



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Posicionamento de Detetores de Monóxido de Carbono

ARTUR FERNANDES FRANCO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques
Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Júri:

Presidente: Professor Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral
Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2019



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Posicionamento de Detetores de Monóxido de Carbono

ARTUR FERNANDES FRANCO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques
Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Júri:

Presidente: Professor Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral
Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2019

Figura da capa foi adaptada do prospecto da : U.S. *Department of Health and Human Services – Centers for Disease Control and Prevention.*

Agradecimentos

Este espaço é dedicado a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para que fosse possível a elaboração e a conclusão desta dissertação. O presente Trabalho Final de Mestrado foi concluído com a ajuda e o apoio de algumas pessoas. Quero por isso expressar os meus profundos e mais sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Nuno Henriques e à Prof^a Doutora Cláudia S. S. da Luz Casaca, meus orientadores, pela disponibilidade que tiveram em me ajudar e aconselhar sobre os caminhos mais corretos e práticos neste trabalho.

À Sra. Dra. Fátima Rato, do INEM, pelos dados disponibilizados.

Aos Srs. Comandantes dos Corpos de Bombeiros pelas suas contribuições e incentivos, bem como aos Srs. Arquitetos e Engenheiros Projetistas e instaladores.

Aos meus grandes colegas e que foram indispensáveis no meu percurso académico que agora termina: Abhay, Carlos, Filipe, Francisco e o Válder. Um agradecimento especial também aos outros colegas de turma ao longo dos vários anos do ISEL por todos os bons momentos de convívio e ensinamentos que contribuíram em muito para a minha formação pessoal e profissional.

Aos meus filhos Luís e Sofia, que sempre me apoiaram e deram força em todos os momentos e que foram privados em vários momentos da atenção necessária e dos momentos de lazer que vos pertencia. Muito obrigado pelo amor, pelo apoio, pelo carinho, por tudo. Este trabalho é dedicado a vós.

Por último, mas não menos importante agradeço à minha esposa Dinora pela paciência, pelo apoio e por me ter incentivado a concluir este projeto.

Resumo

No posicionamento dos detetores de monóxido de carbono é mandatório cumprir o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE) publicado na Portaria 1532/2008 de 29 de Dezembro, bem como ter em atenção as notas e fichas técnicas publicadas pela Associação Nacional de Proteção Civil (ANPC) e pela Associação Portuguesa de Segurança (APSEI).

A Portaria 1532/2008 no seu artigo 180º estabelece um conjunto de critérios que são de aplicação quase consensual em Utilizações-Tipo II e VIII, mas que nas Utilizações-Tipo I suscitam por parte da comunidade técnica algumas inquietações na definição das medidas a adotar.

Face a estes condicionalismos no posicionamento dos detetores foi necessário levar a cabo uma extensa tarefa de pesquisa bibliográfica, assim como, realizar uma análise comparativa dos parâmetros definidos pelas normativas portuguesas, europeia e norte-americana, mormente nas utilizações de tipo-I, habitacionais e de tipo-II, estacionamentos. Adicionalmente, foi necessário auscultar a opinião dos bombeiros e projetistas.

Após o processo de recolha e análise de toda a informação pertinente tornou-se viável o elencar de uma série de propostas de alteração que visam tornar, inclusivas na portaria recomendações que se apliquem também as Utilizações-Tipo I, bem como estabelecer um conjunto de bases técnicas que suportam a localização do detetor de monóxido de carbono para uso em prol da salvaguarda da vida e saúde dos ocupantes das instalações residenciais e não residenciais.

Palavras-chave: Combustão incompleta, Detetores, Intoxicação, Monóxido de carbono, Normativa

Abstract

In the positioning of carbon monoxide detectors, it is mandatory to comply with the technical regulations for fire safety in buildings (RT-SCIE) published in ordinance 1532/2008 of 29 December, as well take in consideration the notes and datasheets published by National Association of Civil Protection (ANPC) and the Portuguese Security Association (APSEI).

Portaria (Ordinance) 1532/2008 in its article 180 establishes a set of criteria which are almost consensual application in Type II and VIII uses, but that in type I uses some concerns are raised by the technical community in the definition of the measures to be adopt.

Ordinance 1532/2008 in its Article 180 establishes a set of criteria that are almost consensual to apply in Type II and VII Uses, but which in Type I Uses raise some concerns on the part of the technical community in defining the measures to be taken. to adopt.

Given these constraints in the positioning of detectors it was necessary to carry out an extensive task of bibliographic research, as well as to perform a comparative analysis of the parameters defined by the Portuguese, European and North American standards, especially in the use of Type-I, housing and Type-II parking lots. Additionally, it was necessary to listen to the opinion of firefighters and designers.

After the process of collecting and analyzing all relevant information, it became feasible to list a number of amendment proposals aimed at making recommendations that also apply to Type I usages as well as establishing a set of bases. techniques that support the location of the carbon monoxide detector for use to safeguard the life and health of occupants of residential and non-residential installations.

Keywords: Incomplete Combustion, Detectors, Poisoning, Carbon Monoxide, Normative

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice.....	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xiii
Glossário de acrónimos / Nomenclatura	xv
1-Introdução	1
1.1 – Enquadramento	1
1.2 - Estatísticas dos incidentes com o CO.....	1
1.2.1 - Portugal	3
1.2.2 - França	4
1.2.3 - Reino Unido	5
1.2.4 - Estados Membros da União Europeia	7
1.2.5 - Estados Unidos da América	9
1.3 - Estrutura e organização	10
2 – Problemática do monóxido de carbono (CO).....	13
2.1 – A combustão	13
2.1.1 – Combustível e Comburente	15
2.1.2 – Energia de ativação.....	16
2.2 – Produtos da combustão	19
2.2.1 – Libertação de calor	19
2.2.2 – Produção de fumo e aerossóis	20
2.2.3 – Radiação luminosa e produtos não voláteis.....	21
2.2.4 – Gases da combustão	21
2.3 – Propagação da Energia de Combustão	22
2.3.1 – Condução	23
2.3.2 – Convecção	24
2.3.3 – Radiação	25
2.4 – O monóxido de carbono (CO)	26
2.4.1 – Propriedades Físicas	27
2.4.2 – Propriedades Químicas	28
2.4.3 – Fontes de monóxido de carbono.....	29
2.4.4 – Exposição da população ao monóxido de carbono.....	33
2.5 – Processo de intoxicação na exposição ao CO.....	35
2.6 – Efeitos na saúde das pessoas.....	36
2.7 – Tratamento da intoxicação por inalação de CO.....	37

3 – Sistemas de Detecção de Gases	41
3.1- Gases	41
3.2 - Sensores.....	44
3.2.1 - Introdução	44
3.2.2 - Características de desempenho do sensor	45
3.2.3 - Tecnologias de deteção de gases.....	46
3.2.4 - Comparativo das tecnologias de sensores de deteção de gases.....	60
3.3 - Configuração dos Sistemas Automáticos de Detecção de Gases Combustíveis.....	61
3.4 - Sistemas Automáticos de Detecção de CO	62
3.4.1 - Configuração dos Sistemas Automáticos de Detecção de CO.....	63
3.4.2 - Comparativo das principais tecnologias de deteção de CO	65
4 – Legislação nacional e Normas internacionais sobre o CO	67
4.1 – Disposições Regulamentares Portuguesas	67
4.1.1 - Decreto-Lei nº220/2008	67
4.1.2 - Portaria nº 1532/2008.....	69
4.1.2 – ANPC-NT N°19 – Sistemas Automáticos de Detecção de Gás	73
4.1.3 – APSEI-Ficha Técnica N°44 -Sistema Automático de Detecção de Monóxido Carbono	74
4.2 – Regulamentação Europeia – EN 50292.....	74
4.3 – Regulamentação Norte -Americana – NFPA 720	77
4.4 – Análise comentada das diversas normativas (Portugal, Europa e EUA).....	82
5 – Propostas de alteração da legislação sobre os detetores de CO.....	87
5.1 – Consultas a comunidade técnica	87
5.1.1 – Perspetiva das diversas espécies de corpos de bombeiros.....	87
5.1.2 – Perspetiva dos projetistas e instaladores de SCIE	91
5.1.3 – Perspetivas dos comandantes dos corpos de bombeiros versus as perspetivas dos projetistas e instaladores de SCIE.....	93
5.2 – Propostas de alteração a introduzir na legislação	94
5.2.1 - N.º 7, Artigo 86º	95
5.2.2 - N.º 5, Artigo 87º	95
5.2.3 - N.º 1, Artigo 181º	96
5.2.4 - N.º 3, Artigo 180º	97
6 - Conclusões	101
Referências Bibliográficas/Bibliografia.....	105
Anexos e/ou Apêndices	111
Anexo A.1 – Utilizações-Tipo	111
Anexo A2 – Classificação dos locais de risco	114
Anexo B.1 – Controlo de poluição de Ar	116
Anexo B.2 – Líquidos e gases combustíveis	117

Anexo C.1 – Efeitos na saúde dos diferentes níveis de COHb no sangue em adultos saudáveis.....	118
Anexo D.1 – Alternativa baseada no desempenho (6.5.5.6 Performance-Based Alternative.).....	119
Anexo D.2 – Espaçamento em sala para sinalizadores óticos montados na parede	120
Anexo D.3 – Espaçamento em sala para sinalizadores óticos montados no teto	121
Anexo D.4 – Espaçamento em corredores (6.5.5.5* Spacing in Corridors.).....	122
Anexo D.5 – Sintomas da exposição ao monóxido de carbono com base na concentração (Symptoms of Carbon Monoxide Exposure Based on Concentration)	123
Anexo D.6 – Concentração de monóxido de carbono [ppm CO] versus tempo [minutos] (FIGURE B.1 Carbon Monoxide Concentration (ppm CO) Versus Time (Minutes).)	124
Anexo E.1 – Questionário sobre a legislação do CO.....	125

Índice de Figuras

Figura 1.1-Gráfico da evolução das intoxicações por CO em Portugal (Fonte: [2]).....	3
Figura 1.2-Gráfico da evolução das intoxicações por CO em França (Fonte: [4]).....	5
Figura 1.3-Gráfico da evolução das intoxicações por CO no Reino Unido (Fonte: [6 e 7]).....	6
Figura 1.4-Médias de mortes por inalação de co nos países da UE (Fonte: [9]).....	8
Figura 1.5-Mortes por co na UE (Fonte: [10]).....	9
Figura 1.6-Gráfico da evolução das intoxicações por CO nos EUA (Fonte: [10, 11 e 12]).....	10
Figura 2.1-Triângulo do fogo (Fonte: [17]).....	13
Figura 2.2-Tetraedro do fogo (Fonte: [17]).....	14
Figura 2.3-Representação esquemática da propagação do calor (Fonte: [17]).....	23
Figura 2.4-Propagação do calor por condução num incêndio (Fonte: Adaptada de [5]).....	23
Figura 2.5-Correntes de convecção provocadas por um foco de incêndio. (Fonte: [4]).....	25
Figura 2.6-Propagação do fogo por radiação (Fonte :[21]).....	26
Figura 2.7-Chama azul exibida pelo CO (Fonte : [20]).....	27
Figura 2.8-Fontes potenciais de CO numa habitação (Fonte: Adaptada de [31]).....	30
Figura 2.9-Concentração de CO (ppm co) vs tempo (minutos)(Fonte: Adaptada de [41]).....	37
Figura 3.1-Classificação dos sensores de acordo com sinais dos 6 domínios (Fonte: Imagem adaptada [44])....	44
Figura 3.2-Sensor eletroquímico (Fonte: [51]).....	47
Figura 3.3-Sensor de gás catalítico tipo-pellistor (Fonte: [52]).....	48
Figura 3.4-Secção transversal do dispositivo do sensor. (Fonte: [53]).....	49
Figura 3.5-Sensor infravermelho (Fonte: [52]).....	50
Figura 3 6-Sensores semicondutores de CO (Fonte: [44]).....	52
Figura 3.7-Sensores de fibra ótica (Fonte: [55]).....	54
Figura 3.8-Um dispositivo SAW p/descrever o princípio do sensor de gás (Fonte: [52]).....	56
Figura 3.9-Sensor de condutividade térmica (Fonte: [57]).....	58
Figura 3.10-Representação esquemática de um sensor inteligente (Fonte: Imagem adaptada [55]).....	59
Figura 3.11-Configuração de um SADG (Fonte: [61]).....	62
Figura 3.12-Esquema de sistema automático de deteção de monóxido de carbono (Fonte: [63]).....	64
Figura 4.1-Atmosfera saturada co (Fonte: [66]).....	69

Figura 4.2-Altura de posicionamento do detetor de CO (Fonte: [61]).....	70
Figura 4.3-Atmosfera perigosa (Fonte: [67]).....	72
Figura 4.4-Alínea 2 do artigo 87º do RT (Fonte: [68]).....	72
Figura 4.5-Alínea 3 do artigo 87º do RT (Fonte: [68]).....	73
Figura 4.6-Alínea 4 do artigo 87º do RT (Fonte: [68]).....	73
Figura 4.7-Posicionamento dos detetores de co segundo a EN 50292 (Fonte: [70]).....	76
Figura 4.8-Aparelho localizado em quartos de dormir afastados do aparelho de queima (Fonte: [70]).....	77
Figura 4.9-Espaçamento em sala para sinalizadores óticos montados na parede (Fonte: Adaptação de [41]).....	80
Figura 4.10-Distribuição do espaço por alarme em sala - (a) correta; (b) incorreta (Fonte: Adaptação de [41]).	80
Figura 4.11-Distribuição dos sinalizadores óticos nos corredores (Fonte: Adaptação de [41]).....	81
Figura 5.1- Resultados das respostas de projetistas e bombeiros ao questionário submetido.....	94

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Código de doenças [1]	2
Tabela 1.2 - Número de intoxicações por CO em Portugal [2]	3
Tabela 1.3 - Intoxicações por CO em França [4]	4
Tabela 1.4 - Intoxicação por CO no Reino Unido [6, 7]	6
Tabela 1.5 - Número de mortes relacionadas com o CO reportadas pelos Estados Membros da EU [9]	7
Tabela 1.6 - Números de incidentes nos Estados Unidos da América.....	9
Tabela 2.1 - Classes de fogo (Fonte: NP EN 2, de 1993 e NP EN 2:1993/a1, de 2005).....	15
Tabela 2.2 - Quant. De ar para que ocorra a combustão completa de 1 kg de algumas substâncias (Fonte:[15])..	16
Tabela 2.3 - Limites de inflamabilidade de alguns combustíveis (Fonte: [17]).....	17
Tabela 2.4 - Principais fontes de energia de ativação (Fonte: [18]).....	18
Tabela 2.5 - Poder calorífico de algumas matérias combustíveis (Fonte: [14]).....	20
Tabela 2.6 - Propriedades físicas do co (Fonte: [24]).....	28
Tabela 2.7 - Resumo das taxas de produção de CO das fontes de combustão Fonte: [32]).....	32
Tabela 2.8 - Sintomas da exposição ao monóxido de carbono com base na sua concentração (Fonte: [41]).....	36
Tabela 3.1 - Classificação dos gases de acordo com as propriedades químicas (Fonte: [46]).....	42
Tabela 3.2 - Classificação dos gases de acordo com as propriedades físicas (Fonte: [46]).....	43
Tabela 3.3 - Classificação dos gases de acordo com a utilização (Fonte: [46]).....	43
Tabela 3.4 - Comparação de tecnologias de sensor de deteção de gás (Fonte: [52]).....	60
Tabela 3.5 - Comparação de três tecnologias de deteção de gás(CO) no que respeita aos critérios de monitorização da QAI doméstico e de veículos (Fonte: [46]).....	65
Tabela 4.1 - Utilizações tipo (Fonte: [65]).....	68
Tabela 4.2 - Requisitos de intensidade efetiva para sinalizadores óticos em dormitórios (Fonte: [41]).....	81
Tabela 5.1 - Respostas dos bombeiros ao questionário.....	88
Tabela 5.2 - Respostas dos projetistas ao questionário.....	91
Tabela 5.3 - Principais diferenças no posicionamento dos detetores de CO.....	98

Glossário de acrónimos / Nomenclatura

ANPC	Associação Nacional de Proteção Civil
APSEI	Associação Portuguesa de Segurança
AQM	Monitorização Qualidade do Ar Automóvel (Automobile Air Quality Monitor)
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CDC	Centro de Controlo e Prevenção de Doenças (Center for Disease Control and Prevention)
CIAV	Centro de Informação Anti-Venenos
CO	Monóxido de carbono
COHb	Carboxiemoglobina
COV's	Compostos Orgânicos Voláteis
DL	Decreto-Lei
EN	Norma Europeia
EPA	Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Administration)
EUA	Estados Unidos da América
FOS	Sensor de Fibra-Ótica (Fiber Optic Sensor)
Hb	Hemoglobina
HC	Hidrocarbonetos
ICD-10	Classificação Internacional de Doenças-Revisão 10 (International Classification of Diseases-10)
IDT	Transdutor Interdigitado (Interdigitated Transducers)
INEM	Instituto Nacional de Emergência Médica
IR	Infravermelhos (Infrared)
LII	Limite Inferior de Inflamabilidade
LSI	Limite Superior de Inflamabilidade
MEMS	Sistema micro-eletromecânico (Micro-ElectroMechanical Systems)

MiCS	Sistema micro-químico (MicroChemical of Switzerland)
NAAQS	Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiental dos Estados Unidos (National Ambient Air Quality Standards)
NFPA	Associação Nacional de Proteção contra Incêndios (National Fire Protection Association)
NIOSH	Agência Federal de Segurança e Saúde Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health)
NO_x	Óxidos de Azoto
NP	Norma Portuguesa
OHB	Oxigenoterapia Hiperbárica
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSHA	Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration)
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
RJ-SCIE	Regulamento Jurídico – Segurança Contra Incêndios em Edifícios
RT-SCIE	Regulamento Técnico-Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SADG	Sistemas Automáticos de Detecção de Gases
SAW	Onda Acústica de Superfície (Surface Acoustic Wave)
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SGS	Sensor de gás semicondutor (Semiconductor Gas Sensor)
SMD	Dispositivo de montagem Superficial (Surface Mounting Device)
SMO	Óxido metálico semicondutor (Semiconducting Metal Oxide)
SNC	Sistema Nervoso Central
TFM	Trabalho Final de Mestrado
UCS	Unidade Controlo e Sinalização

UE	União Europeia
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (United States Environmental Protection Agency)
UT	Utilização-Tipo
WHO	Organização Mundial de Saúde (World Health Organization)

1- Introdução

1.1 – Enquadramento

Como deveria ser do senso comum, um incidente com o monóxido de carbono numa instalação doméstica, quando não detetado atempadamente pode provocar grandes problemas de saúde ou mesmo a morte aos seus ocupantes e/ou dos membros das equipas de salvamento destacadas para os resgatar, sem provocar diretamente grandes danos materiais como sucede no caso dos incêndios.

O presente trabalho constitui uma análise ao articulado regulamentar vertido no Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios e num par de Notas e Fichas Técnicas de entidades portuguesas responsáveis pela segurança e proteção civil, bem como na pesquisa de soluções em normas internacionais dedicadas a proteção das pessoas em ambientes domésticos, local onde se verificam mais incidentes registados. O contexto em que se desenvolve o presente trabalho foi formulado por proposta da comunidade técnica.

A melhoria da legislação de segurança contra incêndios em edifícios, especialmente no que concerne aos aspetos relacionados com o monóxido de carbono em todas as utilizações, poderá levar à conseqüente redução do número de ocorrências, de vítimas e de prejuízos financeiros relacionados com os tratamentos hospitalares às vítimas da intoxicação.

1.2 - Estatísticas dos incidentes com o CO

Abordar a questão das medidas de prevenção contra a intoxicação acidental por monóxido de carbono ocorridas em contexto residencial com ausência de incêndio, pressupõe conhecer melhor a realidade dos números que o monóxido de carbono (assassino silencioso) regista no nosso país e em diversos países, com predominância para aqueles que enfrentam invernos mais rigorosos e que se localizam no hemisfério norte.

Por conseguinte, neste item introdutório, o acesso e o conhecimento dos dados estatísticos referentes aos incidentes ocorridos por inalação de CO irá permitir ter uma visão mais alargada das incidências e conseqüências do fenómeno, e assim poder preconizar as medidas que possam assegurar a redução efetiva do número de incidentes acidentais e conseqüentemente diminuir o número de vítimas daí resultante.

É importante referir que os incidentes com mortes causadas pelo monóxido de carbono estão codificados em termos epidemiológicos internacionais, através do ICD-10, onde o código T58 corresponde aos efeitos tóxicos do CO proveniente de todas as fontes e o código X47 a intoxicação accidental por outros gases e vapores, incluindo CO, como exemplifica a Tabela 1.1 [1].

Tabela 1.1 – Código de Doenças [1].

Explicação dos Códigos	
Códigos ICD-10	Significado dos códigos
X00-X009	Exposição ao fumo, fogo e chamas
	Automutilação intencional por fumo, fogo e chamas.
	Ataque por fumo, fogo e chamas.
	Exposição ao fumo, fogo e chamas, intenção indeterminada.
	Intoxicação accidental por e exposição a outros gases e vapores.
T20-T32	Queimaduras e corrosões.
	Efeitos tóxicos do monóxido de carbono.
	Efeitos tóxicos dos outros gases, fumos

Salienta-se que nalguns países entre os quais Portugal, os dados relativos à intoxicação por CO são detidos por mais do que uma entidade, havendo por isso algumas discrepâncias nos números reportados, como sejam nos casos ocorridos, nas visitas às urgências, no número de intoxicados que foram internados, naqueles que receberam tratamento hiperbárico e no número daqueles que não resistiram à intoxicação e acabaram por morrer. Os dados distribuem-se entre agências e institutos governamentais dedicados ao tratamento e controlo dos dados de saúde da população e outras entidades que são chamadas a intervir no socorro às pessoas afetadas, como são os bombeiros, equipas médicas de urgência, hospitais e técnicos de segurança. Os dados adiante referidos irão incidir nos países que se regulamentam pelas 3 legislações identificadas, como sejam a Portaria 1532/2008, a Norma EN 50292 e a NFPA 720, respetivamente Portugal, França

e Reino Unido, um conjunto de Estados Membros da União Europeia e os Estados Unidos da América.

1.2.1 - Portugal

O histórico das incidências ocorridas em Portugal é registado pelo INEM através do seu Centro de Informações Antivenenos. Os dados disponibilizados pelo INEM, estão compreendidos entre o período de 2012 e 2018, estando apresentados na Tabela 1.2 [2].

Tabela 1.2 – Número de intoxicações por CO em Portugal [2].

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Incidentes	333	672	609	642	789	972	741
Intoxicados	17	25	26	25	29	38	32
Mortes	5	12	6	4	5	4	6

O gráfico da Figura 1.1 reflete os dados da Tabela 1.2 e tem por objetivo, melhor perceber as variações anuais no número de intoxicações registadas em Portugal desde 2012.

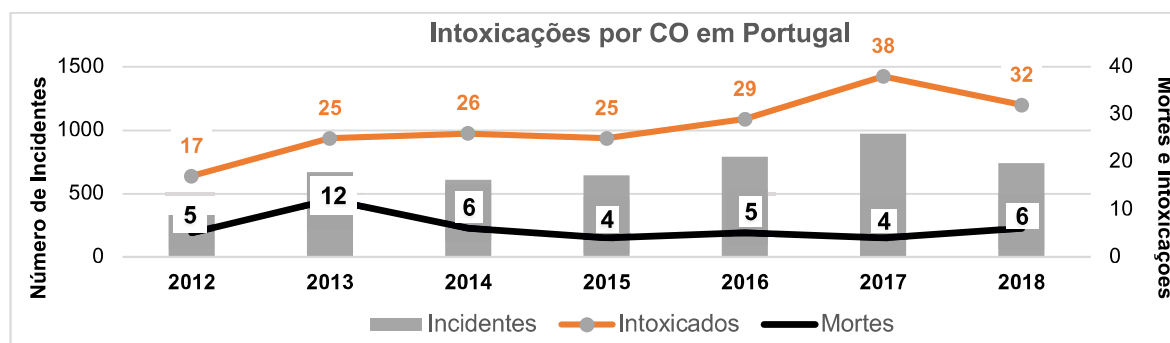


Figura 1.1- Gráfico da evolução das intoxicações por CO em Portugal (Fonte:[2]).

Os dados indicam que relativamente ao número de vítimas mortais nos últimos 7 anos se tem mantido quase constante. Em termos médios nos últimos 7 anos o número de intoxicados tem tido um ligeiro ascendente com uma repartição muito semelhante entre homens e mulheres, sendo que o distrito de Lisboa é o que regista o maior número de intoxicados [2].

Para além dos dados do INEM, podemos acrescentar um estudo realizado sobre internamentos por intoxicação com monóxido de carbono em Portugal durante o período de tempo compreendido entre 1 de janeiro de 2000 e 31 de dezembro de 2007. Refira-se que para este estudo, os

dados foram recolhidos em sete instituições hospitalares e junto da Administração Central de Saúde [3].

Durante o período em estudo a nível nacional foram registados 621 casos de intoxicação e 93 internamentos nas sete instituições hospitalares identificadas. De realçar também deste estudo, a constatação de que a partir de junho de 2006, após a entrada em funcionamento de uma câmara hiperbárica, a unidade local saúde de Matosinhos registou um aumento acentuado do número de internamentos por intoxicação com CO. Após 19 meses da data de abertura, o número de ocorrências durante esse período foi o dobro dos registados nos 65 meses anteriores. Importa ainda acrescentar que do estudo realizado nos 7 hospitais, se verificou que o tempo de internamento ronda os 5 dias, que os homens representavam 63%, sendo as mulheres os restantes 37%, e que o período do ano com maior incidência decorre entre os meses de novembro e fevereiro/março [3].

1.2.2 - França

Na análise a França, os dados disponibilizados correspondem ao período compreendido entre os anos de 2010 e 2017, e os mesmos são apresentados na Tabela 1.3 [4].

Tabela 1.3 - Intoxicações por CO em França [4].

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Incidentes	1038	992	1187	1028	984	832	1032	1073
Intoxicações	3471	3228	3855	3050	3456	3532	3534	3890
Urgência Hospitalar	2444	2107	2617	2151	2122	2109	2268	2222
Mortes	30	30	40	26	34	16	24	23

Os dados da Tabela 1.3 estão materializados na forma gráfica e estão representados na Figura 1.2 com o propósito de melhor visualizar as flutuações anuais do número de intoxicações, bem como as suas consequências nas populações, registados em França.

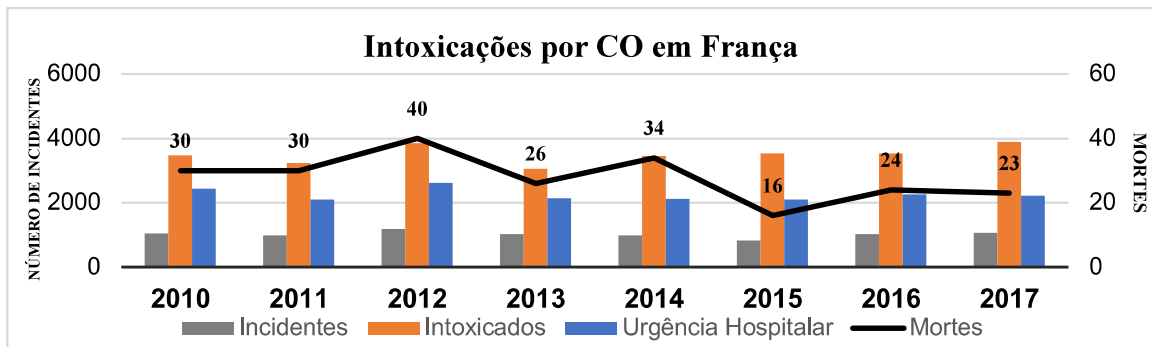


Figura 1.2 - Gráfico da evolução das intoxicações por CO em França (Fonte: [4]).

De salientar que nos dados referentes a França, já nos permitem saber o número de intoxicados que tiveram de acorrer aos serviços de urgência e nalguns anos, de entre aqueles que o fizeram quantos foram sujeitos aos tratamentos hiperbáricos, por exemplo.

A maioria das intoxicações ocorre durante o aquecimento (cerca de 80%), mas algumas acontecem associadas aos fenómenos climatéricos extremos. Mais de 8 em 10 intoxicações relatadas são intoxicações domésticas acidentais, principalmente em casas unifamiliares ocupadas pelo proprietário. As principais fontes de intoxicação doméstica acidental são:

- As condutas de saída dos gases de combustão dos equipamentos de produção de aquecimento ou água quente (caldeira ou aquecedor de água); as principais anomalias das intoxicações pela caldeira, estão relacionadas com falhas na combustão e má ventilação; as principais anomalias de intoxicação pelos aquecedores de água são a vetustez do aparelho e a falta de manutenção;
- Uma em cada cinco intoxicações é causada pelo uso indevido de um gerador, aquecedor de reserva móvel ou fogueira; especialmente no inverno ou associados a cortes de energia prolongados [5].

1.2.3 - Reino Unido

Do Reino Unido também estão disponíveis dados relativos às intoxicações por CO, com dados diferenciados por região, por dispositivo de queima, por género, idade, tipo de combustível e de imóvel. Na Tabela 1.4 [6,7] apresentam-se os dados relativos ao Reino Unido que compreende para esta análise o território de Inglaterra e do País de Gales.

Tabela 1.4 - Intoxicação por CO no Reino Unido [6, 7].

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Incidentes	228	142	193	188	138	146	122	100
Intoxicações⁷¹	223	226	313	329	214	225	222	154
Mortes	32	34	25	24	26	25	17	17

Relativamente aos dados provenientes do Reino Unido, existe alguma diferença entre os dados com origem nas entidades oficiais e entidades não oficiais. Constata-se que a perceção das entidades não oficiais e da comunicação social, é de que por ano perecem cerca de 50 pessoas e que pelo menos 4000 recebem tratamento hospitalar, sendo que 200 destes são hospitalizados.

A Figura 1.3 ilustra na forma gráfica os dados contidos na Tabela 1.4 e que nos permite observar a evolução dos incidentes acidentais provocados por inalação de CO e das pessoas afetadas ao longo de 8 anos no Reino Unido e no País de Gales.

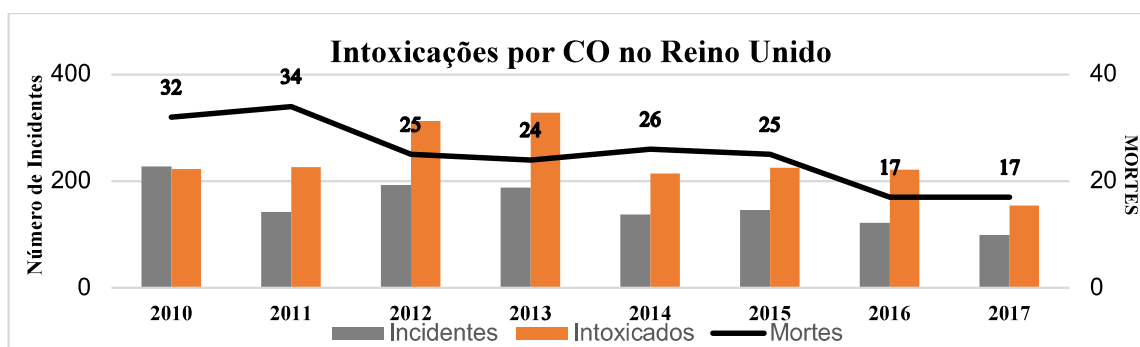


Figura 1.3 - Gráfico da evolução das intoxicações por CO no Reino Unido (Fonte:[6, 7]).

Verifica-se uma tendência decrescente no número de vítimas mortais por intoxicação acidental por monóxido de carbono. De entre os outros dados disponíveis, constata-se que dois terços dos incidentes se verificam com combustíveis sólidos e gás. Outro facto observado é que 45% destes, são com caldeiras de aquecimento central e de aquecimento do compartimento. Um artigo de investigação publicado em 2013, refere outros números mais preocupantes no que concerne às mortes, com um número estimado de 40 mortes, bem acima das 20 reportadas nas estatísticas oficiais e com números de admissão ao hospital acima dos 200. Contudo, mais de 4000 pessoas acorreram aos serviços de urgências, mas não ficaram hospitalizadas. No entanto, esses números provavelmente estarão subestimados, já que se acredita que muito mais pessoas tenham sido expostas ao CO e sofram de intoxicação por CO, mas permaneçam sem diagnóstico ou mesmo

diagnosticadas de forma incorreta devido aos sintomas inespecíficos que incluem dor de cabeça, cansaço e náusea [8].

1.2.4 - Estados Membros da União Europeia

A análise aqui realizada foi feita com os dados que remontam ao período compreendido entre o ano de 1980 até 2008, mas sem os dados da totalidade dos 28 Estados Membros da União Europeia, e nalguns casos, também não foi possível reunir informação de todos os anos considerados no período de estudo. No grupo de países que não forneceram dados para o estudo estão a Bulgária, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Polónia, Roménia, Portugal e Reino Unido, sendo que no caso destes dois últimos já tenha sido feita uma análise separada atrás. Pretende-se com os dados da Tabela 1.5 [9], apesar de refletirem a realidade de há sensivelmente 10 anos, comparar o efeito e o peso que tiveram as mortes nos diversos países em termos populacionais.

