

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
CENTRO DE ESTUDOS DE POLÍTICA, ESTRATÉGIA E DOCTRINA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS**

CAP QOBM/Comb. BRUNO **MARCELINO** DE ALMEIDA NUNES



**PROCEDIMENTO DE LIMPEZA AVANÇADA DE ROUPA DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO URBANO COM PADRÕES
INTERNACIONAIS DE SEGURANÇA**

**BRASÍLIA
2021**

CAP QOBM/Comb. BRUNO **MARCELINO** DE ALMEIDA NUNES

**PROCEDIMENTO DE LIMPEZA AVANÇADA DE ROUPA DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO URBANO COM PADRÕES
INTERNACIONAIS DE SEGURANÇA**

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientadora: TEN-CEL. QOBM/Comb. **HELEN** RAMALHO DE OLIVEIRA

BRASÍLIA
2021

CAP QOBM/Comb. BRUNO **MARCELINO** DE ALMEIDA NUNES

**PROCEDIMENTO DE LIMPEZA AVANÇADA DE ROUPA DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO URBANO COM PADRÕES
INTERNACIONAIS DE SEGURANÇA**

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Andre Telles Campos– Ten-Cel QOBM/Comb.
Presidente

Thiago Palácio **John**– Ten-Cel. QOBM/Comb.

Membro

Ronaldo Lima de Medeiros – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Membro

Helen Ramalho de Oliveira – Ten-Cel QOBM/Comb.
Orientadora

Aline Marcelino Arouca – Prof^a M.^a em Química
Coorientadora

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

AUTOR: Cap. QOBM/Comb. Bruno Marcelino de Almeida Nunes

TÍTULO: Procedimento de limpeza avançada de roupa de proteção contra incêndio urbano com padrões internacionais de segurança

DATA DE DEFESA: 19/02/2021.

Acesso ao documento
<input type="checkbox"/> Texto completo <input type="checkbox"/> Texto parcial <input type="checkbox"/> Apenas metadados
Em caso de autorização parcial, especificar a(s) parte(s) que deverá(ão) ser disponibilizadas:

Licença
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA O referido autor: a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade. b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder ao CBMDF os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue. Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o CBMDF, declara que cumpriram quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo. LICENÇA DE DIREITO AUTORAL Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Biblioteca da Academia de Bombeiro Militar disponibilizar meu trabalho por meio da Biblioteca Digital do CBMDF, com as seguintes condições: disponível sob Licença Creative Commons 4.0 International, que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta. A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

Bruno **Marcelino** de Almeida Nunes
Cap. QOBM/Comb.

Este trabalho é dedicado aos trabalhadores que arduamente se entregam na construção da sociedade guiados pela esperança de um mundo mais justo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às forças divinas que operam a vida.

Agradeço à minha companheira que com tamanha paciência e compreensão se fez presente na minha ausência e suportou com leveza a minha abdicação.

Agradeço ao meu pai por ser um guia em toda essa trajetória de vida, e à minha mãe por ser luz e conforto em todos os momentos.

Agradeço à minha Orientadora Ten-Cel. QOBM/Comb. **Helen** Ramalho de Oliveira por ter dedicado preciosa e valiosa atenção e que conduziu com maestria os esforços aqui empreendidos.

Agradeço à minha Coorientadora Prof^ª Aline Marcelino Arouca por ter ombreado comigo esta missão singular que é a realização de pesquisa e por ter sido durante todo o trabalho fonte de conhecimento e suporte.

Agradeço ao Cap. QOBM/Comb. **Fernando** Dias de Moura pela camaradagem infalível e positividade nos momentos difíceis.

Agradeço ao Cap. QOBM/Comb. **Leonardo** Alberto Fernandes da Costa pela disposição, presteza e irmandade que lhe são características.

Agradeço ao Cap. QOBM/Comb. **Danillo Alvin** Mendes e Silva pela presença decisiva em diversas etapas não apenas deste trabalho, mas da vida.

Agradeço à Ten. QOBM/Comb. Thiara **Elisa** da Silva pelo esforço em ajudar e criar possibilidades para que este trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço aos voluntários e voluntárias que prontamente se dispuseram a contribuir para a concretização deste trabalho.

Por fim, agradeço aos companheiros e companheiras da turma CFO 33 que tornaram a caminhada deste curso muito mais proveitosa e memorável.

“Se discordas de mim, tu me enriqueces.”

Dom Hélder Câmara

RESUMO

No ambiente de incêndio urbano se desenvolvem reações químico-físicas as quais resultam em produtos variados. Dentre estes produtos, parte deles são conhecidamente tóxicos, na maior parte se apresentando na forma gasosa, por isso o uso da proteção respiratória pelos bombeiros. Alguns compostos, no entanto, dentre eles os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) passaram a ser motivo de preocupação por terem atividade cancerígena e também por apresentarem absorção dérmica, seja pela deposição direta no incêndio, ou seja pelo contato com a pele de bombeiros depois de aderidos à Roupa de Proteção Contra Incêndio Urbano (RPCIU). Dado o potencial de risco de contaminação pela pele e consequente aumento do risco de desenvolvimento de câncer em bombeiros, este estudo buscou propor um procedimento de redução destes contaminantes da RPCIU por meio da identificação dos contaminantes do ambiente de incêndio urbano, seguido por uma análise experimental da retenção, e degradação após processo de lavagem destes contaminantes na RPCIU. Por último buscou-se na literatura parâmetros internacionais para a limpeza avançada da RPCIU a fim de servirem como referência de segurança aos procedimentos propostos. Na metodologia deste trabalho foi realizado exercício em simulador de incêndio no qual amostras de pontos da RPCIU dos participantes foram coletadas antes do exercício, após o exercício e depois de submetidas a processos de lavagem. As amostras foram tratadas no Laboratório de Inorgânica e Materiais da Universidade de Brasília e analisadas por Espectroscopia UV/VIS. Os resultados apresentados mostraram ser os HPAs, contaminantes de risco referenciados na literatura, e nas análises realizadas por Espectroscopia UV/VIS foi possível identificar uma retenção considerável de contaminação após exposição à simulação de incêndio pelas RPCIU, seguida de considerável redução de contaminação após procedimentos de lavagem em máquina doméstica. Como parâmetro internacional foram identificadas normas e certificações passíveis de serem adotadas como referência para o CBMDF. Este trabalho concluiu que quando submetidas a procedimento de lavagem adequada foram reestabelecidos os níveis de presença de contaminantes à concentrações próximas às encontradas antes da exposição ao incêndio e, em alguns casos, concentrações menores. Por fim são propostos maiores esforços institucionais para melhorar a proteção aos militares do CBMDF por meio de ações e elaboração de política de uso e manutenção das RPCIU.

Palavras-chave: Câncer. Descontaminação. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. Incêndio Urbano. Roupa de Proteção Contra Incêndio Urbano.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Decomposição Térmica do Poliuretano.....	19
Figura 2 - Quadro Classificação quanto carcinogenicidade (NIOSH).....	28
Figura 3 - Camadas RPCIU Texport Survivor.....	31
Figura 4 - Quadro - Indicações de Limpeza RPCIU Texport.....	33
Figura 5 - Abordagem para direcionamento por tipo de contaminação.....	35
Figura 6 - Gabinete de Secagem de EPI.....	36
Figura 7 - Eficiência remoção total HPAs (Lavagem e CO2) por camada.....	38
Figura 8 - Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente.....	41
Figura 9 - Componentes de instrumentos para a espectroscopia ótica.....	42
Figura 10 - Gráfico de t/\sqrt{N} contra número de réplicas N, ilustrando relação entre precisão e número de réplicas.....	45
Figura 11 - Quadro de distribuição pontos de coleta e tempos.....	47
Figura 12 - Disposição interna do SDI - fase 1.....	47
Figura 13 - Montagem do foco SDI fase 1.....	48
Figura 14 - Espectros UV/VIS P1 (Ombro).....	54
Figura 15 - Espectro UV/VIS P1(Ombro) - AS1.....	55
Figura 16 - Espectro UV/VIS P1(Ombro) - AS2.....	55
Figura 17 - Espectros UV/VIS P2 (Manga).....	56
Figura 18 - Espectros UV/VIS P3-C1 (Peito - Camada Externa).....	57
Figura 19 - Espectros UV/VIS P3-C2 (Peito - Camada Interna de Proteção Térmica)	58
Figura 20 - Espectros UV/VIS P3-C3 (Camada Interna - Membrana Impermeável)..	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
C	Ceiling
CBMDF	Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
CG-MS	Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DINVI	Diretoria de Investigação
EAPR	Equipamento Autônomo de Proteção Respiratória
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IARC	International Agency for Research on Cancer
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
ISO	International Organization for Standardization
LEP	Limites de Exposição Permitido
LER	Limites de Exposição Recomendados
NFPA	National Fire Protection Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSB	Oriented Strand Board
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
POP	Time-Weighted Average
RPCIU	Roupa de Proteção Contra Incêndios Urbanos
SDI	Simulador de Desenvolvimento do Incêndio
ST	Short Term
STEL	Short Term Exposure Limit
TWA	Time Weighted Average
US EPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultravioleta
UV/VIS	Ultravioleta/Visível

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
°C	Graus Celsius
®	Marca registrada
+	Soma
=	Identidade, "igual a"
Abs	Absorbância
CH ₂ =CHCHO	Fórmula química da acroleína
CH ₄	Fórmula química do metano
cm	Centímetro
CO	Fórmula química do monóxido de carbono
CO ₂	Fórmula química do dióxido de carbono
G	Força G
H ₂ O	Fórmula química da água
HCl	Ácido clorídrico
HCN	Cianeto de hidrogênio
L	Litro
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
nm	Nanômetro
O ₂	Fórmula química do oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
RPM	Rotações por minuto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Definição do problema.....	13
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo geral.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Definição de termos.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 Fumaça e exposição em incêndios urbanos.....	18
2.2 Contaminantes e limites.....	22
2.3 Câncer em bombeiros.....	26
2.4 Limpeza de RPCIU.....	31
2.5 Método analítico de contaminantes de incêndios nas RPCIU.....	39
3 METODOLOGIA.....	44
3.1 Materiais e métodos.....	46
3.1.1 Delineamento do estudo.....	46
3.1.2 Descrição do exercício com fogo.....	47
3.1.3 Descrição do processo de lavagem.....	49
3.1.4 Análise das amostras.....	50
3.1.5 Materiais.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
5.1 Recomendações.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES.....	72
APÊNDICE A.....	73
APÊNDICE B.....	78
ANEXOS.....	81
ANEXO A.....	82

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 3 anos os militares do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) atenderam no total 10.431 incêndios urbanos, sendo 7.172 destes incêndios em edificação (CBMDF, 2020). Os dados apontam para uma média de 156 incêndios urbanos por mês no Distrito Federal.

Os ambientes de incêndio urbano são complexos por nele se desenvolverem reações químico-físicas com múltiplas variáveis resultando, portanto, em produtos variados. Compreender estes processos é o alicerce para qualquer investigação que se situe neste cenário.

O processo de combustão é uma reação química que envolve uma substância combustível, calor e ar, produzindo luz e calor (CBMDF, 2009). Em geral esta conceituação atende a compreensão do que vem a ser o processo de combustão, porém não esgota a complexidade do tema. Quando em situações reais, existem diversos outros produtos da combustão uma vez que a forma mais comum de combustão é a combustão incompleta (CBMDF, 2009).

Os átomos e moléculas instáveis da combustão incompleta continuam a reagir decompondo-se e formando outras substâncias (CBMDF, 2009). Dentre estas substâncias encontradas em incêndios, estão alguns compostos tóxicos como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), benzeno, benzil, freon, ácido acético, formaldeído, cloretos, dentre outros (KEIR *et al.*, 2017).

Os HPA citados são motivo de preocupação, uma vez que possuem propriedades mutagênicas, carcinogênica e teratogênicas (KEIR *et al.*, 2017). Neste sentido a Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (International Agency for Research on Cancer – IARC) declarou em 2007 a exposição ocupacional de combate a incêndio como possivelmente carcinogênica para humanos (KEIR *et al.*, 2017).

A preocupação em reconhecer o risco de contaminação de bombeiros em ambientes de incêndio se deve ao fato de que mesmo tendo suas vias respiratórias protegidas pelos Equipamentos Autônomos de Proteção Respiratória (EAPR), em

tese protegidos da fumaça, a população de bombeiros ainda apresenta um índice de incidência de câncer maior que da população em geral (STEC *et al.*, 2018a).

Parte dos compostos tóxicos produzidos em incêndios e presentes na atmosfera dos incêndios é depositada nas Roupas de Combate a Incêndio Urbano (RPCIU) (BAXTER *et al.*, 2014). O acúmulo desta contaminação nas RPCIU representa um risco justamente pelo fato da contaminação dos bombeiros se dar pela absorção dérmica (VANROOIJ *et al.*, 1993).

O CBMDF evolui com o passar dos anos e a aquisição dos atuais conjuntos de proteção contra incêndio acompanhou a evolução tecnológica oferecida no mercado. Porém, com a utilização destes equipamentos de proteção nos diversos cenários de incêndio surge a preocupação com as diretrizes de limpeza das RPCIU. As orientações do fabricante devem ser seguidas, no entanto, resta ser analisada a capacidade de remoção dos contaminantes que compõem o cenário de incêndio quando submetidas as RPCIU aos processos de limpeza indicados.

1.1 Definição do problema

As RPCIU são conhecidamente meio de transporte de contaminantes dos ambientes incendiados e por isso são alvo de maior preocupação para segurança da saúde dos bombeiros. O CBMDF não possui serviço próprio de lavagem destas roupas contaminadas, tampouco contrato de prestação de serviço para lavagem.

Aos bombeiros do CBMDF, diante da ausência de fornecimento de serviço de limpeza pelo CBMDF, restam poucas alternativas, como realizar a limpeza das RPCIU em seus domicílios ou em lavanderias comerciais. Ademais, sem outra orientação de limpeza, os bombeiros do CBMDF possuem apenas as orientações do fabricante para a lavagem das RPCIU.

Até a presente data não houve estudo por parte do CBMDF a fim de atestar a segurança dos bombeiros quando da realização do processo de limpeza da RPCIU proposto pelo fabricante. No mesmo sentido, não existe uma diretriz por parte do CBMDF ou órgão sanitário competente para determinar um processo adequado e

seguro de lavagem das RPCIU.

