



**SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**



**Guilherme Pereira Rodrigues da Costa
Gustavo Fernandes Botelho**

**ESTUDO DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS LIBERADAS NAS
OPERAÇÕES DE RESCALDO E SEUS POSSÍVEIS EFEITOS PARA O
ORGANISMO DO COMBATENTE**



Rio de Janeiro
2019

Guilherme Pereira Rodrigues da Costa – Cad BM QAL/17
Gustavo Fernandes Botelho – Cad BM QAL/17

**ESTUDO DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS LIBERADAS NAS OPERAÇÕES DE
RESCALDO E SEUS POSSÍVEIS EFEITOS PARA O ORGANISMO DO
COMBATENTE**

Artigo Científico apresentado
como exigência do Curso de
Formação de Oficiais do
Quadro de Oficiais
Combatentes da Academia de
Bombeiro Militar Dom Pedro II.

Orientadores
Cap BM QOC/05 Bruno **Polycarpo** Palmerim Dias
Dr^a Simone Pereira da Silva Ribeiro

Guilherme Pereira Rodrigues da Costa
Gustavo Fernandes Botelho

**ESTUDO DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS LIBERADAS NAS OPERAÇÕES DE
RESCALDO E SEUS POSSÍVEIS EFEITOS PARA O ORGANISMO DO
COMBATENTE**

Este artigo científico apresentado foi aprovado pela Banca Avaliadora como parte das exigências do Curso de Formação de Oficiais da Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II.

Rio de Janeiro, ____ de _____ de 2019

BANCA AVALIADORA

Professor/Instrutor

Professor/Instrutor

Professor/Instrutor

ESTUDO DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS LIBERADAS NAS OPERAÇÕES DE RESCALDO E SEUS POSSÍVEIS EFEITOS PARA O ORGANISMO DO COMBATENTE

Guilherme Pereira Rodrigues da Costa^{1*}, **Gustavo Fernandes Botelho**², Bruno **Polycarpo Palmerim Dias**³, Simone Pereira da Silva Ribeiro⁴

¹Cad BM QAL/17, Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II, Rio de Janeiro, RJ

²Cad BM QAL/17, Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II, Rio de Janeiro, RJ

³Cap BM QOC/05, Diretoria de Diversões Públicas, Rio de Janeiro, RJ

⁴Dr^a, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

*Autor correspondente: **Guilherme Pereira Rodrigues da Costa**; Tel: +55 21970063931; E-mail:prcgui@icloud.com

RESUMO

O objetivo do presente artigo foi realizar um estudo acerca das substâncias químicas presentes nas operações de rescaldo e, dessa forma, elencar os riscos a que o combatente se expõe durante esses eventos. A partir da relação entre análises foi determinada a diminuição da variedade de referências durante a queima para uma espuma virgem de poliuretano poliéter (PPUF). Essa primeira avaliação demonstrou que a combustão do PPUF gerou os seguintes resíduos: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), água (H₂O), óxido nítrico (NO) e hidrocarbonetos diversos em menores proporções. Sendo assim, foram expostos os efeitos que essas substâncias podem gerar através das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) e do estudo realizado por Vilar [2016], que provou que essas substâncias encontradas no estudo-base reagem entre si e geram outras substâncias tóxicas, como o ácido clorídrico (HCl) e o cianeto de hidrogênio (HCN). Por fim, prova-se a existência de riscos nas operações de rescaldo para que a informação possa ser difundida. Além disso, foram abertos questionamentos que servirão para estudos futuros nessa temática.

SÍNTESE

O presente estudo trabalho que as substâncias químicas liberadas nas operações de rescaldo com relação à combustão da espuma virgem de poliuretano poliéter (PPUF) foram dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), água (H₂O), óxido nítrico (NO) e hidrocarbonetos diversos em menores proporções, além do ácido clorídrico (HCl) e o cianeto de hidrogênio (HCN). Demonstrando que o combatente se expõe a riscos durante as operações de rescaldo.

PALAVRAS-CHAVE: 1-Substâncias químicas. 2-Riscos. 3-Combustão. 4-Combate ao Fogo.

STUDY OF CHEMICAL SUBSTANCES RELEASED IN SMOULDERING FIRE OPERATIONS AND THEIR POSSIBLE EFFECTS ON FIREFIGHTER ORGANISM

ABSTRACT

This paper focused on the study of chemicals present in the smouldering fire operations and, thus, to list the risks that the firefighters are exposed during these events. We focused our attention in the analysis of combustion of virgin polyether polyurethane foam (PPUF. This first assessment showed that combustion of PPUF generated the following residues: carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), water (H₂O), nitric oxide (NO) and various hydrocarbons in a lesser extent. The effects that those substances can generate were evaluated the Chemical Safety Data Sheets (MSDS) and the literature that shows these substances react with each other and generate other toxic substances such as hydrochloric acid (HCl) and hydrogen cyanide (HCN). We demonstrated the existence of risks in smouldering fire operations, so this information should be disseminated. Moreover, questions were opened that will serve for future studies on this topic.