Tabela 1.5 - Número de mortes relacionadas com o CO reportadas pelos Estados Membros da UE [9].

País	Período reportado	Nº de anos reportado	Número de mortes	Nº médio de mortes por ano	Mortes anuais por 10⁵ habitantes
Áustria	1980-2008	29	922	31,8	0,4
Alemanha	1980-2007	28	43153	1541,2	1,91
Bélgica	1995-2008	14	553	39,5	0,38
Chipre	2005-2007	3	6	2	0,25
Croácia	1998-2007	10	314	31,4	0,7
Dinamarca	1980-2006	27	4458	165,1	3,16
Eslováquia	1992-2008	17	719	42,3	0,79
Eslovénia	1980-2007	28	1351	48,3	2,44
Espanha	1981-1998	18	1932	107,3	0,28
Estónia	2008	1	82	82	6,16
Finlândia	2000-2007	8	917	114,6	2,19
França	1985-1998	16	977	61,1	0,11
Hungria	1996-2004	9	1166	129,6	1,27
Letónia	1996-2008	13	758	58,3	2,48
Lituânia	2000-2008	9	114	12,7	0,37
Luxemburgo	1998-2007	10	44	4,4	0,98
Malta	1991-2008	18	20	1,1	0,29
República Checa	1986-2008	23	6203	269,7	2,62
Suécia	1980-2007	28	5449	194,6	2,24

Se excetuarmos a Estónia e o Chipre, em que os dados se referem a períodos inferiores a 5 anos, os restantes já nos permitem constatar com alguma fidelidade a tendência consistente ao longo dos anos.

Ressalta da análise destes dados que, países mais desenvolvidos como a Alemanha, Dinamarca, Finlândia e Suécia tenham taxa de mortalidade por 10⁵ habitantes muito superiores à média dos 19 países em estudo. Convém ter presente que estes dados reportam ao período compreendido entre 2000-2008, e que revelam a melhor organização na recolha e tratamento dos dados referentes aos incidentes involuntários provocados pela intoxicação por CO. Contribui muito para estes números o facto de se localizarem no norte da Europa, e por isso estarem sujeitos a condições climáticas mais adversas, mormente no inverno, onde os dados estatísticos nos mostram que o aquecimento com utilização de dispositivos de queima de combustível fóssil de forma inadequada é a principal causa para a ocorrência de incidentes [9]. A taxa média anual dos 19 Estados Membros da União Europeia que participam neste estudo é de aproximadamente 1,53, sendo a dos Estados Unidos da América de 0,135, apenas superada pela França que apresenta um valor inferior.

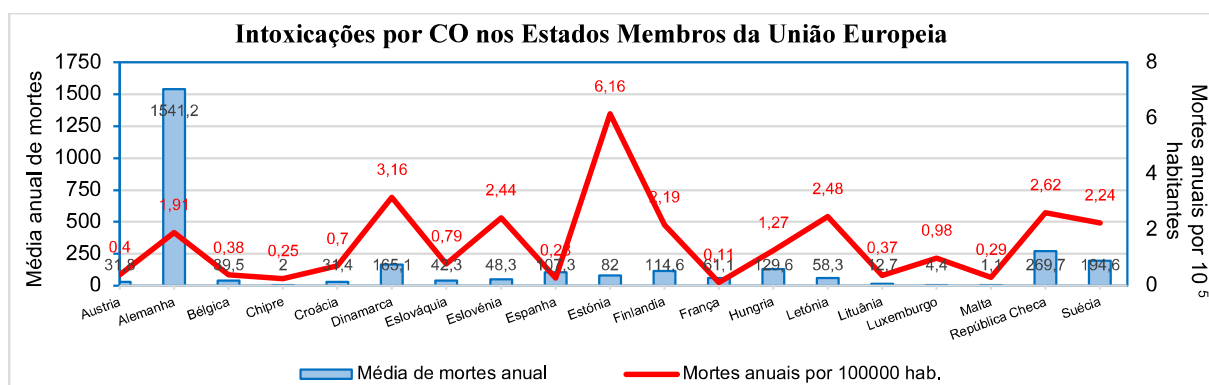


Figura 1.4 - Médias de mortes por inalação de CO nos países da UE (Fonte:[9]).

Comparando os dados do gráfico da Figura 1.4 verifica-se que é na Alemanha que em média morrem por ano mais pessoas por inalação de CO (muito devido as mortes que se registaram no período compreendido entre 1980 e 1994), mas é na Estónia que o número de mortes por 10⁵ habitantes é mais elevado, com uma taxa anual de 6,16. Importa aqui ressaltar, que este valor da Estónia tem como base apenas um ano de registo, ao contrário da Dinamarca que tem registos ao longo de 27 anos e que regista uma taxa de 3,16. Os dados do gráfico da Figura 1.5 representam a evolução do número de mortes dos países membros da União Europeia com registos consistentes desde o ano 2000.

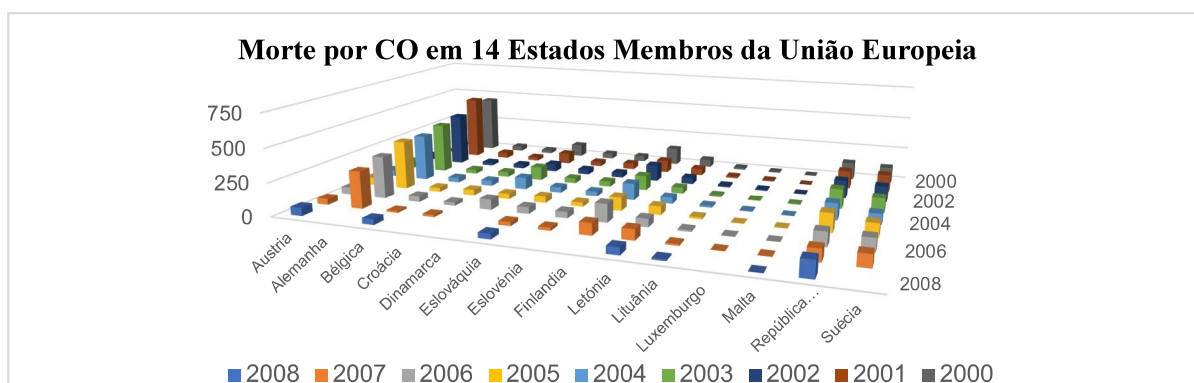


Figura 1.5 - Mortes por CO na UE (Fonte: [10]).

Em consonância com a taxa de mortes por 10^5 habitantes, verifica-se que a Alemanha, Dinamarca, Finlândia, República Checa e Suécia, são os países com maior mortalidade anual por intoxicação por CO [10].

1.2.5 - Estados Unidos da América

A mesma análise pode ser feita relativamente aos Estados Unidos da América, sendo que os dados da Tabela 1.6 [11, 12, 13] são os que refletem a realidade deste enorme país do hemisfério norte com invernos mais rigorosos e muitas vezes assolado por intempéries climáticas que provocam cortes de energia de vários dias, o que obriga a utilização de geradores portáteis, com queima de combustíveis de origem fóssil.

Tabela 1.6 - Números de incidentes nos Estados Unidos da América

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Incidentes ^[11]	78500	84900	86500	84700	76700	78600	83100	84000	79600	
Urgências ^[12]	6236	5475	5863	4840	5285	5356	4397	4209	3189	2124
Hospitalizações ^[12]	1174	1168	1254	1096	1080	1008	904	723	506	377
Mortes ^[11]	452	437	381	418	332	338	382	393	385	399
Mortes por milhão ^[13]	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2

O gráfico seguinte representado pela Figura 1.6 demonstra a evolução anual dos incidentes por inalação acidental de monóxido de carbono registados pela NFPA e pelo CDC (Centro de Controle e Prevenção de Doenças). Este estudo descreve a mortalidade por intoxicação por CO nos

EUA no período compreendido entre 2008 e 2017, examina a epidemiologia de mortes acidentais, identifica tendências e poderá oferecer explicações possíveis para as mesmas. Como noutros estudos, uma descrição detalhada da intoxicação fatal por CO nos Estados Unidos será útil para planear, financiar, desenvolver e implementar futuros programas de prevenção [14]. A título informativo, refira-se que os dados referentes ao número de mortes por inalação intencional de CO é superior ao dobro das verificadas acidentalmente. Na Tabela 1.6 inseriu-se um novo dado que poderá ser usado como termo comparativo com alguns países, mas não com os países analisados anteriormente por não haver dados disponíveis.

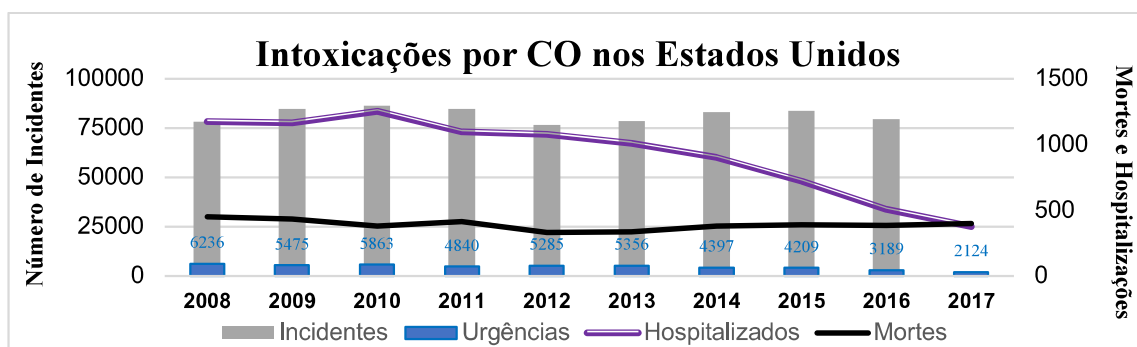


Figura 1.6 - Gráfico da evolução das intoxicações por CO nos EUA (Fonte:[11, 12, 13]).

A análise que pode ser feita aos dados provenientes da NFPA, é que 94% dos incidentes ocorrem em propriedades residenciais, e que os picos de maior incidência durante o dia se verificam entre o final da tarde e o início da noite. Já no que toca ao período do ano com mais incidentes, o mesmo ocorre à semelhança dos países do hemisfério norte entre os meses de novembro e fevereiro, com o pico máximo a verificar-se em dezembro.

Em virtude dos dados apresentados, conclui-se que este tema se revela de particular importância, nomeadamente nos casos de ocorrência em ambiente doméstico com assinalável número de vítimas que requerem tratamento hospitalar e também de perdas humanas, justificando a abordagem que se pretendeu efetuar no presente trabalho.

1.3 - Estrutura e organização

O presente trabalho encontra-se organizado em 6 capítulos, o primeiro dos quais onde se insere esta introdução, que reflete a realidade dos números e das estatísticas relativas aos incidentes por inalação de monóxido de carbono não resultantes de incêndios ocorridos em Portugal e em alguns locais do mundo.

No segundo capítulo aborda-se a problemática do monóxido de carbono com enfoque para a fenomenologia da combustão, bem como suas origens e às consequências da inalação do CO.

No terceiro capítulo, procura-se fazer uma breve descrição dos gases e dos vários tipos de sensores existentes usados na deteção de gases combustíveis e tóxicos. Aborda-se também a inclusão dos sensores em sistemas automáticos de deteção de gases.

No quarto capítulo pretende-se realizar um comparativo entre a legislação portuguesa vigente para os detetores de CO e as suas congéneres Europeia e Norte-Americana.

No quinto capítulo far-se-á uma análise aos inquéritos junto da comunidade técnica (bombeiros e projetistas) sobre o posicionamento dos detetores com base na atual legislação nacional. É dedicado principalmente às propostas de alteração que se julguem necessárias introduzir na legislação existente por forma a colmatar as lacunas identificadas, tendo como objetivo mitigar o número de ocorrências e as suas vítimas.

O sexto e último capítulo é reservado para as conclusões do trabalho realizado e para as recomendações futuras.

2 – Problemática do monóxido de carbono (CO)

2.1 – A combustão

Desde a antiguidade até à Idade Média, que o fogo em conjunto com a terra, a água e o ar eram considerados os quatro elementos básicos do universo. No entanto, com o trabalho de Antoine Lavoisier, um dos pioneiros da Revolução Química e descobridor da Lei de Conservação da Massa (1785), a sua importância foi reduzida. Em 1775-1777, Lavoisier foi o primeiro a postular que a chave da combustão era o oxigénio. Lavoisier chegou à conclusão de que o recém-isolado constituinte do ar era um elemento, foi então que lhe deu um nome e formulou uma nova definição de combustão, como o processo de reações químicas com o oxigénio. Com exatas experiências quantitativas, Lavoisier estabeleceu as bases para a nova teoria, que ganhou ampla aceitação num período relativamente curto [15].

Uma combustão por definição é uma reação química exotérmica, normalmente autossustentada, entre uma substância combustível e um comburente. Esta reação não é mais do que uma oxidação, isto é, uma combinação da matéria redutora(combustível) com um oxidante(comburente). Na maioria dos casos, o comburente é o oxigénio existente na atmosfera que rodeia o combustível [16].

A combustão é, pois, uma reação química em cadeia, que irá persistir enquanto existir combustível, calor e oxigénio em proporções convenientes [17].

Para que ocorra uma combustão (fogo) é necessária a conjugação das três condições seguintes:

- Presença de um combustível;
- Presença de um comburente;
- Presença de energia de ativação.

Esta conjugação de condições designa-se por Triângulo do Fogo como mostra a figura 2.1.



Figura 2.1 - Triângulo do Fogo (Fonte:[17]).

Assim, para que se inicie a combustão de uma dada quantidade de matéria combustível na presença de um comburente, em proporções adequadas, é necessário propiciar essa reação de combustão através do fornecimento de energia.

A energia que faz desencadear a oxidação designa-se por energia de ativação. Esta pode ser fornecida ao conjunto combustível/comburente de várias formas, mas a mais usual é sob a forma de uma fonte de calor.

No entanto, a ação conjunta dos três elementos do triângulo do fogo, necessária para se iniciar uma combustão, pode não ser garantia da mesma se manter. Para que a combustão se mantenha de forma sustentada, há necessidade de se introduzir um quarto elemento – a reação em cadeia. A autossuspensão da combustão e, em particular, a sua expansão são garantidas pela reação em cadeia.

O tetraedro do fogo (Figura 2.2) descreve, então os quatro elementos necessários para que inicie e se mantenha uma combustão:

- Combustível;
- Comburente;
- Energia de ativação;
- Reação em cadeia.

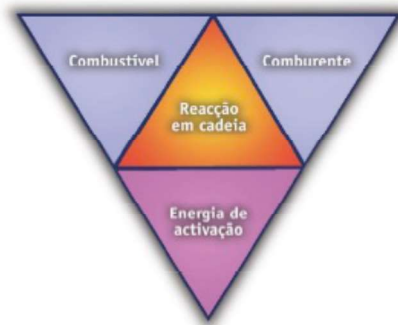


Figura 2.2 - Tetraedro do Fogo (Fonte: [18]).

Uma substância pode sofrer uma combustão completa se existe comburente (oxigênio) em quantidade suficiente ou incompleta se existir um excesso ou deficiência de oxigênio, verificando-se que na combustão completa se liberta mais calor e menos fumo [18].

Uma combustão em que a libertação de energia de reação se manifesta apenas sob a forma de calor é, normalmente, designada por combustão lenta. Uma combustão em que a libertação de energia de reação se manifesta sob a forma de calor e de radiação luminosa é designada por combustão viva ou, mais vulgarmente, por fogo.






Um fogo sem controlo no espaço e no tempo designa-se por incêndio. Um incêndio é uma combustão caracterizada pelo aparecimento, manutenção e propagação de chama, libertação de calor, emissão de gases (por exemplo monóxido de carbono, dióxido de carbono), produção de fumo e formação de diversos produtos a partir do carbono, oxigénio e hidrogénio, principais constituintes dos materiais tradicionais [16].

2.1.1 – Combustível e Comburente

O combustível é um elemento que alimenta o fogo e que serve como campo para sua propagação. Os combustíveis apresentam-se nos três estados da matéria, pelo que as suas propriedades físico-químicas são também muito diferentes, dificultando o estabelecimento de regras de uma forma absoluta [19].

Segundo a NP EN 2:1993 e a sua emenda NP EN 2:1993/A1 de 2005, os fogos classificam-se em 5 classes A, B, C, D e F como indicado na Tabela 2.1:

Tabela 2.1- Classes de Fogo [20].

Classes de fogo	Descrição	Exemplos
	Fogos que resultam da combustão de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica, a qual se dá normalmente com a formação de brasas.	Madeira, carvão, papel, etc.
	Fogos que resultam da combustão de líquidos e sólidos liquidificáveis.	Éteres, álcoois, cetonas, vernizes, gasolinas, pomada, ceras, etc.
	Fogos que resultam da combustão de gases.	Metano, butano, propano, etano, acetileno, etc.
	Fogos que resultam da combustão de metais.	Sódio, potássio, magnésio, urânio e alguns tipos de plásticos.
	Fogos envolvendo produtos para cozinhar em aparelhagem de cozinha.	Óleos e gorduras vegetais ou animais.

A presença de um oxidante (comburente) é essencial para que se dê o fenómeno da combustão, este é um elemento ou composto químico suscetível de provocar a oxidação ou combustão de outras substâncias [16]. O comburente mais comum é o oxigénio, dada a sua abundância no ar (a atmosfera, a baixa altitude, contém cerca de 21% de oxigénio). Para muitos dos combustíveis mais comuns, a combustão extingue-se por si só se a percentagem de oxigénio for inferior a 15%. Porém, para outros, a combustão só se extingue com percentagens de oxigénio menores que 10%. Por outro lado, existem combustíveis sólidos que podem arder, sem chama, numa atmosfera com uma percentagem de oxigénio de apenas 6%.

Conclui-se, portanto, que a percentagem de oxigénio na qual a combustão se mantém é variável consoante o combustível.

Tabela 2.2 - Quantidade de ar para que ocorra a combustão completa de 1 kg de algumas substâncias [16].

Substâncias	Quantidade de ar (m ³)
Madeira	4
Carvão	9
Hidrocarboneto	12

Como exemplos de oxidantes, podem apontar-se ainda:

- Ácido nítrico (HNO₃), potente oxidante que reage violentamente com muitos compostos orgânicos;
- Nitratos, como o nitrato de sódio (NaNO₃) ou o nitrato de potássio (KNO₃) que, quando são fortemente aquecidos, libertam oxigénio;
- Clorato de potássio (KClO₃) que, quando é aquecido, se decompõe libertando oxigénio;
- Peróxido de hidrogénio (H₂O₂), normalmente utilizado diluído em água, em concentrações superiores a 70% é um potente oxidante, decompondo-se de forma violenta (explosão) com libertação de oxigénio e formação de água [18].

2.1.2 – Energia de ativação

Para uma dada mistura de combustível com comburente, define-se o limite de inflamabilidade como sendo o valor da concentração daquele na mistura que tem capacidade de tornar a combustão autossustentável após a retirada da fonte de ignição. Para que a combustão completa do gás se processe é necessário que este esteja misturado homoganeamente com o ar e que a

proporção ar/gás esteja contida entre o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) e o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI).

Entende-se por Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) – o valor abaixo do qual a percentagem de combustível na mistura é muito baixa para que possa ocorrer a combustão. E por Limite Superior de Inflamabilidade (LSI) – ao valor acima do qual se verifica que a mistura é excessivamente pobre em comburente o que também impede a combustão [16].

A existência dentro de certas proporções de uma quantidade de matéria combustível na presença de um comburente é condição necessária, mas não suficiente, ao desencadeamento da reação de combustão.

Na Tabela 2.3 são apresentados os valores dos limites de inflamabilidade (inferior e superior), medidos em percentagem volúmica no ar, para alguns combustíveis gasosos e vapores de combustíveis líquidos.

Tabela 2.3 - Limites de inflamabilidade de alguns combustíveis [18].

<u>Combustível</u> (Gás ou vapor)	<u>Limites de Inflamabilidade</u> (% relativamente ao volume da mistura)	
	<u>Inferior</u>	<u>Superior</u>
Propano	2,2	9,5
Butano	1,5	9,0
Acetileno	2,5	80,0
Hidrogénio	4,1	74,0
Monóxido de carbono	12,5	74,0
Metano	5,0	15,0
Álcool etílico	3,3	19,0
Acetona	2,6	12,8

Assim, para que se inicie a combustão de uma dada quantidade de combustível na presença de um comburente, em proporções adequadas, é necessário propiciar essa reação de combustão através do fornecimento de energia [18]. Esta energia pode ter origem numa variedade apreciável de fontes conforme se apresenta na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Principais fontes de Energia de Ativação [19].

Tipo de Fonte	Origem	Exemplos
Elétrica	Resistência. Arco voltaico (faísca). Eletricidade estática.	Aquecedor elétrico. Cabo de alta tensão quebrado em contacto com o solo. Descarga entre um extintor e a terra após o esvaziamento rápido do extintor.
Mecânica	Fricção. Compressão.	Contacto não lubrificado entre duas peças metálicas em movimento. Compressão de um gás num cilindro.
Térmica	Superfícies quentes. Radiação.	Placa de um fogão. Exposição intensa e continuada ao Sol que provoca a libertação de vapores combustíveis pela madeira.
Química		Limalha de ferro + óleo. Algodão + óleo.

A energia que faz desencadear a oxidação designa-se por energia de ativação. É a energia mínima capaz de elevar a temperatura do combustível e do ar ambiente até ao ponto de ignição. A ignição é o fenómeno que provoca a iniciação de uma combustão e que ocorre com uma elevada taxa de consumo de reagentes e de libertação de energia, podendo ocorrer os seguintes tipos de ignição:

- Autoignição (resulta de um aumento de temperatura e/ou pressão, sem fonte de energia exterior);
- Ignição provocada (resulta da ação localizada de uma fonte de energia exterior).

2.2 – Produtos da combustão

Nos combustíveis mais frequentes encontra-se geralmente carbono. Nestes casos, a combustão no ar, que pode ser com ou sem chama, deve-se à combinação do carbono com o oxigênio e os produtos resultantes são entre outros, óxidos diversos. Durante a combustão de uma determinada substância verificam-se diversas manifestações das quais se destacam as que se enumeram nos pontos seguintes.

2.2.1 – Liberação de calor

A liberação da energia de reação numa combustão assume a forma de calor dissipado para o ambiente. Cada matéria combustível contém um determinado poder calorífico (PC), que representa a quantidade de calor libertado quando uma unidade de massa ou de volume de um combustível, à temperatura ambiente, é completamente queimada e os produtos de combustão são arrefecidos completamente num processo em regime permanente, com os produtos levados ao estado dos reagentes.

Um dos produtos de reação resultante da maioria das combustões é a água que, ao vaporizar-se, absorve energia. Quando a água nos produtos da combustão se encontra na forma de vapor, estamos na presença do Poder Calorífico Inferior (PCI), enquanto que nos casos em que essa água se encontra na fase gasosa, recuperando-se assim o calor de vaporização, trata-se do Poder Calorífico Superior (PCS). Assim, pode-se dizer que o PC de um combustível é igual ao valor absoluto da sua entalpia de combustão. O Poder Calorífico é normalmente expresso em kJ/kg, em kcal/kg ou, ainda, kcal/m³.

Os dois poderes caloríficos relacionam-se entre si através da expressão 2.1[16]:

$$PCS = PCI + (N\bar{h}_{fg})_{H_2O} \quad (2.1)$$

em que:

N - Número de moles de H₂O nos produtos;

\bar{h}_{fg} - Entalpia de vaporização da água à temperatura especificada.

Na Tabela 2.5 apresentam-se valores de poder calorífico (superior e inferior) de algumas matérias combustíveis.

Multiplicando a massa de um determinado combustível pelo seu poder calorífico, obtém-se o potencial calorífico, isto é, a quantidade de energia libertada por essa quantidade de combustível se a mesma arder completamente.

Tabela 2.5 - Poder Calorífico de algumas matérias combustíveis [15].

<u>Combustível</u>	<u>Poder Calorífico Superior</u>		<u>Poder Calorífico Inferior</u>	
	MJ/kg	kcal/kg	MJ/kg	kcal/kg
Monóxido de carbono	10,12	2420		
Hulha	11,7 a 20,90	2800 a 5000		
Madeira	18,8 a 20,90	4500 a 5000		aprox. 4000
Álcool etílico	28,05	6710	25,02	5985
Carvão de madeira	29,82	7135		
Carbono (grafite)	32,86	7860		
Acetileno	50,29	12030	48,57	11620
Propano	50,33	12040	46,27	11070
Metano	55,51	13280	49,87	11930
Hidrogénio	141,74	33910	119,42	28570

A soma dos potenciais caloríficos de todos os combustíveis existentes num determinado espaço, é designada por carga de incêndio desse mesmo espaço.

2.2.2 – Produção de fumo e aerossóis

O fumo produzido durante o incêndio é uma mistura de várias espécies gasosas e de partículas sólidas em suspensão. Verifica-se, com raras exceções, que se a combustão de uma substância ocorre sem chama produz-se uma maior quantidade de fumo [18]. Quanto mais incompleta é a combustão menor é a formação de gases de combustão e maior a produção de fumos e aerossóis. Os aerossóis são partículas em suspensão de dimensões microscópicas, constituídas por partes

da matéria combustível não ardida, produtos da combustão e finíssimas partículas de carbono. As consequências diretas mais importantes deste tipo de produtos de combustão são a diminuição da visibilidade e a forte irritação das vias respiratórias para quem se encontra, sem a adequada proteção, neste tipo de ambiente.

O fumo e os aerossóis seguem o percurso ascendente dos produtos da combustão, misturando-se com os gases da combustão. A presença de fumo e aerossóis, resultantes de uma combustão, pode ser utilizada na detecção de incêndios, por recurso a detetores de fumo [16].

2.2.3 – Radiação luminosa e produtos não voláteis

A libertação de energia de reação também se manifesta sob a forma de radiação, tanto mais importante quanto maior for a temperatura e a superfície das chamas e brasas. O aparecimento de chamas, como manifestação de uma combustão, pode ser utilizado na detecção de incêndios por recurso a detetores de chamas.

Como produtos da combustão ainda se podem apontar os produtos não voláteis resultantes da transformação da matéria. Podem ser produtos sólidos, como é o caso das cinzas, ou líquidos criados em consequência de mecanismos de fusão. A análise deste tipo de produtos da combustão, aliada à análise dos efeitos da combustão em materiais não combustíveis, é de grande utilidade na investigação de incêndios [18].

2.2.4 – Gases da combustão

Durante uma combustão e, conseqüentemente durante um incêndio libertam-se vários gases, cuja natureza depende das matérias combustíveis envolvidas nessa combustão, dos quais se destacam:

- Monóxido de carbono (CO);
- Dióxido de carbono (CO₂);
- Vapor de água (H₂O);
- Ácido cianídrico (HCN);
- Ácido clorídrico (HCl);
- Dióxido de enxofre (SO₂);
- Amoníaco (NH₃);
- Outros (COCl; NO; NO₂; H₂S; etc.).

Os gases de combustão mais comuns são o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), e o monóxido de carbono (CO) que será abordado adiante de forma mais aprofundada. A quantidade destes gases gerados durante a combustão de matéria orgânica está condicionada pelo maior ou menor teor de oxigénio na zona de combustão. Quando a quantidade de oxigénio é suficiente a combustão é completa, formam-se essencialmente dióxido de carbono e vapor de água. Se não existir oxigénio em quantidade suficiente então a combustão é incompleta e forma-se monóxido de carbono, que é altamente tóxico.

Os gases tóxicos podem ser fatais se estiverem presentes durante um determinado tempo e em quantidades suficientes [16].

2.3 – Propagação da Energia de Combustão

A propagação da combustão deve-se, essencialmente ao facto da energia libertada se propagar e criar condições para que uma maior quantidade de combustível entre em combustão. É esta transferência de energia que constitui o fator de maior relevo na forma como um incêndio se propaga.

São as seguintes as formas como a energia resultante da combustão se pode propagar:

- Condução;
- Convecção;
- Radiação.

No decurso de uma combustão estabelece-se uma coluna convectiva acima do combustível que atinge a zona superior do espaço onde ocorre, verificando-se a saída de gases pelas aberturas superiores e a entrada pela parte inferior.

As trocas de calor são estabelecidas por convecção dos gases quentes sobre as paredes e tetos, por radiação das chamas e do fumo sobre os elementos visíveis e, finalmente, por condução no seio das paredes e dos materiais que não sofreram combustão, conforme se esquematiza na Figura 2.3.

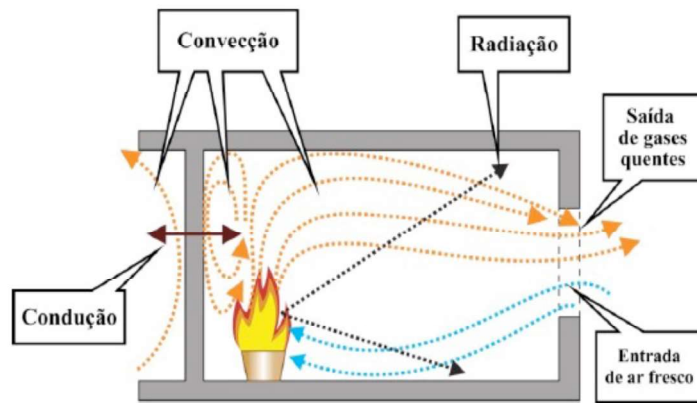


Figura 2.3 - Representação Esquemática da Propagação do Calor (Fonte: [17])

2.3.1 – Condução

A condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as partículas energéticas adjacentes, como resultado das interações entre as partículas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases. Nos gases e líquidos, a condução deve-se às colisões e difusão das moléculas durante o movimento aleatório. Nos sólidos, é devido à combinação de vibrações das moléculas numa rede e ao transporte de energia pelos elétrons livres.

A taxa de condução de calor através de um meio depende da geometria do meio, da sua espessura, do material do meio, e da diferença de temperatura através do meio. Considere-se a condução de calor estável através de uma grande parede plana de espessura $\Delta x = L$ e área A como representado na Figura 2.4. A diferença de temperatura na parede é $\Delta T = T_2 - T_1$.

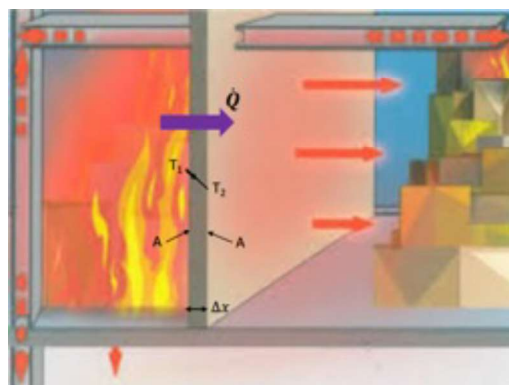


Figura 2.4 - Propagação do calor por Condução num incêndio (Fonte: Adaptada de [5])

Experiências realizadas permitiram concluir que a taxa de condução de calor através de uma camada plana é proporcional à diferença de temperatura através da camada e da área de transferência de calor, mas é inversamente proporcional à espessura da camada. Isto é,

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{W}) \quad (2.2)$$

onde a constante de proporcionalidade K é a condutividade térmica do material, que é uma medida da capacidade de um material de conduzir calor. À expressão 2.2 denomina-se Lei de Fourier de condução de calor após J. Fourier ter sido o primeiro a desenvolvê-la nos seus trabalhos de transferência de calor em 1822 [21].

2.3.2 – Convecção

Trata-se de uma forma de transferência de calor entre a superfície de um sólido e da adjacente líquida ou gasosa em movimento, envolvendo os efeitos combinados da condução e do movimento do fluido. Este processo de transmissão de calor, importante na propagação de incêndios (transporta a energia libertada pelo movimento dos gases quentes), ocorre quando partes de um sistema estão em movimento e transportam com elas o calor que receberam seja por contacto com partes fixas mais quentes seja ainda no seu próprio seio, devido a uma dissipação interna (reação química) [16].

À medida que um incêndio se desenvolve geram-se grandes quantidades de fumos que, geralmente, se espalham à frente do fogo enchendo rapidamente um edifício. O efeito desse fumo é apresentar um risco tóxico e/ou asfixiante para as pessoas que se encontram dentro do edifício. O fumo também reduz a visibilidade e obscurece as rotas de fuga, o que ligado à relutância natural das pessoas para entrar ou sair da fumaça pode levar a um pânico ou aumentá-lo, o que, por sua vez, leva à desorientação, reduzindo as chances de uma fuga segura [22].

A convecção térmica é um modo de transporte de energia térmica pelo suporte de fluidos devido ao aumento da temperatura dos gases de combustão e fumos e à diminuição da sua densidade. O ar mais quente e mais leve move-se para o topo. Este fenómeno ascensional é designado por "efeito de chaminé" ou extração térmica natural [23].

