



**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**



**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO TÓXICA DURANTE A PERÍCIA DE INCÊNDIOS
URBANOS PELO CBMDF**

Thiara Elisa da Silva¹
Alisson Bernardi de Barros²

RESUMO

Este trabalho analisa a exposição a substâncias tóxicas durante a perícia de incêndios urbanos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Tal abordagem se justifica pelo contato contínuo desses profissionais à fumaça, que mesmo após a extinção do incêndio continua volatilizando, o que compromete a saúde dos militares durante a realização da atividade pericial. O propósito deste trabalho é avaliar a necessidade de se adotar medidas de segurança e saúde adicionais durante a investigação de incêndio. Este intento foi atingido mediante a coleta de amostras por *headspace* estático do ambiente incendiado durante a realização da atividade pericial pelo CBMDF e posterior identificação e qualificação de compostos tóxicos (marcadores selecionados para exposição de fumaça) por meio de técnicas de cromatografia gasosa e espectrometria de massa (GC-MS), utilizadas na Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) do CBMDF. As análises, realizadas com base em perícias efetuadas entre março e maio de 2019, demonstraram a presença de diferentes substâncias consideradas carcinogênicas ou potencialmente carcinogênicas aos seres humanos, como benzenos e derivados, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAH) e furfurais. Assim, ficou evidenciada a necessidade de medidas que protejam os bombeiros militares dos efeitos nocivos dessas substâncias a curto e longo prazo, conforme procedimento operacional padrão (POP) e guia rápido confeccionados indicando as melhores práticas de segurança e saúde a serem seguidas para a atividade pericial. Finalmente, a metodologia de amostragem adotada nesse trabalho permitiu a confecção de um POP de coleta das amostras nas perícias realizadas pelo CBMDF, trazendo maior qualidade a esta atividade.

Palavras-chave: Exposição tóxica. Perícia de incêndio. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

¹ Cadete QOBM/Comb. Elisa – CBMDF. Aluna do Curso de Formação de Oficiais - Turma CFO 35. Lotada na Academia de Bombeiros Militar do Distrito Federal (ABMIL). Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologista pela Universidade Federal do Paraná.

² Capitão QOBM/Comb. Barros – CBMDF. Chefe da Seção de Justiça de Disciplina do Centro de Formação e aperfeiçoamento de Praças. Bacharel e Licenciado em Física pela Universidade de Brasília, especialista em Perícia de Incêndio pelo CBMDF.

INTRODUÇÃO

Os investigadores de incêndio enfrentam atualmente ambientes cada vez mais perigosos enquanto realizam a perícia no local sinistrado devido à volatilização de gases tóxicos oriundos da combustão e pirólise de diversos materiais de construção; eletroeletrônicos que apresentam uma série de componentes construídos com traços de elementos químicos perigosos à saúde humana; e móveis fabricados a partir de plásticos, espumas e outros polímeros.

Os materiais sintéticos representam cargas de combustível que geram subprodutos altamente tóxicos da combustão, além daqueles originados de outros materiais combustíveis, que podem causar lesões corporais e doenças ocupacionais, a menos que medidas de proteção adequadas para os bombeiros militares sejam implementadas.

“A segurança e a saúde dos bombeiros militares já têm sido amplamente estudadas, mas há pouca informação disponível a respeito dos perigos tóxicos encontrados pelos peritos de incêndio” (ROGERS; DUPAGE, 2005, p. 5).

Órgãos americanos como o Instituto Nacional sobre doenças ocupacionais e segurança (NIOSH), o órgão de Administração de Saúde e Segurança Ocupacional (OSHA), a Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH) e a Associação Internacional de Investigadores do Incêndio (IAAI) têm realizado pesquisas que versam sobre as condições de saúde de bombeiros nos últimos anos.

Nesse sentido, em 2018, a IAAI, após dois anos de trabalho e assistida por um painel de especialistas no assunto, confeccionou um documento contendo as melhores práticas de segurança e saúde relacionadas à investigação de incêndio. Nele estão descritos procedimentos a serem adotados antes, durante e após a atividade de perícia, além de conter orientações quanto ao perito executor da atividade, o empregador desse profissional e quanto à viatura de perícia.

Porém, no contexto brasileiro, o principal órgão responsável por estudos e pesquisas pertinentes aos problemas de segurança, higiene, meio ambiente e medicina do trabalho, a Fundação Jorge Duprat e Figueiredo (FUNDACENTRO), não possui nenhum estudo sobre os perigos tóxicos encontrados pelos bombeiros militares em um ambiente sinistrado pelo fogo.

Assim, a proposta deste trabalho é avaliar a exposição dos investigadores de incêndio do CBMDF aos subprodutos tóxicos da combustão durante a realização da perícia de

incêndios urbanos, após a fase do rescaldo, por meio de cromatografia gasosa e espectrometria de massa, técnicas utilizadas na DINVI.

Nesse sentido, buscou-se responder à seguinte pergunta: os bombeiros responsáveis pela perícia em locais sinistrados pelos incêndios estão sujeitos à exposição a compostos tóxicos que colocam em risco sua saúde?

Parte-se da hipótese que existe a exposição, haja vista a presença de substâncias tóxicas no ambiente pós-incêndio relatada na literatura, podendo estas ser absorvidas, dentre outras vias, por inalação, pela pele, pelo contato direto com a fumaça ou pela contaminação indireta de ferramentas e equipamentos utilizados durante a atividade de perícia.

Tal abordagem se impõe, conforme comentado acima, devido à composição usual do ar nos ambientes incendiados descrita em bibliografia: geralmente contém subprodutos da combustão, contendo, por exemplo, aldeídos, cloreto de hidrogênio, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAH), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de enxofre, cianeto de hidrogênio, monóxido de carbono, asbestos, entre outros.

Muitas dessas substâncias foram classificadas como carcinogênicos ou potenciais carcinogênicos humanos pela Agência de Pesquisa para Câncer (IARC) e a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).

Além disso, no âmbito do CBMDF, as normas quanto aos cuidados a serem tomados antes, durante e após a atividade pericial não são cogentes. A mais recente normatização nesse sentido trata-se da Instrução Normativa N° 006 - 04/01/2017, que dispõe sobre o uso do Equipamento de Proteção Individual (EPI) em Perícia em Incêndio do CBMDF, mas não prevê nenhuma orientação específica quanto à utilização de EPIs e equipamentos de proteção respiratória (EPRs) de acordo com o tempo decorrido entre o rescaldo e o início da perícia, quanto a procedimentos de descontaminação de EPIs e ferramentas, quanto ao controle de tempo decorrido entre o rescaldo e o início da perícia, duração da atividade pericial, entre outras orientações pertinentes para a atividade.

Assim, o principal objetivo desse estudo foi analisar a suposta exposição a substâncias tóxicas dos peritos e técnicos do CBMDF durante a atividade de investigação de incêndios urbanos. Para isso, foram avaliados quais são os principais compostos lesivos presentes em ambientes sinistrados desse tipo, utilizando-os como marcadores de exposição à fumaça. Também foram relacionados os riscos à saúde e limites de exposição ocupacional desses compostos. Além disso, foi proposto um método de coleta de amostras e de identificação dos compostos tóxicos presentes no ambiente sinistrado aos quais os profissionais estão expostos, comparando-os com aqueles selecionados como marcadores.

Este intento foi atingido mediante a revisão bibliográfica dos compostos tóxicos encontrados em incêndios em ambientes fechados nos últimos 20 (vinte) anos.

Após a seleção das substâncias mais recorrentes nesses incêndios e sua avaliação quanto a riscos e limites de exposição já estabelecidos internacionalmente, foram coletadas amostras de material comburido na cena de incêndio, durante a realização da atividade pericial. Essas amostras foram tratadas, processadas e analisadas em cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas e comparadas com os marcadores reportados na literatura.

A seguir são discutidos: a delimitação dos marcadores de exposição à fumaça para a análise de amostras do ambiente por meio de cromatografia gasosa por espectrometria de massa; os riscos à saúde, limites de exposição ocupacional e proteção respiratória compatível com os marcadores definidos, bem como o método de obtenção das amostras e de identificação das mesmas.

1 DELIMITAR OS MARCADORES DE EXPOSIÇÃO À FUMAÇA

É importante iniciar delimitando os compostos que foram avaliados em relação à sua presença durante a exposição do profissional à fumaça tóxica dos ambientes sinistrados.

De acordo com a literatura técnica (LORBER *et al.*, 2007, p. 20) “os analitos devem ser escolhidos de forma a otimizar a sensibilidade e a especificidade da análise”. Nesse sentido, deve-se restringir a análise a compostos que sejam presumidos indicativos da exposição a produtos de combustão incompleta, selecionando dentre eles aqueles que apresentem características compatíveis com o método analítico utilizado.

Considerando como cenários ambientes incendiados fechados, os analitos selecionados devem abranger os subprodutos da queima dos materiais mais comumente queimados.

Em estudo sobre a exposição de bombeiros aos incêndios (BOLSTAD *et al.*, 2000) constatou-se que, durante a fase de rescaldo do incêndio, os seguintes analitos excederam os valores limites: acroleína (ACGIH – 0,1ppm), formaldeídos (NIOSH – 0,1ppm), glutaraldeídos (ACGIH – 0,05ppm), benzenos (NIOSH – 0,1ppm), dióxido de nitrogênio (NO₂) (NIOSH - 1ppm), dióxido de enxofre (SO₂) (ACGIH – 5ppm) e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (NIOSH – 0,1mg/m³).

