

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Itor Hugo Bertuol Cherubini

**INFLUÊNCIA DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO EM RELAÇÃO AOS GASES NOCIVOS**

Porto Alegre

Setembro 2023

ITOR HUGO BERTUOL CHERUBINI

**INFLUÊNCIA DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO EM RELAÇÃO AOS GASES NOCIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Prof^a Ângela Gaio Graeff

Porto Alegre

Setembro 2023

ITOR HUGO BERTUOL CHERUBINI

**INFLUÊNCIA DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO EM RELAÇÃO AOS GASES NOCIVOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, setembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ângela Gaio Graeff
PhD pela University of Sheffield
Orientadora

Prof. Vanessa Fátima Pasa Dutra
Dr. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Gabrielle Bacelo Bidinotto
Esp. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho os meus pais, pelo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pela dedicação, apoio e carinho que tiveram comigo em toda a minha vida e por proporcionar a oportunidade de chegar à graduação. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha namorada, Rafaela, pela paciência e suporte durante todos esses anos.

À minha professora orientadora, Ângela Gaio Graeff, pelos diversos conhecimentos passados e ajuda prestada no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todo seu corpo docente, pela dedicação no ensino e preocupação com a formação dos profissionais do futuro.

Por fim, agradeço a todos os amigos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

RESUMO

Este trabalho versa sobre as origens, os riscos e sintomas da inalação de gases tóxicos em situações de incêndio e analisa de que forma as medidas de Segurança Contra Incêndio (SCI) exigidas pela legislação do Rio Grande do Sul se relacionam com a inibição da emissão e propagação destes gases, bem como a minimização do tempo de exposição. Inicialmente, através de revisões bibliográficas, foram compiladas informações sobre os principais gases presentes em cenários de incêndio e quais as reações do organismo humano frente à exposição a estes gases. Em seguida, foi feita a análise de como as medidas de segurança contra incêndio exigidas pelo Decreto 51.803, de setembro de 2014 (e suas atualizações), atuam na proteção da integridade física dos habitantes em cenário de emergência, a partir da revisão de literaturas que tratam do desempenho dos dispositivos de SCI. Foi constatado que a legislação não engloba nenhum tipo de procedimento normativo que trata a respeito dos gases nocivos, mas que as medidas de segurança contra incêndio operam, mesmo que indiretamente, de formas variadas na inibição da emissão e propagação destes vapores, bem como na minimização da exposição dos usuários à fumaça e gases nocivos. Por fim, verificou-se a interferência do mobiliário no desenvolvimento de incêndios, comprovando que a utilização de materiais sintéticos no mobiliário amplifica consideravelmente a evolução do incêndio e a concentração de gases tóxicos liberados, quando comparados a materiais à base de celulose. Concluiu-se que há necessidade de mobilização acadêmica, no intuito de incentivar estudos relacionados ao tema, e bem como de mobilização governamental, objetivando maior fiscalização no que tange aos materiais incorporados da edificação e de possíveis regulamentações na utilização do mobiliário.

Palavras-chave: Gases nocivos. Segurança Contra Incêndio. Medidas de segurança contra incêndio. Mobiliário. Emissão de gases tóxicos.

ABSTRACT

This work deals with the origins, risks and symptoms of the inhalation of toxic gases in fire situations and analyzes how the fire safety measures applicable by the legislation of Rio Grande do Sul relate to the prevention of the emission and propagation of these gases, as well as minimizing exposure time. Initially, through bibliographical reviews, information was compiled on the main gases present in fire scenarios and the notifications of the human organism regarding the exposure of these gases. Then, an analysis was made of how the fire safety measures provided by Decreto 51.803, of September 2014 (and its updates), act to protect the physical integrity of the inhabitants in emergency scenarios, based on the literature review that deal with the performance of fire safety measures. The review indicates that the legislation does not include any type of normative procedure that deals with harmful gases, but that fire safety measures operate, even indirectly, in various ways in inhibiting the emission and propagation of these vapors, as well as in minimizing users' exposure to noxious smoke and gases. Finally, the interference furniture in the development of fires was verified, proving that the use of synthetic materials in furniture considerably amplifies the evolution of the fire and the concentration of toxic gases released, when compared to cellulose-based materials. It was concluded that there is a need for academic mobilization, in order to encourage studies related to the subject, as well as governmental mobilization, aiming at greater inspection regarding the materials incorporated into the building and possible regulations in the use of furniture.

Keywords: Harmful gases. Fire Safety. Fire safety measures. Furniture. Emission of toxic gases.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de CO.....	19
Tabela 2 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de CO ₂	20
Tabela 3 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de HCN.....	21
Tabela 4 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de NO ₂	24
Tabela 5 – Relação das medidas de segurança contra incêndio com o mecanismo principal de atuação em uma situação de incêndio.....	34
Tabela 6 – Relação das medidas de segurança contra incêndio com os gases nocivos.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

C_3H_4O – Acroleína

CBPMESP – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

CBPMRS – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Rio Grande do Sul

CH_2O – Formaldeído

CMAR – Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de carbono

COCl - Fosgênio

HCl – Ácido clorídrico

HCN – Ácido cianídrico

ISO – International Organization for Standardization

N_2O – Monóxido de dinitrogênio

N_2O_4 – Tetróxido de dinitrogênio

NFIRS – National Fire Reporting System

NH_3 - Amônia

NO – Óxido de nitrogênio

NO_2 – Dióxido de nitrogênio

ppm – Partes por milhão

SCI – Segurança Contra Incêndio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 GASES NOCIVOS.....	18
2.1 Gases asfixiantes.....	18
2.1.1 Monóxido de carbono.....	18
2.1.2 Dióxido de carbono.....	20
2.1.3 Ácido Cianídrico.....	21
2.2 Gases irritantes.....	22
2.2.1 Ácido clorídrico.....	22
2.2.2 Acroleína.....	22
2.2.3 Amônia.....	23
2.2.4 Óxidos de nitrogênio.....	23
2.2.5 Formaldeído.....	24
2.2.6 Fosgênio.....	24
3 RELAÇÃO ENTRE O PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E OS GASES NOCIVOS.....	25
3.1 Importância das medidas de segurança contra incêndio com a emissão de gases nocivos.....	25
3.2 Medidas de segurança contra incêndio e a relação com os gases nocivos.....	26
3.2.1 Brigada de incêndio e plano de emergência.....	27
3.2.2 Detecção e alarme de incêndio.....	27
3.2.3 Extintores.....	28
3.2.4 Hidrantes, mangotinhos e chuveiros automáticos.....	29
3.2.5 Controle de fumaça.....	30
3.2.6 Saídas, sinalização e iluminação de emergência.....	30
3.2.7 Controle de materiais de acabamento e revestimento (CMAR).....	31
3.2.8 Compartimentação e segurança estrutural.....	32

3.2.9 Acesso de viaturas	33
3.3 Mecanismo de atuação das medidas de segurança contra incêndio no combate aos gases nocivos	34
3.4 Emissão de gases nocivos e a relação ao mobiliário.....	36
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Na história recente, os estudos de Segurança Contra Incêndio no Brasil foram realizados a partir de grandes tragédias, com acidentes que culminaram em incontável perda patrimonial, histórica e humana.

Os incêndios do início da década de 1970, principalmente os do Edifício Joelma e Edifício Andraus, na cidade de São Paulo, expuseram a necessidade de desenvolvimento de estudos na área de segurança contra incêndio, uma vez que acarretaram quase 200 vítimas fatais (ONO, 2007). Em 2013, o incêndio da boate Kiss, em Santa Maria – Rio Grande do Sul, que levou 242 pessoas a óbito, também resultou em novas análises e reformulações da legislação a respeito da Segurança Contra Incêndio.

Os gases tóxicos presentes em situações de incêndio são inúmeros e sua ocorrência depende de diversos fatores, como a temperatura, a natureza do combustível e a concentração de oxigênio do local. A inalação destes químicos possui uma variedade de reações, como dores de cabeça, náuseas, irritação das vias respiratórias ou até inconsciência completa e morte (SUMI e TSUCHIYA, 1971).