No caso dos incêndios, os gases de combustão possuem temperaturas elevadas e sofrem uma forte expansão com a consequente diminuição de densidade relativa ao ar e a outros gases não aquecidos. As correntes de convecção assim criadas (Figura 2.5), correspondentes ao movimento ascendente dos gases com temperatura elevada, em três diferentes situações podem ser observadas na Figura 2.5.

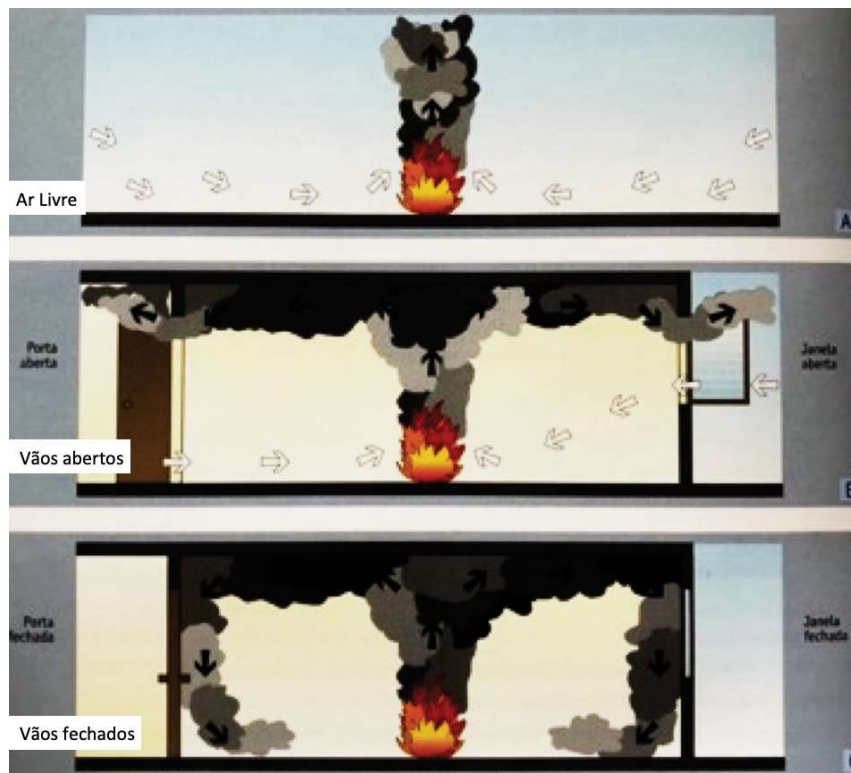


Figura 2.5 - Correntes de convecção provocadas por um foco de incêndio (Fonte: [5]).

Este aspeto apresenta o risco de a deslocação dos gases quentes provocarem a elevação da temperatura de materiais existentes, em pontos relativamente afastados do foco de incêndio, a ponto de se criarem as condições necessárias à ignição de novos focos de incêndios [16].

2.3.3 – Radiação

Radiação é a energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrónicas dos átomos ou moléculas. Ao contrário da condução e convecção, a transferência de energia por radiação não requer a presença de um meio intermédio [21].

A radiação emitida por unidade de tempo é proporcional à quarta potência da temperatura do material emissor e à superfície radiante, isto é:

$$Q = \varepsilon\sigma T^4 S \quad (2.3)$$

em que:

Q - potência (energia por unidade de tempo) radiada [W];

ε - fator de correção [adimensional];

σ - constante de Stefan-Boltzmann [$5,67 \times 10^{-12} \text{ Wcm}^{-2} \text{ K}^{-4}$];

T - temperatura absoluta [K];

S - superfície radiante [cm^2].

Neste processo de transmissão, o calor à superfície de um corpo é transformado segundo as leis da termodinâmica em radiação eletromagnética, que se propaga no vazio. A transformação de calor em radiação é denominada emissão, enquanto a transformação de radiação em calor, designa-se por absorção.

A energia transmite-se através do espaço, sem suporte material e em todas as direções, tal como acontece com a radiação produzida pelo Sol, que se propaga até a Terra através do espaço vazio (Figura 2.6).



Figura 2.6 - Propagação do fogo por radiação [21].

Este tipo de propagação de energia é particularmente perigoso para os edifícios próximos a um incêndio violento. Os edifícios expostos à radiação são designados por exposições exteriores [20].

2.4 – O monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro, insípido, não irritante e altamente tóxico, que existe numa concentração minúscula na atmosfera (<0,001%). É um produto da combustão incompleta de combustíveis que contêm carbono e também é produzido por processos naturais ou por atividades humanas.

O CO foi preparado pela primeira vez pelo químico francês Joseph-Marie-François de Lassone em 1776. Por ter queimado com uma chama azul, pensou erroneamente tratar-se do hidrogénio (Figura 2.7). Em 1880, William Cruikshank identificou-o como um composto contendo

carbono e oxigénio. Em meados do século XIX, Claude Bernard reconheceu que o CO provocava hipoxia por interação com a hemoglobina (Hb) [24].



Figura 2.7 - Chama Azul exibida pelo CO (Fonte: [25]).

No final do século XIX, John Haldane demonstrou que uma pressão parcial alta de oxigénio pode contrabalançar a interação entre Hb e CO, apesar da alta afinidade por essa interação [24].

O CO foi declarado (em 1987) como um poluente atmosférico perigoso na Diretiva do Ar ambiente, pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA) fornecendo diretrizes extensivas em relação aos níveis de exposição que não devem ser excedidos. A Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) determinou que os empregadores de trabalhadores com o risco de exposição ocupacional devem incorporar controles de engenharia para garantir que os níveis de CO permaneçam aceitáveis em todos os momentos [26].

2.4.1 – Propriedades Físicas

Sob condições normais de pressão e temperatura, o monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, com densidade próxima à do ar. É pouco solúvel em água (2,3 ml em 100 ml de água a 20 °C), bastante solúvel em alguns solventes orgânicos, como acetato de etilo, etanol, ácido acético.

A densidade dos gases em relação ao ar é dada pelo quociente entre as massas da unidade de volume do gás e do ar:

$$D = \frac{\text{massa de } 1\text{m}^3 \text{ de gás}}{\text{massa de } 1\text{m}^3 \text{ de ar}} \quad (2.4)$$

Tabela 2.6 - Propriedades Físicas do CO (Adaptado de [24]).

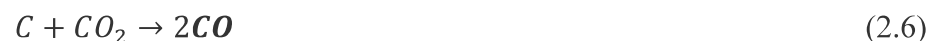
Propriedades	Valores
Estado Físico	Gás
Massa molecular	28,01 g/mol
Ponto de Fusão	-207 °C a 101 kPa
Ponto de Ebulição	-191 °C a 101 kPa
Densidade gás/vapor	0,968
Pressão de vapor	34 kPa a -200 °C
Temperatura de autoignição	605 °C

A 25°C e 101 kPa, 1 ppm=1,14 mg/m³

2.4.2 – Propriedades Químicas

O monóxido de carbono (CO) é uma molécula diatómica sem sabor, inodora, incolor, não corrosiva e bastante estável que existe como um gás na atmosfera da Terra. A sua origem deve-se essencialmente ao carbono e aos hidrocarbonetos que reagindo com diversos constituintes do ar vão dar origem ao CO, conforme se exemplifica nas equações seguintes:

i) A partir do carbono:



ii) A partir de hidrocarbonetos como por exemplo o metano:



O monóxido de carbono pertence ao grupo dos óxidos. Classifica-se como óxido neutro, pois é formado por um não metal mais oxigénio. Não reage com a água, ácidos e bases. Utiliza-se vulgarmente como agente redutor, extrai o oxigénio de um composto e produz o dióxido de carbono (CO₂).



Por isso é muito comum o seu uso nos minerais como o ferro, bem como a produção de substâncias orgânicas como o ácido acético, plásticos, metanol, entre outros [18].

O CO dissocia-se em carbono e dióxido de carbono entre 400 e 700°C. A partir de 800 °C, o equilíbrio ($2CO \rightleftharpoons CO_2 + C$) é novamente favorável à formação de CO. Abaixo de 400 °C, e da temperatura normal, esta decomposição ocorre na presença de certos catalisadores (óxidos de manganês e cobre, paládio sobre sílica gel).

Devido às suas propriedades fortemente redutoras, o CO pode reagir violentamente com agentes oxidantes, como o tri-fluoreto, o penta-fluoreto de bromo, o hepta-fluoreto de iodo, ou o dióxido de cloro. Com sódio e potássio, forma compostos explosivos. Não ataca metais comuns a uma pressão inferior a 3500 kPa. À pressão mais alta, reage com níquel, ferro, cobalto, manganês e crômio para fornecer pequenas quantidades de carbonetos metálicos instáveis e altamente tóxicos [27].

O monóxido de carbono no ar menos poluído tem interesse devido à sua importância para a química atmosférica. O monóxido de carbono pode afetar a formação de ozono (O₃) e outros oxidantes fotoquímicos na atmosfera. O monóxido de carbono influencia fortemente a quantidade de radicais hidroxilo (OH), afetando os ciclos globais de muitos gases residuais biogênicos e antropogênicos que alteram a quantidade do O₃ estratosférico e o balanço energético da atmosfera. Mudanças nas concentrações de CO, portanto, podem contribuir para mudanças generalizadas na química atmosférica e indiretamente afetar o clima global [28].

2.4.3 – Fontes de monóxido de carbono

A principal fonte de produção de CO é a combustão de combustíveis. A queima de qualquer combustível contendo carbono produz CO e dióxido de carbono (CO₂) como produtos principais. A produção de CO₂ predomina quando o fornecimento de ar ou oxigênio excede as necessidades estequiométricas ou a combustão completa. Se a combustão ocorrer em condições ricas em combustível, ou seja, com menos ar ou oxigênio do que o necessário, o CO será produzido em abundância [29].

Estima-se que as emissões globais anuais de monóxido de carbono na atmosfera cheguem a 2600 milhões de toneladas, das quais cerca de 60% provêm de atividades humanas e cerca de 40% de processos naturais. As emissões antropogênicas de monóxido de carbono são originadas principalmente pela combustão incompleta de materiais carbonados. A maior parte dessas emissões é produzida como exaustão de motores de combustão interna, especialmente por veículos

motorizados com motores a gasolina. Outras fontes comuns incluem vários processos industriais, centrais de energia que utilizam carvão e incineradores de resíduos [30].

O monóxido de carbono também é produzido indiretamente a partir da oxidação fotoquímica do metano e outros COV na atmosfera. A vegetação pode emitir monóxido de carbono na atmosfera como um subproduto metabólico. A foto-oxidação da matéria orgânica em águas superficiais (lagos, córregos, rios, oceanos) e solos superficiais também resulta na formação de monóxido de carbono. A atividade vulcânica é outra fonte natural de monóxido de carbono na atmosfera. O monóxido de carbono também é produzido endogenamente em humanos durante o catabolismo normal da hemoglobina (Hb). A quantidade de emissões antropogénicas de monóxido de carbono em comparação com as fontes naturais é difícil de quantificar, uma vez que ambas as fontes de monóxido de carbono variam ao longo do tempo [26].

O monóxido de carbono ocorre no interior diretamente através de emissões de várias fontes internas de combustão ou indiretamente como resultado da infiltração ou ventilação de fontes externas. Na ausência de fontes internas, as concentrações médias de CO geralmente serão iguais às do ambiente ambiental circundante [29].

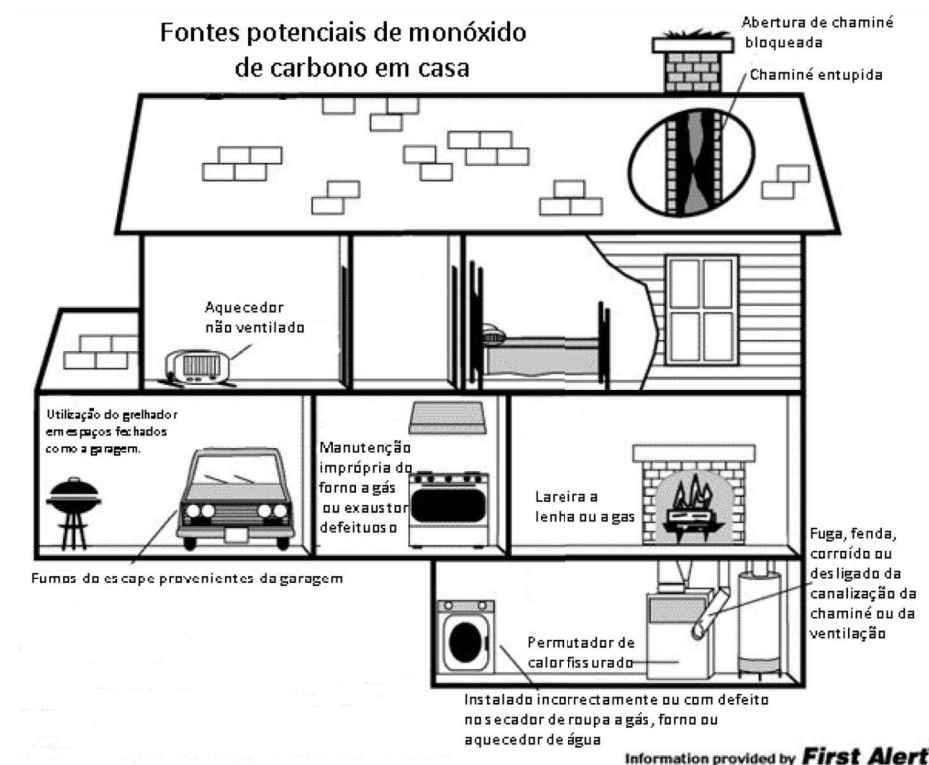


Figura 2.8 - Fontes potenciais de CO numa habitação (Fonte: Adaptada de [31]).

Em casa, aparelhos de cozinha e aquecimento incorretamente instalados, mal conservados e/ou ventilados, como aqueles que usam gás, carvão, madeira ou parafina são, as principais fontes

de monóxido de carbono, como se mostra na Figura 2.8. Além destas fontes domésticas, a exposição mais significativa ao monóxido de carbono vem do tabagismo e dos gases escape dos automóveis.

Em parques de estacionamento subterrâneos e vários andares, túneis rodoviários e vários outros microambientes parcialmente ou completamente fechados com ventilação insuficiente, os níveis de poluentes de escape dos motores de combustão podem ser muito mais elevados do que os níveis ambientais comuns nos desfiladeiros de rua.

Recintos interiores de patinagem no gelo e salões automóveis em recintos fechados, podem ser locais públicos onde ocorrem concentrações muito altas de monóxido de carbono com bastante frequência [30].

O perigo representado pelo CO está intimamente ligado à sua taxa de produção. No entanto, os níveis de produção de CO podem ser significativamente aumentados por condições anormais de operação. Isto pode incluir problemas com o próprio dispositivo de combustão ou com o sistema de ventilação da exaustão. Naturalmente, o sistema de exaustão para um dispositivo de combustão é normalmente usado para assegurar que o CO produzido seja ventilado com segurança para o exterior, de modo a evitar a exposição interna ao CO. Falhas no sistema de ventilação podem fazer com que todo ou parte do CO normalmente produzido permaneça no edifício ou até aumentar a produção de CO reduzindo a concentração de oxigénio no ar de entrada para a combustão [32].

Os níveis ambientais de monóxido de carbono mudaram significativamente nas últimas décadas. As concentrações diminuíram sensivelmente devido à redução de emissões dos automóveis como consequência dos avanços no design automóvel. O desenvolvimento de conversores catalíticos para veículos ligeiros de passageiros, a partir da década de 1970, resultou numa redução substancial das emissões de monóxido de carbono, apesar dos aumentos nas distâncias percorridas. Desde o início dos anos 80, os fabricantes têm vindo a equipar os veículos com conversores catalíticos mais sofisticados e adicionaram computadores de bordo e sensores de O₂ para ajudar a otimizar a eficiência dos conversores. O resultado final é que os automóveis de passageiros modernos emitem cerca de 90% menos monóxido de carbono ao longo de suas vidas, em comparação com os veículos projetados nas décadas anteriores [26].

Na Tabela 2.7, é apresentado um resumo das taxas de produção de CO por fontes de combustão. Esta tabela reflete as taxas de produção e não aborda a fração que pode ser libertada dentro de um edifício.

Tabela 2.7-Resumo das taxas de produção de CO das fontes de combustão [32].

Fontes	Emissão de CO (mg/s por kW de entrada nominal *)
Pequenos motores a gasolina (EPA)	140 - 170
Geradores a gasolina	100 - 220
Pequenos motores marítimos a gasolina (EPA)	14
Grandes motores industriais de ignição por faísca (EPA)	14
Aparelhos de queima de madeira (EPA)	1,4 - 8,7
UK aparelhos a Gás (anormal)	3,4
Motores diesel não rodoviários	2,2
Motores diesel marítimos (EPA)	1,4
UK aparelhos a Gás (max. normal)	0,27
Combustão de gás natural (EPA)	0,041
Combustão de óleo combustível (EPA)	0,031
Gás de petróleo liquefeito (EPA)	0,017

* mg/s por kW é equivalente a g/MJ

Claramente, os motores de combustão interna são um caso muito especial que deve ser examinado separadamente devido às taxas de geração de CO muito maiores. Em particular, os motores de combustão interna movidos a gasolina são as maiores fontes de CO [32].

Em resumo, fontes como aparelhos de combustão sem ventilação, com mau funcionamento ou mal utilizados, motores de combustão em garagens ou porões e a combustão do tabaco podem causar altas concentrações de CO nos ambientes interiores. E fontes como veículos motorizados, motores de combustão não-rodoviários ou veículos e queima de biomassa podem causar altas concentrações de CO no ambiente externo.

2.4.4 – Exposição da população ao monóxido de carbono

Como o monóxido de carbono está omnipresente no ambiente, todos os seres humanos estão expostos a algum nível de monóxido de carbono em níveis variados através da inalação do ar. As diretrizes de qualidade do ar para o monóxido de carbono são definidas de forma a proteger os seres humanos contra as exposições reais e potenciais no ar ambiente que possam causar efeitos adversos à saúde. As diretrizes da Organização Mundial de Saúde para a exposição ao monóxido de carbono (OMS, 1987) são expressas em quatro tempos médios, como se segue:

- 100 mg/m³ (87 ppm), durante 15 min;
- 60 mg/m³ (52 ppm), durante 30 min;
- 30 mg/m³ (26 ppm), durante 1 h;
- 10 mg/m³ (9 ppm), durante 8 h.

Os valores das diretrizes e os períodos de exposição média ponderada no tempo foram determinados de modo que o nível de carboxiemoglobina de 2,5% não seja excedido [29].

A exposição ao monóxido de carbono ainda é uma das principais causas de intoxicações não intencionais e suicidas, e causa um grande número de mortes anualmente na Europa e nos Estados Unidos [30].

A exposição no local de trabalho ocorre em operações de alto-forno na indústria siderúrgica e quando empilhadores, motosserras ou outras máquinas movidas a gasolina ou propano são usadas em espaços confinados, como empresas, túneis e minas.

Durante as atividades diárias típicas, as pessoas contactam com o monóxido de carbono numa série de microambientes - enquanto viajam em veículos motorizados, trabalham nos seus empregos, visitam locais urbanos associados a fontes de combustão ou cozinham e aquecem com gás doméstico, carvão ou lenha, bem como no fumo do tabaco. No geral, as exposições mais importantes de monóxido de carbono para a maioria dos indivíduos ocorrem nos microambientes de veículos e espaços interiores fechados.

Concentrações internas de CO são uma função de concentrações externas, fontes internas, infiltração, ventilação e mistura de ar. Na ausência de fontes internas, as concentrações de CO no ambiente interno são semelhantes às do ar ambiente; no entanto, estudos pessoais de exposição a CO mostraram que concentrações de CO em excesso de 9 ppm podem ocorrer em certos microambientes internos e em trânsito associados a fontes de transporte que não são consideradas parte do ar ambiente [28]. Os estudos de exposição mostram que o fumo passivo do cigarro

está associado ao aumento da exposição de não fumadores numa média de $1,7 \text{ mg/m}^3$ (1,5 ppm) e que o uso de fogão a gás em casa está associado a um aumento de cerca de $2,9 \text{ mg/m}^3$ (2,5 ppm) [29].

A queima de incenso em residências e prédios públicos, como lojas e centros comerciais, pode ser outra fonte interior de exposição ao monóxido de carbono. Investigadores relataram taxas de emissão de 23 tipos diferentes de incenso, como corda, cones, paus, pedras e pó, que são tipicamente usados em ambientes fechado. As taxas de emissão medidas de monóxido de carbono variaram de 144 a 531 mg/h. Os autores estimaram uma concentração máxima de $9,6 \text{ mg/m}^3$ causada pela queima de incenso e, portanto, concluíram que as concentrações de monóxido de carbono poderiam exceder o Padrão Nacional de Qualidade Ambiental da USEPA de 10 mg/m^3 por uma média de 8 horas, dependendo do volume da sala, taxa e a quantidade de incenso queimado. A queima de incenso pode ser um contribuinte significativo para a exposição ao monóxido de carbono em culturas onde o incenso é queimado com frequência, por exemplo, em rituais religiosos [33].

As concentrações ambientais medidas em áreas urbanas dependem muito da densidade de veículos movidos a combustão e são influenciadas pela topografia e pelas condições meteorológicas [32].

A redução nas emissões automóveis provocada pela Lei da Qualidade do ar ambiente fez diminuir as exposições de CO relativas ao trânsito e as concentrações de CO ambiente relacionadas com o tráfego bem abaixo daquelas medidas nas décadas de 1970 e 1980. No entanto, as pessoas ainda estão expostas ao CO em níveis de concentração acima do NAAQS em áreas de alta densidade de tráfego.

A exposição ambiental ao CO pode ocorrer quando se viaja em veículos motorizados (9-25 e até 35 ppm), visitando centros urbanos com estradas fortemente percorridas (até 50 ppm), ou cozinhando e aquecendo com gás doméstico, querosene, carvão ou madeira (até 30 ppm), bem como em incêndios, embarcações de recreio e fumo ambiental do tabaco [34].

As populações que vivem em áreas urbanas com intenso tráfego de veículos ou fontes estacionárias, como refinarias de petróleo, nos alto-forno na indústria siderúrgica, centrais energéticas de queima de gás e carvão, fábricas petroquímicas e fábricas de coque são mais propensas a serem expostas a níveis mais altos de monóxido de carbono do ar ambiente externo. A exposição ocupacional para funcionários que trabalham nessas indústrias e outras ocupações que estão sujeitas a altos níveis de exaustão de veículos (como sejam os mecânicos, trabalhadores de

postos de gasolina e de oficinas, vendedores ambulantes, varredores de ruas, motoristas de táxi, polícia de trânsito ou de bicicletas e trabalhadores de portagens) também está exposta a níveis mais altos de monóxido de carbono. A exposição no local de trabalho ocorre quando empilhadores, motosserras ou outras máquinas movidas a gasolina ou propano são usadas em espaços confinados, como empresas, túneis e minas. Bombeiros ou outros profissionais de resposta a emergências podem estar expostos a altos níveis de monóxido de carbono [26].

Quando o monóxido de carbono é libertado para o meio ambiente, mistura-se com o ar e permanece na atmosfera por um período médio de cerca de 2 meses.

2.5 – Processo de intoxicação na exposição ao CO

O CO libertado pelas combustões incompletas, mistura-se naturalmente com o ar ambiente e uma vez inalado, é rapidamente absorvido pelo organismo. Os sinais e sintomas de intoxicação pelo monóxido de carbono são habitualmente insidiosos e inespecíficos, pelo que o seu diagnóstico exige um elevado índice de suspeição [35].

O monóxido de carbono entra no corpo através dos pulmões e é posteriormente absorvido pelo sangue pela ligação com a hemoglobina existente nos glóbulos vermelhos [36].

Quando o monóxido de carbono é inalado, combina-se com a hemoglobina (um componente proteico de ferro dos glóbulos vermelhos do sangue), produzindo a carboxiemoglobina (COHb), o que diminui grandemente a capacidade de transporte de oxigénio da hemoglobina. A exposição ao monóxido de carbono reduz a capacidade do sangue de transportar oxigénio para os tecidos do corpo e órgãos vitais [29].

A afinidade da ligação da hemoglobina com o monóxido de carbono é de cerca 210-250 vezes maior que a sua afinidade com o oxigénio. O CO atua como um inibidor competitivo do oxigénio, pois ambos os gases competem pelo mesmo sítio de ligação na molécula de hemoglobina. A falta de oxigénio, devido à inibição da hemoglobina, serve como um dos principais mecanismos que leva à morte durante um evento de exposição. Além disso, o CO não apenas reduz a quantidade total de oxigénio transportado, mas também a natureza da ligação alostérica dificulta a entrega. Altas concentrações de CO podem até prejudicar diretamente a atividade celular.

A fixação do monóxido de carbono nos tecidos é forte, difícil de remover e tem um efeito cumulativo [37]. Exposições de curto prazo a altas concentrações de CO (exposição aguda) e repetidas exposições de longo prazo a concentrações relativamente baixas de CO (exposição crónica) podem resultar em sérios efeitos à saúde.

A gravidade da intoxicação depende da ventilação por minuto, da concentração relativa de CO e oxigênio (O₂) no meio ambiente, da duração de exposição e do estado de saúde da vítima [35]. Algumas pesquisas descobriram que exposições repetidas ao CO, mesmo em níveis anteriormente considerados baixos, são capazes de produzir numerosos e persistentes efeitos adversos físicos, cognitivos e emocionais em seres humanos [38].

2.6 – Efeitos na saúde das pessoas

Os principais grupos de risco à exposição ao CO, são as pessoas com doenças cardiovasculares, pessoas com anemia e outras doenças sanguíneas, pessoas com doenças pulmonares crônicas, grávidas, crianças com idade inferior a 5 anos e os idosos com idade superior aos 65 anos [39].

As crianças constituem um grupo de risco para intoxicações com CO, devido a imaturidade do sistema nervoso central (SNC) e ao metabolismo basal mais elevado associado a maior consumo de oxigênio. Por essa razão, comparativamente aos adultos, tornam-se sintomáticas mais precocemente, mas a sua recuperação também é mais rápida [40].

Para algumas pessoas com deficiências funcionais, mesmo os baixos teores de COHb, provavelmente serão perigosos. Os muito jovens, os idosos, os deficientes físicos, os que estão sob a influência do álcool, drogas ou medicação e aqueles com doenças cardíacas são particularmente suscetíveis.

Tabela 2.8-Sintomas da exposição ao monóxido de carbono com base na sua concentração [41].

Concentração (ppm CO)	Sintomas
50	Sem efeitos adversos durante 8 horas de exposição
200	Dor de cabeça moderada após 2-3 horas de exposição
800	Dor de cabeça, náuseas e tonturas após 45 min de exposição; colapso após 2 horas de exposição
1000	Perda de consciência após 1 hora de exposição
1600	Dor de cabeça, náusea e tonturas após 20 min. de exposição
3200	Dor de cabeça, náuseas e tonturas após 5-10 min. de exposição; colapso e inconsciência após 30 min. de exposição
6400	Dor de cabeça e tonturas após 1-2 min. de exposição; inconsciência e perigo de vida após 10-15 min. de exposição
12800 (1,28% por volume)	Efeitos fisiológicos imediatos: Inconsciência e perigo de vida após 1-3 min. de exposição.

Os perigos da exposição ao monóxido de carbono dependem de várias variáveis, como a saúde do indivíduo exposto, o nível de atividade, o tempo de exposição e o nível inicial de carboxi-hemoglobina (COHb). Devido a essas variáveis, a Tabela 2.8 e a Figura 2.9, são para serem usadas como recomendações gerais mesmo podendo não parecerem quantitativamente consistentes.

Os valores da Tabela 2.8 são valores aproximados para adultos saudáveis. Crianças, idosos e pessoas com condições físicas pré-existentes podem ser mais suscetíveis aos efeitos da exposição ao monóxido de carbono. A exposição continuada após a inconsciência pode causar a morte [41].

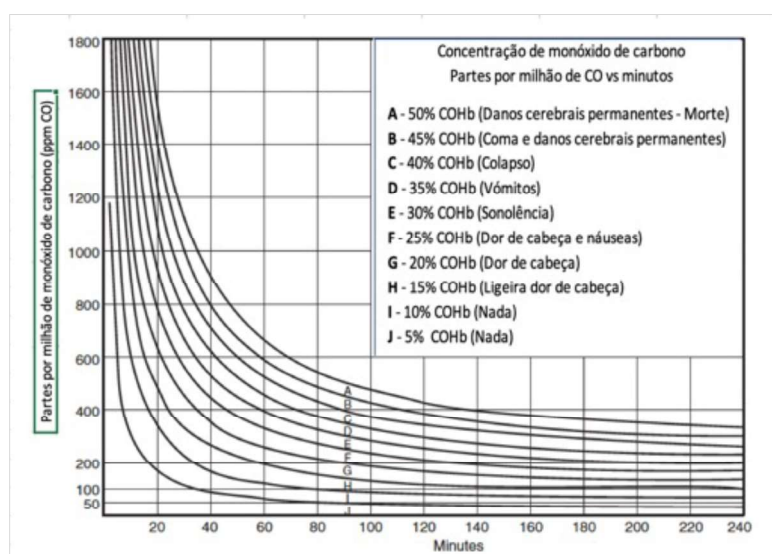


Figura 2.9 - Concentração de CO (ppm CO) vs Tempo (minutos) (Fonte: Adaptada de [41])

No entanto, várias instituições, sociedades, organizações e agências governamentais estabelecem códigos e normas para abordar os limites de exposição ao CO admissíveis para algumas utilizações específicas, como sejam por exemplo as infraestruturas de estacionamento, havendo por vezes algumas discrepâncias nos valores limite.

2.7 – Tratamento da intoxicação por inalação de CO

Os objetivos do tratamento da intoxicação por CO são o controlo da oxigenação adequada, a redução dos níveis de COHb a níveis seguros, a otimização da administração de líquidos e do débito cardíaco, o controlo da atividade convulsiva e a prevenção das sequelas neurológicas tardias [42].

O mais importante na fase inicial é remover o paciente da fonte de exposição com a proteção do pessoal de saúde, de seguida iniciar um tratamento rápido baseado na administração de oxigénio em alto fluxo, mesmo a partir do nível pré-hospitalar e dos níveis de COHb.

- 100% de O₂;
- Possivelmente, oxigenoterapia hiperbárica O₂.

Administram-se 100% de O₂ (com máscara) e tratamento de suporte. Embora o seu uso seja cada vez mais controverso, a terapia hiperbárica com O₂ (numa câmara de 2 a 3 atmosferas de 100% de O₂) normalmente deve ser considerada para pacientes com:

- Complicações cardiopulmonares e risco de vida;
- Dores torácicas contínuas;
- Alteração da consciência;
- Perda da consciência (mesmo por curto período de tempo);
- Nível de carboxiemoglobina > 25%.

A terapia com O₂ hiperbárico também deve ser considerada para gestantes, possivelmente em níveis séricos de CO mais baixos do que em pacientes não grávidas e pode diminuir ou retardar sintomas neuropsiquiátricos. Contudo, essa terapia pode causar barotrauma e, por não estar disponível na maioria dos hospitais, requer a transferência do paciente, que pode não estar estável também, pode não haver câmara disponível no local. As evidências de eficácia da terapia hiperbárica com O₂ são cada vez mais controversas, com alguns estudos sugerindo danos. Nos casos em que a terapia hiperbárica com O₂ é considerada, recomenda-se fortemente obter o parecer de um centro de controle de intoxicações ou um especialista em medicina hiperbárica [43].

Pesando as vantagens e desvantagens da oxigenação hiperbárica, a intoxicação aguda por CO foi definida como recomendação tipo I, isto é, vital para o prognóstico, para a realização de OHB (Oxigenoterapia Hiperbárica), na Primeira Conferência Europeia de Consenso sobre Medicina Hiperbárica. No entanto, existe ainda grande variabilidade relativamente aos critérios para este tipo de tratamento, a dose e número de sessões e o intervalo útil entre exposição e administração, devendo estes aspetos serem discutidos com o perito em oxigenoterapia hiperbárica [35].

Ainda há muito a aprender sobre o CO, incluindo os mecanismos de toxicidade, as previsões do resultado após a intoxicação e os melhores tratamentos. São necessárias mais pesquisas para

formular indicações clínicas claras para o uso de agentes potencialmente neuro-protetores (ou seja, insulina, dadores de sulfidril, alopurinol, cetamina, peptídeos derivados do cérebro, agonistas de recetores kappa). O futuro da OHB na intoxicação por CO continua em estudo. Dados os resultados díspares de ensaios clínicos aleatórios utilizando OHB, permanece a obrigatoriedade de continuar a selecionar cuidadosamente pacientes para essa terapia e promover estudos adicionais para delinear subpopulações, como crianças e mulheres grávidas, que potencialmente possam vir a serem beneficiadas. [44].

3 – Sistemas de Detecção de Gases

3.1- Gases

A moderna sociedade industrializada de hoje trouxe para o mundo inúmeros bens e serviços, bem como uma série de problemas relacionados com o desenvolvimento tecnológico. A industrialização crescente torna absolutamente necessário monitorizar e controlar constantemente a poluição do ar ambiente, nos edifícios, fábricas, laboratórios, hospitais e instalações geralmente técnicas.