Os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares são produtos de combustão incompleta que podem existir nas fases de partículas e gases. Dos 18 (dezoito) PAHs que são comumente

produzidos durante incêndios, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer classificou o benzo[a]pireno como carcinogênico para humanos; o dibenz[a,h]antraceno como provavelmente carcinogênico para humanos; e sete outros (benz[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, indeno[1,2,3-c,d]pireno e o naftaleno) como possivelmente carcinogênicos para os seres humanos.

Além dessas substâncias, outros produtos de combustão incompleta, como o monóxido de carbono (CO) e cianeto de hidrogênio (HCN) podem ser produzidos em altas concentrações a partir da interferência dos retardantes de chama comerciais (operando em fase gasosa) nas reações da chama, aumentando assim a quantidade de gases e fumaça tóxicos (MOLYNEUX; STEC; HULL, 2014).

Esses retardantes e outros aditivos usados para reduzir a inflamabilidade, a propagação de chama e a taxa de liberação de calor estão presentes em materiais de isolamento, revestimento de pisos e outros materiais de construção e mobiliários queimados durante um incêndio.

Segundo Burke (2006), o cianeto de hidrogênio também pode ser formado a partir da queima incompleta de produtos compostos de carbono e nitrogênio, como fibras naturais (lã e seda, por exemplo), e polímeros sintéticos, como poliuretano e náilon.

Por fim, podem ainda ser produzidas substâncias advindas da queima de componentes eletrônicos, como cádmio, mercúrio e chumbo (MULLIN, 2005). Ainda que presentes em menores concentrações, esses compostos apresentam propriedades cancerígenas e/ou tóxicas aos seres vivos.

2 MARCADORES: RISCOS À SAÚDE, LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA RECOMENDADA

Tendo ciência dos principais compostos tóxicos presentes no local pós-incêndio, é também de fundamental importância saber sobre seus riscos à saúde, os limites de exposição ocupacional e a proteção respiratória recomendada para tais compostos.

A norma técnica ABNT NBR 14725-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) estabelece condições para criar consistência no fornecimento de informações sobre questões de segurança, saúde e meio ambiente, relacionadas ao produto químico, a serem descritas nas fichas de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ).

Assim, informações como riscos à saúde e recomendações sobre medidas de proteção e ações em situação de emergência podem ser encontradas nesses documentos, produzidos por empresas fabricantes de produtos químicos.

Para os marcadores delimitados nesse artigo, seus riscos à saúde foram obtidos a partir da respectiva Ficha de Segurança do Produto Químico (FISPQ).

Quanto aos limites de exposição ocupacional, estes são definidos internacionalmente pelos órgãos NIOSH, OSHA e a ACGIH.

O Guia de Bolso para Perigos Químicos da NIOSH (*NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*) apresenta limites de exposição recomendados (RELs), bem como limites de exposição permitidos (PELs), estabelecidos pela OSHA.

Os NIOSH RELs “TWA” indicam uma concentração média ponderada no tempo para um dia de trabalho de até 10 horas durante uma semana de trabalho de 40 horas. Um limite de exposição de curto prazo (STEL) é designado por “ST” precedendo o valor; salvo indicação em contrário, o STEL é uma exposição TWA de 15 minutos que não deve ser excedida a qualquer momento durante um dia de trabalho.

Um teto REL é designado por “C” antes do valor; salvo indicação em contrário, o valor máximo não deve ser excedido a qualquer momento.

As concentrações de TWA para OSHA PELs não devem ser excedidas durante qualquer turno de trabalho de 8 horas de uma semana de trabalho de 40 horas.

Um STEL é designado por “ST” antes do valor e é medido durante um período de 15 minutos, a menos que indicado de outra forma.

As concentrações no teto da OSHA (designadas por “C” antes do valor) não devem ser excedidas durante nenhuma parte da jornada de trabalho.

Apresentados os termos relacionados, nos tópicos seguintes são descritos os riscos à saúde, os limites de exposição ocupacional e a proteção respiratória recomendada para cada um dos marcadores delimitados nesse trabalho.

2.1. Cianeto de hidrogênio

2.1.1. Risco à saúde

O cianeto de hidrogênio pode ser absorvido pelo corpo por inalação, através da pele e por ingestão. Ele entra na corrente sanguínea e impede a utilização do oxigênio intracelular, resultando em asfixia química mesmo na presença de oxigênio adequado na atmosfera, sendo por isso considerado um agente sanguíneo. Os órgãos mais suscetíveis ao cianeto são o sistema nervoso central (SNC) e o coração.

2.1.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL) de 10ppm;
- de acordo com o NIOSH e a ACGIH: limite de exposição no ar recomendado (REL) de 4,7ppm.

2.1.3. Proteção respiratória recomendada

Para exposição acima de 4,7ppm, deve-se utilizar um respirador com aporte de ar com máscara de face inteira operada no modo de demanda de pressão ou pressão positiva.

2.2. Formaldeído (CH₂O)

2.2.1. Risco à saúde

O formaldeído, o aldeído de cadeia mais simples, é tóxico ao ser ingerido, em contato com a pele e se inalado. Provoca queimadura severa à pele com queimaduras na pele com dor, formação de bolhas e descamação. Provoca lesões oculares graves com queimadura, lacrimejamento e dor e pode provocar prurido e dermatite. A exposição única pode provocar anestesia periférica, sonolência, vertigem, inconsciência e redução da acuidade visual.

2.2.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 0,75ppm e PEL-STEL de 2ppm;
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 0,016ppm, e REL-teto máximo de 0,1ppm;
- de acordo com a ACGIH: valor limite (TLV) de 0,3ppm, não devendo ser excedido em momento algum (teto máximo).

2.2.3. Proteção respiratória recomendada

Máscara semifacial ou facial inteira com filtro contra vapores orgânicos. Se houver possibilidade de emissão descontrolada do produto ou no caso de entrada em ambientes de concentração desconhecida deve ser utilizado respirador com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva; podendo também ser utilizado qualquer respirador do tipo autônomo (SCBA), de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva.

2.3. Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)

2.3.1. Risco à saúde

Como já relatado anteriormente, dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos comumente produzidos durante incêndios, a IARC classificou o benzo[a]pireno como carcinogênico para humanos; os dibenz[a,h]antracenos como provavelmente carcinogênico para humanos; e sete outros (benz[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, indeno[1,2,3,c,d] pireno e naftaleno) como possivelmente carcinogênicos para os seres humanos.

2.3.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de Exposição

Composto	OSHA	NIOSH	ACGIH
Acenaftaleno	-	-	-
Acenaftileno	-	-	-
Antraceno	0,2mg/m ³	-	-
Benzo (a)antraceno	-	-	-
Benzo(b)fluoranteno	-	-	Carcinogênico suspeito
Benzo(k)fluoranteno	-	-	--
Benzo(g)(h)perileno	-	-	-
Benzo(a)pireno	0,2mg/m ³ (solubilizado em benzeno)	0,1 mg/m ³ (solubilizado em ciclohexano)	Carcinogênico suspeito
Benzo(e)pireno	-	-	-
Criseno	0,2mg/m ³ (solubilizado em benzeno)	O mais baixo possível, carcinogênico	Carcinogênico suspeito
Dibenzo (a)(h)antraceno	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-
Fluoreno	-	-	-
Indeno (1,2,3-cd)pireno	-	-	-
Naftaleno	10 ppm	10 ppm; STEL 15ppm	10 ppm; STEL 15ppm
Fenantreno	0,2mg/m ³	-	-
Pireno	-	-	-

Fonte: Adaptado de (NIOSH, 1994, p.7)

2.3.3. Proteção respiratória recomendada

Máscara semifacial ou facial inteira com filtro contra vapores orgânicos, com filtros de partículas P1 em locais com poeira. Para locais com muita fumaça e/ou alta concentração de partículas, recomenda-se o uso de filtro de partículas P2 com peça facial inteira, para proteção adicional dos olhos e da pele do rosto. Se houver possibilidade de emissão descontrolada do produto ou no caso de entrada em ambientes de concentração desconhecida deve ser utilizado respirador com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva; podendo também ser utilizado qualquer respirador do tipo autônomo, de peça facial inteira,

operado em modo de pressão positiva (AUSTRALIAN INSTITUTE OF OCCUPATIONAL HYGIENISTS, 2016).

2.4. Monóxido de carbono (CO)

2.4.1. Risco à saúde

A exposição ao monóxido de carbono impede a capacidade do sangue de transportar oxigênio para os tecidos do corpo e órgãos vitais. Quando o monóxido de carbono é inalado, combina com a hemoglobina (um componente ferro-proteína dos glóbulos vermelhos), produzindo carboxihemoglobina (COHb), o que diminui muito a capacidade de transporte de oxigênio da hemoglobina.

A afinidade de ligação da hemoglobina com o monóxido de carbono é 300 vezes maior do que a sua afinidade com o oxigênio. Como resultado disso, pequenas quantidades de monóxido de carbono podem reduzir drasticamente a capacidade da hemoglobina de transportar oxigênio.