Enquanto em âmbito nacional não existe a preocupação com estabelecimento de padrões de limpeza e descontaminação de RPCIU. Em outras localidades, o tema passou a ser uma preocupação latente, a exemplo dos EUA que atualizou a NFPA (*National Fire Protection Association*) 1851 no corrente ano (NFPA, 2020), robustecendo as diretrizes para uma limpeza avançada, e a União Europeia que instituiu um Comitê Técnico para a elaboração da ISO 23616 (ISO, 2020).

A questão fundamental deste trabalho, pelo que foi exposto, é **como reduzir o risco à saúde dos bombeiros em decorrência da atuação em operações de incêndio urbano por meio de medidas seguras na limpeza e redução de contaminação das RPCIU?**

1.2 Justificativa

A profissão de bombeiro em todo o mundo é motivo de estudo tendo em vista o processo diferenciado de adoecimento destes profissionais. Neste escopo, a Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer (*International Agency for Research on Cancer - IARC*) classificou em 2007 a profissão de bombeiro como sendo possivelmente carcinogênica para humanos (KEIR *et al.*, 2017).

Determinados cânceres têm relação direta com o nível de contaminação a que estão expostos os bombeiros e não diferente os militares do CBMDF se inserem também nessa lógica.

No escopo da contaminação em incêndio, sua relação direta com o risco aumentado de câncer em bombeiros, tendo como via de contaminação as Roupas de Proteção Contra Incêndio Urbano, este trabalho pretende trazer à luz do conhecimento os aspectos relevantes para um processo adequado de lavagem e descontaminação dessas RPCIU.

O conhecimento gerado permitirá que o CBMDF possua um serviço adequado que contribua significativamente para a redução à exposição de bombeiros aos

contaminantes de um cenário de incêndio urbano, e por consequência contribuirá para uma diminuição do risco de desenvolvimento de determinados tipos de câncer.

Outro benefício indireto é uma possível redução na contaminação cruzada em máquinas de uso doméstico ou comercial, uma vez que, existindo contaminação a níveis críticos, é razoável supor que haja uma contaminação residual das máquinas nas quais se lavam as RPCIU atualmente, e por conseguinte, as roupas que ali se processam.

A temática da contaminação das RPCIU e o risco elevado aos militares, bem como procedimentos adequados e seguros de descontaminação são de interesse deste autor na medida em que atua como comandante de socorro e instrutor de combate incêndio urbano.

Neste contexto, frequentemente se depara, o autor, com situações de exposição desnecessária por parte de militares que adentraram ambientes repletos de subprodutos tóxicos da combustão e transitam ou transportam seu EPI inadequadamente e por vezes demonstram pouca preocupação com uma limpeza segura e consequente redução de risco.

1.3 Objetivos

Os objetivos da pesquisa dividem-se em geral e específicos. E alinhados ao Manual de Normatização de Trabalhos Acadêmicos do CBMDF, buscam orientar os trabalhos aqui pretendidos para a finalidade que se propõe este projeto.

1.3.1 Objetivo geral

Propor um procedimento de redução da contaminação oriunda do ambiente de incêndio urbano por meio de limpeza avançada das Roupas de Proteção Contra Incêndio Urbano a um limite seguro à saúde dos bombeiros.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar os contaminantes do ambiente de incêndio urbano por meio de levantamento bibliográfico.
2. Analisar a retenção de contaminantes de risco nas RPCIU com uso de instrumentos de análise química.
3. Avaliar a eficácia do processo de lavagem atual para as RPCIU com uso de instrumentos de análise química.
4. Investigar parâmetros internacionais para limpeza de RPCIU na literatura internacional.

1.4 Definição de termos

Carcinogênica: capacidade de provocar ou estimular o surgimento de carcinomas ou câncer.

Compostos Voláteis Orgânicos: qualquer composto orgânico tendo ponto de ebulição abaixo ou igual a 250°C medido a uma pressão padrão de 101,3kPa.

Contaminação: transmissão de elementos nocivos com capacidade de provocar dano.

Equipamentos Autônomos de Proteção Respiratória: equipamentos de proteção das vias respiratórias com sistema fechado de fornecimento de ar ao usuário, evitando que o mesmo tenha contato com o ar do ambiente em que se encontra.

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA): compostos orgânicos que possuem dois ou mais anéis aromáticos (química orgânica) condensados. Muitos destes compostos são objeto de estudo por sua toxicidade e por serem produtos da queima incompleta de matéria orgânica.

Mutagênicas: propriedade causadora de dano na molécula de DNA que não é reparado no processo replicação celular passando, portanto, para as gerações seguintes.

Teratogênicas: propriedade que indica capacidade de um agente causar dano em células do embrião ou feto causando alterações na estrutura ou função de órgãos ou sistemas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fumaça e exposição em incêndios urbanos

O fenômeno da combustão costumeiramente é explicado didaticamente pelo uso do triângulo do fogo, contendo este, comburente, calor e combustível. Da mesma maneira se usa o tetraedro do fogo, que aos elementos citados, se soma a reação em cadeia (CBMDF, 2009). E, para fins de entendimento, se ilustra a reação de combustão (IARC, 2010) conforme equação:



A questão que se apresenta, no entanto, é o fato de que a equação acima descreve uma situação ideal, combustão completa do metano, diferente do que acontece em incêndios reais (CBMDF, 2009). Na combustão incompleta, fora dos parâmetros ideais, os radicais livres formados durante a combustão são bastante reativos e as reações em cadeia formam centenas de produtos químicos e fumaça (IARC, 2010).

Neste cenário de combate a incêndio, pelo fato de a fumaça ser móvel, a contaminação existe dentro e fora do local incendiado, sendo que os bombeiros, que adentram para o combate interno e busca de vítimas, recebem os maiores níveis de contaminação (FENT *et al.*, 2018).

A análise do ambiente de incêndio não pode ser estática, uma vez que a evolução tecnológica dos materiais contidos nos ambientes influencia nos subprodutos da queima produzidos. Móveis e elementos prediais do século 21 são mais sintéticos e podem gerar muitos subprodutos tóxicos da combustão quando queimados (FENT *et al.*, 2018).

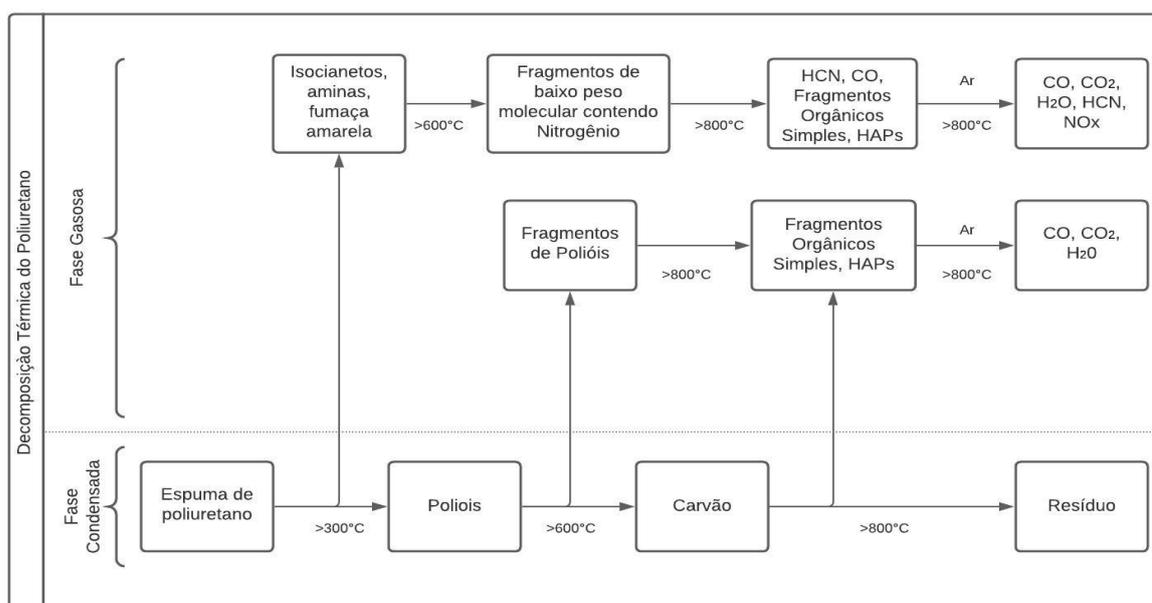
Em incêndios urbanos no qual há a presença de polímeros, ocorre a degradação dessas moléculas em monômeros mais simples, tais como: metano, etano, etileno, benzeno, tolueno, etilbenzeno, vinilclorido, acrilonitrila, estireno, propeno, 1,3-butadieno, entre outros. Adicionalmente, a queima de materiais

plásticos gera ainda cianeto de hidrogênio (HCN), ácido clorídrico (HCl) e acroleína ($\text{CH}_2=\text{CHCHO}$) (IARC, 2010).

Uma das classes de polímeros mais utilizados em construções são os poliuretanos. Eles são utilizados em colas, vernizes, espumas, carpetes, sendo que a sua maior aplicação é na indústria de interiores e construção, 28% e 25% respectivamente (MCKENNA; HULL, 2016). Segundo análises de mercado, é um material de consumo crescente, representando um mercado de 41,83 bilhões de dólares em 2015 com projeções de atingir 56,76 bilhões de dólares em 2021 (MARKETSANDMARKETS, 2017).

A presença do poliuretano, por meio do uso de espumas rígidas ou flexíveis, em ambientes incendiados apresenta risco ao ser humano pela decomposição térmica deste composto em subprodutos tóxicos. A decomposição térmica é bastante conhecida e a figura 1 resume efetivamente o mecanismo baseado na literatura disponível (MCKENNA; HULL, 2016).

Figura 1 - Decomposição Térmica do Poliuretano



Fonte: (MCKENNA; HULL, 2016)

Ao se avaliar a toxicidade em ambientes incendiados normalmente os fatores mais importantes são a composição do material, temperatura e concentração de

oxigênio (MCKENNA; HULL, 2016). A ISO 19706:2011 ao analisar a toxicidade de um incêndio classifica-o em: combustão lenta (brasa); incêndio incipiente bem ventilado; incêndio desenvolvido subventilado (ou limitado pelo oxigênio) (MCKENNA; HULL, 2016).

Os incêndios de combustão lenta e incipientes bem ventilados em geral são de baixa toxicidade enquanto os incêndios desenvolvidos limitados pelo oxigênio são maiores e produzem uma quantidade maior de resíduos. Com relação à toxicidade, os estágios importantes são os de limitação de oxigênio, por dois motivos: o volume de produção de resíduos é muito maior e a quantidade de produtos tóxicos será muito maior (MCKENNA; HULL, 2016).

Em estudos em escala real, como incêndios em quartos, os dados mostram uma quantidade muito maior de dois dos produtos mais tóxicos: monóxido de carbono (CO) e cianeto de hidrogênio (HCN) (ANDERSSON *et al.* 2005; BLOMQUIST; LONNERMARK 2001 *apud* MCKENNA; HULL, 2016). Para McKenna e Hull (2016) os principais gases tóxicos podem ser divididos em: gases asfixiantes, impedem que o oxigênio seja levado às células, causando perda de consciência e em última instância a morte; e gases irritantes, que causam incapacitação imediata, principalmente por efeitos nos olhos e vias aéreas superiores, e danos de longo prazo nas partes mais profundas do pulmão.

A toxicidade da decomposição da espuma de poliuretano apontada por McKenna (2016) a partir de estudos laboratoriais se confirma em eventos trágicos tal qual o da Boate Kiss em 2013 onde 242 pessoas foram a óbito e conforme aponta laudo pericial as vítimas faleceram, em sua maior parte, por asfixia por cianeto (HCN) e monóxido (CO) (BRASIL, 2016).

Os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) são outra classe de compostos presentes em ambientes de incêndio. E ainda que exista o pensamento de que materiais mais modernos possam gerar novos resíduos da combustão, com maior toxicidade, os materiais comumente usados nas edificações, quando incendiados, não liberam novos ou desconhecidos COVs (AUSTIN *et al.*, 2001a). As análises dos gases produzidos em incêndios controlados revelaram uma prevalência dos

seguintes contaminantes: benzeno, estireno, e 1,3-butadieno, os quais tiveram relação tóxica e carcinogênicas estabelecidas (AUSTIN *et al.*, 2001a).

Análises de incêndios estruturais reais demonstraram a presença de COV tais como benzeno, seguida por tolueno e naftaleno (AUSTIN *et al.*, 2001b). Ainda que incêndios liberem uma série de compostos orgânicos voláteis, os mesmos produtos predominantes encontrados em incêndios experimentais (benzeno, tolueno, 1,3-butadieno, naftaleno e estireno) foram prevalentes também em incêndios estruturais reais (AUSTIN *et al.*, 2001b).

Em situação de combate a incêndio, dois agravantes podem aumentar a absorção do benzeno via dérmica: em ambientes com 100% de umidade relativa a absorção do benzeno é 2,5 a 7,5 vezes maior que em ambientes com 40% de umidade relativa (FRANZ, 1984 *apud* FENT *et al.*, 2014). Além da umidade relativa, temperaturas elevadas ocasionam uma maior circulação sanguínea e maior abertura de poros da pele, aumentando a absorção deste composto (JONES, 2003 *apud* FENT *et al.*, 2014).

O ambiente de incêndio também é conhecido por conter Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) presentes nos particulados e gases produtos da combustão, sendo que a exposição a estes compostos tem sido relacionada com prejuízos à saúde do bombeiro com danos sanguíneos e desenvolvimento de câncer (KEIR *et al.*, 2017). Esta associação de exposição à fuligem e fumaça e o desenvolvimento de câncer é conhecida há pelo menos 225 anos (FABIAN *et al.*, 2014).

Os HPAs constituem um grupo de compostos que contém dois ou mais anéis aromáticos condensados oriundos principalmente da combustão incompleta de matéria orgânica e encontram-se na natureza como contaminantes de solos, ar, água e alimentos (CARUSO; ALABURBA, 2008).

Os HPAs são uma classe de produtos químicos presentes naturalmente no carvão, óleo cru e gasolina, podendo ser produzidos na queima do carvão, petróleo, gasolina, madeira, lixo e tabaco (USEPA, 2013). De uma maneira geral as pessoas estão expostas normalmente a estes compostos tóxicos pela poluição do ar e

mesmo pela comida, podendo ser absorvido pela deglutição, respiração e pela absorção dérmica (USEPA, 2013).

