Sistemas automáticos de detecção de incêndio	22
3.2.1	Central de detecção de incêndios (CDI)	22
3.2.2	Detetor de temperatura	24
3.2.3	Detetor de fumo	25
3.2.4	Normalização	26
3.2.5	Protocolos de comunicação	29
4	Sistema de ensaio de detetores de incêndio	31
4.1	Arquitetura proposta	31
4.2	Detetores a ensaiar	32
4.3	Montagem experimental de ensaio de temperatura	33
4.4	Circuito de comutação	34
4.5	Localização	36
4.6	Metodologia de ensaio de temperatura	36
4.7	Metodologia de ensaio aos detetores de fumo	38
4.8	Multi-sensor (FireNose)	41
4.9	Software de comunicação	42
4.10	Redes neuronais (classificação de fogos)	43
5	Resultados	45
5.1	Resultados dos ensaios de temperatura	45
5.2	Resultados dos ensaios aos detetores de fumo	47
5.3	Resultado de aplicação da rede neuronal	49
5.4	Discussão dos resultados	51

6 Conclusão e trabalho futuro	55
Bibliografia	57
Anexo I	63
Anexo II	69
Anexo III	91
Anexo IV	115

Resumo

O tempo de resposta de um sistema de detecção de incêndio é um ponto crucial num incêndio. Uma rápida resposta evita que o fogo atinja proporções descontroladas. No entanto um falso alarme leva à deslocação de equipas e meios de combate ao incêndio, que por si só se traduzem em custos. Todos os equipamentos constituintes de sistemas automáticos de detecção de incêndio aplicados nos países europeus têm de cumprir a norma EN 54. Esta norma é obrigatória e especifica os requisitos e ensaios para cada elemento constituinte de um sistema automático de detecção de incêndio. Esta norma foi desenvolvida e aprovada pelo Comité Europeu de Normalização e continua em desenvolvimento. (CEN)

Esta dissertação tem por objetivo caracterizar detetores de incêndio comerciais em termos do tempo de resposta e falsos alarmes. Foram realizados ensaios com detetores térmicos, detetores de fumo óticos, detetores multi-sensor (ótico e térmico). Os ensaios tiveram como base a EN-54 parte 5 que normaliza os detetores de temperatura, e a EN 54 parte 7 que normaliza os detetores de fumo óticos. Para poder haver comparação utilizaram-se duas centrais de detecção de incêndio distintas, e um conjunto de detetores das marcas mais representativas existentes no mercado. Para a detecção de fumo foi ainda desenvolvido um multi-sensor, para serem recolhidas diversas informações de vários fogos-tipo que fazem parte da norma EN 54 parte 9 que normaliza os fogos-tipo. Para efetuar a caracterização foi necessário desenvolver uma câmara de teste onde foram efetuados ensaios. Para identificar os fogos-tipo realizados e a existência ou não de fogo recorreu-se a uma rede neuronal.

Palavras chave: Sistemas automáticos de detecção de incêndio, tempo de resposta, falsos alarmes, norma EN 54, fogo-tipo, rede neuronal, multi-sensor.

Abstract

The response time of a fire detection system is a crucial point in fire detection. A quick response prevents the fire from reaching uncontrolled proportions. However, a false alarm leads to the displacement of teams and assets to the firecombat, which has associated costs. All the fire detection equipment in Europe has to be homologated with respect to the EN 54 standard. This standard specifies all the required tests and methodologies for the verification of an automatic fire alarm system device.

This thesis aims to characterize commercial fire detectors in terms of response time and false alarm detection. Tests were made to thermal detectors, smoke detectors and also multi-sensor (smoke and thermal) detectors. The tests were based on the EN 54-5 standard that normalizes thermal detectors, and EN 54-7 standard that normalizes optical smoke detectors. To perform the characterization of commercial fire detection systems, two fire alarm control panels and a set of detectors of the most representative brands on the market were acquired. For the smoke detection, a multi-sensor board has been developed, and fire information was gathered from several different of fire-types that are part of the EN 54-9 standard which normalizes fire-types. It was also necessary to develop a test chamber. In addition, a neural network was implemented to identify the presence of fire and which material is burning.

Keywords: Automatic fire alarm system, response time, false alarm, EN 54 standard, fire-type, neuronal network, multi-sensor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, em particular aos professores por todo o conhecimento transmitido ao longo do meu percurso.

Agradeço ao Instituto de Sistemas e Robótica em particular ao Laboratório de Sistemas Embebidos sem o qual não teria meios de desenvolver e implementar o meu sistema, e nos últimos meses foi também a minha casa.

Agradeço aos meus pais por todo o esforço e dedicação e suporte financeiro, pelas palavras de alento e motivação e por toda a educação. Sem eles esta caminhada não teria sido possível.

Agradeço às minhas irmãs pelo amor que me têm dado e apoio nos momentos que mais precisei, sei que ando distante mas tenho-vos no coração, e só quem tem irmãos percebe o que eu estou a dizer.

Agradeço à minha namorada por todo o amor e dedicação, por me ajudar a perder os medos e a enfrentar os problemas, também por nunca me deixar desistir de lutar. Peço desculpa por todas as ausências, físicas e mentais. Obrigado pela paciência.

Agradeço também aos meus avós por todo o carinho que me deram e por me ensinarem que com humildade também se pode trilhar um caminho.

Agradeço a todos os meus colegas que me ajudaram nesta etapa João Sousa, Fábio Faria, Luis Garrote, José Prado, Jorge Fraga, Hugo Cura, Ricardo Faria, Gonçalo Cabrita, André Quintino, Tiago Neves, Hugo Peralta, Bruno Gouveia, agradeço os bons momentos de convívio e todas as histórias que ficam para contar, e também a muitos outros que embora não refira o nome fizeram parte da minha vida e do meu percurso.

Agradeço à empresa Global Fire Equipment pelo empréstimo do material para realizar ensaios, e pelo suporte técnico.

Agradeço à empresa 2Climas pela ajuda prestada no isolamento da câmara de combustão.

Agradeço também à empresa UTC Fire & Security que nos ofereceu duas centrais de incêndio e um conjunto de detetores.

Por último agradeço ao professor Lino Marques, por todo o empenho, dedicação e disponibilidade prestada. Acima de tudo por me manter focado no meu objetivo.

1 Introdução

1.1 Motivação

Um incêndio quer ocorra por causas naturais, por acidente ou ainda por negligência tem associadas perdas de diferentes tipos e importância. Existem perdas monetárias, perdas de património histórico, mas acima de tudo perdas de vidas humanas que são insubstituíveis. Segundo relatórios [Association, 2011] da *World Fire Statistics Centre* (WFSC) os EUA somaram 3.300 mortes em 2009. Um outro relatório da *National Fire Protection Association* (NFPA), revela 3.005 mortes e 17.500 feridos em 2011 num total de 1.389.500 incêndios em edifícios (residências, apartamentos, hotéis) nos EUA. Em Portugal os dados são de difícil acesso, pois não existe nenhuma entidade que faça relatórios anuais acerca deste tipo de incidentes no entanto um relatório da Autoridade Nacional de Proteção Civil [de Proteção Civil, 2011] revela que anualmente ocorrem cerca de 10.000 incêndios em edifícios em território nacional, a WFSC relata 55 ocorrências de óbitos diretamente relacionadas com incêndios em 2009. O mesmo relatório revela perdas diretas de 14 mil milhões de dólares, nos Estados Unidos da América, o que corresponde a um impacto de 0.11% do produto interno bruto deste país. Durante os anos compreendidos entre 2006 a 2009 os gastos no combate ao incêndio foram cerca de 0.19% do PIB [Association, 2011]. A deteção de incêndios, em edifícios frequentados por pessoas é rápida e eficaz, a maioria não passa da fase de ignição, pois são ativados os dispositivos manuais de alarme. A vigilância de locais não frequentados é mais complexa, assim foram desenvolvidos Sistemas Automáticos de Deteção de Incêndio (SADI), compostos por uma central de alarme, e detetores, que analisam o ambiente envolvente em permanência, e têm a capacidade de alertar os ocupantes, bem como as entidades competentes para o combate ao incêndio. Os sensores comerciais existentes no mercado possuem na sua maioria uma identidade única ou seja um único tipo de sensor. A procura de um sensor de incêndio ideal tem sido o objetivo de vários autores. Têm também sido desenvolvidas técnicas e métodos de deteção. A realidade é que apesar de todos os grandes avanços e desenvolvimentos, feitos na área da deteção de incêndios, os mesmos estão sujeitos a falhas e falsos alarmes. Para que os sensores cumpram requisitos e exista uniformidade, existem normas EN 54 na União Europeia, e nos EUA

têm o seu equivalente *NFPA CODES & STANDARDS*, que regulam e certificam o funcionamento dos componentes de um SADI. Na execução desta dissertação vão ser realizados ensaios a sensores térmicos e de fumo, de diversas marcas representativas existentes no mercado. Serão utilizadas duas centrais endereçáveis (cada detetor tem um endereço e é identificado pela central de deteção de incêndios). Os ensaios são feitos tendo como base as normas EN 54 respetivas para cada sensor. Para serem efetuados os ensaios é necessário desenvolver um ambiente de testes adequado, com monitorização de todas as variáveis relevantes à caracterização do detetor em teste. O ambiente dentro do *setup* é monitorizado com recurso a sensores de temperatura, sensores de opacidade, e ainda sensores de óxidos metálicos para monitorizar os gases resultantes do processo de combustão. Será ainda implementado um algoritmo de classificação (rede neuronal) onde os dados dos sensores são analisados e combinados, decidindo-se depois a existência de condições de incêndio.

1.2 Objetivos

A elaboração desta dissertação tem como objetivos:

- Estudo dos tipos de detetores de incêndio existentes.
- Identificar e estudar as normas para ensaio a detetores de incêndio.
- Projeto e desenvolvimento de um ambiente de teste para ensaio de detetores em laboratório.
- Desenvolver um sistema multi-sensorial para monitorização do processo de combustão.
- Implementar de um algoritmo classificador do tipo de material em combustão.
- Realizar ensaios comparativos com os vários detetores comerciais existentes.

1.3 Estrutura

Este documento é constituído por 6 capítulos que abordam o contexto do trabalho e discutem a sua implementação.

No capítulo 2 são apresentadas as características principais do fogo, e processo de combustão.

No capítulo 3 é feita uma resenha sobre a evolução dos sistemas de deteção de incêndio, metodologias e desenvolvimentos sensoriais relevantes, são também apresentadas as variáveis importantes a monitorizar por um sistema de incêndio, sensores, e uma breve descrição sobre os sistemas automáticos de incêndio e normalização.

No capítulo 4 são apresentadas as tecnologias e metodologias utilizadas neste trabalho.

No capítulo 5 são apresentados os resultados dos testes de funcionamento do sistema e feita a discussão de resultados..

No capítulo 6 são apresentadas a conclusão e também propostas para trabalho futuro.

2 Fundamentos do fogo e sua detecção

A proteção contra incêndios em edifícios, revela-se extremamente importante para salvaguardar bens e vidas humanas. Conhecer os fenómenos associados ao fogo bem como a sua evolução perante diversos tipos de materiais, leva a tempos de resposta mais curtos e a uma melhor adequação dos meios às circunstâncias de cada edifício.

2.1 Características do fogo

O fogo é o resultado de uma reação química entre um combustível e um comburente, sendo por isso chamado de combustão. Esta reação química tem particularidades, é uma reação exotérmica, havendo por isso libertação de calor, desenvolvem-se chamas, existe emissão de fumos, bem como gases tais como: monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de água.

A reação de combustão é uma reação de oxidação redução. Esta resulta de oxidação rápida do combustível, levando a uma libertação de calor, à pirólise e a uma sucessiva alteração da composição química.

Um material combustível pode ser qualquer substância que contenha hidrogénio e carbono como estrutura molecular, pode ser de origem natural ou de origem sintética, e estar no estado sólido, líquido ou gasoso. De um modo simples, o combustível é uma substância que na presença de um comburente, seja suscetível de dar início e alimentar uma combustão.

O comburente é a substância oxidante, sendo o oxigénio o comburente mais frequente. Na atmosfera a percentagem de oxigénio é de 21%. A maioria dos edifícios são espaços fechados, se ocorrer um incêndio no seu interior o oxigénio é consumido. Caso essa concentração desça abaixo dos 15%, o incêndio pode auto-extinguir-se por não haver condições para alimentar a combustão. O ponto de brasa é uma situação de combustão sem chamas, este ocorrem com concentrações residuais de oxigénio 0,4%. Um incêndio é normalmente caracterizado por quatro fases distintas: fase de ignição, fase de propagação, fase de combustão contínua, fase de declínio ou arrefecimento.

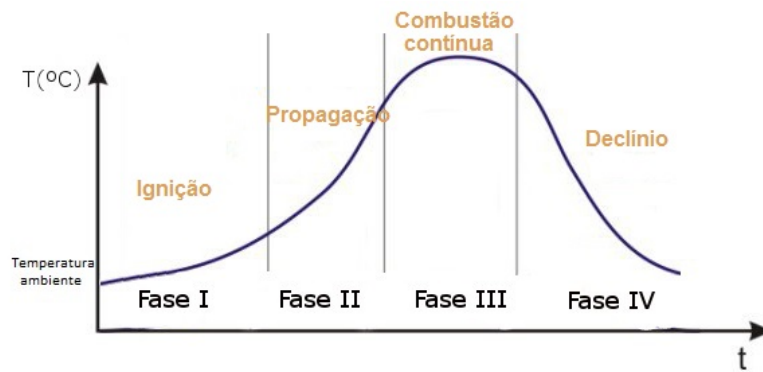


Figura 2.1: Curva típica de um incêndio.

2.1.1 Triângulo do fogo

Apesar de a atmosfera conter as condições ideais para alimentar a combustão, esta não se desencadeia espontaneamente. Na maioria das situações o comburente está em contacto permanente com os materiais combustíveis. Os elementos químicos carbono e hidrogénio (combustível), na presença de oxigénio (comburente), não são suficientes para desencadear a reação química de oxidação-redução. É necessária a presença de uma outra condição, energia de ativação, ou fonte de ignição, forma-se assim o denominado triângulo do fogo.

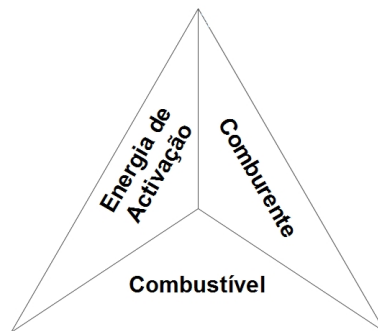


Figura 2.2: Triângulo do Fogo

2.1.2 Tetraedro do fogo

Após o material combustível entrar em combustão, deixa de ser necessária a energia de ativação, pois as chamas vão alimentar o processo. Assim o processo de combustão entra em auto-sustentação. Surge deste modo a ideia do tetraedro do fogo.

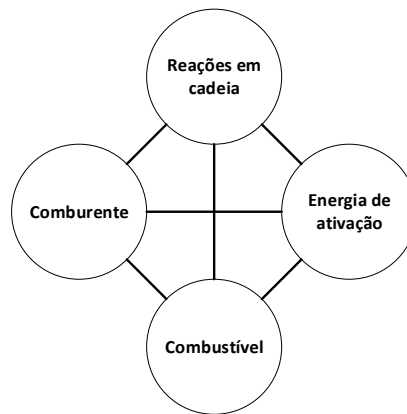


Figura 2.3: Tetraedro do fogo

2.2 Tipos de combustão

O tipo de combustão é condicionado pelo comburente. Este define se a reação é completa ou incompleta. Uma combustão onde o material combustível é totalmente queimado chama-se combustão completa. A quantidade de calor e de produtos resultantes da combustão têm valor máximo. Este tipo de combustão necessita de uma concentração de oxigênio suficiente. Numa combustão incompleta não há consumo total da matéria combustível, mesmo que exista oxigênio em quantidade suficiente.

2.3 Processo de combustão

2.3.1 Combustão de sólidos

Os combustíveis no estado sólido possuem uma elevada coesão molecular. É necessário quebrar essa coesão com um processo de decomposição molecular que permita a ocorrência da reação de combustão. A combustão de materiais sólidos pode ocorrer sob duas formas: por pirólise, ou por brasa. Se a combustão ocorrer por brasa, existe ausência de chama, ou então estas têm pequenas dimensões, no entanto existe uma elevada emissão de radiação. Por seu lado numa combustão por pirólise existe uma decomposição molecular, são libertados gases inflamáveis e chamas. A combustão de sólidos desenvolve-se na presença de uma fonte de calor ou então de forma auto-sustentável. No início de uma combustão é necessária uma fonte de calor, que pode ser removida

Tabela 2.1: Diferentes tipos de combustão.

Combustão lenta	Este tipo de combustão caracteriza-se pelo facto da temperatura quer do combustível, quer dos produtos resultantes atingirem temperaturas inferiores a 500°C, durante este processo nem sempre são produzidos chama ou fumo. A combustão espontânea é o resultado de uma combustão lenta que se desenvolve num espaço onde é difícil a dissipação de energia.
Combustão viva	Uma combustão onde sejam atingidas temperaturas superiores a 500°C, é denominada de combustão viva, sendo caracterizada por chama e emissões de fumos, densos e opacos, caracteriza-se ainda por chama, incandescência e combustão muito viva.
Incandescência	Em combustíveis sólidos, a combustão ocorre à superfície, caso sejam metais verifica-se a incandescência do combustível. Em combustíveis orgânicos por exemplo madeira, é possível ver a formação de brasas quando o material durante a combustão não liberta gases em quantidade suficiente para a formação de chama.
Combustão muito viva	Este género de combustão ocorre de forma quase instantânea em todo o volume em frações de segundo, mas a velocidade de propagação do fogo ainda é inferior à velocidade do som no ar, muito comum em edifícios em que o espaço é suficientemente ventilado.
Explosão	Numa combustão deste tipo a velocidade de propagação do fogo é superior à velocidade de propagação do som no ar. Este processo ocorre apenas quando as partículas do material combustível com uma granulometria muito fina, ou de uma mistura de gases com uma concentração de oxigénio tal que se forme uma mistura muito inflamável. Uma outra forma de criar um processo de combustão explosiva pode ocorrer num edifício, onde haja acumulação de gases inflamáveis em concentrações muito significativas, e sem ventilação.

caso seja atingida a temperatura de combustão, passando assim a combustão a ser auto-sustentável. Exemplos : madeira, produtos plásticos, derivados do petróleo.

2.3.2 Combustão de líquidos

Este género de combustão ocorre devido à libertação de gases voláteis, pelo material que sofre a combustão quando sujeito a uma fonte de calor. Para que ocorra combustão é indispensável que o líquido emita vapores voláteis em quantidade suficiente para que a mistura combustível /oxigénio seja inflamável. Exemplos: álcool, benzeno, acetona, diluentes e combustíveis fósseis derivados do petróleo.

2.3.3 Combustão de gases

Os combustíveis no estado gasoso têm ligações moleculares fracas. Para que haja combustão é necessária uma proporção de gás combustível e oxigênio, condições de temperatura e pressão e ainda uma fonte de ignição. Temperaturas e pressão elevadas aumentam a inflamabilidade do gás. Exemplos: metano, butano, hidrogênio.

2.4 Produtos resultantes da Combustão

A combustão origina um conjunto de produtos resultantes tais como calor, chama, fumo, gases, resultantes da pirólise. Caso o combustível esteja no estado sólido, dá origem a cinzas, entre outros.

2.4.1 Calor

O aumento de temperatura provocado pela reação de combustão proporciona a libertação de calor, associada a aumento de temperatura. A variação de temperatura ao aquecer o espaço é a principal responsável pela propagação do fogo, uma vez que leva a que no espaço envolvente, sejam atingidas as temperaturas características dos materiais também combustíveis.

2.4.2 Chama

O aumento de temperatura provocado pela reação de combustão proporciona a libertação de gases voláteis do material combustível. Na presença de oxigênio em proporções ideais na mistura, esses gases inflamam e dão origem à chama. Esta, por sua vez é fonte de transferência de energia a outros materiais através da emissão de radiação, propagando assim energia de uma forma multidirecional.

2.4.3 Fumo

O fumo é particularmente abundante em combustões incompletas, a sua produção é mais intensa quanto mais incompleta for a combustão. Esta combustão incompleta tem como resultado aerossóis e a suspensão de finas partículas semi-consumidas de carbono mais ou menos opacas, a visibilidade reduz-se. Quando o comburente é abundante, o fumo é constituído por partículas visíveis, normalmente de cor branca ou acinzentada. Se existir carência de comburente e a temperatura de combustão é bastante elevada, o fumo tem uma cor negra.

2.4.4 Gases

Numa combustão os gases libertados são diversificados, estes dependem do tipo de combustível. Os gases libertados mais comuns são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ácido sulfídrico gasoso (H₂S), ácido clorídrico (HCl), e ácido cianídrico (HCN). Os gases derivados de uma combustão são tóxicos [Levin et al., 1987a], [Coelho, 2010].

Tabela 2.2: Gases resultantes do processo de combustão.

Monóxido de Carbono (CO)	É um dos gases resultantes de uma combustão. Possui uma elevada taxa de toxicidade, sendo uma das maiores causas de morte, em vítimas de incêndio devido à sua inalação [Levin et al., 1987b]. Este gás é indetetável pelo ser humano, pelo que consoante a sua concentração assim serão os danos causados.
Acroleína (C₃H₈O₃)	Trata-se de gás irritante para as vias respiratórias, produzido quando são queimados materiais à base do polietileno e também materiais que contenham celulose, como madeira, são produtos que ardem sem produção de chama [Levin et al., 1987a].
Gás clorídrico (HCl)	Baixas concentrações deste gás, (por exemplo 0,0075%) deste produto, produz irritações profundas nas vias respiratórias. Se essa concentração aumentar para 1,7% durante 5 minutos, provoca incapacidade física [DiPasquale and Davis, 1971].
Dióxido de Carbono (CO₂)	Este gás resulta da combustão de carbono quando esta ocorre com oxigénio em excesso. É incolor, é inodoro e não é inflamável. Quando em espaços fechados este gás retira o oxigénio existente, o que torna o ambiente asfíxiante. Num ambiente com dióxido de carbono, uma pessoa exposta a este gás, sofre um cansaço prematuro [Levin et al., 1987b].
Gás cianídrico (HCN)	Este gás é incolor e tem como característica principal o odor a amêndoa. É asfíxiante e pode ser absorvido pela pele. Provém da combustão de materiais naturais, como a lã ou seda, e também de materiais sintéticos como o nylon. Uma concentração de 0,027% pode matar uma pessoa de imediato [DiPasquale and Davis, 1971].
Óxidos de nitrogénio (NO_x)	É um gás tóxico que provém da combustão de plásticos. Devido ao facto de óxido nítrico (NO) se converter em dióxido de nitrogénio (NO ₂) na presença de oxigénio e pequenas quantidades de água. É um gás irritante para as vias aéreas superiores e pode ter um efeito retardado. Os vapores libertados têm uma cor avermelhada [DiPasquale and Davis, 1971].
Fosgénio (COCl₂)	É um gás incolor, altamente tóxico, é produzido quando gases refrigerantes que tenha CFC's, ocorre em incêndios em frigoríficos, e sistemas de ar condicionado. É irritante para as vias respiratórias [DiPasquale and Davis, 1971].

2.5 Variáveis relevantes

2.5.1 Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes na análise de um processo de combustão é por isso uma característica essencial para identificar a ocorrência de um incêndio. Um compartimento com temperaturas acima de $60^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$, salvo raras exceções é um sinal claro de que se não existe um incêndio, não tardará a acontecer. A energia de ativação é um ponto fundamental no triângulo do fogo e está profundamente relacionado com a temperatura. Com o aumento de temperatura o ponto de ignição do material combustível pode ser atingido [Cote, 2008].

2.5.2 Fumo

Um dos primeiros sinais visíveis de um processo de combustão é o fumo. A combustão de materiais como a madeira e plásticos entre outros, levam à libertação de fumo, que pode ser mais ou menos denso [Gaskill and Veith, 1968].

2.5.2.1 Opacidade

A opacidade é a obstrução à passagem de um feixe de luz. Um feixe de uma fonte de luz ao atravessar uma área com presença de fumo sofre absorção e reflexão, assim só uma parte do feixe inicial chega ao recetor.

2.5.2.2 Deflexão de luz

Se considerar que no interior de uma câmara existe a luz emitida por fonte de luz, na ausência de fumo este feixe de luz não atinge o sensor recetor (o feixe é paralelo ao recetor)???. Ao entrar fumo na câmara, a luz vai dispersar e ser defletida. Deste modo alguma porção de luz consegue atingir o sensor recetor de luz.

3 Sistemas de detecção de incêndios

A implementação de sistemas de detecção de incêndio só foi possível a partir do século XIX. Neste século foi desenvolvido o telégrafo, que permitiu a comunicação à distância. Os primeiros SADI eram dispositivos simples, constituídos por um interruptor bi-metálico térmico que comunicava por dois condutores com o quartel de bombeiros, em 1847 [Moore, 2006]. Apenas em 1930 foi descoberto o primeiro detetor de ionização por Walter Jaeger [Morgan, 1999], enquanto fazia ensaios a um sensor detetou que o mesmo respondia ao fumo de um cigarro [Marques, 2011]. Com a evolução da eletrônica foi possível reduzir os custos associados ao desenvolvimento e produção de sistemas de detecção de incêndio, o que levou a que nos EUA no início da década de 1970 fosse obrigatória a instalação de detetores de incêndio, aumentando assim a popularidade dos SADI [Leistikow et al., 2000], [Neville, 1972], [Richardson, 2003].

A evolução dos detetores de fumo tem sido lenta nos últimos 40 anos. Diversos autores têm procurado o detetor ideal, imune a interferências que causem falsos alarmes e com um tempo de resposta aplicável a diferentes contextos. Em 1978 [Malinowski, 1978] patenteou um detetor composto por uma câmara, uma fonte de luz, e uma fotocélula. O fumo ao entrar na câmara de detecção defletia a luz para a fotocélula e isso provocava um aumento de corrente na fotocélula. Este sistema introduzia também um orifício de dimensões reduzidas na câmara de detecção para evitar a interferência de poeiras/sujidade uma vez que podia provocar falsos alarmes. Em [Tagashira, 1981], [Tresch, 1982] e [Muggli, 1985] foi apresentada a ideia dos detetores de fumo óticos e térmicos possuírem limiares que uma vez ultrapassados disparam um alarme. Em [Tanguai, 1988] e [Wong, 1992] foi desenvolvido um circuito capaz de deflagrar três níveis de alarme ao detetor consoante a concentração de fumo dentro da câmara de detecção. Em [Guttinger, 1987] aplicou ainda lentes colimadas¹ na câmara de detecção para focalizar o feixe de luz e assim poder aumentar a sensibilidade do detetor de fumo. Em 1997 [Amleshi, 1997], lançou uma patente onde a câmara de detecção de um detetor de incêndio que continha lamelas para que a luz emitida não chegasse diretamente ao fotodetetor. Em [Dohi, 2003] desenvolveu um detetor cuja câmara de detecção possuía um emissor de luz e recetor formam um ângulo de 110°, o que aumentava a dispersão de

¹Uma lente colimada é um tipo de lente que faz com que o feixe de luz não se disperse com a distância

luz e apenas na presença de partículas de fumo, o feixe de luz sofria defleções na direção do recetor de luz.

Os sensores de temperatura também foram evoluindo ao longo dos tempos e em 1995 a Hochiki lançou a primeira patente [Torikoshi, 1995] de um detetor de temperatura analógico, constituído por termístor e cujo sinal analógico (tensão) do sensor é convertido em sinal digital e interpretado por um CPU .

A utilização de multi-sensores na detecção de incêndio surgiu num dispositivo patenteado por [Kirkor, 1982], este dispositivo era composto por sensor de temperatura, sensor de fumo e ainda um sensor de infravermelho. Qualquer um dos três sensores poderia ativar o sinal de alarme. Em [Duggan, 1993] foi utilizado também um multi-sensor composto por um sensor térmico e um sensor ótico, mas foi desenvolvido um circuito de baixo consumo. A saída do detetor é combinação do sinal analógico dos dois sensores (ótico e térmico). Em [Soni, 1998] criou um detetor combinação de um sensor de CO e um sensor de hidrocarboneto. Em 1998 [Wong, 1998] desenvolveu um detetor constituído por um detetor de fumo e um sensor NDIR² o alarme é dado quando a concentração de fumo aumenta.

Em [Asoma, 1998] foi criado um aparato de detecção de incêndios capaz de fazer varrimento horizontal e vertical. Para fazer esse tipo de detecção podem ser utilizados câmaras, capazes que monitorizar uma dada área, normalmente de grandes dimensões. O alarme é dado quando se passa um dado valor de limiar. Os meios de detecção possuem um comprimento de onda compreendido entre os 900 nm e os 1200 nm.

Em [Rattmen, 1986] , [Goedeke, 1992] e [Koo et al., 2010] é proposta a utilização e câmaras para a detecção de incêndios com chamas, as câmaras devem possuir filtros sensíveis ao ultravioleta ou então ao infravermelho. [Inoue, 1993] acrescentou a este sistema um detetor de fumo.

Em [Plimpton, 1994] e [Plimpton, 1997] é proposto a utilização de sensores de infravermelho e ultravioleta ao mesmo tempo e o sinal de alarme é resultado da combinação da saída analógica dos dois sensores. O autor de [Yamanaka, 1997] desenvolveu um sensor de odor (nariz eletrónico) cujo elemento sensitivo é uma resistência. A variação de resistência dispara um sinal de alarme.

Têm sido desenvolvidos algoritmos computacionais [Gottuk et al., 2002] que com a utilização de informação sensorial proveniente de sensores de CO e ionização são menos sujeitos a falsos alarmes que os detetores fotoelétricos. O autor de [Milke et al., 2003] incorporou uma rede de sensores (ionização, fotoelétrico, CO e CO₂). O autor utilizou a informação recolhida para perceber

²Um sensor infravermelho não dispersivo é um dispositivo e espectroscópico simples utilizado como detetor de gás. O facto de ser chamado não dispersivo deve-se ao comprimento de onda que atravessa a câmara de amostragem não ser filtrado previamente. O filtro é aplicado depois do detetor.

qual a melhor combinação de sensores analisando a sua resposta baseado no número correto de classificações (incêndio vs ruído) e o tempo de resposta.

A utilização de redes neuronais [Rose-Pehrsson et al., 2003] , e [Cheng et al., 2011] com a utilização de conjuntos de sensores permite retirar informação sensorial, de diversas variáveis importantes de um incêndio, associada a uma *Probabilistic Neural Network* (PNN) . Os autores do estudo afirmam que a utilização de PNN permite um menor tempo de resposta, uma menor taxa de falsos alarmes, quando comparada com o desempenho dos detetores de fumo comerciais.

A utilização de algoritmos de preditores de tempo de resposta de detetores de incêndio têm sido estudadas [Yamauchi et al., 2005]. Os parâmetros utilizados são a área da sala em estudo, a altura, a distância radial entre a origem do incêndio e o local de aplicação do sensor, um histórico de ensaios realizados de onde foram retirados os tempos de propagação e a característica da resposta de cada detetor. Foram utilizados RTI (Response time index model), e a utilização de dois RTI oferece uma melhor resposta. É apresentado ainda um modelo de predição de um detetor de temperatura termovelocimétrico, um detetor fotoelétrico.

A utilização de algoritmos de dinâmica de fluidos computacionais CFD foi também testada por [Chow et al., 2011] devido à dificuldade que existe em simular qual o comportamento do fumo num incêndio antes da construção de um edifício. Os resultados das predições feitas pelos CFD dão resultados diferentes consoante as condições fronteira. Deve ter-se em conta as equações matemáticas que descrevem a velocidade e pressão, para melhorar a aproximação do algoritmo computacional desenvolvido. Em [Fang and Yuan, 2007] foi estudada a modelação de CFD em ambientes sujeitos a temperaturas elevadas, na tentativa de obter uma resposta mais rápida. Foram ainda estudadas as progressões das plumas de fumo, diferenças de densidade e altura mínima e máxima. Em [Cheon et al., 2009] foi desenvolvido um multi-sensor de fumo e temperatura de baixo consumo. O sensor é constituído por um sensor de fumo que mede a dispersão de luz e um IR LED de um *pixel on-chip photodiode* como detetor. O sensor de temperatura é um termistor. Este sensor possuía um consumo de apenas 220 nW, excluindo o consumo do IR LED. Em [Pohle et al., 2007], o autor também deu o seu contributo ao desenvolver um sensor de incêndio com a utilização de sensores de gás de baixa potência baseado em FET (field-effect transistor) .

Diversos ensaios foram realizados com fogos-tipo por [Francis and Chen, 2012] na tentativa de poder tirar um modelo matemático para cada um. Cada fogo-tipo (utilizando os resultados de 53 ensaios) possui uma resposta característica associada mas esta depende da disposição dos meios de deteção, foi ainda possível identificar fogos-tipo pela resposta de temperatura.

O autor de [Petrov et al., 2012] realizou um estudo sobre a melhor localização, para detetores de fumo numa sala. O autor de [Ierardi, 2005] estudou a resistência interna dos detetores de fumo,

chegou à conclusão que a variação da resistência permite acelerar ou retardar o tempo de resposta. Os autores de [Ahrens, 2008] realizaram um relatório para o NIST (National Fire Protection Association) onde foi estudada a evolução da eficácia dos detetores de fumo baseados em relatórios dos departamentos municipais, corporações de bombeiros. Segundo este estudo muitos dos dispositivos SADI são mais eficazes que os dispositivos operados a baterias. Alguns dos acidentes que ocorrem acontecem devido à insuficiência de detetores em todos os pisos do edifícios ou então devido à área a monitorizar ser grande para um dispositivo apenas. A falta de cuidado por parte dos ocupantes devido ao consumo de estupefacientes ou ingestão de álcool torna os indivíduos menos aptos para escapar em caso de incêndio.