KEYWORDS: 1-Chemical Compounds. 2- Risks. 3- Combustion. 4- Firefighting.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação no que tange às relações de saúde ocupacional, de acordo com a *Occupational Health and Safety Assessment Series* (2007), visa a identificação dos riscos no ambiente de trabalho, o desenvolvimento de métodos para mitigar ou eliminar perigos e riscos e implantar medidas para aumentar a habilidade da organização de atingir seus objetivos no que se refere à saúde e segurança. Em conformidade, é estabelecida a ISO 45001, demonstrando enorme interesse e preocupação nas questões que tangem à segurança do trabalhador. Nesse contexto, tendo em vista o caráter estatutário do Bombeiro Militar, a exposição ao risco é parte da atividade-fim (RIO DE JANEIRO, 1979).

Nesse contexto, as operações de rescaldo são uma etapa essencial na extinção de um incêndio generalizado. Diante disso, o Procedimento Operacional Padrão (POP), elaborado pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), indica esta fase de combate como a certificação de que não restam chamas ou brasas que possam levar os materiais novamente à ignição e define:

"A fase de rescaldo constitui uma parte integrante do combate ao incêndio, sendo uma das mais importantes, em que o Comandante de Socorro, após a extinção do incêndio, fará vistoria visando constatar se existem focos de incêndio sob os escombros, a fim de extingui-los, e se existe necessidade de proceder ao escoamento da água ou remoção de entulho" (CBMERJ, [2008?]).

Partindo desse pressuposto, destaca-se o período de rescaldo dentro das possibilidades de ocorrência de incidentes e acidentes, com foco na segurança do combatente. Tal afirmativa se justifica, inicialmente, porque, segundo o POP/CBMERJ, à medida que a operação passa de um estágio de emergência para a fase de não emergência, o Comandante do Socorro deve enfatizar a necessidade de uma ação cuidadosa e pensada. Em contrapartida, apesar da exposição a diversos riscos, é comum que, durante o rescaldo e devido ao cansaço, as guarnições passem a trabalhar com foco no término do evento e não na segurança (CBMGO, 2017).

Além disso, considerando que a combustão é um fenômeno que pode se estabelecer em superfície ou em profundidade em dado material combustível. As operações de rescaldo são uma etapa essencial na extinção de um incêndio generalizado (DGEI, 2017). Nesse sentido, os resíduos da fumaça nos incêndios se compreendem em partículas suspensas líquidas e sólidas, gases e vapores que resultam da combustão ou pirólise dos materiais e são predominantemente tóxicos (IARC, 2010).

Paralela a isso, a liberação de resíduos de certas substâncias químicas tem potencial nocivo à saúde do combatente. Tal fato é explicitado pelo Manual de Equipamentos de Proteção Individual e Respiratória (MEPIPR) do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, elencando, assim, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) nas operações de combate a incêndio (CBMESP, 2006a).

Outrossim, a Revista InterfacEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, coordenada pelo Centro Universitário Senac, São Paulo – Brasil, publicou no ano de 2012 uma análise espacial do efeito da exposição ao risco de incêndio na ocorrência de doenças do aparelho respiratório nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul. Neste artigo, foi concluído que os riscos de incêndios que originam as queimadas estão relacionados à prevalência de internações por doenças respiratórias em grupos populacionais sensíveis nos municípios do Estado do Mato Grosso (SOUZA *et al*, 2012).

Somado ao exposto acima, têm-se os efeitos da espuma de poliuretano, como exemplo particular dos riscos que podem ser enfrentados pelos combatentes em operações de rescaldo. Isso se deve, sobretudo, pelos últimos grandes eventos no que tange ao combate a incêndio. Por exemplo, o evento do incêndio na Boate Kiss, ocorrido em 27 de janeiro de 2013, deixando 242 mortos e 680 feridos, impulsionou a criação de normas de controle de fumaça (KAYANO, 2018). Mediante a isso, Santos e Struck (2013) através da Revista Veja expuseram o seguinte:

“O material mais usado pelas casas noturnas brasileiras para fazer o isolamento acústico também pode transformá-las em fornos. Trata-se da espuma de poliuretano que serve ao isolamento acústico – essencial para locais como a boate Kiss, em Santa Maria (RS). Quando não recebe a adição de um composto químico para retardamento de combustão, a espuma é inflamável e propaga o fogo com velocidade. Mais ainda: ela tem características de isolante térmico. Assim, impede que o calor se dissipe” (SANTOS; STRUCK, 2013).

Ainda mais recente, no dia 8 de fevereiro de 2019, o incêndio no alojamento do Flamengo matou dez pessoas e deixou três feridas. Dessa forma, o laudo pericial, divulgado através de reportagem do Jornal Globo por Bottari (2019), explicita a relação entre o revestimento de poliuretano e a gravidade do evento:

“Segundo o site da empresa NHJ do Brasil, fabricante dos contêineres utilizados no CT, os módulos habitáveis são compostos por painéis termo-acústicos preenchidos com poliuretano (espuma) revestidos dos dois lados e chapas de aço formando um sanduíche” (BOTTARI, 2019).