Uma vez absorvidos, os HPAs apresentam ação de risco no processo de excreção, no qual a metabolização destes compostos geram subprodutos mais solúveis em água a fim de facilitar sua eliminação pela via urinária, tendo um dos produtos intermediários a capacidade de reagir com o DNA podendo iniciar um processo de tumoração (CARUSO; ALABURBA, 2008).

O motivo de preocupação com os HPAs presentes em incêndios existe por sua formação onipresente na combustão incompleta de matéria orgânica e por suas propriedades mutagênica, carcinogênica e teratogênicas (KEIR *et al.*, 2017). Associado ao potencial de risco dos HPAs, é desconhecido o grau de proteção que o Equipamento de Proteção Individual (EPI) de combate a incêndio oferece para a pele contra os produtos da combustão (FENT *et al.*, 2014).

Estudos da NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*) mostram que mesmo utilizando EAPR totalmente funcionais, após 25 minutos de exposição à fumaça nos incêndios de simuladores, os mesmos se tornam contaminados. O estudo indica que o acúmulo de compostos tóxicos para os bombeiros ocorre justamente nos equipamentos de proteção, os quais são usados repetidas vezes sem nenhum processo de higienização (STEC *et al.*, 2018a).

2.2 Contaminantes e limites

Organizações Norte Americanas ao se debruçarem sobre a temática de contaminação no ambiente estipularam valores com diferentes referências em relação à toxicidade dos compostos considerando a via de exposição. A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), órgão responsável pela saúde e segurança ocupacional dos Estados Unidos da América (EUA), estipulou para cada contaminante Limites de Exposição Permitido (LEP) (OSHA, 2016).

Associado ao LEP, existe também a noção de tempo de exposição do trabalhador pelo conceito “Média de Tempo Suportado” (*Time-Weighted Average – TWA*) que a OSHA considera o tempo de exposição total do trabalhador ao

contaminante em um turno de trabalho de 8 horas por dia e 40 horas por semana, ou 8 horas TWA (OSHA, 2016).

O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (*National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH*), órgão este que compõe o Centro de Prevenção e Controle de Doenças (*Center for Disease Control and Prevention – CDC*), tem em sua origem o estudo de saúde e segurança do trabalhador empoderando empregadores e trabalhadores para criar um ambiente de trabalho saudável e seguro (CDC, 2020).

O NIOSH também estabeleceu parâmetros de segurança nos ambientes de trabalho por meio de Limites de Exposição Recomendados (LER) os quais são dados para uma “média de tempo suportado”, TWA, de 10 horas. Os limites do NIOSH foram todos disponibilizados em Guia de Bolso para Produtos Químicos Perigosos (NIOSH, 2007).

Outros dois conceitos importantes para o NIOSH se relacionam com a gravidade da exposição a determinados contaminantes, são eles: o conceito de Limite de Exposição de Curta Duração (*Short Term Exposure Limit – STEL*) apontado comumente com a abreviação “ST” no qual a uma dada concentração do contaminante, a média de tempo suportado, TWA, de 15 minutos não deve ser ultrapassada em nenhum período do dia; já o conceito de Teto (*Ceiling – C*) é um valor da presença de contaminante que não deve em momento nenhum ser ultrapassado e é dado pela abreviação “C” (NIOSH, 2007).

Nos EUA além dos organismos oficiais de atenção à saúde ocupacional existe também a Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH*) que é uma organização científica beneficente que tem por objetivo promover saúde ambiental e ocupacional (ACGIH, 2020a). A ACGIH publica anualmente edições do livro contendo valores limites (*Threshold Limit Values – TLV®*) os quais representam a opinião da comunidade científica envolvida não tendo valor normativo, porém servindo como guia na tomada de decisões na garantia de limites seguros de exposição no ambiente de trabalho (ACGIH, 2020b).

A OEKO-TEX é uma reunião de 18 institutos de pesquisa e de testes no campo têxtil e de couros na Europa e Japão com representação em escritórios em mais de 60 países (OEKO-TEX, 2020a). Essa organização estabelece padrões de certificação a exemplo da OEKO-TEX 100 destinada a avaliar inocuidade ao ser humano para produtos têxteis quanto à presença de contaminantes (OEKO-TEX, 2020b).

A OEKO-TEX 100 classifica o tecido de acordo com o grau de contato com a pele em 4 categorias: classe 1, produtos para bebês e crianças até 36 meses; classe 2, artigos de contato direto com a pele que quando vestidos possuem ampla área de contato direto com a pele; classe 3, artigos sem contato com a pele ou com apenas uma pequena superfície em contato direto com a pele; classe 4, materiais decorativos como toalhas de mesa, tecidos de móveis, cortinas etc (OEKO-TEX, 2020c).

Os contaminantes referenciados na bibliografia foram selecionados na Tabela - Limites de Exposição para Diferentes Contaminantes (Apêndice A) e para cada contaminante foram relacionados os valores de referência disponíveis nas organizações citadas a fim de agregar parâmetros seguros de exposição.

A OSHA estabelece o conceito de *Immediately Dangerous to Life or Health* (IDLH) – atmosfera imediatamente perigosa à vida ou à saúde – como sendo uma atmosfera que possui ameaça imediata à vida, causando efeitos adversos irreversíveis à saúde ou impedindo a capacidade do indivíduo de escapar da atmosfera perigosa (OSHA, 2020).

Em que pese o risco apresentado por gases tóxicos como cianeto, monóxido de carbono e outros contaminantes das vias aéreas, considerando a normatização OSHA 1910.134 que estabelece a proteção respiratória para os ambientes de trabalho visando proteger a contaminação por via respiratória, em se tratando de combate a incêndio estrutural, nos locais classificados como IDLH, todos os bombeiros direcionados ao interior da estrutura devem estar usando EAPR (OSHA, 2020).

Os gases tóxicos que apresentam risco de contaminação por inalação cedem espaço para análise, neste estudo, para contaminantes por absorção dérmica

potencialmente carcinogênicos, teratogênicos, mutagênicos e hemotóxicos tais como COV e HPA, pois conforme aponta Fent (2020), a via de contaminação por inalação está devidamente protegida pelo EAPR.

Os HPAs compõem uma categoria de compostos de mais de 100 compostos orgânicos (CARUSO; ALABURBA, 2008). São sólidos em temperatura ambiente, possuindo altas temperaturas de fusão e ebulição, baixa pressão de vapor e baixa solubilidade em água (CARUSO; ALABURBA, 2008).

Por sua característica lipofílica, os HPAs tendem a se acumular em tecidos lipídicos de plantas e animais e podem ser transportados em meios aquáticos uma vez aderidos a partículas em suspensão (CARUSO; ALABURBA, 2008).

A presença de HPA nos tecidos que compõem a RPCIU foi constatada em exercícios de simulação com fogo real, sendo que houve um aumento significativo na quantidade destes compostos após a exposição (STEC *et al.*, 2018a). Com relações aos COVs, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*United States Environment Protection Agency – US EPA*) aponta duas preocupações distintas. A primeira quanto à sua capacidade de formar poluição atmosférica fotoquímica, portanto a preocupação dos COV em ambiente aberto; a segunda em ambiente interno pelo impacto na saúde e segurança do ser humano exposto (USEPA, 2020).

Para poluição de ar em ambientes fechados a definição de COV pela US EPA é dada como compostos orgânicos cuja composição torna possível sua evaporação sob condições normais de atmosfera de ambientes internos, temperatura e pressão (USEPA, 2020).

A definição de COV é variável, a União Europeia por meio de Diretiva definiu COV como sendo qualquer composto orgânico tendo ponto de ebulição abaixo ou igual a 250°C medido a uma pressão padrão de 101,3kPa (EUROPEAN PARLIAMENT, 2004).

2.3 Câncer em bombeiros

A Agência Internacional de Estudo sobre Câncer (International Agency for Cancer Research – IARC) da Organização Mundial de Saúde, emitiu no ano de 2010 uma publicação contendo uma análise documental de trabalhos científicos sobre a temática Pintura, Combate a Incêndio e Trabalho por Turnos: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 98: Painting, Firefighting, and Shiftwork (OMS, 2020).

Alguns estudos conduzidos pelo NIOSH nos quais os bombeiros utilizaram Proteção Respiratória Autônoma, ou seja, com as vias respiratórias completamente isoladas da exposição da fumaça, os resultados apontaram para um aumento da exposição tóxica justamente pelos equipamentos utilizados pelos bombeiros (STEC *et al.*, 2018a), tais como roupas de proteção contra incêndio e demais EPIs.

Embora a rota de inalação dos compostos tóxicos esteja protegida pelo uso de EAPR, a exposição em potencial da pele existe e estudos encontraram partículas com HPA depositadas nos EPI dos bombeiros (RPCIU por exemplo) podendo estas partículas ser rapidamente absorvidas pela pele (FENT *et al.*, 2020).

Ao longo dos anos, com maior investigação da incidência aumentada de câncer em bombeiros, a relação da presença de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e o desenvolvimento de câncer passou a ser apontada como existindo uma associação positiva (direta) entre determinados tipos de câncer e os HPAs e o benzeno (STEC *et al.*, 2018a).

No mesmo sentido, resultados de análises em bombeiros que atuaram na fase final de incêndios com presença constatada de benzofluoranteno e outros muitos tipos de HPAs possuidores de relatada ação cancerígena apontaram deposição na pele, sugerindo a absorção dérmica como uma rota potencial de exposição a estes agentes (BAXTER *et al.*, 2014).

A exposição dérmica aos HPAs pode ocorrer por meio da deposição pelo ar como também pelo contato com superfícies contaminadas, como roupas (Kandus *et al.* apud VANROOIJ *et al.*, 1993), roupa íntima (Jach and Maseck apud (VANROOIJ *et al.*, 1993) ou ferramentas.

Os compostos orgânicos não voláteis ou semivoláteis também podem se depositar na pele dos bombeiros, embora os COV geralmente encontram-se em fase de vapor, pequenas quantidades de COV podem se dividir em fase sólida e condensar na pele podendo tornar-se disponíveis para absorção biológica (FENT *et al.*, 2020).

A IARC tem como uma de suas ações a reunião de estudos científicos epidemiológicos e experimentais relacionados a atividade carcinogênica. Esta reunião de estudos é analisada conforme os diferentes tipos de agentes tóxicos e áreas do conhecimento, posteriormente são publicados trabalhos sobre os diversos contaminantes e áreas de ação humana visando políticas de controle de câncer (IARC, 2020).

Em análise de diversos trabalhos científicos, a IARC produziu uma classificação que analisou tipos de estudos de câncer em humanos e animais, a qualidade destes estudos, inferências no mecanismo de ação e critérios de causalidade. O resumo de dados considerou ainda a exposição, atividade carcinogênica em humanos e animais, e outros dados na avaliação de carcinogenicidade e seus mecanismos (IARC, 2010b).

A avaliação geral de atividade carcinogênica gerou uma classificação em grupos considerando o grau de evidência carcinogênica dos diversos estudos (IARC, 2010b):

- Grupo 1: Agente (mistura) cancerígena para humanos. Grupo com evidência suficiente de atividade carcinogênica;
- Grupo 2A: Agente (mistura) provavelmente cancerígena para humanos. Grupo com evidência limitada de atividade carcinogênica em humanos, mas com evidência suficiente de atividade carcinogênica em animais;
- Grupo 2B: Agente (mistura) possivelmente cancerígena para humanos. Grupo com evidência limitada de atividade carcinogênica em humanos e evidência menos que suficiente de atividade carcinogênica em animais;
- Grupo 3: Agente (mistura ou circunstância de exposição) não é classificável quanto sua atividade carcinogênica em humanos. Grupo com evidência

inadequada quanto atividade carcinogênica em humanos e evidência inadequada ou limitada de atividade carcinogênica em animais;

- Grupo 4: Agente (mistura) provavelmente não carcinogênico em humanos. Grupo que reúne agentes ou misturas para os quais as evidências sugerem ausência de atividade carcinogênica para humanos e animais.

Em se tratando da presença de HPA em RPCIU, Stec (2018) analisou estudos de 16 HPAs considerados na literatura, porém ateve-se à análise experimental apenas dos HPAs classificados nos grupos 1 e 2 de acordo com IARC e US EPA adicionados dos compostos 3-Metil colantreno, Dibenzo(a,e)pireno e 7,2 – Dimetil benzo(a)antraceno que podem ser mais tóxicos que o Benzo(a)pireno (STEC *et al.*, 2018a), conforme Quadro:

Figura 2 - Quadro Classificação quanto carcinogenicidade (NIOSH)

HPA	Classificação NIOSH
Benzo(a)antraceno	Grupo 2B
Benzo(b)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(j)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(k)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(a)pireno	Grupo 1
Criseno	Grupo 2B
Dibenzo(a,h)antraceno	Grupo 2A
Indeno (1,2,3-cd) pireno	Grupo 2B
Naftaleno	Grupo 2B

Fonte: o autor

Em estudos de meta-análise, o risco de câncer em bombeiros foi significativamente elevado para 10 de 21 tipos de câncer analisados: estômago, cólon, reto, pele, próstata, cérebro, testículo, linfoma não Hodgkin, mieloma múltiplo e melanoma maligno (IARC, 2010a). Com exceção do câncer de testículo o risco relativo estimado foi considerado moderado para os demais tipos de câncer, e para quatro tipos (próstata, testículo, linfoma não Hodgkin e mieloma múltiplo) os achados foram consistentes entre design e tipos de estudos disponíveis, fortalecendo a inferência entre a profissão de bombeiro e o risco elevado destes tipos de câncer (IARC, 2010a).

O Grupo de Trabalho da IARC responsável por um dos estudos de meta-análise avaliou a incidência de câncer de testículo baseado em 6 estudos e 409 casos; câncer de próstata foi avaliado usando 16 estudos disponíveis e 1764 casos de câncer; e linfoma não Hodgkin foi avaliado baseado em 7 estudos e 312 casos (IARC, 2010a).

A IARC destaca 3 tipos de câncer relacionados a atividade de bombeiros cujas incidências superam as da população normal: incidência de câncer de testículo, aproximadamente 50% a mais que a população normal; câncer de próstata, 30% a mais que a população normal; e linfoma non-Hodgkin, 20% a mais estimado que a população normal (IARC, 2010a).