Os sintomas mais comuns da exposição ao monóxido de carbono são dor de cabeça, náuseas, respiração rápida, irritação na garganta, tosse, fraqueza, cansaço, tontura e confusão. Hipóxia (falta de oxigênio grave) devido a envenenamento por monóxido de carbono aguda pode resultar em efeitos neurológicos reversíveis, mas longas exposições podem resultar em efeitos neurológicos irreversíveis (dano cerebral) ou cardiológica (danos ao coração).

A exposição a altas concentrações de CO pode ser fatal aos seres humanos, por causar asfixia.

2.4.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 50ppm;
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 35ppm.

2.4.3. Proteção respiratória recomendada

Para a entrada de emergência ou planejada em concentrações desconhecidas ou condições imediatamente perigosas para a vida ou saúde (IDLH): qualquer equipamento de respiração autônomo que tenha uma máscara facial completa e seja operado sob demanda de pressão ou outro modo de pressão positiva em combinação ou não com um aparelho auxiliar de respiração de pressão positiva.

2.5. Dióxido de carbono (CO₂)

2.5.1. Risco à saúde

O dióxido de carbono é um asfixiante que em concentrações acima de 10% ou mais podem causar inconsciência ou morte.

Além disso, o contato aos olhos com líquido ou vapor frio pode causar congelamento do tecido. Quanto ao contato com a pele do líquido ou vapor frio pode causar congelamento.

2.5.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 5000ppm;
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 5000ppm.

2.5.3. Proteção respiratória recomendada

Para a entrada de emergência ou planejada em concentrações desconhecidas ou condições IDLH: qualquer equipamento de respiração autônomo que tenha uma máscara facial completa e seja operado sob demanda de pressão ou outro modo de pressão positiva em combinação ou não com um aparelho auxiliar de respiração de pressão positiva.

2.6. Acroleína (C₃H₄O)

2.6.1. Risco à saúde

A acroleína, composto de aldeído etilênico, é tóxica e fortemente irritante para a pele, os olhos e para as vias aéreas. Diminui a função pulmonar e pode ocasionar edema pulmonar e doença crônica respiratória.

Há também estudos que a indicam como principal agente etiológico do câncer de pulmão relacionado à fumaça de cigarro, contribuindo para a carcinogênese por meio de dois efeitos prejudiciais: dano ao ácido desoxirribonucleico (DNA) e inibição de sua reparação. (FENG et al., 2006).

2.6.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 0,1ppm;
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 0,1ppm.

2.6.3. Proteção respiratória recomendada

Em caso de entrada de emergência ou planejada em concentrações desconhecidas ou condições IDLH, recomenda-se a utilização de qualquer equipamento de respiração autônomo que tenha uma máscara facial completa e seja operado sob demanda de pressão ou outro modo de pressão positiva em combinação com um aparelho auxiliar de respiração de pressão positiva.

2.7. Dióxido de enxofre (SO₂)

2.7.1. Risco à saúde

O dióxido de enxofre é um gás tóxico e corrosivo na presença de umidade, agindo principalmente no sistema respiratório, exercendo uma ação corrosiva e causando grande irritação.

Sua inalação causa irritação da garganta, tosse, dificuldades respiratórias, constrição da caixa torácica, inflamação aguda do sistema respiratório e edema pulmonar.

Sua presença no ar causa irritação nos olhos imediatamente.

2.7.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 5ppm (13mg/m³);
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 2ppm (5mg/m³).

2.7.3. Proteção respiratória recomendada

Para entrada de emergência ou planejada em concentrações desconhecidas ou condições IDLH recomenda-se qualquer equipamento de respiração autônomo que tenha uma máscara facial completa e seja operado sob demanda de pressão ou outro modo de pressão positiva em combinação com um aparelho auxiliar de respiração de pressão positiva.

2.8. Benzenos (C₆H₆)

2.8.1. Risco à saúde

O benzeno apresenta risco de efeitos graves para a saúde em caso de exposição prolongada por inalação, em contato com a pele e por ingestão.

Pode causar câncer, alterações genéticas hereditárias e danos nos pulmões se ingerido. Também é irritante para os olhos e pele.

2.8.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-TWA) de 1ppm;
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 0,1ppm.

2.8.3. Proteção respiratória recomendada

Para entrada de emergência ou planejada em concentrações desconhecidas ou condições IDLH recomenda-se qualquer equipamento de respiração autônomo que tenha uma máscara facial completa e seja operado sob demanda de pressão ou outro modo de pressão positiva em combinação com um aparelho auxiliar de respiração de pressão positiva.

2.9. Dióxido de nitrogênio (NO₂)

2.9.1. Risco à saúde

O dióxido de nitrogênio pode ser fatal se inalado. Não é esperado que o produto apresente toxicidade aguda por via oral e dérmica.

Provoca queimadura severa à pele com dor, formação de bolhas e descamação. O contato com o produto pode causar queimadura pelo frio na pele e nos olhos (*frostbite*). Provoca lesões oculares graves com queimadura, lacrimejamento, dor e possibilidade de lesões irreversíveis. O contato com a substância pode causar queimadura pelo frio nos olhos (*frostbite*).

2.9.2. Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional estabelecidos internacionalmente (NIOSH, 2007) são:

- de acordo com a ACGIH: valor limite (TLV) de 0,2ppm, não devendo ser excedido em momento algum (teto máximo);
- de acordo com a OSHA: limite de exposição permissível legal no ar (PEL-C) de 5ppm ($9\text{mg}/\text{m}^3$);
- de acordo com o NIOSH: limite de exposição no ar recomendado (REL-TWA) de 1ppm ($1,8\text{mg}/\text{m}^3$).

2.9.3. Proteção respiratória recomendada

Recomenda-se a utilização de equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo com pressão positiva.

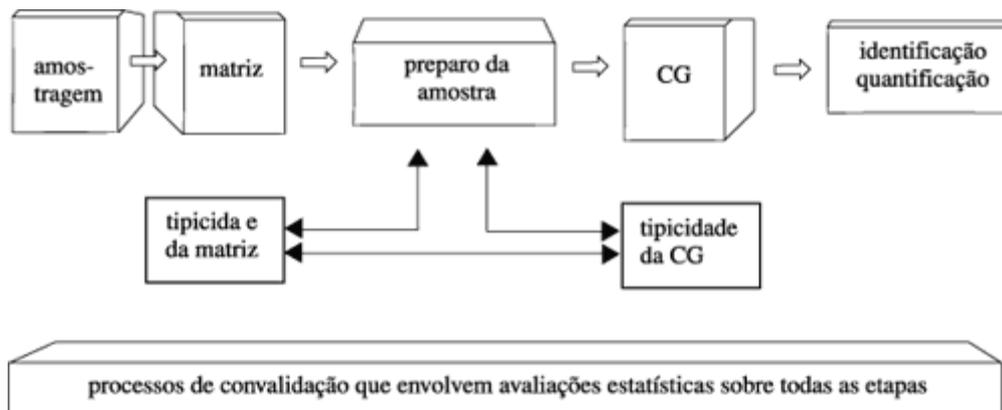
Assim, ficam descritos aqui detalhes acerca dos principais marcadores de compostos tóxicos presentes comumente na fumaça produzida em ambientes incendiados. Para que eles possam ser identificados nas amostras a serem analisadas, deve-se dispor de métodos de coleta, preparo e identificação que se adequem às suas características físicas e químicas, além de sensibilidade e acessibilidade condizentes, sendo abordados no tópico a seguir.

3 COLETA, PREPARAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

De igual importância a serem abordadas são as metodologias disponíveis atualmente para a análise das amostras do ambiente pós-incêndio por cromatografia gasosa (GC).

Esta análise, como representado na Figura 1, envolve várias etapas, dentre elas a amostragem, o preparo da amostra, a identificação e/ou quantificação e a tomada de decisão, com base nos processos de convalidação que envolvem avaliações estatísticas sobre todas as etapas.

Figura 1 - Etapas num processo analítico visando a análise química por CG



Fonte: Adaptado de (VALENTE; AUGUSTO, 2000, p.1)

E, conforme explicitado por Bortoluzzi (2007, p.1), “a qualidade das etapas envolvidas num procedimento analítico determina a viabilidade para a aplicação da metodologia desenvolvida”.

3.1. Amostragem e preparo da amostra por *headspace*

Na etapa de amostragem, deve-se obter uma fração presumivelmente representativa do ambiente analisado.

A coleta deve primar por manter as características da amostra até o momento de sua análise, evitando sua degradação física, bem como sua contaminação com outras substâncias químicas ou biológicas.

Na fração amostrada, sem contaminantes nem degradações, deve ser possível identificar e quantificar os marcadores de exposição à fumaça e seus componentes químicos tóxicos. Porém, ainda que mantidas as características iniciais da amostra, devido à grande quantidade de componentes alheios aos marcadores, é comum a necessidade de realização do preparo prévio das amostras, já que tais componentes costumam gerar interferências que são incompatíveis com os equipamentos analíticos.

O preparo da amostra visa isolar e, concomitantemente, concentrar as espécies de interesse a níveis adequados, de acordo com a sensibilidade do método analítico utilizado.

No contexto das análises químicas, diversas técnicas já foram desenvolvidas para o preparo de amostra. Entre elas, a extração líquido-líquido e a extração em fase sólida estão entre as técnicas mais utilizadas em procedimentos desse tipo.

Entretanto, de acordo com Clement, Eiceman e Koester (1995) estas técnicas apresentam o inconveniente da utilização de solventes orgânicos (normalmente inflamáveis e tóxicos) e excessiva manipulação da amostra, levando a riscos de contaminações e perda de analitos.