Relaciona-se, portanto, os efeitos tóxicos das substâncias químicas liberadas num incêndio até mesmo após a sua extinção e sua permanência no ambiente durante as operações de rescaldo (CBMESP, 2006b). Por isso, cabe, como objetivo principal, o questionamento dos bombeiros no que tange ao uso dos EPI durante rescaldo, elencando os riscos ao se basear no estudo dos possíveis efeitos a curto e longo prazo das substâncias químicas presentes durante operação no organismo do combatente.

1 METODOLOGIA

1.1 TIPO DE ESTUDO

A partir de uma abordagem elaborada qualitativamente, o trabalho chegou à resposta do nosso problema que se limita a definir exemplos de substâncias químicas presentes na operação de rescaldo e entender os possíveis riscos aos quais a guarnição se expõe. Sobretudo, foram utilizados meios exploratórios para elencar pesquisas bibliográficas e análise de casos com o objetivo de construir hipóteses a partir da explicitação do problema.

Nesse sentido, baseado em eventos como o incêndio na Boate Kiss, ocorrido em 27 de janeiro de 2013, e o Incêndio no Centro de Treinamento do Flamengo, ocorrido em 8 de fevereiro de 2019, considerou-se o estudo mais aprofundado acerca do Poliuretano e de seus aspectos de combustão em brasa, típica do rescaldo. Tal afirmativa se estabelece pelas alegações do artigo "O beijo da morte", publicado pela NFPA - Journal Latino Americano:

"De acordo com as perícias policiais, a espuma de poliuretano expandido foi instalada em finais de 2011 para resolver problemas de reverberação do som (eco) dentro da boate. Esta espuma foi colocada no forro do palco e nas paredes das caixas. De acordo com as investigações da polícia, a espuma de poliuretano não tinha sido tratada com retardante de chama." (MOCADA, 2013)

Em conformidade, no caso incêndio no Centro de Treinamento do Flamengo, o ninho do Urubu, segundo o engenheiro Gerardo Portela em entrevista ao Jornal Nacional, reportagem de Elenilce Bottari (2019), há correlação entre os de painéis termo acústicos preenchidos com poliuretano dos contêineres e a magnitude do desastre:

"Esse tipo de estrutura em sanduíche tem um limite de suportar calor, então enquanto é um princípio de incêndio e as pessoas estão acordadas para reagirem com rapidez, OK, ele ainda pode ser utilizado, no caso de um escritório, por exemplo. Com pessoas dormindo, como projetista eu não especificaria esse material."

Considerando esses eventos mencionados, a composição de materiais simples, como sofás e camas pela espuma de poliuretano (EDITORA DO ADMINISTRADOR LTDA.,2012), é comum em edificações residenciais, comerciais,

públicas ou privadas. Segundo o exposto no Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, o Corpo de Bombeiros foi chamado para atender 26340 incêndios no Estado, dos quais 31% em edificações. Tal resultado foi exposto no Gráfico a seguir na figura 1:



Figura 1. Distribuição de Incêndios por Subtipo em 2018.

Fonte: Diretoria Geral de Comando e Controle Operacional, CBMERJ (2018).

Dessa forma, é possível elencar e relacionar os produtos da combustão de amostras de Poliuretano aos riscos de exposição das operações de rescaldo. Somado ao exposto acima, foram determinados os riscos oferecidos pelas substâncias químicas presentes no evento. Além disso, uma pesquisa bibliográfica em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro embasou e guiou nossos resultados para definição e esclarecimento das dúvidas para que, por fim, fosse possível relacionar os produtos e a situação das possíveis doenças que podem acometer o bombeiro na situação de rescaldo, demonstrando o risco dessa operação.

1.2 LOCAL E SUJEITOS DA PESQUISA

A pesquisa se baseou na revisão do estudo experimental realizado por Valencia *et al* (2009) nos seguintes lugares:

- a) Laboratoire de Combustion et de Détonique, UPR 9028 CNRS, ENSMA, BP 40109, 86961 Futuroscope, France. (École Nationale Supérieure De Mécanique Et D'aérotechnique – Universidade de Poitiers – Futuroscope, France)

- b) Laboratoire National de Métrologie et d'Essais, Fire Behavior and Fire Safety Department, 78197 Trappes Cedex, France.
- c) BRE Centre for Fire Safety Engineering, The University of Edinburgh, EH9 3JL, UK.

1.3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO BASE

Foi realizada uma análise elementar da espuma virgem de poliuretano poliéter (PPUF – *Polyether Polyurethane Foam*) através de um processo de catarometria e Tecnologia de Infravermelho Não Dispersivo (ND-IR). A tabela 1 apresenta a composição e os métodos de análise, cujos testes foram repetidos três vezes com a precisão de ± 0.3 wt%:

Tabela 1. Análise elementar do PPUF Virgem

Elemento	Quantidade	Método de Medição
C	61.90%	Catarometria pela transformação em CO ₂
H	8.50%	Catarometria pela transformação em H ₂ O
O	22.50%	ND-IR pela transformação em CO
N	5.90%	Catarometria pela redução de N ₂
S	< 0.2%	Detecção por ND-IR
Cl	< 10 ppm	N/A

Fonte: Valencia *et al.* (2009)

Dessa forma, ficou concluído que a fórmula química molecular do PPUF virgem é $CH_{1.53}O_{0.27}N_{0.08}$, com densidade de $20.9\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2 RESULTADOS

2.1 PILOTO

No início de cada teste, o escudo térmico do Cone Calorímetro foi aberto e a amostra foi rapidamente exposta ao respectivo nível de radiação. A decomposição foi iniciada e os resíduos coletados. Os resultados correspondem a condições de chama iniciadas com sistema de ignição por faiscamento. Foi determinado por experimentos omitidos nesse estudo que o nível de radiação crítica para a espuma é

de 9kW.m^2 e o nível para autoignição é de 35kW.m^2 . A figura 2 mostra a evolução da transição da taxa de massa perdida (MLR), representado em (a), e a taxa de liberação de calor por unidade de área (HRR), representado em (b).