Neste contexto, dois fatores adicionais aparecem na definição do estado do desenvolvimento tecnológico: a saúde e o meio ambiente. Estes fatores não estão simplesmente na forma de exigências da sociedade, mas representam, em muitos aspetos, necessidades históricas, aparentemente decorrentes de crescentes sentimentos de autoconservação entre a raça humana diante de efeitos ambientais adversos criados por atividades tecnológicas míopes. Os enormes problemas de poluição nas nossas sociedades estão a afetar negativamente nossa saúde e, portanto, qualquer novo ímpeto tecnológico deve incorporar no seu tema toda e qualquer salvaguarda que contribua para atividades ambientalmente saudáveis [45].

Os sistemas de deteção de gases são destinados a detetar concentrações perigosas de gás, por forma a acionar alarmes e – na medida do possível – poder ativar contramedidas, antes que elas possam chegar a uma situação perigosa para ocupantes, instalações e meio ambiente.

Por essas razões, entre outras, tornou-se muito importante desenvolver dispositivos de deteção de gases altamente sensíveis para evitar acidentes devido as fugas, evitando as perdas de vidas humanas, salvando equipamentos. Tais detetores devem permitir a monitorização contínua da concentração de determinados gases no ambiente de maneira quantitativa e seletiva. Por forma a não fazer uma abordagem muito exaustiva dos gases, este trabalho apenas se cingirá aos gases abrangidos pelos artigos 184º e 185º (combustíveis), assim como o controlo de poluição do ar abordados no artigo 180º a 183º (tóxicos e asfixiantes) do RT-SCIE.

O gás é um conjunto de moléculas que se deslocam aleatória e caoticamente, colidindo constantemente umas com as outras e com qualquer outra partícula ao seu redor. Os gases preenchem qualquer volume disponível e, devido à velocidade muito alta em que se movem, misturam-se rapidamente em qualquer ambiente em que sejam libertados. Diferentes gases estão à nossa

volta na vida quotidiana. O ar que respiramos é composto por vários gases diferentes, entre eles o oxigénio e o azoto que estão em maior percentagem.

Os gases podem ser classificados de diversas formas entre elas, pelas propriedades químicas e físicas, como é mostrado nas Tabelas 3.1 e 3.2. Podem também ser classificados quanto ao seu uso como atesta a Tabela 3.3 [46].

Tabela 3.1- Classificação dos gases de acordo com as propriedades químicas [46].

Tipo	Descrição	Gases
Gás inflamável	Qualquer gás que queime nas concentrações normais do oxigénio existente no ar, é um gás inflamável. Este tipo de gás queima no ar e tem LII (limite inferior de Inflamabilidade) inferior a 10%. A temperatura de ignição de um gás é a temperatura necessária para iniciar a combustão.	Metano, etano, butano, hidrogénio, etc.
Gás inerte ou não-inflamáveis	Um gás inerte é um gás que não sofre reações químicas num conjunto de condições dadas. Gases não-inflamáveis não queimarão no ar ou com qualquer concentração de oxigénio.	Azoto, dióxido de carbono, árgon, hélio, etc.
Gases tóxicos	Gases tóxicos são aqueles que põe a vida em perigo quando inalados. Constituem mais um obstáculo no trabalho dos bombeiros.	Arsénio, cloro, amoníaco, monóxido de carbono, etc.
Gases reativos	Gases reativos são gases que vão reagir com outros materiais ou dentro de si por uma reação diferente de queima. Quando expostos ao calor e ao choque, alguns gases reativos reorganizam-se quimicamente.	Acetileno e cloreto de vinilo.

De acordo com a NFPA [46] e segundo as suas propriedades físicas, os gases comprimidos à temperatura ambiente mantêm-se no seu recipiente sob pressão, no estado gasoso.

Tabela 3.2 - Classificação dos gases de acordo com as propriedades físicas [46].

Estado	Descrição	Gases
Gás comprimido	Um gás comprimido não liquefeito é aquele que está à temperatura normal dentro de um recipiente sob pressão no estado gasoso. Resiste à liquefação quando comprimido à temperatura ambiente, uma vez que a temperatura crítica é inferior à temperatura ambiente.	Hidrogénio, oxigénio, azoto, árgon, etileno, etc.
Gás liquefeito	Os gases liquefeitos são gases que podem ser liquefeitos a 21°C simplesmente aumentando a sua pressão para a pressão de vapor desse material a 21°C. Os gases liquefeitos são armazenados facilmente a temperaturas normais na pressão de vapor do gás.	Amónio liquefeito, cloro, propano, butano, acetileno, etc.
Líquidos criogénicos	Os líquidos criogénicos são feitos a partir dos gases liquefeitos por arrefecimento a temperaturas muito baixas. O Comité Norte-Americano de Normalização define criogénico como um líquido com um ponto de ebulição abaixo dos -150°C.	Oxigénio, azoto, hidrogénio, árgon, hélio e o gás natural liquefeito.

Tabela 3.3 - Classificação dos gases de acordo com a utilização [46].

Tipo	Características	Gases
Gases combustíveis	Gases combustíveis são gases inflamáveis habitualmente utilizados para queimar com o ar para produzirem calor, que por sua vez é usado como uma fonte de calor (conforto e processo), energia, ou luz. De longe, os gases combustíveis principais e mais amplamente utilizados são o gás natural e o propano.	Gás natural e os gases de petróleo liquefeitos, monóxido de carbono, butano e propano
Gases Industriais	Os gases industriais abrangem toda a gama de gases classificados por propriedades químicas e são habitualmente utilizados em processos industriais, para soldadura e corte, tratamento térmico, processamento químico, refrigeração, tratamento de água, etc.	Acetileno, hidrogénio, dióxido de carbono, azoto, oxigénio, árgon, etc.
Gases medicinais	De longe, a classificação de uso mais especializada, os gases medicinais são utilizados para fins de cuidados de saúde, tais como anestesia e terapia respiratória.	Ciclopropano, oxigénio, óxido nítrico e óxido nitroso.

3.2 - Sensores

3.2.1 - Introdução

Os seres humanos têm cinco sentidos: visão, audição, tato, olfato e paladar. O sensor desempenha o papel de reproduzir os cinco sentidos ou ultrapassá-los. No historial do desenvolvimento do sensor, os sensores correspondentes às partes do recetor da visão, da audição e do tato já levam muitos anos com aplicações. Em comparação, os sensores para simular os sentidos do olfato e do paladar têm sido propostos apenas recentemente, apesar da grande procura desses sensores na indústria alimentar e na proteção ambiental. O sensor para os sentidos de visão, audição e tato respondem a tais quantidades físicas únicas como luz, ondas sonoras e pressão (ou temperatura), respetivamente [47].

Sensores transformam sinais de diferentes domínios de energia para o domínio elétrico. A Figura 3.1 classifica os sinais em seis domínios.



Figura 3.1- Classificação dos sensores de acordo com sinais dos 6 domínios (Fonte: Adaptada de [44]).

Os efeitos físicos dos sensores podem ser descritos por equações diferenciais em energia ou contenção de energia. Parâmetros de efeitos cruzados entre diferentes domínios de energia descrevem as sensibilidades cruzadas de um sensor entre esses domínios de sinal [48].

Um sensor é um dispositivo que converte um fenómeno físico num sinal elétrico. Como tal, os sensores representam a parte do interface entre o mundo físico e o mundo dos dispositivos elétricos, como os computadores. A outra parte desse interface é representada por atuadores, que convertem sinais elétricos em fenómenos físicos.

O sensor é um dispositivo que recebe um sinal ou estímulo e responde com um sinal eléctrico. O sensor não funciona por si só. Eles são geralmente parte de um sistema maior que consistem em condicionadores de sinal e vários circuitos de processamento analógico ou digital. O sistema

pode ser um sistema de aquisição de dados, sistema de medição, ou sistema de controle de processo, por exemplo.

Sensores para a detecção de gases e vapores são transdutores que fazem uso de certas propriedades dos gases para a reconversão num sinal elétrico adequado [49]. Basicamente, um sensor de gás mede ou deteta a presença de um gás num determinado espaço. Nos últimos anos, os sensores de gás são cada vez mais utilizados nos mercados crescentes da indústria automóvel e monitorização ambiental [50].

Os sensores associados aos sistemas de detecção de gás podem pertencer a sistemas portáteis (ou semiportáteis) ou a sistemas de detecção fixos. A segurança dos espaços potencialmente afetados por gases e vapores perigosos de alto risco dependem da fiabilidade do sistema de detecção de gás, em especial da qualidade dos sensores utilizados. Ao contrário dos sensores dos dispositivos portáteis, os sensores instalados nos sistemas fixos onde também se incluem toda a eletrónica, estão continuamente em funcionamento, 365 dias por ano, 24 horas por dia de forma a rapidamente enfrentar uma eventual fuga de gases. E isto, mesmo em condições ambientais extremas, com por exemplo temperaturas entre os -50°C e os $+65^{\circ}\text{C}$, com humidades relativas elevadas ou extremamente secas, em aplicações fora de portas e à chuva, tempestades e neve ou nas condições tórridas do deserto, distúrbios magnéticos ou fortes vibrações [51].

3.2.2 - Características de desempenho do sensor

As características do sensor são descritas em termos de relações de entrada (input) e saída (output). A seguir representam-se algumas das características mais importantes do sensor:

- Função de Transferência - traduz a relação funcional entre o sinal físico de entrada e o sinal elétrico de saída;
- Sensibilidade - é definida em termos da relação entre o sinal físico de entrada e o sinal elétrico de saída. É geralmente o rácio entre uma pequena mudança no sinal elétrico e uma pequena mudança no sinal físico. Como tal, pode ser expressa como a derivada da função de transferência em relação ao sinal físico;
- Faixa Dinâmica ou Span - É o intervalo dos sinais físicos de entrada que podem ser convertidos em sinais elétricos pelo sensor. Os sinais fora deste intervalo poderão causar uma inadmissível grande imprecisão;
- Exatidão ou Incerteza - A incerteza é geralmente definida como o maior erro esperado entre os sinais de saída reais e ideais;

- Histerese - Alguns sensores não retornam ao mesmo valor de saída quando o estímulo de entrada varia para cima ou para baixo. A largura do erro esperado em termos da quantidade medida é definida como a histerese;
- Não Linearidade (geralmente chamada de linearidade) - O desvio máximo de uma função de transferência linear sobre o intervalo dinâmico especificado;
- Ruído - Todos os sensores produzem algum ruído de saída, para além do sinal de saída. O ruído é distribuído geralmente através do espectro da frequência;
- Resolução - A resolução de um sensor é definida como a flutuação mínima do sinal detetável;
- Largura de Banda - Todos os sensores têm tempos de resposta finitos para uma mudança instantânea do sinal físico. Para além disso, muitos sensores têm tempos de perda, o qual representariam o tempo após uma mudança de patamar no sinal físico para que a saída do sensor regressasse ao seu valor original [49].

3.2.3 - Tecnologias de deteção de gases

Os detectores (sensores) de gases são categorizados de duas maneiras. Primeiro, pelo tipo de utilização dos gases que detectam e, em segundo lugar, pelo tipo de tecnologia utilizada. Relativamente ao tipo de utilização dos gases, como visto na Tabela 3.3, eles podem ser, combustíveis, industriais e medicinais.

a) - Sensor Eletroquímico

Na sua forma mais simples eles são compostos por dois eletrodos: deteção e contador, separados por uma fina camada de eletrólitos. A estrutura está inserida dentro de uma carcaça de plástico que possui um pequeno tubo capilar para permitir a entrada de gás no eletrodo sensor e inclui pinos que são eletricamente conectados a ambos os eletrodos que permitem fácil interface externo. Estes pinos podem ser conectados a um circuito simples de resistência que permite medir a queda de tensão resultante de qualquer fluxo de corrente. Um sensor da City Technology CO, vulgarmente utilizado em alarmes domésticos de CO, é mostrado na Figura 3.2.

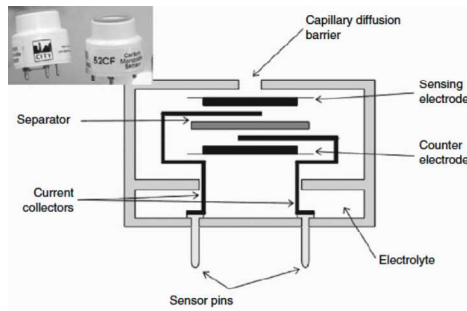
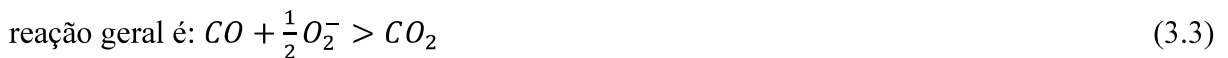


Figura 3.2 - Sensor Eletroquímico (Fonte: [51]).

Uma vez que a taxa de entrada de gás no sensor é controlada pela barreira de difusão capilar, a corrente gerada é proporcional à concentração de gás presente fora do sensor. De grande importância para qualquer sensor de gás eletroquímico é o projeto da barreira de difusão, que limita o fluxo de gás para o eletrodo de detecção. O eletrodo é, portanto, capaz de reagir com todo o gás alvo à medida que atinge a sua superfície, e ainda tem atividade eletroquímica na reserva. As reações que acontecem nos elétrodos num sensor de CO são:



As reações similares acontecem para todos os outros gases tóxicos que são capazes de ser electroquimicamente oxidado ou reduzido.

Semelhante aos sensores de gás SMO (Semiconducting Metal Oxide), os sensores de gás eletroquímico também são afetados por variações de temperatura. O sinal da linha de base da maioria dos sensores eletroquímicos tende a aumentar exponencialmente com a temperatura, aproximadamente o dobro por cada 10°C na temperatura, o que se mostra problemático para aplicações domésticas, já que a mudança de temperatura pode afetar seriamente a capacidade de medir esses gases com precisão e resultar num falso alarmante. No entanto, ao compensar esse desvio no hardware ou no software, essas influências de temperatura podem ser reduzidas [44].

b) - Sensor Catalítico

O princípio de funcionamento dos sensores catalíticos baseia-se na oxidação de gases inflamáveis: quando um gás combustível entra em contato com a superfície do catalisador oxida-se. A reação liberta calor, que faz com que varie a resistência do fio.

As misturas de gases combustíveis não queimam até atingirem uma determinada temperatura de ignição, mas na presença de um dado processo químico, o gás começará a inflamar-se mesmo a temperaturas mais baixas. Este processo é conhecido como combustão catalítica. Um sensor de gás feito com base no princípio catalítico, chama-se sensor de gás catalítico. Utiliza-se uma ponte de Wheatstone para medir a corrente de saída do sensor catalítico do gás. A tecnologia do sensor de gás catalítica é dividida em dois tipos a saber, tipo-pelistor e tipo termoelétrica.

Um sensor de gás catalítico do tipo Pelistor representado na Figura 3.3 consiste em duas bobinas de platina que têm 2 funções Viz. Elas servem como aquecedor, bem como de termómetro da resistência. Ele também consiste em contas ativas e inativas. A conta ativa é ativada com o catalizador feito de um metal como a platina ou o paládio. A conta inativa não tem catalisador, mas geralmente atua como elemento compensador. A fonte de alimentação do circuito, aquece as bobinas de modo que as contas sejam aquecidas a uma alta temperatura na ordem de 300°C a 500°C dependendo do gás do alvo. Isto faz com que o gás inflame e eleve a temperatura da bobina do detector.

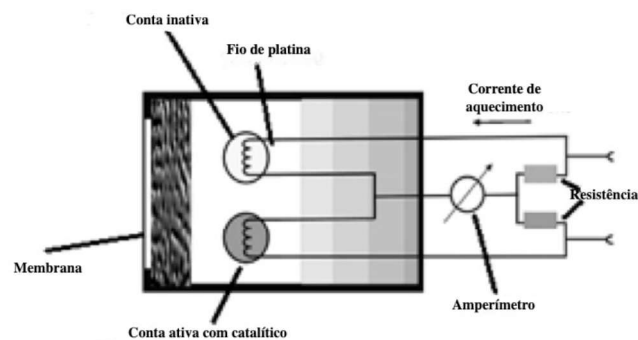


Figura 3.3 - Sensor de gás catalítico tipo-Pelistor (Fonte: Adaptada de [52]).

Este aquecimento aumenta a resistência da bobina e causa um desequilíbrio na tensão da ponte de Wheatstone que constitui o sinal do sensor. O sensor foi fabricado por micro-maquinagem e processo sol-gel num substrato de silício. A tecnologia pelistor tem testemunhado um desenvolvimento significativo utilizando a tecnologia de sistemas micro-eletrônicos (MEMS) para sua fabricação devido à vantagem de integração, miniaturização e menor consumo de energia. Os sensores de gás de combustão de gás catalítico foram produzidos usando película fina ou técnicas de micromaquinação [52].

Os sensores de gás termoelétrico são baseados no princípio de que uma diferença de temperatura se forma sobre as pilhas termoelétricas causadas pelas reações exotérmicas numa área sensível ao gás do dispositivo. A diferença da temperatura ΔT é medida por uma estrutura pilha termoelétrica tela-impressa. A atividade da camada catalítica é controlada pela

temperatura geral do sensor (T_{sensor}), que é fornecida por um elemento de aquecimento integrado (descrito esquematicamente).

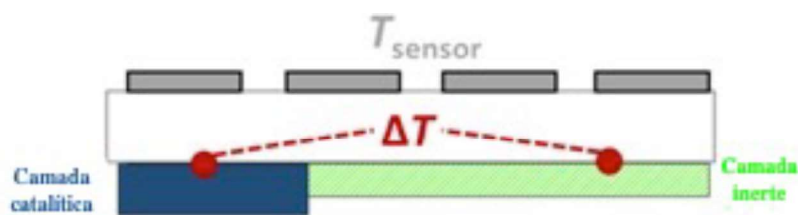


Figura 3.4 - Seção transversal do dispositivo do sensor (Fonte: [53]).

Por exemplo, a configuração do sensor simulado mede uma diferença de temperatura ΔT entre uma parte catalisada e uma parte inerte do sensor, como pode ser visto no esquema na Figura 3.4. O ΔT é medido por uma estrutura da pilha termoelétrica impressa na tela colocada sob a camada catalítica e a camada inerte, ou seja, a pilha termoelétrica determina o aumento da temperatura causado pela exotermia das reações que ocorrem na camada catalítica quando o gás oxidável e componentes como hidrocarbonetos, hidrogénio ou monóxido de carbono atingem a superfície do sensor na presença de oxigénio.

Então, a conversão dos componentes do gás induz calor dependendo da atividade da camada catalítica e da taxa de analitos atingindo a camada catalítica. A atividade depende do material catalisador aplicado e da temperatura global do sensor T_{sensor} , que é pré-definida pelo elemento de aquecimento integrado. A taxa dos componentes do gás, isto é, o número de moléculas que atingem a superfície do sensor por segundo, depende das concentrações do gás de alimentação, da difusão através do meio poroso, das características de fluxo do fluido na forma de fluxo laminar ou turbulento e do alinhamento local do dispositivo como sua rotação em relação às direções de fluxo de gás pode ser variada [53].

c) - Sensor infravermelho

Os sensores infravermelhos consistem num detetor que converte a energia da radiação eletromagnética em sinais elétricos. Os detetores são de diferentes tipos, a saber: termoelétricos, termómetro, detetor piroelétrico e detetor de fótons. Consiste também numa fonte de infravermelhos que pode ser uma luz incandescente regular ou um filamento de fio aquecido que pode ser utilizado para a deteção de CO_2 , CO e outros hidrocarbonetos. Outro componente é uma fibra ótica que pode ser de dois tipos: dispersiva e não dispersiva.

Os tipos não dispersivos usam filtros de banda óptica discretos e são usados principalmente para aplicações de sensores de gás, enquanto os tipos dispersivos usam um dispositivo óptico como uma grade ou prisma. O último, mas não menos importante é a célula de gás que permite que o caminho de luz para interagir com o gás-alvo. Sensores de gás infravermelho são usados para a detecção de diferentes gases como o metano, etano, propano, butano, benzeno tolueno, xileno e outros álcoois como metanol, etanol etc.

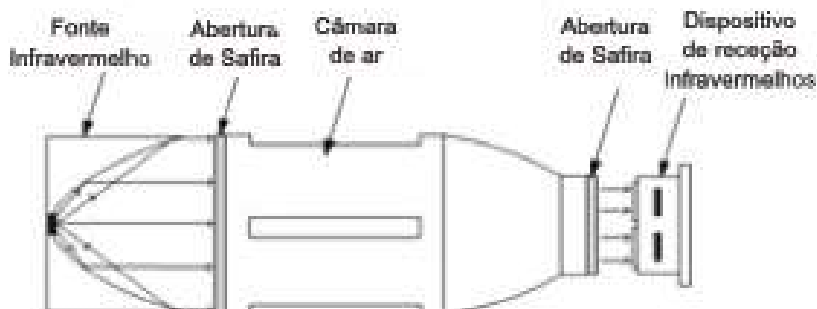


Figura 3.5 - Sensor Infravermelho (Fonte: Adaptada de [52]).

Existem dois tipos de estrutura ótica que são usados para a construção de sensores de CO₂ por infravermelhos a saber: feixe duplo-tempo e o feixe de duplo-espaço. A estrutura ótica do feixe de duplo-tempo tem somente um feixe infravermelho emitido pela fonte infravermelha e o detetor recebe 2 feixes infravermelhos com diferentes comprimentos de onda e tempos diferentes. Quando a estrutura do feixe do duplo-espaço tiver um feixe infravermelho emitido da fonte infravermelha e incorporar simultaneamente dois detetores paralelos na placa deste projetor. O feixe de duplo-espaço é usado para realçar a construção e uma câmara de ar em forma de cone é projetada como mostrado na Figura 3.5. A sonda ótica consiste numa fonte de infravermelhos, câmara de ar, um dispositivo de receção infravermelho e duas janelas de safira [52].

d) - Sensor semicondutor

Os semicondutores são materiais muito sensíveis, considerando os efeitos das condições de superfície nas propriedades elétricas. Por um lado, este facto causou uma série de problemas no início do desenvolvimento da tecnologia de semicondutores. O desenvolvimento da tecnologia de passivação superficial resolveu quase todas as dificuldades relacionadas com os efeitos ambientais. Por outro lado, a sensibilidade acima mencionada resultou no desenvolvimento de sensores de gás semicondutor [54].

Os sensores de gás SMO (Semiconducting Metal Oxide) são relativamente pequenos, fiáveis, duráveis e têm baixo custo. Tradicionalmente, as principais desvantagens do SMO como

dispositivos detectores de gases têm sido a sua baixa seletividade ao gás, e as influências de humidade e temperatura. A introdução de catalizadores de metais nobres (como platina e paládio), filtros (carvão ativado) e a modificação na microestrutura e nanoestrutura do SMO permitiu que os fabricantes de sensores SMO melhorassem a seletividade e o desempenho da estabilidade. Para gases redutores como CO, as moléculas reagem com os iões de oxigénio adsorvidos (do ar ambiente) na superfície do óxido. O oxigénio adsorvido perde o seu eletrão, reagindo com a molécula de gás redutor, aumentando assim a condutividade das películas. Um modelo simples que consiste em três reações possíveis é mostrado nas equações abaixo:



A partir destas reações é óbvio que uma mudança na concentração de oxigénio ambiente irá também alterar a taxa deste processo redução e influenciar o sinal de saída do sensor. A relação entre a condutividade da película (σ) e a concentração de gás (c) segue uma lei de potência que pode ser descrita por:

$$\sigma = kc^\eta \quad (3.7)$$

onde k é a única medida constante de proporcionalidade do filme/sensor e o expoente η pode variar de 0,3 a 0,8.

Devido a esta natureza não linear intrínseca do semicondutor, os circuitos da linearização dentro do hardware/software, são geralmente necessários. Além disso, para que o material SMO reaja com o gás, o material é elevado à temperaturas entre 90°C e os 250°C, permitindo que o processo de oxidação/redução ocorra. Elevar o sensor à altas temperaturas exige um circuito de aquecimento integrado a ser fabricado abaixo ou adjacente ao elemento de deteção. Devido a esta exigência de alta temperatura, os sensores do gás de SMO exigem um consumo de energia relativamente elevado. Os sensores tradicionais de SMO fabricados em substratos de alumina normalmente consomem acima de 350 mW.

Tipicamente para detetar o gás CO, o material sensível da película utilizado nos sensores semicondutores, é óxido de Estanho (SnO_2). Outros óxidos metálicos transitórios tais como óxido de Tungsténio (WO_3), óxido de Índio (In_2O_3), óxido de Titânio de Crómio (Cr_2TiO_3) fabricados com espessuras entre os 200 nm e os 10 μm também mostraram serem eficazes na deteção do CO.

Para aplicações de monitorização da qualidade do ar do automóvel (AQM), MiCS produz sensores de elemento duplo para detetar tanto os gases de redução tais como o CO e HC's como os de oxidação tais como o NO₂ e O₃. Isto permite a deteção da poluição associada a gasolina dos carros e das motos, e a poluição dos automóveis diesel assim como camiões e autocarros. Os chips dos sensores baseados em Si Figura 3.6 (a) podem ser ligados tanto aos pacotes do contorno do transistor (a) como aos pacotes de SMD (Dispositivo da montagem de superfície). A Figura 3.6 (b) mostra dois chips do sensor na mesma carcaça desenvolvida para a indústria automóvel, capaz de detetar ambos gases, CO e NO_x.

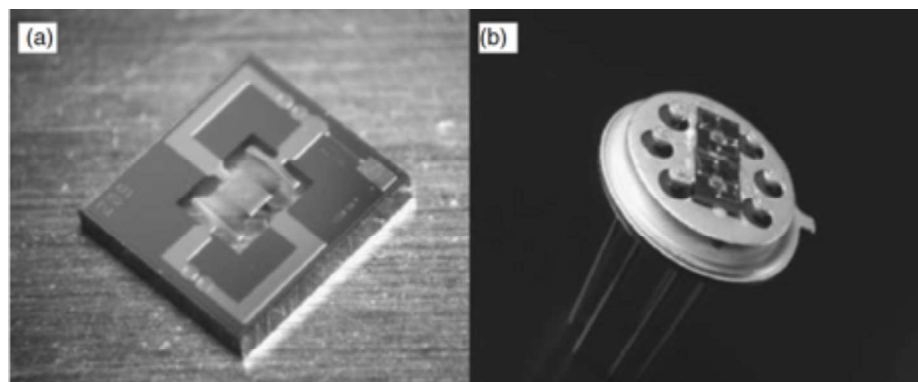


Figura 3.6 - Sensores semicondutores de CO (Fonte: [44]).

Tipicamente, o sensor é integrado numa placa de circuito impresso com eletrónica periférica e produzido como um alarme de CO para o uso doméstico ou do automóvel [44].

Muitas ideias novas na construção dos (SGS) foram tomadas das tecnologias da microeletrónica nos últimos 40 anos. O desenvolvimento do material da SGS foi baseado na ciência de semicondutores e na catálise química. No entanto, os desenvolvimentos com sensores de gás semicondutor ainda não terminaram, portanto, é necessário dizer algo sobre a próxima década. A nanotecnologia, naturalmente, influenciará o desenvolvimento de materiais do sensor do gás do semicondutor. Estruturas de semicondutores de tamanho nano (nanofibras, nanotubos de carbono) com uma bem definida composição material e morfologia, proporcionam uma melhor oportunidade para se construir sensores de gás estáveis e reprodutíveis [54].

e) - Sensor de gás Ótico

O conceito de sensor de fibra-ótica (FOS) está longe de ser novo. As primeiras patentes foram obtidas em torno do ano 1965. No entanto, só após considerável experiência acumulada com o convencional espectrómetro analisador de gases, é que foram feitos esforços sérios no sentido do desenvolvimento da tecnologia de detecção por fibra-ótica no início dos anos oitenta.

Uma fibra óptica é essencialmente um "tubo de luz" ou guia de ondas, para frequências ópticas. É tipicamente desenhado a partir de um espelho esférico para um diâmetro de uns para algumas centenas de microns. Uma grande variedade de fibras óticas está disponível nos fabricantes comerciais e estas podem ser divididas em cinco tipos principais: toda em polímero, sílica, sílica revestida a plástico, fibras de vidro e troços de fibra. Uma das mais valiosas propriedades de uma fibra ótica é a sua flexibilidade, porque a partir dela, se podem transferir sinais óticos para outros locais, a quilómetros de distância sem a necessidade do alinhamento perfeito entre a fonte e o detector e especialmente sem muita atenuação ou degradação do sinal devido ao ruído elétrico ambiente ou interferências eletromagnéticas. Esta propriedade, entre outras, levou a muitas aplicações na área de comunicação óptica e em áreas como rádio, internet e transmissão de dados [45].

Na família dos sensores óticos para gás, um grupo de sensores são produzidos pela utilização de um guia de onda óptico, especialmente fibra ótica. Sensores químicos de fibra ótica são por vezes classificados em duas categorias.

Esta classificação também é válida para sensores de gás de fibra óptica:

A - Sensores de fibra ótica não funcionais - fibra óptica ou guia de ondas transmitem apenas informações óticas, tais como absorbância e intensidade de fluorescência. O transdutor ou a peça de detecção é acoplada na extremidade da guia de ondas, como mostrado na Figura 3.7(a) e (b). Este tipo de sensor é chamado de sensor de fibra não-funcional ou sensor de fibra extrínseco. Vários tipos de fibra de diferentes materiais e estruturas estão agora disponíveis, dependendo do interesse no número de ondas ou mecanismo de detecção. A fibra na Figura 3.7(b) transmite ambos feixes, de entrada da fonte de luz e de saída da fase reagente, mas em (a) essas vias são separadas pelo uso de uma fibra bifurcada. Obviamente, o desenvolvimento do material do optrode é o mais importante para este tipo de sensor.

B - Sensores de fibra ótica funcionais - Uma parte ou toda a fibra ótica em si tem a capacidade de detecção de espécies de gás em sensores funcionais de fibra ótica. Assim, estas séries de sensores são chamadas igualmente como sensores de fibra tipo intrínseco. Como mostrado na Figura 3.7(c), o reagente sensível a gás é o revestimento da superfície externa da fibra ótica. Se a informação ótica é a absorção da luz que tem lugar na interface do revestimento ou da atmosfera do revestimento, a intensidade da onda que se propaga através do núcleo é afetada durante a descida para o detector por um sem número de reflexões. Obviamente a área da fase

do reagente que interage com a fase do gás é maior para sensores funcionais do que para o tipo não-funcional [55].

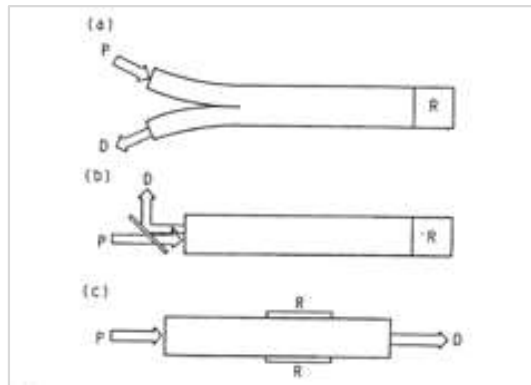


Figura 3.7 - Sensores de fibra ótica (Fonte: [55]).

P: Sonda de radiação, D: radiação detetada, R: Fase Reagente

- (a) Sensor baseado na bifurcação da fibra ótica.
- (b) Fibra simples com separador de feixe.
- (c) Sensor simples de fibra ótica revestido com a fase reagente.

O princípio de funcionamento do FOS para a detecção de gás é inequívoco. Quando as moléculas do gás são absorvidas na parte ativa (Catalisador-revestido) da fibra, o qual é escolhida de acordo com a desejada seletividade do gás, estas mudam as propriedades óticas da camada revestida. Dependendo da especificidade do dispositivo, a propriedade ótica medida pode ser absorbância, refletância, luminescência ou dispersão. No essencial há três principais modos de monitorização na detecção de gases, que são:

- Absorbância – Neste caso, o deslocamento da intensidade da luz é determinado pela quantidade de espécies absorventes no trajeto óptico e está relacionado à relação Beer-Lambert:

$$A_I = \log \frac{I_0}{I} = m_a l C_0 \quad (3.8)$$

Onde:

A - é a absorbância;

I_0 e I - são o incidente e a intensidade de luz transmitida;

l - é o comprimento de onda [cm];

C_0 - é a concentração dos gases [M];

m_a - é a absorvidade molar do gás [$M^{-1}cm^{-1}$].

- Reflectância – As características óticas da reflectância difusa são uma função da comparação de um sistema otimamente excitado. De acordo com a teoria de Kubelka-

Munk a reflectância R_∞ , de um meio ótico semi-infinito está relacionado com o coeficiente de absorção α e com o coeficiente de dispersão S_c através da relação:

$$f(R_\infty) = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} = \frac{\alpha}{S_c} = m_a C_0 \quad (3.9)$$

Onde:

$f(R_\infty)$ - é conhecida com função Kubelka-Munk.