Um estudo nesta área, feito por Bearl e Halpin (1980), analisou a morte de 463 vítimas de incêndios no estado de Maryland, nos Estados Unidos, entre 1972 e 1977. Segundo os pesquisadores, 58% das mortes foram derivadas da inalação de monóxido de carbono. Além disso, 16% das vítimas possuíam níveis de intoxicação não letais de CO, mas que, ao serem combinados com a inalação de ácido cianídrico e doenças pré-existentes, foram mortais.

O Instituto-Geral de Perícias (2013) confirmou, através dos laudos de necropsia, que a grande maioria das mortes do incêndio na boate Kiss em janeiro de 2013, no Rio Grande do Sul, foram causadas pela inalação de cianeto e monóxido de carbono, liberados pela queima da espuma de poliuretano usada como revestimento acústico no local. A Comissão Especial do Crea-RS (2013), que analisou as causas da tragédia, apontou que a legislação era falha quanto às medidas necessárias para evitar a propagação de fumaça em situações de incêndio, seja por sistemas de exaustão e ventilação ou por meio do controle dos materiais de revestimento e acabamento. Somente após a tragédia na boate Kiss essas medidas passaram a ser consideradas de forma prescritiva no Rio Grande do Sul, a partir da Lei Complementar nº 14376, de dezembro de 2013.

Um outro exemplo trágico onde os gases nocivos também contribuíram para óbitos foi o incêndio no Centro de Treinamento do Flamengo. Presente nos painéis sanduíche de divisórias internas do alojamento do Centro de Treinamento, o poliuretano foi responsável pelas 10 vítimas fatais no incêndio do Ninho do Urubu, em fevereiro de 2019 (LUCHESE e DUARTE, 2019).

Em Londres, placas de alumínio com núcleo de polietileno altamente inflamáveis existentes na fachada da Grenfell Tower ocasionaram a propagação do incêndio rapidamente, impedindo a evacuação dos habitantes. A tragédia, de junho de 2017, culminou em mais de 70 mortes (DUARTE, 2017). O gás tóxico liberado pela fumaça do material do núcleo das placas da fachada favoreceu o elevado número de óbitos nessa tragédia.

Carlo (2008) acredita que, para países em desenvolvimento, é comum a falta de literatura na área de SCI. Isso é visível ao analisar que, na maioria das normativas brasileiras, são referenciados ensaios e normas internacionais, como a ISO, ASTM e Eurocodes. No âmbito da emissão de gases tóxicos, é possível encontrar informações toxicológicas em bibliografias das áreas da saúde, como sintomas da exposição e tratamentos. Contudo, a literatura nacional carece de pesquisas a respeito do comportamento dos gases em incêndios, como são emitidos e quais as medidas protetivas.

Neste cenário surge a importância de um estudo aprofundado a respeito dos gases e vapores tóxicos liberados por materiais e equipamentos em uma situação de incêndio, de forma a apontar os riscos existentes e cuidados necessários, tanto em termos de projeto, como em termos de medidas de prevenção.

O objetivo deste trabalho é compilar informações sobre os gases nocivos emitidos em situações de incêndio e analisar como a legislação vigente no estado do Rio Grande do Sul responde a essas ameaças. Procura-se examinar a maneira, mesmo que indireta, de como e se as medidas de segurança contra incêndio corroboram com a inibição e propagação de vapores tóxicos ou, ainda, com a minimização do tempo de exposição a estes gases.

A etapa inicial do trabalho está relacionada com a descrição sucinta sobre os gases nocivos passíveis de serem liberados por materiais e equipamentos em situações de incêndio a partir de uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Na sequência, o trabalho envolverá a revisão das normativas atuais utilizadas no estado do Rio Grande do Sul, no intuito de identificar as medidas de segurança contra incêndio exigidas e analisar se as medidas contribuem de forma

direta ou indireta com a inibição ou mitigação dos efeitos causados pelos gases ou com a minimização da exposição dos usuários a estes gases.

2 GASES NOCIVOS

A variedade de gases nocivos que podem ser emitidos em cenários de incêndio é vasta, e decorrem principalmente da natureza do combustível, temperatura e ventilação do local incendiado. Os sintomas causados nos usuários também são diversos e podem variar em cada indivíduo, com possível intensificação em pessoas com problemas respiratórios crônicos (SUMI e TSUCHIYA, 1971).

Os efeitos que a inalação destes gases causa depende de sua concentração no ar. Além disso, quando o ser humano é exposto a múltiplos gases de forma simultânea, os impactos são potencializados (ROEGNER e MCCULLOUGH, 2000). É possível separar os gases emitidos entre irritantes e asfixiantes, de acordo com a maneira que atingem o organismo quando inalados (HARTZELL, 1996).

2.1 Gases asfixiantes

Os gases asfixiantes são aqueles que, de alguma maneira, dificultam ou impedem a distribuição de oxigênio nas células e tecidos do organismo. Os sintomas normalmente envolvem náuseas, dores de cabeça e até inconsciência e morte, de acordo com o tempo de exposição e a concentração (HARTZELL, 1996).

2.1.1 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é sabidamente o gás que origina mais mortes em situações de incêndio. Trata-se de um gás incolor, inodoro e sem sabor e presente em todos os incêndios. O CO é o produto da combustão incompleta de materiais orgânicos, naturais ou sintéticos, o que o torna presente em incêndios limitados pela disponibilidade de oxigênio (ANTONIO, CASTRO e FREIRE, 2013).

O grande perigo do monóxido de carbono está na grande afinidade com as hemoglobinas, que é aproximadamente 220 vezes maior que a do oxigênio. Dessa maneira, o gás é rapidamente absorvido pelo organismo humano, produzindo a carboxi-hemoglobina, que inibe o fornecimento e transporte do oxigênio aos tecidos. (ÓRFÃO, 2011)

Os sintomas da intoxicação por CO ocorrem em diversas concentrações, dependendo das características do indivíduo. Náuseas, dores de cabeça, vômito e tontura são os mais prováveis de acontecer. A concentração do monóxido de carbono no ar superior a 1% pode ser letal em poucos minutos. A Tabela 1 apresenta informações sobre a concentração de CO e a relação com os possíveis sintomas em humanos (WAKEFIELD, 2010).

Tabela 1 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de CO.

CO (ppm)	CO NO AR (%)	SINTOMAS
100	0,01	Nenhum sintoma
200	0,02	Leve dor de cabeça, podendo ocorrer outros sintomas
400	0,04	Dor de cabeça após 1 ou 2 horas
800	0,08	Dor de cabeça após 45 minutos. Náuseas, colapso e inconsciência, após 2 horas.
1000	0,1	Risco de ocorrer a inconsciência após 1 hora.
1600	0,16	Dor de cabeça, tontura, náuseas após 20 minutos.
3200	0,32	Dor de cabeça, tontura, náuseas após 5 ou 10 minutos, e inconsciência, após 30 minutos.
6400	0,64	Dor de cabeça e tontura após 1 ou 2 minutos, inconsciência, após 10 ou 15 minutos.
12800	1,28	Inconsciência imediata, perigo de morte entre 1 e 3 minutos.

Fonte: Malheiro, 2001.

2.1.2 Dióxido de carbono

Em casos de incêndio, o dióxido de carbono é gerado em grandes quantidades. Sua toxicidade, porém, é inferior à do monóxido. Este gás também é gerado a partir da queima de materiais orgânicos, mas ocorre quando o processo de combustão é completo. A inalação do CO₂ também produz carboxi-hemoglobina, mas com uma ligação menos intensa quando comparada à ocasionada pelo CO (HARTZELL, 1996).

A intoxicação por CO₂ resulta em aumento da frequência e intensidade respiratória, seguido por náuseas e dores de cabeça. Com a concentração acima de 10% no ar, o gás é capaz de ocasionar morte por asfixia dependendo do tempo de exposição (WHITE MARTINS, 2001). Wakefield (2010) frisa que a maior ameaça, entretanto, é a asfixia mecânica, acarretada pelo fato de o CO₂ ocupar o lugar do oxigênio na atmosfera e ser gerado em abundância nas situações de incêndios. A Tabela 2 apresenta os sintomas de acordo com a concentração de CO₂ no ar.