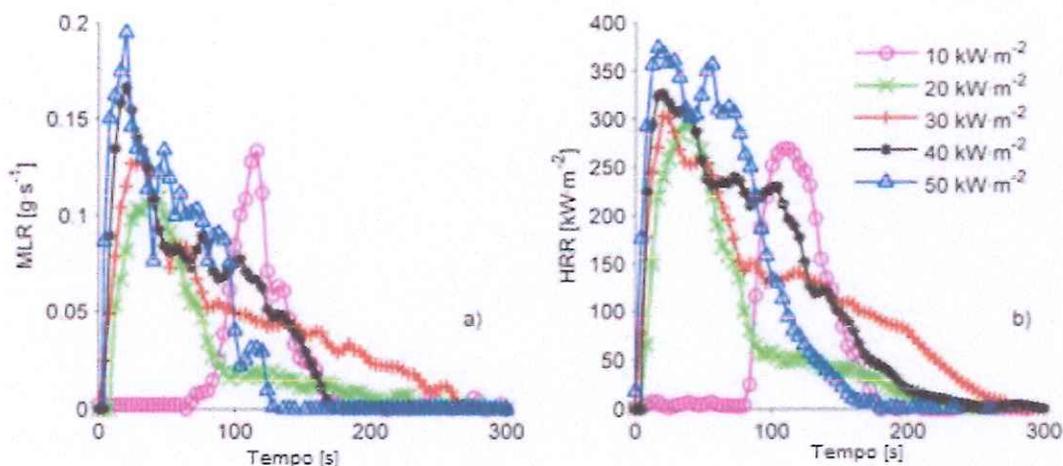


Figura 2. Resultado do Cone Calorímetro em 5 níveis de radiação.

Fonte: Valencia *et al.* (2009)

Na figura 2, $t=0$ marca o início da exposição ao nível de radiação e, assim, o momento da ignição. Como demonstrado, as formas do HRR e as curvas do MLR mudaram com o nível de radiação. Sendo assim, a tabela 2 mostra o tempo de ignição, o tempo de extinção, o tempo total de combustão e a relação entre as massas queimadas e iniciais.

Tabela 2. Resultados Experimentais do PPUF no Cone Calorímetro mensurado nos níveis de irradiação

Nível de Irradiação [kW.m^{-2}]	Tempo de ignição [s]	Tempo de Extinção [s]	Tempo de Combustão [s]	Relação entre massas queimadas e iniciais [%]
10	87	176	89	41
20	10	200	190	68
30	5	273	268	97
40	3	240	237	100
50	2	173	171	98

Fonte: Valencia *et al.* (2009)

A figura 3 demonstra a evolução da concentração de gases, do HRR e do MLR na combustão no nível de irradiação de 50kW.m². Por conseguinte, fornece informações importantes sobre as reações de decomposição dos sólidos e a produção de espécies de gases. Essas curvas são diferentes, porém elas têm o mesmo ponto de máximo e mínimo, o que indica a cinética da decomposição do PPUF e permite a identificação dos estágios dessa decomposição.

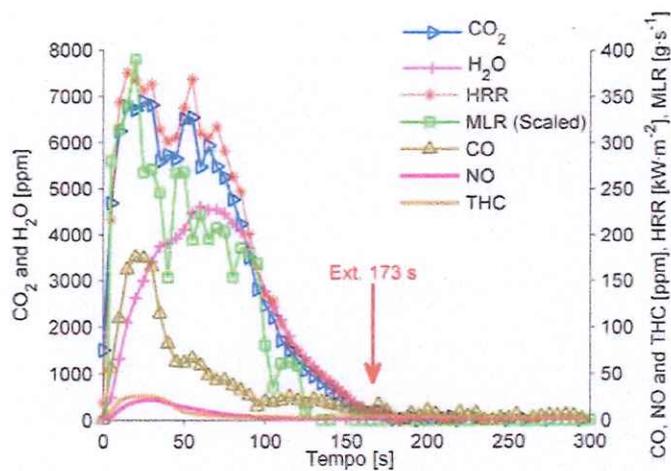


Figura 3. Concentração de Gases, do HRR e do MLR no Nível de Radiação 50kW.m².