Uma alternativa a essas metodologias de preparo de amostras é extração por *headspace*. O *headspace* é uma técnica de análise amplamente utilizada e de adequada sensibilidade para a determinação de compostos voláteis. Nesta técnica, simples e rápida, é feita a análise cromatográfica da fase gasosa que está em equilíbrio com a matriz.

Como o analito é, necessariamente, mais volátil que a matriz, este volatiliza preferencialmente, podendo ser determinado sem os interferentes presentes na amostra.

A principal vantagem do *headspace* é a possibilidade de determinação dos componentes voláteis na amostra a ser estudada de forma direta, ou seja, através da introdução da amostra no cromatógrafo a gás sem pré-tratamento.

O *headspace* tem sido usado com sucesso há mais de 30 anos na análise de detritos de incêndio. Ettlíng e Adams foram os primeiros a aplicar essa técnica na extração de detritos (ETTLING; ADAMS, 1968). Essa técnica requer muito pouco aparato: uma seringa e possivelmente uma estufa de aquecimento ou forno. Atualmente um método padrão de análise utilizando o *headspace* é disponibilizado pela Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM), o E 1388 (ASTM, 2001).

A simples extração do *headspace* consiste em usar uma seringa para retirar um pequeno volume do espaço livre do recipiente de detritos de um incêndio e injetar diretamente esse volume em um cromatógrafo a gás. O procedimento de extração é realizado em três etapas: aquecimento, retirada e injeção (STAUFFER; DOLAN; NEWMAN, 2008).

Essa técnica é altamente dependente da temperatura da amostra, pois depende diretamente da pressão de vapor dos componentes dentro do container. Assim, é importante aquecer a amostra para aumentar a concentração dos analitos de interesse no *headspace*. Para fazer isso, o recipiente pode ser colocado em um forno ou em uma estufa de aquecimento. O recipiente nunca deve ser aquecido acima de 100°C, pois a água evapora, o que pode interferir na análise. As temperaturas ideais para esse procedimento estão na faixa de 60 a 90°C.

Uma vez que a amostra é colocada no forno ou na estufa, é importante deixá-la atingir o equilíbrio térmico, pois a temperatura não aumenta rapidamente dentro da amostra. Finalmente, a seringa também deve ser aquecida à mesma temperatura, de modo que os voláteis não se condensem no corpo da seringa quando o espaço de topo é puxado.

3.1.1. Remoção

Quando a amostra atinge o equilíbrio térmico, prossegue-se para a remoção do espaço livre. Cuidado especial deve ser dado quanto à necessidade de usar uma seringa projetada para lidar com gases e não líquidos, devendo ser hermética. A seringa é colocada dentro do recipiente perfurando o septo ou o pedaço de fita. Neste ponto, todo o volume da seringa é puxado para dentro e para fora três a quatro vezes e, em seguida, o volume adequado é retirado.

É importante não extrair muito volume. Ao estimar o volume que deve ser retirado, deve-se levar em conta o volume do revestimento na porta do injetor do GC. Não é uma boa prática injetar um volume maior do que a capacidade do revestimento, pois pode resultar em sobrepressão no injetor e subsequentemente na falha da análise cromatográfica. Geralmente, um volume entre 0,5 e 1 ml é suficiente.

3.1.2. Injeção

Uma vez que o volume adequado é puxado para a seringa, este é extraído rapidamente do recipiente e colocado dentro da porta de injeção do GC. É importante proceder a esta etapa o mais rápido possível. Os analitos dentro da seringa eventualmente escapam se a transferência não for rápida o suficiente. A transferência do contêiner para o injetor não deve demorar mais do que poucos segundos. Por esse motivo, é necessário prosseguir para a etapa seguinte com o contêiner ao lado do GC.

3.1.3. Contaminação

É crucial assegurar que a seringa não esteja contaminada, mas o risco é muito limitado, pois é usada para retirar apenas vapores e não líquidos (STAUFFER; DOLAN; NEWMAN, 2008).

Ao aquecer a seringa no forno com a amostra, quaisquer resíduos de vapores seriam expelidos. Uma amostra em branco deve ser injetada antes de qualquer amostra do caso. Para esse fim, a seringa é simplesmente utilizada para extrair um certo volume de ar do laboratório e injetá-lo no GC.

Como a simples extração do *headspace* usa o contêiner original, não é preciso se preocupar com a limpeza de novos béqueres ou outros recipientes. A única ferramenta que deve ser livre de contaminação é o objeto usado para perfurar a tampa da lata em que está contida a amostra.

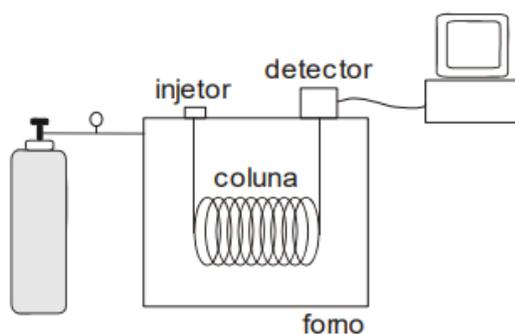
3.2. Identificação e quantificação da amostra por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas

De acordo com Presutti:

A separação por cromatografia a gás se baseia na distribuição das substâncias da amostra entre uma fase estacionária (sólida ou líquida) e uma fase móvel gasosa. A amostra, em sua forma gasosa ou líquida, por meio de um sistema de injeção é introduzida em uma coluna contendo a fase estacionária. Uma corrente de gás passa continuamente pela coluna e arrasta a substância volatilizada através da coluna. A interação entre as substâncias da amostra e a fase estacionária possibilita que os analitos tenham velocidade de migração diferentes, desta forma separando as substâncias da amostra. No detector geram sinais para fins de registro (2017, p. 30).

A cromatografia gasosa, por possuir um excelente poder de resolução, permite analisar dezenas e até mesmo centenas de componentes de uma única amostra. Possuindo limites de detecção baixos, também permite a utilização de pequenas quantidades de amostra, na ordem de pictogramas por mililitro ou menos (PRASAD et al., 2008). A Figura 2 mostra os principais componentes de um sistema de cromatografia a gás.

Figura 2 - Componentes principais de um sistema de cromatografia a gás



Fonte: (PRESUTTI, 2017, p.31)

A cromatografia pode ser combinada a diferentes sistemas de detecção, tratando-se de uma das técnicas analíticas mais utilizadas e de melhor desempenho (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM 2008).

Por volta de 1970, a cromatografia gasosa foi acoplada diretamente à espectrometria de massas (MS) e se tornou um poderoso método de identificação de compostos apolares (MAURER, 1992). A partir da ionização de moléculas da amostra aplicada em um espectrômetro de massa, os íons se movimentam ao longo de um campo eletromagnético e são captados pelo detector. Valores de razão massa/carga (m/z) são determinados para cada íon (PITT, 2009).

O acoplamento de um cromatógrafo com o espectrômetro de massas combina as vantagens da cromatografia (alta seletividade e eficiência de separação) com as vantagens da espectrometria de massas (obtenção de informação estrutural, massa molar e aumento adicional da seletividade frente a misturas complexas), permitindo uma maior precisão dos resultados. Esses resultados podem ainda ser confrontados e comparados por similaridade com biblioteca interna, utilizando o tempo de retenção característico de cada substância identificada pela espectrometria de massas, com o auxílio de um microcomputador acoplado ao sistema GC-MS. A Figura 3 exibe o sistema GC-MS utilizado pela DINVI atualmente.

Figura 3 - Sistema GC-MS

1 - Auto Injetor; 2 - Cromatógrafo a gás; 3 - Espectrômetro de Massas e 4 - Microcomputador com biblioteca interna de dados



Fonte: Repositório digital da DINVI (2010)

4 METODOLOGIA

4.1. Design de estudo

Conforme salientado na introdução, o estudo compreendeu, além da delimitação e caracterização dos marcadores de exposição à fumaça, a coleta de amostras sólidas emitindo gases de ambientes confinados pós-sinistro, para dessa forma demonstrar a necessidade da adoção de medidas adicionais de segurança e saúde pelos bombeiros militares que realizam a atividade de perícia. As coletas de amostra foram efetuadas durante a realização de perícias de incêndios em edificação realizados pelo CBMDF entre os meses de março e maio de 2019.

Para isso as diferentes equipes de técnicos e oficiais peritos de incêndio foram instruídas quanto à obtenção da amostra, bem como seu armazenamento e identificação, padronizando assim o procedimento a todos.

A identificação dos marcadores em GC-MS ocorreu logo após a coleta das amostras. A discussão dos resultados e conclusão ocorreram entre maio e junho do mesmo ano.

4.2. Ambiente periciado

Amostras sólidas emitindo gases foram coletadas do interior de cada ambiente sinistrado durante a atividade pericial, incluindo principalmente materiais presentes na zona de origem do incêndio (região, ambiente ou cômodo, em parte ou por completo, do local do incêndio no qual o foco inicial está localizado).

Para reproduzir as condições comumente encontradas pela equipe de perícia, somente foram analisadas em GC-MS as amostras coletadas em perícias de ocorrências em edificação, assemelhando-se à maior parte das perícias realizadas em 2017 pela Corporação.