Tabela 2 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de CO₂.

CO₂ (ppm)	CO₂ NO AR (%)	SINTOMAS
10000	1	A taxa de respiração aumenta levemente
20000	2	A taxa de respiração aumenta em 50% acima do nível normal. Exposição prolongada causa dor de cabeça e fadiga
30000	3	A taxa de respiração aumenta duas vezes acima da normal e se torna difícil. Efeito narcótico suave. Prejudica a audição, causa dor de cabeça, aumento da pressão sanguínea e taxa de pulsação.
40000 a 50000	4 a 5	A taxa de respiração aumenta a aproximadamente 4 vezes acima do normal, sintomas de intoxicação se tornam evidentes, e um leve sufocamento pode ser sentido.
50000 a 100000	5 a 10	Considerável odor pungente. Respiração muito difícil, dor de cabeça, confusão visual e zumbido nos ouvidos. Pode ser prejudicial, seguido por perda da consciência.
500000 a 10000000	50 a 100	A inconsciência ocorre mais rapidamente acima de 10%. Exposições prolongadas a altas concentrações pode resultar em morte por asfixia.

Fonte: White Martins, 2001.

2.1.3 Ácido Cianídrico

Também conhecido como cianeto de hidrogênio, o HCN se faz presente nos incêndios devido à queima de combustíveis com nitrogênio em sua composição, como vários materiais sintéticos (lã, nylon, seda, plásticos, tecidos e resinas). Normalmente aparece em baixa quantidade, mas sua alta toxicidade – aproximadamente 20 vezes maior que a do CO – faz com que o ácido cianídrico seja caracterizado pelo alto poder de asfixia. (BRASIL, 2015)

A intoxicação por HCN resulta em náuseas, vertigem, confusão, taquicardia e hipertensão em baixas concentrações ou exposições. Em situações graves, pode ocasionar convulsões, arritmia cardíaca, depressão respiratória e coma profundo (SILVA *et al.*, 2019). A Tabela 3 indica os efeitos da inalação de HCN de acordo com a sua concentração no ar.

Tabela 3 - Relação entre concentração e sintomas da inalação de HCN

HCN (ppm)	HCN NO AR (%)	SINTOMAS
500 a 1000	0,05 a 0,1	Cefaleia Náuseas Estado mental alterado Ansiedade Taquipneia Hipertensão
2000 a 3000	0,2 a 0,3	Dispneia Bradycardia Hipotensão Arritmia
acima de 3000	acima de 0,3	Coma profundo Pupilas Fixas, não reativas Colapso cardiovascular Depressão respiratória Isquemia do miocárdio Arritmias cardíacas

Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, 2019; Antonio, 2013.

2.2 Gases irritantes

Wakefield (2010) mostra que os gases irritantes normalmente atingem os olhos, a pele o trato respiratório superior, quando em contato com o organismo. Quando solúveis em água, afetam principalmente a boca, o nariz e a garganta. Os sintomas iniciais são de ardência e queimação, podendo causar inflamações e problemas mais graves quando em altas concentrações ou exposições prolongadas. O autor ainda ressalta que, ao mesmo tempo que este tipo de gás pode alertar os ocupantes sobre a presença de gases invisíveis, os efeitos da exposição, principalmente quando causam irritação nos olhos, pode dificultar a visibilidade e retardar a evacuação.

2.2.1 Ácido clorídrico

O ácido clorídrico (HCl) é produzido na combustão de materiais com cloro na sua composição, que é o caso de alguns polímeros, como o policloreto de vinila (PVC). Experimentalmente, foi descoberto que o PVC pode liberar até 50% do seu peso em ácido clorídrico (MORONGIU *et al.*, 2003).

Quando inalado, atinge principalmente os olhos, a pele e as vias respiratórias. Baixas concentrações deste gás já são capazes de gerar incômodos. Estudos do International Programme on Chermical Safety (1982) revelam que exposições prolongadas à 35ppm de ácido clorídrico provocam espirros, dores no peito, rouquidão, laringite e sensações de sufocamento. Com concentração entre 50 e 100ppm, o HCl tem potencial corrosivo nas vias aéreas. O Department of Health (1996) alerta que, em casos extremos, com teores do gás acima dos 1000ppm, breves exposições podem ser fatais.

2.2.2 Acroleína

A acroleína (C₃H₄O) é um aldeído que está presente em quantidades significativas quando há queima de materiais à base de celulose, como madeiras, algodão e papéis. (ZIKRIA; FERRER; FLOCH, 1972). Além disso, a combustão de óleos, gorduras e alguns polietilenos encontrados em tecidos também têm a acroleína como produto (BASTOS, 2014).

A exposição a este gás gera irritações intensas na pele, olhos e trato respiratório superior. Os sintomas podem ser manifestados com concentrações de 0,5 ppm. Exposições prolongadas

podem causar edema pulmonar, que pode não se manifestar após horas da exibição. Em concentrações superiores a 2ppm, o ambiente se torna insuportável, e acima dos 10ppm é letal em poucos minutos (WAKEFIELD, 2010).

2.2.3 Amônia

Proveniente da queima de materiais constituídos por nitrogênio, como carvão, papel e madeiras, a amônia (NH_3) é um gás tóxico irritante e um potente corrosivo. Atua fortemente nas mucosas oculares, acarretando distúrbio das vias lacrimais e respiratórias. (WAKEFIELD, 2010).

Estudos da toxicidade deste gás da United States Department of Health & Human Services (HHS,2004) informam que a partir de 30ppm os sinais de intoxicação por amônia podem ser manifestados no corpo humano. Em 50ppm os efeitos são intensificados e, acima dos 100ppm, a frequência respiratória é elevada. As chances de contrair edema pulmonar é diretamente proporcional ao teor do gás na atmosfera. Acima dos 5000ppm, a inalação de amônia é letal em minutos.

2.2.4 Óxidos de nitrogênio

Existe uma variedade de óxidos de nitrogênio que podem ser produzidos em situações de incêndio, mas as formas mais comuns são o monóxido de dinitrogênio (N_2O), o óxido de nitrogênio (NO), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4). Com grande toxicidade, o dióxido é formado a partir da ligação do NO liberado na combustão com o oxigênio presente na atmosfera (SUMI e TSUCHIYA, 1971). Isso ocorre pode ocorrer quando há a queima de carvão, materiais em madeira, óleos, tintas e vernizes (WAKEFIELD, 2010).

No organismo humano, o NO_2 reage com a umidade presente nas mucosas das vias aéreas superiores, formando ácidos nítrico e nitroso, que tem ação irritante no sistema respiratório. Exposições prolongadas, mesmo que em baixas concentrações, possibilitam o surgimento de edemas pulmonares (WAKEFIELD, 2010). A Tabela 4 mostra como os sintomas se relacionam com a concentração de NO_2 no ar.

Tabela 4 – Relação entre concentração e sintomas da inalação de NO₂

NO₂ (ppm)	NO₂ NO AR (%)	SINTOMAS
62	0,0062	Imediata irritação na garganta
117 a 154	0,0117 a 0,0154	Perigoso mesmo em exposições breves
240 a 775	0,024 a 0,0775	Rapidamente fatal em breves exposições

Fonte: Adaptado de Sumi e Tsuchiya, 1971.

2.2.5 Formaldeído

Assim como a acroleína, o formaldeído (CH₂O) é gerado a partir da combustão de madeiras, algodão e papel. Além disso, também está presente em alguns tipos de colas, resinas e corantes. Trata-se de um gás irritante, incolor, inflamável e extremamente tóxico. A exposição e inalação deste químico pode causar danos à pele, aos olhos, à garganta e aos pulmões (NIOSH, 2019).

Entre 0,2 e 3ppm, o formaldeído causa irritações nos olhos e no trato respiratório. Quando em altas concentrações, tem potencial para causar broncoespasmos, dispneia e disfonia espasmódica, que é a contração involuntária dos músculos da laringe. Acima dos 50 ppm é capaz de acarretar pneumonia, edemas e inflamações pulmonares. Concentrações superiores a 100ppm são letais em poucos minutos (WAKEFIELD, 2010).