Fonte: Valencia *et al.* (2009)

Consecutivamente, como preponderante para a evolução desse trabalho, cabe demonstrar que, dependendo da taxa de liberação de calor, a toxicidade da queima de produtos pode ser relevante quando se analisa a periculosidade do incêndio no material. O PPUF, por sua vez, é fabricado pela condensação de poliisocianatos e poliéterpolióis na presença de catalisadores e/ou aditivos. Saunders *et al* (1961), Woolley (1972) e Rogers *et al* (1981) estudaram a decomposição térmica de plásticos a base de uretano. Eles afirmaram que, quando PPUF é aquecido, as ligações de uretano se transformam em polioli e isocianato. No primeiro estágio, o isocianato pirolisa e oxida. Assim, é liberado como fumaça amarela. Por conseguinte, o polioli líquido permanece no suporte da amostra como um semiproduto do processo de decomposição. A pirólise e a oxidação do polioli líquido ocorrem em um segundo estágio de decomposição. Os gases liberados durante um incêndio de PUFF (queimados e não queimados) são considerados altamente perigosos para a segurança e o meio ambiente. É pertinente destacar que, durante o

processo de combustão, o carbono é convertido em óxidos de carbono na forma de gás, em hidrocarbonetos (THC) e fuligem. Em conformidade, a tabela 3 elenca os principais gases sintetizados na combustão do PPUF em termos de média e de desvio padrão (RSD) de rendimento da reação:

Tabela 3: Gases Sintetizados na combustão de PPUF

Nível de Irradiação [kW.m ⁻²]	Rendimento dos compostos químicos (Massa _{espécies} /Massa _{amostra})										
	CO ₂		H ₂ O		CO		NO		THC		CO/CO ₂
	Média	RSD	Média	RSD	Média	RSD	Média	RSD	Média	RSD	[%]
10	2,69	1,06	0,92	0,95	0,036	0,023	0,003	0,002	0,104	0,117	1,34%
20	2,17	0,24	1,54	0,74	0,029	0,012	0,004	0,003	0,062	0,028	1,32%
30	2,15	0,21	0,61	0,11	0,018	0,005	0,002	0,002	0,018	0,011	0,85%
40	2,32	0,39	-	-	0,016	0,007	-	-	0,028	0,018	0,68%
50	2,31	0,69	0,78	0,46	0,019	0,009	0,003	0,002	0,032	0,019	0,82%
Média	2,33	0,52	0,96	0,57	0,24	0,011	0,003	0,002	0,0049	0,039	1,01%

Fonte: Valencia *et al.* (2009)

O estudo analisado aponta os principais gases sintetizados durante o processo de combustão do PUFF.

3 DISCUSSÃO

O CBMERJ é um órgão subordinado à Secretaria de Estado e Defesa Civil (SEDEC) e que tem como atividade-fim a prestação de socorros e a proteção do patrimônio. Nesse contexto, tem-se como uma das atividades mais recorrentes os

eventos de incêndio (CBMERJ, 2019) e, posteriormente, o rescaldo, que possuem certo grau de complexidade por, em diversos casos, se fazerem presentes substâncias químicas que são liberadas e que trazem riscos à guarnição.

De acordo com Newman (2015), a melhor forma de evitar a exposição é trabalhar com extremo cuidado ao manipular gases e substâncias químicas. Em detrimento, os militares membros das guarnições estão sujeitos à exposição direta ou indireta a essas partículas, que podem ser altamente nocivas ao organismo do combatente. Tal afirmativa é válida porque essas substâncias são capazes de atingir as regiões mais profundas do sistema respiratório, desencadeando processos inflamatórios no interstício pulmonar (DONALDSON, 2001).

Tendo em vista este quadro, em conformidade com a NFPA 1971, julga-se necessário explicitar à Corporação e a seus componentes as substâncias químicas liberadas, com ênfase nas operações de rescaldo, e seus possíveis efeitos para o organismo do combatente. Com isso, busca-se difundir o conhecimento e conscientizar a tropa, evitando a exposição a riscos desnecessários. Dessa forma, será possível dispor de um efetivo consciente e motivado a realizar a prevenção em benefício próprio e dos seus pares.

Em um panorama no qual o Bombeiro Militar está inserido em situações de risco em prol do cumprimento do dever, cabe à Corporação a compreensão acerca das influências que a atividade-fim pode exercer sobre os seus militares. Além disso, a prevenção contra possíveis danos é antecedida pela conscientização do corpo de combatentes no que tange à sua segurança e saúde, o que, de fato, não é perceptível no cenário atual do Corpo de Bombeiros Militar Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ).

Sendo assim, é plausível, sobretudo, a exposição do seguinte problema explicitado por este artigo: Existe risco de contaminação pelas substâncias químicas liberadas nas operações de rescaldo?

Em princípio, é plausível analisar os dados obtidos na combustão do poliuretano, experimento citado no estudo em questão. A liberação de substâncias químicas tóxicas como monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO) e dióxido de carbono (CO₂), desperta para os possíveis efeitos que elas podem gerar. Num primeiro momento, esses gases se acumulam no interior do ambiente devido a sua compartimentação. Mesmo após o cessar das chamas, tais resíduos não se dissipam (CBMGO, 2017). Sendo assim, no momento do rescaldo, assim que o foco

principal for extinto e o incêndio se encontrar em condição de decaimento, ainda pode estar ocorrendo a combustão em brasa, principalmente de sólidos como o poliuretano. Isso se deve pela propriedade que materiais nesse estado físico têm de entrar em combustão não só em superfície, mas também em profundidade. Dessa maneira, estabelece-se que o bombeiro, ao adentrar nas proximidades ou no próprio local sinistrado, está sujeito a exposição a esses resíduos (KLAENE; SANDERS, [1999?]) Por isso, contrariando a expectativa da guarnição de finalizar o mais rápido possível o evento, a cautela e o foco na segurança ainda devem ser demanda principal da intervenção.