- Luminescência (Fluorescência) – Este tipo monitorização é muito útil para deteções de pequenas concentrações. A intensidade da fluorescência I_F é dado pela relação:

$$I_F = E_x I_0 \Phi_F m_a l C_0 \quad (3.10)$$

Onde:

E_x - é uma constante experimental relacionada com a instrumentação e configuração do sensor;

Φ_F - é o rendimento quântico da fluorescência [45].

f) - Sensor de Onda Acústica de Superfície

A base matemática do fenómeno das ondas acústicas superficiais (SAW) foi publicada pela primeira vez no século XIX por Lord Rayleigh (1885). Naquela época, SAW chamou a atenção da comunidade científica e, especialmente, dos geólogos, porque a energia acústica libertada pelos terremotos, move-se como uma onda acústica de superfície na crosta terrestre. Este tipo natural de ondas é conhecido hoje como ondas Rayleigh. As principais características das SAW são que o campo acústico e o deslocamento de partículas ocorrem principalmente na superfície do sólido. Quase um século se passou até que fosse encontrada a primeira aplicação do SAW na electrónica.

A principal razão para a escolha das ondas Rayleigh em detrimento de outros tipos de SAW (como as ondas Love e Stonely) é que elas são geradas muito rapidamente numa grande variedade de materiais piezoeléctricos utilizando um transdutor interdigital (IDT) [45].

Nos últimos anos, tem havido um grande interesse em usar dispositivos de onda acústica de superfície (SAW) para a detecção de quantidades físicas e químicas. As SAW no campo dos sensores dão origem a uma técnica de detecção de base interessante, uma vez que o mecanismo de interação entre a propagação acústica meio relacionado à densidade de massa, rigidez elástica e em materiais piezoeléctricos, também ao comportamento elétrico e dieléctrico. Além

disso, como a energia acústica é confinada a uma fina região de superfície próxima do substrato, as SAW são altamente sensíveis à perturbação superficial do meio de propagação [55].

Os sensores de onda acústica de superfície funcionam com base no princípio da transdução através da qual o sensor converte um sinal elétrico de entrada numa onda mecânica e reconverte de volta em sinal elétrico. Isto é tornado possível por intermédio do transdutor interdigital que utiliza o efeito piezoelétrico. Os IDTs são feitos de elétrodos de alumínio, ouro ou de platina. Uma SAW típica, portanto, consiste de um transdutor de entrada e saída com espaçamentos entre eles chamado de linha de atraso. O princípio da detecção de gás em SAW é efetuado pela aplicação de um material de detecção como um fino polímero em toda a linha de atraso que absorve seletivamente o gás ou gases de interesse como representado na Figura 3.8.

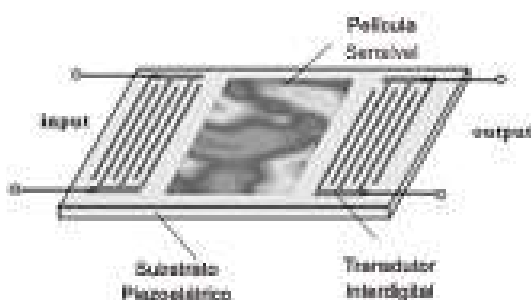


Figura 3.8 - Um dispositivo SAW p/descrever o princípio do sensor de gás (Fonte: [52]).

A tecnologia da onda acústica de superfície possui todas as propriedades de um sensor ideal e assim oferece uma solução única quando adotada. É a tecnologia que produz dispositivos pequenos, de baixo custo e baixo consumo de energia para aplicações de detecção de gás. Com o advento da tecnologia moderna, também há necessidade de monitorizar o sensor de gás de forma remota a partir de uma determinada tecnologia de localização, especialmente para fugas em tubagens que, se não monitorizados com cuidado podem causar explosão. A tecnologia de onda acústica de superfície oferece esta propriedade, que é a possibilidade de usar sensores sem fio, que poupam tempo e energia e igualmente reduzem tempo real de monitorização do sensor do gás. Esta capacidade de utilização sem fio podia ser conseguida, fazendo uso das frequências industriais, científicas e médicas que são livres na maioria dos países. Para que isso aconteça, o dispositivo SAW, a ser usado no do sensor de gás deve ter a frequência de 433,92 MHz, que é a frequência para a banda sem fio [52].

g) - Sensor Condutividade térmica

As medições da condutividade térmica para análises de gases têm sido utilizadas há já muitas décadas. Elas são usadas geralmente na detecção dos gases com condutividades térmicas elevadas, maiores do que a do ar como por exemplo, o hidrogénio e o metano ou quando os gases com condutividades próximas as do ar, não puderem ser detetados, como a amónia e o monóxido de carbono. Gases com condutividades térmicas inferiores a do ar são difíceis de detetar usando este método devido por exemplo a interferência do dióxido de carbono e do butano [52].

Os princípios de detecção da maioria dos sensores de gás atuais dependem das interações químicas entre o gás e um material específico em que as propriedades físicas são modificadas pelo gás. Uma grande desvantagem de tais sensores é a sua frequente falta de fiabilidade com o envelhecimento, devido à evolução do material sensível ao gás à influência das altas temperaturas de operação e/ou as humidades do ambiente. Sensores de gás que fazem uso apenas das propriedades físicas das espécies a detetar, permitem contornar esse problema, tanto mais que a temperatura de operação é baixa [56].

Os sensores de condutividade térmica trabalham com base no efeito Joule de um elemento eletricamente condutor e na temperatura de medição do elemento que é função da taxa de perda de calor. A Figura 3.9 mostra um diagrama esquemático do sensor e uma fotografia de uma matriz contendo um conjunto de 16 sensores de micro-pontes. Quando a dissipação de energia elétrica ocorre na ponte do sensor, a condutividade térmica do gás em torno do dispositivo define a taxa de perda de calor. Consequentemente a temperatura do estado estacionário da ponte do polisilício é função do gás do ambiente em redor do sensor. A ponte é feita do polisilício que tem um alto coeficiente de resistência a temperatura, isto permite determinar a temperatura média, medindo a variação na resistência do polisilício quando ocorre o aquecimento. A fim de eliminar o efeito de variações na temperatura ambiente, um sinal diferencial é gravado com base na diferença de temperatura entre a ponte aquecida e um resistor de polisilício em contato térmico com o substrato. Na Figura 3.9 temos em A) um diagrama esquemático dos mecanismos de perda e em B) uma fotografia de um conjunto de sensores numa matriz.

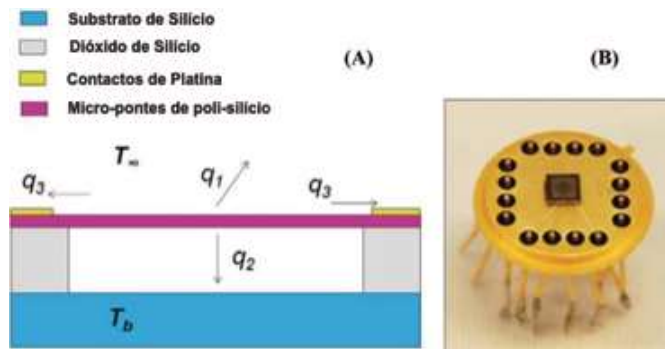


Figura 3.9 - Sensor de Condutividade térmica (Fonte: Adaptada de [57]).

A perda de calor por convecção, q_1 , do topo da ponte para o meio ambiente pode ser influenciada pela velocidade de fluxo de gás. Na ausência de um fluxo forçado de gás, a transferência de calor da parte superior poderia ser influenciada pela convecção natural. A perda de calor do fundo da ponte, q_2 , é uma função do tamanho do espaçamento e das propriedades térmicas da mistura de gás. Fazendo a medição em condições estáticas, pode-se determinar o efeito da condutibilidade térmica do gás. O calor também conduz ao longo da própria ponte, perda de calor, q_3 , que é minimizada devido à pequena área transversal do feixe. A temperatura a mais elevada é esperada ocorrer no centro da ponte, porque é o ponto o mais distante do substrato sólido muito bom condutor térmico. Como o polisilício possui um coeficiente de resistência que muda com a temperatura, a temperatura média da ponte pode ser correlacionada ao valor de resistência da ponte de polisilício [57].

Os sensores de gases por condutividade térmica detetam e medem entre 0 e 100% de volume dos gases que possuem condutividades térmicas significativamente diferentes de um gás de referência, geralmente ar. Como exemplos destes gases temos: hidrogénio, hélio e metano. Significa isto que alguns gases, como oxigénio, o azoto e monóxido de carbono, não podem ser medidos praticamente, pois suas condutividades térmicas estão muito próximas da do ar [58].

h) - Outras tecnologias de deteção de gases

Muitas outras tecnologias de deteção de gases combustíveis, tóxicos e asfixiantes, que não foram aqui abordadas, encontram-se disponíveis no mercado, entre as quais, Fotoionização, Colorimetria, Biossensores, Piroelétrica, Chemcassette (Papel de Registo), Nanofotónica, etc. Para além destas, aqui citadas, muitas outras encontram-se em fase de desenvolvimento com recurso aos polímeros e novos materiais bem como a nanotecnologia e aos semicondutores.

Entre as áreas típicas que exigem a deteção de gás encontram-se as indústrias de extração de petróleo e gás, refinarias e petroquímicas, centrais de produção de energias renováveis, a

produção de semicondutores, túneis e parques de estacionamento, espaços confinados, edifícios comerciais e instalações públicas, aplicações militares, minas, etc.

Um dos avanços mais importantes na tecnologia de sensores nos últimos anos tem sido o desenvolvimento focado de Smart-sensors. O princípio básico dos sensores inteligentes é que as complexidades do sensor devem ser ocultadas internamente e devem ser transparentes para o sistema hospedeiro. Sensores inteligentes são projetados para apresentar um aspeto simples para a estrutura de acolhimento através de uma interface digital, de tal forma que a complexidade é suportada pelo sensor e não pelo sistema de processamento de sinal central.

O requisito essencial para um sensor inteligente é que ele seja um sistema com processamento de sinal dedicado "on-chip". A realização deste conceito significa simplesmente que o hardware de processamento eletrónico (ou ótico) do sinal é dedicado a cada sensor e miniaturizados ao ponto de serem integrados e fazerem parte da caixa do sensor. A Figura 3.10 fornece uma representação esquemática de um sensor inteligente que emprega "on chip" processamento de sinal dentro de um pacote de sensor.

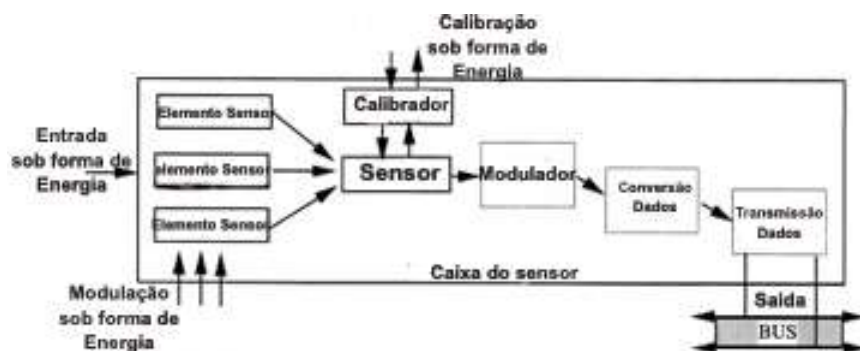


Figura 3.10 - Representação esquemática de um sensor inteligente (Fonte: Adaptada de [55]).

O principal catalisador para o crescimento da tecnologia dos smart-sensors tem sido o desenvolvimento de microeletrónica a custo reduzido. As vantagens potenciais do conceito do Smart-sensor incluem:

- Menos manutenção;
- Redução do tempo de paragem;
- Maior fiabilidade;
- Sistemas tolerantes a falhas;
- Adaptabilidade para auto calibração e compensação;
- Menor custo;
- Menor peso;

- Menos interconexões entre múltiplos sensores e sistemas de controle;
- Arquitetura de sistema menos complexa [59].

3.2.4 - Comparativo das tecnologias de sensores de detecção de gases

As propriedades de um sensor ideal são definidas por algumas variáveis que são; sensibilidade, seletividade, rapidez no tempo de resposta e rapidez no tempo de recuperação. Cada uma das tecnologias de sensores estão a trabalhar na obtenção de propriedades ideais para um sensor ideal, portanto, a tendência é fabricar os sensores o mais compactos possível. Face a isto, na atualidade, todos os sensores utilizam as técnicas de micromaquinação no seu fabrico. Ao adotar esta técnica, várias características irão ser melhoradas, como sejam, a redução do tamanho, baixo custo, baixo consumo de energia, todas elas vão permitir classificá-los como os sensores ideais.

Tabela 3.4 - Comparação de tecnologias de sensor de detecção de gás [52].

Tecnologia do Sensor	Vantagens	Desvantagens
Catalítico	Simples, mede a inflamabilidade dos gases Tecnologia de baixo custo	Requer ar ou oxigénio para trabalhar. Pode ser contaminado por chumbo, cloro e silicões
Térmico	Construção robusta, mas simples. Fácil de operar na ausência de oxigénio. A escala de medição é muito ampla.	Reação devido ao fio de aquecimento.
Eletroquímico	Mede gases tóxicos em concentrações relativamente baixas. Uma vasta gama de gases pode ser detetada	Os modos de falhas não são revelados a menos que a técnica de monitorização avançada seja usada.
Ótico	Fácil de operar na ausência de oxigénio. Não afetado pela interferência eletromagnética. A área de monitorização é muito ampla.	Afetado pela interferência da luz ambiente.
Infravermelho	Usa apenas a técnica física. Sem modos de falha invisível. Pode ser usado em atmosferas inertes.	Nem todos os gases têm absorção de IR. A monitorização sequencial é mais lenta em analisadores de vários pontos e também requer mais experiência do utilizador.
Semicondutor	Mecanicamente robusto, funciona bem em constante condição de alta humidade.	Suscetível a contaminantes e mudanças devido a condições ambientais. Complexidade de efeitos de resposta não linear.
Onda Acústica de Superfície	Deteta agente de nervos e bolhas. Bateria menor e poderia ser usado para aplicações sem fio. Pode ser colocado em peças duras e rotativas	Devido ao seu pequeno tamanho, há dificuldade em manusear durante o processo de fabricação

Todas as tecnologias para detecção de gás descritas nas alíneas anteriores, requerem um desempenho ideal. Isto é dependente de certas condições operacionais e ambientais, bem como do custo de produção para cada sensor que varia entre as várias classes de tecnologia. Uma comparação (vantagens e desvantagens) dos tipos de sensores de detecção de gás analisados anteriormente é apresentada na Tabela 3.4.

3.3 - Configuração dos Sistemas Automáticos de Detecção de Gases Combustíveis

Os sistemas automáticos de detecção de gás (SADG) podem emitir alarmes e desencadear comandos (fecho de válvulas de gás, acionamento de ventilação, etc.) quando detetam concentrações perigosas de um determinado gás.

O Regulamento Técnico do Sistema Contra Incêndios em Edifícios no seu artigo 185º refere que as características dos sistemas automáticos de detecção de gás combustível devem ser constituídos pelos seguintes elementos devidamente homologados e compatíveis entre si:

- Unidades de controlo e sinalização;
- Detetores de gases;
- Sinalizadores ótico-acústicos;
- Transmissores de dados;
- Cabos, canalizações e acessórios.

Estes sistemas automáticos de detecção de gás combustível de acordo com o artigo 184º devem ser aplicados nos seguintes locais:

- Todos os locais de risco C, onde funcionem aparelhos de queima desse tipo de gás ou sejam locais de armazenamento referidos no Quadro XXXV do artigo 106º do RT-SCIE (Anexo B.2);
- Ductos de edifícios com canalizações de gás, em UT da 2ª categoria de risco ou superior;
- Locais cobertos, em edifícios ou recintos, onde se preveja o estacionamento de veículos que utilizem gases combustíveis;
- Locais ao ar livre, quando os gases a que se refere no ponto anterior forem mais densos que o ar e existam barreiras físicas que impeçam a sua adequada ventilação natural [60].

Na Figura 3.11 está representado um possível esquema de configuração de um SADG.

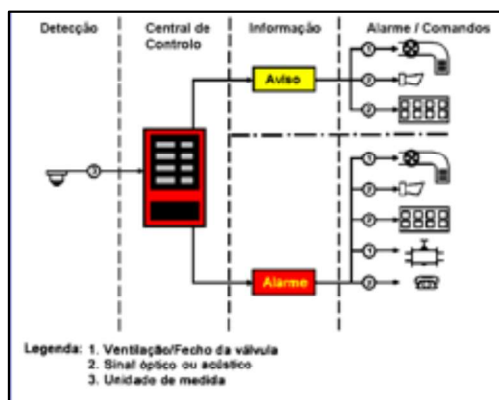


Figura 3.11 - Configuração de um SADG (Fonte: [61])

A deteção do gás combustível deve provocar o corte automático do mesmo, para além de haver recurso a um sistema de corte manual à saída das instalações, em zona de fácil acesso e sinalizada. Os sinalizadores a colocar no exterior e interior dos locais mencionados na alínea a) do artigo 184º(RT-SCIE), devem ter a inscrição “ATMOSFERA PERIGOSA” e o tipo de gás [61].

3.4 - Sistemas Automáticos de Deteção de CO

A ideia dos detetores de monóxido de carbono remete aos primeiros dias da mineração de carvão, quando os canários eram frequentemente levados para as minas como um sistema de alerta precoce para gases prejudiciais, como o monóxido de carbono e o metano. O pássaro morreria antes que o gás tivesse a chance de prejudicar os mineiros e os sinais de aflição do canário indicariam que os mineiros não estavam seguros. A partir daí, os primeiros projetos de detetores de monóxido de carbono foram muito simples - geralmente sendo um bloco químico branco que ficaria preto quando o CO fosse detetado. A primeira patente de um detetor de monóxido de carbono foi concedida a Chester S. Gordon e James T. Lowe em outubro de 1927 e, embora barata e amplamente disponível na época, eles apenas davam uma advertência visual ao envenenamento, portanto não eram os mais práticos [62].

O uso de detetores de monóxido de carbono (CO) de alerta precoce pode resultar numa redução significativa de vítimas por intoxicação de CO e mortes. Além disso, quando a deteção de monóxido de carbono é monitorizada e conectada ao sistema automático, fornece um nível extra de proteção aos residentes ou ocupantes dos edifícios que não possam responder de forma adequada a um alarme de deteção de CO local. Quanto mais cedo os ocupantes e as autoridades forem alertadas sobre níveis perigosos de CO num dado ambiente, melhor será o resultado para evitar lesões graves ou a morte. É por essa razão que um método seguro para detetar a

concentração de monóxido de carbono é tão vital. Existem várias tecnologias usadas nos detetores de monóxido de carbono, cada uma com certas vantagens e desvantagens.

Como em alguns casos, aquando da presença do CO também se verifica a existência de incêndios e fumos, convém também em muitos casos providenciar sistemas de segurança que garantam não só o salvamento de vidas, mas também a proteção de bens, meio ambiente e produtivo.

3.4.1 - Configuração dos Sistemas Automáticos de Detecção de CO

O sistema automático de detecção de monóxido de carbono é um caso específico dos detetores de gás que é utilizado para o controlo dos teores de poluição no ar.

Por definição, entende-se por sistema automático de detecção de monóxido de carbono, (CO) uma instalação técnica com a capacidade de medir e comparar automaticamente a concentração de Monóxido de Carbono, e quando essas concentrações atingirem valores acima dos valores pré-estabelecidos, sinalizar e executar todas as ações definidas como necessárias, para garantir o aviso e a proteção dos seres vivos [63].

Os Sistemas Automáticos de Detecção de Monóxido de Carbono são constituídos por uma Unidade de Controlo e Sinalização (UCS) à qual são ligados todos os periféricos do sistema, nomeadamente dispositivos de detecção, alarme e comando.

A UCS monitoriza permanentemente as informações provenientes dos detetores e desencadeia um conjunto de ações, sempre que se verifiquem concentrações de CO previamente definidas e de acordo com a legislação.

- Detetores de CO: São transdutores que detetam as moléculas de monóxido de carbono e que produzem um sinal elétrico com uma magnitude proporcional à concentração do gás;
- Unidade de Controlo e Sinalização (UCS): Recebe a informação proveniente dos detetores e supervisiona o estado dos mesmos. Trata a informação recebida e desencadeia as ações programadas;
- Dispositivos de Comando: São responsáveis pelo comando da extração de ar, de forma a reduzir a concentração de monóxido de carbono no espaço em questão e pela atuação dos sinalizadores ótico-acústicos (Opcional);
- Sinalizadores Ótico-Acústicos: Componentes não incorporados na UCS usados para transmitir um aviso de alarme correspondente à existência de concentrações de CO, no espaço a proteger, a partir de 200 ppm. Estes equipamentos devem ser instalados junto

às entradas do espaço a proteger, por cima das portas de acesso, e devem indicar a informação “Atmosfera Saturada – CO”;

- Fonte de Alimentação de Energia: A alimentação do sistema é garantida por duas fontes de energia independentes: rede de energia elétrica normal e alimentação de socorro. (Esta deve garantir no mínimo 60 min. em caso de falha de energia).

Na Figura 3.12 está representado um esquema de configuração de um sistema automático de detecção de monóxido de carbono [64].

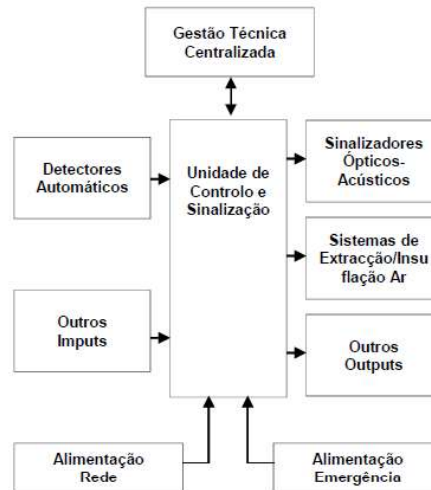


Figura 3.12 - Esquema de Sistema Automático de Detecção de Monóxido de Carbono (Fonte: [63]).

A UCS monitoriza permanentemente as informações provenientes dos detetores e deve desencadear um sistema ativo de ventilação com caudais de:

- 300 m³/h/veículo para o 1º nível (50 ppm) e 600 m³/h/veículo para o 2º nível (100 ppm) para os estacionamento de veículos ligeiros;
- 600 m³/h/veículo para o 1º nível (50 ppm) e 1200 m³/h/veículo para o 2º nível (100 ppm) para os estacionamento e locais de embarque/desembarque de passageiros de veículos rodoviários pesados, em espaço cobertos e fechados, assim como nas plataformas das gares ferroviárias subterrâneas onde circulem locomotivas diesel;

NOTA: Os valores indicados no item anterior podem ser reduzidos para os valores indicados no primeiro item, no caso de existir um sistema de coletores individuais para captação dos gases de escape de todos os veículos rodoviários [61];

- Acionamento dos sinalizadores ótico-acústicos para concentrações acima dos 200 ppm.

3.4.2 - Comparativo das principais tecnologias de detecção de CO

Existem inúmeras tecnologias de detecção do monóxido de carbono. No entanto, o custo, o tamanho e a simplicidade são atributos críticos do sensor, as três principais tecnologias de detecção que dominam os alarmes domésticos de CO, são:

- Semicondutor (SMO);
- Eletroquímico;
- Infravermelhos.

Os sensores de gás SMO são atualmente os sensores de menores dimensões de CO disponíveis. Estes sensores têm um pequeno elemento aquecido, causando a redução/oxidação de gases para reagir com a superfície de uma película de óxido de metal, mudando a condutividade do semicondutor proporcionalmente à concentração de gás. Sensores de gás eletroquímico têm eletrodos colocados em contato com um eletrólito líquido para formar um sensor eletroquímico. À medida que o gás se difunde, reage com o eletrodo de trabalho, alterando seu potencial elétrico proporcional à concentração de gás. E terceiro são sensores de infravermelho, onde o elemento de detecção óptica sofre mudanças de transmissão de luz quando exposto ao gás alvo. A Tabela 3.5 compara as tecnologias em sete critérios principais do dispositivo do sensor. Os alarmes domésticos do CO empregam predominantemente o semicondutor ou o sensor eletroquímico [44].

Tabela 3.5 - Comparação de três tecnologias de detecção de gás (CO) no que respeita aos critérios de monitorização do QAI doméstico e de veículos [44].

Crítérios	Infravermelhos	Eletroquímico	Semicondutor
Duração	> 6 anos	2 – 5 anos	> 6 anos
Sensibilidade	Muito bom	Muito bom	Muito bom
Seletividade	Excelente	Muito bom	Pobre
Tempo de resposta	Segundos	Segundos	Segundos
Tamanho	Médio	Médio	Pequeno
Facilidade de uso	Bom	Excelente	Excelente

4 – Legislação nacional e Normas internacionais sobre o CO

4.1 – Disposições Regulamentares Portuguesas

A regulamentação de segurança contra incêndios dos edifícios reveste-se da maior importância, não só no que concerne à proteção da vida humana, e do ambiente como também os variados interesses como sejam os bens patrimoniais, valores históricos ou com forte significado para a sociedade no geral.

Torna-se, pois, imperioso garantir o cumprimento, por parte de todos os agentes envolvidos (projetistas, instaladores, reguladores, etc.), na elaboração e aplicação dos regulamentos estabelecidos para as instalações de Segurança.

4.1.1 - Decreto-Lei nº220/2008

O Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de novembro, que aprovou o regime jurídico de segurança contra incêndio em edifícios (SCIE), determina, no seu artigo 15º, que sejam regulamentadas por portaria do membro do governo responsável pela proteção civil as disposições técnicas gerais e específicas de SCIE referentes às condições exteriores comuns, às condições de comportamento do fogo, isolamento e proteção, às condições de evacuação, às condições das instalações técnicas, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança e às condições de auto-proteção.

Estas disposições técnicas são graduadas em função do risco de incêndio dos edifícios e recintos repartidos por 12 utilizações-tipo (UT) sendo cada uma delas, por sua vez, estratificadas por quatro categorias de risco de incêndio [65].

Posteriormente alterado pelo Decreto-Lei nº 224/2015, de 9 de outubro, novamente alterado pelo Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, que estabelece o Regime Aplicável à Reabilitação de Edifícios ou Frações Autónomas, e pela terceira vez alterado pelo Decreto-Lei 123/2019 de 18 de julho, que estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios.

4.1.1.1 – Utilização-Tipo

A utilização-tipo é a classificação dada pelo uso dominante de qualquer edifício ou recinto, incluindo os estacionamentos, os diversos tipos de estabelecimentos que recebem público, os industriais, oficinas e armazéns, em conformidade com o disposto no art.º 8º do RJ-SCIE.

O uso dominante de uma Utilização-Tipo é aquele que de entre os diversos usos dos seus espaços, define a finalidade que permite atribuir a classificação de determinada utilização-tipo (UT-I a UT-XII).

Na Tabela 4.1 caracterizam-se os edifícios e recintos que correspondentes às utilizações tipo. E no Anexo A1, encontram-se detalhadas as caracterizações associadas a cada tipo de uso dominante.

Tabela 4.1 - Utilizações Tipo [65].

TIPO	UTILIZAÇÃO-TIPO (UT)
<i>I</i>	<i>Habitacional</i>
II	Estacionamentos
III	Administrativo
IV	Escolares
V	Hospitalar e Lares de Idosos
VI	Espetáculo e Reuniões Públicas
VII	Hoteleiros e Restauração
VIII	Comerciais e Gares de Transporte
IX	Desportivos e de Lazer
X	Museus e Galerias de Arte
XI	Bibliotecas e Arquivos
XII	Industriais, Oficinas e Armazéns

Atendendo ao seu uso, os edifícios e recintos podem ser de utilização exclusiva, quando integrem uma única utilização-tipo, ou de utilização mista, quando integrem diversas utilizações-tipo, e devem respeitar as condições técnicas gerais e específicas definidas para cada utilização-tipo – nº2 do art.º 8º do RJ-SCIE.

4.1.1.2 – Locais de Risco

Todos os locais dos edifícios e dos recintos, com exceção dos espaços interiores de cada fogo, das vias horizontais e verticais de evacuação e dos espaços ao ar livre são classificados de acordo com a natureza do risco. Para o efeito aplica-se o disposto no Artigo 10º do Decreto-Lei 220/2008. No Anexo A2 é possível consultar as características que permitem a definição dos sete locais de risco, sendo A o local que não apresenta riscos especiais e F o local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros neurálgicos de comunicação, comando e controlo [75].

4.1.2 - Portaria nº 1532/2008

A 1 de janeiro de 2009 entrou em vigor o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE) [Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro] o Título VI, Capítulo VIII – **Controlo de poluição de ar**, no seu **Artigo 180º**, relativamente ao CO, estabelece nos seus quatro pontos dos critérios gerais, o seguinte:

- 1) No primeiro ponto, a relação entre o teor de CO em ppm e o tempo de exposição, como se pode observar no Anexo B1.
- 2) No seu segundo ponto, as ações a tomar quando é atingida a concentração de **200 ppm**. Diz a Portaria, que as pessoas devem ser avisadas através de um alarme ótico e acústico que indique «Atmosfera Saturada-CO» junto às entradas do espaço em questão, por cima das portas de acesso como ilustra a Figura 4.1.



Figura 4.1 - Atmosfera Saturada CO (Fonte:[66]).

- 3) O terceiro ponto define nas suas três alíneas, as condições que os sistemas de controlo da poluição devem dispor. Na sua alínea a) as condições de montagem dos detetores de

CO. Estabelece que estes devem ser instalados a uma altura de **1,5 m** do pavimento e distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a **400 m²** por cada detetor;

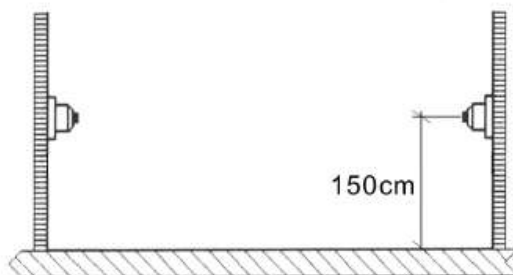


Figura 4.2 - Altura de posicionamento do detetor de CO (Fonte:[61]).

Na sua alínea b) a alimentação de energia do sistema de deteção de CO e alarme. Dita esta que deverá ser através de uma fonte local de energia, capaz de garantir o funcionamento do sistema por um período não inferior a 60 minutos em caso de falha de energia da rede.

E por último a alínea c) do ponto 3, define o tipo de instalação de ventilação, que poderá ser realizada por meios passivos ou ativos de acordo com as condições expressas no presente regulamento.

- 4) O quarto ponto do Artigo 180º, estabelece que nos locais onde se preveja a emissão de gases poluentes distintos do monóxido de carbono, cabe à entidade responsável pelo projeto ou pela exploração do local alertar para o facto e propor a fixação de limites de teor máximo admissíveis.

No **Artigo-181º** a Portaria define onde devem ser instalados os sistemas de controlo de poluição do ar:

- a) Nas UT II (Estacionamentos) nos espaços cobertos e fechados;
- b) Nas UT VIII (Comerciais e Gares de Transporte) nos espaços cobertos e fechados destinados ao estacionamento ou ao embarque/desembarque de passageiros de veículos rodoviários pesados ou em gares ferroviárias subterrâneas, utilizando-se locomotivas diesel.

A salientar neste Artigo, a total omissão às UT I (Habitacionais) onde se registam mais incidentes com a inalação de CO.

Ainda no Capítulo VIII – Controlo de Poluição de Ar, no seu Artigo 183º - Ventilação por meios ativos para controlo da poluição, é complementada pela alínea c) do ponto 3 do Artigo 180º e deve garantir que em espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II, os caudais

de extração mínimos sejam de **300 m³/hora** por veículo ou **600 m³/hora** por veículo, respetivamente para concentrações de monóxido de **50 ppm** e **100 ppm**, e em espaços afetos à utilização-tipo VIII o cumprimento das respetivas condições específicas de segurança.

Devem também as instalações de ventilação mecânica ser acionadas automaticamente por ativação da central de controlo de monóxido de carbono e manualmente por comando, bem protegido e sinalizado, situado no posto de segurança.

Em espaços afetos à utilização-tipo II e em gares para veículos pesados de transporte rodoviário de passageiros, o comando manual de ativação, deve estar também situado junto à entrada de veículos no plano de referência.

A ventilação das câmaras corta-fogo de acesso a espaços sujeitos a controlo de poluição pode ser garantida com base numa renovação de cinco volumes por hora.

O monóxido de carbono (CO), para além de ser um gás tóxico, também é um gás combustível. Para estes gases, o RT-SCIE, Portaria 1532/2008, no Título VI, Capítulo IX no seu **Artigo 184º**, estabelece a instalação de Sistemas de Detecção de Gás Combustível (SADG) nos seguintes locais:

- Todos os locais de risco C, onde funcionem aparelhos de queima desse tipo de gás ou sejam locais de armazenamento referidos na Anexo B2(Quadro XXXV);
- Todos os ductos, instalados em edifícios ou estabelecimentos da 2ª categoria de risco ou superior, que contenham canalizações de gás combustível;
- Todos os locais cobertos, em edifícios ou recintos, onde se preveja o estacionamento de veículos que utilizem gases combustíveis;
- Todos os locais ao ar livre, quando os gases a que se refere a alínea anterior forem mais densos do que o ar e existam barreiras físicas que impeçam a sua adequada ventilação natural.