A fusão sensorial é um método que pode melhorar a resposta dos multi-sensores (fumo ótico, temperatura, sensor de chama) [Luo et al., 2002]. A utilização deste tipo de algoritmos necessita de um sistema embebido para realizar o processamento de informação. Torna mais fácil a deteção de falhas de um sensor. Tem também vantagem em se poder adaptar o valor de limiar de alarme dinamicamente.

Determinar a probabilidade de ocorrer um incêndio num edifício é um ponto importantíssimo na prevenção de incêndios. O autor de [Lin, 2005] fez um estudo que relaciona a probabilidade de ocorrência de incêndios através de uma distribuição de *Poisson*. Foram usados como dados o número de ocorrências de incêndio num rés-do-chão de residências, bem como de instalações industriais.

Diversos autores tentaram a melhor combinação de sensores para desenvolver um nariz eletrónico que substitua os habituais detetores. O autor de [Scorsone et al., 2006] utilizou a espectrometria para criar um padrão para diferentes tipos de fumo, de forma a ser imune a outros tipos de gases, foram testados diferentes tipos de sensores e foi possível identificar 5 marcadores para cada tipo de fumo [Conner et al., 2006]. O autor [Fujinaka et al., 2008] utilizou um nariz eletrónico para implementar um sistema de deteção de incêndios que permita uma deteção ainda num estágio onde o fogo ainda está na fase de ignição. Foi aplicado o método de retro-propagação (*error back propagation*), foi atingido um acerto em 99.6% durante os treinos para cada tipo de fogo. Os autores de [Wilson and Baietto, 2009] fazem um resumo sobre a evolução dos narizes eletrónicos ao longo dos últimos 20 anos, onde é também feita uma revisão sobre as principais aplicações dos narizes eletrónicos, tais como indústria, fins militares, medicina, segurança. Os autores defendem que a utilização deste tipo de sistemas de deteção permite, com o auxílio de microcontroladores, fazer deteção de um conjunto de odores ao mesmo tempo, o que permite alertar mais cedo, que outro arranjo sensorial existente. Pode também ser utilizado com redes neuronais artificiais e fazer a classificação através do reconhecimento de padrões. Os autores de [Yoshioka et al., 2009],

utilizaram um nariz eletrônico composto por um conjunto de sensores, que permitiu classificar um conjunto de gases característicos de uma cozinha, a rede neuronal teve uma taxa de acerto de 99.6% durante o treino. Isto permite que estes gases sejam reconhecidos e evitem falsos alarmes que normalmente existem neste tipo de locais.

Na área da robótica têm sido desenvolvidos robôs para combate ao incêndio [Su, 2006] onde são aplicados algoritmos de fusão adaptativa (Adaptative Fusion Algorithm - AFA) e sensores de chama. O robô tem capacidade de evitar obstáculos e tem ainda a capacidade de enviar dados à distância via RF e GSM e os dados são enviados para um computador.

Nos últimos 5 anos a massificação dos dispositivos sem fios e a diminuição do custo tornou esta tecnologia apetecível também para desenvolvimentos na área da deteção de incêndios e em robôs. O autor de [Tian and Geng, 2009] desenvolveu um módulo sensorial que comunica por *ZigBee*, esses módulos podem ser integrados num robô, ou distribuídos num ambiente a monitorizar. Ficaram por resolver questões como a segurança do protocolo e o consumo. Em [Park et al., 2010], é proposto um robô cujo controlo é feito remotamente. O robô tem incorporadas câmaras, e um sistema de extinção de incêndios. Através das câmaras, é possível enviar imagens para um pequeno monitor existente no comando. Isto permite a utilização de robôs em incêndios onde devido a dificuldades ou risco de explosão a equipa de bombeiros não possa atuar. Foram também estudadas formas de poupança de energia destes sistemas [Haibing et al., 2010], [Zhang, 2012], [Ha et al., 2012]. A utilização de redes *ZigBee* também foi alvo de estudo por [Hongyan et al., 2012]. Atualmente já existem detetores comerciais wireless vendidos por fabricantes^{3 4}, mas o custo deste tipo de detetores ainda está proibitivo como se pode ver na Tab.3.1, preços retirados do catálogo de um fornecedor. De realçar que os dispositivos *wireless* são operados a baterias e os fabricantes garantem uma autonomia de 2 anos, sendo assim necessária manutenção periódica. Os sistemas endereçáveis e convencional normalmente têm uma manutenção periódica de 5 em 5 anos.

Tabela 3.1: Comparação de preço de detetores de incêndio de uma marca de referência.

	Convencional	Endereçável	<i>Wireless</i>
Térmico	15€	35€	224€
Ótico	15€	35€	224€
Multisensor	-	45€	257€

³<http://www.apollo-fire.co.uk/products/products-by-category/wireless.aspx> e

⁴http://www.hochikieurope.com/media/downloads/Hochiki_FIREwave_Overview.pdf

3.1 Sensores de monitorização

3.1.1 Sensor de temperatura

A existência de diversos tipos de sensores de temperatura no mercado facilita a escolha do sensor indicado para uma dada aplicação pelo projetista. Alguns parâmetros a ter em conta aquando da escolha são: precisão, linearidade, gama de temperatura e ainda o custo. Alguns dos sensores de temperatura mais conhecidos e utilizados são: termopar, termístor, RTD, e ainda sensores de circuito integrado.

3.1.1.1 Resistências metálicas

As resistências metálicas possuem a vantagem de a resistência aumentar linearmente com a temperatura. As resistências metálicas mais conhecidas são construídas em platina e possuem o valor de 100Ω a 0°C , vulgarmente conhecidas como Pt_{100} .

A RTD (Resistance Temperature Detector) ou termoresistência é um dispositivo que relaciona a resistência elétrica com a temperatura.

A relação entre a resistência dos materiais condutores e a temperatura é a seguinte:

$$R_t = R_{ref}(1 + \alpha\Delta T) \quad (3.1)$$

Onde R_{ref} corresponde à resistência à temperatura de 0°C , α é um coeficiente de temperatura que depende do processo de fabrico, ΔT corresponde à variação do valor da temperatura obtido e a temperatura de referência, R_t é o valor da resistência à temperatura T .

3.1.1.2 Termopar

Os termopares são formados a partir da junção de dois metais diferentes. Estes sensores geram um potencial de alguns μV por grau Célsius de diferença entre a temperatura da junção de medida e a temperatura na junção de referência, localizada na outra extremidade oposta do sensor. Devido à sua reduzida sensibilidade, estes sensores são essencialmente utilizados para medir temperaturas elevadas.

3.1.1.3 Termistor

Existem dois tipos de termístores NTC (negative temperature coefficient) e PTC (positive temperature coefficient). No caso dos NTC o valor do coeficiente de resistência diminui com o aumento de temperatura, tipicamente o valor da resistência pode ser dado por:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (3.2)$$

Onde R é o valor da resistência a determinar, R_0 o valor da resistência a 25°C , β é uma constante que depende do processo de fabrico, T_0 é a temperatura ambiente normalmente 25°C , e T a temperatura atual.

Nos termístores PTC o coeficiente de variação de resistência com a temperatura é positivo: a resistência aumenta com o aumento da temperatura. Normalmente são utilizados para substituição de fusíveis devido à resistência aumentar exponencialmente a partir de uma dada temperatura.

3.1.2 Sensor de fumo

3.1.2.1 Óxidos metálicos

Os sensores de óxidos metálicos (MOX), são sensíveis a gases oxidáveis como por exemplo CO [Barsan et al., 2007]. O sensor é constituído por uma camada de dióxido de estanho SnO_2 . O oxigénio existente na envolvente desta camada é adsorvido⁵, o que dopa essa camada com eletrões e como efeito geral aumenta a resistência do sensor. Quando o gás que é objeto de deteção entra em contacto com a camada de SnO_2 e com o oxigénio adsorvido, provoca uma variação na resistência e logo uma variação na magnitude do sinal de saída do sensor. Essa variação na magnitude pode ser correlacionada com a concentração do gás a ser avaliada.

3.1.2.2 Sensores eletroquímicos

As células eletroquímicas são semelhantes a uma bateria, onde o meio eletrolítico é completado com a entrada de gás numa membrana semi-permeável. A corrente elétrica só circula se existir gás na região eletrolítica entre os dois elétrodos. A concentração de gás entre as placas é proporcional à corrente gerada.

⁵Trata-se da adesão de moléculas existentes no estado gasoso, que se fixam a um sólido, neste caso SnO_2

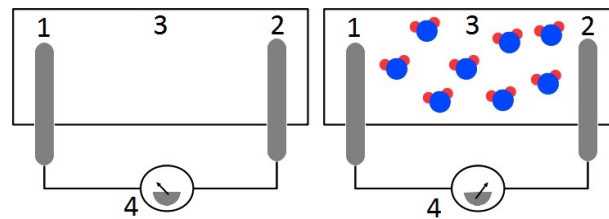


Figura 3.1: Célula eletroquímica e o princípio de funcionamento.

- 1- Cátodo 2- Anodo 3- Membrana permeável a gases 4- Medição da corrente
5- Fluxo de corrente devido à dissolução de moléculas de gás na solução eletrolítica.

3.1.3 Sensor de radiação

3.1.3.1 Sensor ultravioleta

A detecção de uma chama de um gás é muito importante em sistemas de detecção e prevenção de incêndios. É, em muitos aspetos, mais sensível a detetar um incêndio do que um detetor de fumo, principalmente em fogos no exterior, onde a concentração de fumo pode não chegar para disparar o detetor. No entanto, deteta o incêndio numa fase mais avançada. Para detetar um gás em chamas, usa-se uma única característica da chama, a de que uma porção perceptível do seu espectro ótico é localizada dentro do alcance do espectro ultravioleta, como se pode ver na figura Fig.3.3.

Após a luz do sol passar pela atmosfera, perde-se uma grande porção do seu espectro ultravioleta localizada abaixo dos 250 nm, ao passo que uma chama contém componentes ultravioleta até aos 180 nm. Este facto torna possível projetar uma estreita largura de banda para o alcance do espectro ultravioleta, o qual é seletivamente sensível à chama e não sensível à luz do sol e às luzes elétricas. Um exemplo deste dispositivo está ilustrado na Fig. 3.2. Este dispositivo é um detetor ultravioleta que faz uso do efeito fotoelétrico nos metais em conjunto com o efeito de multiplicação dos gases. Este tipo de detetores gera um pulso como resposta à presença de radiação ultravioleta.

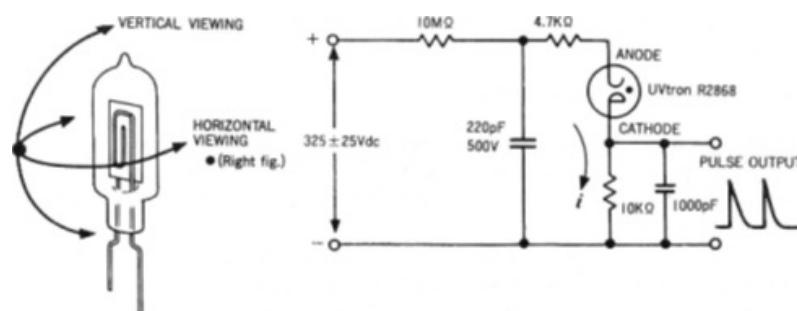


Figura 3.2: Detetor de chamas de ultravioleta [Hamamatsu, 2008].

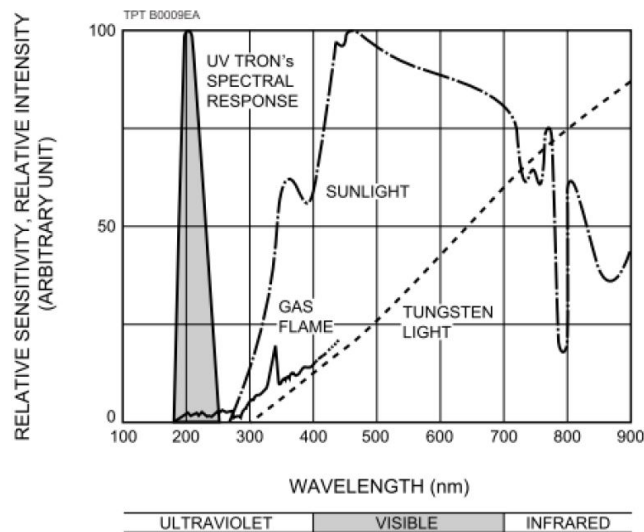


Figura 3.3: Espectro de várias fontes de luz, e resposta do UVTRON.

3.1.3.2 Sensor infravermelho

A termografia é o perfil de temperatura numa superfície ou num ponto. O princípio desta técnica está no seguinte: qualquer objeto emite uma certa quantidade de energia infravermelha, e a intensidade de radiação infravermelha é função da temperatura. No espectro eletromagnético a região infravermelha situa-se entre os $0.8\mu\text{m}$ e os $1000\mu\text{m}$.

3.1.4 Sensores óticos

Existem diversos tipos de detetor e topologias que podem ser utilizadas para a deteção de fumo. Podem ser usados como emissor de luz LED's, lasers, com comprimentos compreendidos entre os 350nm e 800nm. Como recetores de luz podem ser usado fotodíodos, fotoresistências (LDR), fototransístores. Podem ser usadas duas formas de deteção:

- o feixe de luz do emissor incide diretamente no recetor, e a presença de fumo diminui o feixe de luz, é por isso possível verificar uma diminuição da corrente que atravessa o recetor.
- o feixe de luz não incide diretamente no recetor, a presença de fumo provoca uma deflexão no feixe de luz e consequentemente existe um aumento da corrente no recetor.

3.1.4.1 Fotodíodos

O fotodíodo é constituído por uma junção p-n, quando a junção é polarizada inversamente, o fotodíodo passa a operar em modo fotocondutor, comporta-se assim como uma fonte de corrente controlada pelo fluxo térmico incidente na junção. Existe uma relação aproximadamente linear, entre o fluxo luminoso incidente e a foto-corrente gerada. No entanto na ausência de luminosidade não conduz.

Se não existir qualquer tipo de polarização externa, o fotodíodo entra no chamado modo fotovoltaico. Apresenta nos terminais uma tensão proporcional ao fluxo incidente na junção.

As vantagens da utilização de fotodíodos são a facilidade com que se retira uma resposta, devido à linearidade existente entre a corrente de polarização inversa e o fluxo luminoso, e ainda o custo relativamente barato. Existem diversos tipos de fotodíodo com sensibilidades distintas, o que depende do processo de fabrico.

3.2 Sistemas automáticos de detecção de incêndio

3.2.1 Central de detecção de incêndios (CDI)



Figura 3.4: Exemplo de central endereçável (Global Fire JUNIOR V4) e central convencional (UTC 1X-F2)

O processamento e análise de dados recolhidos dos detetores de incêndio e restantes constituintes de um SADI é realizado na CDI. A decisão de dar sinal de alarme ou não é tomada pela CDI dependendo da informação que lhe chega.

As centrais convencionais Fig. 3.5, permitem ligar detetores através de um circuito elétrico comum, mas têm a particularidade de possuir uma resistência de fim de linha de valor conhecido Fig. 3.6. Quando deflagra uma ocorrência esta é sinalizada pelo detetor com uma variação do valor de impedância na linha. A central consegue detetar essa variação e assim disparar o respetivo alarme. O circuito de ligação dos detetores é separado do circuito de ligação das botoneiras, são assim independentes os sistemas de detecção automática e manual.

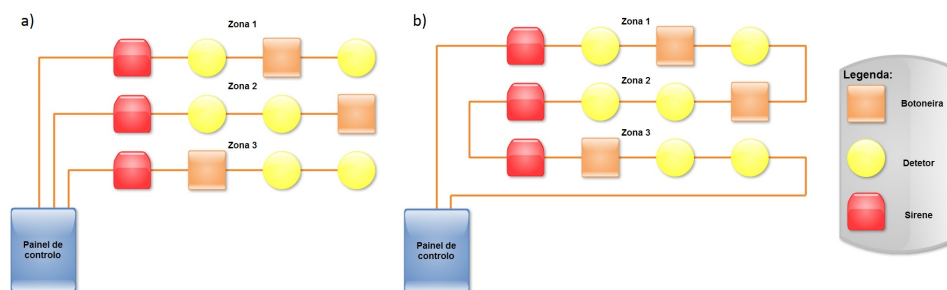


Figura 3.5: a) Circuito de ligação de um sistema convencional. b) Circuito de ligação de um sistema endereçável.

Estes dispositivos (centrais e detetores) são mais económicos. A instalação também é económica uma vez que apenas necessitam de cabo e uma resistência de fim de linha. Neste tipo de centrais os detetores são distribuídos por zonas de deteção. Não é possível saber qual o sensor que disparou o sinal de alarme, apenas a zona que disparou o alarme. Para facilitar a sinalização, normalmente nos edifícios cada zona possui um LED de sinalização, e cada detetor possui também LED de sinalização.

Este tipo de centrais é indicado para instalações de pequenas dimensões, normalmente até 120 detetores.

Existem também centrais endereçáveis, estas possuem a capacidade de endereçar os dispositivos: detetores, botoneiras, sirenes Fig. 3.5. Cada dispositivo tem um endereço que é único. No mesmo *loop* podem ser ligados dispositivos distintos e em caso de alarme é possível reconhecer qual o dispositivo que ativou o alarme. Este tipo de ligação necessita de quatro condutores, dois de saída e dois de retorno à central de deteção Fig. 3.6. Os detetores estão em constante monitorização e podem ser detetadas falhas, pré-almes e alarmes.

Existem dispositivos que podem ser inseridos na linha denominados por isoladores, que permitem abrir a linha em caso de existir um curto-circuito e permite que ambos os lados da linha permane-

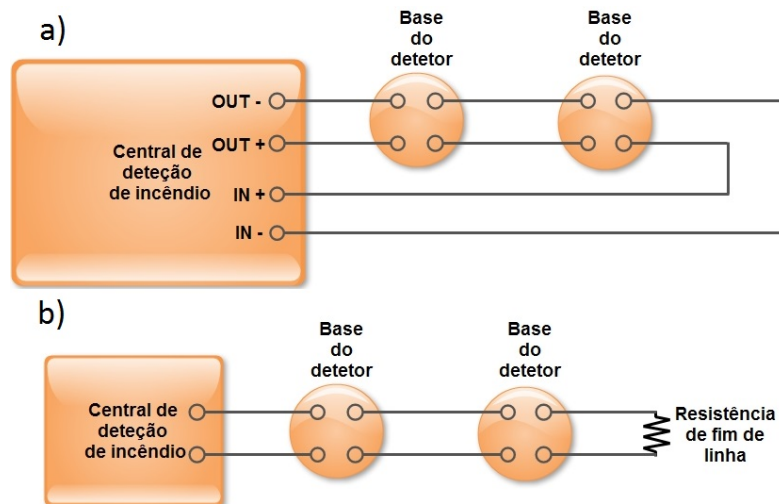


Figura 3.6: a) Exemplo de ligação de um *loop class B*. b) Exemplo de ligação de um *loop class A*.

çam ativos.

Este tipo de sistema é normalmente aplicado em instalações de grandes dimensões e/ou que necessitem de um número elevado de dispositivos.

3.2.2 Detetor de temperatura

Os detetores de temperatura atualmente são baseados em sensores onde a resistência elétrica varia com a temperatura. Os detetores de incêndio térmicos podem ter dois modos de operação: disparar um sinal de alarme assim que atingida uma dada temperatura tendo por isso o nome de termoeletrónico. O alarme pode ainda ser gerado se a taxa de incremento de temperatura ultrapassar um dado valor pré-definido. A maioria dos detetores existentes no mercado são detetores que utilizam termístores como sensor. Para evitar falsos alarmes alguns detetores têm dois termístores.

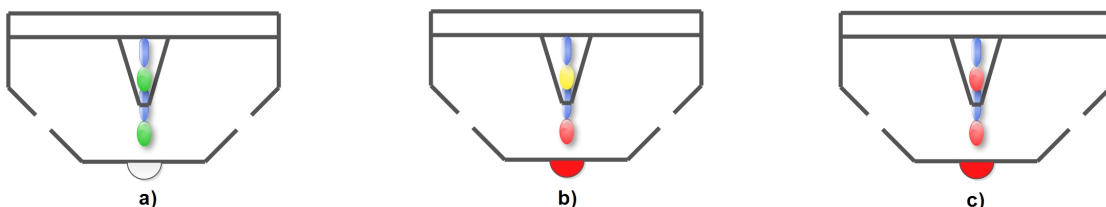


Figura 3.7: Corte transversal de um detetor de temperatura que utiliza dois termístores (adaptado de Apollo XP 95 [Apollo, 2013])

Na Fig.3.7 verifica-se em a) o pormenor de um detetor que utiliza dois termístores: um exposto à temperatura ambiente e outro encapsulado. Em b) representa o resultado de um incremento de temperatura rápido. Em c) ambos os sensores disparam o alarme como resultado de uma subida de temperatura mais lenta.

3.2.3 Detetor de fumo

Os detetores de fumo óticos são constituídos por uma fonte de luz que pode ser um laser ou um LED , a luz é detetada por um fotodetector (fotodíodo). Existem tipos diferentes de barreiras à passagem de luz Fig.3.8, as mesmas podem ser transmissivas ou repulsivas. As barreiras repulsivas podem ser de dois tipos: no primeiro tipo qualquer objeto que se coloque no percurso do feixe de luz reflete a luz para o detetor, no segundo tipo o percurso da luz é interrompido. Nos detetores com barreiras transmissivas a interrupção do feixe de luz faz com que haja um impulso no circuito de deteção.

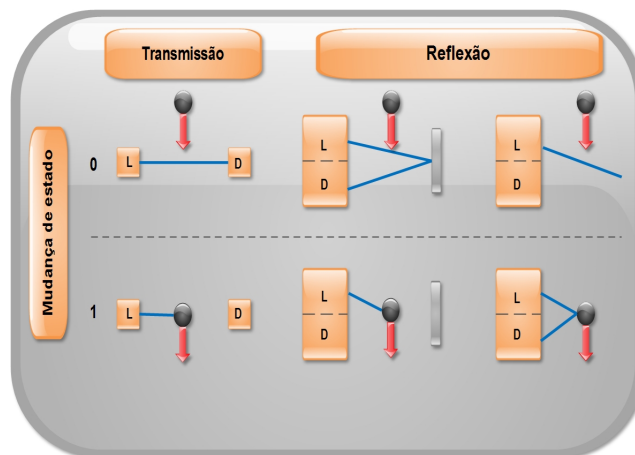


Figura 3.8: Tipos de aparato de deteção de fumo.

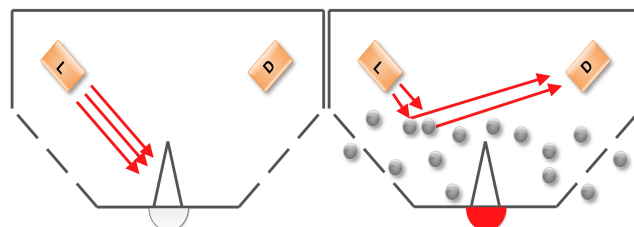


Figura 3.9: Esquema de um detetor de fumo com a câmara livre de partículas (esquerda), câmara com partículas de fumo (direita).

A figura Fig.3.9 representa a deflexão que o feixe de luz. A fonte de luz e o detetor formam um ângulo que pode variar entre os 90° e os 120°.

3.2.4 Normalização

Durante os últimos 60 anos têm sido desenvolvidas normas para que os SADI e outros instrumentos de combate ao incêndio e segurança em situação de emergência sejam uniformizados. Assim surgiu a EN 54 e todas as suas partes constituintes que especificam a metodologia de ensaio aos demais elementos de prevenção e combate ao incêndio. Em Portugal tem a designação de NP EN 54 (normativa portuguesa). Algumas das partes mais importantes estão resumidas na tabela Tab.3.2.

Tabela 3.2: Tabela de conteúdo da EN 54

EN 54			
Introdução	Parte 1	Diretrizes	Parte 14
Equipamentos de controlo e sinalização	Parte 2	Multi sensores	Parte 15
Sirenes	Parte 3	Centrais de voz	Parte 16
Equipamento de alimentação e energia	Parte 4	Isoladores	Parte 17
Detetores térmicos	Parte 5	Dispositivos entrada/saída	Parte 18
Detetores de fumo	Parte 7	Detetores de aspiração	Parte 20
Fogo- tipo	Parte 9	Equipamento de transmissão	Parte 21
Detetores de chama	Parte 10	Det. lineares de temperatura	Parte 23
Dispositivos manuais de alarme	Parte 11	Alarmes de voz	Parte 24
Detetores lineares-feixe ótico de luz	Parte 12	Sistemas via rádio	Parte 25
Compatibilidade de sistemas	Parte 13	Monóxido de Carbono	Parte 26

3.2.4.1 NP EN 54-5 Detetores térmicos

Esta norma destina-se a estabelecer as especificações, métodos de ensaio e critérios de atuação dos detetores térmicos [IPQ, 1990a]. Os detetores devem ser colocados na sua posição de funcionamento na câmara de ensaio. A temperatura ambiente inicial de ensaio é 25 ± 2 °C. De seguida deve haver um sistema que permita a elevação temperatura no interior do compartimento de ensaio. O aumento de temperatura aceitável pode ser de: 1°C/min, 3°C/min, 5°C/min, 10°C/min, 20°C/min, 30°C/min. A temperatura máxima a que o detetor deve estar sujeita é de 80°C, uma vez atingida esta temperatura, a câmara deve permanecer com este valor. Os tempos máximos de aceitação são definidos na tabela Tab.3.3. Os incrementos de temperatura são efetuados de minuto a minuto. A velocidade de incremento da temperatura do ar é o incremento de temperatura aceitável de se fazer

nesse intervalo de tempo. O limite inferior de tempo de resposta é o limite mínimo para o qual o tempo de resposta é aceite para cada ensaio.

Tabela 3.3: Velocidade de aceitação do incremento de temperatura

Velocidade de incremento de temperatura	Limite inferior de tempo de resposta		Limite superior do tempo de resposta					
			Todos os graus		Grau 1		Grau 2	
°C/min	min	s	min	s	min	s	min	s
1	29	0	37	20	45	40	54	0
3	7	13	12	40	15	40	18	40
5	4	9	7	44	9	40	11	36
10		30	4	2	5	10	6	18
20		22,5	2	11	2	55	3	37
30		15	1	34	2	08	2	42

3.2.4.2 NP EN 54-7 Detetores de fumo

A norma EN 54 - 7 fixa as especificações, métodos de ensaio e critérios de comportamento dos detetores de fumo [IPQ, 1990b]. A temperatura inicial da sala e câmara de ensaio deve ser de $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Deve ser medida a atenuação no interior da câmara provocada pela presença de fumo segundo a seguinte fórmula:

$$m \leq \frac{10}{d} \log_{10} \frac{P_0}{P} \text{ [dB/m]} \quad (3.3)$$

onde m é o coeficiente de atenuação, d é o comprimento do caminho ótico de medição do aerossol de ensaio, P_0 a potência de radiação na ausência do aerossol de ensaio e finalmente P é a potência de radiação recebida na presença do aerossol de ensaio.

3.2.4.3 NP EN 54-9 Fogos tipo

A norma EN 54 - 9 corresponde aos fogos tipo a realizar, para ensaiar detetores de fumo. Os detetores a ensaiar ao serem submetidos a este conjunto de fogos tipo, que são a maioria dos fogos que podem acontecer na prática, permite avaliar a sua sensibilidade. [IPQ, 1990c].

Tabela 3.4: Dimensões da câmara de ensaio

Dimensões da câmara de ensaio		
	minímo [m]	máximo [m]
Comprimento	9	11
Largura	6	8
Altura	3,8	4,2

Os fogos tipos podem ser caracterizados segundo a seguinte tabela:

Figura 3.10: Lista de fogos-tipo

Designação	Material	Caraterísticas				
		Libertação de calor	Corrente de ar ascensional	Emissão de fumos	Espetro dos aerósois	Parte visível
TF1	Fogo aberto celulósico (madeira)	Elevada	Elevada	Sim	Invisível	Escura
TF2	Fogo lento pirólise (madeira)	Desprezável	Fraca	Sim	Visível	Clara
TF3	Fogo lento com brasas (algodão)	Desprezável	Muito fraca	Sim	Invisível	Clara
TF4	Fogo aberto de materias plásticas (poliuretano)	Elevada	Elevada	Sim	Parcialmente Invisível	Muito escura
TF5	Fogo combustível líquido (n-heptano)	Elevada	Elevada	Sim	Invisível	Muito escura
TF6	Fogo de combustível líquido (álcool desnaturado)	Elevada	Elevada	Não	Não	Não

De cada ensaio devem ser guardadas os seguintes parâmetros:

Tabela 3.5: Parâmetros do fogo

Parâmetro	Símbolo	Unidade
Temperatura	T	°C
Densidade de fumo (ótica)	m	dB/m
Densidade de fumo (ionização)	y(*)	adimensional
Peso inicial	G_0	g
Perda de peso	ΔG	g
Tempo	t	s

$$(*)y = \frac{I_0}{I} - \frac{I}{I_0}$$

No âmbito desta dissertação não foram ensaiados detetores comerciais de ionização, logo esta medida (y) foi desprezada.

Após o preenchimento da tabela é possível traçar um retângulo, num sistema de eixos ordenados. Num dos eixos fica o ΔT , no outro m . Os valores de resposta dos detetores devem ficar dentro de um retângulo mais pequeno, e assim pode ser classificado como de classe A, se estiver contido dentro do retângulo intermédio pode ser classificado de classe B, se estiver contido dentro do retângulo maior é classificado como de classe C. Os valores de ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , m_1 , m_2 , m_3 são definidos consoante a temperatura à qual a central de detecção de incêndios dispara o sinal de alarme, e o valor de densidade óptica nesse instante, estes valores não são discriminados na norma. Os valores de limite são: $\Delta T_1=15^\circ\text{C}$, $\Delta T_2=30^\circ\text{C}$, $\Delta T_3=60^\circ\text{C}$, $m_1=0.5 \text{ dB/m}$, $m_2=1.0 \text{ dB/m}$, $m_3=2 \text{ dB/m}$.

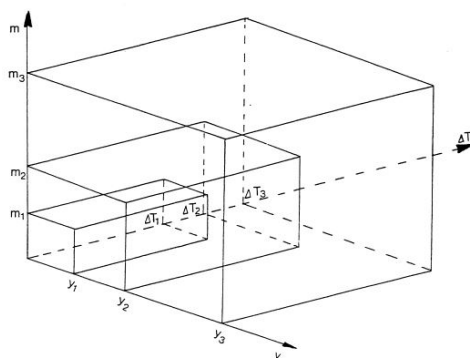


Figura 3.11: Classificação de detetores e fumo segundo EN 54-9

3.2.5 Protocolos de comunicação

Os fabricantes de SADI utilizam dois tipos de protocolos de comunicação: protocolos abertos e protocolos fechados.

As empresas que fabricam sistemas baseados em protocolos fechados oferecem uma gama completa de dispositivos painéis de controlo, detetores, botoneiras, sirenes, garantem que existe compatibilidade entre os dispositivos. Alguns exemplos de fabricantes que utilizam protocolos fechados: Bosch, UTC, Siemens.

Os fabricantes de dispositivos de protocolo aberto não produzem todos os componentes dos sistemas de incêndio, existem parcerias e cooperação entre os fabricantes de detetores de incêndio, centrais de incêndio. Os fabricantes dos detetores, botoneiras, isoladores, sirenes é que determinam o protocolo a utilizar, tendo os fabricantes de painéis de controlo adaptar e criar a compatibilidade

com os sistemas existentes. Assim existe um leque mais alargado de combinações. Alguns fabricantes que utilizam protocolos de comunicação aberto são: Apollo, Hochiki, Honeywell, Global Fire.

A implementação de SADI tem sempre um custo elevado por isso escolher os dispositivos mais acertados nem sempre é fácil. A longo prazo um sistema que utilize um protocolo aberto será sempre mais económico, em caso de ampliações da instalação ou substituição de equipamentos existem sempre mais garantias de que hajam dispositivos compatíveis e continuados. Por outro lado um sistema que utilize um protocolo fechado tem sempre mais garantias de harmonia no funcionamento.

4 Sistema de ensaio de detetores de incêndio

4.1 Arquitetura proposta

Para efetuar os ensaios foi necessário desenvolver e projetar uma câmara de testes resistente à temperatura Fig.4.1. A câmara desenvolvida possui algumas características especiais tais como: o controlo de entrada e saída de ar, a acessibilidade ao interior e que permita ainda o visionamento do que se passa no interior. Para a execução deste projeto foram tomadas como referência a Norma Portuguesa EN 54. Para monitorização das variáveis ambiente foram escolhidos diversos detetores, de modo a podermos verificar e comparar as condições em que os sensores de incêndio comerciais operam. Foi utilizado um microcontrolador para que fosse possível o controlo de temperatura no interior da caixa de testes, assim como para receber os dados dos sensores espalhados no interior da mesma. Para haver monitorização dos sensores de incêndio comerciais, foi necessário adquirir uma central de incêndio endereçável. O elemento de aquecimento escolhido foi um aquecedor de duas varetas de 1800 W.