Dados estatísticos daquele ano mostram que cerca de dois terços do total das ocorrências atendidas pelos peritos ocorreram em edificações; além disso, a média de perícias mensal foi de 24 perícias/mês, sendo a duração média de cada perícia (ou seja, de contato do investigador com o ambiente tóxico de 54 minutos e 23 segundos).

Ademais, quanto à equipe de militares presentes no cenário de incêndio e responsáveis pela coleta da amostra, esta era composta por três bombeiros (dois técnicos - condutor e fotógrafo e um perito – titular ou reserva), podendo variar dentre os 30 peritos e 29 técnicos

que compunham a equipe de militares na escala de serviço pericial (24 horas de trabalho x 72 horas de descanso) da DINVI até setembro de 2018.

4.3. Amostragem e identificação

A coleta da amostra foi realizada pelo princípio de *headspace* estático (conforme o método ASTM E1388 (ASTM, 2001) adaptado pelo Laboratório de Química (LAQUI) da DINVI.

A princípio, seria realizada a técnica de *headspace* passivo (conforme o método ASTM E2154-01 (ASTM, 2001) também adaptado pelo Laboratório de Apoio Pericial (LAP) da DINVI, porém, devido à baixa sensibilidade do método em testes iniciais deste trabalho, este foi substituído pelo *headspace* estático.

Os materiais emitindo vapores presentes nos ambientes pós-incêndio foram coletados em recipientes de metal com volume total de 1L e 3L, apresentando um adaptador de septo para seringas na tampa. Esses recipientes foram previamente aquecidos a 200°C por 4-8 horas antes do uso, para remover qualquer possível contaminante volátil presente na lata. Eles foram transportados para o LAQUI, onde também foram armazenados.

O transporte e armazenamento até imediatamente antes da análise foram realizados a temperatura ambiente, de acordo com os procedimentos internos padrões.

As amostras coletadas nos recipientes metálicos foram aquecidas em forno a 90°C por no mínimo 2 horas, conforme procedimento interno estabelecido pela DINVI, sendo então os vapores recolhidos por seringa *airtight* ou *gastight* de 2,5mL.

As seringas também foram aquecidas à mesma temperatura das amostras. Os vapores coletados pelas seringas (2,5mL de volume de amostra) foram injetados diretamente no sistema cromatográfico GCMS-QP 2010 Plus Shimadzu (Quioto, Japão).

As condições cromatográficas foram realizadas conforme Tabela 2, podendo ser otimizadas de acordo com a eficiência obtida para cada corrida de amostra efetuada.

Tabela 2 – Condições de análise no GC-MS

Tipo de coluna	RTX-5MS Restek
	Dimensões: 30cm x 0,25mm x 0,25µm
Gás de arraste	Hélio, fluxo de 1,0ml/min (medido à 170°C)
Razão de separação	20:1
Temperatura de injeção	275°C
Programa de temperatura da coluna	Conforme ASTM 1618: 50°C (2,5 min), taxa de 15°C/min, temperatura final 300°C ficando por 5,83min. Tempo de corrida total: 25min.
Temperatura da interface	250°C
Temperatura da fonte de íons	200°C
Temperatura da armadilha de íons do MS	100°C
Condições de ionização	Baixa massa 37 m/z, alta massa 400 m/z; ionização elétrica

Fonte: (ALMIRAL; FURTON, 2004, p.54)

4.4. Identificação e Análise dos dados obtidos

Os dados foram registrados no microcomputador do sistema GCMS-QP 2010 Plus e tabelados usando o MS Excel (Microsoft Corp., Redmond, CA).

Para a identificação das amostras, esta foi realizada de acordo com os tempos de retenção obtidos nos cromatogramas fornecidos pelo sistema GCMS-QP 2010 Plus, sendo estes comparados com a biblioteca interna do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), presente também no microcomputador do sistema GCMS-QP 2010 Plus.

4.5. Resultados e Discussão

A análise da exposição tóxica dos peritos e técnicos do CBMDF durante a atividade de investigação de incêndios urbanos foi realizada e os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 3. Registros fotográficos das amostras e dos ambientes periciados, bem como os cromatogramas com os tempos de retenção das substâncias identificadas encontram-se nos Apêndices A-I.

O método proposto para a coleta de amostras e para a identificação de substâncias tóxicas por meio de um sistema cromatográfico apresentou limitações quanto à sua

sensibilidade, limitando a análise dos marcadores principalmente para aqueles que apresentavam moléculas leves a médias, com cadeias apresentando entre 4 e 8 carbonos. Assim, com base na avaliação dos marcadores de exposição à fumaça realizada por meio de revisão bibliográfica nesse artigo, marcadores com 1 a 2 carbonos, como monóxidos e dióxidos não puderam ser identificados com resolução adequada, exceto nas amostras em que se apresentaram com altíssima concentração, possibilitando assim sua diferenciação das demais moléculas de tamanho e características próximas.

Marcadores com cadeias maiores, como hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, estiveram menos presentes nas amostras analisadas que o esperado. Esse comportamento pode ser explicado pelas características do método utilizado, que, de acordo com STAUFFER; DOLAN; NEWMAN (2008), não apresenta boa recuperação de substâncias com cadeias de carbono muito pesadas.

Contudo, apesar dessa limitação, por meio do método cromatográfico realizado, foram identificadas ao menos vinte e oito substâncias diferentes nas nove amostras coletadas. Dentre elas, substâncias de toxicidades amplamente estudadas e conhecidas, como hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAH), hidrocarbonetos aromáticos mononucleares (benzenos e seus derivados) e dióxido de carbono, estabelecidos nesse trabalho como marcadores de exposição tóxica à fumaça.

As substâncias contendo benzeno estiveram presentes em todas as amostras analisadas. Especialmente o estireno, presente em seis das nove perícias realizadas, que constitui alguns tipos de plásticos, material sintético amplamente utilizado atualmente.

Além dos compostos relacionados aqui como marcadores de exposição tóxica, substâncias como os fenóis, os furfurais (aldeído com cadeia aromática heterocíclica) e outros aldeídos também foram identificados nas análises cromatográficas realizadas. Furfurais e fenóis já são citados na literatura como possíveis carcinogênicos, apresentando limites de exposição ocupacional definidos pela NIOSH. Quanto aos aldeídos, aqueles de cadeias menores, como o butanal, ainda possuem poucos dados com base em testes, mas a NIOSH recomenda que sejam considerados como potenciais carcinogênicos, em conformidade com a política da OSHA.

Assim, as diferentes substâncias encontradas no ambiente periciado pelos profissionais do CBMDF, consideradas tóxicas, carcinogênicas e potencialmente carcinogênicas, demonstram a necessidade da adoção de medidas de segurança, visando a proteção da saúde a curto e longo prazo dos bombeiros militares que realizam a atividade de perícia em incêndios urbanos.

Tabela 3 – Listagem de substâncias identificadas pelo GC-MS QP 10 Plus em cada ocorrência periciada

Substância identificada	Principais grupos funcionais/ estruturas	Ocorrência Periciada (OP)								
		OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8	OP 9
2,4-dimetil 1-hepteno	Alcenos		Presente	Presente				Presente	Presente	Presente
2-metil-2-penteno	Alcenos				Presente					
2-metil-propanal	Aldeídos									Presente
3-metil-butanal	Aldeídos									Presente
Ácido Benzenocarboxílico	Ácidos carboxílicos, Benzenos	Presente								
α -metil-estireno	Benzenos									Presente
α -Pireno	PAH		Presente							
Azuleno	Benzenos								Presente	
Benzaldeído	Benzenos, Aldeídos									Presente
Benzenos	Benzenos							Presente		
β Pireno	PAH		Presente							
Canfeno	Alcanos		Presente							
Canfora	Éteres		Presente							
Dióxido de carbono								Presente	Presente	
Estireno	Benzenos	Presente		Presente	Presente	Presente			Presente	Presente
Etil-Benzeno	Benzenos			Presente						Presente
Eucaliptol	Éteres cíclicos		Presente							
Fenol	Fenóis	Presente								
Furfural	Aldeídos	Presente		Presente	Presente					
Heptanol-heptadecanol	Álcoois									
Limoneno	Éteres cíclicos							Presente		
n-heptanal	Aldeídos								Presente	
n-hexanal	Aldeídos								Presente	
n-metilpirrol	Aromáticos heterocíclicos		Presente							
n-octanal	Aldeídos								Presente	
n-pentano	Alcanos					Presente				
p,o,m – cimeno	Benzenos		Presente							
Tolueno	Benzenos		Presente	Presente				Presente	Presente	Presente

As substâncias destacadas em amarelo correspondem àquelas reconhecidas como possível ou potencialmente carcinogênicas.

As substâncias em vermelho correspondem àquelas reconhecidas como carcinogênicas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como principal objetivo analisar a exposição tóxica dos peritos e técnicos do CBMDF durante a atividade de investigação de incêndios urbanos. Para isso, teve como objetivos específicos: identificar na literatura os principais compostos lesivos presentes em ambientes sinistrados desse tipo, utilizando-os como marcadores de exposição à fumaça; propor um método de coleta de amostras e de identificação dos compostos tóxicos selecionados no ambiente sinistrado aos quais os profissionais estão expostos; e, finalmente, avaliar a necessidade do estabelecimento de procedimentos que protejam os bombeiros frente aos riscos a saúde a curto e longo prazo relacionados.