E no **Artigo 185º** define as características dos sistemas automáticos de deteção de gás combustível.

- Um sistema automático de deteção de gás combustível deve ser constituído por unidades de controlo e sinalização, detetores, sinalizadores ótico-acústicos, transmissores de dados, cabos, canalizações e acessórios compatíveis entre si e devidamente homologados.
- A instalação destes sistemas deve ser efetuada de forma que a deteção do gás provoque o corte automático do fornecimento do mesmo;

- O corte automático referido no item anterior deve ser completado por um sistema de corte manual à saída das instalações, numa zona de fácil acesso e bem sinalizada.
- Os sinalizadores, a colocar no exterior e interior dos locais mencionados na alínea a) do artigo anterior (Anexo B2), devem conter no difusor, bem visível, a inscrição «Atmosfera Perigosa» e indicação do tipo de gás.



Figura 4.3 - Atmosfera perigosa (Fonte: [67]).

Ainda relativamente à queima de combustíveis, no Capítulo III - Instalações de aquecimento, Seção II – Aparelhagem de aquecimento, no seu **Artigo 87º** - Aparelhos de queima de combustíveis sólidos é definido o seguinte:

- 1 - Os aparelhos de combustão que utilizam combustíveis sólidos, nomeadamente lareiras, braseiras para aquecimento, fogões de salas e salamandras, apenas são permitidos em habitações, exceto nos quartos, em locais de risco A, ou em locais de risco B com efetivo não superior a 200 pessoas.
- 2 - Não devem existir quaisquer elementos combustíveis de construção, de decoração ou peças de mobiliário a uma distância inferior a 1 m da envolvente exterior dos aparelhos referidos no nº anterior, exceto se forem protegidos com materiais isolantes térmicos da classe A1, caso em que aquela distância pode ser reduzida para 0,5 m.

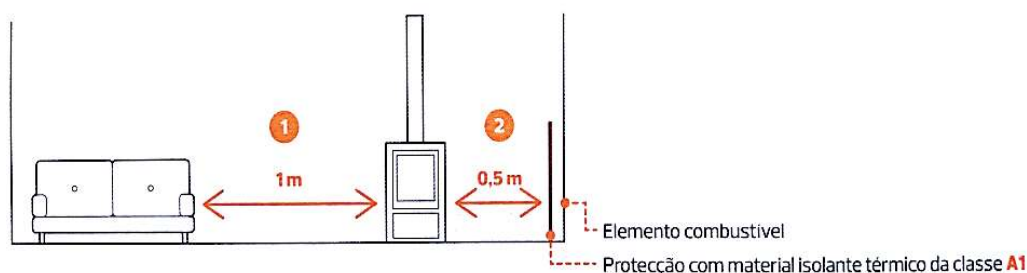


Figura 4.4 - Alínea 2 do Artigo 87º do RT (Fonte: [68]).

- 3 - Sem prejuízo do disposto no número anterior, nos casos em que os aparelhos referidos no nº1 do presente artigo sejam de fogo aberto, devem em eles ser interpostos meios que evitem a projeção de partículas inflamáveis para o ambiente do compartimento.

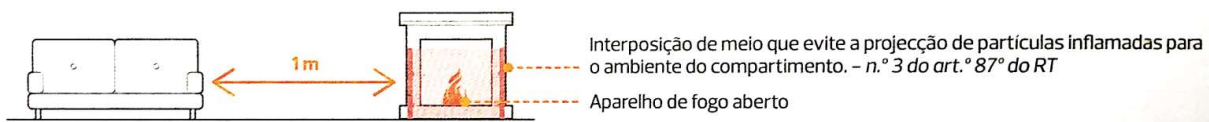


Figura 4.5 - Alínea 3 do Artigo 87º do RT (Fonte:[68]).

4 - Todos os espaços onde possam ser utilizados aparelhos de fogo aberto devem ser bem ventilados, de modo a proporcionar um número adequado de renovações por hora.

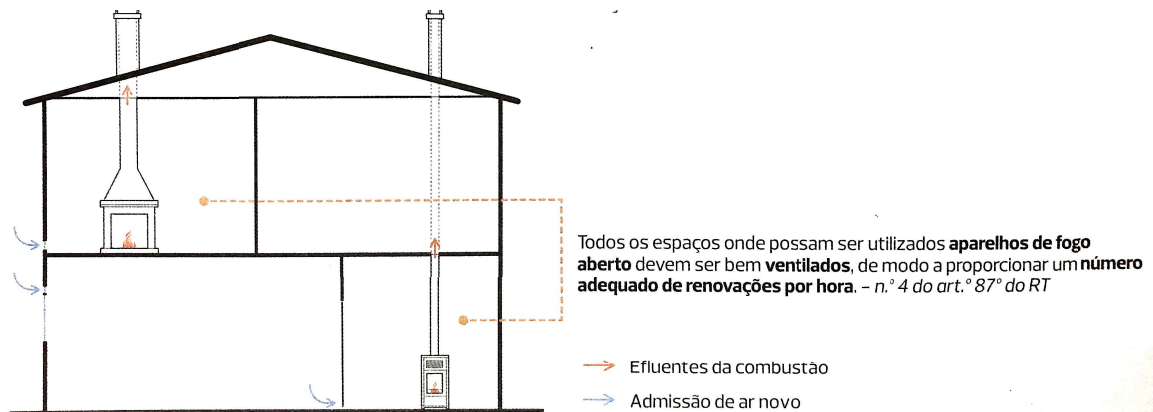


Figura 4.6 - Alínea 4 do Artigo 87º do RT (Fonte: [68]).

5 - Em todos os espaços onde possam ser utilizados os aparelhos referidos no n.º 1 devem ser adotadas medidas específicas de autoproteção, nomeadamente de prevenção e de vigilância, nos termos deste regulamento [69].

4.1.2 – ANPC-NT N.º19 – Sistemas Automáticos de Detecção de Gás

Tem por objetivo esta Nota Técnica complementar a caracterização, a configuração, o projeto e a instalação dos sistemas automáticos de deteção de gás (SADG) com especial incidência nos combustíveis, incluindo o monóxido de carbono (CO), ajudando os projetistas e instaladores no cumprimento do RT-SCIE, nomeadamente nos seus Artigos 184º e 185º, assim como nos Artigos 180º a 183º [61].

4.1.3 – APSEI-Ficha Técnica Nº44 -Sistema Automático de Detecção de Monóxido Carbono

Um pouco à semelhança da nota técnica nº19 da ANPC, esta ficha técnica também pretende fornecer toda a informação relativa aos sistemas automáticos de deteção gás, sendo que neste caso apenas se deteta o monóxido de carbono. Esta ficha visa garantir as condições que garantam a proteção das pessoas, através da deteção precoce, no espaço a proteger, de uma determinada concentração de monóxido de carbono [64].

4.2 – Regulamentação Europeia – EN 50292

Esta norma europeia serve de guia na seleção, instalação, utilização e manutenção de aparelhos para a deteção de monóxido de carbono, destinados ao funcionamento contínuo numa instalação fixa em instalações domésticas, caravanas e barcos. Esta norma destina-se a cobrir todo o tipo de alojamento doméstico ou residencial, incluindo veículos de alojamento de lazer, tais como caravanas de turismo, estáticas e autocaravanas, e embarcações de recreio como barcaças de canal. Os detetores de monóxido de carbono nunca devem ser usados como alternativa a um alarme de fumos.

Esta norma europeia refere-se à instalação de dois tipos de aparelhos. Aparelhos do tipo A, para fornecer um alarme ótico e acústico e uma ação executiva na forma de um sinal de saída que pode ser usado para atuar direta ou indiretamente a ventilação ou outro dispositivo auxiliar e aparelhos do tipo B, para fornecer apenas um alarme ótico e acústico.

Ao contrário da Portaria 1532/2008 de 29 de dezembro, esta Norma Europeia, exclui aparelhos para a deteção de gases combustíveis (ver EN 50244) e não se aplica a instalações industriais ou instalações comerciais.

No seu ponto 3.6, define «Aparelho» como sendo um dispositivo de deteção de monóxido de carbono, compreendendo o sensor, o sensor remoto, se aplicável, indicadores de alarme e quaisquer outros componentes do circuito, fonte de alimentação e, para o aparelho do tipo A um meio de fornecer um sinal de saída, à semelhança do Artigo 185º da Portaria 1532/2008.

Acrescenta esta norma os «Níveis de exposição normal» nas instalações domésticas, fazendo realce que o monóxido de carbono pode ser gerado dentro de casa ou entrar pelo lado de fora. Os níveis médios normais de monóxido de carbono nas instalações domésticas, medidos em períodos de 1 h a 24 h, são inferiores a **10 ppm**. Nos casos de alterações climáticas, níveis mais

altos de monóxido de carbono são possíveis. Os efeitos na saúde para diferentes níveis de COHb no sangue em adultos saudáveis podem vistos no Anexo C1.

A localização dos detetores no item 5.2 é dada de acordo com o projeto e o layout de instalações domésticas, caravanas e barcos, o número, tipo e posição das fontes de monóxido de carbono variam amplamente. A orientação geral é dada sobre onde colocar e onde não colocar o detetor, a fim de minimizar o risco de indicações enganosas.

Quanto a localização/colocação dos detetores, idealmente, um aparelho deve ser instalado em todos as assoalhadas que contenham um aparelho de queima de combustível e um aparelho adicional deve ser instalado para garantir que seja dado um aviso adequado aos ocupantes noutras assoalhadas. Deve o aparelho adicional ser localizado em salas remotas em que o(s) ocupante(s) passam um tempo considerável enquanto estão acordados e do qual possam não ouvir um alarme do aparelho noutra parte do local, e também em todos os quartos de dormir.

Se houver um aparelho de queima de combustível em mais do que uma assoalhada e se o número de aparelhos for limitado, as seguintes regras devem ser consideradas ao decidir onde melhor posicionar o aparelho:

- a) em locais com aparelhos de combustão sem condutas ou com condutas abertas;
- b) em locais em que as pessoas permaneçam mais tempo.

Deve ser possível visualizar todos os indicadores luminosos quando estiver nas proximidades do local escolhido para o aparelho. Não é possível fornecer orientação específica sobre a localização exata de um detetor que sirva a todos os tipos de quartos e a sua utilização. A orientação deve ser levada em consideração ao determinar um local ideal para qualquer situação apropriada.

Os aparelhos **não** devem ser instalados nos seguintes locais:

- Num espaço fechado (por exemplo num armário ou atrás de uma cortina);
- Onde possa ser obstruído (por exemplo, por móveis);
- Diretamente acima de um lava-louça ou fogão;
- Ao lado de uma porta ou janela;
- Ao lado de um exaustor;
- Ao lado de um orifício de ventilação ou abertura de ventilação semelhante;
- Numa área onde a temperatura possa descer abaixo de -10°C ou exceder 40°C , a menos que seja projetado para fazê-lo;

- Onde a sujidade e a poeira possam bloquear o sensor;
- Num local húmido ou molhado;
- Nas imediações de um aparelho de cozinha.

Para o caso dos detetores localizados na mesma sala que um aparelho de queima de combustível, embora o monóxido de carbono tenha uma densidade semelhante à do ar ambiente, ele normalmente será emitido como parte de uma mistura de gás quente e, portanto, tenderá a aumentar até arrefecer. Se o aparelho estiver localizado numa parede, ele deve estar localizado perto do teto ou a uma altura maior que qualquer porta ou janela.

Quando um aparelho é montado no teto, ele deve estar a pelo menos 300 mm de qualquer parede, e quando um aparelho é montado na parede, ele deve estar a pelo menos 150 mm do teto como ilustra a Figura 4.7.

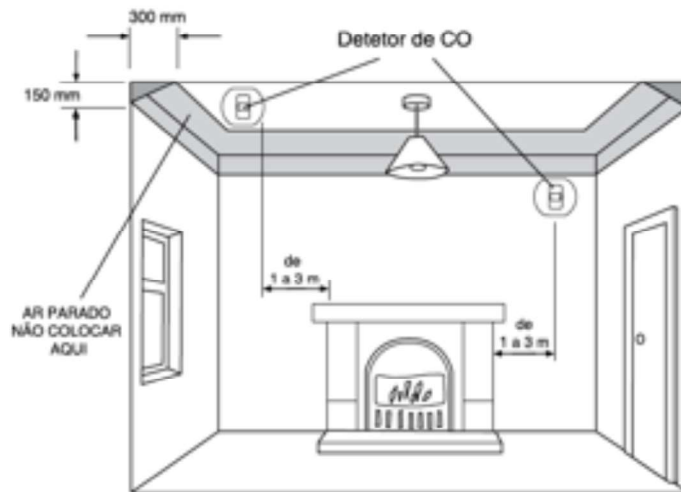


Figura 4.7 - Posicionamento dos detetores de CO segundo a EN 50292 (Fonte: [70]).

Aparelho localizado em quartos de dormir e em quartos afastados de um aparelho de queima de combustível, devem estar localizados relativamente perto da zona de respiração dos ocupantes como mostra a Figura 4.8 [71].

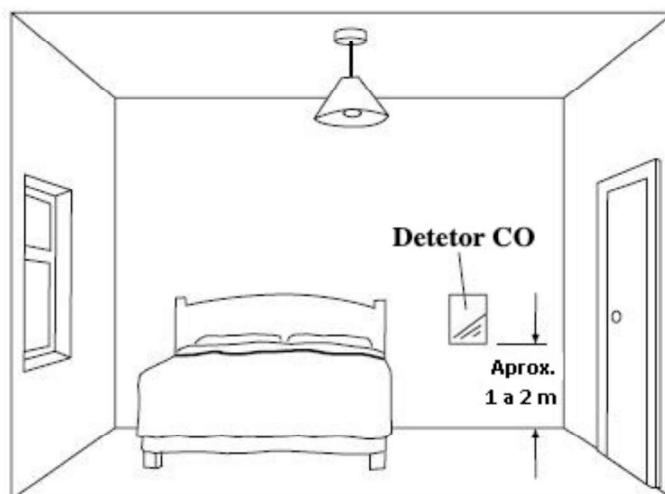


Figura 4.8 - Aparelho localizado em quartos de dormir afastados do aparelho de queima (Fonte: [70]).

4.3 – Regulamentação Norte-Americana – NFPA 720

Esta norma começou a ser desenvolvida em 1993 por um comité de peritos e de então até a versão de 2015, sofreu diversas alterações.

Em virtude da crescente preocupação com os perigos do monóxido de carbono em ambientes residenciais, as autoridades responsáveis solicitaram à NFPA que desenvolvesse um documento que detalhasse a instalação dos detetores de monóxido de carbono e equipamentos auxiliares.

A edição de 2003 refletia algumas revisões editoriais de forma a estar de acordo com os Documentos do Comité Técnico da NFPA (“Manual of Style for NFPA Technical Committee Documents”). Essas revisões incluíram a incorporação de 3 capítulos administrativos. Essa mesma edição incluiu também algumas revisões técnicas, onde se destaca a recomendação para as distâncias mínimas a respeitar para os dispositivos de queima de combustível. A edição de 2009 foi uma completa reescritura da norma com o foco na instalação dos sistemas de deteção de monóxido de carbono em ambientes comerciais, bem como das instalações domésticas. Esta revisão foi amplamente extraída da edição de 2007 da norma NFPA 72.

Como sucedido com as anteriores revisões, a edição de 2015 da NFPA 720, também incorporou muitos conteúdos da NFPA 72. Estas alterações incluíram a revisão dos requisitos de qualificação do pessoal no capítulo 4 para que sejam mais específicos aos sistemas de CO, a revisão dos requisitos para o sinal de alarme sonoro do CO nos capítulos 5 e 9 de maneira a permitir mais do que um timbre, a revisão das tabelas de inspeção e teste no capítulo 8, a revisão dos requisitos do capítulo 9, no que concerne a capacidade de reserva da fonte de alimentação

secundária, a passar de 8 para 24 horas, a revisão dos requisitos do capítulo 9 para os distintos sinais de alarme de forma a deixar claro que os sinais do CO, incêndio e outros sinais de alarme devem usar um sinal sonoro diferente.

Realce para o facto desta norma, preocupar-se principalmente com a segurança da vida, e não com a proteção da propriedade.

Esta norma contém requisitos para a seleção, projeto, aplicação, instalação, localização, operação, desempenho, teste e manutenção de equipamentos que detetam concentrações de monóxido de carbono que possam representar um risco de segurança à vida para a maioria dos ocupantes de edifícios e estruturas.

O objetivo desta especificação é o de providenciar os requisitos necessários aos detetores de monóxido de carbono e equipamentos de aviso de forma a informar os ocupantes da presença do monóxido de carbono, com antecipação suficiente que permita aos ocupantes escaparem ou tomarem outras ações como sejam o pedido de ajuda.

O equipamento de deteção e aviso de CO não deve ser utilizado no lugar do equipamento de deteção de incêndio.

No capítulo 5 da NFPA 720 estão definidos os requisitos de instalação dos detetores de monóxido de carbono em instalações protegidas. Estabelece a norma que os detetores de CO devem ser instalados como especificado pelas instruções publicadas pelos fabricantes de acordo com as três condições seguintes:

- No teto, na mesma sala que os aparelhos de queima de combustível permanentemente instalados;
- Centralmente localizado em todos os andares habitáveis e em todas as zonas de AVAC do edifício;
- De acordo com o projeto baseado no desempenho e submetido às autoridades competentes.

Para além de obedecer às instruções do fabricante, todos os detetores de CO devem ser localizados e montados de modo que trepidações ou vibrações não causem uma operação acidental. A localização dos detetores de CO deve basear-se numa avaliação das fontes ambientais, fluxos de CO, humidade, temperatura, poeiras e de influências elétricas ou mecânicas para minimizar os alarmes incómodos.

A seleção e a colocação dos detetores de CO devem levar em consideração as características de desempenho do detetor e as áreas nas quais os detetores serão instalados, a fim de evitar incômodos e alarmes não intencionais ou uma operação inadequada após a instalação.

A menos que sejam especificamente projetados e listados para as condições esperadas, os detetores de CO, não devem ser instalados onde existir qualquer uma das seguintes condições ambientais:

- Temperaturas abaixo de 0 °C
- Temperatura acima dos 38 °C
- Humidade relativa fora do intervalo [10 - 95] %

O capítulo 6 da NFPA 720 define as características dos aparelhos de notificação para sistemas de detecção de monóxido de carbono.

Os sinalizadores montados na parede devem ser montados de modo que todo o dispositivo, não fique a menos 2,03 m e não mais de 2,44 m acima do pavimento ou na altura de montagem especificada, usando a alternativa baseada no desempenho. (Ver Anexo D1).

Nos casos em que as alturas baixas do teto não permitam a montagem na parede a um mínimo de 2,03 m, os sinalizadores óticos devem ser montados a 150 mm do teto. O tamanho da sala coberto por estroboscópio de um determinado valor deve ser reduzido pelo dobro da diferença entre a altura mínima de montagem 2,03 m e a altura de montagem inferior real. Sinalizadores óticos para montagem paralela ao chão, deverão ter permissão para estarem localizados no teto ou suspensos abaixo de teto.

Os espaçamento em salas, deverão estar de acordo simultaneamente com o Anexo D2 [Tabela 6.5.5.4.1(a) na norma] e a Figura 4.9 [Figura 6.5.5.4.1 na norma] ou o Anexo D3 [Tabela 6.5.5.4.1(b) na norma]. Os equipamentos de sinalização ótica devem ser instalados de acordo com o Anexo D2, ou com o Anexo D3, utilizando um dos seguintes meios:

- Um único sinalizador ótico;
- Dois grupos de sinalizadores óticos, nos quais os dispositivos visuais de cada grupo são sincronizados, na mesma sala ou no espaço adjacente dentro do campo de visão. Isso deve incluir a sincronização dos estroboscópios operados por sistema separado. Mais de dois alarmes óticos ou grupos de dispositivos sincronizados na mesma sala.

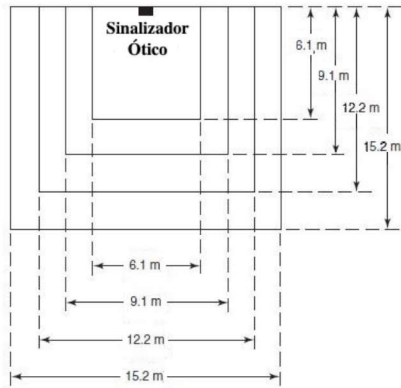


Figura 4.9 - Espaçamento em sala - sinalizadores óticos montados na parede (Fonte: Adaptação de [41]).

Em salas quadradas com aparelhos não centrados ou em salas não quadradas, a intensidade efetiva (cd) de um sinalizador ótico na parede deve ser determinada pelas dimensões máximas obtidas por medição da distância até a parede mais distante ou pela duplicação da distância até a parede adjacente mais distante, o que for maior, conforme exigido pelo Anexo D2 e pela Figura 4.9 [Figura 6.5.5.4.1. na norma]. Se a configuração de uma sala não for quadrada, será utilizado o tamanho da sala quadrada que permite que toda a sala seja englobada ou que a sala seja subdividida em múltiplos quadrados.

Os sinalizadores óticos devem estar suspensos a uma altura igual ou inferior a 9,14 m ou à altura de montagem determinada utilizando a alternativa baseada no desempenho de acordo com Anexo D1, ou devem ser instalados sinalizadores óticos montados de acordo com o Anexo D2. O Anexo D3 deverá ser usado se o sinalizador ótico montado no teto estiver instalado no centro da sala. Se o sinalizador ótico montado no teto não estiver localizado no centro da divisão, a intensidade efetiva (cd) será determinada duplicando a distância do aparelho até à parede mais distante para obter o tamanho máximo da divisão. Na Figura 4.10 estão exemplos da forma correta e incorreta da distribuição dos sinalizadores óticos.

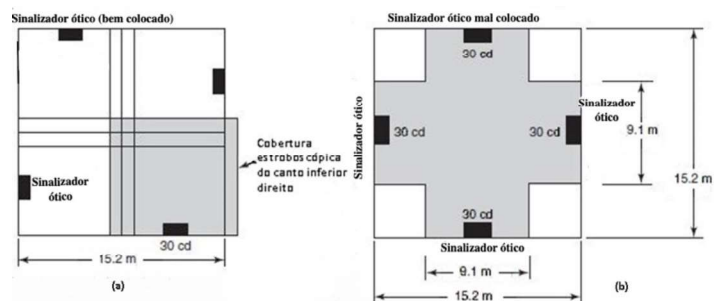


Figura 4.10 - Distribuição do espaço por sinalizador em sala - (a) correta; (b) incorreta (Fonte: Adaptação de [41]).

No que diz respeito ao espaçamento em corredores, a instalação de sinalizadores óticos em corredores de largura igual ou inferior a 6,1 m devem estar de acordo com os requisitos do Anexo D2, D3 da Figura 4.9 ou do Anexo D4.

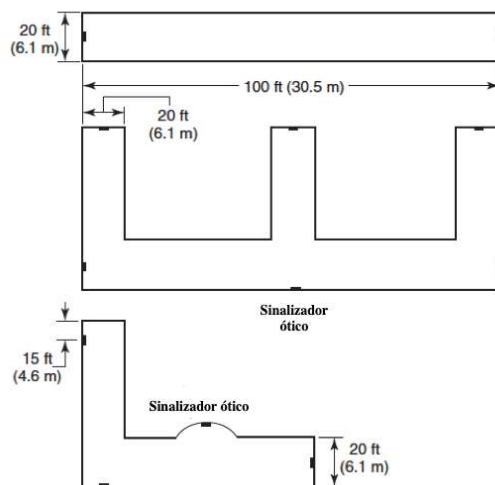


Figura 4.11 - Distribuição dos sinalizadores óticos nos corredores (Fonte: Adaptação de [41]).

Na aplicação em corredores, os sinalizadores óticos devem ter uma classificação não inferior a 15 cd. Nos corredores onde estejam mais de dois sinalizadores óticos, em qualquer campo de visão eles devem piscar em sincronia. Os sinalizadores óticos devem situar-se a uma distância máxima de 4,57 m do fim do corredor, com uma separação não superior a 30,5 m entre sinalizadores como mostra a Figura 4.11. Corredores com largura superior a 6,1 m devem atender aos requisitos de espaçamento para salas.

Relativamente aos dormitórios a combinação de detetores de monóxido de carbono com os sinalizadores ou a combinação dos alarmes de monóxido de carbono e os sinalizadores devem ser instalados de acordo com os requisitos aplicáveis do capítulo 5, do capítulo 6 e do capítulo 9 (Alarmes de estação única e múltipla e sistemas domésticos de deteção de monóxido de carbono). A Tabela 4.2 [Tabela 6.5.5.7.2 na norma] deverá ser aplicada aos dormitórios.

Tabela 4.2 - Requisitos de Intensidade Efetiva para Sinalizadores Óticos em Dormitórios [41]

Distância do teto até o topo do sinalizador (mm)	Intensidade (cd)
≥ 610	110
< 610	177

Para dormitórios com uma dimensão linear maior que 4,87 m, o dispositivo de notificação visível deve estar localizado a 4,87 m da almofada.

O Anexo D5 (Tabela B.1 da norma) Sintomas da exposição ao monóxido de carbono com base na concentração, não faz parte dos requisitos deste documento da NFPA mas está incluído apenas para fins informativos.

Monóxido de Carbono - O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e insípido produzido pela combustão incompleta. Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos podem cada um, sob certas condições, produzir concentrações letais em casa.

Os perigos da exposição ao monóxido de carbono dependem de uma série de variáveis, como a saúde do ocupante, o nível de atividade, o tempo de exposição e o nível inicial de carboxiemoglobina (COHb). Devido a essas variáveis, o Anexo D5 e o Anexo D6 [Figura B.1 na norma] devem ser usadas como diretrizes gerais e podem não parecer quantitativamente consistentes [41].

4.4 – Análise comentada das diversas normativas (Portugal, Europa e EUA)

A regulamentação portuguesa refletida no artigo 180º, prevê que os detetores de monóxido de carbono sejam colocados a uma altura de 1,5 m do pavimento. Como mencionado no propósito deste trabalho, este e outros critérios previstos na regulamentação portuguesa têm como principal objetivo o controlo de poluição do ar, sendo vocacionados para a utilização nos espaços cobertos fechados afetos às utilizações-tipo II e tipo VIII.

Importa aqui referir que a presença do CO nestes espaços, não têm como fonte combustões incompletas não controladas diretamente, mas sim dos gases de escape das viaturas em movimento no seu interior, aos quais criam regimes turbulentos na mistura do CO com o ar.

As mortes e lesões causadas pela intoxicação do CO, têm vindo a diminuir constantemente nas últimas décadas. O declínio regular, tem sido atribuído ao melhor controlo das emissões dos veículos a motor, bem como a melhorias gerais nos dispositivos de combustão. Todavia, atendendo às estatísticas existentes em diferentes latitudes, relativas às intoxicações por monóxido de carbono, damos conta que os incidentes que provocam vítimas mortais e outros com lesões permanentes, ocorrem em ambientes residenciais, ou seja, em utilizações-tipo I, em que a exigência de medidas de proteção, monitorização e vigilância do monóxido de carbono resultante destas combustões é bastante vaga e pouco explícita.

No artigo 180º, Controlo de poluição de ar no seu ponto 1, é referido que o teor de monóxido de carbono (CO) existente no ar não deve exceder 50 ppm em valores médios durante 8 horas, no entanto para a NIOSH e a EPA o limite é 35 ppm.

Relativamente ao posicionamento dos detetores de monóxido de carbono, a única obrigatoriedade é que esteja a 1,5 m do pavimento e que cada detetor cubra uma área não inferior a 400m². Não está definido o local ou locais em que devem ou não ser instalados.

Em termos comparativos, e quanto aos propósitos de cada legislação, verifica-se que a norma europeia EN 50292 à semelhança da NFPA, é um guia de seleção, instalação, uso e manutenção de dispositivos de deteção e alarme do monóxido de carbono, em instalações domésticas, caravanas e embarcações, no entanto a norte americana NFPA 720 é mais completa. Para além daqueles requisitos, inclui ainda o design, aplicação, localização, desempenho, inspeção e teste dos dispositivos de deteção e aviso a aplicar em edifícios e estruturas, enquanto que o Regulamento Técnico de SCIE aplica-se a todos os edifícios e recintos em termos globais de combate contra incêndios e não especificamente para os detetores de monóxido de carbono.

A norma europeia, comparativamente à legislação portuguesa no que concerne ao posicionamento dos detetores de monóxido de carbono é muito mais completa e detalhada do que a regulamentação portuguesa refletida no artigo 180º. No entanto fica um pouco aquém da norma norte americana NFPA 720 apesar de poder ser complementada pela norma EN 50291:2001 que foi subdividida em duas partes em 2010.

Sendo a primeira parte vocacionada para os métodos de teste e desempenho dos dispositivos de deteção do monóxido de carbono em instalações domésticas e a segunda parte mais dirigida aos veículos de recreação, instalações similares e barcos de recreio.

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não irritante que é classificado como um asfixiante químico, cuja ação tóxica é um resultado direto da hipoxia produzida por uma dada exposição. A norma EN 50292 identifica um conjunto de fontes geradoras do CO, em instalações domésticas e aqui se incluem também o fumo proveniente do tabaco ou os gases de escape dos motores de combustão interna.

A norma europeia EN 50292 no seu ponto 5 estabelece em que locais devem ser instalados os detetores de monóxido de carbono. Idealmente, um detetor deve ser instalado em todas as divisões que contenham um aparelho de queima de combustível e um aparelho adicional deverá ser instalado para garantir que seja dado um aviso adequado aos ocupantes de outras divisões.

Em suma, esta norma tal como indicado no próprio título, aplica-se a instalações domésticas, caravanas e embarcações de recreio ao contrário da NFPA 720 que é aplicável de modo geral em todos os edifícios e estruturas. Neste aspeto, para uma utilização doméstica, esta norma é muita mais simples de ser seguida, ao contrário da NFPA 720, que por ser mais detalhada e técnica requer do utilizador, conhecimentos de um técnico especialista licenciado ou certificado.

Na sua globalidade a norma da associação norte-americana de proteção contra incêndios, aborda um conjunto muito mais alargado de matérias relacionadas com os equipamentos de deteção e aviso da presença do monóxido de carbono que a congénere europeia EN 50292 e a portaria portuguesa 1532/2008 no seu artigo 180º.

Para além da instalação detalhada dos detetores de monóxido de carbono, esta norma tem no seu conteúdo e nos seus diversos capítulos, informação relativa ao design, seleção, aplicação, localização, desempenho, inspeção, teste, manutenção, bem como informação detalhada dos dispositivos visíveis de notificação dos sistemas de deteção.

No entanto, e porque a matéria em estudo neste trabalho, diz apenas respeito ao posicionamento dos detetores de monóxido de carbono, como tal, devo cingir a análise a informação disponível nas referidas normas.

Esta norma começou por apenas ser aplicável a unidades habitacionais, principalmente residências unifamiliares e germinadas, estendendo depois para outras ocupações em virtude das solicitações externas recebidas. Para as ocupações habitacionais, baseando-se nos dados existentes da distribuição mais ou menos uniforme do CO, tendo em conta o seu peso molecular ser muito similar ao ar e as origens típicas serem de fontes de baixo impulso, entendeu o Comité Técnico da NFPA 720 permitir o posicionamento dos detetores de acordo com instruções dos fabricantes (Item-5.8.5.3.1), essencialmente no teto e na parede a uma altura mínima de 2.03 m ou quando não possível a 0.15 m do teto., mas na mesma divisão onde esteja instalado em permanência o dispositivo de queima de combustível. A outra condição, é que seja colocado centralmente fora de cada área de dormir em todos os pisos habitáveis, e em todas as zonas climatizadas do edifício.

Nas aplicações do Tipo-I, habitacional, a norma europeia EN 50292, é mais benéfica e específica no que toca à informação sobre o posicionamento dos detetores de CO, do que a NFPA 720 que remete esses detalhes para os fabricantes, obviamente por eles certificados.

Para outras construções, como edifícios e infraestruturas de utilização-tipo II, estacionamentos, bem como utilizações-tipo VIII, comerciais e gares de transporte, a comparação já não pode ser efetuada com a EN 50292, em virtude destas construções estarem fora do âmbito desta norma, que apenas se ocupa das instalações domésticas, caravanas e embarcações de recreio.

Neste caso específico a comparação poderá ser feita com a portaria 1532/2008 no seu artigo 180º, mais voltada para as utilizações-tipo II, estacionamentos, onde a colocação dos detetores de CO se deve fazer a 1.5 m do pavimento e distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a 400 m² por cada detetor. A NFPA 720, mantém os critérios para as utilizações-tipo não habitacionais, das habitacionais já descritas.