A câmara de ensaios foi pensada segundo a norma EN54 - parte 9, mas reduzida numa escala de 1:10 tem as seguintes dimensões: comprimento: 900mm, largura: 600mm, altura: 500mm

O material de construção escolhido foi o inox 316. O inox é uma liga que não é afetada pela corrosão, não é bom condutor de eletricidade e é não magnetizável. As chapas possuem 2mm de espessura o que por si confere uma resistência elevada a aumentos de temperatura. As chapas, laterais e superior, foram almofadadas o que lhes confere uma resistência extra a variações de temperatura.

A caixa possui 2 portas sendo uma delas totalmente em inox. A outra porta possui uma abertura para encaixar um vidro. O vidro tem as seguintes dimensões: comprimento 310mm, largura 300mm. O vidro é temperado tem uma resistência ao choque superior ao vidro normal e pode suportar temperaturas até 200°C.

Para que haja circulação de ar no interior da caixa e seja possível controlar o seu fluxo, foram adicionadas dois tubos com um diâmetro de 90mm, com uma borboleta: uma para controlar a entrada de ar, outra para controlar a saída.

Existe uma saída que consiste numa união de 1/2 polegada que permite acoplar um tubo de dreno, para análise dos gases de combustão.

A cablagem necessária entra para o interior da caixa de testes através de buçins metálicos.



Figure 4.1: Câmara de ensaios.

4.2 Detetores a ensaiar



Apollo XP95 H GFE Zeos AD H Hochiki ESP ACB-E UTC DT2063

Figura 4.2: Conjunto de detetores térmicos.



Apollo XP95 S GFE Zeos AD S Hochiki ESP ALG-EN UTC 2061N

Figura 4.3: Conjunto de detetores de fumo óticos.



Apollo XP95 SH GFE Zeos AD SH Hochiki ESP ACA-E

Figura 4.4: Conjunto de detetores multi-sensor ótico e térmico.

Como o objetivo da dissertação não é criar um *ranking* de detetores ou de marcas de sistemas de deteção, mas sim analisar apenas o seu desempenho quando sujeitos a condições de incêndio, resolveu-se criar uma grelha interna de codificação aleatória e assim os detetores ensaiados passam a ser chamados por Tab.4.1 :

Tabela 4.1: Codificação de detetores

Térmicos	Óticos	Multi-sensor
DT-1	DO-1	DM-1
DT-2	DO-2	DM-2
DT-3	DO-3	DM-3
DT-4	DO-4	

4.3 Montagem experimental de ensaio de temperatura

O primeiro setup experimental idealizado para incrementar a temperatura no interior da caixa de testes passou por utilizar um microcontrolador Arduino, um circuito de comutação e um aquecedor de varetas de 1800 W. No interior da caixa de ensaios foram ainda distribuídos 5 termístores em

pontos distintos de forma a extrair a temperatura e poder traçar um perfil da evolução de temperatura. Um dos termístores vai ser usado como referência e vai ser colocado junto do detetor a ser ensaiado.

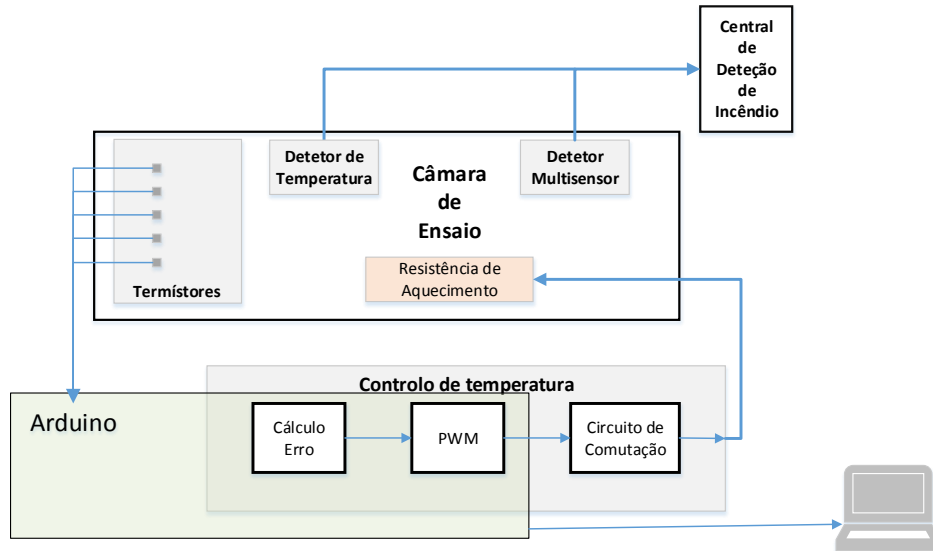


Figura 4.5: Arquitetura do sistema para ensaio de temperatura.

4.4 Circuito de comutação

Para ligar e desligar a resistência de aquecimento foi implementado o circuito da figura Fig.4.7.

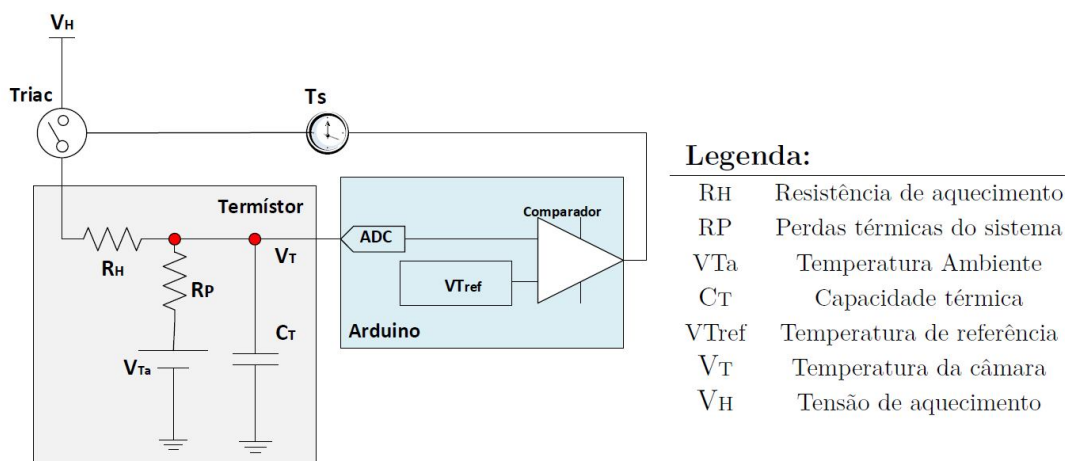


Figura 4.6: Analogia elétrica ao sistema de controlo de temperatura da câmara de ensaios.

A temperatura junto ao detetor foi aferida com um termistor. De seguida a temperatura era comparada com a temperatura de referência. Caso a temperatura lida fosse igual à temperatura de referência, o erro era zero e a saída do PWM era zero. O triac permanecia ao corte. Havendo um diferencial de temperatura a saída de PWM era 1. O triac entrava em condução, a resistência de aquecimento aquecia a câmara até anular o erro. Caso a temperatura fosse superior, a resistência era desligada. Esta comparação era feita de segundo a segundo.

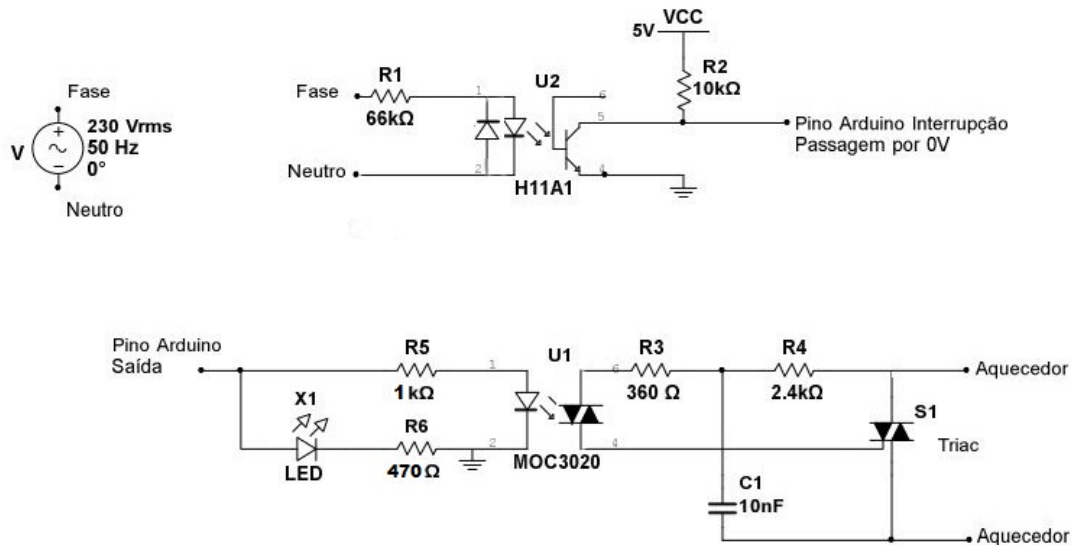


Figura 4.7: Circuito de controlo de aquecimento das resistências.

O *triac* BT139X¹ pode ser disparado quer por uma corrente positiva, quer por uma corrente negativa, aplicada no terminal da (*gate*). Quando o *triac* entra em condução permanece nesse estado até que a corrente elétrica atinja a corrente de corte, ou seja 0. Para o *triac* ser ativado corretamente é necessário sincronizar o disparo com a forma de onda da corrente elétrica. Para isso é necessário um circuito de deteção da passagem da onda sinusoidal por zero volts (*Zero Cross Detect*), para tal é necessário o componente H11AA1². A passagem por zero detetada, faz disparar uma interrupção no microcontrolador *Arduino*, é associada a uma passagem por 0V da onda sinusoidal. Isto permite calcular a quantidade de energia fornecida ao aquecedor. Esta interrupção tem uma frequência de 100Hz (2 zero-cross por período). O atraso do pulso gerado na *gate* relativamente à última interrupção define assim o tempo em que o aquecedor está ativo.

¹Triac BT139X. Mais informação em <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/philips/BT139X-800F.pdf>

²Optoacoplador com isolamento ótico. Mais informação em : <http://www.vishay.com/docs/83608/h11aa1.pdf>

4.5 Localização

Para serem localizados os termístores utilizados foi convencionado um sistema de eixos (x, y, z). As coordenadas (em mm) dos vértices da câmara são os seguintes:

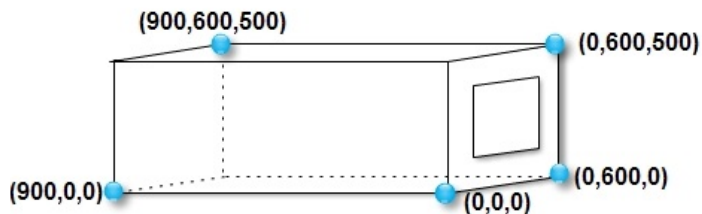


Figura 4.8: Coordenadas 3D da câmara de ensaio.

Os termístores foram espalhados na câmara de ensaio na seguinte localização:

Tabela 4.2: Localização dos termístores e detetor de incêndio.

Tipo	Localização (em mm)		
	x	y	z
Termístor 1 (referência)	400	300	400
Termístor 2	440	100	100
Termístor 3	440	300	480
Termístor 4	440	100	440
Termístor 5	400	400	400
Detetor (a ensaiar)	400	300	450

4.6 Metodologia de ensaio de temperatura

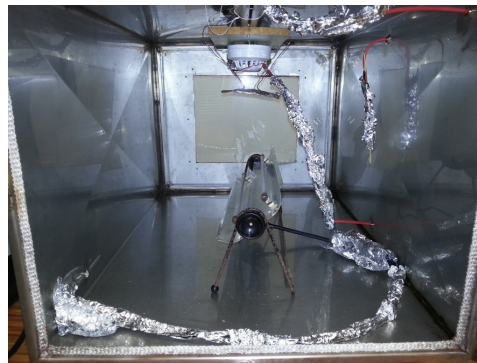


Figura 4.9: Aparato para realizar ensaios de temperatura.

Foi montado o aparato da figura Fig.4.9. O aquecedor foi colocado com uma inclinação de aproximadamente 45° para que a radiação não seja direta para o detetor, assim o aquecimento faz-se por correntes de convecção. O detetor está protegido com um disco de folha de alumínio a cerca de 100mm do detetor o que impede que o calor deforme o detetor a ensaiar. As condições iniciais da câmara de ensaio foram uma temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. As temperaturas aumentavam de 60s em 60s com incrementos de $1^\circ\text{C}/\text{min}$, $3^\circ\text{C}/\text{min}$, $5^\circ\text{C}/\text{min}$, $10^\circ\text{C}/\text{min}$, $20^\circ\text{C}/\text{min}$, $30^\circ\text{C}/\text{min}$.

Para ter uma noção do que se passava dentro da câmara de combustão, e da evolução do ensaio, foi desenvolvido um *software* em *Matlab*. Este permitia: dar início ao ensaio, verificar o tempo de ensaio, o valor do PWM, a temperatura atual, a temperatura desejada. Por segurança foram ainda adicionados dois controlos que impediam que a temperatura ultrapassasse um valor e o ensaio era interrompido. Existia também um limite temporal que podia ser ajustado. A escala de temperatura e tempo era ajustada assim que o ensaio iniciava. Para verificar a evolução temporal de temperatura existia uma zona onde era feito o gráfico de temperatura. Todos os dados eram enviados para um ficheiro (.csv). A central de incêndios estava ativa durante o ensaio. Assim que fosse dado o sinal de alarme de incêndio da central, o ensaio era interrompido.

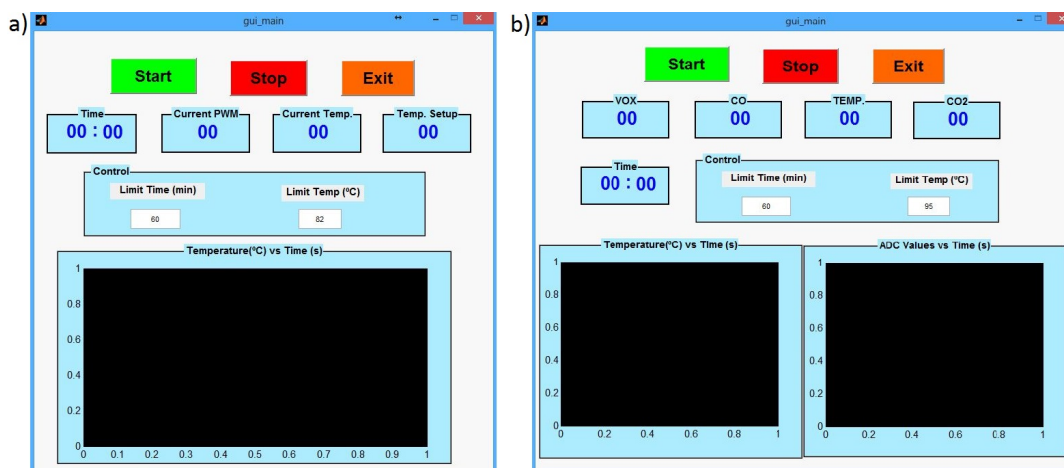


Figura 4.10: a) Software de controlo e monitorização de temperatura, para ensaios aos detetores térmicos e multi-sensor.

b) Software de monitorização dos ensaios aos detetores de fumo e multi-sensor.

4.7 Metodologia de ensaio aos detetores de fumo

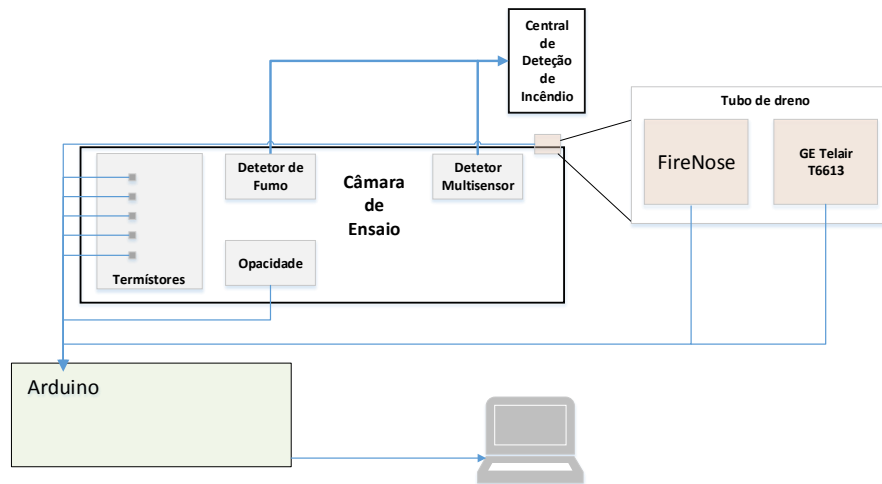


Figura 4.11: Arquitetura para os ensaios de fumo.

Para realizar os ensaios aos detetores de fumo foi necessário adaptar e instrumentar a câmara de ensaios ver Fig.4.1. Foram mantidos os cinco termístores dentro da câmara. Toda a cablagem foi envolvida em folha de alumínio para aumentar a resistência ao fogo. Foi colocado um tubo de ensaio que permitia a saída do fumo resultante do processo de combustão para o exterior. Para ajudar ao processo de extração de fumo colocaram-se duas ventoinhas: uma na entrada para fazer o ar circular, e outra na saída para aspirar o fumo.

Tiveram ainda de ser feitas alterações à câmara inicial, nomeadamente aumentar o diâmetro do tubo para entrada de ar e para saída de fumo. Foi ainda colocado um sistema de borboleta o que permite controlar o fluxo de entrada e saída de gases. O tubo tem aproximadamente 200mm.

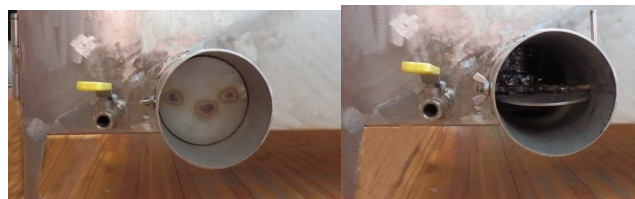


Figura 4.12: Tubo de entrada de ar e borboleta (aberto e fechado).

Existe um tubo dreno que serve para análise aos gases. Trata-se de um tubo quadrado ao qual foi aplicado um sensor comercial da GE Telair T6613 e um multi-sensor constituído por três sensores

de óxidos metálicos (TGS 2620 - Solvent Vapors, TGS 2442 - Carbon Monoxide, TGS 4161 - Carbon Dioxide), um led, um fotodíodo e ainda um termístor. Para aspirar o ar e o fazer circular o fumo pelo dreno foi utilizada uma ventoinha (40 x 40 mm).

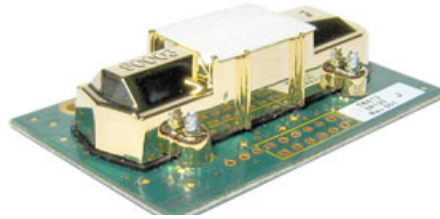


Figura 4.13: Sensor GE Telair T6613

Para medir a opacidade foi realizada uma montagem constituída por um laser e um fotodíodo BPW34. Numa das extremidades de um tubo perfurado estava o laser, na outra extremidade o fotodíodo.

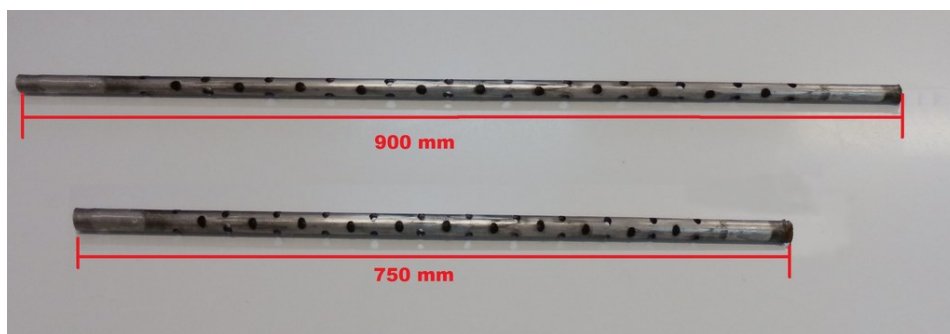


Figura 4.14: Tubo perfurado para medição da opacidade.

O fotodíodo funciona como amplificador de transimpedância (ver figura Fig.4.15). O valor de R_f utilizado foi de $100\text{k}\Omega$, e neste caso a corrente proveniente do fotodíodo é amplificada 100 mil vezes.

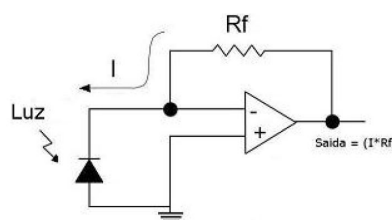


Figura 4.15: Amplificador de transimpedância.

Foi adaptado o *software Matlab* desenvolvido permitia a monitorização e evolução das diferentes variáveis (temperatura, monóxido de carbono, dióxido de carbono).

A norma EN 54-9 define uma lista de seis fogos-tipo, foram escolhidos três para realizar os ensaios respetivamente o fogo-tipo 1 (madeira), fogo-tipo 3 (algodão), fogo-tipo 4 (materiais plásticos - poliuretano).

Uma vez que as dimensões da câmara de ensaios são reduzidas as quantidades de material de combustão tiveram de ser reduzidas. Assim para realizar os ensaios de madeira foram utilizados 8g de madeira, 2g de acendalha, 1ml de álcool etílico (96%/vol), colocados numa taça de inox e posteriormente a ignição era dada por um isqueiro de cozinha. Para os ensaios de algodão foram utilizados 3 torcidas de fio de filaça na sua maioria constituído por fios de algodão. Cada torcida tinha 3g e 200mm de comprimento. As torcidas foram suspensas num arame com 100mm de diâmetro. Para ensaios à foram usadas 3g espuma em cada ensaio e adicionado 1ml álcool para ajudar a ignição.



Figura 4.16: Material utilizado nos ensaios aos detetores de fumo

A norma EN 54-9 para o ensaio de TF1 especifica uma densidade ótica de fim de ensaio de 2 dB/m. Para o ensaio TF3 a densidade de fim de ensaio é de 2dB/m. Para o ensaio TF4 a densidade de fim de ensaio é de 0.6 dB/m.



Figura 4.17: Preparação dos materiais(madeira, algodão, espuma) para o ensaio.

Os valores recolhidos de m e ΔT devem ser representados num sistema de coordenadas ($m(\text{dB/m})$, ΔT). Após o preenchimento da tabela Tab.3.5, os valores de $\Delta T_1=15^\circ\text{C}$, $\Delta T_2=30^\circ\text{C}$,

$\Delta T_3=60^\circ\text{C}$, $m_1=0.5$ dB/m, $m_2=1.0$ dB/m, $m_3=2$ dB/m. Os detetores podem ser classificados em classe A, B ou C se com os valores obtidos puderem ficar dentro dos intervalos definidos.

4.8 Multi-sensor (FireNose)

A placa desenvolvida tem como base 3 sensores da *Figaro* TGS 2620 - Solvent Vapors, TGS 2442 - Carbon Monoxide, TGS 4161 - Carbon Dioxide . O led escolhido tem as seguintes particularidades: um ângulo de abertura estreito (6°), a cor é o azul (430nm-500nm). O ângulo de abertura estreito permite que o feixe seja direcionado, de modo a evitar reflexões nas paredes tubo metálico. A cor azul foi escolhida porque a maioria das partículas libertadas durante o processo de combustão têm dimensões compreendidas entre os 400nm e os 500nm. O LED e fotodíodo não vão estar a incidir diretamente. Após a análise da geometria utilizada em diferentes detetores comerciais de fumo óticos, verificou-se que a totalidade possuem uma câmara por onde o fumo circula e a luz só chega ao detetor por multiplas reflexões e é este aspeto que se pretende replicar. O elemento sensível à temperatura é um termístor de $10\text{k}\Omega$. A placa contém um microcontrolador *ATMEGA 88*, que tem por objetivo fazer o processamento das leituras dos sensores. Existe ainda uma saída de PWM para controlo de uma ventoinha para aspiração.

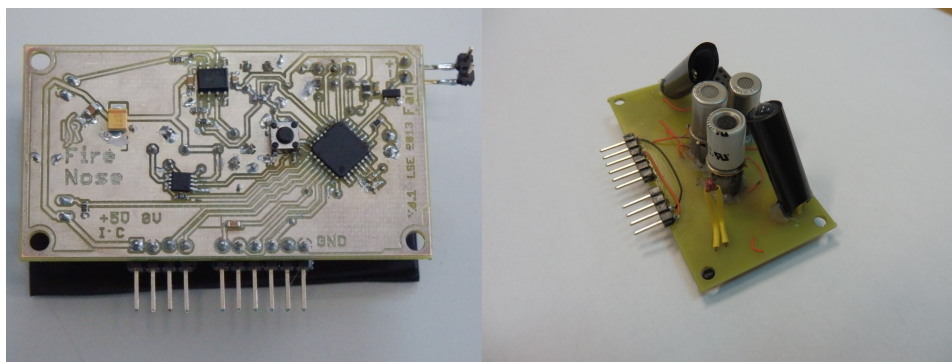


Figura 4.18: Multi-sensor desenvolvido FireNose

A placa depois foi inserida num tubo de dreno.

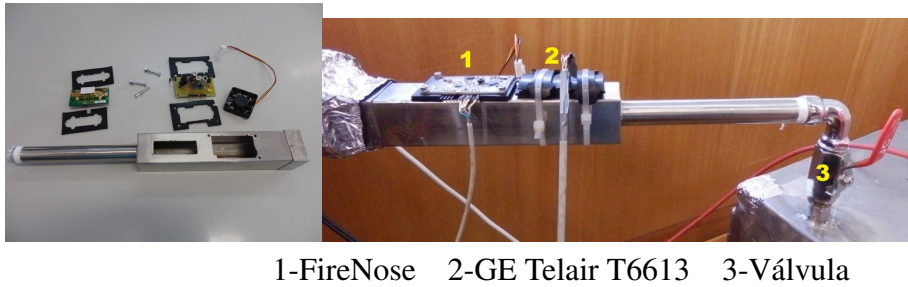


Figura 4.19: Tubo de dreno para análise aos gases resultantes do processo de combustão.

4.9 Software de comunicação

Foi desenvolvido *software* com a ideia de uma arquitetura *master - slave* assim o multi-sensor seria o *slave* e envia os dados para outro microcontrolador (*Arduino Mega*). O (*Arduino Mega*) era o nó *master*. Foram utilizados dois protocolos de comunicação baseados em Uart e I²C. A comunicação I²C permitia a atribuição de endereços a cada dispositivo e assim facilmente um nó *master* poderia fazer o varrimento sequencial de uma lista de endereços (placas) e receber as leituras dos sensores de cada dispositivo. Acabou por ser decidida a utilização de comunicação por Uart. Os dados eram enviados para o (*Arduino Mega*) e neste eram adicionadas as leituras dos termístores da câmara de deteção, as leituras do fotodíodos e ainda a leitura do sensor GE T6613. Os dados de cada leitura foram enviados para o PC via porta série e adquiridos no *Matlab*. Para isso foi desenvolvida uma interface de utilizador com recurso ao *Guide*. Foi adicionada a possibilidade de gravar os dados em ficheiros separados por vírgulas (.csv).

O formato da mensagem de dados do FireNose para o *Arduino* era o seguinte:

```
:RAW r1 r2 r3 r4 r5;
```

onde r1...r5 são as leituras dos sensores Tgs2620, Tgs2441, termístor, Tgs4161 e ainda a leitura do fotodíodo. Os dados eram depois enviados em conjunto com as leituras de temperatura dos termístores dentro da camara de ensaio, e as leituras de opacidade e enviados e uma vez só para o *Matlab* com o seguinte formato:

```
A0=r0;A1=r1;A2=r2;A3=r3;A4=r4;A5=r5;A6=r6;A7=r7;VO=r8;CO=r9;TH=r10;PH=r11;CT=r12;M=r13
```

r0..r4, são leituras dos termístores, r5 e r6 leitura da opacidade dentro da câmara de ensaio, r7 a leitura do sensor GE Telair T6613, r8 a r12 leituras enviadas pelo FireNose e por último r13

é o tempo em segundos. A comunicação é UDP, pelo que não há garantias da chegada do pacote ao destino, e por isso podem ser perdidas algumas medidas. As leituras são enviadas de segundo a segundo para o *Matlab* e o *baudrate* utilizado foi 57600 [bit/s].

4.10 Redes neuronais (classificação de fogos)

Na biologia existem sistemas nervosos, constituídas por neurónios e sinapses, que foram a inspiração para o desenvolvimento de um algoritmo de processamento paralelo [Haykin, 1998]. Existem vários tipos de arquiteturas de ANN, mas a base comum é a utilização de conhecimento adquirido e com isso adaptar-se de modo a melhorar a qualidade do resultado. No caso da identificação de um tipo de material que esteja em combustão, as redes neuronais permitem a construção de mapeamentos diretos entre o espaço não-linear de sensores de gás, temperaturas, opacidade e o espaço da concentração de gases, fumo e também variações de temperatura.

As redes neuronais são constituídas por neurónios e a interligação entre eles é formada por sinapses. As sinapses são ligações multiplicativas cujo peso é ajustado no processo de aprendizagem (treino) da rede.

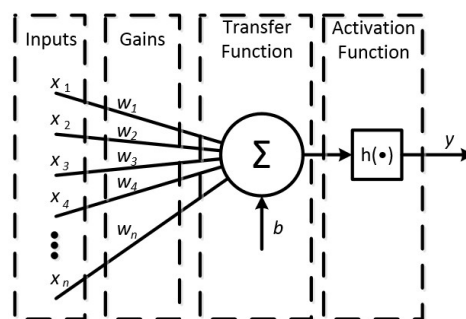


Figura 4.20: Processamento de informação num neurónio de uma rede neuronal artificial.

Na figura Fig.4.20, cada neurónio efetua sequencialmente dois tipos de operações:

- primeiro o produto escalar entre o vetor de entrada x do neurónio e o vetor w corresponde ao peso de cada sinapse: $w^T \cdot x$ (soma das entradas de cada sinapse multiplicadas pelo peso respetivo).
- o resultado da soma entra como parâmetro de uma função de ativação cujo resultado pode ser contínuo ou discreto conforme o tipo de função de ativação assim será a saída $y(x)$ do neurónio.

$$y(x) = h(w^T \cdot x + b) \quad (4.1)$$

o peso de w_0 permite adicionar uma constante ao resultado to produto escalar.

Na abordagem utilizada x_1, \dots, x_n , são exatamente os valores de $x_1 = \text{termistor1}$, $x_2 = \text{termistor2}$, $x_3 = \text{termistor3}$, $x_4 = \text{termistor4}$, $x_5 = \text{termistor5}$, $x_6 = \text{GE Telair T6613}$, $x_7 = \text{TGS2620}$, $x_8 = \text{TGS4161}$, $x_9 = \text{TGS2442}$, $x_{10} = \text{Opacidade}$. Os termístores dão valores já convertidos em °C e os restantes sensores valores analógicos 10bits.

5 Resultados

Após a realização dos ensaios foram então preenchidas tabelas com os resultados dos ensaios.

5.1 Resultados dos ensaios de temperatura

Depois de efetuados os ensaios aos detetores térmicos e multi-sensor, segundo a norma EN 54-5, foi possível resumir os resultados dos ensaios sob a forma de tabela. As tabelas que resumem os ensaios a cada detetor são:

Tabela 5.1: Ensaio ao detetor DT-1

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura [°C]	Grau
	° C/min	min		
1	34	16	57,49	1
3	16	15	70,32	3
5	13	56	78	-
10	5	53	68,38	3
20	4	55	73,05	-
30	2	51	63,4	-

Tabela 5.2: Ensaio detetor DT-2

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura [°C]	Grau
	° C/min	min		
1	42	01	65,65	2
3	14	45	65,53	2
5	9	35	65,06	2
10	4	25	63,92	2
20	3	25	56,41	3
30	2	13	53,81	3

Tabela 5.3: Ensaio detetor DT-3

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura (°C)	Grau
	° C/min	min		
1	40	05	63,59	2
3	15	13	65,54	2
5	10	32	71,28	3
10	6	42	76,53	-
20	8	01	75,64	-
30	7	35	70,99	-

Tabela 5.4: Ensaio detetor DT-4

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura (°C)	Grau
	° C/min	min		
1	33	03	56,95	1
3	13	08	60,82	2
5	8	18	63,29	2
10	5	20	60,88	3
20	4	01	70,24	-
30	3	05	61	-

Tabela 5.5: Ensaio detetor DM-1

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura (°C)	Grau
	° C/min	min		
1	-	-	80	-
3	19	25	78,38	-
5	8	23	59	3
10	4	00	54,31	2
20	3	31	62,53	-
30	3	08	57,71	-

Tabela 5.6: Ensaio detetor DM-2

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura [°C]	Grau
	min	s		
° C/min				
1	31	03	55	1
3	8	20	47,74	1
5	5	26	47,53	1
10	4	23	56,88	-
20	4	53	54,74	-
30	3	28	52,61	-

Tabela 5.7: Ensaio detetor DM-3

Velocidade de aceitação da temperatura do ar	Tempo de resposta		Temperatura [°C]	Grau
	min	s		
° C/min				
1	55	03	78,34	-
3	44	40	81,3	-
5	29	50	80,94	-
10	29	50	80,94	-
20	3	25	56,41	-
30	2	13	53,81	-

5.2 Resultados dos ensaios aos detetores de fumo

Para análise ao desempenho dos detetores de fumo e multidetetores foram realizados 105 ensaios (5 para cada detetor). As condições iniciais foram as mesmas a temperatura ambiente foi mantida constante a 25°C com a ajuda do ar condicionado. Após a realização de cada ensaio foram ligadas ventoinhas durante cerca de 10 minutos de modo a que o fumo ainda existente na camara de ensaio fosse extraído.