Assim, foram obtidos dados qualitativos de ambientes periciados que confirmaram a hipótese desse estudo, evidenciando a exposição dos militares envolvidos no serviço de perícia de incêndio em ambientes com presença de compostos tóxicos e, por conseguinte, os riscos à saúde vivenciados por esses profissionais por meio de revisão bibliográfica, da coleta de amostras durante as atividades periciais e de técnicas de química analítica realizadas atualmente pela Diretoria de Investigação de Incêndio da Corporação.

A fim de tornar tais riscos aceitáveis para atividade pericial, sugere-se a adoção das medidas contidas no folheto “Recomendações de Segurança – Guia Rápido”, criado com informações resumidas para a conscientização da tropa quanto aos riscos enfrentados durante a atividade pericial; bem como a adoção das medidas contidas no documento “Procedimento Operacional Padrão de Segurança na Perícia de Incêndio”, que orienta quanto ao controle de tempo decorrido entre o rescaldo e o início da perícia e da atividade de perícia propriamente dita, quanto à utilização de EPIs e EPRs de acordo com esses períodos, quanto a procedimentos de descontaminação de EPIs e ferramentas, entre outras orientações pertinentes para a atividade. Tais medidas poderão servir também para a revisão ou complementação da Instrução Normativa N° 006 - 04/01/2017, que discorre sobre a utilização de EPIs pelos militares responsáveis pela perícia de incêndio no CBMDF.

Além disso, esse trabalho permitiu, dentro da DINVI, uma maior padronização na técnica de coleta de amostras pelas equipes de técnicos e peritos. Ao longo do trabalho, foram observadas melhorias a serem feitas no que tange à quantidade necessária de amostra a ser coletada, tempo de estocagem da amostra no meio coletor (possibilidade de corrosão do meio coletor) e forma de identificação dessas amostras, o que corroborou para a confecção do “Procedimento Operacional Padrão (POP) de Coleta de Amostras de Resíduos de Líquidos

Inflamáveis” utilizado pela DINVI. Dessa forma, traz-se mais padronização, qualidade e rastreabilidade às perícias realizadas pelo CBMDF.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a análise das substâncias aqui descritas que não foram passíveis de análise pela metodologia utilizada, devido às limitações do método. Dentre elas, em especial, o cianeto de hidrogênio e o monóxido de carbono, presentes na queima de materiais contendo retardantes de chamas e materiais isolantes, como a espuma de poliuretano. Essas substâncias se apresentam cada vez mais presentes nos incêndios atuais, diferenciando os incêndios dos últimos anos daqueles de décadas atrás.

Quanto às metodologias a serem realizadas, sugere-se testar o método de *headspace* passivo com uso de carvão ativado e de fibras de SPME de diferentes composições, a fim de selecionar o material que mais se adeque à amostra coletada.

Ademais, sugere-se também a quantificação dos compostos identificados nesse trabalho, por meio da aquisição de padrões internos das substâncias a serem quantificadas. Com a validação de métodos de quantificação, poder-se-á afirmar com maior segurança as concentrações dos compostos tóxicos às quais os peritos têm sido expostos, fornecendo dados concretos da exposição nociva à saúde e direcionando de forma mais precisa o perito de incêndio na tomada de decisão quanto aos EPRs e EPIs mais adequados para realização da atividade.

Estes dados quantitativos também poderão ser confrontados com os limites de exposição ocupacional descritos nesse trabalho e com o histórico médico dos bombeiros que atuam e já atuaram na atividade de perícia. O histórico médico poderá ser obtido com a Policlínica Médica do CBMDF, por meio de levantamento da presença de doenças relacionadas à exposição ocupacional, como, por exemplo, câncer, doenças respiratórias, cardiológicas e neurológicas entre os bombeiros da Corporação. Isso permitirá uma avaliação mais abrangente da atividade pericial, examinando sua possível relação com doenças ocupacionais advindas da exposição a substâncias tóxicas presentes no ambiente pós-incêndio no Distrito Federal.

EVALUATION OF TOXIC EXPOSURE DURING THE URBAN FIRE INVESTIGATIONS PERFORMED BY THE CBMDF

ABSTRACT

This paper analyzes the toxic exposure during urban fire investigations performed by the Fire Department of the Federal District (CBMDF). The approach is justified by the continuous contact of the investigators to the harmful smoke, that even after the fire was extinguished continues to volatilize, which compromises the health of the military during this activity. The purpose of this work was to evaluate the need for additional health and safety measures during fire investigation. This was achieved through the gaseous sample collection with static headspace from the post burn environment during the conduct of the Investigation activities by CBMDF and the subsequent identification and quantification of toxic compounds (markers selected for the smoke exposure) with gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS), technology used by the Fire Investigation Department (DINVI) of CBMDF. The analysis, accomplished with the sample collections performed between March and May 2019, indicated the presence of different substances considered carcinogenic or potentially carcinogenic to humans, such as benzenes and their derivatives, polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) and furfural. Thus, the need for measures to protect military firefighters from the harmful effects of these substances in the short and long term was evidenced, as shown in the standard operating procedure (SOP) and the quick guide written, indicating the best safety and health practices to be followed for the fire investigation activity. Finally, the sampling methodology adopted in this work allowed the production of a SOP for the sample collection for the fire investigation performed by CBMDF, bringing higher quality to this activity.

Keywords: Toxic exposure. Fire investigation. Gas chromatography coupled to mass spectrometry.

REFERÊNCIAS

ALMIRAL, J. R.; FURTON, K. G. Characterization of background and pyrolysis products that may interfere with the forensic analysis of fire debris. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 71, n. 1, p. 51–67, 1 mar. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237003000986>>. Acesso em: 8 dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14725-1: Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 1: Terminologia**. p. 9, 2009.

ASTM. **ASTM E2154-01, Standard Practice for Separation and Concentration of Ignitable Liquid Residues from Fire Debris Samples by Passive Headspace Concentration with Solid Phase Microextraction (SPME)**. p. 3, 2001. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E2154-01>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

AUSTRALIAN INSTITUTE OF OCCUPATIONAL HYGIENISTS. **Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and occupational health issues**. Disponível em: <<https://www.aioh.org.au/documents/item/100>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BOLSTAD-, D. M. et al. Characterization of Firefighter exposures during fire overhaul. **AIHAJ**, v. 641, n. October, p. 636–641, 2000.

BORTOLUZZI, J. H. Aplicação da técnica de SPME-GC-MS na determinação de produtos voláteis gerados na degradação de polímeros. 2009. 175 p. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BURKE, R. **Hydrogen Cyanide: The Real Killer Among Fire Gases**. 2006. Disponível em: <<https://www.firehouse.com/rescue/article/10502165/hydrogen-cyanide-the-real-killer-among-fire-gases>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

CHIARADIA, M. C.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F. O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 623–636, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000300030&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 25 nov. 2018.

CLEMENT, E. R.; EICEMAN, A. G.; KOESTER, J. C. Environmental Analysis. **Analytical chemistry**, v. 67, p. 221R-255R, 1 jul. 1995.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Instrução Normativa Nº 006 – Uso de Equipamento de Proteção Individual Perícia em Incêndio (EPI Perícia em Incêndio) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF)**. p.2. Brasília, 2017.

ETTLING, B. V.; ADAMS, M. F. The Study of Accelerant Residues in Fire Remains. **Journal of forensic sciences**, v. 13, n. 1, p. 76–89, jan. 1968.

FENG, Z. et al. Acrolein is a major cigarette-related lung cancer agent: Preferential binding at p53 mutational hotspots and inhibition of DNA repair. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 42, p. 15404–9, 17 out. 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17030796>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

LORBER, M. et al. Assessment of Inhalation Exposures and Potential Health Risks to the General Population that Resulted from the Collapse of the World Trade Center Towers. **Risk Analysis**, v. 27, n. 5, p. 1203–1221, 7 dez. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00956.x>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

MAURER, H. H. Systematic toxicological analysis of drugs and their metabolites by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 580, n. 1–2, p. 3–41, 1992.

MOLYNEUX, S. A.; STEC, A. A.; HULL, T. R. The correlation between carbon monoxide and hydrogen cyanide in fire effluents of flame retarded polymers. **Fire Safety Science**, v. 11, p. 389–403, 2014.

MULLIN, R. C. **Chemicals Released During Open Burning**, 2005.

NIOSH. Method 5515: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by GC. In: **NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)**. v. 5506, n.4, p. 1–7., 1994.

NIOSH. NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS. **Safety And Health**, n. 2005, p. 454, 2007. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

PITT, J. J. Principles and applications of liquid chromatography-mass spectrometry in clinical biochemistry. **Clinical Biochemical Reviews**, v. 30, n. 1, p. 19–34, 2009.

PRASAD, S. et al. Constituents with Independence from Growth Temperature for Bacteria Using Pyrolysis-Gas Chromatography/Differential Mobility Spectrometry with Analysis of Variance and Principal Component Analysis. **The Analyst**, v. 133, n. 6, p. 760–767, jun. 2008.

PRESUTTI, T. R. **Aplicação da cromatografia a gás associada à espectrometria de massas em tandem no diagnóstico da deficiência de 3 β -hidroxidesidrogenase**. 2017. Universidade de São Paulo, 2017.