Outra matéria onde existem diferenças nas regulamentações é a que diz respeito aos efeitos tóxicos provocados pela inalação de CO. A Portaria nº1532/2008 no seu artigo 180.º e no nº1 estabelece duas classes de concentração (em ppm) a que as pessoas podem estar sujeitas em função do tempo de exposição, sendo que, para o valor mais elevado (200 ppm) a exposição deverá ser instantânea e acompanhada de um alerta para evacuação do local. No caso da norma EN 50292, esta admite como níveis médios normais de monóxido de carbono em instalações domésticas, medidos por períodos de 1 a 24 h, valores inferiores a 10 ppm, no entanto remete para o anexo A da norma e a título informativo os efeitos para a saúde que advêm da inalação de CO. Da informação que consta no anexo fazem parte uma tabela que mostra os efeitos de diferentes níveis de COHb no sangue saturado de adultos saudáveis, bem como um gráfico que relaciona o tempo de exposição com a concentração de CO para diferentes níveis de COHb.

Complementa esta norma no seu anexo B, com um gráfico que define as regiões de ativação de alarme de CO com base nos requisitos da EN 50291-1 [71].

A NFPA 720 também expõe os perigos do monóxido de carbono no seu anexo B, ressaltando que este anexo não faz parte dos requisitos deste documento da NFPA mas que está incluído apenas para fins informativos. À semelhança da EN 50292, também faz parte uma tabela com os efeitos na saúde para diferentes concentrações de CO e não dos níveis de COHb, assim como o gráfico que relaciona o tempo de exposição com a concentração de CO para diferentes níveis de COHb.

5 – Propostas de alteração da legislação sobre os detetores de CO

5.1 – Consultas à comunidade técnica

Neste capítulo começa-se por abordar e analisar a informação rececionada no âmbito das consultas à comunidade técnica, efetuadas através do envio de um questionário no quadro do presente trabalho. As entidades contactadas representam o universo de utilizadores da regulamentação de segurança contra incêndios.

Somente com recurso à auscultação das entidades envolvidas diretamente no projeto, construção e instalação dos sistemas de deteção de gases por um lado, e das entidades responsáveis pela fiscalização e aprovação de projetos, por outro é possível recolher com propriedade uma perspetiva mais abrangente e fundamentada dos problemas sentidos no terreno e as potenciais soluções a considerar no âmbito do tema tratado neste trabalho.

O questionário foi elaborado de forma a obter respostas simples, afirmativas ou negativas, e com espaço para comentários adicionais. A consulta enquadra-se numa perspetiva de carácter eminentemente prática e não tem como propósito ser um conjunto de opiniões e análise com valor meramente estatístico. O questionário elaborado e disponibilizado à comunidade é apresentado no Anexo E1 do presente documento. É de realçar que as opiniões recolhidas são individuais, salvo algumas exceções e não vinculam as corporações ou gabinetes de projeto, que gentilmente acederam a colaborar.

Para este trabalho, os questionários foram enviados para os diversos Corpos de Bombeiros e para os Projetistas e instaladores de SCIE de diversos Ateliers e Gabinetes Técnicos.

5.1.1 – Perspetiva das diversas espécies de corpos de bombeiros

Nos municípios portugueses podem existir quatro espécies de corpos de bombeiros, a saber, profissionais, mistos, voluntários e privados. Os corpos de bombeiros profissionais, são criados e mantidos na dependência direta de uma câmara municipal, formado exclusivamente por elementos profissionais, estruturados à semelhança do exército e são designados por sapadores. Os corpos de bombeiros mistos, dependem de uma câmara municipal ou de uma associação humanitária de bombeiros, são constituídos por bombeiros profissionais e voluntários. Os corpos de bombeiros voluntários pertencem a uma associação humanitária de bombeiros, são constituídos por bombeiros em regime de voluntariado e podem dispor de uma unidade profissional mínima a definir por regulamento da ANPC [72].

Os corpos de Bombeiros, são as entidades chamadas a socorrer os sinistrados, vítimas das ocorrências relacionadas com os incêndios e fuga de gases. Porque a problemática do monóxido de carbono está intimamente relacionada com o fenómeno que resulta da combustão incompleta de combustíveis que contêm carbono, e que esta, tanto pode ocorrer nos meios urbanos como rurais, foram consultados um conjunto de 250 comandantes de corpos de Bombeiros de todos os distritos incluindo ilhas. Dado que os incidentes resultantes da inalação de CO, ocorrem predominantemente nos meses de inverno, procurou-se incluir um número significativo de corpos de Bombeiros dos municípios do interior centro e norte, assim como de todas as capitais de distrito e dos municípios mais densamente povoados. Desta consulta resultou a receção de 73 opiniões. A Tabela 5.1 resume o sentido das respostas dadas pelos comandantes dos corpos de bombeiros.

Tabela 5.1 - Respostas dos bombeiros ao questionário

	Questões	Sim	Não	N/A
1	Considera que, na atual regulamentação portuguesa (RT-SCIE), os critérios definidos são suficientes para prevenir os incidentes por inalação de monóxido de carbono?	23	44	6
2	Considera que apenas o controlo de poluição do ar é suficiente para evitar incidentes por inalação por monóxido de carbono?	11	58	4
3	Considera que apenas a obrigatoriedade de sistemas de controlo de poluição nos espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II e aos espaços afetos à utilização-tipo VIII é suficiente?	10	59	4
4	Considera que caudal mínimo de 300 m ³ /hora por veículo para teores de concentração de CO de 50 ppm valor adequado?	24	21	26
5	A regulamentação no seu artigo 180º, define que os detetores de CO devem estar colocados a 1,5 m do pavimento, considera que esta dimensão é aplicável em todas as ocorrências?	16	48	9
6	Considera adequado que cada detetor de monóxido de carbono tenha uma área de cobertura inferior a 400 m ² ?	33	28	10
7	Face ao histórico de incidentes ocorridos nos últimos anos, em que se verificaram algumas vítimas mortais, consideraria a possibilidade de alteração na regulamentação?	65	3	5
8	Seria benéfico, mitigar a perda de vidas humanas, que fosse recomendado o uso de detetores de CO em todos os locais fechados onde se proceda a queima de combustíveis contendo carbono? (ex. cozinhas, salas com lareira, salamandras, etc...)	69	3	1
Comentários adicionais				

Feita a análise com mais detalhe às opiniões recolhidas é possível realçar os seguintes pontos de vista nas oito questões colocadas:

- 1- Que 60% das respostas recolhidas dos comandantes dos bombeiros ou daqueles a quem foi delegada a responsabilidade de resposta, manifestaram que os critérios existentes no atual RT-SCIE não são suficientes para evitar os incidentes por inalação de CO. No entanto, não acrescentaram, que outros critérios deveriam ser incluídos.
- 2- Para os quase 80% dos comandantes inquiridos que responderam, o controlo de poluição do ar não é suficiente para evitar incidentes por inalação de CO.
- 3- Em conformidade e complementando a questão anterior, 80% dos comandantes que manifestaram a sua opinião de que o controlo de poluição do restrito as UT-II e UT-VIII não é suficiente.
- 4- Nesta questão, alguns comandantes, designadamente os voluntários manifestaram o seu desconhecimento para as questões mais técnicas do RT-SCIE, no entanto as opiniões são muita equilibradas para as três possibilidades.
- 5- Apenas 22% considera adequada a altura de colocação dos detetores de monóxido de carbono contra os 65% que acham inadequada que a mesma não deveria ser aplicável em todas as situações.
- 6- À semelhança da questão 4, aqui também, as opiniões equiparam-se, havendo um pequeno ascendente dos que concordam com a área (inferiores a 400 m²) de cobertura dos detetores e uma pequena percentagem que não tem opinião ou conhecimentos técnicos.
- 7- A resposta dos comandantes dos corpos de bombeiros a esta questão é massiva na concordância de que considerariam a possibilidade de alterar a atual regulamentação no sentido de fazer face as mortes que ocorrem por inalação de CO, sem no entanto sugerirem como.
- 8- A maioria expressiva (95%) das opiniões vinculadas no presente questionário é favorável a recomendação de uso de detores de monóxido de carbono em todos os locais fechados ou confinados onde se proceda à queima de combustíveis contendo carbono.

Em complemento às respostas dadas no questionário, foi possível recolher alguns comentários adicionais, expressos nos seguintes:

- i) Relativamente aos espaços de UT-II e UT-VIII, a legislação afigura-se adequada e suficiente, tanto que os incidentes por inalação de monóxido de carbono nestes espaços são raros”;
- ii) “Os critérios definidos no regulamento são insuficientes, pois deixa como facultativa a instalação de equipamentos de deteção de CO nas habitações, que são os locais onde ocorrem o maior número de intoxicações e fatalidades. O controlo do ar tem de estar associado ao controlo da funcionalidade dos equipamentos, pois basta que este funcione anormalmente num único momento, para que haja a ocorrência de intoxicações, algumas delas ligeiras outras graves”;
- iii) “A área de cobertura de cada detetor não deve ser imposta pela legislação, mas deve ser definida e condicionada em função das características da tecnologia usada em cada tipo de detetor”;
- iv) “A regulamentação nacional de segurança contra incêndios aborda a temática do controlo de poluição de uma forma prescritiva no Capítulo VIII do Título VI da portaria 1532 de 29 de Dezembro de 2008, e na Nota Técnica Nº 19 da ANPC. Este quadro legislativo prescritivo esgota a argumentação de um eventual “pôr em causa” daquilo que são especificações técnicas de instalação, sobrando apenas a opinião muito pessoal e não vinculativa dos técnicos que trabalham na área da Segurança Contra Incêndios, seja em projeto ou em obra”;
- v) “Uma vez que o monóxido de carbono é um gás inodoro, incolor, insípido e é a causa número um de intoxicação nos países industrializados, é importante a formação da sociedade, aproveitando principalmente a capacidade de absorção de conhecimentos das camadas jovens, para a análise dos riscos nos diferentes espaços/cenários e dos sinais e sintomas iniciais da intoxicação. Não desvalorizando a importância da deteção e alerta de concentrações perigosas em ambientes delimitados, torna-se imperativo para nós, a adoção de medidas preventivas e corretivas para as intoxicações em espaços abertos, sendo para isso necessário a criação das respetivas condições (por exemplo, a introdução da avaliação dos níveis de monóxido de carbono em bombeiros que combatem incêndios, através da CO-Oximetria de pulso)”;
- vi) “É fácil regulamentar, mas difícil de fiscalizar. Principalmente ao nível da 1ª Categoria de Risco da UT-I”;
- vii) “Devia ser equacionada a recomendação (não obrigatoriedade) de instalar detetores de CO (e também de fumo) em espaços residenciais, escolares e lares de idosos onde haja dispositivos de queima. Esta recomendação devia ser associada a uma campanha

massiva de esclarecimento para os riscos inerentes nos principais órgãos de comunicação social e redes sociais”.

5.1.2 – Perspetiva dos projetistas e instaladores de SCIE

Na Tabela 5.2 está refletido o resultado do inquérito submetido aos projetistas e instaladores de equipamento de SCIE, por se tratar das entidades que aplicam a legislação disponível para projetar ou instalar os equipamentos de deteção de gases e incêndios em edifícios. Consultou-se um conjunto de 75 projetistas e instaladores, com maior prevalência dos primeiros, tendo-se obtido 17 respostas.

Tabela 5.2 - Respostas dos projetistas ao questionário

	Questões	Sim	Não	N/A
1	Considera que, na atual regulamentação portuguesa (RT-SCIE), os critérios definidos são suficientes para prevenir os incidentes por inalação de monóxido de carbono?	4	12	1
2	Considera que apenas o controlo de poluição do ar é suficiente para evitar incidentes por inalação por monóxido de carbono?	8	9	0
3	Considera que apenas a obrigatoriedade de sistemas de controlo de poluição nos espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II e aos espaços afetos à utilização-tipo VIII é suficiente?	5	12	0
4	Considera que caudal mínimo de 300 m ³ /hora por veículo para teores de concentração de CO de 50 ppm valor adequado?	9	5	3
5	A regulamentação no seu artigo 180º, define que os detetores de CO devem estar colocados a 1,5 m do pavimento, considera que esta dimensão é aplicável em todas as ocorrências?	5	12	0
6	Considera adequado que cada detetor de monóxido de carbono tenha uma área de cobertura inferior a 400 m ² ?	6	10	1
7	Face ao histórico de incidentes ocorridos nos últimos anos, em que se verificaram algumas vítimas mortais, consideraria a possibilidade de alteração na regulamentação?	13	2	2
8	Seria benéfico, mitigar a perda de vidas humanas, que fosse recomendado o uso de detetores de CO em todos os locais fechados onde se proceda a queima de combustíveis contendo carbono? (ex. cozinhas, salas c/ lareira, salamandras, etc.)	12	5	0
Comentários adicionais:				

Recolhidas que foram as respostas aos questionários enviados aos diversos ateliers e gabinetes técnicos, bem como a diversos profissionais a título individual, resume-se de seguida a perspectiva sobre a legislação desta comunidade:

- 1- Nesta questão, num percentual superior ao dos corpos de bombeiros, os projetistas e instaladores, consideram que na atual regulamentação portuguesa (RT-SCIE), o critério definido não é suficiente para prevenir os incidentes por inalação de CO.
- 2- Mas, no que toca a considerar apenas o controlo de poluição de ar na prevenção dos incidentes provocados pela inalação de CO, a opinião dos que defendem a atual regulamentação é quase igual à daqueles que defendem o seu contrário, não havendo neste caso quem não tenha opinião.
- 3- Mais de 70% das opiniões recolhidas dos técnicos defende que a obrigatoriedade de sistemas de controlo de poluição de ar nas UT-II e UT-VIII, não são suficientes.
- 4- A maioria dos técnicos defende o atual quadro legislativo, considerando que os 300 m³/hora por veículo para concentrações de CO de 50 ppm são adequados.
- 5- 30% considera adequada a altura de colocação dos detetores de monóxido de carbono contra os 70% que acham inadequada e que a mesma não deveria ser mandatária para todas as situações.
- 6- Nesta, à semelhança da questão anterior, a percentagem dos que consideram inadequada a área de cobertura inferior a 400 m², é superior a dos que defendem ser esta a adequada.
- 7- A maioria dos que opinaram, é favorável à alteração da regulamentação no sentido de reduzir o número de vítimas mortais resultantes da inalação de CO.
- 8- 70% das opiniões expressas no presente questionário é favorável à recomendação de uso de detores de monóxido de carbono em todos os locais fechados ou confinados onde se proceda a queima de combustíveis contendo carbono.

À semelhança do que ocorreu com os comandantes dos corpos de bombeiros, também com os técnicos de SCIE, foi possível recolher mais alguns comentários adicionais, e que se expressam nos parágrafos seguintes:

- i) Sempre que possível a legislação deve remeter para as normas europeias da especialidade, em relação aos critérios de dimensionamento, instalação e manutenção, fixando apenas o campo de aplicação dos sistemas de segurança relacionados com o excesso de monóxido de carbono.

- ii) Espaços obrigatórios: Todos os espaços que possuam queima de combustível, devem possuir controlo de poluição de ar. Existem espaços afetos à UT-XII, que deveriam ter. Cabe sempre ao técnico colocar em projeto essa situação.
- iii) A nota técnica é só meramente informativa. Devia passar a lei, obrigando ao cumprimento de outras situações, tais como deteção de gás combustível.
- iv) Grande parte dos incidentes que ocorrem, devem-se ao não cumprimento da legislação em vigor e à negligência das pessoas. Não se pode, nem se deve obrigar particulares a colocar detetores dentro das suas habitações já existentes e são nesses locais que ocorrem grande parte dos incidentes. Para resultar em termos de legislação, teríamos que ter fiscalização e quem iria fiscalizar dentro das habitações?
- v) Qualquer equipamento que evite e reduza perdas de vidas humanas é benéfico. O maior problema é que estes sistemas são caros, os detetores têm vida útil de 5 anos, e obrigam a manutenção, o que muitas vezes para nos lares as pessoas não querem fazer. Cabe às seguradoras produzir e ter um papel mais ativo, melhorando os seguros, tendo prémios de seguros melhores, desde que as pessoas demonstrem que os equipamentos existentes em casa estão em funcionamento.

5.1.3 – Perspetivas dos comandantes dos corpos de bombeiros versus as perspetivas dos projetistas e instaladores de SCIE

As diferenças de opinião entre os comandantes dos corpos de bombeiros e os projetistas, só se manifesta de forma contrária na questão nº6, na qual lhes foi perguntado se consideravam adequado que cada detetor de monóxido de carbono tivesse uma área de cobertura inferior a 400m². Por ser uma questão puramente técnica, os projetistas entendem que esse valor em determinados casos peca por ser demasiado elevado e noutros em que a movimentação de viaturas cria regimes turbulentos na mistura do CO com o ar, peca por defeito, o que dificulta na definição dos projetos.

Nas restantes questões verifica-se que a opinião destas duas comunidades é coincidente, ressalvando aqui o facto do grau de convicção não ser partilhado de igual modo. A Figura 5.1 ilustra a paridade que se verifica na quase totalidade das respostas recolhidas.

Apesar das insuficiências, omissões ou incongruências da atual legislação de SCIE, no que toca ao controlo de poluição do ar, são os projetistas que revelam maior clarividência nas respostas às questões, tendo quase sempre uma opinião favorável ou desfavorável por força da circunstância de se debaterem com a necessidade de terem de cumprir com todo o clausulado no

dimensionamento de todas as particularidades do projeto. A opinião dos comandantes das corporações de bombeiros refletida no gráfico da Figura 5.1 está mais dispersa fruto do menor conhecimento do regulamento por parte de alguns comandantes dos bombeiros voluntários e porque as funções que lhes correspondem só se façam sentir na observação do trabalho final do projetista.



Figura 5.1 - Resultados das respostas de Projetistas e Bombeiros ao questionário submetido.

No entanto, é importante referir que para as duas últimas questões se verifica uma massiva concordância em se proceder à alteração do regulamento de forma a pôr cobro ao flagelo das mortes provocadas por inalação de CO, bem como em recomendar a instalação de detetores de CO em espaços fechados ou confinados onde se proceda a queima de combustível contendo carbono.

5.2 – Propostas de alteração a introduzir na legislação

Neste subcapítulo, efetuam-se sugestões de alterações regulamentares referentes aos meios de deteção de gases e monóxido de carbono. Para uma análise detalhada comentou-se individualmente os Decretos-Lei, Portarias e Despachos englobados nesta temática. Entendeu-se colocar a itálico a redação da proposta, complementando-a, sempre que pertinente, com um texto explicativo.

Ao abrigo do disposto no artigo 15.º do Decreto-Lei n.º 220/2008, mandou o Governo, através do Ministro da Administração Interna, aprovar o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), anexo à presente portaria e que dela faz parte integrante.

Nos subcapítulos seguintes sugerem-se propostas de reformulação de alguns artigos da Portaria n.º 1532/2008 e apresentam-se as respetivas justificações.

5.2.1 - N.º 7, Artigo 86º

Descrição e justificação da necessidade de reformulação

A redação, do artigo 86º define – “Aparelhos de aquecimento autónomos de combustão” no n.º.7 - Os aparelhos de combustão sem circuito de queima estanque apenas são permitidos em locais dotados de ventilação de modo a proporcionar um número adequado de renovações por hora, cumprindo a regulamentação aplicável.

Proposta de reformulação:

Os aparelhos de combustão sem circuito de queima estanque apenas são permitidos em:

- a) Locais dotados de ventilação de modo a proporcionar um número adequado de renovações por hora, cumprindo a regulamentação aplicável;*
- b) Se dispuserem de um sistema automático de deteção de gases, sendo o CO obrigatório.*

5.2.2 - N.º 5, Artigo 87º

Descrição e justificação da necessidade de reformulação

A redação, do artigo 87º define – “Aparelhos de queima de combustíveis sólidos” .

1 — Os aparelhos de combustão que utilizam combustíveis sólidos, nomeadamente lareiras, braseiras para aquecimento, fogões de sala e salamandras, apenas são permitidos em habitações, excepto nos quartos, em locais de risco A, ou em locais de risco B com efectivo não superior a 200 pessoas.

5 — Em todos os espaços onde possam ser utilizados os aparelhos referidos no n.º 1 devem ser adoptadas medidas específicas de autoprotecção, nomeadamente de prevenção e de vigilância, nos termos deste regulamento.

A necessidade de reformulação prende-se com o facto dos equipamentos referidos no n.º1, por queimarem combustíveis sólidos, sejam aqueles que comparativamente aos combustíveis líquidos libertarem cerca de vinte mais CO e relativamente ao gás natural cerca de cem vezes [73].

Esta abordagem tem paralelo na especificação vertida na regulamentação do Reino Unido[Building regulations - Approved Document J; October 2010: paragraphs 2.34 to 2.36.(Combustion Appliances and Fuel Storage Systems)], bem como na NFPA 211 – 2019 (Standard for Chimneys, Fireplaces, Vents, and Solid Fuel-Burning Appliances), Cap.4 dos Estados Unidos.

Proposta de reformulação:

5 -Em todos os espaços onde possam ser utilizados os aparelhos referidos no n.º 1 devem ser adotadas medidas específicas de autoproteção, nomeadamente sistemas automáticos de deteção e alerta de monóxido de carbono (CO).

5.2.3 - N.º 1, Artigo 181º

Descrição e justificação da necessidade de reformulação

A redação, do artigo 181º define – “Utilização de sistemas de controlo de poluição”.

É obrigatória a existência de sistemas de controlo de poluição:

- a) Nos espaços cobertos fechados afectos à utilização-tipo II;
- b) Nos espaços afectos à utilização-tipo VIII:
 - i) Cobertos e fechados, destinados ao embarque e desembarque em veículos pesados de transporte rodoviário de passageiros, bem como ao estacionamento destes veículos;
 - ii) Que sejam plataformas de embarque cobertas em gares subterrâneas ou mistas, de transporte ferroviário que utilize locomotivas a gasóleo.

No atual quadro regulamentar, apenas se refere a obrigatoriedade da existência de sistemas de controlo de poluição do ar em espaços afetos às utilizações-tipo II e VIII, lugares esses onde não há registos oficiais de incidentes por inalação de CO ao contrário das habitações domésticas. Estudos de 2015 relataram que, em condições de laboratório, o monóxido de carbono (CO) difunde-se através do painel de gesso a uma taxa surpreendentemente alta [74]. Este e o facto de haver degradação nas condutas justificam a inclusão da alínea b) do ponto 2.

Proposta de reformulação:

1 - É obrigatória a existência de sistemas de controlo de poluição:

- a) Nos espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II;*
- b) Nos espaços afetos à utilização-tipo VIII:*
 - i) Cobertos e fechados, destinados ao embarque e desembarque em veículos pesados de transporte rodoviário de passageiros, bem como ao estacionamento destes veículos;*
 - ii) Que sejam plataformas de embarque cobertas em gares subterrâneas ou mistas, de transporte ferroviário que utilize locomotivas a gasóleo.*

2 – É recomendada a instalação de sistemas de controlo de poluição, nos espaços afetos à utilização-tipo I, IV e V em que existam aparelhos de queima de combustível a base de carbono:

a) Sem condutas de evacuação de efluentes de combustão;

b) Com condutas de evacuação de efluentes que atravessem ou passem ao lado das paredes de quartos de dormir, salas de estar ou cozinhas;

c) Que não tenham ventilação adequada, de acordo com o n.º4 do artigo 87º do RT.

5.2.4 - N.º 3, Artigo 180º

Descrição e justificação da necessidade de reformulação

A redação, do artigo 180º define – “Critérios gerais” e na alínea a) do n.º3 deste artigo é referido que:

3 — O sistema de controlo da poluição deve dispor de:

a) Sistema automático de deteção de monóxido de carbono, cujos detetores devem ser instalados a uma altura de 1,5 m do pavimento e distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a 400 m² por cada detetor;

O valor de 1,5 m definido para a altura de instalação dos detetores de monóxido de carbono, é o adequado para as utilizações em estacionamento e gares de transporte, em que a movimentação de viaturas cria regimes de convecção turbulentos ou não laminares. O CO dispersará e fluirá com a corrente de ar natural dissipando boa parte do CO libertado com o movimento dos carros. Convém também ressaltar que as melhorias que têm vindo a ser introduzidas nos automóveis, mormente os filtros de partículas e os catalisadores, têm contribuído para diminuir os gases poluentes. Outro facto a ter em conta nesta equação é o aparecimento cada vez maior de carros elétricos e no futuro a hidrogénio. Porque o monóxido de carbono é um gás menos denso que o ar (Densidade relativamente ao ar: 0,967), pelo que tem tendência para subir e, por conseguinte, acumular-se na parte superior das instalações. Estudos realizados por David Ross de 1999 recomendam que os detetores de CO sejam colocados em salas que contenham aparelhos de combustão e em salas onde os ocupantes passem a maior parte do tempo. Em salas com detetores, Ross recomenda a colocação no teto a pelo menos 300 mm de qualquer parede. Se o detetor estiver localizado numa parede, Ross recomenda que o mesmo seja colocado o mais alto possível (mas a uma distância de 150 mm do teto) e que o detetor seja colocado acima de portas e janelas [75, 76]. A Tabela 5.3 resume o que a legislação nacional e normas internacionais estabelecem para o posicionamento dos detetores de monóxido de carbono.

Tabela 5.3 - Principais diferenças no posicionamento de CO

	Posicionamento dos detetores de CO		
	Artigo 180º Portaria 1532/2008	NFPA 720	EN 50292
Detetor deve ser colocado:	1,50 m	2,03 - 2,44 m	Acima das linha das portas e janelas
	Distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a 400 m ² por cada detetor	Nos casos em que os tetos baixos não respeitem os 2.03 m, devem ser montados na parede a 0.15 m do teto.	Se for na parede a 0,15m do teto; Se for no teto, a 0,30m da parede.
			De 1 a 3 metros do equipamento
		O detetores devem ser instalados como especificado nas instruções dos fabricantes e de acordo com:	O detetor não deve ser colocado em áreas permanentemente húmidas, a menos que seja permitido pelo fabricante
		1-No teto e no mesmo compartimento onde estejam instalados os aparelhos de queima de combustível;	Se houver uma partição no compartimento, o detetor deve ser colocado na partição do equipamento;
		2-Centralmente localizado em todos os níveis habitáveis e em todas as zonas de AVAC do edifício;	Se colocados em compartimentos com tetos inclinados, estes devem ser colocados no ponto mais alto.
		3-Um projeto baseado no desempenho com 5.8.5.3.2.	

Em consonância com a recomendação de D. Ross, a EN 50292 [71], estabelece a instalação de detetores de monóxido de carbono de preferência no teto e estarem a pelo menos 300 mm de qualquer parede ou foco luminoso, se for montado numa parede, deve ser posicionado a uma altura superior à altura de todas as portas ou janelas, mas estar ainda a pelo menos 150 mm do teto. Já a NFPA 720 [41] estabelece que os detetores de monóxido de carbono devem ser instalados conforme especificado nas instruções publicadas pelo fabricante, e de acordo com as duas seguintes condições:

- (1) No teto, na mesma divisão dos aparelhos de queima de combustível instalados permanentemente;
- (2) Centralmente, em todos os pisos habitáveis e em todas as zonas de climatização do edifício.

Ou ainda de acordo com um projeto baseado no desempenho e enviado à autoridade competente para revisão e aprovação.

Proposta de reformulação:

3 — O sistema de controlo da poluição deve dispor de:

a) Sistema automático de deteção de monóxido de carbono:

- i) Em espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II e em espaços afetos à utilização tipo VIII, cujos detetores devem ser instalados a uma altura de 1,5 m do pavimento e distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a 400 m² por cada detetor;

ii) Em espaços afetos as utilizações-tipo I, cujos detetores devem instalados no teto da divisão em que exista um aparelho de queima de combustível e estar a pelo menos 300 mm de qualquer parede ou foco luminoso, se for montado numa parede, deve ser posicionado a uma altura superior à altura de todas as portas ou janelas, mas estar ainda a pelo menos 150 mm do teto.

6 - Conclusões

Os objetivos propostos no âmbito deste TFM consistiam na análise comparada e detalhada da legislação vigente associada ao posicionamento de detetores de monóxido de carbono, face às legislações europeia e norte-americana e na identificação e formulação de propostas sustentadas de alteração da legislação para mitigar as insuficiências, omissões ou desatualizações apontadas pela comunidade técnica interveniente nesta matéria tão sensível.

Para melhor compreender o entendimento da comunidade técnica foi levada a cabo uma consulta aos seus principais intervenientes no panorama nacional do projeto, instalação, combate e regulação de sistemas de deteção de gases do SCIE. Como resultado das respostas recolhidas foi possível apurar que há uma maior aceitação por parte dos bombeiros comparativamente aos projetistas e instaladores, para se proceder as alterações mais significativas aos Regulamentos. No entanto levanta-se a dúvida de quem seria a responsabilidade da fiscalização ao estado dos detetores, e com que periodicidade esta deveria ser realizada, bem como as eventuais sanções a aplicar pelo não cumprimento.

A revisão dos artigos técnicos, dos dados estatísticos, bem como a análise da produção e dispersão do CO, sugerem uma abordagem em duas vertentes na deteção do CO.

A primeira abordagem na deteção CO é materializada na Portaria 1532/2008, em que as exigências do RT-SCIE pouco têm a ver com salvaguarda da vida mas sim com a qualidade do ar/saúde no trabalho em que o detetor de CO apenas atua como um monitor da qualidade do ar interior (QAI) dentro de determinadas partes ocupadas do edifício, o que associado aos sistemas de ventilação podem contribuir para uma eficiente gestão energética.

A segunda abordagem é a de associar um detetor de CO a uma fonte de combustão conhecida.

Estes dispositivos funcionam como um sistema de segurança da combustão e atuam na deteção, acionamento de um alarme e, eventualmente, desativam o dispositivo de combustão. Esta é a abordagem consagrada neste trabalho.

Nos projetos e implementação de sistemas de deteção automática de monóxido de carbono é de extrema importância o conhecimento ao detalhe das matérias regulamentares que suportem esse campo de aplicação, bem como o conhecimento técnico dos materiais e produtos e nas inovações que as empresas dedicadas a este domínio da segurança têm para oferecer na salvaguarda da vida de pessoas e animais.

A deteção precoce é a condição para qualquer contramedida que garanta a evacuação rápida e segura dos ocupantes, bem como a intervenção eficaz às equipas de socorro. No caso preciso do monóxido de carbono, a deteção pode ser garantida por detetores de CO que podem utilizar várias tecnologias de sensores, em que se destaca, pela sua precisão o sensor eletroquímico.

No entanto, a colocação do detetor de CO per si, não será eficaz se não for instalado de forma apropriada. E isto implica definir os locais onde devem ser instalados, assim como o seu posicionamento relativamente aos planos de referência.

Da análise realizada à regulamentação portuguesa materializada na portaria 1532/2008 e mais propriamente ao seu artigo 180º do RT-SCIE, ela permite-nos concluir que a mesma está vocacionada para as utilizações-tipo II e VIII, estacionamento e gares de transporte ao impor que o detetor de CO seja instalado a 1,5 m do plano de referência. A abordagem é omissa para as demais utilizações em especial a UT-I, habitacionais, UT-V, lares de idosos e UT-VI, hoteleiros (hostels, refúgios e arrendamentos de longa duração em locais rurais) onde ocorrem a maioria dos casos de intoxicação por monóxido de carbono, conduzindo em muitos casos ao registo de algumas vítimas mortais como se comprova pelos dados estatístico dos últimos anos do INEM (CIAV) [2].

A conclusão que é possível retirar após a elaboração deste trabalho é que a reformulação da legislação, no que respeita aos locais de instalação de detetores de monóxido, associada a uma campanha massiva de esclarecimento para os riscos inerentes nos principais órgãos de comunicação social e redes sociais, especialmente no período de inverno, poderiam conduzir a uma redução no número de vítimas causadas pela inalação involuntária de monóxido de carbono na ausência de incêndios.

Não sendo possível proceder no todo ou em parte as alterações atrás elencadas, recomenda-se a adoção das medidas que constam na Norma EN 50292.

Trabalhos Futuros

Com a elaboração deste trabalho surgiram alguns temas de importância relevante para que se possam elaborar trabalhos futuros relacionados com a temática do monóxido de carbono.

Com esse propósito ainda há muito a aprender sobre o CO, incluindo os mecanismos de toxicidade, as previsões do resultado após a intoxicação e os melhores tratamentos. São necessárias mais pesquisas para formular indicações clínicas claras para o uso de agentes potencialmente neuro-protetores.

O futuro da OHB na intoxicação por CO continua em estudo. Dados os resultados díspares de ensaios clínicos aleatórios utilizando OHB, permanece a obrigatoriedade de continuar a selecionar cuidadosamente pacientes para essa terapia e promover estudos adicionais para delinear subpopulações, como crianças e mulheres grávidas, que potencialmente possam vir a serem beneficiadas.

Uma das lacunas verificadas na elaboração deste trabalho prendeu-se com a escassez de dados do território nacional referentes as fontes que provocaram os incidentes com o monóxido de carbono. Era importante levar a cabo, à semelhança do que se pratica nos países em estudo neste trabalho, como o Reino Unido, França e Estados Unidos da América, um estudo onde se distinguisse o tipo de dispositivo de queima, o tipo de combustível, o local do incidente (moradia, apartamento, garagem, veículo, barco, etc.), propriedade do local, idade e género das vítimas, bem como a data das ocorrências.