Para simplificar a apresentação de dados calculei a média de tempo de resposta das centrais de incêndio para cada fogo-tipo.

Onde:

- ΔT é a variação de temperatura entre a temperatura a que a CDI disparou o sinal de alarme e a temperatura ambiente (°C).
- m_a é a atenuação do feixe de luz pela presença de fumo (dB/m).

- ΔG é a diferença entre a massa de material combustível utilizado no ensaio e a massa final resultante do processo de combustão.

Para calcular a atenuação foram necessárias as seguintes fórmulas:

$$V = \frac{\text{valorADC} \times 5}{1023} [V] \quad (5.1)$$

$$I_{rad} = \frac{\text{Potência}}{\text{área}} [W/m^2] \quad (5.2)$$

Onde V (equação: 5.1) é a tensão medida no ADC em volts, e I_{rad} (equação: 5.2) é a intensidade de radiação.

Tabela 5.8: Ensaio detetores fumo - Fogo Tipo 1 - madeira

Marca/modelo	ΔT [°C]	m_a [dB/m]	ΔG [g]	Tempo [s]	Valor Analógico	Temperatura máxima [°C]
DO-3	17,49	0,96	2	297	67	67,5
DM-3	14,82	0,41	1	155	61	53,6
DO-1	15,49	0,35	2	131	73	43,6
DM-1	19,95	0,68	1	158	62	43,07
DO-2	29,5	1,78	1	424	62	52,31
DM-2	14,1	0,40	2	327	64	45,33
DO-4	21	1,83	1	259	110	56,8

Tabela 5.9: Ensaio detetores fumo - Fogo Tipo 3 Algodão

Marca/modelo	ΔT [°C]	m_a [dB/m]	ΔG [g]	Tempo [s]	Valor Analógico	Temperatura máxima
DO-3	4,6	0,34	<<1g	313	63	34,24
DM-3	7,85	0,73	<<1g	611	62	34,14
DO-1	4	0,18	<<1g	221	94	30,69
DM-1	6,26	0,95	<<1g	267	55	47,04
DO-2	6,0	0,98	<<1g	347	104	29,89
DM-2	7,8	1,64	<<1g	656	66	33,56
DO-4	6,6	0,77	<<1g	374	118	31,49

Tabela 5.10: Ensaio detetores fumo - Fogo-Tipo 4 (materiais plásticos - poliuretano).

Marca/modelo	$\Delta T [^{\circ}C]$	$m_a [dB/m]$	$\Delta G [g]$	Tempo [s]	Valor Analógico	Temperatura máxima
DO-3	17,4	0,24	$\ll 1g$	52	110	81,7
DM-3	18,17	0,49	$\ll 1g$	53	116	62,88
DO-1	17,51	0,40	$\ll 1g$	64	127	47,03
DM-1	20,5	0,57	$\ll 1g$	87	81	48,46
DO-2	31,6	1,51	$\ll 1g$	129	62	61,12
DM-2	21,9	0,68	$\ll 1g$	349	73	46,25
DO-4	21,4	0,80	$\ll 1g$	56	65	63

Tabela 5.11: Quadro de capacidade dos detetores, segundo a EN 54-7 e a EN 54-9

Fogo tipo	Classe A	Classe B	Classe C
TF 1	DM-3, DO-1, DM-2	DO-3, DM-1	DO-2, DO-4
TF 3	DO-3, DO-1	DM-1, DO-2, DO-4	DM-3, DM-2
TF 4	DO-3, DM-3, DO-1	DM-1, DM-2, DO-4	DO-2

5.3 Resultado de aplicação da rede neuronal

Para o treino e validação da rede neuronal foram utilizados os resultados de 105 ensaios aos detetores de fumo. Foram recolhidos dados dos sensores que constituem o *FireNose* e dos sensores dispersos pela câmara de ensaio. Foram utilizados os dados dos cinco termístores existentes na câmara, opacidade, sensor Ge Telair T6613, Tgs2630, Tgs2442, Tgs4161. Os resultados foram ainda separados pelo tipo de material (classe) que estava em combustão (madeira, algodão, espuma). Os restantes resultados foram suprimidos porque não tinham significado.

Foi utilizada a *Toolbox Matlab* de redes neuronais [Beale et al., 2012], do conjunto total de ensaios foram utilizados para treino 86% (90 ensaios) e para validação 14% (15 ensaios). Os ensaios de validação são constituídos por 5 ensaios de madeira, 5 de algodão e 5 de espuma, num total de 15034 amostras. Os ensaios de treino eram constituídos por 76864 amostras.

Foi escolhido a *Neuronal Network Pattern Recognition Tool*, de seguida dos 90 ensaios para treino a *toolbox* parte automaticamente 70% das amostras para treino, 15% para validação e 15% para teste, foram utilizados 10 neurónios na camada escondida (o Matlab faz isto por *default*). Os algoritmos utilizados pela *toolbox* foram: *random*, para a divisão de dados, *scaled conjugate gradient* para treino, *mean squared error* para *performance*, para derivar foi a configuração *default*. O resultado de saída do treino foi o seguinte:

Training Confusion Matrix					Validation Confusion Matrix					Test Confusion Matrix				
Output Class	Target Class			Accuracy	Output Class	Target Class			Accuracy	Output Class	Target Class			Accuracy
	1	2	3			1	2	3			1	2	3	
1	18648 35.7%	287 0.5%	210 0.4%	97.4% 2.6%	1	4090 36.5%	51 0.5%	43 0.4%	97.8% 2.2%	1	4012 35.9%	67 0.6%	45 0.4%	97.3% 2.7%
2	172 0.3%	19847 38.0%	55 0.1%	98.9% 1.1%	2	37 0.3%	4237 37.9%	11 0.1%	98.9% 1.1%	2	32 0.3%	4236 37.9%	17 0.2%	98.9% 1.1%
3	119 0.2%	414 0.8%	12474 23.9%	95.9% 4.1%	3	29 0.3%	102 0.9%	2591 23.2%	95.2% 4.8%	3	29 0.3%	89 0.8%	2664 23.8%	95.8% 4.2%
	98.5% 1.5%	96.6% 3.4%	97.9% 2.1%	97.6% 2.4%		98.4% 1.6%	96.5% 3.5%	98.0% 2.0%	97.6% 2.4%		98.5% 1.5%	96.4% 3.6%	97.7% 2.3%	97.5% 2.5%

Figura 5.1: Resultado do treino da rede neuronal para classificação do tipo de material.

De seguida e utilizando os dados do treino foram testados o conjunto dos dados para teste, tendo obtido os seguintes resultados:

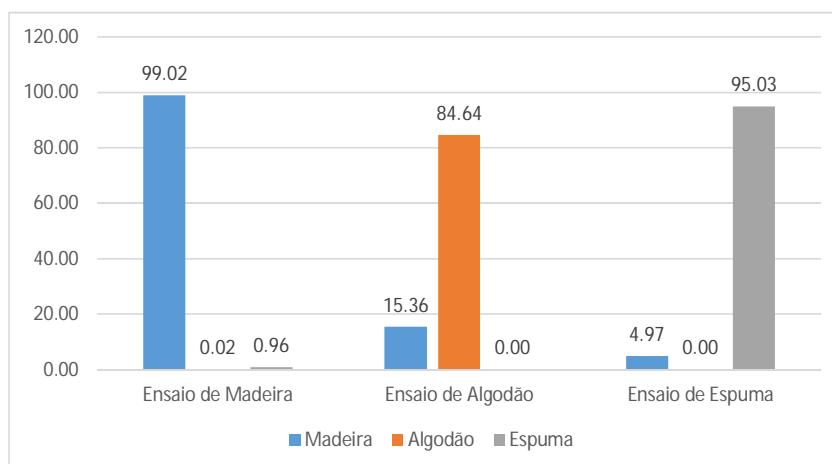


Figura 5.2: Resultado da rede neuronal com os dados para teste.

A percentagem de acerto foi de 92.7%.

Notar que os dados de tempo não entraram depois para a realização quer do treino, quer de teste e que nos 30s iniciais não tinha havido qualquer tipo de ignição nos ensaios. As amostras para treino são as mesmas 76864, a divisão feita foi a mesma 70% para treino, 15% para validação, 15% para teste.

Durante o treino da rede, foi obtido:

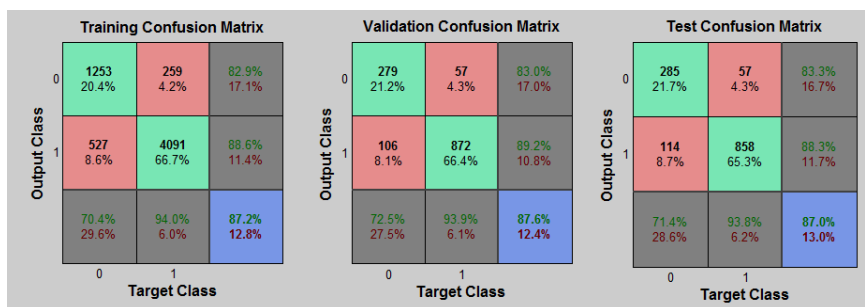


Figura 5.3: Resultado da rede para identificação da existência ou não de fogo.

Depois foi usado um conjunto de 15 ensaios para teste da rede, estes dados não foram utilizados no treino num total de 8758 amostras.

Tendo-se obtido:

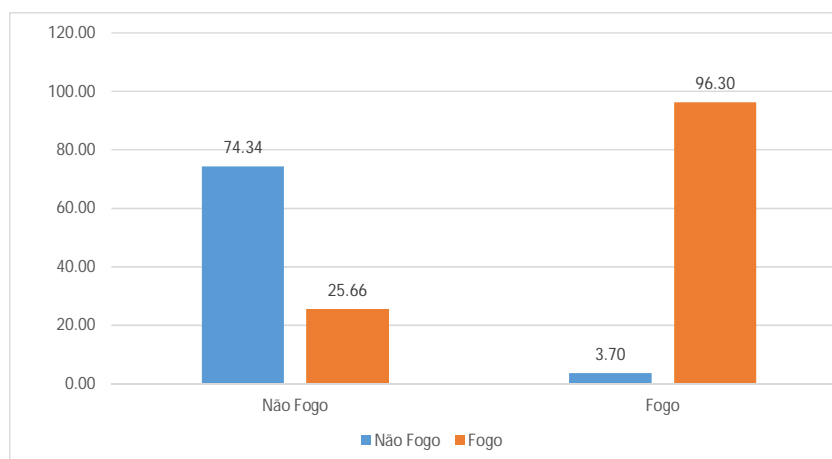


Figura 5.4: Resultado da rede após utilizar os dados de teste.

A percentagem de acerto foi de 89.7%.

5.4 Discussão dos resultados

Podemos classificar o detetor térmico segundo o grau pela maioria dos graus obtidos nos ensaios assim o DT-4 como de grau 2, bem como o DT-3, o DM-2 pode ser classificado de grau 1, o DT-1

de grau 3. Nos restantes não se pode obter classificação pois os tempos de resposta ultrapassaram o limite máximo admitido. A temperatura de alarme não foi sempre a mesma, dependia do incremento efetuado, ao qual o detetor estava sujeito. Isto deve-se ao facto das centrais interpretarem o valor lido pelo detetor em função da derivada de aumento de temperatura ($\Delta T / \Delta t$).

De um modo geral foi possível verificar que os detetores multi-sensor (óptico e térmico) não funcionam tão bem como os detetores térmicos quando expostos a fontes de calor.

O controlador e circuito implementado são robustos e permitem realizar o incremento de temperatura como era pretendido.

A orientação do aquecedor (45°) foi escolhida de modo a garantir a integridade dos detetores que estavam a ser ensaiados, assim como foi necessário aplicar um disco intermédio com 120mm de diâmetro entre o detetor e o aquecedor, de modo a que o calor emitido pelo aquecedor não fosse direto. O aquecimento do ar interior é assim feito por correntes de convecção e não por radiação direta, o que pode causar algum atraso no aumento de temperatura junto do detetor. O tempo de aquisição de leituras dos sensores utilizado 1s é suficiente dado o tempo de resposta do sistema. Algumas leituras de temperatura apresentam algum ruído, mas devido a ser um erro não sistemático não foi possível encontrar a fonte de erro. A temperatura inicial embora esteja dentro dos limites aceitáveis ($25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) não foi constante. Entre os ensaios a câmara era ventilada de modo a arrefecer o interior com as duas portas abertas, o intervalo durava cerca de 15 min e por vezes esse intervalo não foi suficiente. Devido à morosidade dos ensaios e ao seu número foi o tempo possível despendido. Na análise aos resultados dos ensaios de temperatura podemos verificar que para incrementos de $20^\circ\text{C}/\text{min}$ e $30^\circ\text{C}/\text{min}$ o sistema não consegue acompanhar o pretendido. Uma vez que já existia um consumo de 8A por parte das resistências de aquecimento, a inclusão de resistências adicionais colocava em causa a instalação elétrica e o próprio circuito de comutação.

A classificação dos detetores de fumo pode ser feita sem problema. A classificação classe A, B ou C nos ensaios não indica que o detetor não seja capaz de detetar uma fonte de fumo, mas sim que pode ter mais dificuldade a atuar, e isso confirma-se pelos tempos de resposta que os detetores obtiveram.

Comparando as centrais utilizadas ambas demonstram ser de fácil utilização, e como possuem endereçamento automático de dispositivos estes rapidamente apareceram na lista de dispositivos disponíveis. Na central multi-protocolo os valores analógicos obtidos variam consoante o protocolo do detetor utilizado, alguns detetores obtiveram um tempo de resposta mais elevado, esta pode ser a causa.

A placa desenvolvida, *FireNose* mostrou ser um instrumento de medida capaz de ajudar

na monitorização, os sensores escolhidos apresentam uma boa variação.

A temperatura inicial de alguns ensaios a detetores de fumo ultrapassou o aceitável ($23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$), mas os ensaios foram realizados durante o mês de Agosto onde a temperatura exterior estava acima dos 32°C durante o dia, a janela tinha de estar aberta para sair o fumo, apesar do ar condicionado estar em funcionamento a temperatura da sala estava a temperaturas acima dos 26°C . O tempo de arrefecimento da câmara de ensaios também foi de 15 minutos, mas devido ao fumo no interior as ventoinhas de extração de fumo funcionavam com a câmara fechada de modo ao fumo não sair para a sala, o que dificulta a diminuição da temperatura.

A utilização da rede neuronal para classificação do material em combustão é promissora, pois em 99.02% dos casos foi possível identificar corretamente a madeira, em 84.64% das vezes foi possível identificar algodão corretamente. No resultado do algodão é de salientar que o material que dá falso positivo é a madeira, e em nenhum caso deu espuma. Na identificação de espuma pode ser verificado que a espuma foi corretamente identificada em 95.03% dos casos. A rede teve ainda uma percentagem de acertos de 92.7%.

A identificação da existência ou não de fogo teve uma percentagem de acertos de 89.7%. A percentagem de acerto na existência de fogo é de 96.30%. Por outro lado a não existência de fogo tem apenas uma percentagem de 74.34%, o que revela a existência de um número elevado de falsos positivos.

6 Conclusão e trabalho futuro

De um modo geral a câmara de deteção mostrou-se flexível para realizar ensaios quer de temperatura, quer quando utilizada como câmara de combustão. A aplicação de vidro numa das portas foi fulcral, pois permitiu verificar o estado dos detetores sem interrupção do ensaio. As saídas de fumo implementadas são suficientes para a evacuação do fumo do interior da câmara. O sistema de ventoinhas também funcionou conforme previsto, mas quando o vento no exterior estava forte o fumo tinha dificuldades em sair. A fuligem também é um inconveniente, principalmente a proveniente dos ensaios de espuma onde se libertavam partículas que se implantaram nas ventoinhas.

Os resultados dos ensaios aos detetores de temperatura permitem dizer que a câmara e o sistema implementado permite realizar ensaios a detetores de incêndio nas gamas (1°C, 3°C, 5°C, 10°C). O intervalo entre ensaios tem de ser superior de forma à câmara atingir uma temperatura estável. Com os resultados obtidos foi possível classificar os detetores térmicos como se pretendia. Foi também possível verificar o tempo de resposta e a temperatura à qual a CDI disparava o sinal de alarme. Foi possível concluir que quanto maior é o incremento de temperatura, menor é o tempo de resposta, isto para todos os detetores térmicos e multi-sensor ensaiados.

Nos ensaios aos detetores de fumo, foi possível analisar o tempo de resposta como era pretendido, bem como os valores de densidade ótica e temperatura de alarme, para o qual a CDI entra em alarme. Pode haver erro na classificação dos detetores devido à Norma EN 54-9 estar ainda em estudo, por parte do sistema de normalização. Foi possível atribuir categoria a todos os detetores.

De uma forma geral podemos constatar que os sensores escolhidos permitem uma boa fusão sensorial e permitem a obtenção de características que permitem distinguir claramente o tipo de material em combustão. Como identificador da existência ou não de fogo, a taxa de falsos alarmes resultantes devido aos falsos positivos quando na realidade não existe fogo, pode afastar a utilização deste método. No entanto a percentagem acima dos 95% de deteção em caso da existência de fogo indica que esta abordagem pode ter sucesso. Assim a forma de resolver a elevada percentagem de falsos positivos quando na realidade não existe fogo pode ser ultrapassada com a adição de um ou mais sensores, e assim tornar inequívoca a rede neuronal. A vantagem deste

tipo de sistema seria poder alertar a equipa de emergência (corporação de bombeiros) num tempo de resposta curto. A equipa de emergência podia ainda fazer uma escolha adequada do material e dos meios de combate ao incêndio porque já saberiam que tipo de material estava em combustão.

Na placa *FireNose*, o termistor não trouxe uma mais valia para esta aplicação pois a temperatura mantinha-se praticamente constante na zona de monitorização, mas numa outra aplicação pode ser importante. O sistema de medição de opacidade não obteve o resultado esperado, aliás o seu funcionamento até ocorreu de forma inversa ao esperado inicialmente. Pretendia-se que a presença de fumo defletisse o feixe de luz no sentido do fotodíodo, mas provavelmente devido às reflexões dentro das paredes do tubo, o feixe de luz incidia diretamente no fotodetector e a presença de fumo atenuava o sinal.

Como trabalho futuro são sugeridos as tarefas seguintes:

- O FireNose possui um sistema de medição de opacidade que não obteve bons resultados, deverá ser abordada uma nova localização e orientação dos sensores, bem como um local onde não hajam reflexões múltiplas do feixe proveniente do LED. Assim a superfície deve ser opaca, o ganho do circuito de amplificação do fotodíodo tem de ser ajustado, a orientação e percurso feito desde o LED até ao fotodíodo não pode ser direto.
- A câmara deverá ser equipada com um sistema de ventilação mais eficiente de modo a que os tubos provenientes do tubo de saída da câmara e do tubo de dreno possuam na união dos dois um sistema de aspiração (ventoinha) de modo a evitar a ventoinha no tubo de dreno e assim diminuir a velocidade da passagem de fumo nessa zona, isto fará com que os detetores estejam mais tempo sujeitos aos gases resultantes do processo de combustão, bem como melhorava a medição da opacidade pois o fumo permanecia mais tempo nessa zona.
- O tubo de dreno terá no futuro de possuir um filtro de modo a que as partículas sólidas não entrem nessa zona, bem como se evite a criação de fuligem que compromete a leitura e durabilidade dos sensores.
- Estudo de diferentes características para o estudo e melhoria do sistema de classificação.
- Usar filtros nas medidas retiradas pelo ADC de modo a evitar interferências e ruído.

Bibliografia

- [Ahrens, 2008] Ahrens, M. (2008). Home smoke alarms: The data as context for decision. *Fire Technology*, 44(4).
- [Amleshi, 1997] Amleshi, Peerouz ;Hesser, D. J. (1997). Smoke detectors.
- [Apollo, 2013] Apollo (2013). How do apollo fire detectors work? Technical report.
- [Asoma, 1998] Asoma, Akira; Ishida, H. I. Y. (1998). Scan type fire detecting apparatus.
- [Association, 2011] Association, T. G. (2011). Comparative world fire statistics. *World Fire Statistics*, 27.
- [Barsan et al., 2007] Barsan, N., Koziej, D., and Weimar, U. (2007). Metal oxide-based gas sensor research: How to? *Sensors and Actuators B: Chemical*, 121(1).
- [Beale et al., 2012] Beale, M. H., Hagan, M. T., and Demuth, H. B. (2012). Neural network toolbox 7 user s guide. *The MathWorks, Inc*, 3.
- [Cheng et al., 2011] Cheng, C., Sun, F., and Zhou, X. (2011). One fire detection method using neural networks. *Tsinghua Science & Technology*, 16(1):31–35.
- [Cheon et al., 2009] Cheon, J., Lee, J., Lee, I., Chae, Y., Yoo, Y., and Han, G. (2009). A single-chip cmos smoke and temperature sensor for an intelligent fire detector. *Sensors Journal, IEEE*, 9(8):914–921.
- [Chow et al., 2011] Chow, W., Chow, C., and Li, S. (2011). Simulating smoke filling in big halls by computational fluid dynamics. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2011.
- [Coelho, 2010] Coelho, A. L. (2010). *Incêndios em edifícios*. Editora Orion.
- [Conner et al., 2006] Conner, L., Chin, S., and Furton, K. G. (2006). Evaluation of field sampling techniques including electronic noses and a dynamic headspace sampler for use in fire investigations. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 116(1):121–129.
- [Cote, 2008] Cote, A. E. (2008). *Fire protection handbook*. NationalFireProtectionAssoc.
- [de Proteção Civil, 2011] de Proteção Civil, A. A. N. (2011). Segurança contra incendios em edificios. http://www.proteccaocivil.pt/newsletter/PROCIV37_web.pdf.

- [DiPasquale and Davis, 1971] DiPasquale, L. and Davis, H. (1971). The acute toxicity of brief exposures to hydrogen fluoride, hydrogen chloride, nitrogen dioxide, and hydrogen cyanide singly and in combination with carbon monoxide. Technical report, DTIC Document.
- [Dohi, 2003] Dohi, Manabu; Honma, H. . M. H. S. H. (2003). Light scattering type smoke sensor.
- [Duggan, 1993] Duggan, Jack;Heslop, M. M. (1993). Low amperage dual sensing fire detector.
- [Fang and Yuan, 2007] Fang, J. and Yuan, H.-Y. (2007). Experimental measurements, integral modeling and smoke detection of early fire in thermally stratified environments. *Fire safety journal*, 42(1):11–24.
- [Francis and Chen, 2012] Francis, J. and Chen, A. (2012). Observable characteristics of flashover. *Fire Safety Journal*, 51:42–52.
- [Fujinaka et al., 2008] Fujinaka, T., Yoshioka, M., Omatu, S., and Kosaka, T. (2008). Intelligent electronic nose systems for fire detection systems based on neural networks. In *Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, 2008. ADVCOMP'08. The Second International Conference on*, pages 73–76. IEEE.
- [Gaskill and Veith, 1968] Gaskill, J. and Veith, C. (1968). Smoke opacity from certain woods and plastics. *Fire Technology*, 4(3):185–195.
- [Goedeke, 1992] Goedeke, Donald A.;Drda, B. (1992). Fire detection system.
- [Gottuk et al., 2002] Gottuk, D. T., Peatross, M. J., Roby, R. J., and Beyler, C. L. (2002). Advanced fire detection using multi-signature alarm algorithms. *Fire Safety Journal*, 37(4):381–394.
- [Guttinger, 1987] Guttinger, Hannes;Pfister, G. (1987). Scattered radiation smoke detector.
- [Ha et al., 2012] Ha, Y.-g., Kim, H., and Byun, Y.-c. (2012). Energy-efficient fire monitoring over cluster-based wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012.
- [Haibing et al., 2010] Haibing, H., Jinjun, W., Jun, F., Weiliang, L., and Yongming, Z. (2010). Design a low power wireless fire detector based on cc430. In *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010 International Conference on*, volume 1, pages 1107–1110. IEEE.
- [Hamamatsu, 2008] Hamamatsu (2008). Flame sensor uvtron. http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R2868_TPT1008E02.pdf.
- [Haykin, 1998] Haykin, S. (1998). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2nd edition.
- [Hongyan et al., 2012] Hongyan, Y., Shuqin, G., Ligang, H., Jinhui, W., Xiaohong, P., and Wuchen, W. (2012). Research of fire detecting system based on zigbee wireless network. In

- Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), 2012 International Conference on*, pages 251–253. IEEE.
- [Ierardi, 2005] Ierardi, J. A. (2005). *Characterizing the entry resistance of smoke detectors*. PhD thesis, Worcester Polytechnic Institute.
- [Inoue, 1993] Inoue, Masao;Igarashi, Y. (1993). Fire detector for discriminating smoke and flame based on optically measured distance.
- [IPQ, 1990a] IPQ (1990a). Norma portuguesa-elementos constituintes dos sistemas automáticos de deteção de incêndio-parte 5 - detetores térmicos.
- [IPQ, 1990b] IPQ (1990b). Norma portuguesa-elementos constituintes dos sistemas automáticos de deteção de incêndio-parte 7 - detetores pontuais de fumo.
- [IPQ, 1990c] IPQ (1990c). Norma portuguesa-elementos constituintes dos sistemas automáticos de deteção de incêndio-parte 9 - fogos tipo.
- [Kirkor, 1982] Kirkor, G. (1982). Alarm system having plural diverse detection means.
- [Koo et al., 2010] Koo, S.-H., Fraser-Mitchell, J., and Welch, S. (2010). Sensor-steered fire simulation. *Fire Safety Journal*, 45(3):193–205.
- [Leistikow et al., 2000] Leistikow, B. N., Martin, D. C., and Milano, C. E. (2000). Fire injuries, disasters, and costs from cigarettes and cigarette lights: a global overview. *Preventive medicine*, 31(2):91–99.
- [Levin et al., 1987a] Levin, B. C., Paabo, M., Gurman, J. L., and Harris, S. E. (1987a). Effects of exposure to single or multiple combinations of the predominant toxic gases and low oxygen atmospheres produced in fires. *Fundamental and Applied Toxicology*, 9(2):236–250.
- [Levin et al., 1987b] Levin, B. C., Paabo, M., Joshua, M., Gurman, L., Harris, S. E., and Braun, E. (1987b). Toxicological interactions between carbon monoxide and carbon dioxide.
- [Lin, 2005] Lin, Y.-S. (2005). Estimations of the probability of fire occurrences in buildings. *Fire safety journal*, 40(8):728–735.
- [Luo et al., 2002] Luo, R. C., Su, K. L., and Tsai, K. H. (2002). Fire detection and isolation for intelligent building system using adaptive sensory fusion method. In *Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA'02. IEEE International Conference on*, volume 2, pages 1777–1781. IEEE.
- [Malinowski, 1978] Malinowski, W. J. (1978). Smoke detector with chamber for producing eddy currents.
- [Marques, 2011] Marques, L. (2011). Sistemas de deteção de incêndios. *2as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, Universidade de Coimbra*.

- [Milke et al., 2003] Milke, J. A., Hulcher, M. E., Worrell, C. L., Gottuk, D. T., and Williams, F. W. (2003). Investigation of multi-sensor algorithms for fire detection. *Fire technology*, 39(4):363–382.
- [Moore, 2006] Moore, W. D. (2006). Fire alarm system research where its been and where its going. page 14.
- [Morgan, 1999] Morgan, A. (1999). Fire detection-the least of our problems. In *Trends in Electrical Installations (Ref. No. 1999/179), IEE Colloquium on*, pages 4–1. IET.
- [Muggli, 1985] Muggli, Jurg;Guttinger, H. H. Z. (1985). Optical smoke detector with contamination detection circuitry.
- [Neville, 1972] Neville, A. E. (1972). America burning. report of the national commission on fire prevention and control.
- [Park et al., 2010] Park, S.-U., Park, J.-H., Choi, S., Park, D.-J., and Shin, D.-S. (2010). Wireless image communication system for fire-fighting robots. In *Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on*, volume 3, pages 254–256. IEEE.
- [Petrov et al., 2012] Petrov, K. et al. (2012). Determining the best location of smoke sensor in office room.
- [Plimpton, 1994] Plimpton, Jonathan C.;Minott, G. L. (1994). Uv/ir detector with dual wavelength sensing ir channel.
- [Plimpton, 1997] Plimpton, Jonathan C.;Minott, G. L. (1997). Dual channel multi-spectrum infrared optical fire and explosion detection systems.
- [Pohle et al., 2007] Pohle, R., Simon, E., Schneider, R., Fleischer, M., Sollacher, R., Gao, H., Müller, K., Jauch, P., Loepfe, M., Frerichs, H.-P., et al. (2007). Fire detection with low power fet gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 120(2):669–672.
- [Rattmen, 1986] Rattmen, William ;Marchetti, S. A. (1986). Contrast smoke detector.
- [Richardson, 2003] Richardson, J. K. (2003). *History of fire protection engineering*. National Fire Protection Association.
- [Rose-Pehrsson et al., 2003] Rose-Pehrsson, S. L., Hart, S. J., Street, T. T., Williams, F. W., Hammond, M. H., Gottuk, D. T., Wright, M. T., and Wong, J. T. (2003). Early warning fire detection system using a probabilistic neural network. *Fire technology*, 39(2):147–171.
- [Scorsone et al., 2006] Scorsone, E., Pisanelli, A. M., and Persaud, K. C. (2006). Development of an electronic nose for fire detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 116(1):55–61.
- [Soni, 1998] Soni, G. (1998). Combination smoke, carbon monoxide and hydrocarbon detector.

- [Su, 2006] Su, K. L. (2006). Automatic fire detection system using adaptive fusion algorithm for fire fighting robot. In *Systems, Man and Cybernetics, 2006. SMC'06. IEEE International Conference on*, volume 2, pages 966–971. IEEE.
- [Tagashira, 1981] Tagashira, H. (1981). Particle sensing optical smoke detector.
- [Tanguai, 1988] Tanguai, William P.; McCrink, J. (1988). Smoke detector having variable level sensitivity.
- [Tian and Geng, 2009] Tian, W. J. and Geng, Y. (2009). A new household security robot system based on wireless sensor network. In *Future Information Technology and Management Engineering, 2009. FITME'09. Second International Conference on*, pages 187–190. IEEE.
- [Torikoshi, 1995] Torikoshi, Yasuo; Ishii, H. (1995). Thermal analog fire detector.
- [Tresch, 1982] Tresch, E. (1982). Smoke detector.
- [Wilson and Baietto, 2009] Wilson, A. D. and Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9(7):5099–5148.
- [Wong, 1992] Wong, J. Y. (1992). Fire detection system using spatially cooperative multi-sensor input technique.
- [Wong, 1998] Wong, J. Y. (1998). Fire detector.
- [Yamanaka, 1997] Yamanaka, S. (1997). Odor concentration measurement method and apparatus for use in fire detection.
- [Yamauchi et al., 2005] Yamauchi, Y., Mammoto, A., Dohi, M., Ebata, H., and Morita, M. (2005). A calculation method for predicting heat and smoke detector's response. *Fire Science and Technology*, 24(4):179–210.
- [Yoshioka et al., 2009] Yoshioka, M., Fujinaka, T., and Omatu, S. (2009). Intelligent electronic nose systems with metal oxide gas sensors for fire detection. *International Journal On Advances in Intelligent Systems*, 2(1):268–277.
- [Zhang, 2012] Zhang, X. (2012). *Energy conservation and lifetime prolongation schemes for distributed wireless sensor network*. PhD thesis, School of Information Technology, Faculty of Business, Bond University.

Anexo I

Sensores utilizados no FireNose:

Sensor TGS 2620

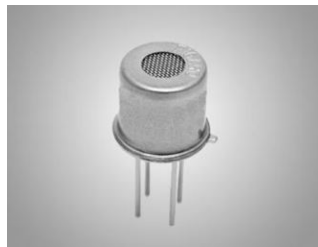


Figura 6.1: Sensor TGS 2620.

Na presença de um gás detetável, a condutividade do sensor aumenta dependendo da concentração de gás no ar.

O elemento de deteção é constituído por uma camada de semicondutor de óxido de metal, formada sobre um substrato de alumínio de um *chip* integrado com um elemento de aquecimento. O TGS 2620 tem uma elevada sensibilidade aos vapores de solventes orgânicos, bem como outros vapores voláteis. Tem também uma sensibilidade a uma grande variedade de gases provenientes resultantes de uma combustão (CO), assim é um bom sensor de propósito geral.

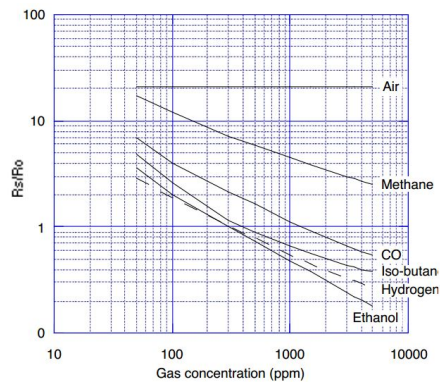
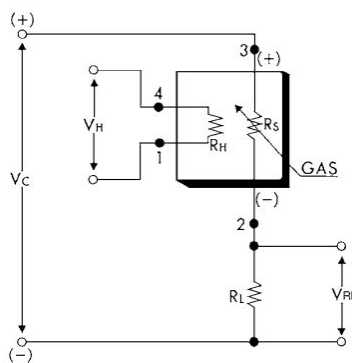


Figura 6.2: Curva característica de sensibilidade.