Por conseguinte, a exposição a esses materiais tóxicos provenientes do incêndio é um fator a ser considerado, muito por causa dos efeitos que eles causam, seja a curto ou a longo prazo.

Dentre eles, é encontrado, em maiores proporções, o produto químico gás carbônico ou dióxido de carbono (CO_2), cujos efeitos são devidos principalmente a partículas poluentes deste produto suspensas no ar atmosférico. Parte dessas partículas são retidas no nariz e na garganta, geram incômodo, irritação nos olhos, nas narinas, além de poder ocasionar doenças no organismo como: rinite alérgica, bronquite alérgica a poeira e asma. Além disso, podem causar danos a parte interna do aparelho respiratório, com os alvéolos pulmonares, brônquios, traquéia, faringe, laringe que elevam a problemas mais severos como consequências, sendo o Câncer de Pulmão e Pneumoconiose (SILVA *et al.*, 2016).

Outro produto elencado pelo estudo é o monóxido de carbono (CO): um gás tóxico predominante que é prontamente gerado a partir da combustão de madeira e outros materiais celulósicos (PREEA *et al.*, 2014). Tem um caráter de asfixiante químico, agindo na hemoglobina presente no sangue e reduzindo sua capacidade de transportar o oxigênio, a chamada hipóxia, devido a sua afinidade 200 a 300 vezes maior do que a do oxigênio em fixar-se à hemoglobina, formando a carboxihemoglobina (COHb). Tal fato pode levar o combatente a apresentar alguns sintomas como: cefaléia, náuseas, tontura, vômitos, coma e até morte dependendo de sua concentração (VILAR, 2016).

Além destes, porém em proporções significativamente menores, é encontrado também o óxido nítrico (NO). Sua inalação momentânea, devido ao material se converter de forma rápida em dióxido de nitrogênio no ar, pode levar a irritação nas membranas mucosas, sinusite, faringite e bronquite, além de sufocamento, vertigem

e possibilidade de edema pulmonar. Uma inalação recorrente e prolongada pode causar bronquite ou enfisema. No caso do indivíduo já possuir um quadro de asma ou doença pulmonar inflamatória ou fibrótica, essas podem ser agravadas (WHITE MARTINS, 2018).

De acordo com cerca de 4000 experimentos realizados utilizando a combustão do poliuretano com diversos tipos diferentes de materiais, utilizando-se o fogo em diversas condições, em 92% das medições, a letalidade foi ocasionada pelo monóxido de carbono (CO), 2% delas por ácido clorídrico (formado devido a combustão de materiais clorados como o PVC), e 2% por causas desconhecidas. Foi percebida em 4% dos casos a existência de um efeito combinado do HCN e CO como a contribuição principal à toxicidade (VILAR, 2016). Por conseguinte, os gases em suspensão e compartimentação participam de outras reações internas que, conforme a evolução do tempo, geram outros tipos de gases não encontrados no experimento base.

Nesse sentido, a inalação de ácido clorídrico (HCl) leva à irritação severa da via respiratória superior, resultando sensação de queima na garganta, engasgo e tosse. Se inalado profundamente pode causar edema pulmonar (SASIL, 2007). O cianeto de hidrogênio (HCN), por sua vez, é conhecido por sua habilidade de ligar-se a íons de ferro, sendo carregado pela corrente sanguínea através das hemácias. Dentro da célula, ele se liga à enzima citocromo C oxidase A, bloqueando por completo o ciclo respiratório e, conseqüentemente, a formação de ATP (trifosfato de adenosina). Assim sendo, sucede-se acidose láctica profunda, havendo óbito dentro de minutos após a exposição a grandes doses. As manifestações iniciais refletem estimulação ventilatória e neurológica decorrente do bloqueio da respiração celular - hiperventilação, cefaleia, náuseas, vômitos, palpitações e ansiedade. Em seguida, sucedem-se convulsões, bradicardia e hipotensão, culminando com parada ventilatória e colapso cardiovascular. Entretanto, envenenamentos em pequenas proporções são causas reconhecidas de lesões neurológicas permanentes, variando de manifestações no sistema extrapiramidal de intensidades diversas à estado vegetativo persistente, progressivo ao longo de anos (ANTONIO; CASTRO; FREIRE, 2013).

Nessa linha de raciocínio, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), em 2010, publicou um estudo que declarou que o foco dos estudos acerca dos riscos que envolvem os Bombeiros tem sido geralmente em substâncias que

têm efeitos agudos de curto prazo: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), cianeto de hidrogênio (HCN), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e cloreto de hidrogênio (HCl). Isso se deve ao crescente uso de polímeros na construção civil e mobiliário. Existe a preocupação de que a queima desses novos materiais possa liberar grandes quantidades de outras substâncias altamente tóxicas. É necessário, ainda, suspeitar de lesão por inalação de fumaça em todo incêndio em espaço fechado, associada à perda de consciência ou queimaduras faciais (ANTONIO *et al*, 2013). Dessa forma, o estudo abordado nesse trabalho se torna extremamente pertinente a atividade-fim do CBMERJ.