2.2.6 Fosgênio

Também com ação irritante, o fosgênio (COCl₂) é um gás incolor e com odor forte, que se assemelha com palha mofada. Este gás é produto da combustão de químicos clorados, como alguns produtos de limpeza, e também é gerado em baixas quantidades na queima de polímeros clorados, como o PVC (ROEGNER e MCCULLOUGH, 2000).

O potencial irritante do fosgênio existe, mas é baixo, o que possibilita a inalação de grandes concentrações antes que seja perceptível. O risco da exposição a este gás está na reação com o trato respiratório inferior. Em contato com a umidade, o fosgênio lentamente forma ácido clorídrico e dióxido de carbono nos pulmões, possibilitando a ocorrência de sintomas mesmo

horas após a exposição. Os efeitos normalmente envolvem dores torácicas, tosse e dificuldade respiratória e, no caso de grandes concentrações, edemas pulmonares. (ROEGNER e MCCULLOUGH, 2000 e WAKEFIELD, 2010).

3 RELAÇÃO ENTRE O PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E OS GASES NOCIVOS

3.1 Importância das medidas de segurança contra incêndio com a emissão de gases nocivos

Hanson, Milke e Mizrach (2013) realizaram um estudo sobre o desempenho de chuveiros automáticos e detectores de fumaça em situações de emergência através da análise de dados do National Fire Incident Reporting System (NFIRS) entre 2003 e 2010, que envolvem 55.846 incêndios em áreas comerciais e industriais e 447 vítimas, entre fatais e não-fatais. Os cenários analisados abrangem edificações sem equipamentos de combate ao incêndio, com chuveiros automáticos, com detectores de fumaça e com ambos os dispositivos.

Além disso, os incidentes foram classificados entre queimaduras, inalação de fumaça tóxica e a combinação de ambos quando confinados no local de origem do incêndio. Para os espaços adjacentes não houve diferenciação das vítimas. A partir disso, foram comparadas as taxas de vítimas em cada situação com a presença dos dispositivos de segurança contra incêndio.

Nos edifícios comerciais analisados, a presença dos equipamentos de proteção acarretou na redução de pelo menos 10% do número de vítimas quando comparadas com edificações desprovidas destes instrumentos. Em alguns casos, como a taxa de incidentes por inalação de fumaça tóxica, a redução chegou a 50%. Nas ocupações industriais, os detectores de fumaça tiveram desempenho notável, já que reduziram em pelo menos dois terços o número de casualidades causadas por queimaduras. Os danos causados pela absorção de gases tóxicos ou aqueles distantes do local de origem foram reduzidos em aproximadamente trinta vezes.

3.2 Medidas de segurança contra incêndio e a relação com os gases nocivos

Nas edificações, as medidas de segurança contra incêndio podem ser divididas entre ativas e passivas. As ativas são sistemas de proteção acionados em situações de emergência, seja por ação humana ou por dispositivos automáticos, como os extintores, chuveiros automáticos, alarme, detecção, hidrantes e controle de fumaça. As medidas passivas, por sua vez, são incorporadas ao edifício, a fim de inibir a propagação do incêndio e proteger a estrutura e as rotas de fuga, no intuito de garantir a evacuação segura e eficiente, e não necessitam de ação humana ou automatizada para seu funcionamento. Compartimentação vertical e horizontal, segurança estrutural e controle de materiais de revestimento e acabamento são exemplos de medidas passivas de segurança contra incêndio.

As medidas de segurança contra incêndio passíveis de serem exigidas pela legislação do Rio Grande do Sul podem ser consultadas nas tabelas 5 e 6 do Decreto N.º 51.803, de 10 de setembro de 2014 (e suas atualizações), e dependem da altura, área, ocupação e grau de risco de incêndio de cada edificação. Na sequência serão apresentadas cada uma das medidas de segurança e será feita uma análise de uma possível relação, seja ela direta ou indireta, com a emissão, propagação e minimização dos efeitos dos gases nocivos em situação de incêndio.

Frisa-se, nesta pesquisa, que as medidas de segurança contra incêndio não agem de forma individual na proteção de uma edificação, e sim de forma sistêmica considerando todas as demais medidas que são consideradas no projeto de segurança contra incêndio. A Figura 1 mostra como as medidas de segurança contra incêndio, em conjunto, conseguem agir em diferentes etapas de um incêndio.

Figura 1 – A ação sistêmica das medidas de segurança em edificações



Fonte: Adaptado de Hults, 2019.

3.2.1 Brigada de incêndio e plano de emergência

A brigada de incêndio é um grupo de pessoas, voluntárias ou não, qualificadas para atuar no controle e proteção da vida e patrimônio em situações de emergência. A composição, treinamento e atividades exercidas pela brigada de incêndio devem seguir as exigências da Resolução Técnica nº 15 – Parte 01 (CBMRS, 2022), e consideram a classe de ocupação, o risco de incêndio, a população e área construída do edifício.

O plano de emergência, elaborado de acordo com a NBR 15219 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), no estado do Rio Grande do Sul, é essencial para garantir eficiência na atuação da brigada de incêndio, pois é o documento que aponta as características do imóvel, a análise de risco e, de acordo com as hipóteses acidentais do local, os procedimentos a serem seguidos em situações de emergência. É função da brigada a realização de atividades de ensino para os usuários, inspeções regulares nas rotas de fuga e equipamentos de emergência, identificar os perigos e apresentar sugestões de melhorias caso necessário, combate ao princípio de incêndio, atendimento de primeiros-socorros, auxílio no processo de evacuação e contato com o corpo de bombeiros. Em situação de incêndio, a prioridade destas atividades é determinada pelos procedimentos de segurança contidos no plano de emergência.

É notório que essas medidas de segurança estão relacionadas com procedimentos de prevenção e combate ao incêndio e de evacuação do edifício. Dessa maneira, a brigada de incêndio e o plano de emergência contribuem indiretamente para a mitigação dos efeitos causados pelos gases tóxicos. A atuação dessas medidas em situação de emergência, seja no combate ou na evacuação, reduz o tempo de exposição dos usuários aos gases tóxicos e cessa o desenvolvimento do fogo e, conseqüentemente, a emissão dos gases. As medidas de Brigada de Incêndio e Plano de Emergência estão relacionadas diretamente com os procedimentos de prevenção, combate inicial e evacuação apresentados na Figura 1.

3.2.2 Detecção e alarme de incêndio

O sistema de detecção e alarme de uma edificação é essencial para garantir a segurança dos ocupantes. No Rio Grande do Sul, o dimensionamento desses sistemas é guiado pela NBR 17240 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), e são baseados na operação de dispositivos de detecção, que monitoram a temperatura, a fumaça e, em alguns

casos, a presença de chama no ambiente, que acionam o alarme em caso de alteração na leitura de algum aparelho, possibilitando a evacuação da população e a atuação da brigada de incêndio no combate ao princípio de incêndio.

O sistema de alarme ainda pode ser ativado através do acionador manual, que atua através da interferência humana. Os acionadores devem ser instalados de forma distribuída e acessível, em locais de trânsito de pessoas, no intuito de acelerar o alerta de incêndio. Em edifícios com múltiplos pavimentos, é necessário ao menos um acionador manual por andar.

A velocidade de identificação do incêndio influencia diretamente nas medidas de combate, pois quanto antes forem iniciados os procedimentos de combate, mais eficiência terá a operação, visto que a intensidade do incêndio aumenta com o passar do tempo. O combate inicial eficaz inibe a emissão de gases tóxicos no princípio do incêndio, impedindo que esses gases alcancem concentrações e locais prejudiciais à vida dos ocupantes.

De maneira semelhante, os processos de evacuação são afetados pelos sistemas de alarme e detecção. A desocupação do edifício, quando iniciada no estágio inicial do incêndio, provoca um menor tempo de exposição da população aos gases nocivos liberados, em razão do desenvolvimento do incêndio e propagação de fumaça reduzidos nesta fase. As medidas de detecção e alarme de incêndio estão relacionadas com os procedimentos de detecção exibidos na Figura 1.