Um circuito simples de aplicação do sensor:



Legenda:

1-	Resistência de aquecimento
2-	Eletrodo sensor (-)
3-	Eletrodo sensor (+)
4-	Resistência de aquecimento

Figura 6.3: Circuito de aplicação do sensor TGS 2620.

Modo de funcionamento:

O sensor requer duas entradas de tensão: tensão de aquecimento (V_H) e tensão de circuito (V_C). A tensão de aquecimento é aplicada ao elemento sensível. A tensão (V_C) é aplicada para poder medir a tensão (V_{RL}) através de uma resistência de carga (R_L) ligada em série com o sensor. O valor de R_L deve ser escolhido de modo a otimizar o limiar de alarme.

Sensor TGS 4161

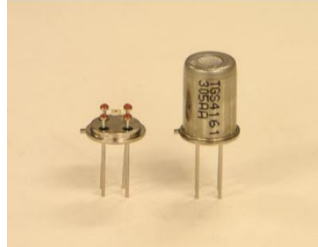


Figura 6.4: Sensor TGS 4161.

Este sensor é um sensor de CO_2 eletrolítico sólido com um baixo consumo de energia. O elemento sensível ao CO_2 consiste num eletrólito sólido formado entre dois elétrodos, em conjunto com um elemento de aquecimento (RuO_2) formam assim o substrato. Através da monitorização da força eletromotriz (EMF) gerada entre os dois elétrodos é possível medir a concentração de gás CO_2 . A parte superior do sensor contém um adsorvente (zeólito) com a finalidade de reduzir a interferência de outros gases.

A curva caraterística é a seguinte:

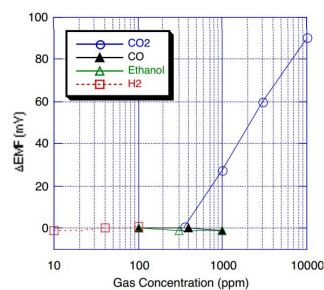


Figura 6.5: Curva caraterística do sensor TGS 4161.

Um circuito de aplicação:

Modo de funcionamento:

A tensão V_H é aplicada ao elemento de aquecimento. A força eletromotriz deve ser medida e utilizar um amplificador operacional com elevada impedância de entrada. A variação da força eletromotriz deve ser monitorizada com um microcontrolador e assim poder aferir a concentração de CO_2

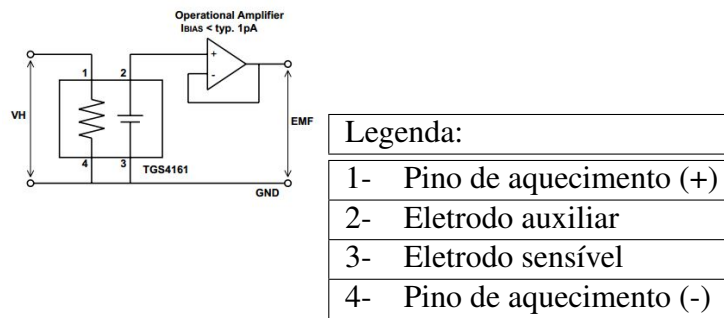


Figura 6.6: Circuito de aplicação do sensor TGS 4161.

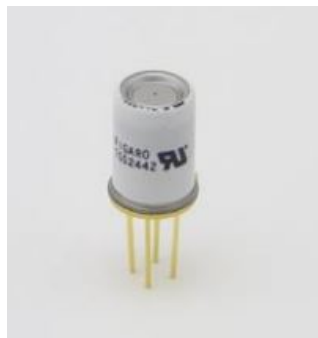


Figura 6.7: Sensor TGS 2442 Monóxido de Carbono.

Sensor TGS 2442

Este sensor é constituído por múltiplas camadas. Uma camada de vidro para isolamento térmico impresso em RuO_2 e um substrato de alumina. A camada de deteção de gás constituída por dióxido de estanho é impressa sobre uma camada de isolamento que abrange o aquecedor. A cobertura entre a tampa interna e o encapsulamento é coberto por carvão, o que reduz a contaminação por outros gases.

A curva de sensibilidade é:

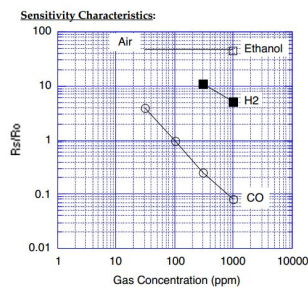


Figura 6.8: Curva de sensibilidade TGS 2442.

O circuito típico de utilização:

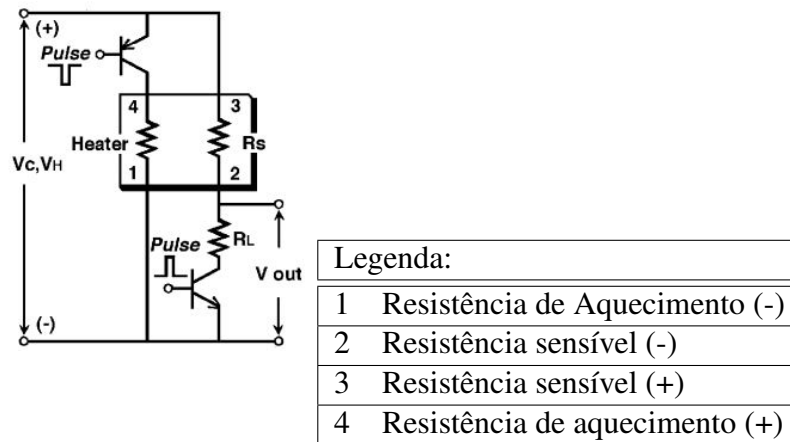


Figura 6.9: Circuito típico de utilização do sensor TGS2442.

Para o sensor trabalhar corretamente é necessário pulsar o aquecimento durante 14ms e esperar 986ms pelo arrefecimento fazendo isto ciclicamente, como mostrado na figura abaixo.

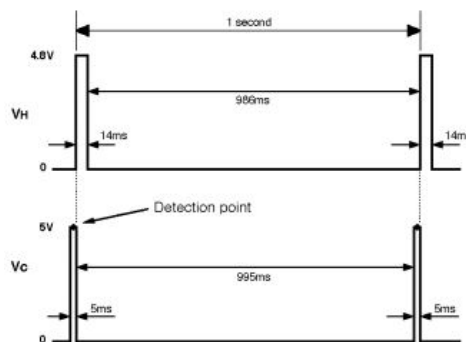


Figura 6.10: Pulsar de aquecimento da resistência de aquecimento e leitura do valor do sensor.

Modo de funcionamento:

A tensão V_C é aplicada ao elemento sensível que tem uma resistência R_s que está em série a uma resistência R_L . O ciclo de aquecimento requer a aplicação de um ciclo de 1s de aquecimento. Em cada ciclo V_H a tensão é aplicada durante 14ms, seguida por um pulso de 0V durante 986ms. O ciclo V_C consiste em aplicar 0V para 995ms, seguido de 5V durante 5ms. O melhor ponto para medir o valor do sensor é depois do ponto intermédio do período dos 5ms.

Anexo II

Gráficos de ensaios de temperatura:

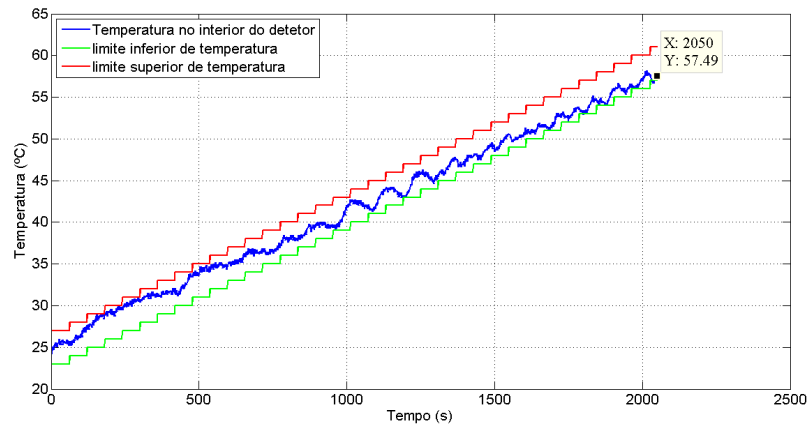


Figura 6.11: Ensaio detector DT-1, incremento de temperatura 1°C.

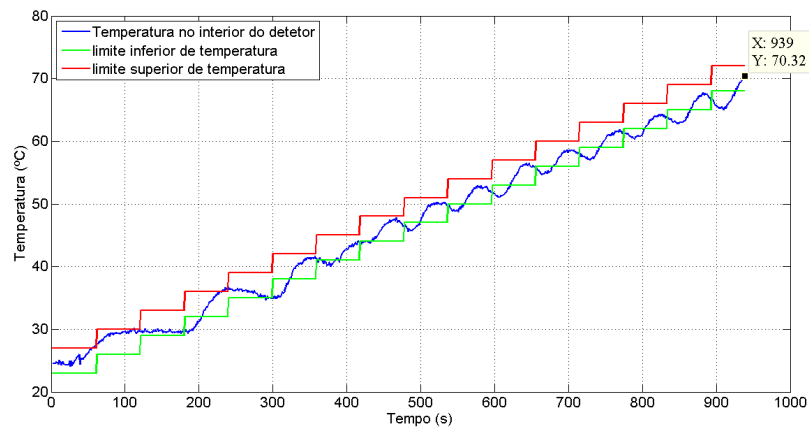


Figura 6.12: Ensaio detector DT-1, incremento de temperatura 3°C.