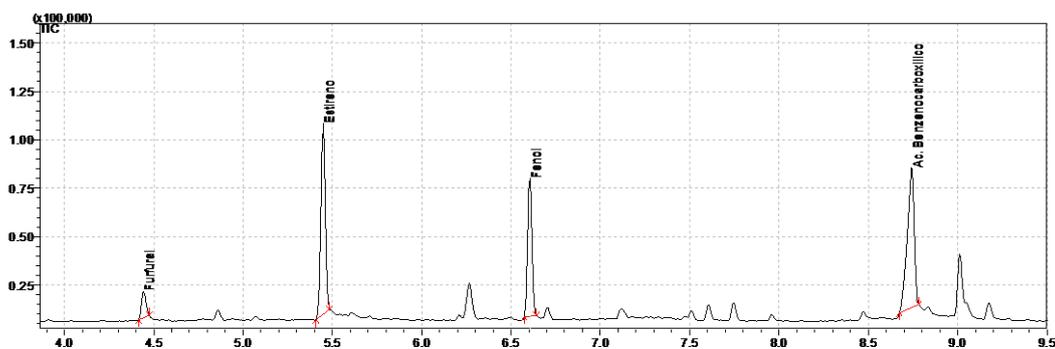
ROGERS, D. L.; DUPAGE. **Characterization of Fire Investigator's Exposure during Fire Scene Examination**. 2005. Disponível em: <http://www.firescenesafety.com/documents/doc_download/137-characterization-of-fire-investigator-exposures-during-fire-scene-examination-rogers-efo-project.html>. Acesso em: 23 nov. 2018.

STAUFFER, E.; DOLAN, J. A.; NEWMAN, R. **Fire Debris Analysis**. Burlington: Academic Press, 2008.

VALENTE, A. L. P.; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 523–530, ago. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000400016&lng=pt&nrm=iso&tling=pt>. Acesso em: 25 nov. 2018.

APÊNDICE A – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP1

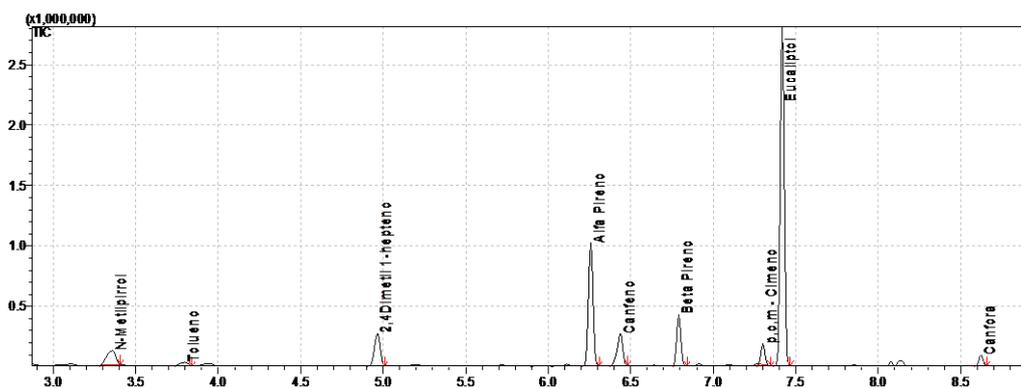
Ocorrência Periciada (OP) 1	QTO20191605569 (Laudo 127/19)
Tipo de Edificação:	Residência de Alvenaria
Data e horário da ocorrência:	06/03 22:06
Data e horário da amostragem:	07/03
Responsável pela amostragem:	Cap QOBM/Comb Barros
Material amostrado:	Tecido e madeira



Tempos de retenção	Substância correspondente
4.443	Furfural
5.448	Estireno
6.605	Fenol
8.742	Ácido Benzenocarboxílico

APÊNDICE B – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP2

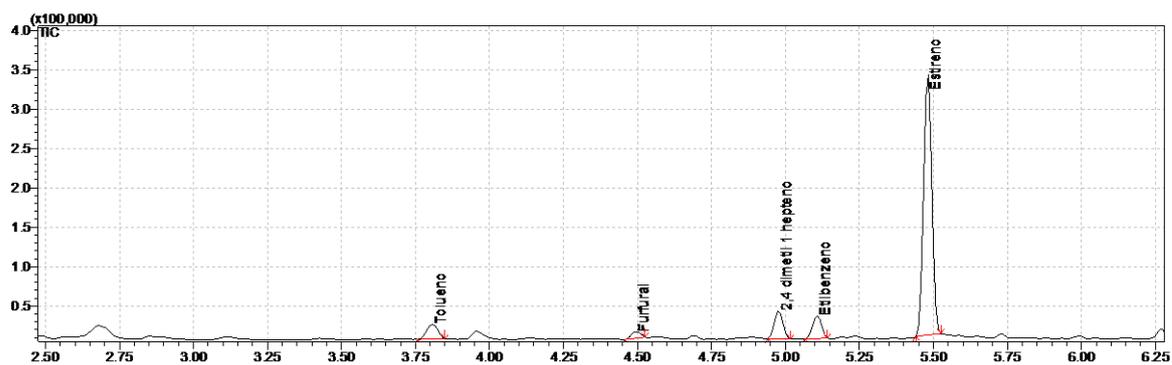
Ocorrência Periciada (OP) 2	QTO 20191642259 (136/19)
Tipo de Edificação:	Residência (apartamento)
Data e horário da ocorrência:	14/03 18:46
Data e horário da amostragem:	15/03 15:00
Responsável pela amostragem:	Ten-Cel. QOBM/Comb Wender
Material amostrado:	Ervas aromáticas



Tempos de retenção	Substância correspondente
3.356	n-Metilpirrol
3.797	Tolueno
4.966	2,4Dimetil 1-hepteno
6.257	α Pireno
6.437	Canfeno
6.791	β Pireno
7.301	p,o,m – Cimeno (o espectro dos três isômeros são bem parecidos)
7.418	Eucalipto
8.623	Canfora

APÊNDICE C – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP3

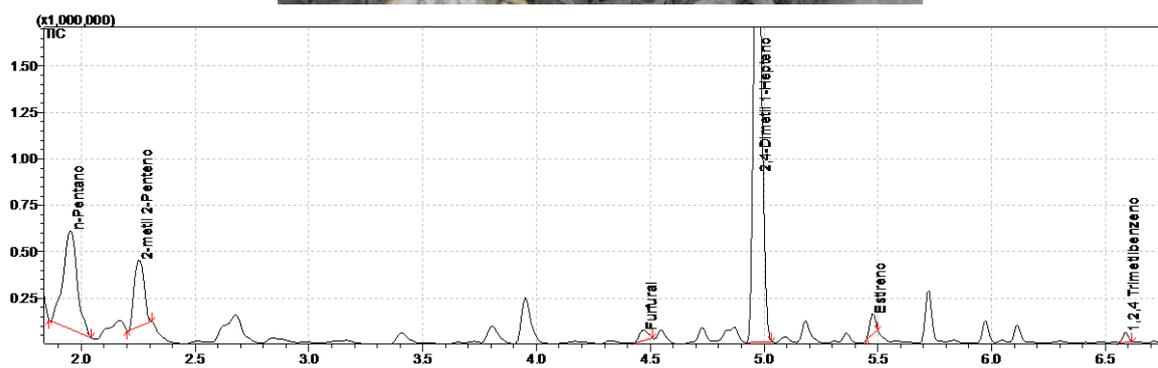
Ocorrência Periciada (OP) 3	QTO 20191656810
Tipo de Edificação:	Residência de alvenaria
Data e horário da ocorrência:	17/03 03:30
Data e horário da amostragem:	17/03 09:40
Responsável pela amostragem:	Maj. QOBM/Comb. Gabriel
Material amostrado:	Resto de telhado, madeirite e plástico do barraco sinistrado



Tempos de retenção	Substância correspondente
3.808	Tolueno
4.495	Furfural
4.977	2,4 Dimetil 1 hepteno
5.108	Etilbenzeno
5.481	Estireno

APÊNDICE D – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP4

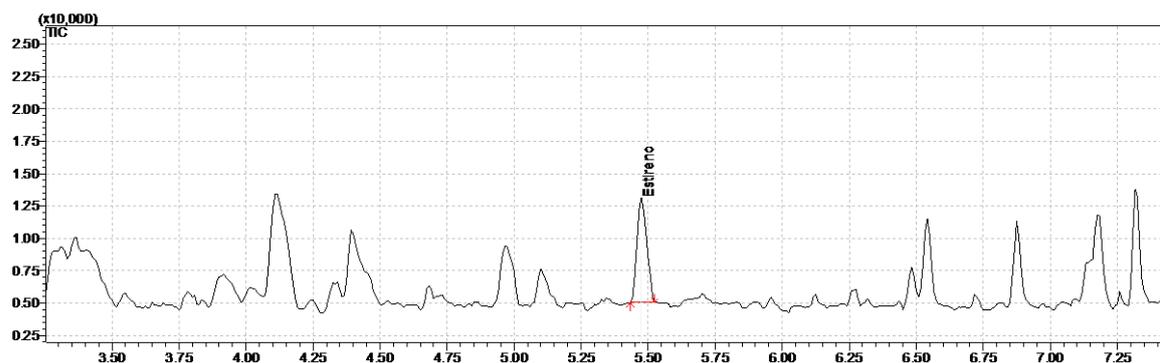
Ocorrência Periciada (OP) 4	QTO 20191680078
Tipo de Edificação:	-
Data e horário da ocorrência:	23/03 15:24
Data e horário da amostragem:	23/03 17:25
Responsável pela amostragem:	Maj. QOBM/Comb. Palhano
Material amostrado:	Interior de uma máquina de lavar roupas