3.2.3 Extintores

Extintores de incêndio são destinados a combater princípios de incêndio. Sua eficácia depende, contudo, do tipo de incêndio, dos riscos da edificação, do tipo e capacidade do extintor e da sua instalação. No estado do Rio Grande do Sul, a Resolução Técnica nº 14 (CBMRS, 2016) estabelece os critérios necessários de seleção e distribuição dos extintores em uma edificação para garantir proteção contra incêndio.

É necessária atenção nas análises das classes de risco da edificação, pois definirá quais as classes de extintores necessárias para combater os princípios de incêndio. Um erro na escolha do agente extintor pode provocar um combate ineficaz, e tem potencial para aumentar e espalhar as chamas. A distância máxima percorrida para alcance de um extintor também merece destaque no dimensionamento dessa medida de segurança, pois interfere diretamente no tempo de

combate ao incêndio. Isto influencia diretamente na efetividade do combate ao incêndio, uma vez que distribui os equipamentos extintores de forma que sejam acessíveis rapidamente.

Como citado anteriormente, o combate inicial se relaciona com a produção dos gases nocivos, cessada uma vez que o incêndio é extinguido. Sendo assim, a utilização de extintores no combate ao princípio de incêndio atua de modo indireto na inibição da emissão de gases e vapores tóxicos. A utilização dos extintores está associada diretamente com os procedimentos de combate inicial apresentados na Figura 1.

3.2.4 Hidrantes, mangotinhos e chuveiros automáticos

Além dos extintores, existem outras medidas de combate ao princípio de incêndio. O sistema de hidrantes e mangotinhos é composto pelo reservatório de água, canalização resistente ao fogo, bombas de pressurização, válvula de saída de água e conjunto de mangueiras, chaves e esguichos para a operação, que devem ser dimensionados de acordo com a NBR 13714 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000), seguindo a legislação do Rio Grande do Sul. A função principal está na supressão do fogo através da água.

O sistema de mangotinhos contém uma mangueira semirrígida enrolada em um carretel. É empregado em edifícios cuja ocupação está, em geral, relacionada a um baixo risco de incêndio. O sistema de hidrantes deve ser acionado por brigadistas, bombeiros ou pessoas treinadas e familiarizadas com o uso do equipamento, devido a uma maior dificuldade de manuseio. A vazão, no entanto, é bastante superior, o tornando útil no combate de princípios de incêndios de dimensões maiores e está associado a edificações com maiores riscos de incêndio.

Os chuveiros automáticos, por sua vez, destacam-se pela rápida reação ao fogo. Através de elementos termo-sensíveis, os chuveiros são acionados em segundos quando há incêndio, devido ao aumento da temperatura do local. Dessa maneira, trata-se de um sistema que opera não só no combate ao princípio de incêndio, mas também na rápida inibição da sua propagação.

A água como agente extintor é capaz de lavar as partículas maiores da fumaça, tornando-a menos densa e tóxica. Além disso, o resfriamento causado na fumaça também diminui os efeitos da sua inalação. O sistema de sprinklers atua no incêndio recém iniciado devido ao acionamento automático e, por conseguinte, os gases e a fumaça emitidos são reduzidos. O estudo de Hanson, Milke e Mizrach (2013) comprova a efetividade deste sistema na redução de

acidentes tanto por queimaduras, como pela inalação da fumaça tóxica. Os sistemas de hidrantes, mangotinhos e chuveiros automáticos estão diretamente relacionados com os procedimentos de combate inicial apresentados na Figura 1 e, portanto, atuam indiretamente no controle da emissão dos gases nocivos.

3.2.5 Controle de fumaça

Entre as medidas protetivas ativas, o controle de fumaça é a mais valorosa no combate aos vapores tóxicos em situações de incêndio. O dimensionamento da medida de controle de fumaça, no Rio Grande do Sul, é guiado pela Instrução Técnica nº 15 (CBPMESP, 2019), busca reduzir a propagação dos gases para as áreas adjacentes à incendiada. É responsável, portanto, pela remoção da fumaça tóxica e inserção de ar limpo, garantindo segurança durante a evacuação do edifício sob cenário de emergência. A extração da fumaça da edificação reduz significativamente a exposição da população aos gases tóxicos em cenário de emergência.

O sistema de retirada da fumaça pode ser natural ou mecânico e deve estar conectado ao sistema de detecção de incêndio. O aumento da altura de pé-direito também é um método de controle de fumaça, visto que, devido à alta temperatura e baixa densidade, a fumaça é acumulada na parte superior do local sinistrado. O tipo e os locais que necessitam desse sistema dependem da ocupação do edifício.

O dimensionamento dos sistemas de exaustão de acordo com a Instrução Técnica nº 15 (CBPMESP, 2019) deve considerar uma camada livre de fumaça de pelo menos 2,20 m, que também atua diretamente na redução na inalação dos gases tóxicos presentes na fumaça durante a situação de emergência. Além disso, a alta camada livre de fumaça impede que a fumaça prejudique a visibilidade da população durante a desocupação. A medida de controle de fumaça está diretamente associada ao processo de evacuação exibido na Figura 1.

3.2.6 Saídas, sinalização e iluminação de emergência

De acordo com a Resolução Técnica nº 11 – Parte 01 (CBMRS, 2016), documento responsável pela regulamentação e dimensionamento das saídas de emergência no Estado do Rio Grande do Sul, compreende uma saída de emergência um caminho contínuo, constituído por dispositivos de saídas, como portas, passagens, balcões, rampas e escadas, por exemplo, a

ser percorrido pelos ocupantes em caso de incêndio ou outra emergência, a partir de qualquer ponto da edificação, até atingir espaço externo livre e seguro.

As saídas de emergência devem garantir que a população do edifício possa abandoná-lo em caso de incêndio ou pânico com proteção à integridade física. Para isso, são dimensionadas no intuito de desocupar a edificação no menor tempo possível, o que previne ou minimiza o contato com os vapores tóxicos presentes no incêndio. As larguras e as distâncias máximas a serem percorridas impostas pela Resolução Técnica nº 11 – Parte 1 também ratifica o objetivo de acelerar a evacuação das edificações.

É notório o objetivo desta medida de reduzir o tempo de permanência da população no edifício, e isso implica indiretamente a mitigação dos efeitos dos gases tóxicos, pois limita o tempo de exposição ao calor e fumaça e, conseqüentemente, aos gases nocivos. As edificações mais altas ou com risco de incêndio elevado possuem as rotas de fuga compartimentadas, caixa da escada e portas resistentes ao fogo e, em alguns casos, sistemas de extração de fumaça. Isso faz com que, assim que acessarem as rotas de evacuação do edifício, os ocupantes estão seguros quanto à exposição aos gases, gerando rapidez e eficácia no processo de desocupação.

De maneira análoga às saídas, a sinalização e a iluminação de emergência têm a intenção de tornar mais efetiva a resposta ao incêndio, seja de evasão, através da iluminação e indicações da rota de fuga e alarmes, ou até de combate, através da sinalização dos equipamentos extintores. Conseqüentemente, atuam também na redução do tempo de exposição aos agentes nocivos da fumaça. Outro ponto que merece destaque é que o desempenho dos equipamentos de iluminação e sinalização de emergência depende da sua instalação na faixa de altura livre de fumaça, impedindo que sejam obstruídos pela fumaça. As saídas, iluminação e sinalização de emergência estão associadas diretamente com os procedimentos de evacuação presentes na Figura 1.

3.2.7 Controle de materiais de acabamento e revestimento (CMAR)

No âmbito da inibição da emissão e propagação dos gases tóxicos, é importante destacar a medida de Controle de materiais de acabamento e revestimento. Para a execução do CMAR, seguindo a legislação do Rio Grande do Sul, é preciso observar Instrução Técnica nº 10 (CBPMESP, 2019). Este controle é exigido nos acabamentos e revestimentos de piso, paredes

e divisórias, teto, forro e coberturas, além dos materiais termoacústicos incorporados na edificação.

A caracterização dos materiais é feita a partir de ensaios que verificam a combustibilidade, a propagação superficial da chama, a densidade ótica da fumaça, a densidade crítica do fluxo de energia térmica, a ignitabilidade, os índices de desenvolvimento e propagação do fogo e fumaça, a liberação de calor e o gotejamento ou desprendimento do material em chamas.