Em estudo realizado nas 3 maiores cidades dos EUA avaliou 29.993 bombeiros a respeito da mortalidade e incidência de câncer dos anos 1950 a 2009 (DANIELS *et al.*, 2014). O estudo apontou um risco de incidência levemente a moderadamente maior de câncer em bombeiros quando comparados com a população normal fortalecendo as evidências da relação da exposição ocupacional de bombeiros e o câncer (DANIELS *et al.*, 2014).

Além da exposição a contaminantes na cena de incêndio, a Rede de Apoio ao Câncer de Bombeiros (*Firefighter Cancer Support Network – FCSN*) aponta comportamentos que contribuem para o aumento do risco de desenvolvimento de câncer, dentre eles (FCSN, 2013):

- Bombeiros orgulhosamente usam EPI sujo e contaminado;
- Instrutores usam capacetes e RPCIU cheio de contaminantes como sinal de experiência;
- Muitos bombeiros possuem apenas um conjunto de EPI o que significa uma repetida contaminação;
- Os EPI ainda são armazenados em locais onde se tem exaustão de diesel das viaturas;
- EPI ainda não são lavados por meses, mesmo após incêndios importantes;

- Muitos bombeiros colocam os EPI nos porta-malas de seus carros pessoais facilitando a contaminação da cabine de passageiros;
- Bombeiros ainda carregam os EPI na cabine das viaturas antes e depois de incêndios;
- Raramente as cabines das viaturas são descontaminadas;
- Muitos bombeiros não tomam banho logo após incêndios.

Estudos epidemiológicos mais recentes apontam que, além do elevado risco de desenvolvimento de câncer, os bombeiros também têm um maior risco de desenvolver doenças cardiovasculares (FABIAN *et al.*, 2014).

Além do depósito de HPAs na RPCIU durante uma intervenção no cenário de incêndio urbano, foi evidenciado também o seu acúmulo no EPI a cada uso (FENT *et al.*, 2017). Além da contaminação aumentada com múltiplos usos sem uma devida limpeza, o tipo de tarefa realizada no ambiente de incêndio influencia a magnitude da contaminação (FENT *et al.*, 2017a).

Um estudo conduzido em ambiente de treinamento no Reino Unido atestou o aumento significativo na concentração de HPAs após uma exposição em seção de treinamento com uso de placas *Oriented Strand Board* (OSB) (STEC *et al.*, 2018a). Em que pese uma seção de treinamento ser diferente de um ambiente de incêndio urbano, com combustível limitado à madeira e resina, como são as placas de OSB, ainda assim se percebeu aumento significativo de contaminantes cancerígenos agregado às RPCIU (STEC *et al.*, 2018a).

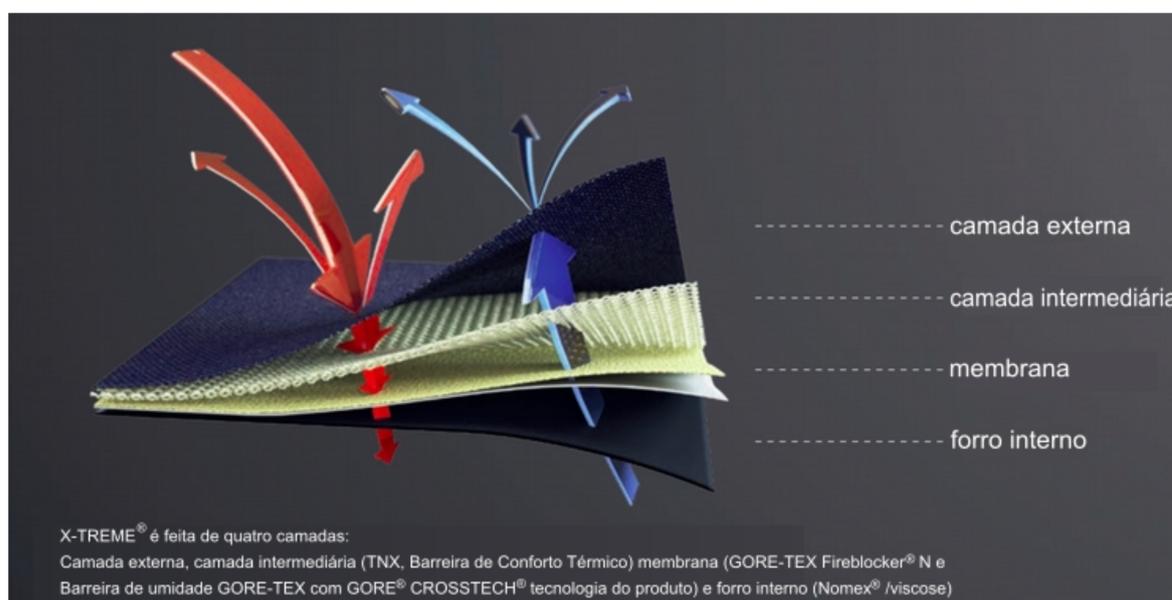
No âmbito do CBMDF o estudo relacionado a incidência de câncer avaliou o risco de câncer de pele melanoma em instrutores de combate a incêndio por estarem mais expostos. O estudo sugeriu uma possível exposição prolongada e intensa destes militares a diversos fatores potencialmente cancerígenos, como o calor, radiação UV e produtos da combustão, característica laboral considerada o motivo pelo qual esses profissionais possuem uma incidência elevada, quando comparados à população geral, para surgimento de neoplasias (RODRIGUES, 2020).

2.4 Limpeza de RPCIU

No ano de 2013 se deu a primeira compra dos atuais conjuntos de RPCIU por meio da Ata de Registro de Preço nº7/2014 – CBMDF (2.250 unidades adquiridas) e posteriormente foram adquiridos RPCIU de mesmas características pela Ata de Registro de Preço nº 09/2018 – CBMDF (3.450 unidades adquiridas).

O modelo atualmente em uso é o Texport Fire Survivor constituído de 4 camadas sendo: camada externa composta de 40% Polibenzilimidazol, 58% para-aramida e 2% fibra antiestática; barreira térmica, 95% meta-aramida e 5% para-aramida; barreira de umidade, com uma membrana 100% politetrafluoretileno, e outra camada de não tecido, 85% meta-aramida e 15% para-aramida; forro composto de 50% viscose anti-chama e 50% meta-aramida, conforme figura 3.

Figura 3 - Camadas RPCIU Texport Survivor



Fonte: (TEXPORT, 2019)

A complexidade da constituição físico-química e mecânica da RPCIU exige um processo de lavagem adequado a fim de garantir, não apenas a remoção de contaminantes, mas a preservação de suas características de proteção após lavagem. Diante disso, as metodologias e práticas industriais devem promover técnicas de limpeza seguras para que os bombeiros não sejam continuamente expostos a RPCIU contaminadas ou inadequadamente lavadas (NFPA, 2018).

No ano de 2018 a *National Fire Protection Association* (NFPA) terminou o projeto 1: Validação da limpeza de EPI, dentro do escopo: Validação da Limpeza de EPI do Serviço de Combate a Incêndio (NFPA, 2020b). O primeiro projeto, iniciado em 2017, ateu-se ao processo de limpeza de RPCIU visando ter a validação de um processo adequado e seguro de limpeza da RPCIU (NFPA, 2020b).

No referido projeto, a sequência de ações até chegar a um método adequado de limpeza de RPCIU se iniciou com a identificação dos contaminantes, seguiu-se com o desenvolvimento de métodos para contaminação em laboratório para então serem validados esses métodos laboratoriais de contaminação em relação à contaminação em serviço. Por fim foram testados e verificados métodos adequados de limpeza para então ser garantida a aplicabilidade destes métodos em serviços comerciais (NFPA, 2017).

Stec (2018) em análise de RPCIU lavadas foram encontradas apenas substâncias não cancerígenas e em baixas concentrações, sugerindo uma alta eficiência na descontaminação pelo processo de lavagem (STEC *et al.*, 2018a).

O atual processo de limpeza do CBMDF para as RPCIU se baseia unicamente nas orientações do fabricante, que segundo a NFPA (2018) em geral são vagas e sem comprovação da sua eficiência na remoção de contaminantes.

Ao fim dos estudos realizados pela NFPA mencionados anteriormente, foi revista a norma NFPA 1851: Seleção, Cuidado e Manutenção de Equipamentos de Proteção de Combate a Incêndio Estrutural (NFPA, 2020a). A referida norma tem o propósito de estabelecer um programa para redução de riscos à segurança e potencial de riscos à saúde associados a equipamentos de proteção contra incêndio estrutural mal mantidos, contaminados ou danificados (NFPA, 2020a).

A terminologia utilizada pela NFPA 1851 caracteriza a Limpeza Avançada como sendo o ato de remover sujeira e contaminação associados aos produtos da combustão, o objeto deste estudo (NFPA, 2020a). Diferente da Limpeza Avançada, é descrito também na norma a Limpeza Especializada, como sendo aquela (destinada a remover produtos perigosos oriundos de fluidos corporais ou outras fontes de contaminação. Além dessa, a norma também descreve outra ação, denominada “Redução Preliminar de Contaminação”, sendo esta um conjunto de

técnicas para reduzir os quantitativos de sujeira e contaminação exterior do EPI imediatamente após as operações no incidente (NFPA, 2020a).

Diante do exposto, enquanto a Limpeza Avançada é realizada com maquinário próprio, em local adequado, com procedimentos visando uma limpeza e descontaminação terminal e profunda dos EPI, a Redução Preliminar de Contaminação é realizada ainda na cena e tem o objetivo de reduzir os quantitativos de sujeira e contaminação da parte exterior do EPI (NFPA, 2020a).

Enquanto a NFPA realizou um trabalho científico na busca por métodos de limpeza avançada adequados e assim atualizar a normatização deste tema de impacto imediato na realidade de bombeiros, a União Europeia focou esforços na ISO 23616. A norma ISO ainda está com status de “em desenvolvimento” e encontra-se, na presente data, em período de votação/comentários do rascunho apresentado por comitê técnico designado (ISO, 2020). Por estar em processo de desenvolvimento, a norma não está disponível ao público geral.

Para a realidade do CBMDF, as seguintes orientações de lavagem entregues junto com as RPCIU, quando da retirada do EPI pelos bombeiros, são apresentados no quadro abaixo:

Figura 4 - Quadro - Indicações de Limpeza RPCIU Texport

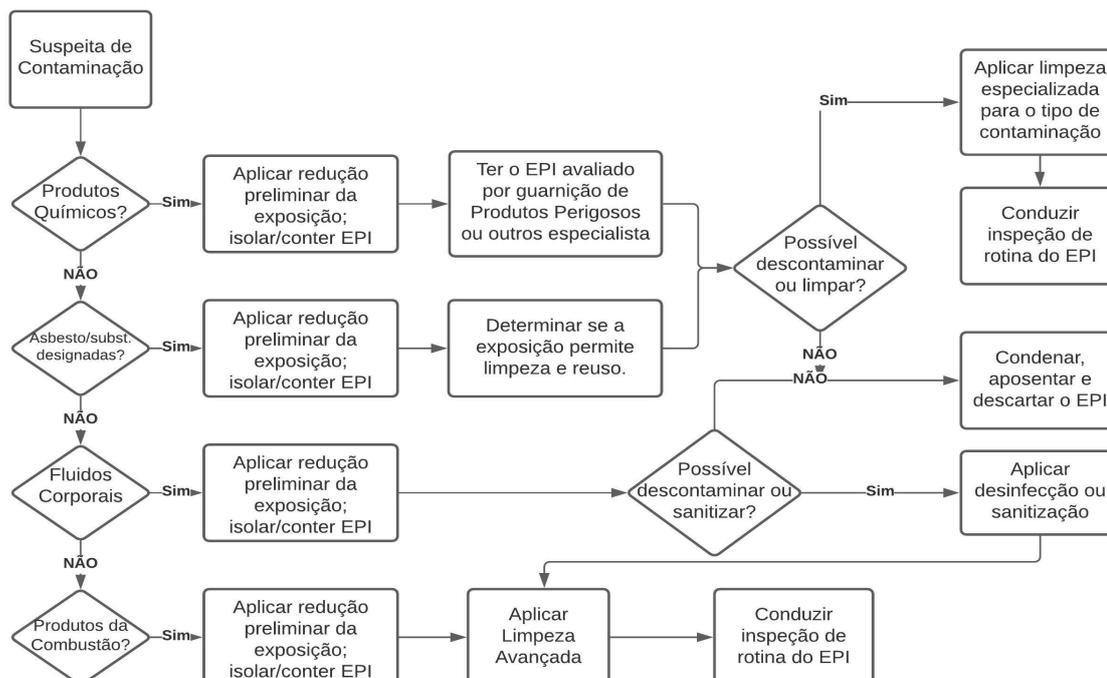
Informações ao utilizador	
Indicações Gerais de Limpeza:	Lavar o vestuário separadamente;
	Remover acessórios não fixos;
	Fechos devem estar fechados;
	Fechar o casaco, cobrir os fechos de velcro com fita suave e virar o casaco ao avesso (forro para fora)
	Pré-tratar partes extremamente sujas
	Utilizar detergentes de roupas delicadas (sem branqueadores, sem amaciantes, não utilizar concentrados)
	pH da água deve estar entre 8 e 9
	Não usar amaciantes
	Não embalar quando estiver úmida
	Engomar com temperatura ajustada de acordo com

	etiqueta;
	Em caso de limpeza química, não usar fortificantes de limpeza;
	Para evitar danos após limpeza industrial, recomenda-se uma limpeza teste anterior
	Em caso de necessidade de reestabelecimento de repelência a líquidos e substâncias químicas líquidas por força de determinadas normas, o fabricante facilitará mais informações sobre intervalos de impermeabilização depois da limpeza
	Não usar lixívia
Temperatura da água máxima	60°C
Engomar	Engomar a 150°C para que o efeito repelente de água e líquidos seja refrescado. Não engomar as tiras refletoras;
Centrifugação	Normal
Secagem	É possível secar na máquina de secar tendo o cuidado de fechar o casaco, cobrir os velcros com fita suave e virar o casaco ao avesso (forro para fora);
Armazenamento	Armazenado protegido contra a luz em local limpo e seco; deve estar protegido da luz solar

Fonte: (TEXPORT, 2018)

De forma diversa, a NFPA 1851 inicialmente apresenta um fluxo para a análise do procedimento, de acordo com a exposição aos diferentes tipos de contaminantes, conforme figura 5. Primeiro se avalia a suspeita de contaminação para em seguida serem tomadas as decisões adequadas para cada tipo de contaminante, onde neste trabalho é analisada contaminação por produtos da combustão e a limpeza avançada (NFPA, 2020a).