CONCLUSÃO

A caracterização de exposições a gases de combustão e fumaça é um desafio devido a vários fatores: horários de trabalho de turnos de 10 a 24 horas por 188 dias em um ano; grandes variações entre o tempo dos bombeiros em incêndios; exposições intermitentes; exposição a uma mistura complexa de gases, vapores e partículas; gases também podem ser adsorvidos em matéria particulada; alguns vapores de compostos orgânicos semivoláteis, medidos no ar, podem ser distribuídos entre a fase sólida e a fase de vapor, deslocando esse equilíbrio em qualquer direção, dependendo da temperatura e da densidade da fumaça; e a dificuldade em coletar amostras em locais imprevisíveis em um ambiente perigoso e em rápida mudança (IARC, 2010).

Nesse sentido, de acordo com as informações limitadas apresentadas na pesquisa experimental e nos dados dos elementos da discussão, têm-se que as operações de rescaldo expõem o combatente a diversos riscos que, muitas vezes, não são considerados durante o socorro. Tal informação é relevante, porque, antes de mais nada, a segurança do bombeiro na atuação operacional é o que mantém a continuidade das atividades exercidas pelos Corpos de Bombeiros. Isso se justifica, somado a isso, pela carência social de pessoas que estejam aptas tecnicamente, psicologicamente e fisiologicamente para a consecução do principal objetivo da profissão: Vida Alheia e Riquezas Salvar.

Por esse viés, fica explícito pelo estudo, que o foco dos comandantes de socorro deve se afastar dos padrões da normalidade humana, isto é, devem

permanecer com o foco na segurança, no que tange principalmente ao uso de equipamentos de proteção individual, e não transportá-la para o segundo plano, cedendo ao desejo de finalização da operação. Além disso, sugere-se que as guarnições tenham acesso amplo ao conhecimento desses riscos por meio de atividades educacionais nos quartéis para que assim venham ser vigilantes de si mesmos no que tange a própria segurança. Denota-se, ainda, a necessidade de amplificação do estudo no que tange a análise da combustão de outros materiais e avaliação estatística dessas doenças no âmbito dos bombeiros militares para o alcance de maiores resultados. Dessa maneira, espera-se prosseguir para a diminuição da exposição dos riscos e, conseqüentemente, dos resultados fortuitos enfrentados pelas guarnições de bombeiros.

Declaração de conflito de interesses: Não há conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, Ana Carolina Peçanha; CASTRO, Priscylla Souza; FREIRE, Luiz Octavio. Lesão por inalação de fumaça em ambientes fechados: uma atualização. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. [Brasília], p. 373-381. maio 2013. Disponível em: <http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe_artigo.asp?id=2031>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ANTONIO, Ana Carolina Peçanha et al. **Lesão por inalação de fumaça em ambientes fechados: uma atualização**. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, Vol. 39, nº 3. São Paulo, 2013.

ANUÁRIO DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro: Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, v. 3, 2018. Anual. Disponível em: <<http://www.cbmerj.rj.gov.br/anuarios/anuario2018.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BOTTARI, Elenilce. **Perícia revela que material inflamável teria acelerado incêndio**: Um dos corpos carbonizados tinha forte odor de solvente. 2019. *Jornal O Globo*. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/esportes/pericia-revela-que-material-inflamavel-teria-acelerado-incendio-23442122>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

COLETÂNEA DE MANUAIS TÉCNICOS DE BOMBEIROS PMESP, CCB. **Manual de estratégia e tática de combate à incêndio**. Vol. 32, 1º ed. São Paulo, SP, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Equipamentos de Proteção Individual e Respiratória (MEPIPR)**. Vol 7. 1ªed. São Paulo, SP, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano**. Goiânia: 2017. Disponível em: <<https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/MOB-Combate-a-Inc%C3%AAndio-Urbano-CBMGO.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Procedimento Operacional Padrão 13**. Rio de Janeiro, RJ.

DIRETORIA GERAL DE ENSINO E INSTRUÇÃO. **Manual Básico de Bombeiro Militar**. Vol3 Tecnologia e Maneabilidade de Incêndio. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ, 2017

DONALDSON K, et al. Donaldson K, Stone V, Clouter A, et al **Ultrafine particles**. Occupational and Environmental Medicine 2001;58:211-216.; 2001.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER . **MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS: PAINTING, FIREFIGHTING, AND SHIFTWORK**. 98. ed. Lyon: Iarc, 2010. Disponível em: <<https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono98-7.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 45001: Occupational health and safety management systems**. ISO, 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

KAYANO, Carlos. **Boate Kiss: tragédia impulsiona a criação de normas de controle de fumaça**. 2018. Revista Incêndio. Disponível em: <http://revistaincendio.com.br/artigo_boatekiss/>. Acesso em: 10 ago. 2019.