É de suma importância ressaltar que os ensaios de análise do desempenho ao fogo dos materiais de acabamento e revestimento, no que tange a este procedimento normativo (Instrução Técnica 10/2019 - CBPMESP) não avaliam a emissão de gases nocivos, mas sim a quantidade de fumaça que é liberada, seja por meio do parâmetro da densidade ótica de fumaça para os pisos e demais materiais, ou por meio da quantidade total de fumaça liberada durante o ensaio e da taxa de liberação de fumaça para materiais especiais que possuem miolo combustível, várias camadas que excedem 25 mm ou que sofrem retração abrupta. A partir desses parâmetros, é possível analisar como a combustão dos materiais pode interferir na visibilidade das rotas de fuga e, conseqüentemente, no tempo de evacuação. Materiais que liberam muita fumaça são classificados como B, enquanto materiais que liberam valores mais baixos de fumaça são classificados como A. A medida de CMAR, quando exigida pela legislação, aponta a necessidade de que todos os materiais incorporados no interior de uma edificação sejam do tipo A. Materiais do tipo B podem ser empregados apenas na fachada da edificação.

O CMAR é a medida que mais está relacionada com a emissão de fumaça e com os gases nocivos, este último não de forma direta. Restringindo-se o uso de materiais que liberam muita fumaça, restringe-se também a quantidade de fumaça liberada e, por consequência, a quantidade de gases nocivos. O CMAR está relacionado diretamente com os procedimentos de evacuação que estão apresentados na Figura 1.

3.2.8 Compartimentação e segurança estrutural

A compartimentação é uma medida de proteção passiva que objetiva o confinamento do incêndio no local de origem, ou seja, busca evitar a propagação do fogo e calor, e deve seguir os parâmetros exigidos pela Instrução Técnica nº 09 (CBPMESP, 2019). A compartimentação horizontal é responsável pela inibição do desenvolvimento do incêndio para outros ambientes

no mesmo pavimento. Já a compartimentação vertical atua vetando a propagação do incêndio para os pavimentos adjacentes ao de origem.

A técnica de compartimentação é constituída por uma série de elementos construtivos, como portas, vedadores, registros, entrepisos e selos corta-fogo, paredes de compartimentação, enclausuramento de elevadores e escadas.

Essa medida é extremamente relevante em cenários de incêndio, uma vez que também protege as rotas de fuga em situações de fogo generalizado em um pavimento ou compartimento. Aliado a isso, a cessão do desenvolvimento do incêndio para outros compartimentos minimiza a propagação de gases tóxicos.

A segurança estrutural opera na preservação dos elementos estruturais e de compartimentação, a partir da análise dos tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF). O propósito, então, é garantir que a estrutura suporte o incêndio no período da evacuação das pessoas e das operações do Corpo de Bombeiros, mesmo em situações de incêndio generalizado. Não existe relação da segurança estrutural com os gases nocivos. Apesar de indicadas nas etapas posteriores à evacuação na Figura 1, as medidas de segurança estrutural e compartimentação atuam em todas as etapas do incêndio, visto que são medidas de segurança passivas, incorporadas à edificação.

3.2.9 Acesso de viaturas

O acesso de viaturas é uma medida de proteção passiva que estabelece as dimensões mínimas das vias e acessos do edifício através da Instrução Técnica nº 06 (CBPMESP, 2019), seguindo a legislação do Rio Grande do Sul. O objetivo é possibilitar a atuação do Corpo de Bombeiros no local, que é responsável não só pelo exercício de combate ao incêndio, mas também de salvamento e procedimentos de primeiros-socorros.

Esta medida de segurança está relacionada com a emissão de gases tóxicos através das atividades do corpo de bombeiros. As técnicas de combate são responsáveis pela inibição do desenvolvimento do incêndio e, conseqüentemente, da emissão de gases nocivos. Os procedimentos de salvamento, por sua vez, são baseados na extração da população do edifício em chamas, que interrompe a exposição aos gases e possibilita o tratamento dos que sofreram os efeitos dos agentes nocivos do incêndio. O acesso de viaturas está relacionado diretamente com os procedimentos de combate ao incêndio que estão apresentados na Figura 1.

3.3 Mecanismo de atuação das medidas de segurança contra incêndio no combate aos gases nocivos

A partir dessas informações, foi possível relacionar as medidas de segurança contra incêndio e com a forma que essas medidas atuam nas situações de incêndio e métodos de contribuição com a redução dos impactos dos gases nocivos nos usuários das edificações. Essa relação está apresentada nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Relação das medidas de segurança contra incêndio com o mecanismo principal de atuação em uma situação de incêndio.

Medidas de segurança contra incêndio	Mecanismos de atuação			
	Prevenção do incêndio	Combate ao princípio de incêndio	Remoção ou redução da fumaça	Acelera a evacuação
Brigada de incêndio	X	X		X
Plano de emergência	X			X
Detecção e alarme				X
Extintores		X		
Hidrantes e mangotinhos		X	X	
Chuveiros automáticos		X	X	
Controle de fumaça			X	
Saídas de emergência				X
Iluminação de emergência				X
Sinalização de emergência				X
CMAR			X	
Compartimentação			X	
Segurança estrutural				
Acesso de viaturas		X		X

Fonte: o Autor (2023).

Tabela 6 – Relação das medidas de segurança contra incêndio com os gases nocivos.

Medidas de segurança contra incêndio	Efeitos causados aos gases nocivos			
	Controle/inibição da emissão	Reduz ou impede a propagação	Reduz o tempo de exposição	Nenhuma relação
Brigada de incêndio	X	X	X	
Plano de emergência	X	X	X	
Detecção e alarme			X	
Extintores	X	X		
Hidrantes e mangotinhos	X	X		
Chuveiros automáticos	X	X		
Controle de fumaça		X	X	
Saídas de emergência			X	
Iluminação de emergência			X	
Sinalização de emergência			X	
CMAR	X	X		
Compartimentação		X	X	
Segurança estrutural				X
Acesso de viaturas	X	X	X	

Fonte: o Autor (2023)

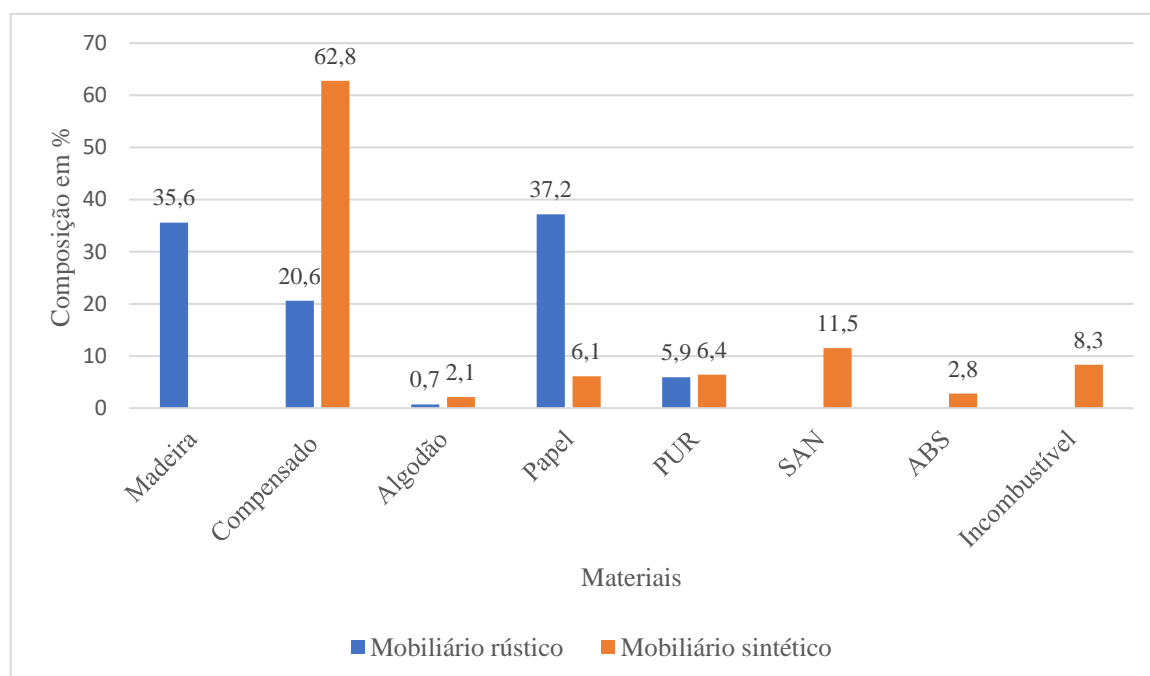
Foi demonstrado, através das Tabela 5 e 6, que as medidas de segurança contra incêndio exigidas pela legislação do Rio Grande do Sul atuam em todos os mecanismos de atuação que estão associados aos gases nocivos, com concentração ligeiramente superior na redução do tempo de exposição. As medidas de segurança que os atingem de forma mais direta, por sua vez, estão associadas a remoção ou redução da fumaça tóxica, visto que é ela que carrega os gases nocivos ao organismo humano, além de diversos outros materiais particulados irritantes.