Figura 5 - Abordagem para direcionamento por tipo de contaminação



Fonte: (NFPA, 2020a)

A NFPA 1851, na seção 7.3 Limpeza Avançada, inicia de forma taxativa estabelecendo a limpeza avançada como sendo uma ação a ser desempenhada por profissional, prestador de serviço, estabelecimento ou organização certificada ou validada quanto à eficiência do processo de limpeza (NFPA, 2020a). Orienta ainda que o membro devidamente treinado em limpeza avançada da organização responsável pela limpeza assume a responsabilidade por realizar, gerir, ou coordenar a limpeza avançada ou o processo de limpeza, treinamento este com requisitos apontados na própria norma (NFPA, 2020a).

Quanto aos procedimentos de limpeza, a máquina de lavar específica para limpeza dos conjuntos de proteção deve ser programável permitindo múltiplas formulações de aplicação de detergente, temperatura da água, nível de água, tipo de ciclos e funções e tempo de cada ciclo (NFPA, 2020a). A centrífuga da máquina não deve ter uma força G que ultrapasse 100G ou deve ter capacidade de ajuste de rotações por minuto (RPM) para que a força G não ultrapasse 100G (NFPA, 2020a).

Máquinas de abertura superior não devem ser usadas para limpeza de RPCIU (NFPA, 2020a). O detergente, agente de limpeza ou produto para pré-tratamento

químico deve ser apropriado para uso na limpeza avançada (NFPA, 2020a). Água sanitária, solventes clorados, ou solventes não devem ser usados sem aprovação do fabricante do conjunto ou organização certificada (NFPA, 2020a).

Quanto ao detergente, o mesmo deve apresentar pH entre 6 pH e 10,5 (NFPA, 2020a), sendo a máquina de lavar específica para conjuntos de proteção. Os seguintes procedimentos devem ser adotados: a máquina não deve ser sobrecarregada nem carregada abaixo do devido; áreas mais sujas devem ser pré-tratadas; todos os bolsos, costuras, ganchos, zíperes devem estar presos ou fechados; a temperatura da água não deve passar dos 40°C; a formulação do ciclo deve incluir uma série de etapas para encher de água o tambor, adicionando detergente, realizar múltiplos enxágues, e incluir extrações entre etapas de lavagens e enxágues; o conjunto deve ser inspecionado e relavado se necessário (NFPA, 2020a).

Quanto à secagem podem ser usados dois procedimentos: secagem ao ar livre ou gabinete de secagem (NFPA, 2020a). Para a secagem ao ar livre: colocar os conjuntos de proteção em área de boa ventilação; não deixar para secar em contato direto ou indireto com luz do sol, luz fluorescente ou luz UV; não permitir que a temperatura da área de secagem passe dos 40°C (NFPA, 2020a). Para a secagem em gabinete de secagem, figura 6: posicionar os conjuntos de forma a permitir boa circulação de vento entre os conjuntos; usar tempo e temperatura específicos para a secagem dos conjuntos; não permitir que a área para secagem ultrapasse os 40°C (NFPA, 2020a).

Figura 6 - Gabinete de Secagem de EPI



Fonte: (UNIMAC, 2021)

A máquina tem uso previsto na norma devendo seguir os procedimentos: não deve ser ultrapassada a capacidade da máquina; todos os bolsos, costuras, ganchos, zíperes devem estar presos ou fechados; a opção “sem calor” ou “ar seco” deve ser utilizada se disponível; na ausência da opção “sem calor” ou “ar seco” a temperatura do tambor não deve passar de 40°C; o uso de ciclo de calor deve ser interrompido previamente à remoção de umidade dos conjuntos; o restante do processo de secagem deve ser realizado por uma máquina com opção “sem calor” ou retirada dos conjuntos da máquina de secar e uso da secagem ao ar livre (NFPA, 2020a).

A norma traz ainda cuidados adicionais para elementos presentes em alguns tipos de roupa como alças de resgate, proteções de queda, partes destacáveis das RPCIU entre outros (NFPA, 2020a).

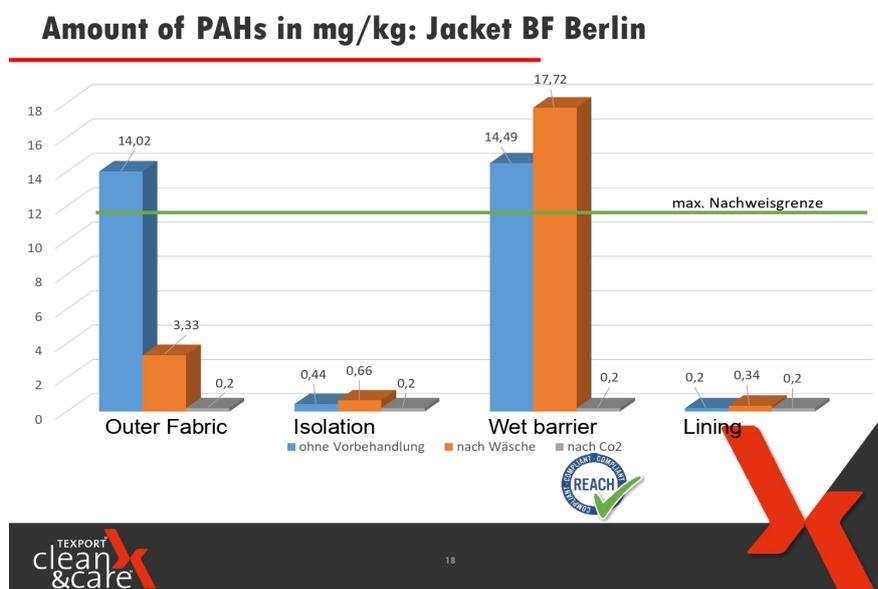
Os cuidados nos parâmetros de lavagem existem pois altas temperaturas de lavagem bem como de secagem, presença do agitador em máquinas de abertura superior e alta aceleração na extração de água são procedimentos que causam desgaste adicional às RPCIU (WALKER; STULL, 2006).

Em análise laboratorial encomendada pela própria fabricante da RPCIU do CBMDF (Anexo A) sobre eficiência da descontaminação, foram analisadas RPCIU e Luvas contaminadas antes e após processos diferentes de descontaminação, por lavagem e CO₂. Os gráficos apresentados separam o comportamento de cada processo nas diversas camadas (externa, isolamento térmico, membrana impermeável e forro interno).

Os dados foram comparados com a já mencionada certificação OEKO-Tex 100 no que se refere à quantificação de HPAs. Em análise dos gráficos (conforme figura 7) se percebeu uma deposição maior de HPAs nas camadas externa e membrana impermeável antes do processo de descontaminação (coluna azul) quando comparadas com forro interno e isolamento térmico. No que diz respeito à eficiência na descontaminação se percebeu que em todas as camadas, a lavagem (coluna laranja) foi eficaz, reduzindo a presença de HPAs abaixo do limite aceitável, com a exceção da membrana impermeável a qual apresentou um aumento de contaminação, sugerindo um acúmulo dos contaminantes durante o processo. A

descontaminação com CO₂ (coluna cinza) teve efeito positivo em todas as camadas sem exceção.

Figura 7 - Eficiência remoção total HPAs (Lavagem e CO₂) por camada



Fonte: Texport (Anexo A)

Quando em análise da eficiência de lavagem das balaclavas de combate a incêndio, material têxtil, similar ao usado em partes da RPCIU, Mayer (2019) apresentou resultados de redução da presença de HPAs em média de 80%. Ainda, as lavagens demonstraram ser um fator de proteção na medida em que a contaminação de HPAs em balaclavas já lavadas foi menor em comparação com balaclavas que não foram lavadas (MAYER *et al.*, 2019).

As lavagens têm o objetivo de retirar contaminantes de diversas naturezas, porém para a RPCIU o impacto das lavagens nas suas capacidades de proteção passa a ser objeto de preocupação pela possibilidade de dano na proteção aos bombeiros. Em análise dos efeitos da lavagem na RPCIU foi verificado que o impacto da lavagem variou nas diferentes propriedades, a performance de proteção térmica aumentou, bem como alguns valores de resistência ao rasgo, sugerindo que o encolhimento das fibras pode ter sido um fator causal destas melhoras na performance (WALKER; STULL, 2006).

Os efeitos da lavagem apresentaram impactos negativos também em outras propriedades, tais como resistência à tração, resistência da costura e absorção de água e resistência ao rasgo (WALKER; STULL, 2006).

Stec (2018) realizou estudo no qual RPCIU foram analisadas antes e após processo de lavagem em máquinas domésticas convencionais, dentre os achados foram detectados compostos (não carcinogênicos) após a lavagem comum tais como acenaftileno, pireno, antraceno e fluoranteno em concentrações relativamente pequenas, indicando que os baixos quantitativos de HPAs presentes reforçou a alta eficiência da lavagem na descontaminação de RPCIU em concordância com demais relatos da literatura (STEC *et al.*, 2018a).

2.5 Método analítico de contaminantes de incêndios nas RPCIU

A Cromatografia Gasosa é um processo amplamente utilizado nas análises químicas e o seu processo de separação de substâncias é realizado por uma amostra vaporizada em consequência de sua partição em duas fases, uma móvel gasosa e outra estacionária líquida injetada dentro de uma coluna cromatográfica (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006). A fase móvel não interage com as moléculas do que se pretende analisar, é apenas um meio de transporte para dispersão na coluna (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006).

Sendo a Cromatografia Gasosa o processo no qual se separam as substâncias de um analito - substância ou componente da amostra que é alvo da análise - é necessário um meio de detecção que consiga detectar com precisão adequada os compostos da amostra separados, para tanto, é utilizado acoplado à Cromatografia Gasosa o Espectrômetro de Massas (CG-MS), combinação esta conhecida pela abreviatura "GC-MS" (do inglês *Gas Chromatography - Mass Spectrometry*). O Espectrômetro de Massas, segundo Skoog, West e Holler (2006), é um dos detectores mais poderosos utilizado com a cromatografia gasosa.

A Espectrometria de massas é um método capaz de detectar quantidades de partes por milhão a partes por bilhão, além de serem rápidos, convenientes e em geral de alta seletividade (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006).

O uso da cromatografia gasosa aliado ao espectrômetro de massa (CG-MS) na análise de contaminantes em ambientes de incêndio é amplamente utilizado justamente por suas características de capacidade de separação de substâncias a serem detectadas, sendo utilizados em estudos por Austin (2001a), Austin (2001b), Fabian (2014), Fent (2017) e Fent (2018).

A CG-MS também é o instrumento de análise utilizado para detecção de HPA e outros contaminantes em tecidos para os órgãos reguladores norte-americanos NFPA (2018) e NIOSH (1994). Na Alemanha o Instituto Federal para Saúde e Segurança Ocupacional (*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - BAuA*) emite uma certificação denominada “GS” (*Geprüfte Sicherheit*) indicando “Segurança Testada”, devendo o uso desta marca “GS” cumprir uma série de requisitos e testagens, e a fim de certificar materiais ou superfícies em contato com a pele quanto à contaminação por HPAs os procedimentos de teste se utilizam da mesma forma do método de análise com uso da CG-MS (BAUA, 2014).

A certificação OEKO-TEX 100 estabelece métodos de testes para os diversos tipos de contaminantes em tecidos, pesticidas, fenóis, compostos orgânicos, compostos fluorados, corantes, metais pesados, formaldeídos, retardantes de chamas, resíduos de solventes etc (OEKO-TEX, 2016). Especificamente para COV e HPA a metodologia de teste deve utilizar CG-MS para análise destes compostos (OEKO-TEX, 2016).

Detidamente sobre a análise da exposição tóxica em cenários de incêndio foi realizado estudo no CBMDF quanto à exposição no serviço de perícia o qual identificou diversos compostos, dentre eles os HPAs, e o método de análise adotado no trabalho foi o CG-MS (SILVA, 2019).

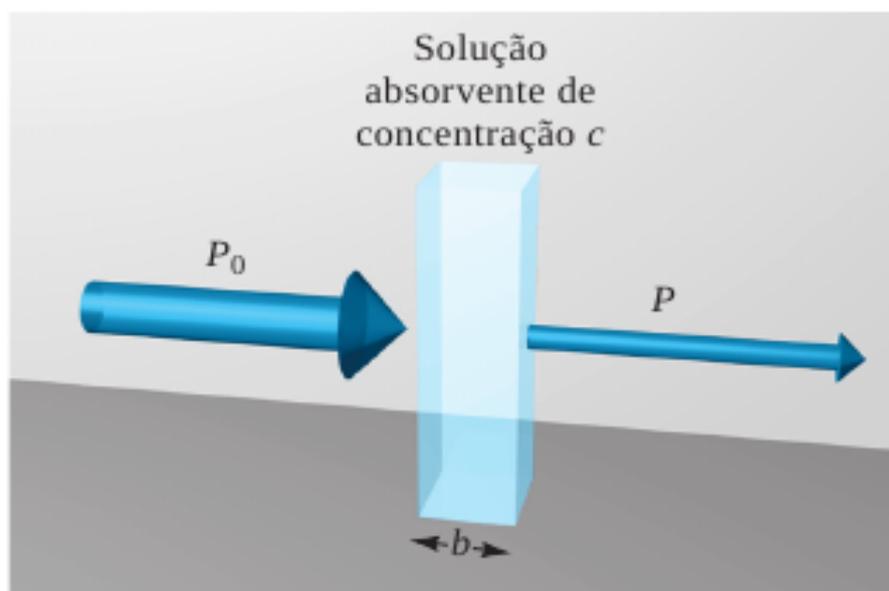
Fent (2017) em análise de contaminação de RPCIU usou metodologia na qual conjuntos de proteção novos foram entregues os bombeiros do estudo para que atuassem em diferentes locais no cenário do incêndio. Após a contaminação, para análise de contaminantes aderidos à RPCIU foram utilizados de lenços com isopropanol (Allegro® 1001) como técnica de extração dos contaminantes depositados na RPCIU (FENT *et al.*, 2017b).