Tempos de retenção	Substância correspondente
1.952	n-Pentano
2.254	2-Metil 2-Penteno
4.469	Furfural
4.970	2,4-Dimetil 1-Hepteno
5.478	Estireno

APÊNDICE E – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP5

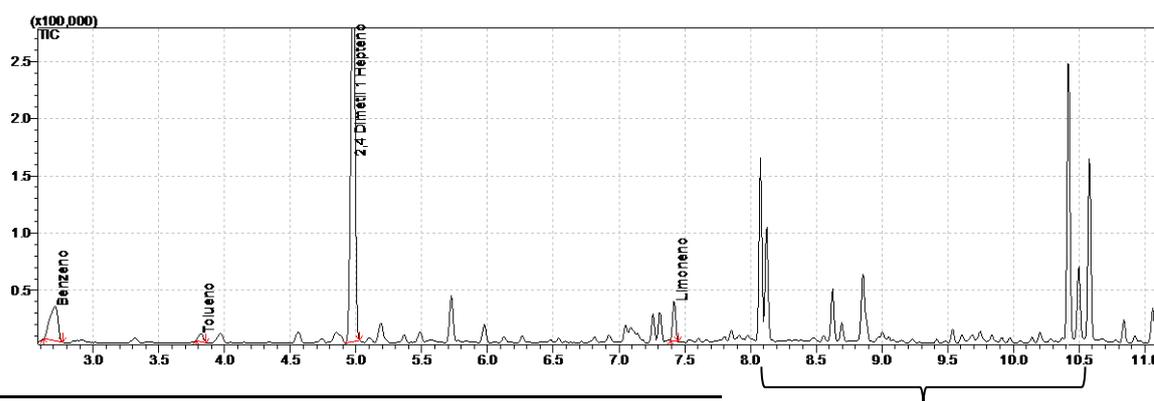
Ocorrência Periciada (OP) 5	QTO20191690017 (Laudo 1276519)
Tipo de Edificação:	Residência de alvenaria
Data e horário da ocorrência:	29/03 19:14
Data e horário da amostragem:	30/03
Responsável pela amostragem:	Maj. QOBM/Comb. John
Material amostrado:	Material esponjoso, de composição porosa. (Espuma de poliuretano, tecido e madeira)



Tempos de retenção	Substância correspondente
5.474	Estireno

APÊNDICE F – Fotografias e cromatograma das amostras obtidas – OP6

Ocorrência Periciada (OP) 6	QTO20191696625
Tipo de Edificação:	-
Data e horário da ocorrência:	03/04 03:14
Data e horário da amostragem:	03/04 10:15
Responsável pela amostragem:	Cap. QOBM/Comb. Leite
Material amostrado:	Plástico e madeira

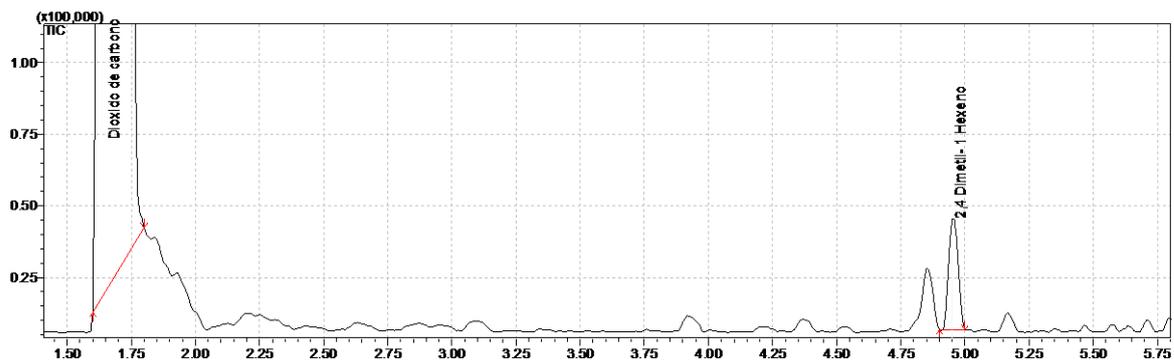


Tempos de retenção	Substância correspondente
2.711	Benzeno
3.821	Tolueno
4.978	2,4 Dimetil-1-Hepteno
7.420	Limoneno
8.0 – 10.5	Heptanol a heptadecanol

Álcoois de cadeias longas C7 a C17 (Heptanol a heptadecanol) algumas ramificadas. Não foi possível identifica-los devido a grande similaridade entre vários espectros.

APÊNDICE G – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP7

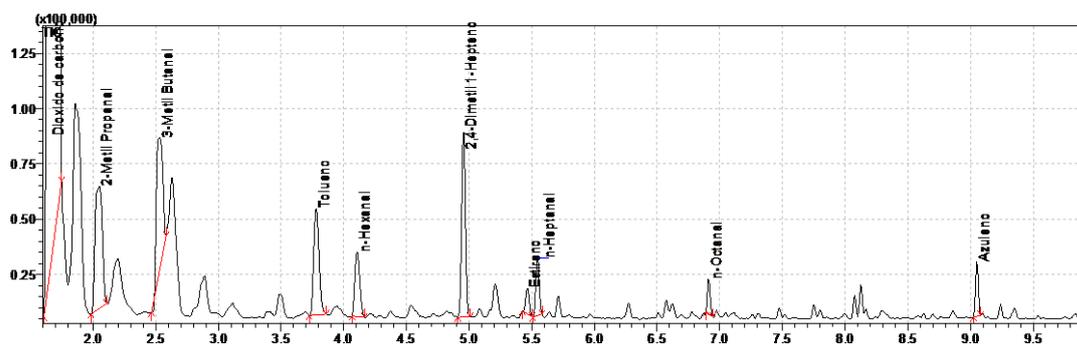
Ocorrência Periciada (OP) 7	QTO2019-171660 (Laudo 186/19)
Tipo de Edificação:	-
Data e horário da ocorrência:	11/04 18:43
Data e horário da amostragem:	12/04 16:20
Responsável pela amostragem:	Maj. QOBM/Comb. Marina
Material amostrado:	Tecido, plástico e madeira



Tempos de retenção	Substância correspondente
1.652	Dióxido de Carbono
4.954	2,4-Dimetil-1-Hexeno

APÊNDICE H – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP8

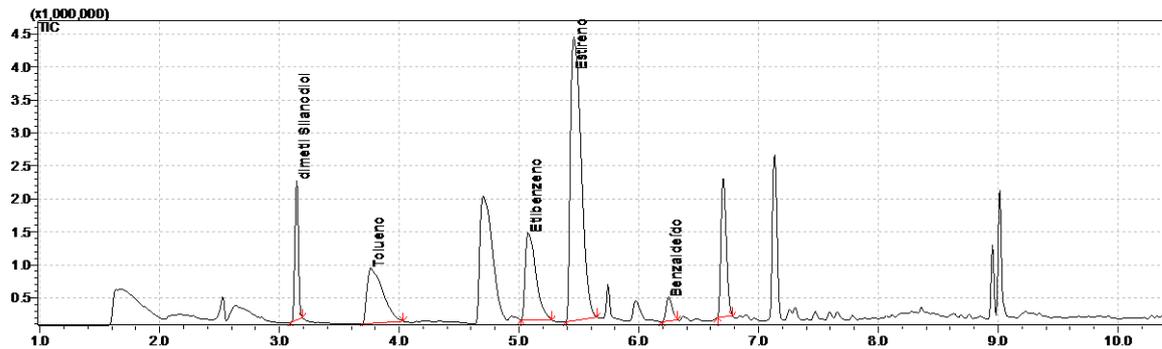
Ocorrência Periciada (OP) 8	QTO2019-1722521(Laudo 195/19)
Tipo de Edificação:	Fábrica de farelo/ração
Data e horário da ocorrência:	20/04 09:41
Data e horário da amostragem:	20/04 15:25
Responsável pela amostragem:	Maj. QOBM/Comb. Gabriel
Material amostrado:	Plástico, madeira e ração (mistura de carne e osso)



Tempos de retenção	Substância correspondente
1.662	Dióxido de carbono
2.048	2-Metil-Propanal
2.531	3-Metil-Butanal
3.780	Tolueno
4.106	n-Hexanal
4.956	2,4-Dimetil-Hepteno
5.465	Estireno
5.546	n-Heptanal
6.911	n-Octanal
9.052	Azuleno

APÊNDICE I – Fotografia e cromatograma das amostras obtidas – OP9

Ocorrência Periciada (OP) 9	QTO2019-1752471(Laudo 233/19)
Tipo de Edificação:	Fábrica de farelo/ração
Data e horário da ocorrência:	14/05 19:22
Data e horário da amostragem:	15/05 16:30
Responsável pela amostragem:	Ten-Cel. QOBM/Comb. Rigaud
Material amostrado:	Material plástico, placas e componentes eletrônicos



Tempos de retenção	Substância correspondente
3.144	Dimetil-silanodiol (interferente provavelmente da coluna)
3.763	Tolueno
5.077	Etilbenzeno
5.458	Estireno
6.248	Benzaldeido
6.704	α -Metil-Estireno