Também é importante frisar que a única medida que opera no objetivo de inibir a emissão destes gases é o controle de materiais de revestimento e acabamento, através da restrição de formação de fumaça. As medidas de combate ao incêndio atuam de maneira indireta, na inibição da emissão através da interrupção do incêndio. O restante das medidas age na mitigação dos efeitos causados pelos gases nocivos na população.

3.4 Emissão de gases nocivos e a relação com o mobiliário

Hoffman *et al.* (2020) fizeram um experimento para analisar o comportamento ao fogo de diferentes tipos de móveis e as consequências da evolução do incêndio. Esse trabalho mostra a problemática da emissão de gases tóxicos pelo mobiliário, cuja emissão de gases não é incluída, pelo menos diretamente, nos projetos de segurança contra incêndio. Foram montadas duas salas para o teste, uma com mobiliário rústico, composto principalmente por materiais a base de celulose, naturais, e outra com os móveis providos de tecnologias mais recentes, compostos por materiais sintéticos. A Figura 2 mostra a composição dos móveis em cada sala.

Figura 2 – Composição dos móveis das salas-teste.



Fonte: Adaptado de Hoffman *et al.*, 2020

Em seguida, o incêndio foi iniciado a partir da ignição de uma almofada de papel padronizada em cima de uma das poltronas da sala. Foram instalados medidores de temperatura nas alturas 1,25 m, 1,72 m e 2,63 m em todos os cômodos e medidores de concentração dos gases tóxicos a 1,25 m e 1,72 m de altura na sala adjacente à mobiliada. O teste foi feito inicialmente com as janelas fechadas e, posteriormente, com elas abertas (Hoffman *et al.*, 2020).

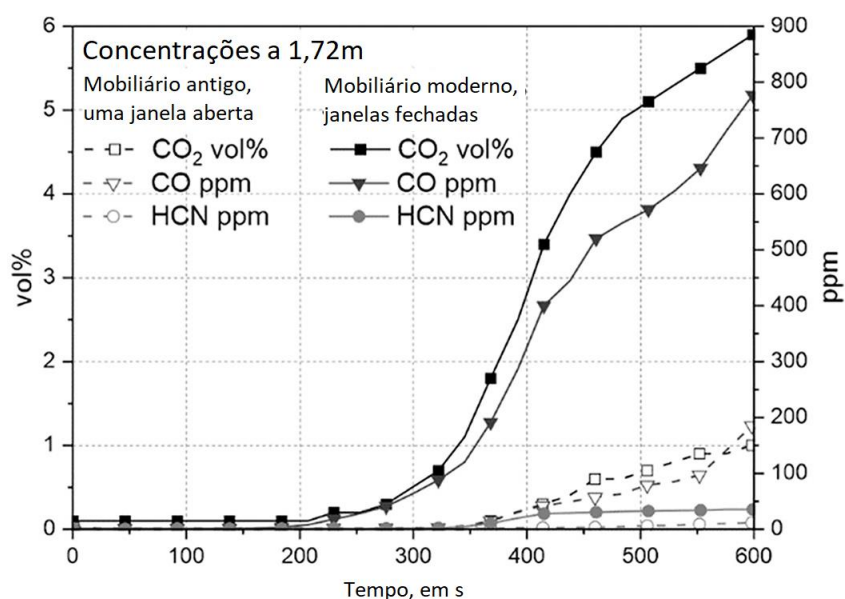
A temperatura no topo da sala com o mobiliário rústico e janelas fechadas atingiu aproximadamente 125 °C após quase 10 minutos da ignição inicial. A concentração dos gases medida na altura de 1,72 m resultou em 2,5% de CO₂ e 750ppm de CO após 25 minutos. Na sala composta por materiais modernos, a temperatura alcançou os 300 °C em aproximadamente

8 minutos. A concentração de CO₂ chegou próxima dos 8% e a de CO ultrapassou os 2000ppm (Hoffman *et al.*, 2020).

Repetindo os testes, mas com as janelas abertas, a queima do mobiliário rústico elevou a temperatura da sala a quase 700 °C em 25 minutos, enquanto as concentrações de CO₂, CO e HCN atingiram 18% e 2,5% e 2500ppm, respectivamente. No teste do mobiliário sintético, foram necessários apenas 10 minutos para a temperatura chegar a 600 °C (Hoffman *et al.*, 2020).

Apesar de ser clara a intensificação dos efeitos do incêndio na presença de ventilação, a comparação entre as concentrações de gases tóxicos mostra que a queima do mobiliário sintético com as janelas fechadas é significativamente mais perigosa do que o incêndio do material rústico, mesmo com uma janela aberta. A Figura 3 compara as concentrações dos gases na altura de 1,72m em cada sala (Hoffman *et al.*, 2020).

Figura 3 – comparação das concentrações de gases tóxicos com diferença na ventilação.



Fonte: Adaptado de Hoffman *et al.*, 2020

Outro ponto que merece destaque é o flashover. A partir da Figura 3, é possível perceber que ele acontece 5 minutos após a ignição inicial, que é um tempo bem curto, visto que o incêndio domina o ambiente todo. O Fire Safety Research Institute (2020) realizou um experimento no objetivo de analisar o tempo até o flashover de uma sala de estar montada com materiais sintéticos e comparar com uma com materiais naturais, de maneira semelhante ao estudo de Hoffman *et al.* (2020). Foram feitos múltiplos testes e, na sala com materiais

sintéticos, o tempo até o flashover variou entre 3 e 5 minutos, enquanto a maioria dos testes feitos na sala com equipamentos naturais durou mais de 30 minutos até que o fogo dominasse completamente o local.

Dessa maneira, fica evidente a amplificação dos riscos que novas tecnologias de equipamentos/mobiliários podem oferecer sem que haja os devidos testes e ensaios para caracterização do comportamento em situação de incêndio

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição aos vapores tóxicos e à fumaça em cenários de incêndio se mostra extremamente prejudicial, não só pelos sintomas da absorção no organismo em si, mas pelos efeitos que geram durante as situações de emergência, dificultando a visibilidade, a mobilidade e, por conseguinte, retardando a fuga e amplificando os riscos. Torna-se clara a necessidade de mobilização a respeito do tema e, principalmente, de pesquisas na busca por alternativas e medidas que operem diretamente no combate aos gases nocivos.

É perceptível que as normativas possuem mecanismos de defesa à propagação de fumaça, bem como apresentam medidas que auxiliam na diminuição da exposição à fumaça e, conseqüentemente, aos agentes nocivos associados a elas. As medidas de segurança contra incêndio, em geral, tendem a proteger a estrutura e as rotas de fuga, acelerar a evacuação e inibir a evolução do incêndio. A eficácia dos sistemas de alarme e detecção normalmente está relacionada com a velocidade de detecção e fuga. Quanto antes os ocupantes forem alertados, menor será o tempo de permanência deles na edificação e, conseqüentemente, as ameaças são minimizadas.

Apesar de atuarem de maneiras variadas, as medidas de segurança contra incêndio exigidas pela legislação do Rio Grande do Sul pouco intervêm na emissão dos gases nocivos. Somente através do controle de materiais de acabamento e revestimento, a emissão da fumaça é restringida e, conseqüentemente, a dos gases também.