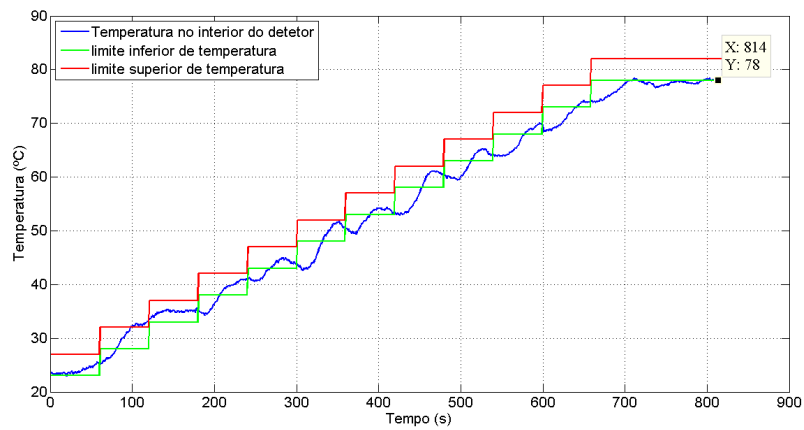


Figura 6.13: Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 5°C

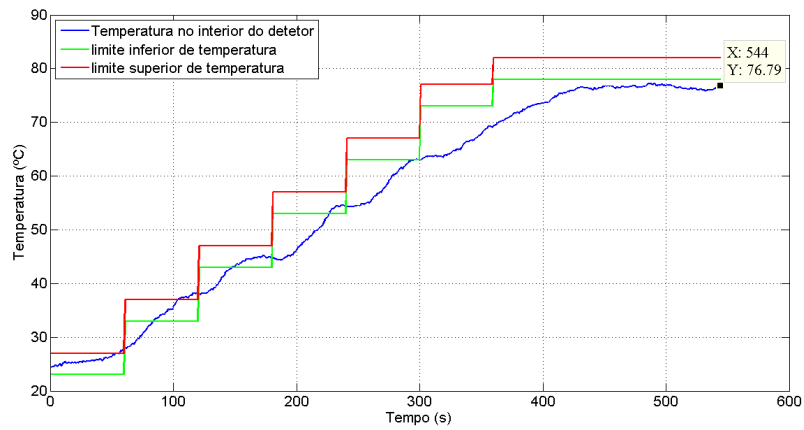


Figura 6.14: Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 10°C

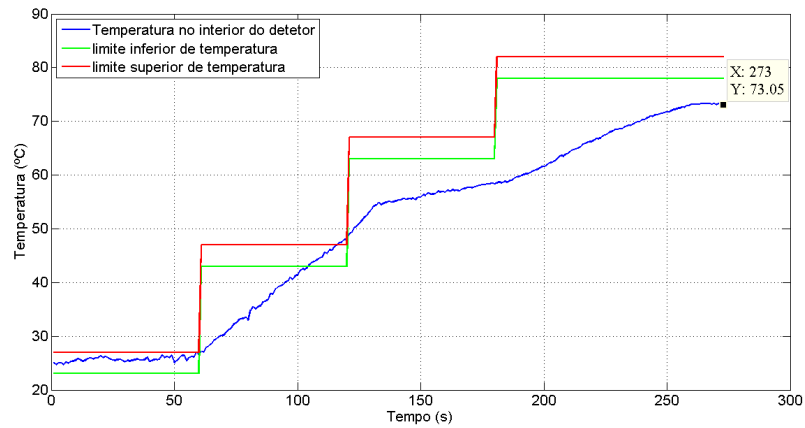


Figura 6.15: Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 20°C

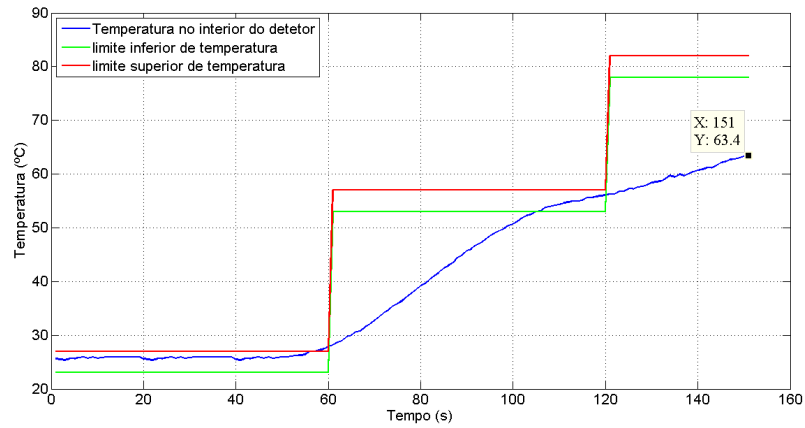


Figura 6.16: Ensaio detetor DT-1, incremento de temperatura 30°C

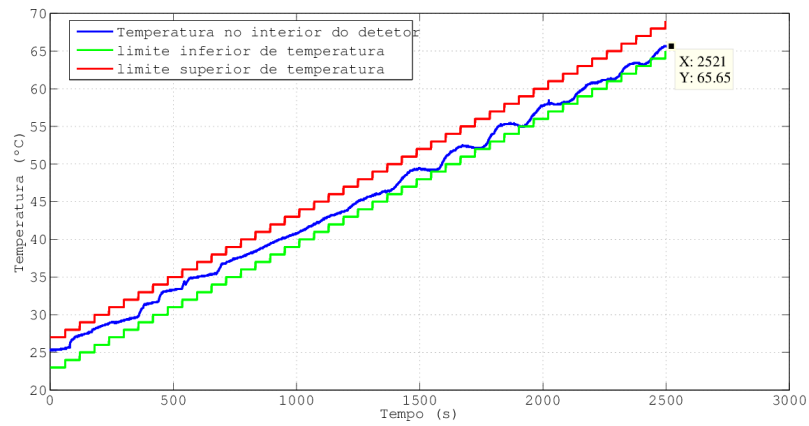


Figura 6.17: Ensaio detector DT-2, incremento 1°C

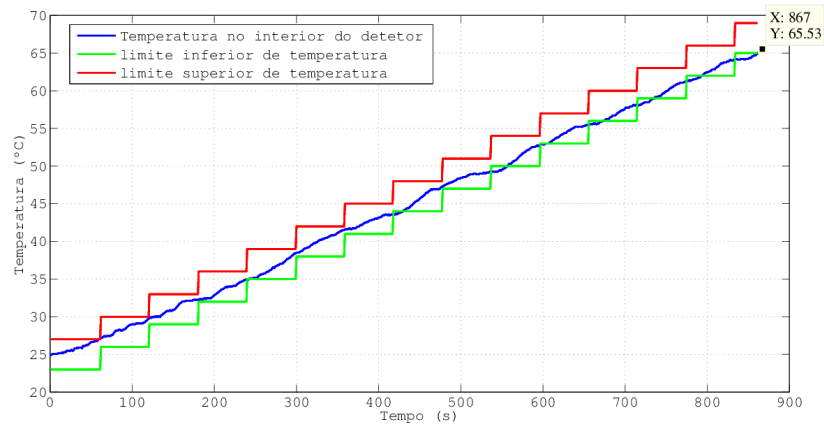


Figura 6.18: Ensaio detector DT-2, incremento 3°C

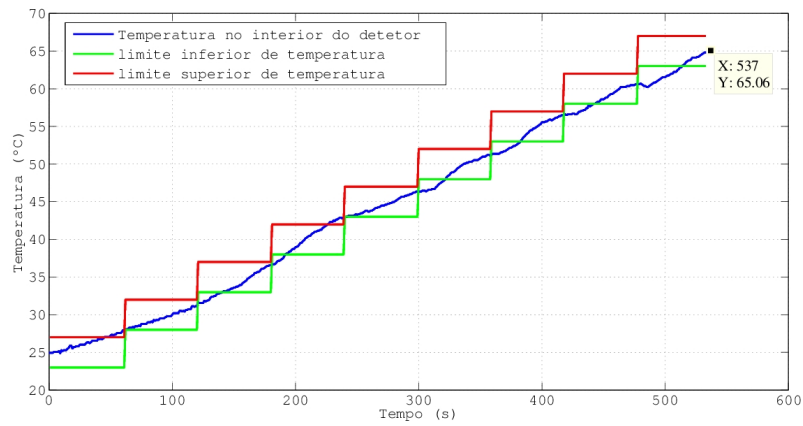


Figura 6.19: Ensaio detector DT-2, incremento 5°C

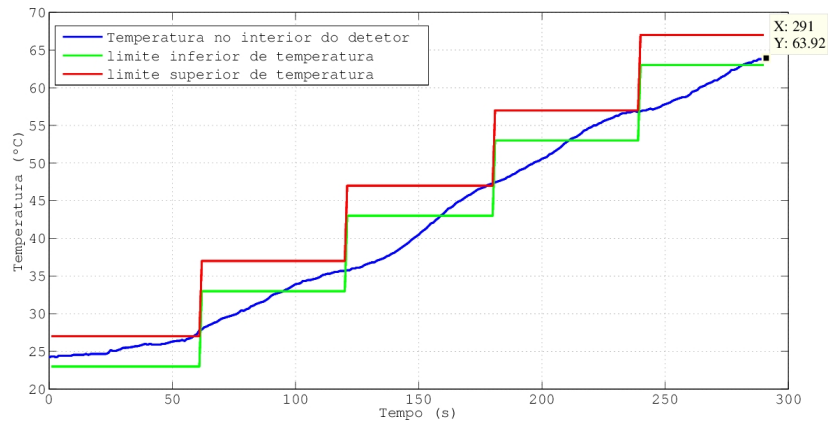


Figura 6.20: Ensaio detector DT-2, incremento 10°C

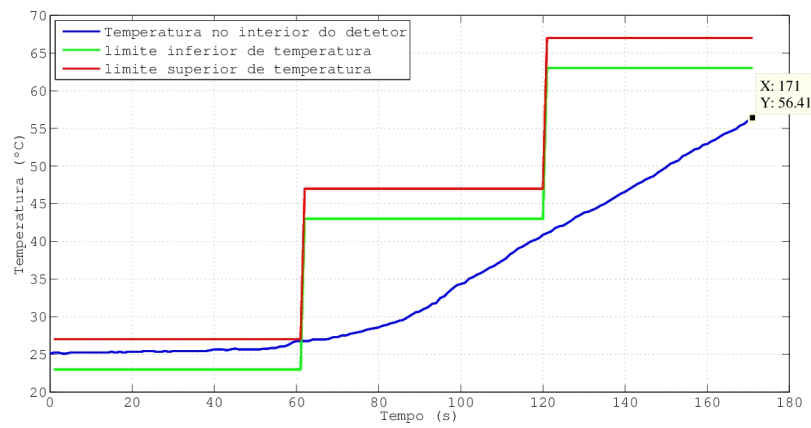


Figura 6.21: Ensaio detector DT-2, incremento 20°C

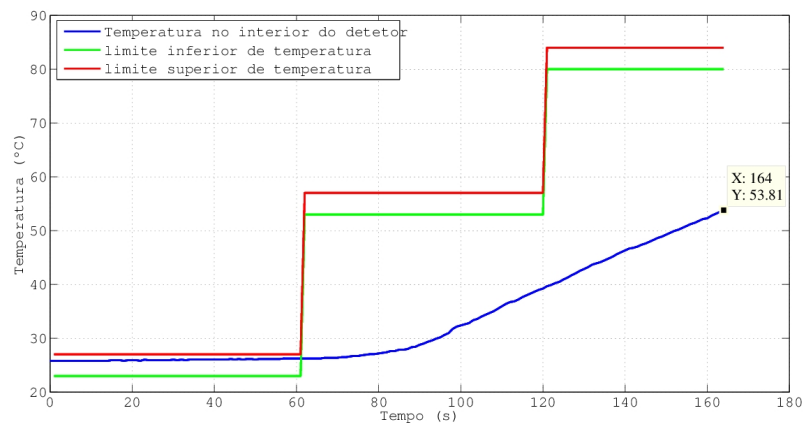


Figura 6.22: Ensaio detector DT-2, incremento 30°C

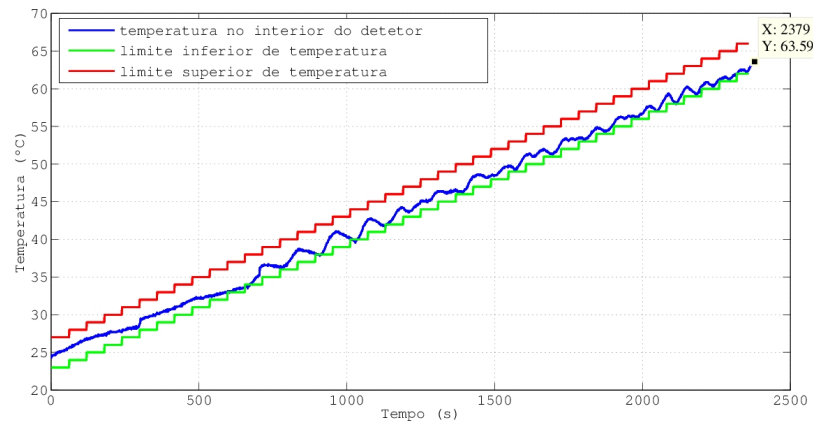


Figura 6.23: Ensaio detector DT-3 , com incremento 1°C

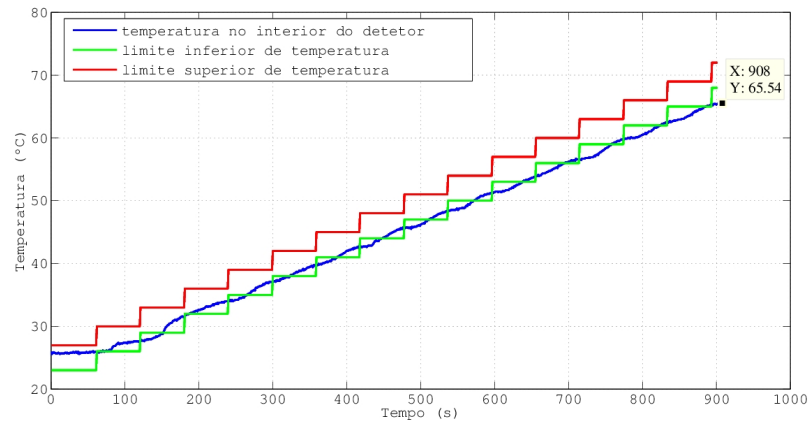


Figura 6.24: Ensaio detector DT-3, com incremento de 3°C

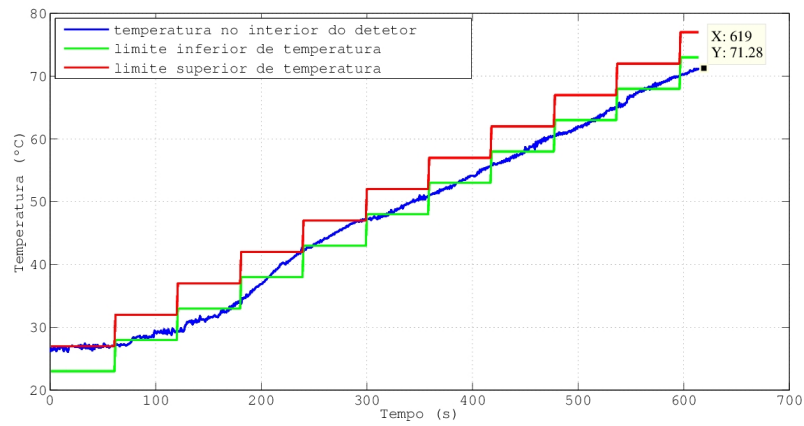


Figura 6.25: Ensaio detector DT-3, com incremento de 5°C

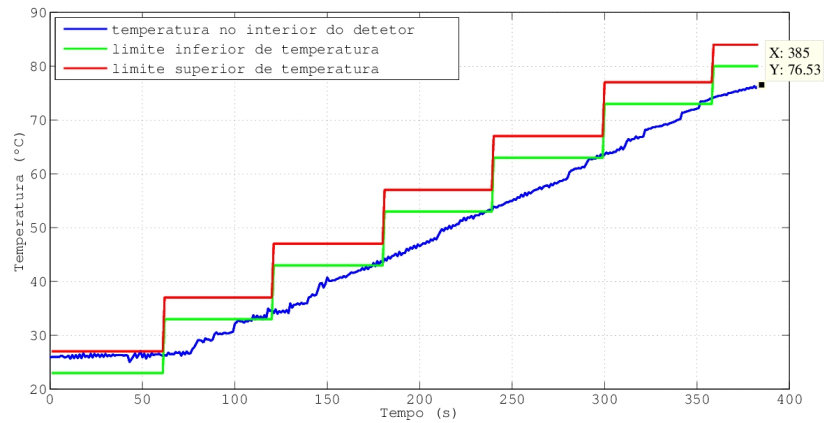


Figura 6.26: Ensaio detector DT-3, com incremento de 10°C

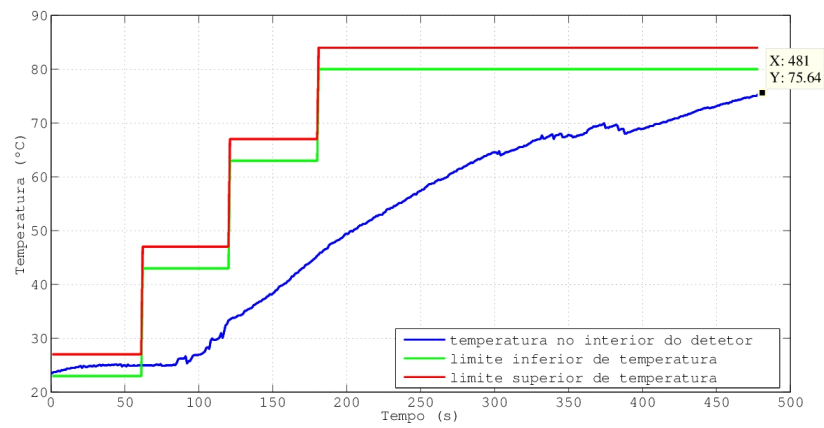


Figura 6.27: Ensaio detector DT-3, com incremento de 20°C

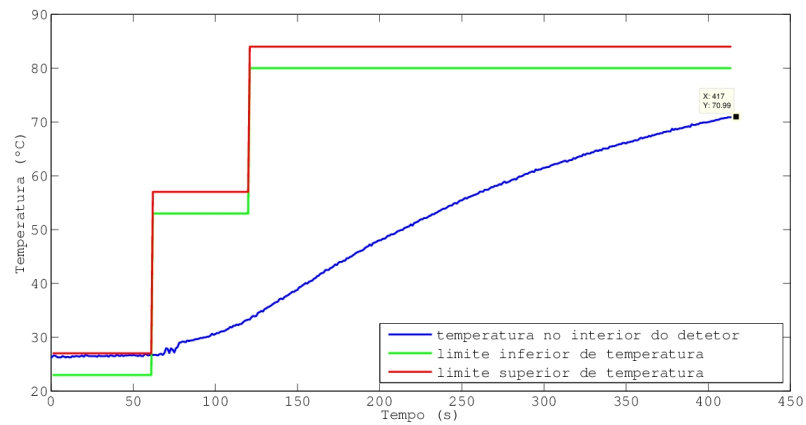


Figura 6.28: Ensaio detector DT-3, com incremento de 30°C

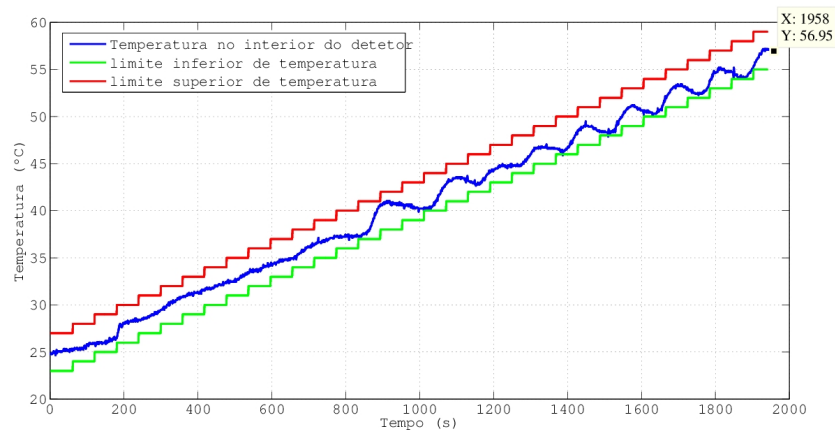


Figura 6.29: Ensaio detector DT-4, com incremento de 1°C

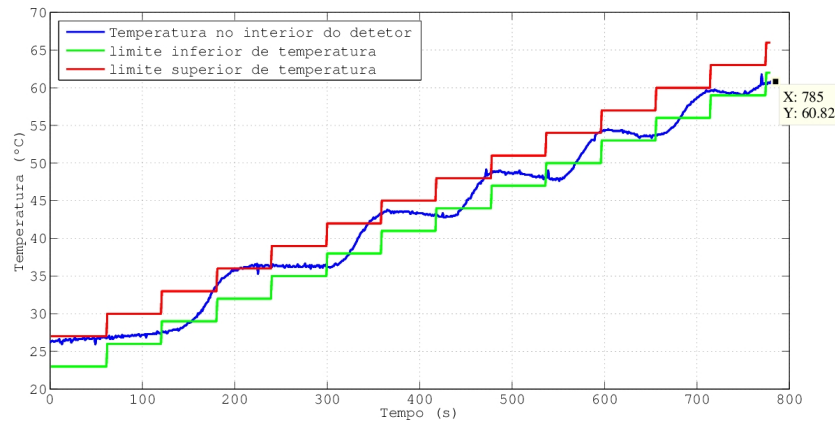


Figura 6.30: Ensaio detector DT-4, com incremento 3°C

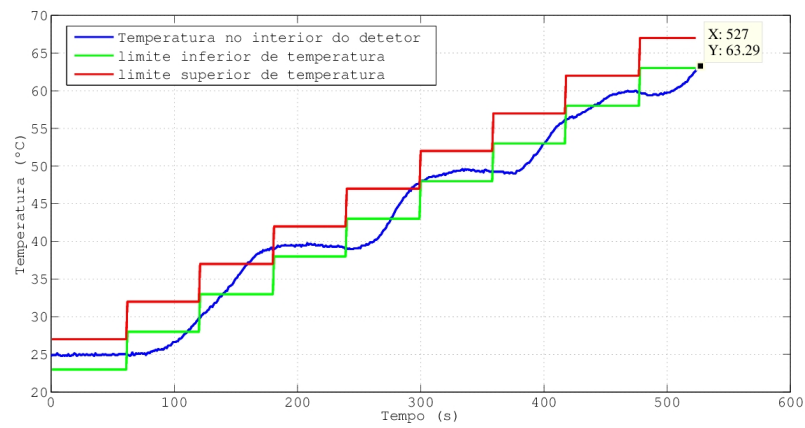


Figura 6.31: Ensaio detetor DT-4, com incremento de 5°C

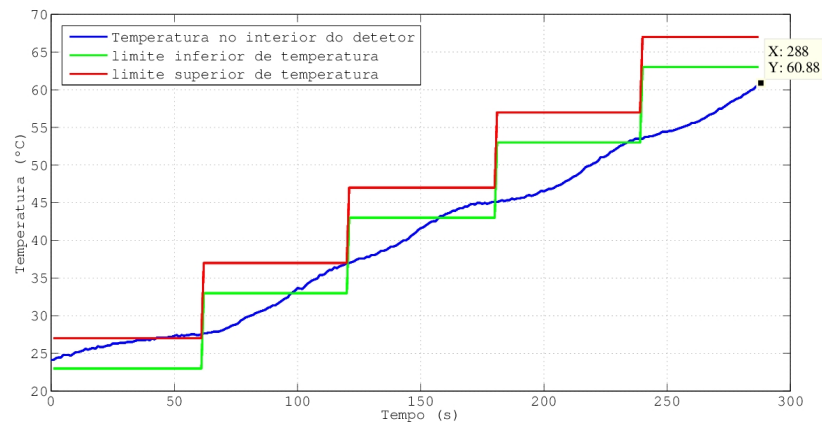


Figura 6.32: Ensaio detetor DT-4, com incremento 10°C

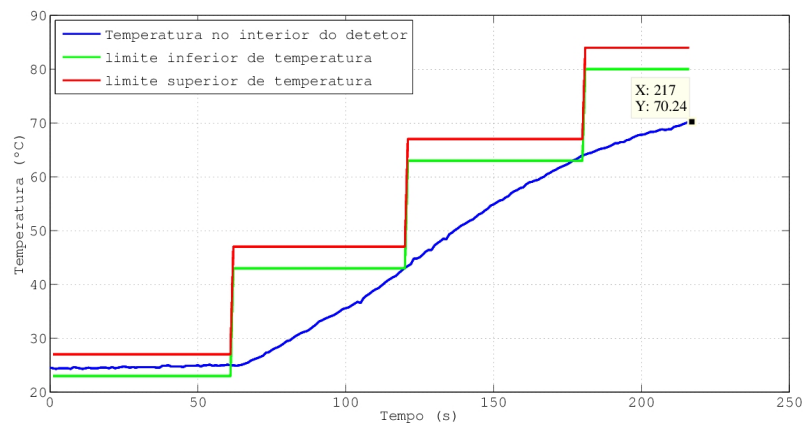


Figura 6.33: Ensaio detector DT-4, com incremento 20°C

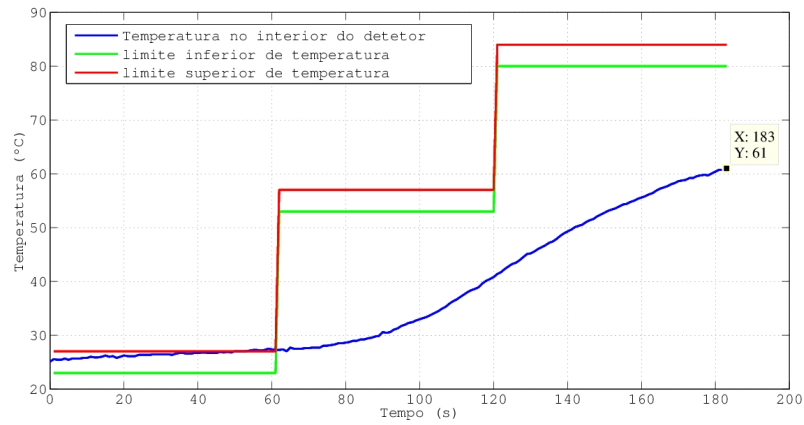


Figura 6.34: Ensaio detector DT-4, com incremento de 30°C

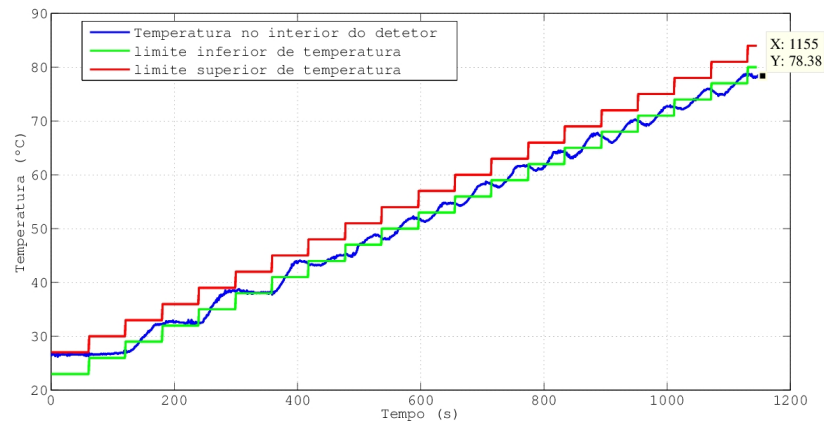


Figura 6.35: Ensaio detector DM-1, com incremento de 3°C

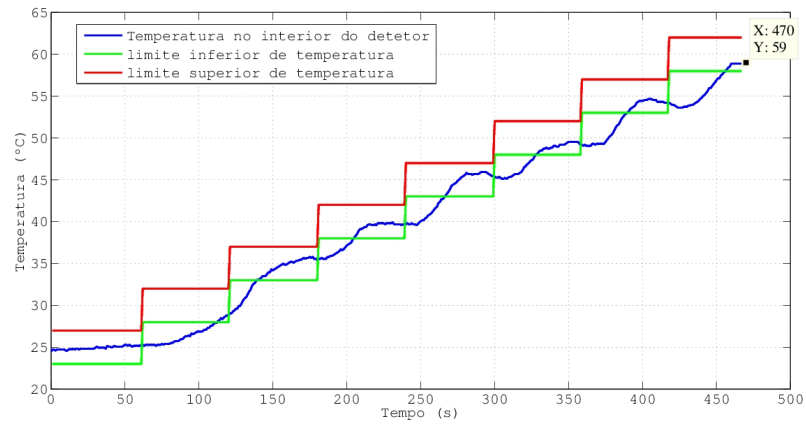


Figura 6.36: Ensaio detector DM-1, com incremento de 5°C

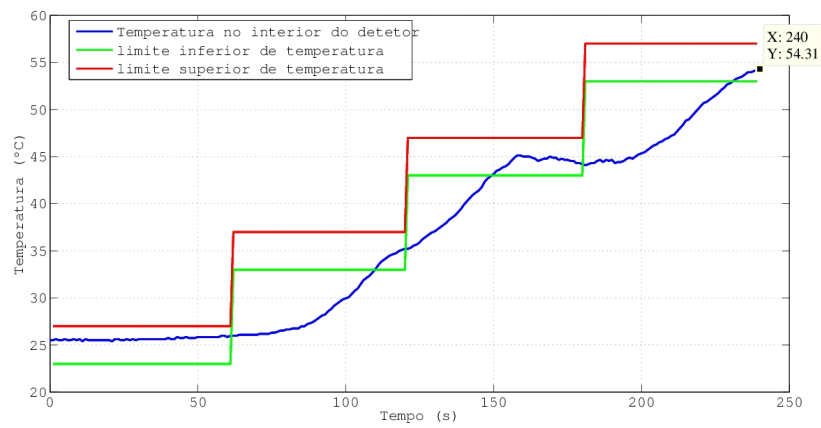


Figura 6.37: Ensaio detector DM-1, com incremento de 10°C

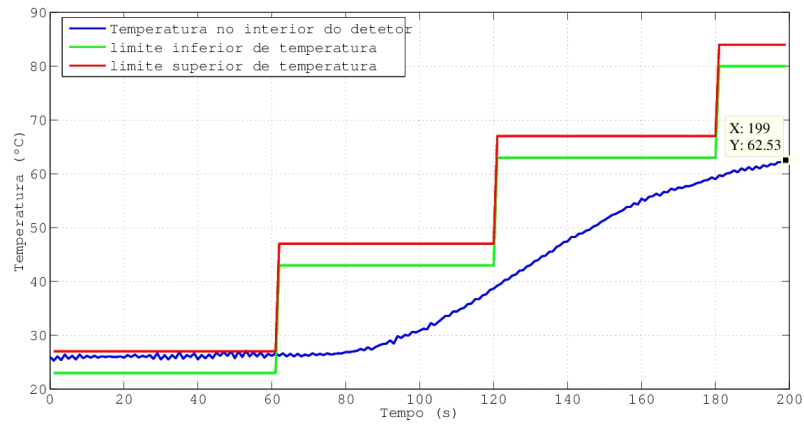


Figura 6.38: Ensaio detector DM-1, com incremento de 20°C

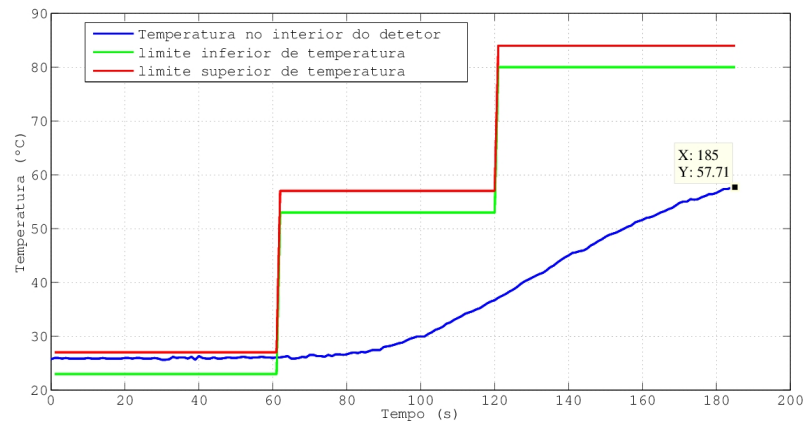


Figura 6.39: Ensaio detector DM-1, com incremento de 30°C

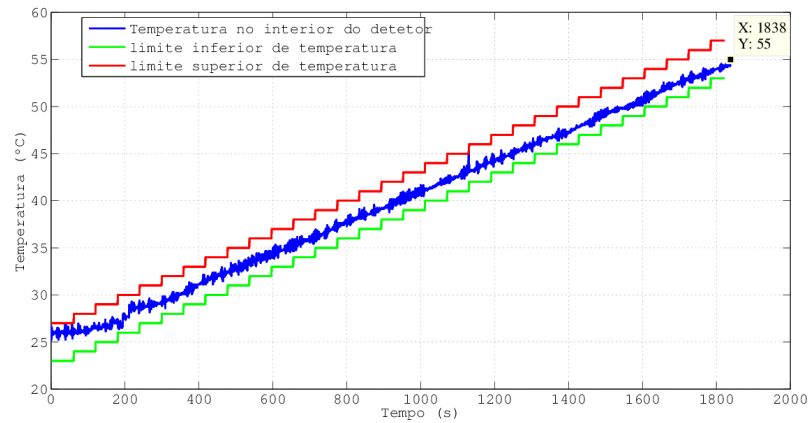


Figura 6.40: Ensaio detector DM-2, com incremento de temperatura 1°C

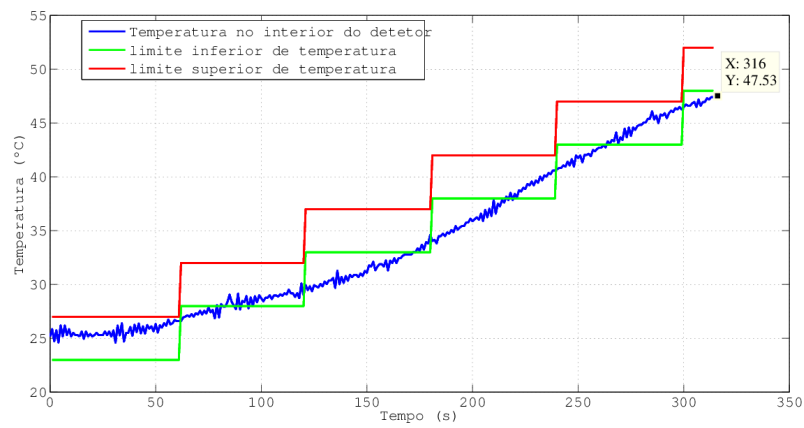


Figura 6.41: Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 3°C

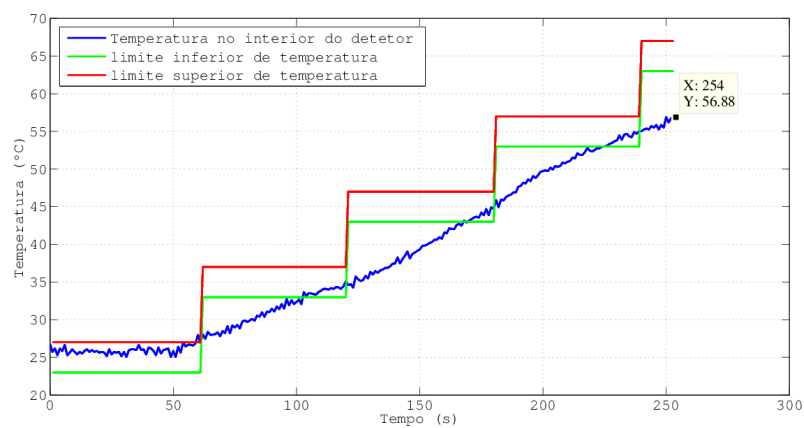


Figura 6.42: Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 5°C

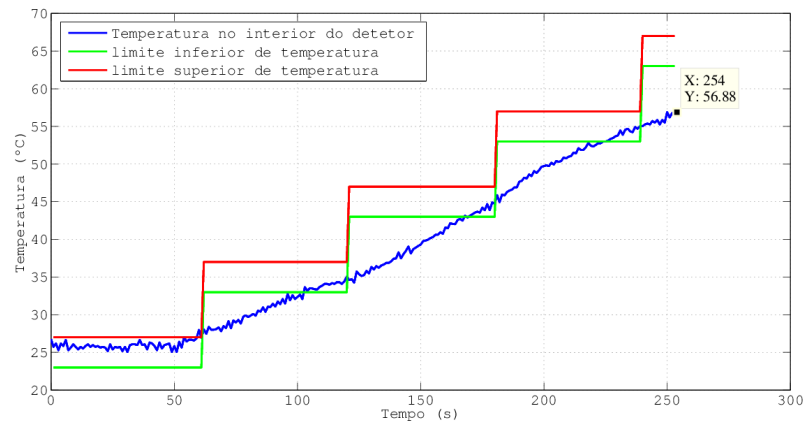


Figura 6.43: Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 10°C

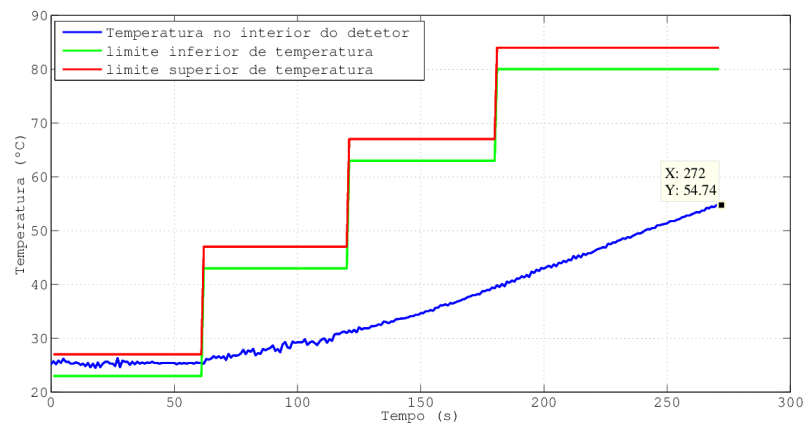


Figura 6.44: Ensaio detetor DM-2, com incremento de temperatura 20°C

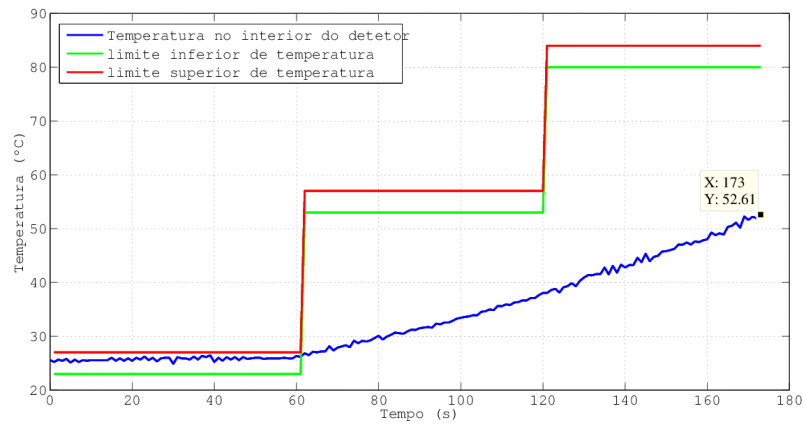


Figura 6.45: Ensaio detector DM-2, com incremento de temperatura 30°C

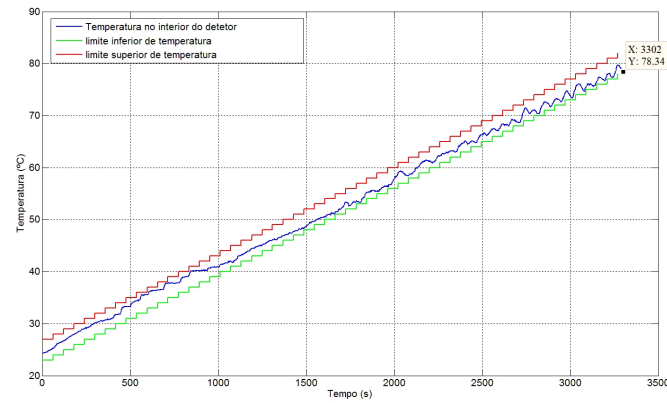


Figura 6.46: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 1°C

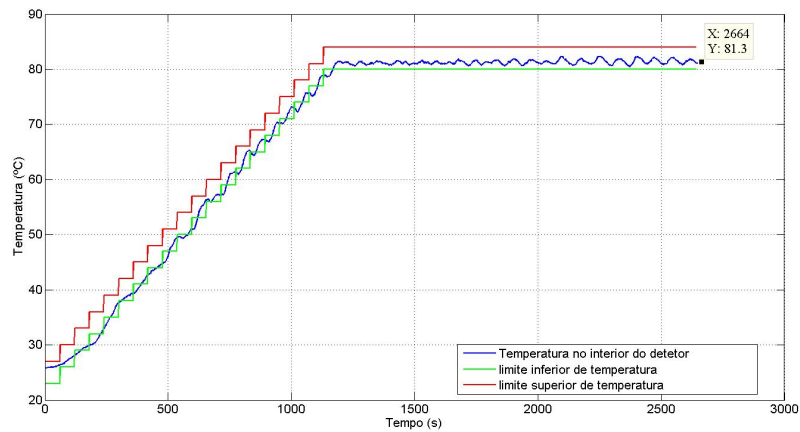


Figura 6.47: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 3°C

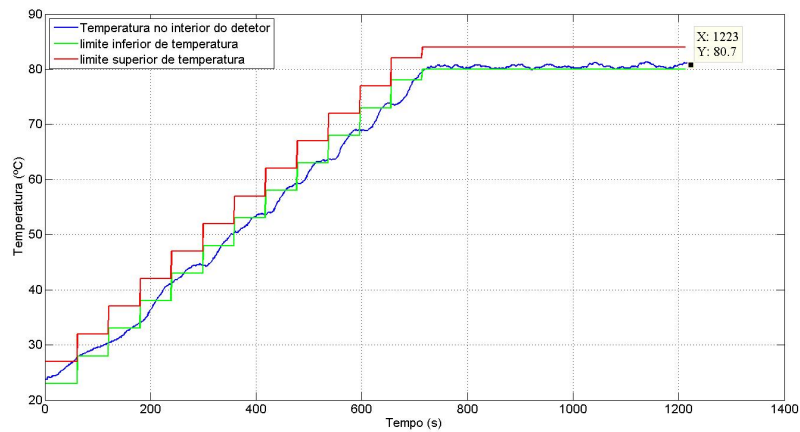


Figura 6.48: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 5°C

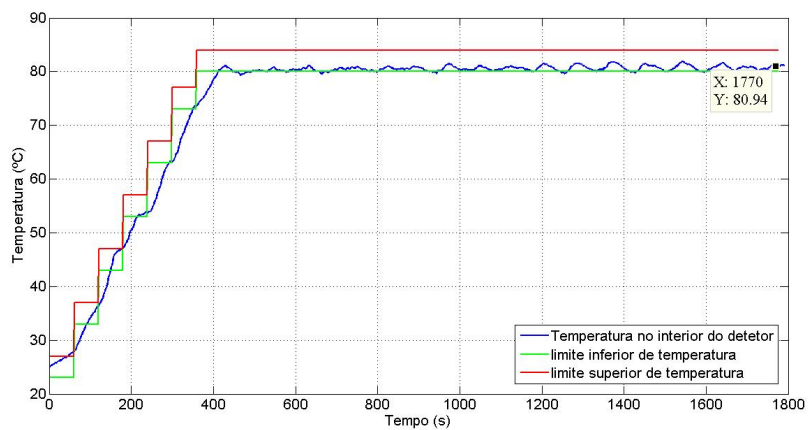


Figura 6.49: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 10°C

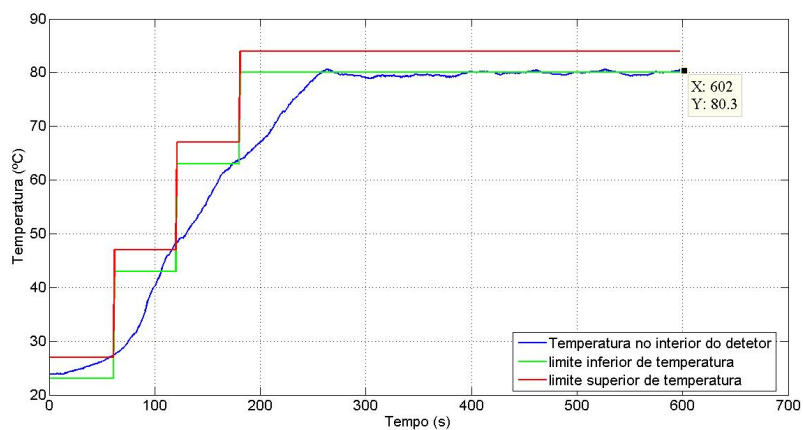


Figura 6.50: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 20°C

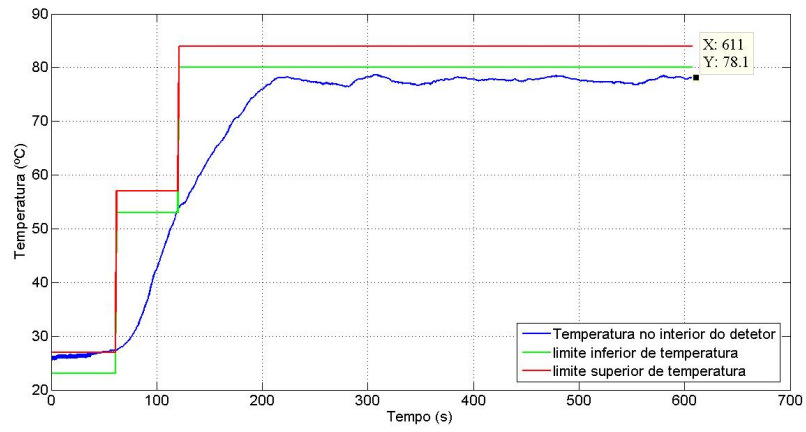


Figura 6.51: Ensaio detector DM-3, com incremento de temperatura 30°C

Anexo III

Gráficos resultante dos ensaios aos detetores de fumo. Leituras de fusão sensorial (Termístores + FireNose)

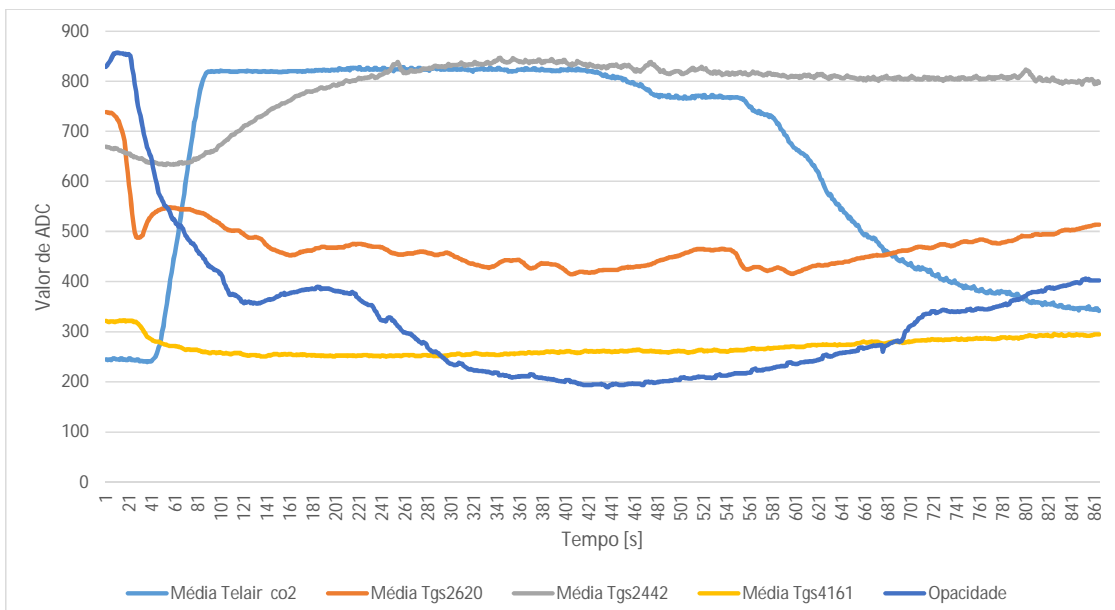
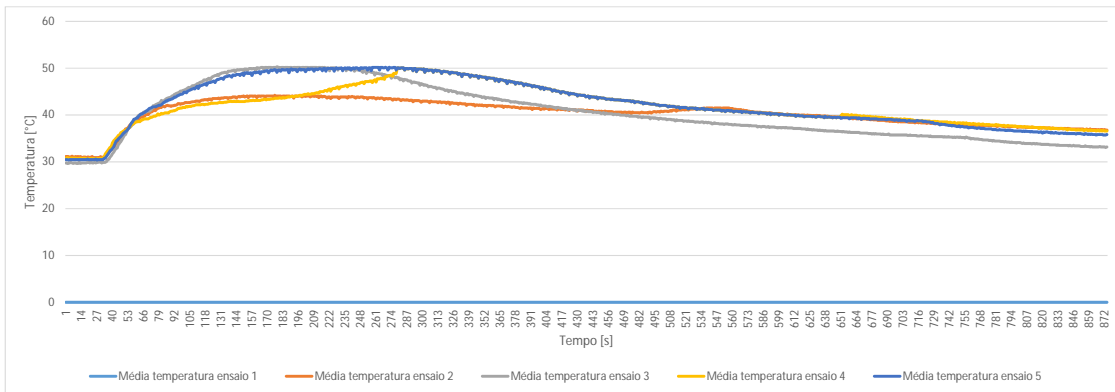