KLAENE, Ben; SANDERS, Russ. **A Gestão das Operações de Rescaldo**. Publicado por: NFPA Journal Latino Americano. [1999?] Disponível em: <<https://www.nfpajla.org/pt/arquivos/exclusivos-online/bombeiros-socorristas/698-manejo-de-operaciones-de-reacondicionamiento-general>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MOCADA, Jaime A.; P.E.; SFPE (Ed.). **O beijo da Morte**. -. Publicado por: NFPA Journal Latino Americano. Disponível em: <<https://www.nfpajla.org/pt/arquivos/lugares-de-reunioes-publicas-discotecas/993-el-beso-de-la-muerte>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 1971**: Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2018.

NEWMAN, Lee S. **Exposição a gases e substâncias químicas**. 2015. Publicado por: Merck Sharp and Dohme. (Manual MSD). Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias-respirat%C3%B3rias/doen%C3%A7as-pulmonares-ambientais/exposi%C3%A7%C3%A3o-a-gases-e-subst%C3%A2ncias-qu%C3%ADmicas>>. Acesso em: 07 maio 2019.

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES. **OHSAS 18001**: Occupational Health and Safety Assessment Series. BSI Group, 2007. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/7319/2/Anexo%20I%20OHSAS180012007_pt.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

POLIURETANO: Tecnologia & Aplicações. São Paulo: Editora do Administrador Ltda., n. 50, ago. 2012. Disponível em: <<https://issuu.com/editoradoadministradorltda./docs/pu50>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

PREEA Gill, FRCA Rebecca V Martin, FRCA FFICM. Oxford Academic. BJA Education. **Smoke inhalation injury**. Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain, Volume 15, Issue 3, June 2015. Published: 22 May 2014

RIO DE JANEIRO (Estado). Constituição (1979). Lei nº 250, de 02 de julho de 79. **Organização Básica do CBMERJ**. Rio de Janeiro, RJ.

SANTOS, Juliana; STRUCK, Jean-Philip. **Poliuretano, um dos vilões do incêndio em Santa Maria**: Material usado para fazer o isolamento acústico de boates como a Kiss pega fogo rapidamente e emite substâncias tóxicas. 2013. Revista Veja. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/poliuretano-um-dos-viloes-do-incendio-em-santa-maria/>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

SASIL COMERCIAL E INDUSTRIAL DE PETROQUÍMICOS LTDA (Salvador). **FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO: ÁCIDO CLORÍDRICO**. Salvador: Sasil Comercial e Industrial de Petroquímicos Ltda, 2007. 9 p. Disponível em: <<http://www.sasil.com.br/br/hp/upload/FISPQ-AcidoCloridrico.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SILVA, Mária Marelino Montalvão da et al. Efeitos Do Dióxido De Carbono Na Saúde E No Meio Ambiente. In: SEMINÁRIO PESQUISAR, 5., 2016, Goiânia. **Anais....** Goiânia: Faculdade Alfredo Nasser, 2016. p. 1 - 4. Disponível em: <http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar_5/21-11-2016-21.34.56.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SOUZA, A. et al. **Doenças respiratórias e risco de incêndio, uma análise espacial.** **InterfacEHS**, São Paulo, vol.7, n.3, 2012. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/74_artigo_3_vol7n3.pdf> Acesso em: 06 out. 2018.

VALENCIA, Lucas Bustamante et al. Analysis of Principal Gas Products During Combustion of Polyether Polyurethane Foam at Different Irradiance Levels. **Fire Safety Journal**. Amsterdam, p. 933-940. out. 2009. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/279252.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

VILAR, Walter. **Gases gerados na queima da espuma flexível de poliuretano.** Rio de Janeiro: Vilar Consultoria Técnica Ltda, [2016?]. Disponível em: <<https://www.vibrasom.ind.br/download/gases.pdf>>. Acesso em: 08jul. 2019.

WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA (Rio de Janeiro). **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** Óxido Nítrico. Rio de Janeiro: White Martins Gases Industriais Ltda, 2018. 8 p. Disponível em: <[http://www.praxairsurfacetech.jp/sa/br/WMSEGPRO.NSF/43419c9f92323ddf83257a8c004a0d1e/0c146a927d5db57b83256b4a006973fc/\\$FILE/P-4632%20-%20%C3%93xido%20N%C3%ADtrico.pdf](http://www.praxairsurfacetech.jp/sa/br/WMSEGPRO.NSF/43419c9f92323ddf83257a8c004a0d1e/0c146a927d5db57b83256b4a006973fc/$FILE/P-4632%20-%20%C3%93xido%20N%C3%ADtrico.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2019.

LEGENDAS DAS TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Análise elementar do PPUF Virgem.

Tabela 2. Resultados Experimentais do PPUF no Cone Calorímetro mensurado nos níveis de irradiação

Tabela 3: Gases Sintetizados na combustão de PPUF.

Figura 1. Distribuição de Incêndios por Subtipo em 2018.

Figura 2. Resultado do Cone Calorímetro em 5 níveis de radiação.

Figura 3. Concentração de Gases, do HRR e do MLR no Nível de Radiação 50kW.m².