As ausências de estudos e pesquisas no Brasil a respeito do comportamento dos gases tóxicos é responsável pela falta de preocupação com os materiais que os emitem quando incendiados. Como citado anteriormente, o cuidado com materiais combustíveis nas edificações

é feito através do CMAR, mas são incluídos neste controle somente os revestimentos e acabamentos. O mobiliário não é regulamentado e, devido à falta de conhecimento, as pessoas estão cada vez mais ocupando suas residências e locais de trabalho com móveis sintéticos e tecnológicos, que podem ser mais nocivos quando incendiados.

Como trabalhos futuros, sugere-se o estudar métodos de informar a população a respeito dos gases nocivos liberados em incêndios, para que conheçam as ameaças e as condutas necessárias na exposição a esses agentes. Recomenda-se, também, a avaliação minuciosa e, se necessária, a regulamentação da reação ao fogo dos materiais mais utilizados no mobiliário dos edifícios residenciais e comerciais, no intuito de buscar meios de proteção das novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, A. C. P.; CASTRO, P. S.; FREIRE, L. O. Lesão por inalação de fumaça em ambientes fechados: uma atualização*. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 39, n. 3, p. 373-381, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10897: Sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate de incêndio**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15219: Plano de emergência contra incêndio – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17240: Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2010.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Estados Unidos, 2004. **Toxicological profile for ammonia**. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>>. Acesso em 05 de ago. de 2023.

BASTOS, L. C. S.. **Estudo da formação de compostos carbonílicos, com ênfase em hidroxialdeídos α , β -insaturados, na fase líquida de óleo de soja aquecido e avaliação da influência de íons metálicos**. Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia. 2014. Repositório Institucional da UFBA. Disponível em <<https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/19141/1/Luciane%20Bastos%20tese%20final.pdf>>. Acesso em 11 de ago. de 2023.

BERL, W. G.; HALPIN, B. M. **Human Fatalities from Unwanted Fires**, Baltimore, Md: Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, EUA, 1979.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.115, de 19 de outubro de 2015. **Aprova o Protocolo de uso da hidroxocobalamina na intoxicação aguda por cianeto**. Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/ptbr/assuntos/protocolos-clinicos-e-diretrizes-terapeuticaspcdt/arquivos/2015/protocolouso_hidroxocobalamina_2015.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

CARLO, U. D. A segurança contra incêndio no Brasil. In: SEITO, A. I. (coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 9-17.

CERETTA, T. Perícia confirma que espuma da Kiss liberou cianeto durante incêndio. **G1**, Rio Grande do Sul, 19 de mar. de 2013. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/03/pericia-confirma-que-espuma-da-kiss-liberou-cianeto-durante-incendio.html>>. Acesso em 19 de ago. de 2023.

COMISSÃO ESPECIAL DO CREA-RS. **Relatório Técnico: análise do sinistro na Boate Kiss, em Santa Maria, RS.** Porto Alegre, 04 de fevereiro de 2013. Disponível em:< <https://www.crea-rs.org.br/site/documentos/documentos10/RELATORIO%20COMISSAO%20ESPECIAL%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 29/05/2020.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 06/2019 – Acesso de viatura na edificação e áreas de risco.** São Paulo, 2011.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 08/2011 – Resistência ao fogo dos elementos de construção.** São Paulo, 2011.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 09/2019 – Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical.** São Paulo, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 10/2019 - Controle de materiais de acabamento e de revestimento.** Diário Oficial do Estado. São Paulo, 2020.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 15/2019 - Controle de fumaça.** São Paulo, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Técnica de Transição.** Rio Grande do Sul, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Técnica nº 11/2016 – Saídas de emergência.** Rio Grande do Sul, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Técnica nº 14/2016 – Extintores de incêndio.** Rio Grande do Sul, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Técnica nº 15/2022 – Parte 01 – Brigada de incêndio.** Rio Grande do Sul, 2022.

DEPARTMENT OF HEALTH (DoH), **Health advisory group on chemical contamination incidents; Smoke toxins.** 1996.

DUARTE, F. Revestimento ‘culpado’ por tragédia em Londres também é usado no Brasil. **BBC**, Londres, 24 de jun. de 2017. Disponível em:< <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-40381485>>. Acesso em 28 de ago. de 2023.

FIRE SAFETY RESEARCH INSTITUTE. **New Comparison of Natural and Synthetic Home Furnishings.** Setembro, 2020.

HANSON, R. E.; MILKE, J. A.; MIZRACH, D. E. **Comprasion of the Life Safety Performance of Smoke Detectors and Sprinklers in Commercial, Industrial and Education Institution Housing.** Department of Fire Protection Engineering. University of Maryland. Agosto, 2013.

HARTZELL, G.E., Overview of combustion toxicology. **Toxicology**, 1996, v. 115:p.7-23.

HOFMANN, A.; KAUDELKA, S.; RABE, F.; GNUTZMANN, T.; KLIPPEL, A.. **Influence or modern furniture on the fire development in fires in homes: Large-scale fire tests in living rooms.** *Fire Mater.* 2021; **45**(1): 155-166.

HULTS, Q. de. **Advancing fire safety in buildings at the european level.** Modern Building Alliance, Position Paper, 2019.

LUCHESE, B; DUARTE, H. Peritos investigam se havia poliuretano na estrutura do contêiner que pegou fogo no CT do Flamengo. **G1**, Rio de Janeiro, 09 de fev. de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/02/09/peritos-investigam-se-havia-poliuretano-na-estrutura-do-container-que-pegou-fogo-no-ct-do-flamengo.ghtml>>. Acesso em 28 de ago. de 2023.

MALHEIRO, A. C. C. G. C. **Determinação espectrofotométrica da caboxiemoglobulinemia em indivíduos expostos ocupacionalmente ao monóxido de carbono.** 1991. Dissertação (Mestrado em Toxicologia e Análises Toxicológicas), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

MARONGIU, A.; FARAVELLI, T.; BOZZANO, G.; DENTE, M.; RANZI, E.. **Thermal degradation of polyvinyl chloride.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2003. 70(2): p. 519.2.

NIOSH – The National Institute for Occupational Safety and Health. Estados Unidos. **Centers for Disease Control and Prevention.** Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/default.html>. Acesso em ago. 2023.

ÓRFÃO, G. N. G. **Intoxicação por monóxido de carbono.** 2011. Trabalho final de mestrado. Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2011. Disponível em:<<https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/81004/1/Órfão%20Gonçalo%20-%20Intoxicação%20por%20Monóxido%20Carbono%20-%20FMUC%20-%202011.pdf>>. Acesso em 12 de ago. de 2023.

REBELLO, V; CAVALHEIRO, P. Laudos confirmam 100% das mortes por asfixia e superlotação na Kiss. **G1**, Rio Grande do Sul, 15 de mar. de 2013. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/03/laudos-confirmam-100-das-mortes-por-asfixia-e-superlotacao-na-kiss.html>>. Acesso em 28 de ago. de 2023.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 51803, de 10 de setembro de 2014.** Regulamenta a Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

ROEGNER K; MCCULLOUGH J.. **Health hazard evaluation report.** U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Estados Unidos, 2000; p. 1-22.

SILVA, J. P. P. da, BATISTA, M. E. V., BARRETO, C. K. G., ROCHA, I. C. A., & PINTO, N. B. (2020). **Intoxicação por inalação de cianeto decorrente de incêndios em ambientes fechados**. Revista Intertox De Toxicologia, Risco Ambiental E Sociedade, 13(03), p. 20-28.

SUMI, K. AND TSUCHIYA, T. **Toxic Gases and Vapours Produced at Fires**. Canadian Building Digest, CBD-144, 1971.

WAKEFIELD, J.C. **A Toxicological Review of the Products of Combustion**. Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Chemical Hazards and Poisons Division. Reino Unido, 2010.

WHITE MARTINS. **Ficha de informação de segurança de produto químico – FISPQ. Dióxido de carbono**. 2001.

ZIKRIA, B.A.; FERRER, J.M.; FLOCH, H.F.. **The chemical factors contributing to pulmonary damage in "smoke poisoning"**. Surgery, 1972. 71(5). 704-9.