Figura 6.52: Ensaio detetor DM-1 madeira

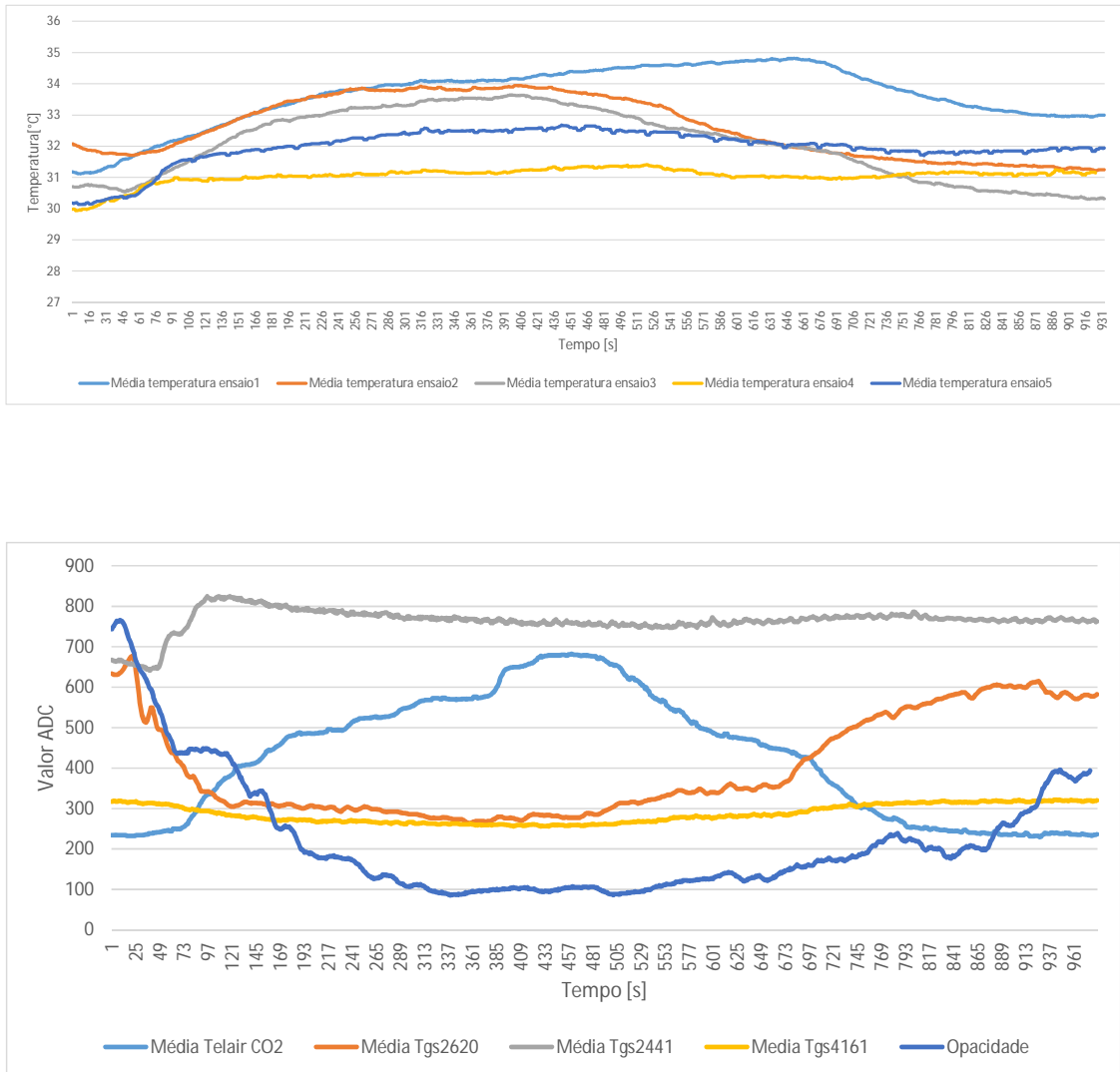


Figura 6.53: Ensaio detetor DM-1 algodão

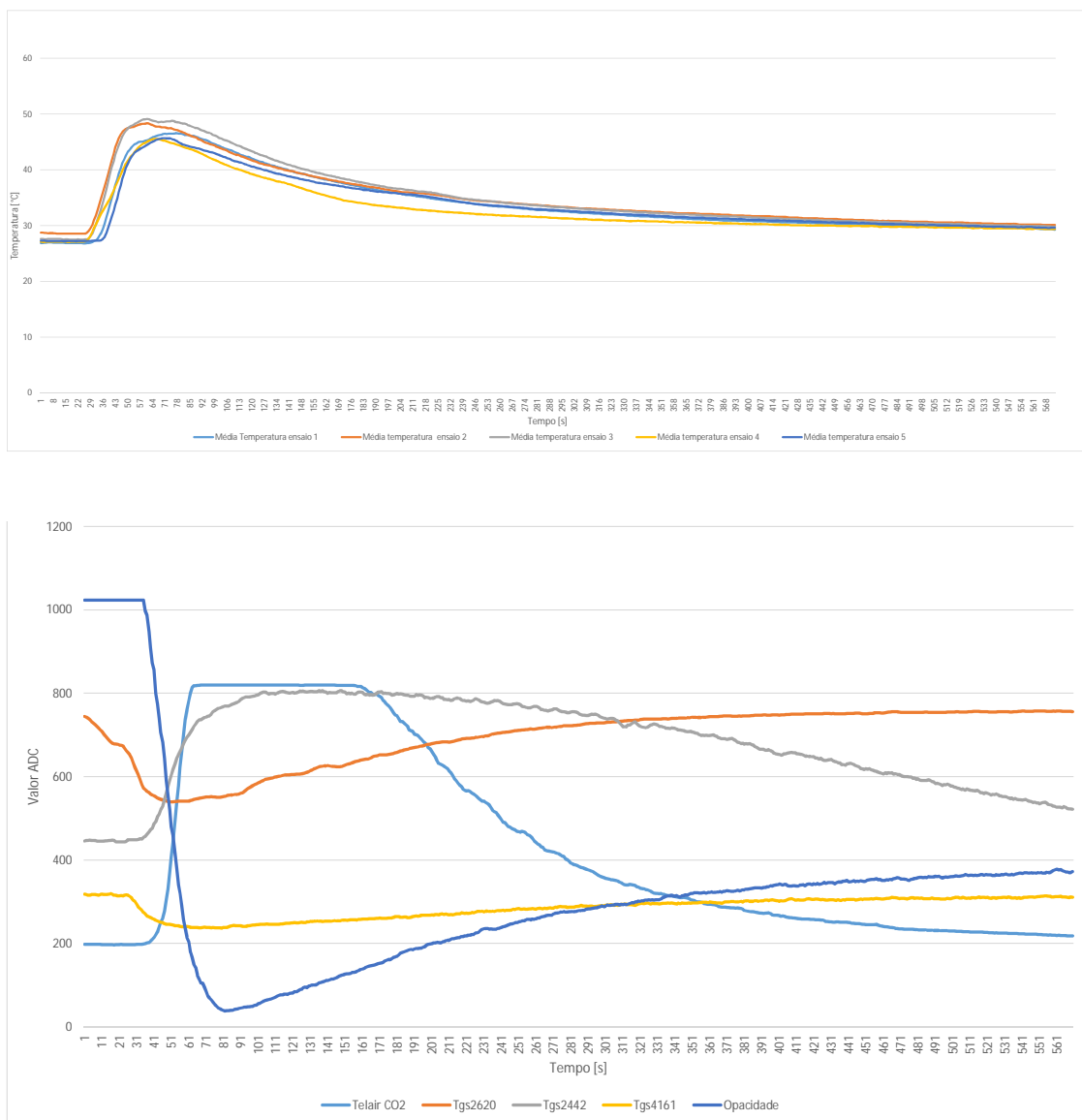


Figura 6.54: Ensaio detetor DM-1 espuma

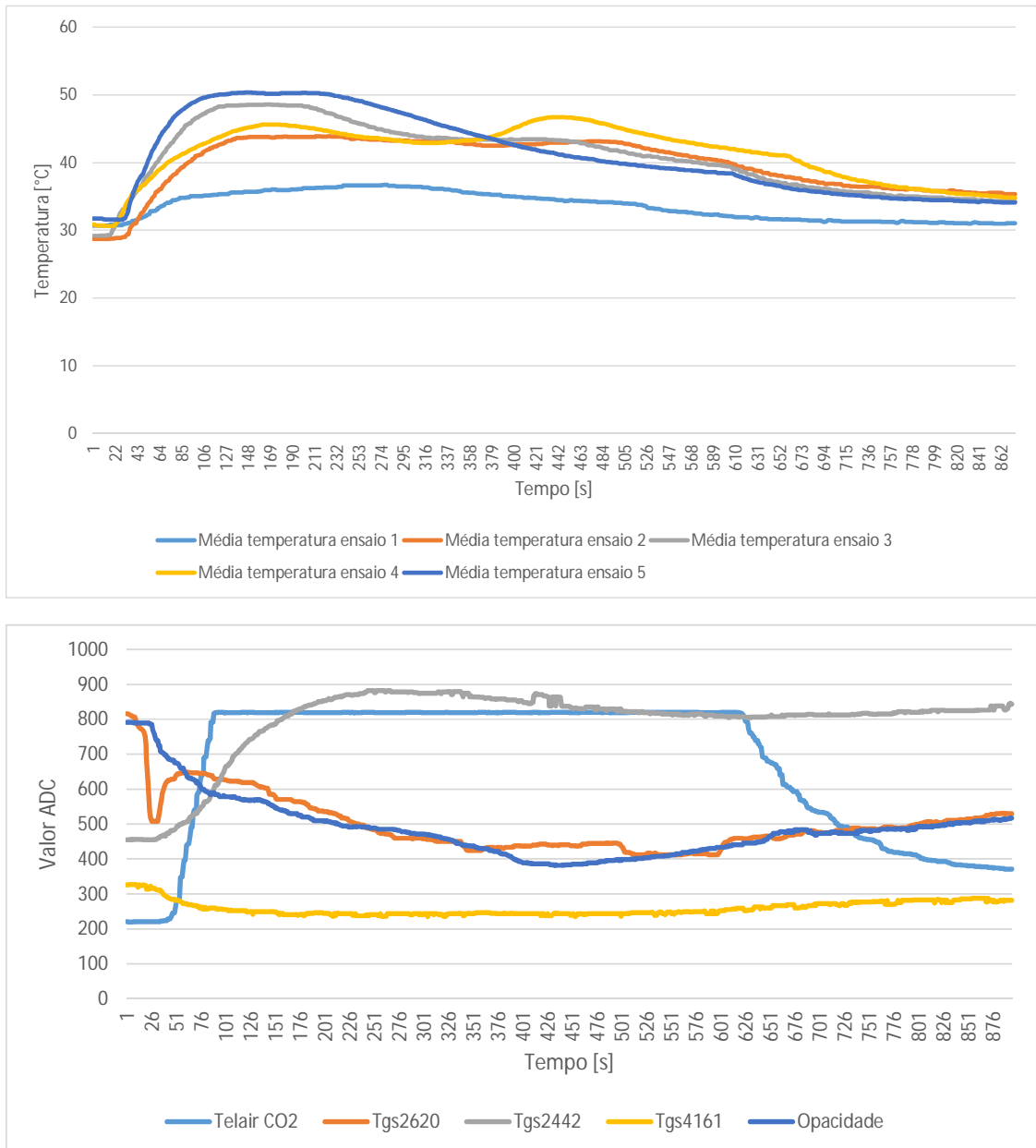


Figura 6.55: Ensaio detetor DO-1 madeira

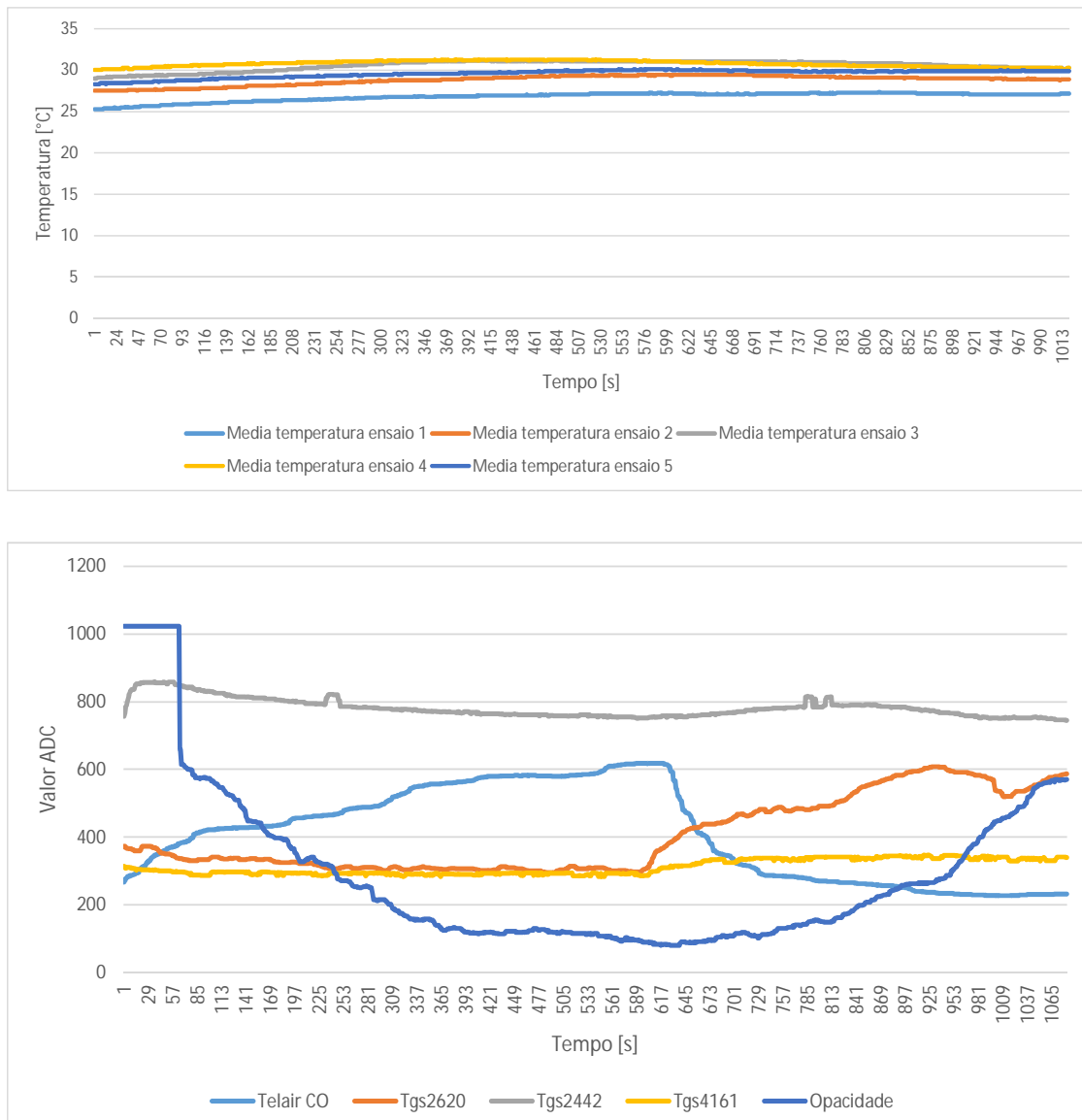


Figura 6.56: Ensaio detetor DO-1 algodão

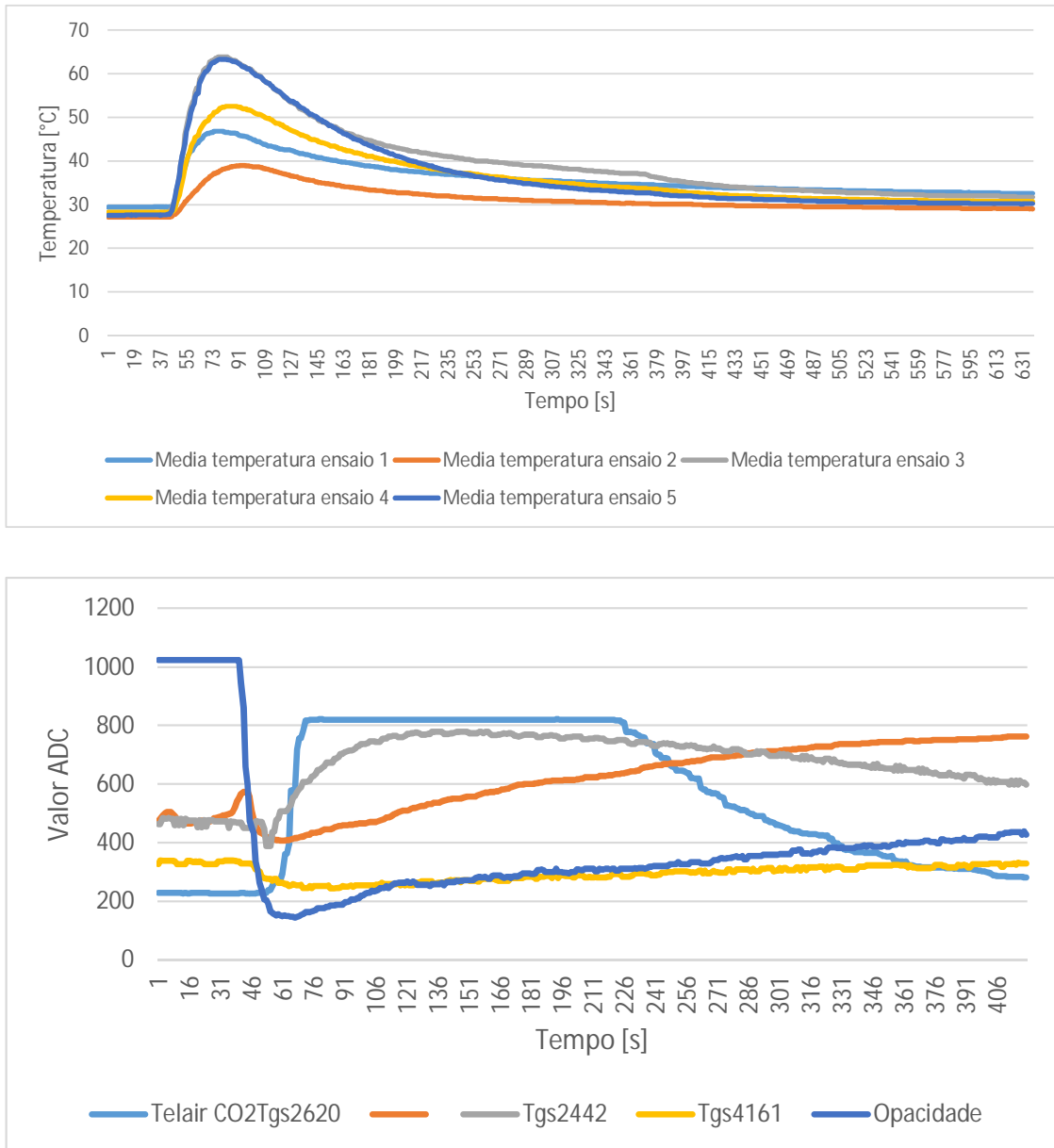


Figura 6.57: Ensaio detetor DO-1 espuma

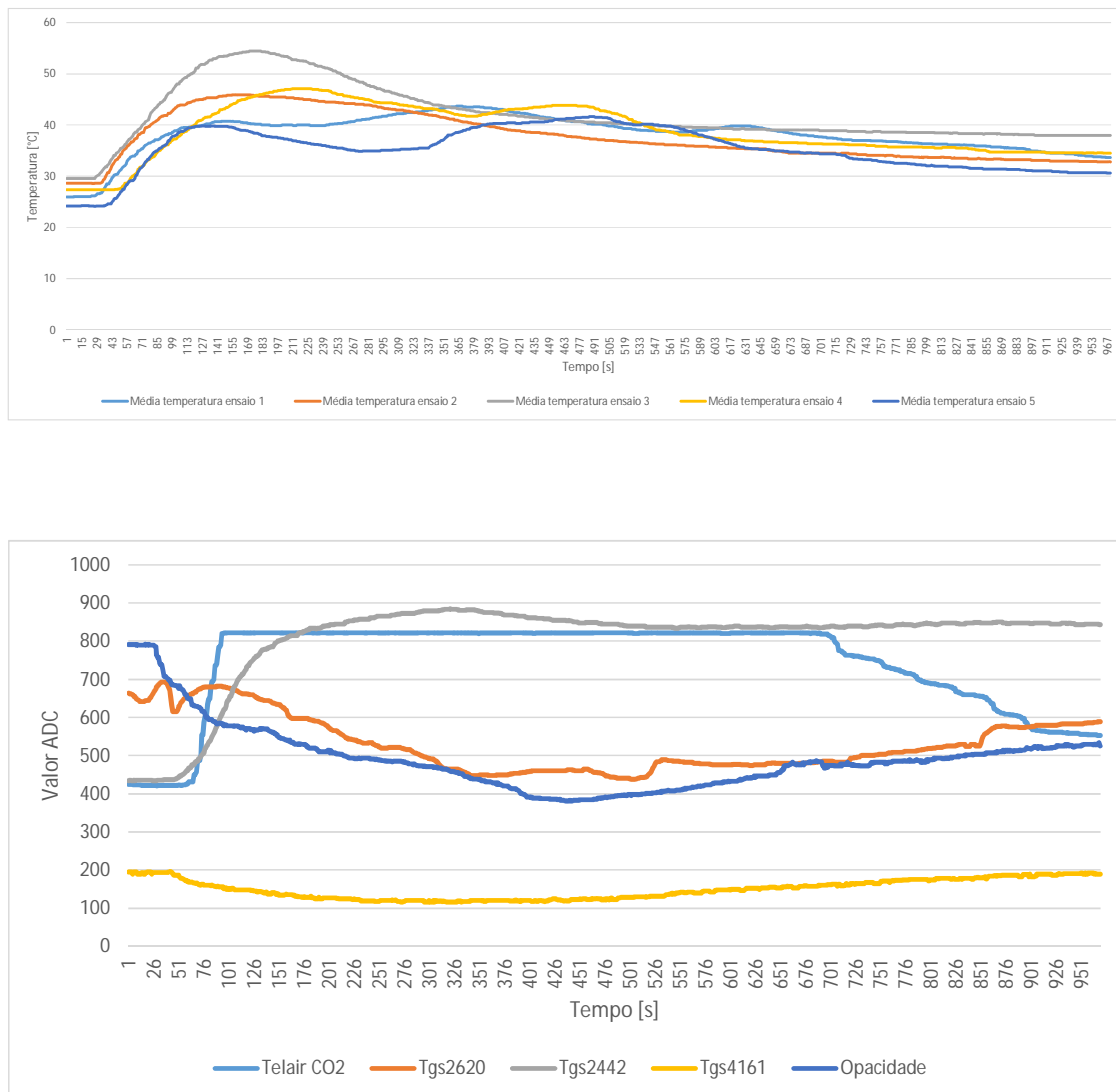


Figura 6.58: Ensaio detetor DO-4 madeira

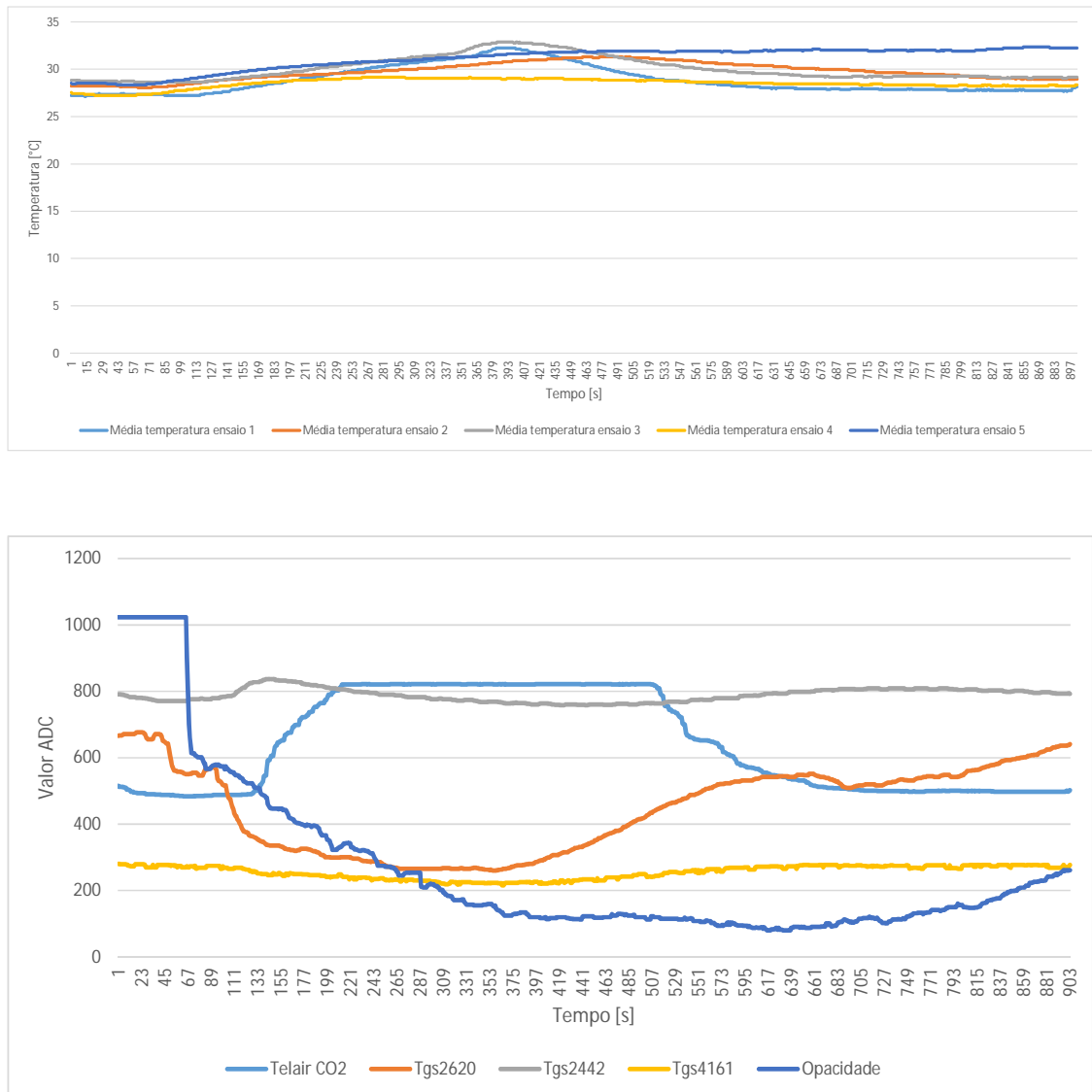


Figura 6.59: Ensaio detetor DO-4 algodão

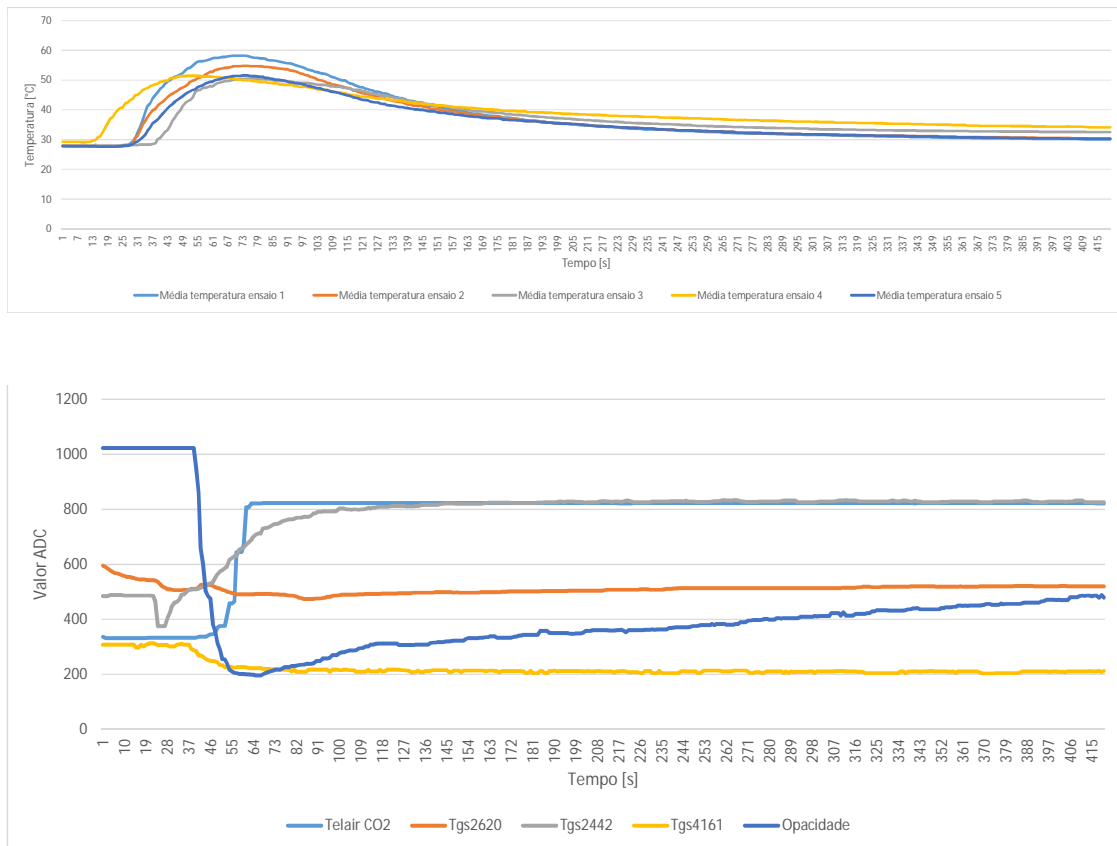


Figura 6.60: Ensaio detetor DO-4 espuma

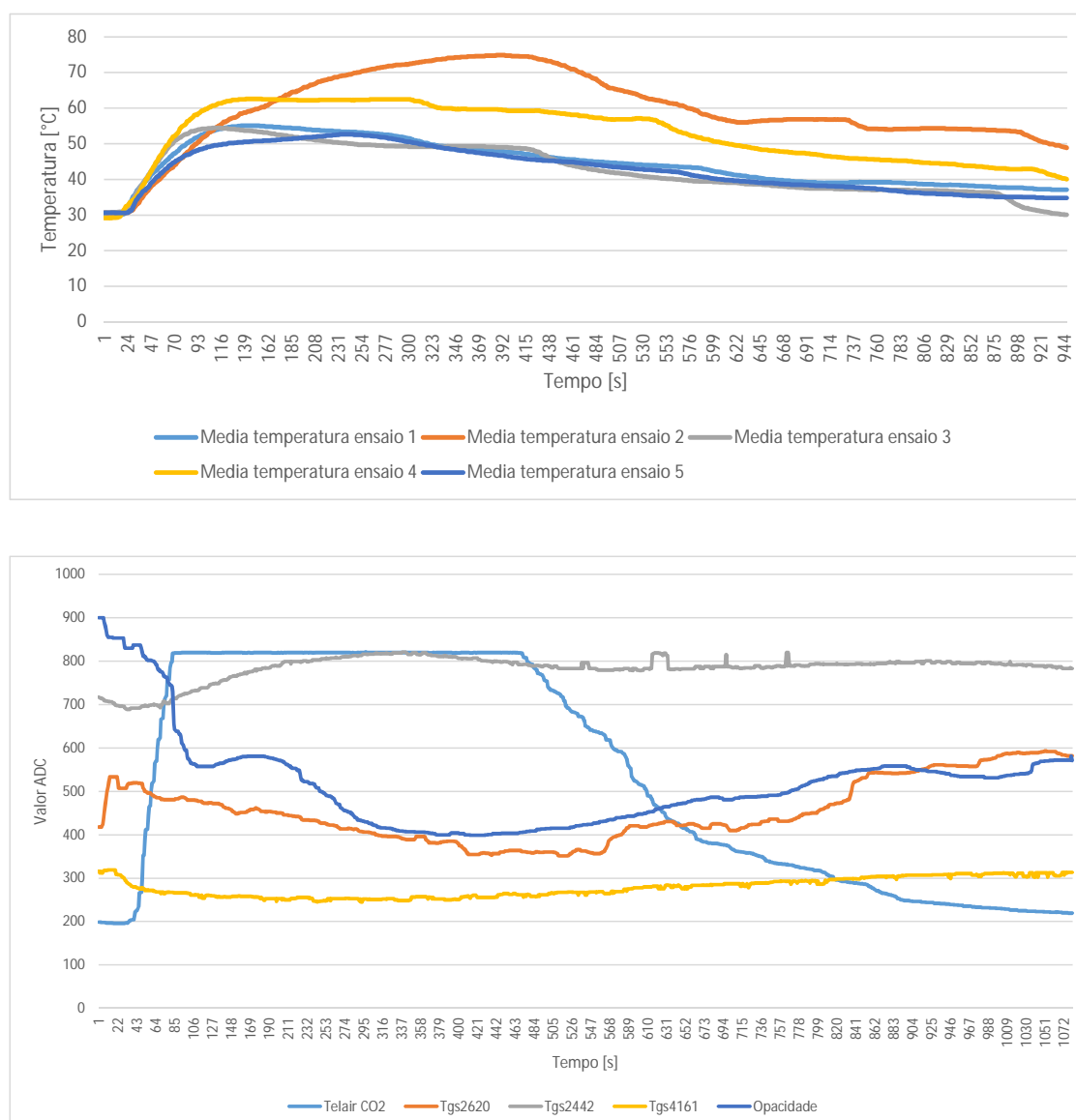


Figura 6.61: Ensaio detetor DO-2 madeira

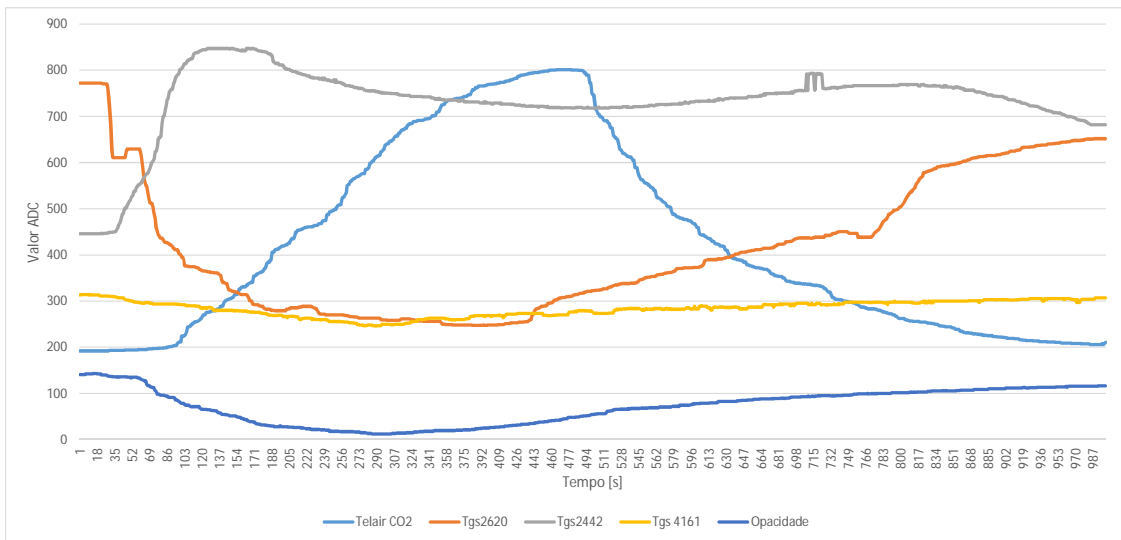
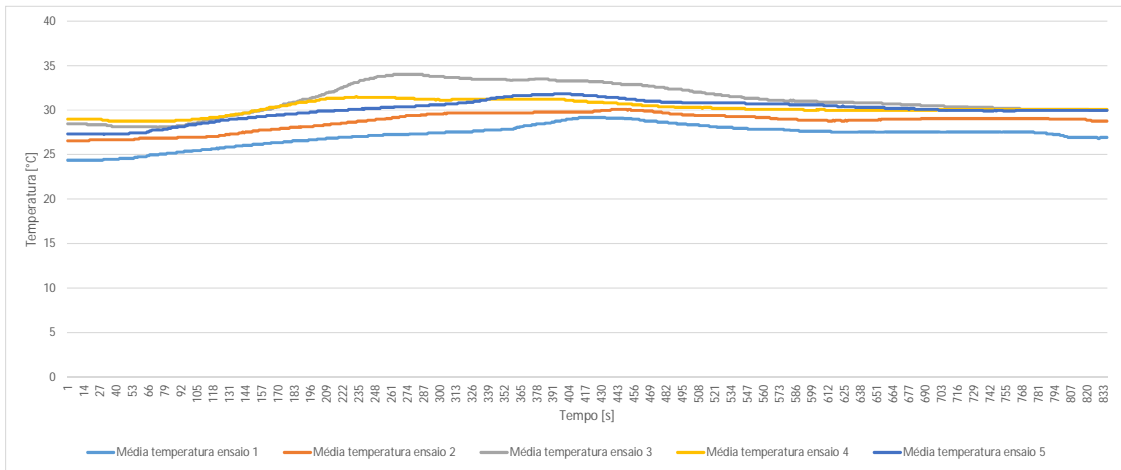