Stec (2018) realizou estudo com similaridades a este no qual parte do experimento consistiu em extrair da RPCIU, também por meio de lenços com isopropanol, contaminantes para posterior análise em equipamento de CG-MS.

Além da detecção possível pela espectrometria de massa, outro método analítico que pode ser utilizado para detecção e compostos policíclicos aromáticos é a Espectroscopia UV/VIS, método este que se baseia na medida da quantidade de radiação produzida ou absorvida pelas moléculas de interesse (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006).

A absorção da radiação é dada pela lei de Beer-Lambert a qual indica que a quantidade de energia absorvida da energia incidente gerada pela fonte de emissão depende da concentração das moléculas absorventes e da extensão do caminho sobre o qual ocorre a absorção (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006). A absorbância, portanto pode ser representada conforme a figura 8:

Figura 8 - Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente



Fonte: (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006)

A Transmitância (T) é a fração da radiação que incide (P_0) sobre a amostra e é transmitida pela solução (P), sendo a outra fração absorvida, como demonstra a equação 2 (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006):

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

A absorvância (A) de uma solução é relacionada com a transmitância em forma logarítmica, conforme equação 3 (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006):

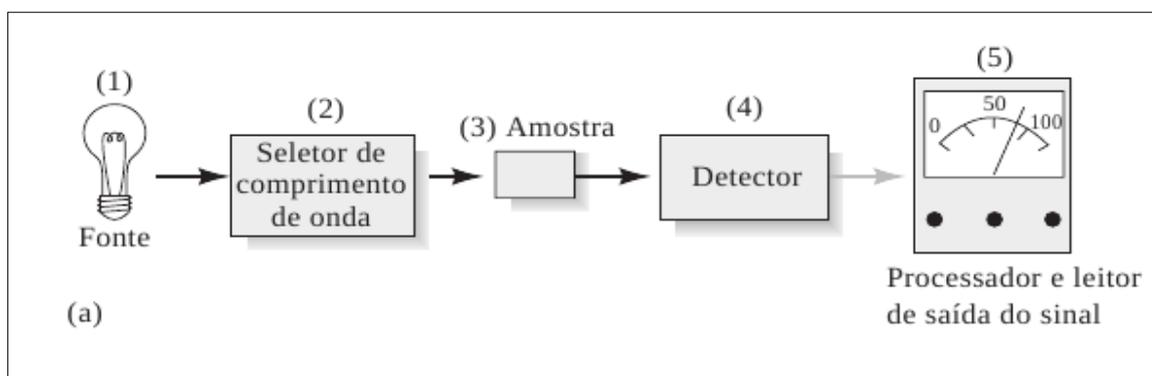
$$A = \log \frac{P_0}{P} \quad (3)$$

Ainda de acordo com a Lei de Lambert-Beer, a absorvância (A) é diretamente proporcional à concentração do analito (c) e ao caminho ótico do absorvente (b), dada uma constante de proporcionalidade denominada de absortividade (a) (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006), equação 4:

$$A = \log \frac{P_0}{P} = a \cdot b \cdot c \quad (4)$$

Os instrumentos espectroscópicos para uso em regiões do Ultravioleta e Luz Visível (UV/VIS) apresentam cinco componentes, sendo eles (1) fonte de energia radiante; (2) seletor de comprimento de ondas; (3) recipiente para a amostra; (4) detector de radiação; e, (5) unidade de processamento de leitura do sinal, conforme figura 9 (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006):

Figura 9 - Componentes de instrumentos para a espectroscopia ótica



Fonte: (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006)

Um instrumento espectroscópico que utiliza monocromadores ou policromadores como seletores de comprimento de onda associado a um transdutor para converter intensidades radiantes em sinais elétricos é o espectrômetro (SKOOG; WEST; HOLLER, 2006). Os espectrofotômetros UV/VIS são equipamentos que permitem medir razão entre a potência de dois feixes (um que passa pela

solução da amostra com analito e outro que passa pelo solvente puro, ou branco), permitindo, portanto, a medição da absorvância (SKOOG; WEST, HOLLER, 2006).

A espectrofotometria de absorção no UV/VIS foi utilizada como método de avaliação da eficiência de descontaminação em trajes de bombeiro (MAURICIO, 2019). A análise do estudo considerou três contaminantes como referência para a avaliação do processo de descontaminação: tartrazina, pireno e 9-metilantraceno (MAURICIO, 2019). Os compostos escolhidos para a análise da eficiência no processo de descontaminação foram selecionados por serem compostos modelo que apresentam mesmos grupos funcionais dos HPAs (MAURICIO, 2019).

O pireno, por ser um dos 16 HAP classificados pela US EPA como sendo poluentes prioritários, teve sua sensibilidade à fotodegradação analisada por meio da prévia adsorção por dióxido de titânio, devido sua extremamente baixa solubilidade em água (WEN *et al.*, 2003). A análise da fotodegradação do pireno, foi analisada também com o uso do espectrofotômetro UV/VIS entre outros métodos analíticos (WEN *et al.*, 2003).

3 METODOLOGIA

A realização deste trabalho considera que o conhecimento científico tem aspectos: acumulativo, neste sentido buscou levar em consideração os trabalhos científicos existentes sobre o tema; verificável, por ter-se a possibilidade de replicar sua investigação; explicativo, por tentar trazer luz à análise pretendida; e, útil, por ter a perspectiva de apresentar uma solução para um problema da corporação (LAKATOS; MARCONI, 1992).

No que se refere à classificação, quanto à natureza esta pesquisa foi aplicada pois visou atender uma demanda prática de redução do risco de contaminação em bombeiros por meio de limpeza adequada. Quanto ao método, essa pesquisa se baseou em argumentos indutivos uma vez que as conclusões sobre o processo de contaminação, seguida de limpeza e descontaminação, realizadas com variáveis controladas sob uma amostra, foram ao fim extrapoladas para uma realidade que se pretendeu interferir. Quanto aos objetivos, foi explicativa uma vez que buscou identificar os fatores que interferiram no processo de contaminação e limpeza das RPCIU. Quanto à abordagem, essa pesquisa foi quantitativa por buscar mensurar indicadores referenciados de contaminação antes e pós processos de limpeza e descontaminação. Quanto ao procedimento, foi experimental haja vista os procedimentos e equipamentos investigativos utilizados a fim de se compreender as formas de interação das variáveis com o objeto da análise.

Esta pesquisa foi experimental de laboratório em virtude da atividade de combate a incêndio em campo ser de difícil previsibilidade, e quando aliada à perspectiva temporal que se exige para o trabalho pretendido torna-se ainda mais difícil buscar dados logo após as ocorrências de incêndio urbano a fim de diminuir um possível viés na coleta de dados.

Foram realizadas amostras em triplicatas, uma vez que o valor médio da triplicata representa a melhor estimativa do erro experimental em uma determinação, assumindo, portanto, compromisso aceitável entre a precisão e o trabalho (PASSARI *et al.*, 2011). A equação 5 que representa o intervalo de confiança do valor médio é dada por:

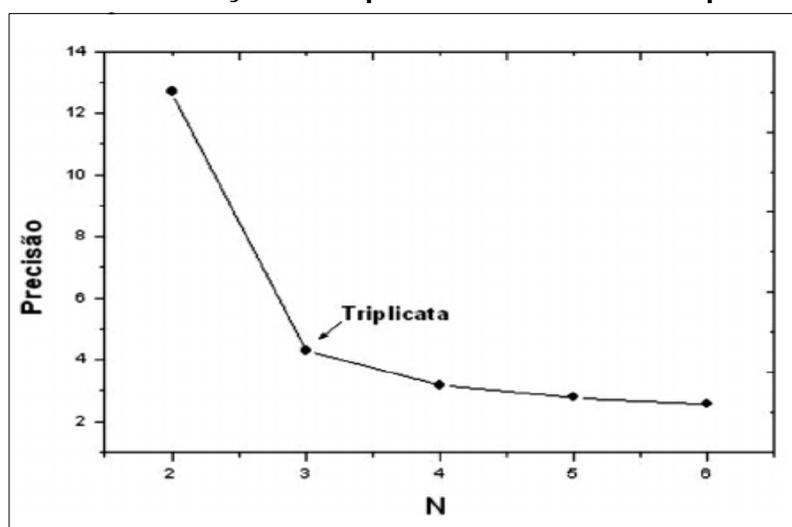
$$\mu = \bar{\chi} \pm t_{N-1} \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

Na equação acima $\bar{\chi}$ representa a média amostral, s representa o desvio padrão, N o número de réplicas, sendo 3 no caso de triplicatas, e t representa o valor crítico da distribuição t de Student com $N-1$ graus de liberdade (PASSARI *et al.*, 2011).

Conforme aponta Passari (2011), aumentando o número de amostras (N), o intervalo de confiança diminuirá pois também diminuirá o valor t_{N-1} e do fator $1/\sqrt{N}$. Ainda segundo Passari (2011), ao se realizar uma triplicata em vez de uma duplicata, o melhoramento de precisão passa de 12,71 para 3,04, um fator de 4; e, por outro lado quando se utiliza uma quadruplicata em vez de uma triplicata, o melhoramento da precisão passa de 3,04 para 1,82, ou seja, um fator menor que 2.

Diante do exposto, embora o aumento do número de amostras reflita no grau de precisão, conforme figura 10, o esforço logístico aumenta consideravelmente sem, no entanto, trazer maiores benefícios para a validação científica.

Figura 10 - Gráfico de t/\sqrt{N} contra número de réplicas N , ilustrando relação entre precisão e número de réplicas



Fonte: (PASSARI *et al.*, 2011)

3.1 Materiais e métodos

3.1.1 Delineamento do estudo

As RPCIU foram utilizadas durante treinamento com fogo conforme protocolo vigente na corporação para treinamentos no SDI. Após a exposição, foram realizadas coletas de amostras nas RPCIU com o uso do Swab de Álcool. Tal desenho de estudo seguiu parte da metodologia proposta por Stec (2018) com o uso de treinamento com fogo em contêiner marítimo e coleta de amostras por meio de Swab de Álcool (isopropílico 70%) tendo em vista a possibilidade de manter a integridade da roupa sem necessidades de cortes da mesma para extração dos contaminantes (STEC *et al.*, 2018b).

As coletas foram realizadas em 3 momentos: T0, T1 e T2. No primeiro momento ou T0, a coleta foi realizada do lado esquerdo da RPCIU antes do exercício a fim de estabelecer o estágio inicial de contaminação de cada RPCIU. Ao fim do exercício de simulação do incêndio, ou T1, foi realizada nova coleta nos mesmos pontos do lado direito da RPCIU a fim de estabelecer o nível de contaminação após uma exposição e antes do processo de limpeza. A última coleta, T2, foi realizada após o processo de limpeza, novamente do lado esquerdo, a fim de determinar a eficiência do processo de limpeza para os contaminantes analisados.

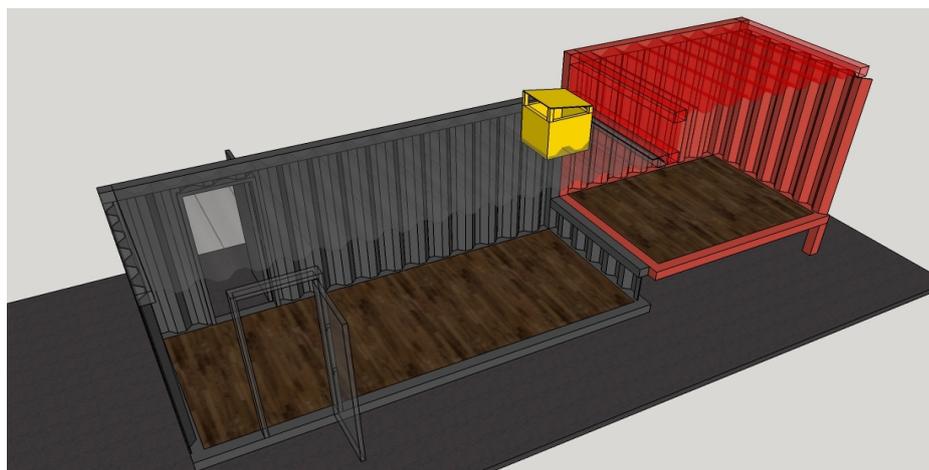
Em cada um dos 3 momentos (T0, T1 e T2) foram realizadas coletas das amostras da RPCIU em 3 pontos: P1, ombro; P2, manga; e P3, peito, sendo esta coleta de P3 realizada em 3 camadas distintas: C1, camada externa; C2 camada interna de proteção térmica; e C3, membrana impermeável, também interna. As coletas tiveram a finalidade detectar a penetração e retirada dos contaminantes em cada processo. Nesse procedimento foram analisados 6 militares, sendo 3 com roupas novas sem uso (amostra limpa), AL; e 3 com roupas dos próprios militares já em uso (amostra suja), AS. Foram extraídos um total de 90 amostras de RPCIU conforme quadro:

Figura 11 - Quadro de distribuição pontos de coleta e tempos

	T0	T1	T2	Nº de Amostras
AL1	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
AL2	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
AL3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
AS1	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
AS2	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
AS3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	P1;P2; P3-C1,C2 e C3	15
Total				90

3.1.2 Descrição do exercício com fogo

O exercício de observação de desenvolvimento do incêndio foi realizado em contêiner marítimo de 40 pés ou 12,03 metros, conforme figura 12, com câmara de combustão (destaque em vermelho na imagem) em plano elevado a fim de permitir maior conforto térmico aos alunos durante a observação.

Figura 12 - Disposição interna do SDI - fase 1

Fonte: Protocolo de Treinamento CETOP/CBMDF

O Simulador de Incêndio possui dispositivos de segurança ativos para melhor controle do exercício por parte dos instrutores. As chaminés aliviam os gases quentes da combustão e permitem a exaustão da massa convectiva por abertura superior e as portas são abertas em determinados momentos para que ar frio entre

no simulador interferindo também na dinâmica do fogo. Passivamente o exercício é monitorado por sensores de temperatura com pré-programação de temperaturas limites em determinadas alturas emitindo alarme sonoro quando estes limites são atingidos para que os participantes saiam do ambiente.

O material queimado durante o exercício para a produção do desenvolvimento do fogo é madeira, sendo parte utilizada em formas de pranchas (7 madeirites de 10mm) dispostas na câmara de combustão, conforme figura 13, e a outra parte da madeira é utilizada para o foco onde se inicia o fogo com o uso de pallets de pinus (2 pallets) quebrados dentro de tambor metálico adaptado.