Bibliografia

- [1] Haikonen, K., Lunetta, P., Lillsunde, P.M. e Sund, R. (2013). Methodological challenges in using the Finnish Hospital Discharge Register for studying fire-related injuries leading to inpatient care [Versão electrónica]. Research Article, BMC Medical Informatics and Decision Making 2013, 13:36.
- [2] Dados do Centro de Orientação de Doentes Urgentes (CODU)-Facultados pela Dra. Fátima Rato do INEM – Centro de Informações Contravenenos-Em 06-08-2019
- [3] Sá, M.C., Rodrigues, R.P. e Moura, D. (2011). “Internamentos por Intoxicação com Monóxido de carbono em Portugal”- Acta Med Port 2011;24:727-734
- [4] Géodes-Institute de Veille – Santé Publique de France (2019). Surveillance des intoxications au monoxyde de carbone. Acedido em 20 de Julho de 2019, em: https://geodes.santepubliquefrance.fr/#c=indikator&i=co.nb_intox&s=2016-12&view=map2
- [5] Agnès Verrier (2013). Colloque national sur l’hygiène, la santé et l’environnement-Institute Veille Sanitaire. Surveillance épidémiologique des intoxications par le monoxyde de carbone (CO) [Versão electrónica].
- [6] Office for National Statistics (2018). “Number of deaths where carbon monoxide was mentioned on the death certificate, England and Wales, deaths registered between 2011 and 2017”. Acedido em 18 de Julho de 2019 em <https://www.ons.gov.uk/file?uri=/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/deaths/adhocs/008896numberofdeathswherocarbonmonoxidewasmentionedonthedeathcertificateenglandandwalesdeathsregisteredbetween2011and2017/correctioncofinalfile.xls>.
- [7] Cross Government Group On Gas Safety And Carbon Monoxide (CO) Awareness (2018). Report’s 2010/2011; 2011/2012; 2012/2013; 2013/2014; 2014/2015; 2016/2017; 2017/2018]. Acedido em 20 de Julho de 2019 em: <https://www.hse.gov.uk/gas/domestic/cross-government-group.htm>.
- [8] McCann, L.J.; Close, R.; Staines, L.; Weaver, M.; Cutter, G. and Leonardi, G.S. (2013)-“Indoor Carbon Monoxide: A case study in England for detection and interventions to reduce population exposure”-Hindawi Publishing Corporation, Journal of Environmental and Public Health-Volume 2013,Article ID 735952, 5 pages.
- [9] WHO Regional Office for Europe (2012) European Mortality Database (MDB). Version July 2012, Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. Acedido em 18 de Dezembro 2018 em: <http://data.euro.who.int/hfamdb/>.
- [10] Braubach, M., Algoet, A., Beaton, M., Lauriou, S., Héroux, M. E., e Krzyzanowski, M. (2013)-“Mortality associated with exposure to carbon monoxide in WHO European Member-Indoor Air 2013” ; 23: págs. 115-125.
- [11] Dados da Associação Nacional de Proteção contra Incêndios (NFPA) -Facultados por email pelo responsável de pesquisa Mr. Marty Ahrens da NFPA – Evarts, B. (2019) Carbon Monoxide Incidents – NFPA Index 2900 em: 26 de Julho de 2019.

- [12] Center for Disease Control and Prevention – National Environmental Public Health Tracking Network. Acessado em 10 de Julho de 2019 em: <https://ephtracking.cdc.gov/DataExplorer/index.html?c=2&i=-1&m=-1#/>.
- [13] Dados da Associação Nacional de Proteção contra Incêndios (NFPA) -Facultados por email pelo responsável de pesquisa Mr. Marty Ahrens da NFPA – Ahrens, M. (2019)-Unintentional Non-Fire Carbon Monoxide deaths in the US by Year – NFPA Index 2945 em: 26 de Julho de 2019.
- [14] Hampson, Neil H., (2016)-U.S. Mortality Due to Carbon Monoxide Poisoning, 1999-2014 Accidental and Intentional Deaths, *Ann Am Thorac Soc* Vol.13 No 10, pp 1768-1774.
- [15] Jarosiski, J.; Veyssier, B. (2009) – Combustion Phenomena-Selected Mechanisms of Flame Formation, Propagation and Extinction- ISBN:978-0-8493-8408-0.
- [16] Coelho, António Leça (2010) - “Incêndios em Edifícios” Edições Orion, ISBN: 978-972-8620-16-5.
- [17] Castro, C. F.; Serra, G.; Parola, J.; Reis, J.; Lourenço, L. e Correia, S. (2003). Volume XIII – Combate a Incêndios Florestais. Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, ISBN: 972-8792-13-1.
- [18] Castro, C. F. e Abrantes, J. B. (2009) - Manual de Segurança contra Incêndios em Edifícios” Escola Nacional de Bombeiros Sintra, ISBN: 972-8792-16-6.
- [19] Guerra, A. M.; Coelho, J. A., e Leitão, R. E. (2006) - “Fenomenologia da Combustão e extintores” Escola Nacional de Bombeiros, Sintra.
- [20] Norma Portuguesa NP EN 2, de 1993 e Norma Portuguesa NP EN 2:1993/A1, de 2005.
- [21] Çengel, Y.A. (2000) - “Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, 2nd Edition” ISBN-13: 978-0071213516.
- [22] Furness, A.e Muckett, M. – Introduction to Fire Safety Management. Elsevier, 1st Edition, 2007. ISBN:9780750680684.
- [23] Horvath, S. et Garcin, M. –“Conception Architecturale et Sécurité Incendie – Guide à usage des jeunes architectes” – [Versão electrónica].CIMbéton -B58 Édition 12/2012.
- [24] Prockop, L. D.: Clinical Neurotoxicology- Syndromes, Substances and Environments-Chapter 45-Carbon monoxide, 2009 ISBN: 978-0-323-05260-3.
- [25] Imagem disponível on-line no Web site de Bloginveg. Acessado em 20 de Setembro de 2019 em: <https://bloginveg.files.wordpress.com/2013/05/00296.jpg>.
- [26] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2012). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. CAS# 630-08-0. Acessado em 20 de Junho de 2019, em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=1145&tid=253>

- [27] Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). Fiche Toxicologiques-Monoxyde de Carbone-Fiche Toxicologique n°47-Edition 2009 [Versão electrónica]. www.inrs.fr/fichetox.
- [28] U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, DC, EPA 600/P-99/001F, 2000.
- [29] Environmental Health Criteria 213-CO-2nd Edition- First draft prepared by Mr. J. Raub, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA- ©World Health Organization, Geneva 1999.
- [30] Publicação da Delegação Regional Europeia da Organização Mundial de Saúde - Chapter 5.5 Carbon monoxide -Air Quality Guidelines - Second Edition- WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000.
- [31] Certified Inspection 4u (2019). Potential Sources of Carbon Monoxide in the Home. Acedido em 20 de Setembro de 2019, em: <https://certifiedinspections4u.com/tag/co-alarms/>
- [32] Beyler, Cand Gottuk, D. (2007) – “Development of a technical basis for carbon monoxide detector siting”
- [33] Jetter, J. J., Guo, Z., McBrian, J. e Flynn, M.R. - Characterization of emissions from burning incense. Science of the Total Environment. Volume 295, Issues 1–3, 5 August 2002, Pages 51-67
- [34] National Research Council (US) Committee on Acute Exposure Guideline Levels. Washington (DC): National Academies Press (US); 2010. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8,
- [35] Conde A., Alegria A., Neto A., Intoxicação por monóxido de carbono- Atualidades Pediátricas 2004;7(1):27-30
- [36] Prockop LD, Chichkova RI: Carbon monoxide intoxication: An updated review. Journal of the Neurological Sciences, 2007, 262(1-2): 122–130
- [37] Karter, M.J. Jr., and Miller, A.L.- Patterns of Fire Casualties in Home Fires by age and sex, 1983-1987, National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA 1990
- [38] U.S. Department of Housing and Urban Development -Healthy Homes Issues: Carbon monoxide, December 2005
- [39] Reynold V. (1992). Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects, Morton Lippman. ISBN 0-442-005549-0
- [40] Costa, I. S. F. (2018). Intoxicação por monóxido de carbono em idade pediátrica. Faculdade Medicina Universidade de Coimbra, Coimbra.

- [41] NFPA 720 Standard for the Installation of Carbon Monoxide (CO) Detection and Warning Equipment. NFPA 2015 Edition.
- [42] Hicks, D. e outros. "Smoke inhalation and carbon monoxide poisoning" Em Levin D, Morriss FC (ed. Essentials of Pediatric Intensive Care. 2nd ed. Nova Iorque: Churchill Livingstone 1997:951-5
- [43] Manual MSD. Acedido em 23 de Janeiro de 2019 em: <https://www.msmanuals.com/pt-pt/profissional/le-sões-intoxicação/intoxicação/intoxicação-por-monóxido-de-carbono>.
- [44] Penney, David G. (2008) "Carbon Monoxide Poisoning", CRC Press, ISBN-13: 978-0-8493-8417-2.
- [45] Mandelis, A. and Christofides, C. (1993). Physics, Chemistry and Technology of Solid State Gas Sensor Devices. Wiley-Interscience Publication, ISBN: 0-471-55885-0.
- [46] Cote, A and Bugbee, P. (1988). Principles of Fire Protection. National Fire Protection Association, ISBN:0-87765-345-3.
- [47] Toko, Kiyoshi (2004). Biomimetic Sensor Technology. Cambridge University Press, ISBN:0-511-03918-2 ebook
- [48] Meijer, Gerard C.M. (2008). Smart Sensor Systems. Jon Wiley & Sons Ltd, ISBN:978-0-470-86691-7.
- [49] Wilson, Jon (2005). Sensor Technology Handbook. Elsevier Inc. ISBN:0-7506-7729-5.
- [50] Ohira, S. e Toda, K. (2008). "Micro gas analyzers for environmental and medical applications", *AbalyticaChimicaActa* 619, pp. 143-156.
- [51] Dräger Safety AG & Co. KGaA (2008). "Introduction to Gas Detection Systems".
- [52] Zainab Yunusa, M. N. H., Ahsanul Kaiser e Zaiki Awang (2014). "Gas Sensors: A Review." *Sensors & Transducers* Vol. 168(Issue 4): 16.
- [53] Ritter, T., Wiegärtner, S., Hagen, G., and Moos, R.; (2017). "Simulation of a thermoelectric gas sensor that determines hydrocarbon concentrations in exhausts and the light-off temperature of catalyst materials" *Journal of sensors and sensor systems. J. Sens. Sens. Syst.*, 6, 395–405, 2017
- [54] Mizsei, János. (2016). Forty years of adventure with Semiconductor gas sensor. ScienceDirect. 30th Eurosensors Conference, EUROSENSOR 2016, Elsevier.
- [55] Sberveglieri, Giorgio (1992). Gas Sensor, Principles, Operation and Development. Kluwer Academic Publishers. ISBN:0-7923-2004-2
- [56] Pascal Tardy, Jean-René Coulon, Claude Lucat, Francis Menil (2004). Dynamic thermal conductivity sensor for gas detection. *Sensors and Actuators B* 98 (2004) 63–68

- [57] MahdaviFar, A., Aguilar, R., Peng, Z., Hesketh, P. J., Findlay, M., Stetter, J. R. and Hunter, G. W. (2014). Simulation and Fabrication of an Ultra-Low Power Miniature Microbridge Thermal Conductivity Gas Sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 161 (4) B55-B61
- [58] Brett, L., Bousek, J., Castello, P., Salyk, O., Harskamp, F., Aldea, L. et al. (2008) “Reliability of commercially available hydrogen sensors for detection of hydrogen at critical concentrations: part I – testing facility and methodologies”, vol. 33, no. 24, pp. 7648- 7657, December 2008.
- [59] National Research Council 1995. Expanding the Vision of Sensor Materials. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4782>. ISBN 978-0-309-05175-0 | DOI 10.17226/4782
- [60] Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios – Regulamentos Técnicos – Publindústria, Edição 2010
- [61] Nota Técnica N.º 19 - Sistemas Automáticos de Detecção de Gás. Dezembro 2013. Acedido em 20 de Junho de 2019. Disponível em: <http://www.prociv.pt>.
- [62] Safety Fire Direct. “What are Carbon Monoxide Detectors “. Acedido em 22 de Junho de 2018 em: www.safefiredirect.co.uk/Page/23/what-are-carbonmonoxide-detectors.aspx
- [63] Gomes, A. A. A., outubro 2017- Artigo Técnico – Sistemas Automáticos de Segurança e Detecção de Monóxido de Carbono
- [64] Ficha Técnica N.º44 - Sistema Automático de Detecção de Monóxido de Carbono. Acedido em 20 de Junho de 2019 em: www.apsei.org.pt.
- [65] Decreto-Lei n.º220/2008 de 12 de novembro. Diário da República, 1.ª série — N.º220. Ministério da Administração Interna. Lisboa
- [66] Atmosfera Saturada-CO. Acedido em 19 de Setembro de 2019 em: <http://www.bakaus-portugal.com/produ-tos/4104/cooper-csa-08689c-distico-atmosfera-saturada-co-para-painel-optico-acustico-5055-csa>.
- [67] Imagem disponível on-line no Web site de Bakaus-Portugal. “Atmosfera Perigosa”. Acedido em 20 de Setembro de 2019 em: <http://www.bakaus-portugal.com/store/search?term=Atmosfera+perigosa>.
- [68] Aidos, J.A. (2017). Segurança contra Incêndio em Edifícios – Regulamentação Ilustrada e Anotada-Vol. 1
- [69] Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro. Diário da República, 1.ª série — N.º 250. Ministério da Administração Interna. Lisboa.
- [70] Ei-Electronics-Mains Powered Carbon Monoxide Alarm- 2017 P/N B17090 Rev7
- [71] BSI Standard I.S. EN 50292 : 2013 Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises. Guide on the selection, installation, use and maintenance.

- [72] Decreto-Lei n.º 248/2012 de 21 de Novembro. Diário da República, 1.ª série — N.º 225. Ministério da Administração Interna. Lisboa.
- [73] Publicação da Organização Mundial de Saúde. WHO IAQ Guidelines: household fuel combustion - Review 2: Emissions of Health-Damaging Pollutants from Household Stoves.
- [74] Fire Protection Research Foundation (2015). Carbon Monoxide Diffusion through Porous Walls: A Critical Review of Literature and Incidents.
- [75] Ross, D. (1999), Evaluation of carbon monoxide detectors in domestic premises; Recommendations for the siting of carbon monoxide detectors Part 2, Building Research Establishment, for Health and Safety Executive, UK.
- [76] Ross, D. (1999), “Evaluation of Carbon Monoxide Detectors in Domestic Premises,” Summary Report, Building Research Establishment, Contract Research Report 236/1999 for Health and Safety Executive, UK.

Anexos e/ou Apêndices

Anexo A.1 – Utilizações-Tipo

CAPÍTULO II

Caracterização dos edifícios e recintos

Artigo 8.º

Utilizações-tipo de edifícios e recintos

1 — Aos edifícios e recintos correspondem as seguintes utilizações-tipo:

a) **Tipo I** «habitacionais», corresponde a edifícios ou partes de edifícios destinados a habitação unifamiliar ou

multifamiliar, incluindo os espaços comuns de acessos e as áreas não residenciais reservadas ao uso exclusivo dos residentes;

b) **Tipo II** «estacionamentos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios destinados exclusivamente à recolha de veículos e seus reboques, fora da via pública, ou recintos delimitados ao ar livre, para o mesmo fim;

c) **Tipo III** «administrativos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios onde se desenvolvem actividades

administrativas, de atendimento ao público ou de serviços, nomeadamente escritórios, repartições públicas, tribunais, conservatórias, balcões de atendimento, notários, gabinetes de profissionais liberais, espaços de investigação não dedicados ao ensino, postos de forças de segurança e de socorro, excluindo as oficinas de reparação e manutenção;

d) **Tipo IV** «escolares», corresponde a edifícios ou partes de edifícios recebendo público, onde se ministrem acções de educação, ensino e formação ou exerçam actividades lúdicas ou educativas para crianças e jovens, podendo ou não incluir espaços de repouso ou de dormida afectos aos participantes nessas acções e actividades, nomeadamente escolas de todos os níveis de ensino, creches, jardins-de infância, centros de formação, centros de ocupação de tempos livres destinados a crianças e jovens e centros de juventude;

e) **Tipo V** «hospitalares e lares de idosos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios recebendo público, destinados à execução de acções de diagnóstico ou à prestação de cuidados na área da saúde, com ou sem internamento, ao apoio a pessoas idosas ou com

condicionalismos decorrentes de factores de natureza física ou psíquica, ou onde se desenvolvam actividades dedicadas a essas pessoas, nomeadamente hospitais, clínicas, consultórios, policlínicas, dispensários médicos, centros de saúde, de diagnóstico, de enfermagem, de hemodiálise ou de fisioterapia, laboratórios de análises clínicas, bem como lares, albergues, residências, centros de abrigo e centros de dia com actividades destinadas à terceira idade;

f) **Tipo VI** «espectáculos e reuniões públicas», corresponde a edifícios, partes de edifícios, recintos itinerantes

ou provisórios e ao ar livre que recebam público, destinados a espectáculos, reuniões públicas, exibição de meios audiovisuais, bailes, jogos, conferências, palestras, culto religioso e exposições, podendo ser, ou não, polivalentes e desenvolver as actividades referidas em regime não permanente, nomeadamente teatros, cineteatros, cinemas, coliseus, praças de touros, circos, salas de jogo, salões de dança, discotecas, bares com música ao vivo, estúdios de gravação, auditórios, salas de conferências, templos religiosos, pavilhões multiusos e locais de exposições não classificáveis na utilização-tipo X;

g) **Tipo VII** «hoteleiros e restauração», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo público, fornecendo alojamento temporário ou exercendo actividades de restauração e bebidas, em regime de ocupação exclusiva ou não, nomeadamente os destinados a empreendimentos turísticos, alojamento local, estabelecimentos de restauração ou de bebidas, dormitórios e, quando não inseridos num estabelecimento escolar, residências de estudantes e colónias de férias, ficando excluídos deste tipo os parques de campismo e caravanismo, que são considerados espaços da utilização-tipo IX;

h) **Tipo VIII** «comerciais e gares de transportes», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo público, ocupados por estabelecimentos comerciais onde se exponham e vendam materiais, produtos, equipamentos ou outros bens, destinados a ser consumidos no exterior desse estabelecimento, ou ocupados por gares destinados a aceder a meios de transporte rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial ou aéreo, incluindo as gares intermodais, constituindo espaço de interligação entre a via pública e esses meios de transporte, com excepção das plataformas de embarque ao ar livre;

i) **Tipo IX** «desportivos e de lazer», corresponde a edifícios, partes de edifícios e recintos, recebendo ou não público, destinados a actividades desportivas e de lazer, nomeadamente estádios, picadeiros, hipódromos, velódromos, autódromos, motódromos, kartódromos,

campos de jogos, parques de campismo e caravanismo, pavilhões desportivos, piscinas, parques aquáticos, pistas de patinagem, ginásios e saunas;

j) **Tipo X** «museus e galerias de arte», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público, destinados à exibição de peças do património histórico e cultural ou a actividades de exibição, demonstração e divulgação de carácter científico, cultural ou técnico, nomeadamente museus, galerias de arte, oceanários, aquários, instalações de parques zoológicos ou botânicos, espaços de exposição destinados à divulgação científica e técnica, desde que não se enquadrem nas utilizações-tipo VI e IX;

l) **Tipo XI** «bibliotecas e arquivos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público,

destinados a arquivo documental, podendo disponibilizar os documentos para consulta ou visualização no próprio local ou não, nomeadamente bibliotecas, mediatecas e arquivos;

m) **Tipo XII** «industriais, oficinas e armazéns», corresponde a edifícios, partes de edifícios ou recintos ao ar livre, não recebendo habitualmente público, destinados ao exercício de actividades industriais ou ao armazenamento de materiais, substâncias, produtos ou equipamentos, oficinas de reparação e todos os serviços auxiliares ou complementares destas actividades.

Anexo A2 – Classificação dos locais de risco

Artigo 10.º

1 — Todos os locais dos edifícios e dos recintos, com excepção dos espaços interiores de cada fogo, e das vias

horizontais e verticais de evacuação, são classificados, de acordo com a natureza do risco, do seguinte modo:

- a) **Local de risco A** — local que não apresenta riscos especiais, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:
 - i) O efectivo não exceda 100 pessoas;
 - ii) O efectivo de público não exceda 50 pessoas;
 - iii) Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;
 - iv) As actividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;
- b) **Local de risco B** — local acessível ao público ou ao pessoal afecto ao estabelecimento, com um efectivo superior a 100 pessoas ou um efectivo de público superior a 50 pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:
 - i) Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;
 - ii) As actividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;
- c) **Local de risco C** — local que apresenta riscos agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio devido, quer às actividades nele desenvolvidas, quer às características dos produtos, materiais ou equipamentos nele existentes, designadamente à carga de incêndio;
- d) **Local de risco D** — local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;
- e) **Local de risco E** — local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D;

f) **Local de risco F** — local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de actividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

Anexo B.1 – Controlo de poluição de Ar

Concentração (ppm CO)	Tempo de exposição
50	Máxima concentração permitida de exposição contínua durante 8 horas.
200	Máxima concentração permitida de exposição em valores instantâneos (avisos óticos e acústicos)

Anexo B.2 – Líquidos e gases combustíveis

QUADRO XXXV

Classificação dos espaços em função da quantidade de líquidos ou gases combustíveis que contenham

Classificação	Líquidos combustíveis: Volume «V» Ponto de inflamação «P _i »			Gases combustíveis: Capacidade total dos recipientes «C»
	P _i < 21° C	21 °C ≤ P _i < 55° C	P _i ≥ 55° C	
Utilização	V ≤ 20 l	V ≤ 100 l	V ≤ 500 l	C ≤ 106 dm ³
Armazenamento	V > 20 l	V > 100 l	V > 500 l	C > 106 dm ³

Anexo C – Efeitos na saúde dos diferentes níveis de COHb no sangue em adultos saudáveis

Table A.1 – Health effects of COHb blood levels on healthy adults

% COHb	Effects
0,3 – 0,7	Normal range in non-smokers due to endogenous CO production
0,7 – 2,9	No proven physiological changes
2,9 – 4,5	Cardio-vascular changes in cardiac patients
4 – 6	Usual values observed in smokers, impairment in psychomotor tests
7 – 10	Cardio-vascular changes in non-cardiac patients (increased cardiac output and coronary blood flow)
10 – 20	Slight headache, weakness, potential burden on foetus
20 – 30	Severe headache, nausea, impairment in limb movements
30 – 40	Severe headache, irritability, confusion, impairment in visual acuity, nausea, muscular weakness, dizziness
40 – 50	Convulsions and unconsciousness
60 – 70	Coma, collapse, death

Source: U.S. Environmental Protection Agency 1984

Anexo D.1 – Alternativa baseada no desempenho (6.5.5.6 Performance-Based Alternative.)

6.5.5.6.1 Any design that provides a minimum of 0.0375 lumens/ ft² (0.4036 lumens/m²) of illumination at any point within the covered area at all angles specified by the polar dispersion planes for wall- or ceiling-mounted visual appliances in ANSI/UL 1971, Standard for Signaling Devices for the Hearing Impaired, or equivalent, as calculated for the maximum distance from the nearest visual notification appliance, shall be permitted in lieu of the requirements of 6.5.5, excluding 6.5.5.7. [72:18.5.5.6.1]

6.5.5.6.2 Documentation provided to the authority having jurisdiction shall include the following:

- (1) Inverse Square Law calculations using each of the vertical and horizontal polar distribution angles in ANSI/UL 1971, Standard for Signaling Devices for the Hearing Impaired, or equivalent.
- (2) The calculations shall account for the effects of polar distribution using one of the following:
 - (a) The percentages from the applicable table(s) in ANSI/UL 1971, Standard for Signaling Devices for the Hearing Impaired, or equivalent
 - (b) The actual results of laboratory tests of the specific appliance to be used as recorded by the listing organization [72:18.5.5.6.2]

Anexo D.2 – Espaçamento em sala para sinalizadores óticos montados na parede

Table 6.5.5.4.1(a) Room Spacing for Wall-Mounted Visible Appliances

Maximum Room Size		Minimum Required Light Output [Effective Intensity (cd)]	
ft	m	One Light per Room	Four Lights per Room (One Light per Wall)
20 × 20	6.10 × 6.10	15	NA
28 × 28	8.53 × 8.53	30	NA
30 × 30	9.14 × 9.14	34	NA
40 × 40	12.2 × 12.2	60	15
45 × 45	13.7 × 13.7	75	19
50 × 50	15.2 × 15.2	94	30
54 × 54	16.5 × 16.5	110	30
55 × 55	16.8 × 16.8	115	30
60 × 60	18.3 × 18.3	135	30
63 × 63	19.2 × 19.2	150	37
68 × 68	20.7 × 20.7	177	43
70 × 70	21.3 × 21.3	184	60
80 × 80	24.4 × 24.4	240	60
90 × 90	27.4 × 27.4	304	95
100 × 100	30.5 × 30.5	375	95
110 × 110	33.5 × 33.5	455	135
120 × 120	36.6 × 36.6	540	135
130 × 130	39.6 × 39.6	635	185

NA: Not allowable.

[72: Table 18.5.5.4.1(a)]

Anexo D.3 – Espaçamento em sala para sinalizadores óticos montados no teto

Table 6.5.5.4.1 (b) Room Spacing for Ceiling-Mounted Visible Appliances

Maximum Room Size		Maximum Lens Height*		Minimum Required Light Output (Effective Intensity); One Light (cd)
ft	m	ft	m	
20 × 20	6.1 × 6.1	10	3.0	15
30 × 30	9.1 × 9.1	10	3.0	30
40 × 40	12.2 × 12.2	10	3.0	60
44 × 44	13.4 × 13.4	10	3.0	75
20 × 20	6.1 × 6.1	20	6.1	30
30 × 30	9.1 × 9.1	20	6.1	45
44 × 44	13.4 × 13.4	20	6.1	75
46 × 46	14.0 × 14.0	20	6.1	80
20 × 20	6.1 × 6.1	30	9.1	55
30 × 30	9.1 × 9.1	30	9.1	75
50 × 50	15.2 × 15.2	30	9.1	95
53 × 53	16.2 × 16.2	30	9.1	110
55 × 55	16.8 × 16.8	30	9.1	115
59 × 59	18.0 × 18.0	30	9.1	135
63 × 63	19.2 × 19.2	30	9.1	150
68 × 68	20.7 × 20.7	30	9.1	177
70 × 70	21.3 × 21.3	30	9.1	185

*This does not preclude mounting lens at lower heights.

[72: Table 18.5.5.4.1 (b)]

Anexo D.4 – Espaçamento em corredores (6.5.5.5* Spacing in Corridors.)

6.5.5.5.1 The installation of visible notification appliances in corridors 20 ft (6.1 m) or less in width shall be in accordance with the requirements of either 6.5.5.4 or 6.5.5.5. [72:18.5.5.5.1]

6.5.5.5.2 Paragraph 6.5.5.5 shall apply to corridors not exceeding 20 ft (6.1 m) in width. [72:18.5.5.5.2]

6.5.5.5.3 In a corridor application, visible appliances shall be rated not less than 15 cd. [72:18.5.5.5.3]

6.5.5.5.4 Corridors greater than 20 ft (6.1 m) wide shall comply with the spacing requirements for rooms in accordance with 6.5.5.4. [72:18.5.5.5.4]

6.5.5.5.5* Visible notification appliances shall be located not more than 15 ft (4.57 m) from the end of the corridor with a separation not greater than 100 ft (30.5 m) between appliances. [72:18.5.5.5.5]

6.5.5.5.6 If there is an interruption of the concentrated viewing path, such as a fire door, an elevation change, or any other obstruction, the area shall be treated as a separate corridor. [72:18.5.5.5.6]

6.5.5.5.7 In corridors where more than two visible notification appliances are in any field of view, they shall flash in synchronization. [72:18.5.5.5.7]

6.5.5.5.8 Wall-mounted visible notification appliances in corridors shall be permitted to be mounted on either the end wall or the side wall of the corridor in accordance with spacing requirements of 6.5.5.5.5. [72:18.5.5.5.8]

**Anexo D.5 – Sintomas da exposição ao monóxido de carbono com base na concentração
(Symptoms of Carbon Monoxide Exposure Based on Concentration)**

Table B.1 Symptoms of Carbon Monoxide Exposure Based on Concentration

Concentration (ppm CO)	Symptoms
50	No adverse effects with 8 hours of exposure
200	Mild headache after 2–3 hours of exposure
400	Headache and nausea after 1–2 hours of exposure
800	Headache, nausea, and dizziness after 45 minutes of exposure; collapse and unconsciousness after 2 hours of exposure
1,000	Loss of consciousness after 1 hour of exposure
1,600	Headache, nausea, and dizziness after 20 minutes of exposure
3,200	Headache, nausea, and dizziness after 5–10 minutes of exposure; collapse and unconsciousness after 30 minutes of exposure
6,400	Headache and dizziness after 1–2 minutes of exposure; unconsciousness and danger of death after 10–15 minutes of exposure
12,800 (1.28% by volume)	Immediate physiological effects; unconsciousness and danger of death after 1–3 minutes of exposure

**Anexo D.6 – Concentração de monóxido de carbono [ppm CO] versus tempo [minutos]
 (FIGURE B.1 Carbon Monoxide Concentration (ppm CO) Versus Time (Minutes).)**

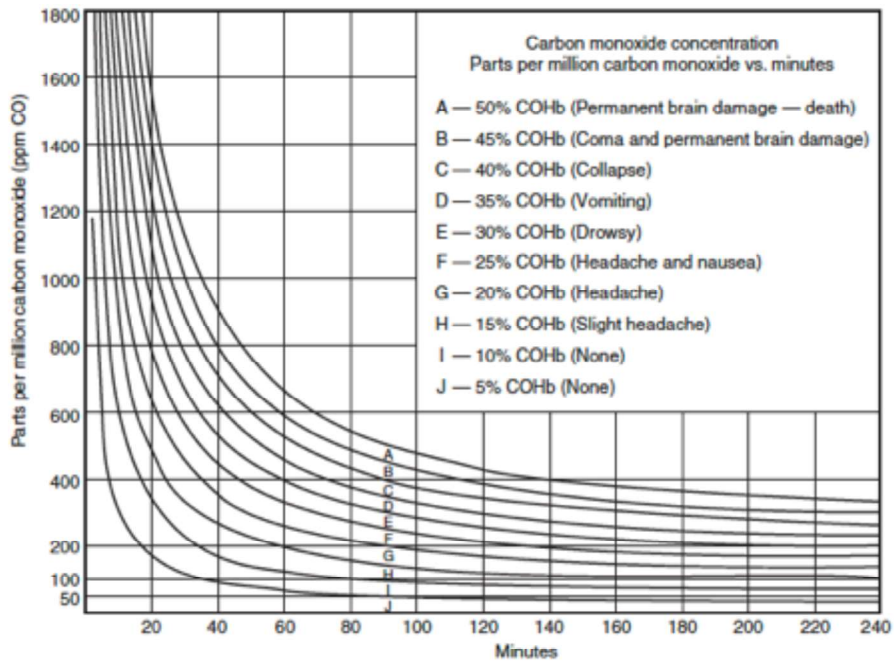


FIGURE B.1 Carbon Monoxide Concentration (ppm CO) Versus Time (Minutes).

Anexo E.1 – Questionário sobre a legislação do CO



Questionário

Localidade :

Quartel :

Identificação :

	Questões	Sim	Não	N/A
1	Considera que, na atual regulamentação portuguesa (RT-SCIE), os critérios definidos são suficientes para prevenir os incidentes por inalação de monóxido de carbono?			
2	Considera que apenas o controlo de poluição do ar é suficiente para evitar incidentes por inalação por monóxido de carbono?			
3	Considera que apenas a obrigatoriedade de sistemas de controlo de poluição nos espaços cobertos fechados afetos à utilização-tipo II e aos espaços afetos à utilização-tipo VIII é suficiente?			
4	Considera que caudal mínimo de 300 m ³ /hora por veículo para teores de concentração de 50 ppm valor adequado?			
5	A regulamentação no seu artigo 180º, define que os detetores de CO devem estar colocados a 1,5 m do pavimento, considera que esta dimensão é aplicável em todas as ocorrências?			
6	Considera adequado que cada detetor de monóxido de carbono tenha uma área de cobertura inferior a 400 m ² ?			
7	Face ao histórico de incidentes ocorridos nos últimos anos, em que se verificaram algumas vítimas mortais, consideraria a possibilidade de alteração na regulamentação?			
8	Seria benéfico, mitigar a perda de vidas humanas, que fosse recomendado o uso de detetores de CO em todos os locais fechados onde se proceda a queima de combustíveis contendo carbono? (ex. cozinhas, salas com lareira, salamandras, etc...)			
Comentários adicionais:				