Figura 6.62: Ensaio detetor DO-2 algodão

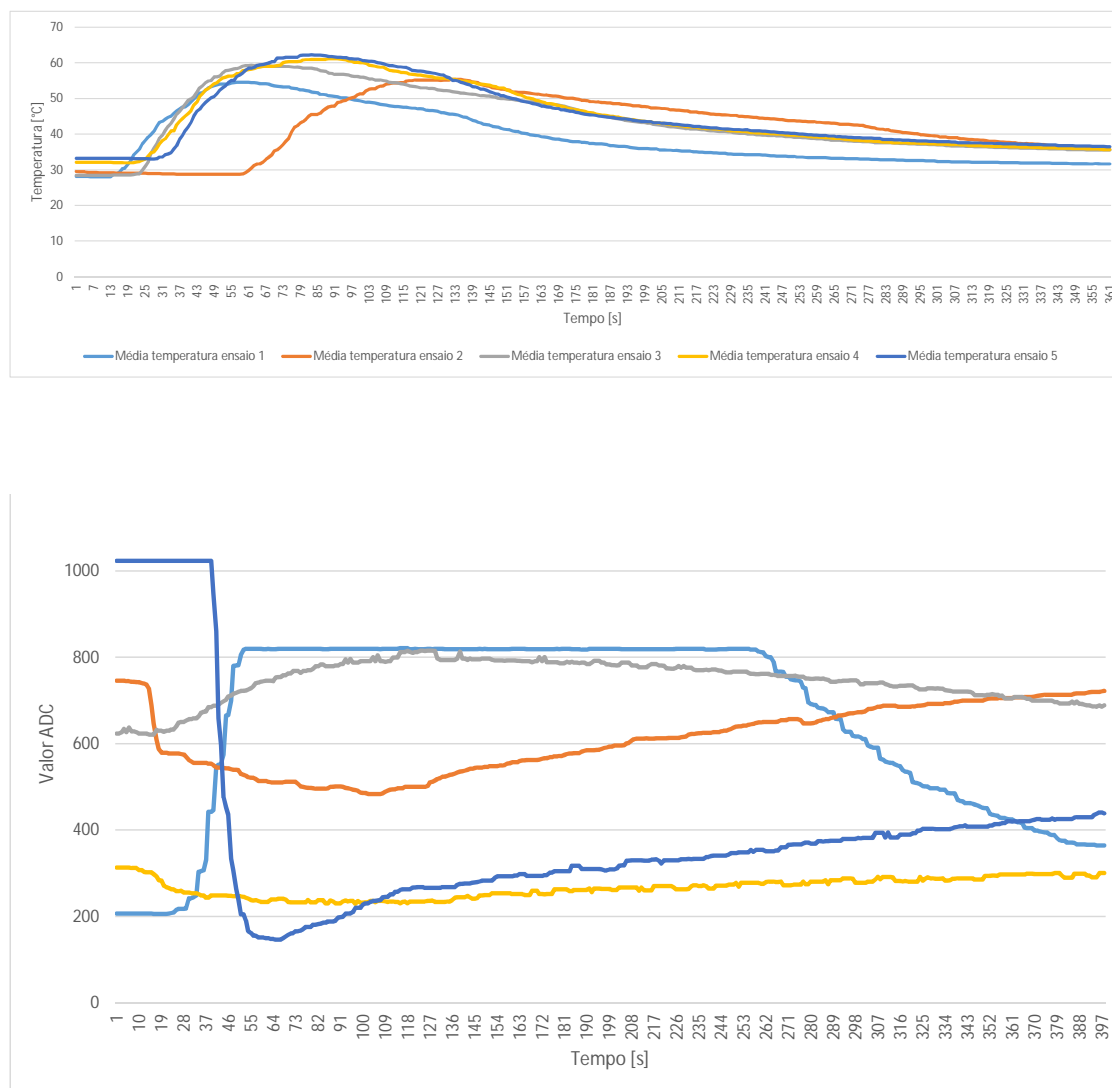


Figura 6.63: Ensaio detetor DO-2 espuma

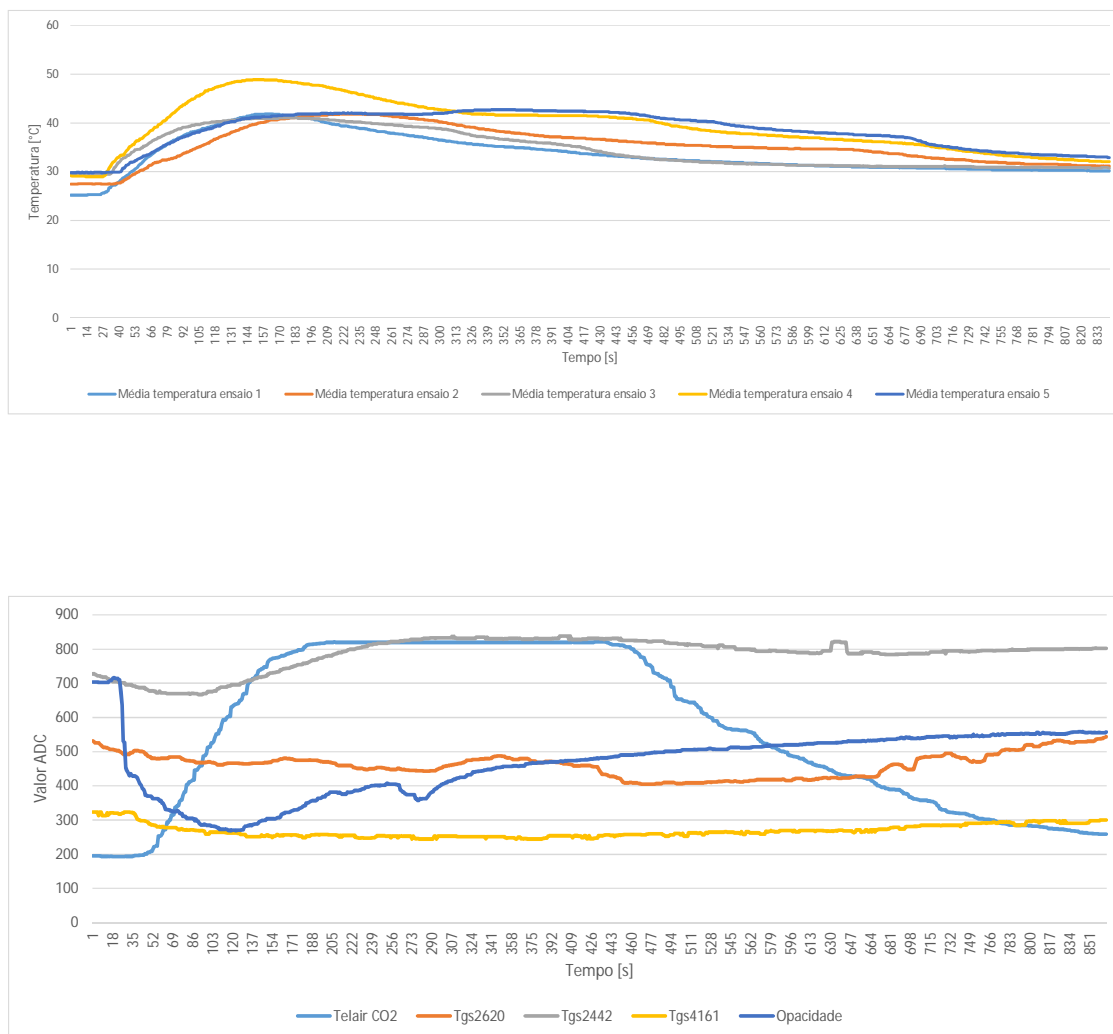


Figura 6.64: Ensaio detetor DM-2 madeira

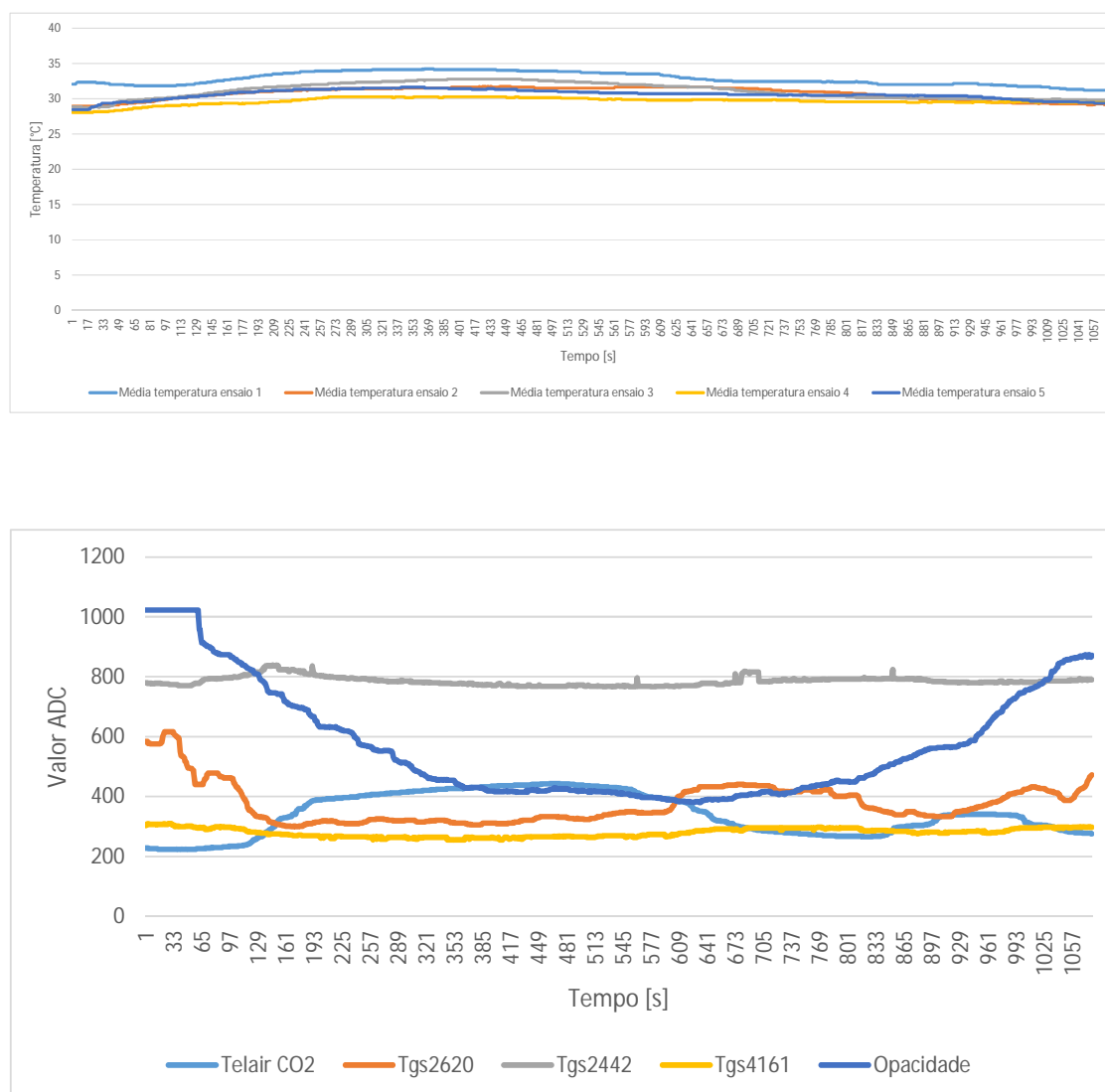


Figura 6.65: Ensaio detetor DM-2 algodão

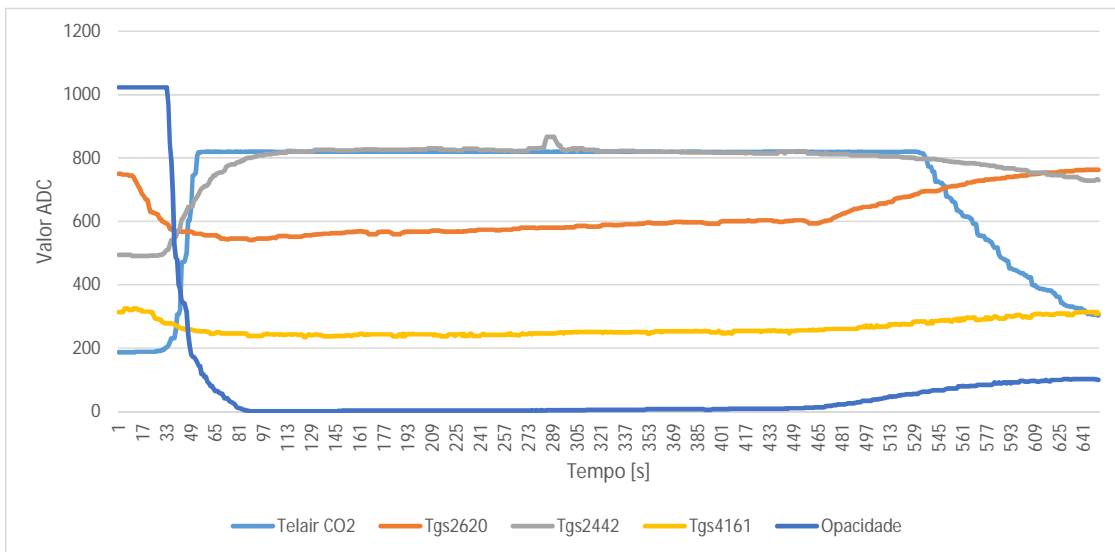
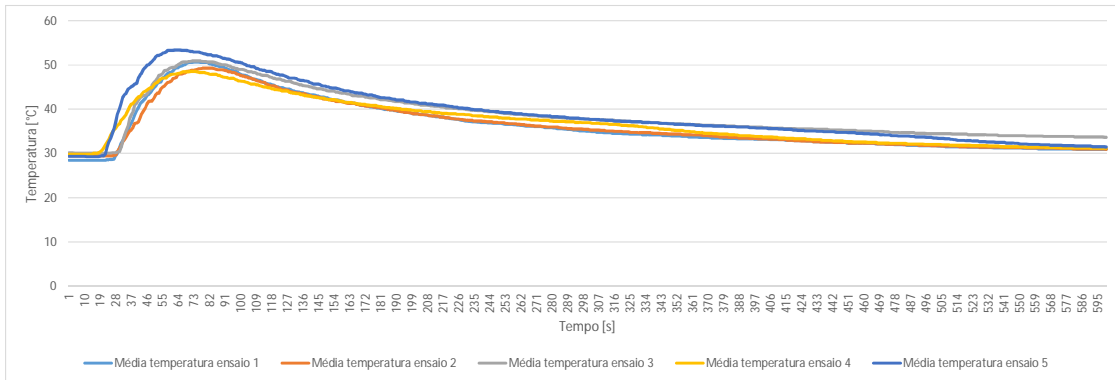


Figura 6.66: Ensaio detetor DM-2 espuma

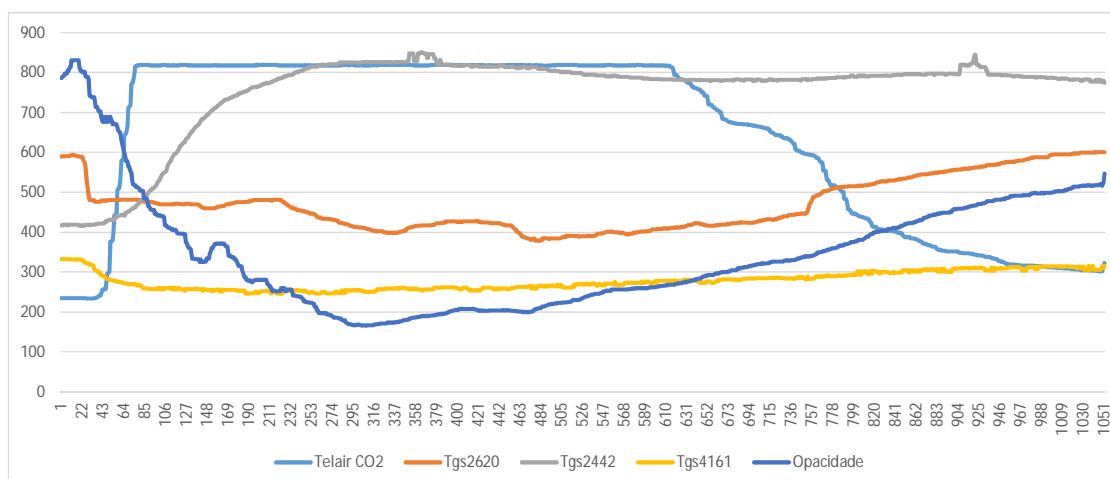
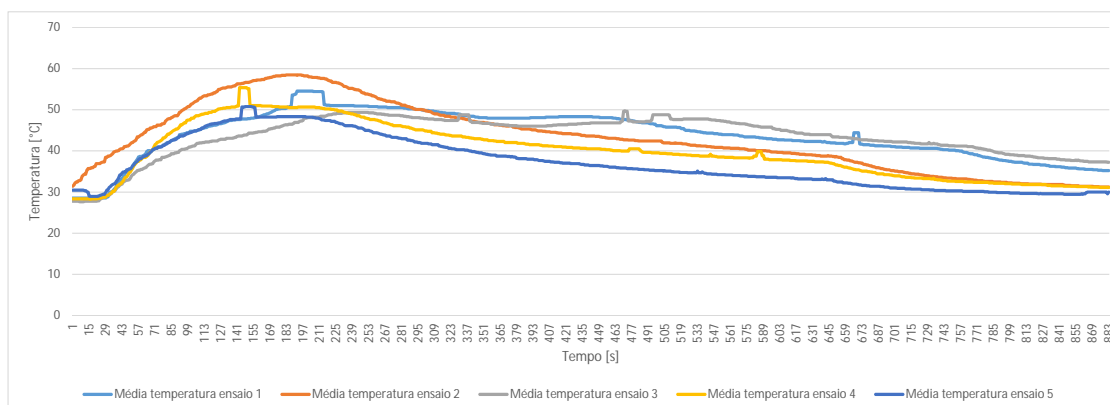


Figura 6.67: Ensaio detetor DM-3 madeira

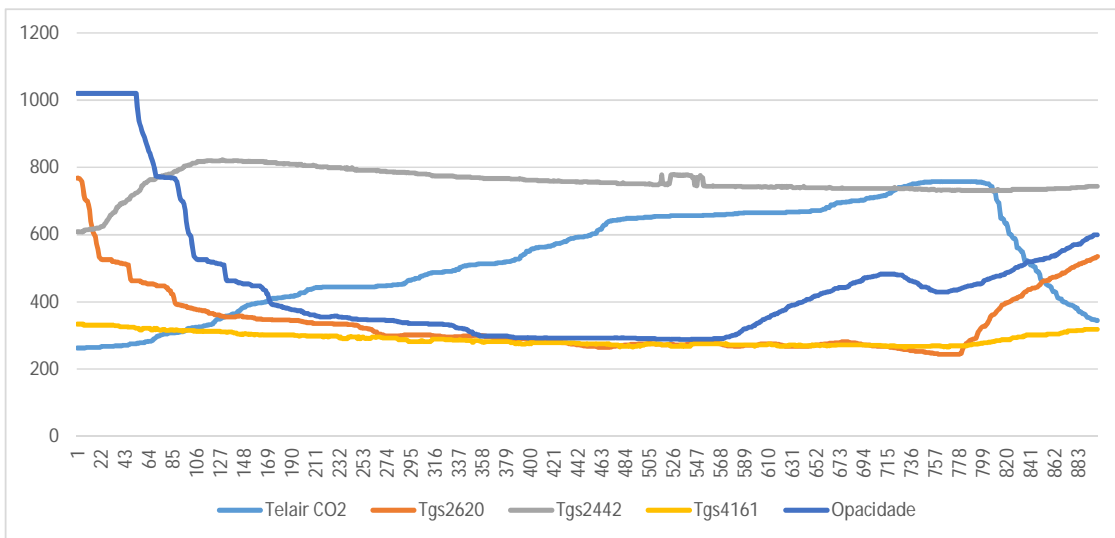
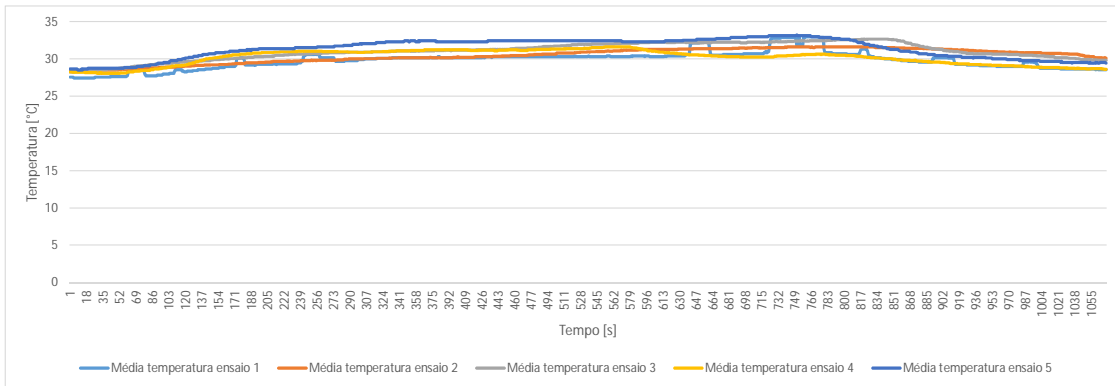


Figura 6.68: Ensaio detetor DM-3 algodão

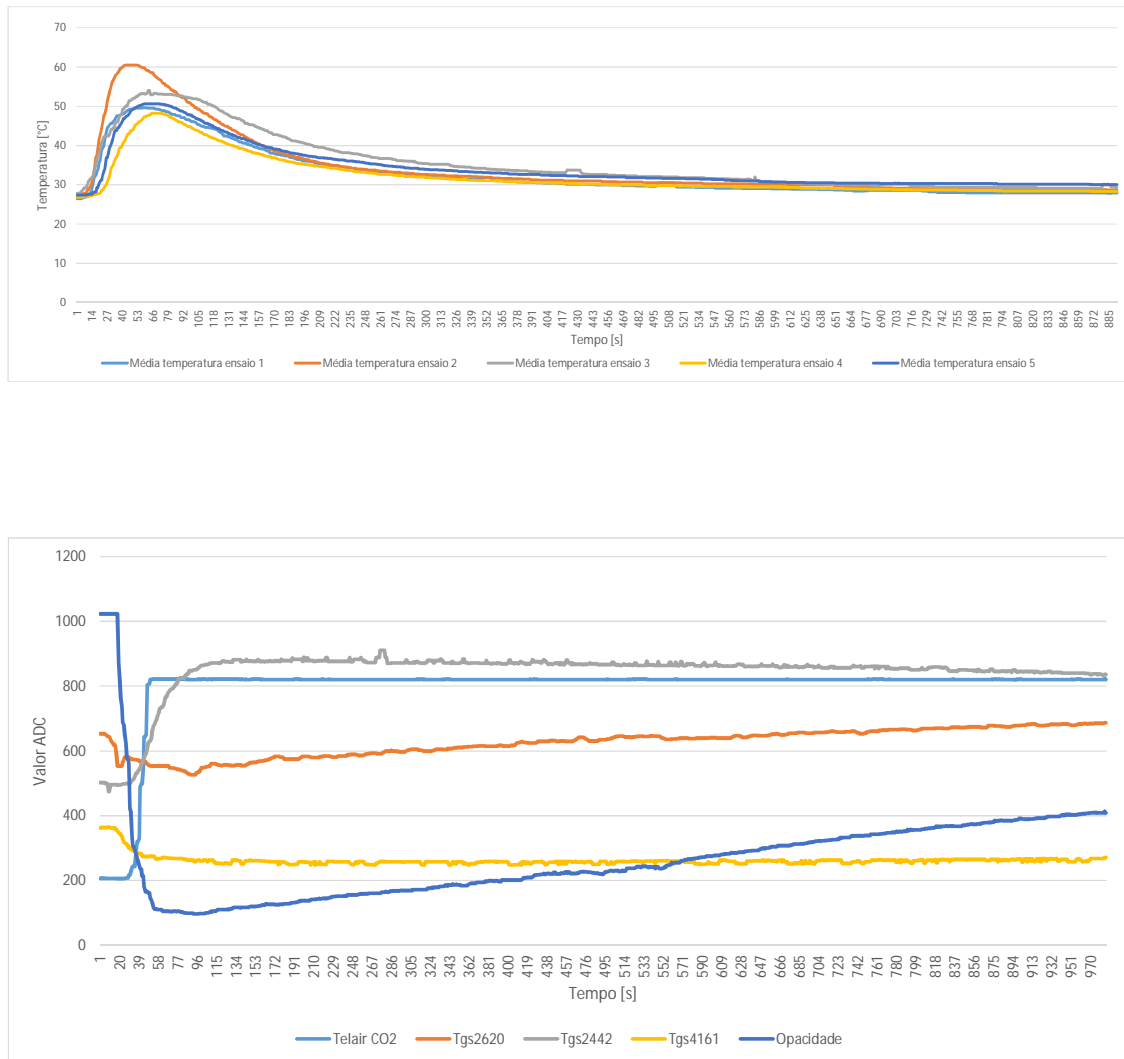


Figura 6.69: Ensaio detetor DM-3 espuma

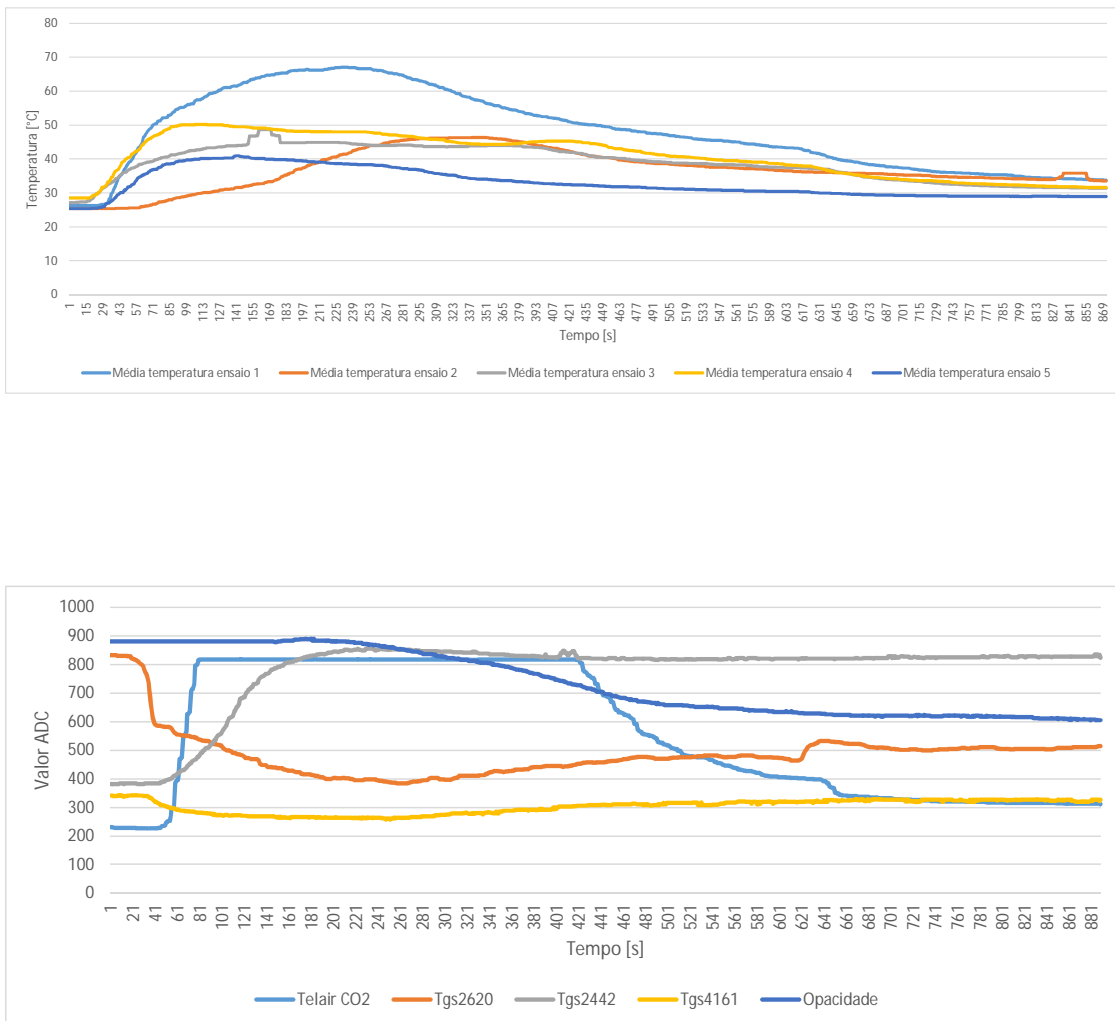


Figura 6.70: Ensaio detetor DO-3 madeira

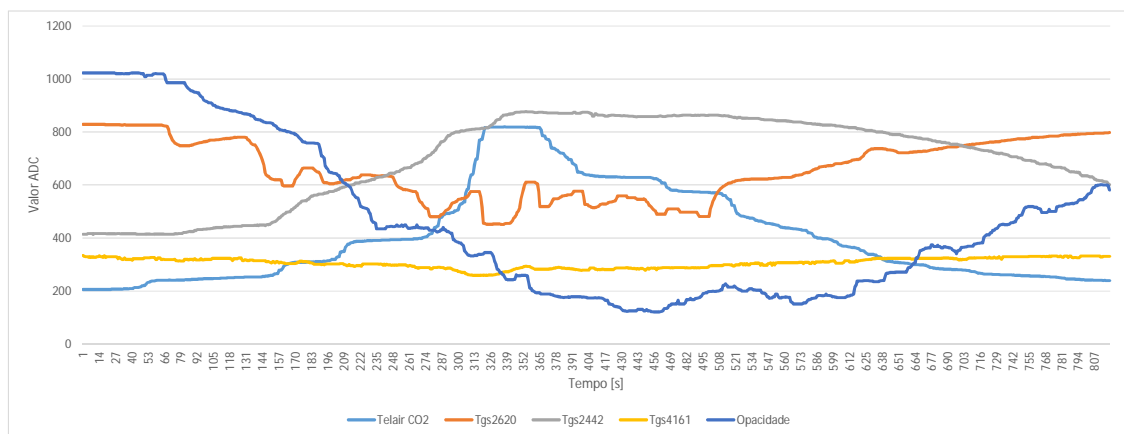
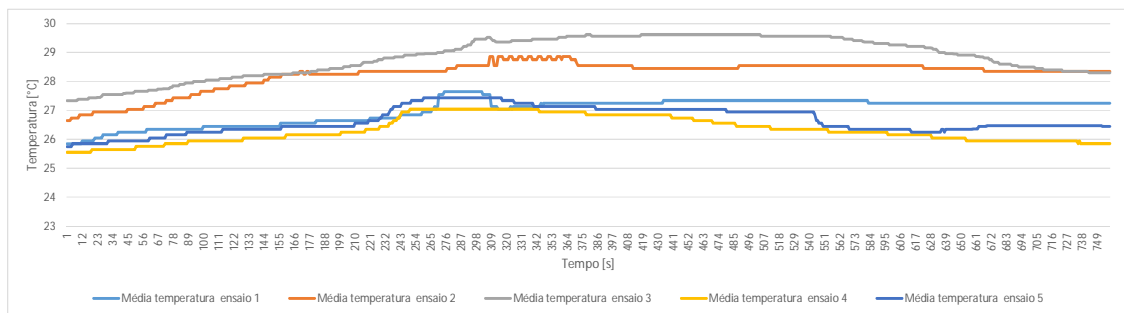


Figura 6.71: Ensaio detetor DO-3 algodão

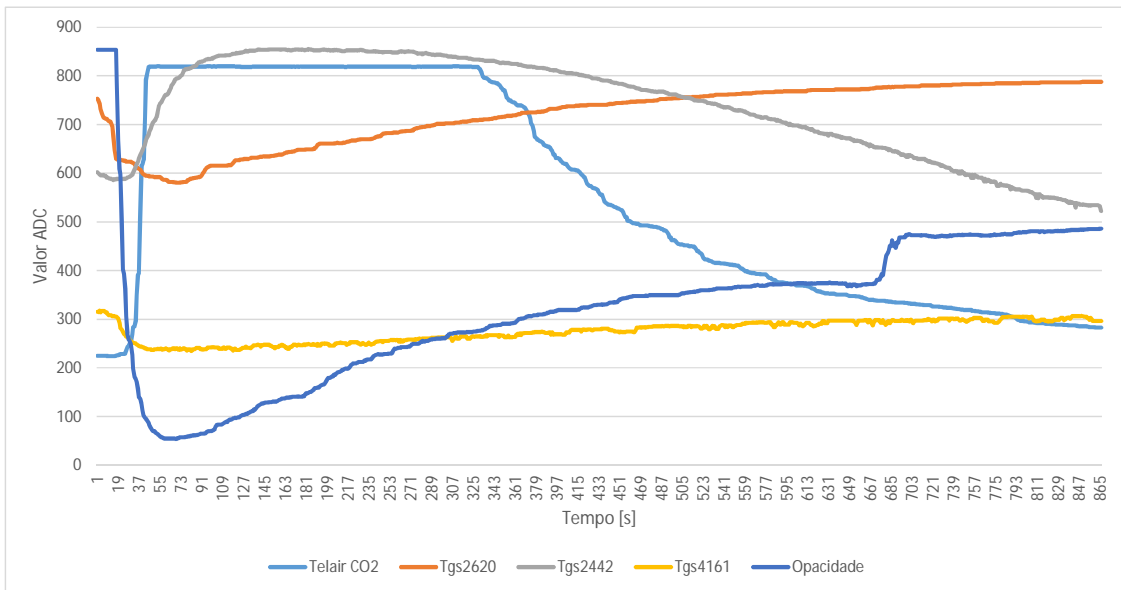
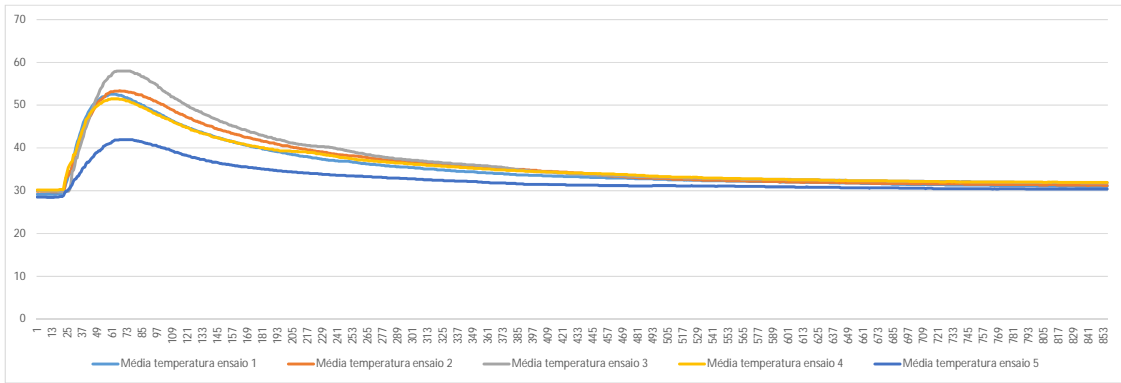


Figura 6.72: Ensaio detetor DO-3 espuma

Anexo IV

A norma EN 54 - 9 contém um anexo-A que corresponde à descrição dos fogos-tipo.

EN 54 - 9 Fogos-Tipo:

- Fogo-Tipo 1 - TF 1 - Fogo aberto celulósico (madeira)
 - Combustível: aproximadamente 70 ripas de madeira seca com dimensões (1 x 2 x 25) cm^3 .
 - Disposição: 7 camadas pelo menos devem ser empilhadas sobre uma superfície de (50 x 50) cm^2 .
 - Inflamação: 5 cm^3 de álcool desnaturado num cadinho de 5 cm de diâmetro.
 - Ponto de acendimento: No centro da superfície da base.
 - Parâmetros de fim de ensaio : $m = 0.60$ dB/m , $\Delta G=0,5$ g.
- Fogo-Tipo 3 - TF 3 - Fogo lento com brasas (algodão)
 - Combustível: aproximadamente 90 mechas de algodão, cada uma com aproximadamente 3g e 80 cm de comprimento.
 - Disposição: as mechas de algodão devem ser fixadas num anel de arame com 10 cm de diâmetro.
 - Inflamação: incendiar as extremidades e soprar imediatamente sobre a chama de modo a continuarem a arder sem chama.
 - Fim de ensaio: $m_E = 2$ dB/m, $\Delta G=0,8$ g.
- Fogo-Tipo 4 - TF 4 - Fogo aberto em matérias de plástico (poliuretano)
 - Combustível: 3 placas de (50 x 50 x 2) cm^3 de espuma macia de poliuretano, sem aditivo retardante de chama.

- Disposição: as placas devem ser colocadas umas sobre as outras sobre uma folha de alumínio.
- Parâmetros de fim de ensaio : $m = 0.60$ dB/m , $\Delta G=0,8$ g.