Figura 13 - Montagem do foco SDI fase 1



Fonte: o autor

O exercício tem por objetivo validar conhecimentos adquiridos na teoria sobre as fases do desenvolvimento do fogo. Os militares posicionam-se dois a dois dentro da câmara de observação realizando rodízios de posição a fim de observarem os fenômenos durante a prática. O Instrutor Chefe, responsável pela condução do exercício, realiza tipos de ataques com água de diferentes formas às chamas de acordo com a necessidade. O exercício tem duração média de 25 minutos.

3.1.3 Descrição do processo de lavagem

O procedimento de limpeza adotado associa orientações do fabricante e da NFPA 1851 por serem complementares em muitos aspectos. As orientações seguintes foram seguidas para as 6 RPCIU:

- As roupas tiveram as aberturas fechadas (bolsos e zípers) e foram viradas ao avesso (forro interno para fora);
- Cada capa foi lavada separadamente;
- O ciclo de lavagem selecionado foi composto de pré-lavagem + 5 ciclos de enxágue + centrifugação de 400 RPM;
- Foi adicionado sabão de roupas não concentrado na pré-lavagem e durante os ciclos de enxágue, sendo extraída a água da lavagem a cada ciclo;
- A máquina de lavar não foi sobrecarregada;
- A temperatura da água utilizada foi de 60°C para os ciclos;
- O sabão para limpeza possui pH entre 6 pH e 10,5 pH, não contendo amaciante ou alvejante em sua composição;
- Não foi usado nenhum tipo de alvejante.

Após a centrifugação e término do ciclo de lavagem, as RPCIU foram colocadas em local ventilado protegido da luz e dos raios solares para finalizar o processo de secagem.

A lavagem foi realizada em máquina doméstica, conforme experimento de Stec (2018), e tendo em vista ser a realidade atual da corporação, neste sentido o experimento visou, sob este aspecto, obter resultado aproximado do atual procedimento adotado pelos bombeiros.

3.1.4 Análise das amostras

As amostras coletadas nos tempos citados foram devidamente tratadas e analisadas no laboratório LIMA da Universidade de Brasília.

A fim de determinar a retenção de contaminantes, produzidos durante um incêndio, na RPCIU e a eficiência na sua posterior remoção, o material contaminante foi extraído do tecido com um *swab* de álcool, aplicado diretamente sob a RPCIU.

Após a coleta dos contaminantes da RPCIU, as amostras coletadas no *swab* foram acondicionadas em frascos âmbar de 30mL a fim de evitar degradação dos contaminantes por luz branca sendo protegidos, portanto, pela coloração do vidro. Posteriormente, os contaminantes foram extraídos dos *swab* com acetonitrila. Esse solvente foi utilizado por ser um solvente de ampla aplicação para compostos orgânicos tal qual os contaminantes em análise, solvente também utilizado para extração dos mesmos compostos analisados em tecidos por Mauricio (2019).

Os *swab* foram embebidos em 5mL de acetonitrila dentro de tubos de ensaio e posteriormente levados ao banho ultrassônico a fim de acelerar a extração, método também utilizado por Stec (2018). Os tubos de ensaio contendo os *swab* e solvente foram sonicados por 20 minutos cada amostra a fim de extrair para o solvente o máximo de contaminação do *swab*, processo semelhante também utilizado por Mauricio (2019). Com intuito de garantir a total remoção dos contaminantes do *swab*, o processo de sonicação foi realizado novamente e os extratos unificados para a análise por Espectroscopia UV/VIS.

Para o procedimento de análise, após a extração dos resíduos de incêndio coletados no *swab* com uso de acetonitrila, o analito foi analisado no espectrofotômetro de UV/VIS para obtenção dos gráficos de absorção. A área dos gráficos foram obtidas com auxílio do programa Origin e os percentuais de degradação dos contaminantes após a lavagem das RPCIU foram obtidos pela comparação das áreas dos gráficos obtidos nos momentos T0, T1 e T2.

3.1.5 Materiais

Para a realização das amostras foram utilizados os seguintes materiais:

- Aparelho Espectrofotômetro UV/VIS – Varian Carry 5000;
- Almofada Embebida em Alcól 70% (Marca BD™- Álcool Swab) tamanho 2,5cm X 1,90cm – 100 unidades;
- Acetonitrila 99,9% (fórmula molecular CH₃CN) para Espectroscopia UV / HPLC- 5L;
- Luva nitrílica sem pó para manuseio dos materiais evitando contaminação cruzada das amostras;
- Roupas de Proteção Contra Incêndios Urbanos – 3 Roupas limpas sem uso e 3 Roupas usadas – Texport Fire Survivor;
- Simuladores de Desenvolvimento do Incêndio (SDI) - Fase 1A;
- 7 folhas de madeirite de 10mm;
- 2 pallets de pinus;
- Máquina de Lavar Samsung Modelo WD856UHSAWQF;
- Detergente Neutro para Roupas – Brilhante Ação Total Sem Perfume (Unilever PRO) – 100mL cada lavagem;
- Banho Ultrassom – SolidSteel Modelo SSBu – 10L.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo deste trabalho foi realizada pesquisa bibliográfica relacionada aos temas afetos à contaminação de bombeiros em situações de incêndio urbano, riscos de desenvolvimento de câncer na atividade de bombeiro bem como meios e normas que tratam de processos adequados de descontaminação das roupas de proteção contra incêndio urbano.

A pesquisa se guiou pelos objetivos específicos com o intuito de atingir o objetivo geral e trazer uma solução ao problema apresentado a saber: identificar alternativas seguras para a redução de risco à saúde dos bombeiros em decorrência da atuação em operações de incêndio urbano por meio de medidas seguras na limpeza e redução de contaminação das RPCIU.

A identificação dos contaminantes, primeiro objetivo específico deste trabalho, se baseou em extensa bibliografia do tema, e, na perspectiva das possibilidades de contaminação do bombeiro quando em ação de combate a incêndio urbano restou indicado que parte da contaminação dos subprodutos da combustão se apresenta em forma gasosa a qual deixa de oferecer risco aos bombeiros pelo uso dos EAPR.

Porém, a bibliografia apontou a existência bem consolidada de contaminantes que se aderem à roupa de proteção dos bombeiros e à pele destes profissionais, os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA). Este grupo de compostos além da característica de aderência na pele e roupas dos profissionais, possuem atividade conhecida carcinogênica, mutagênica e teratogênica. Por isso, possuem classificação quanto ao nível de evidência de seu potencial carcinogênico segundo NIOSH.

O referencial teórico apontou estes compostos, os HPA, como motivo de preocupação de contaminação na atividade de bombeiro por ter sido comprovada a capacidade de sua absorção dérmica, fato este que motivou outras pesquisas na atividade de bombeiro quanto à produção, detecção e métodos de degradação destes compostos.

A IARC destaca 3 tipos de câncer relacionados à atividade de bombeiros

cujas incidências são superiores às da população normal: testículo (aproximadamente 50% maior); próstata (aproximadamente 30% maior); e linfoma non-hodgkin (20% maior). E dentre 16 HPAs frequentemente analisados, 9 destes compostos possuem classificação como agente cancerígeno, agente provavelmente cancerígeno ou agente possivelmente cancerígeno.

A retenção destes contaminantes na RPCIU, segundo objetivo específico, foi objeto também de análise deste estudo, bem como a eficácia na degradação pelo processo de lavagem, terceiro objetivo específico. Ambos os objetivos específicos foram buscados por meio de análise experimental que envolveu métodos de coleta destes contaminantes durante uma prática de treinamento com fogo de simulação de incêndio urbano seguida de lavagem dos EPIs.

Após a realização das análises das amostras coletadas conforme capítulo anterior foram elaborados os gráficos e plotados a partir de informações extraídas de absorção em cada comprimento de onda. Os gráficos são chamados Espectros UV/VIS e são dados por Absorbância (Abs) *versus* Comprimento de Onda (nm) para cada amostra coletada. O programa Origin utilizado para plotar os dados extraídos do espectrofotômetro gerou espectros em eixos "*Abs x Wavelength*" ou na língua portuguesa: "*Absorbância x Comprimento de Onda*", e, uma vez confeccionados os espectros, os mesmos não permitem alteração.

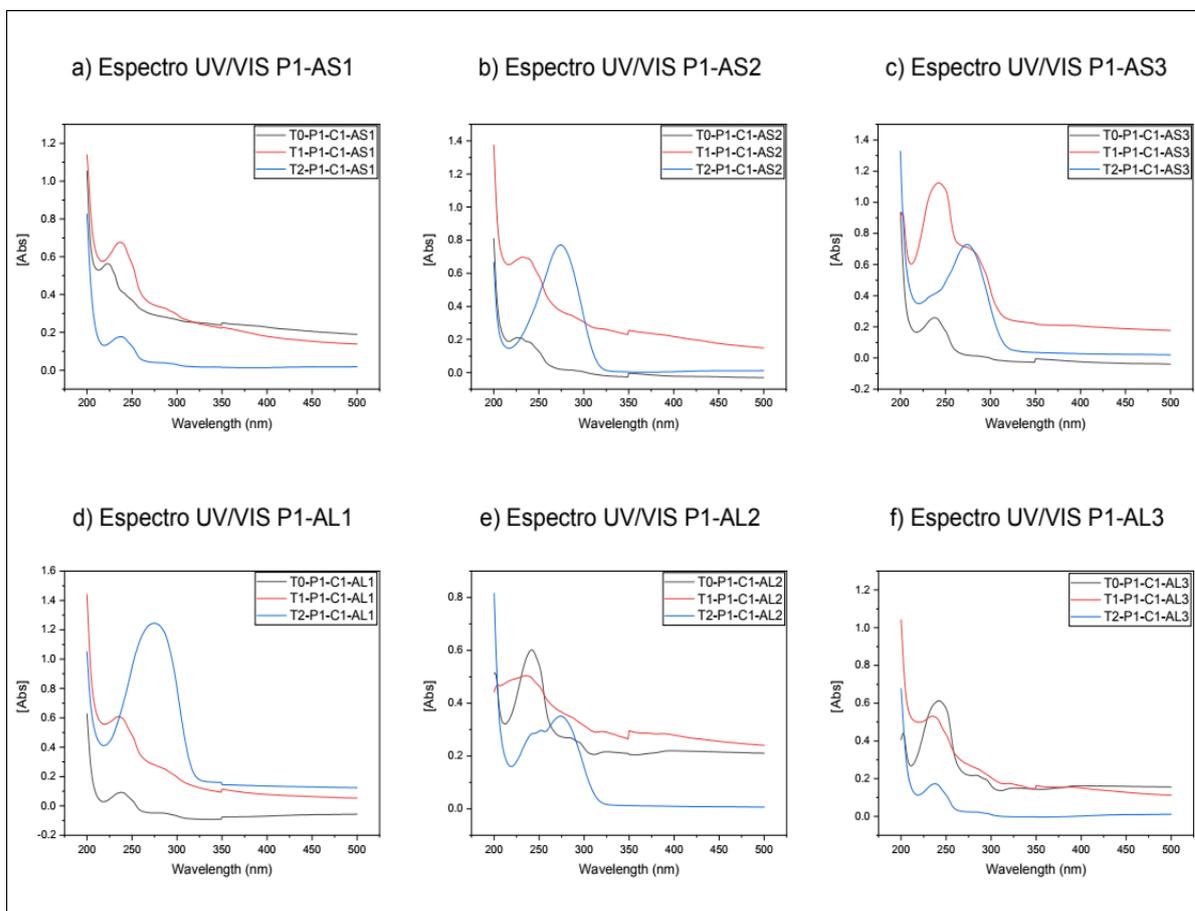
Os espectros UV/VIS agregam os tempos, T0, T1 e T2, para cada ponto de coleta (P1; P2; P3: C1, C2 e C3). Os espectros UV/VIS foram analisados agrupados pelos mesmos pontos para cada uma das 6 RPCIU (AS1, AS2, AS3, AL1, AL2 e AL3), obtendo-se assim um comparativo do comportamento entre as RPCIU nos diferentes momentos para os mesmos pontos analisados.

A análise dos Espectros UV/VIS inicialmente considerou que a intensidade da absorbância varia entre pontos de coleta o que indica diferentes concentrações do analito.

Considerando os mesmos pontos de coleta nos 3 momentos das 6 RPCIU diferentes, temos que para P1 (ombro) é visível um aumento na intensidade do espectro no tempo T1, pós queima, em relação a T0, figura 14. A retenção de contaminantes nas RPCIU foi visualizada nos Espectros UV/VIS apresentados na

figura 14 representados pelo espectro T1, pós exposição ao fogo, que na maioria dos espectros UV/VIS demonstrou uma maior intensidade, fato que indica uma maior concentração dos compostos extraídos.

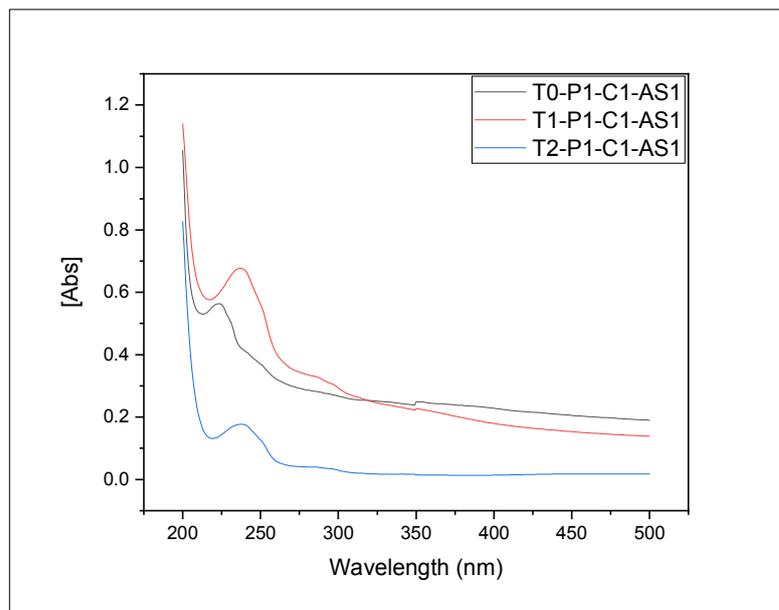
Figura 14 - Espectros UV/VIS P1 (Ombro)



Fonte: o autor

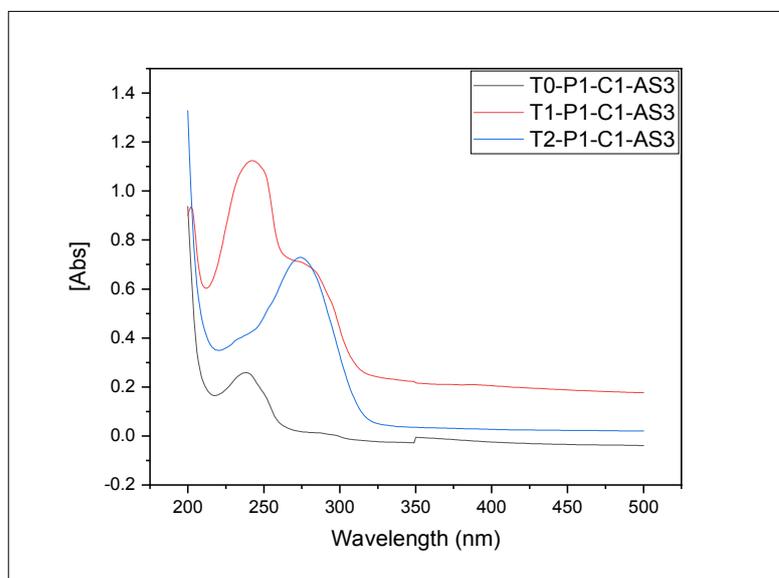
Em AL2 e AL3, para P1, o comportamento do espectro UV/VIS apresentou uma diminuição da contaminação medida após a queima, T2, quando em comparação com o momento antes da queima, T0. O fato ocorrido é possível considerando que o processo de queima e deposição no traje é um processo não homogêneo, sendo que diferentes quantidades podem ter sido extraídas em cada tempo.

Ainda em análise de P1, a lavagem apresentou um efeito positivo na retirada de contaminação em relação aos valores após a queima e abaixo inclusive do estado inicial em algumas RPCIU a exemplo da figura 15.

Figura 15 - Espectro UV/VIS P1(Ombro) - AS1

Fonte: o autor

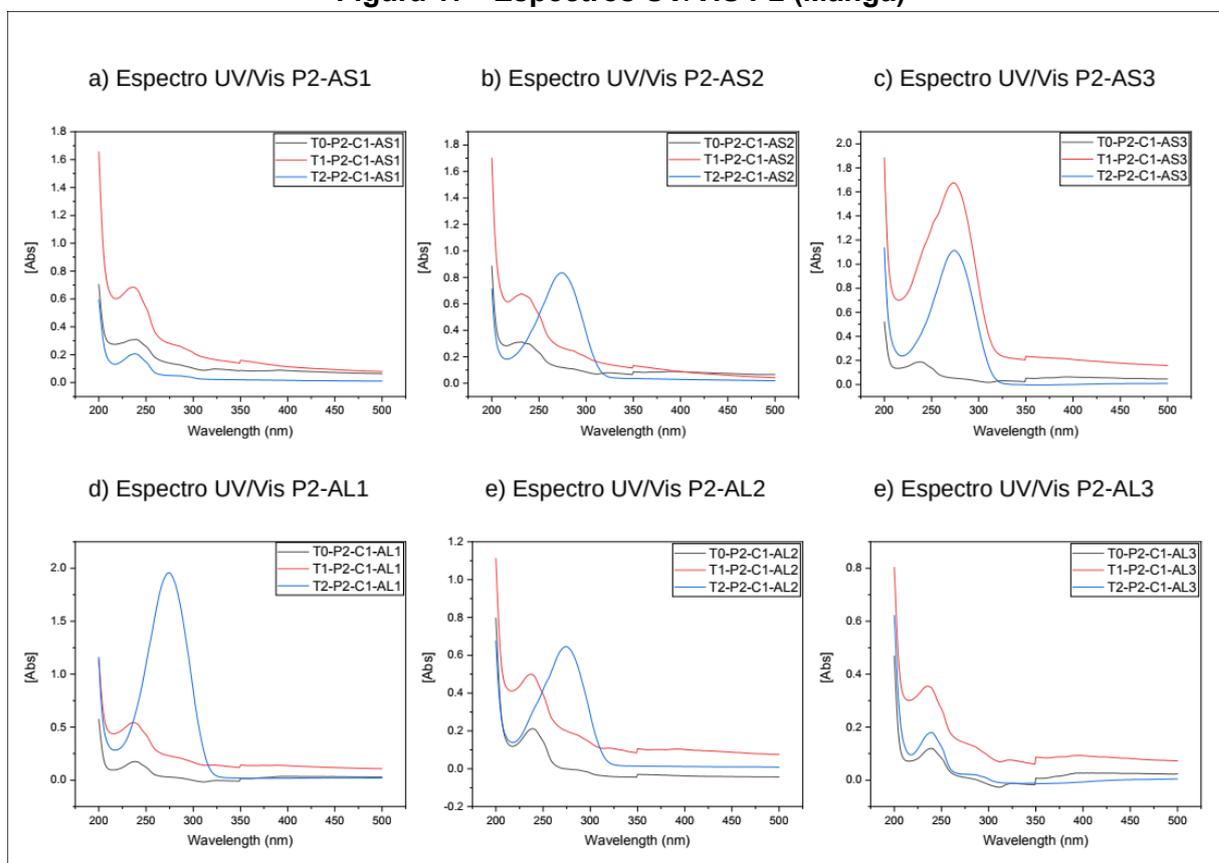
Alguns espectros UV/VIS em P1 apresentaram banda larga em T2 (após a lavagem) centrada em 273nm, a exemplo da figura 16, o que sugere a presença de composto diferente dos contaminantes do incêndio e por ter concentração apresentada após a lavagem sugere-se que seja a presença de sabão utilizado no processo de lavagem.

Figura 16 - Espectro UV/VIS P1(Ombro) - AS2

Fonte: o autor

Na análise de P2 (manga) os espectros UV/VIS, figura 17, demonstraram também aumento da absorção de contaminantes bem caracterizado em T1 em comparação com T0, e efeito positivo após a lavagem T2 em comparação com T1.

Figura 17 - Espectros UV/VIS P2 (Manga)



Fonte: o autor

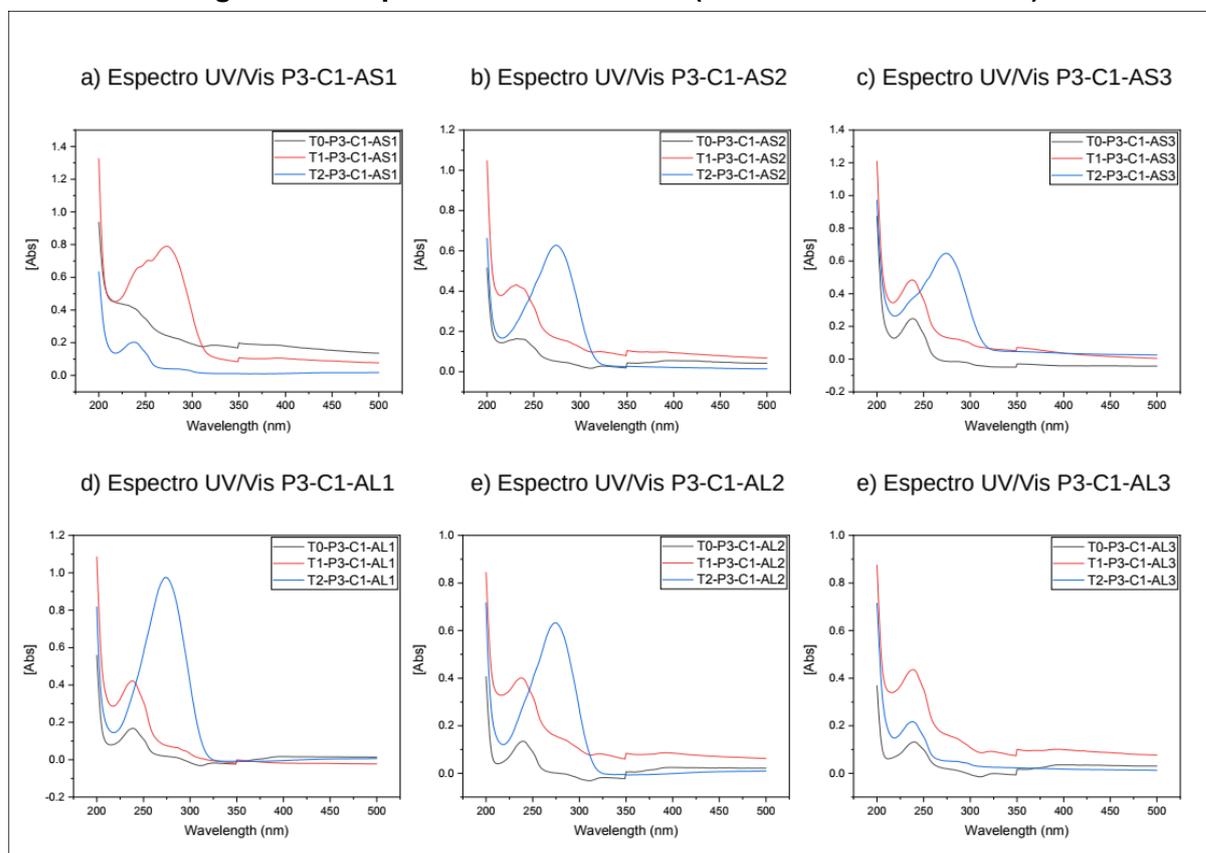
Novamente observou-se nas RPCIU AS2, AS3, AL1 e AL2 banda em T2 centrada em 273nm, reforçando a sugestão anterior da presença de sabão dado que este comportamento é observado principalmente após a lavagem, T2, à exceção de AS3 que apresentou comportamento diferenciado.

Ainda para P2, em quatro RPCIU (AS3, AL1, AL2 e AL3) a lavagem não reestabeleceu os níveis de contaminação antes da queima a exemplo de AS1, ainda que tenham apresentado uma redução considerável após o exercício. Em duas RPCIU, das roupas já utilizadas (AS1 e AS2), os níveis de contaminação reduziram abaixo do estado inicial.

Os espectros UV/VIS de P3-C1 (peito - camada externa), figura 18, apresentaram em sua maior parte um comportamento similar aos demais pontos até

aqui analisados com um aumento visível, ainda que em baixas concentrações, de contaminantes após a exposição aos produtos da combustão do exercício, T1. E de maneira similar, foi notória também uma redução na concentração destes contaminantes após a lavagem T2, porém não a níveis de concentrações encontradas anterior ao exercício, ainda que bem próximos.

Figura 18 - Espectros UV/VIS P3-C1 (Peito - Camada Externa)



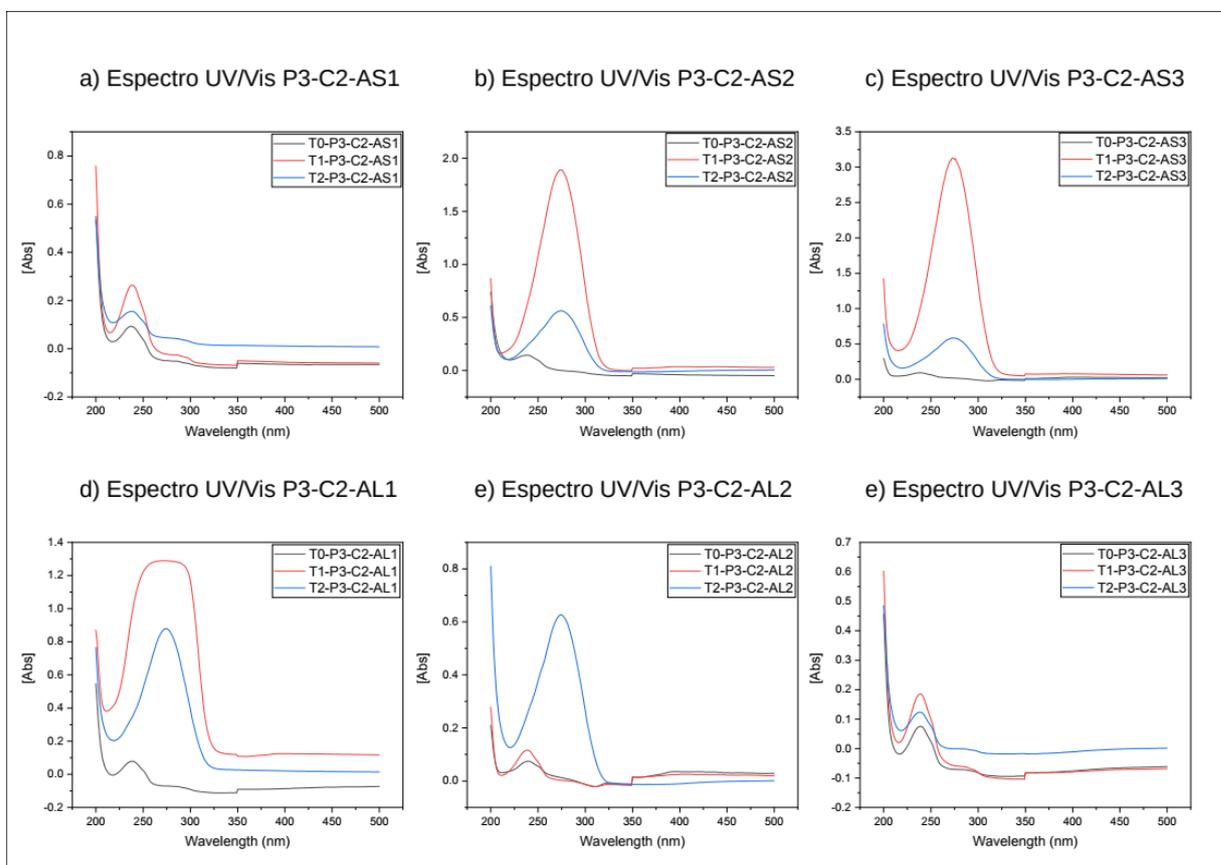
Fonte: o autor

O comportamento de T2 nas RPCIU AS2, AS3, AL1 e AL2 de maneira similar aos achados nos espectros analisados anteriormente, no que diz respeito à banda centrada em 273nm após a lavagem, reproduz aqui também uma concentração de compostos absorventes oriundos da lavagem o que reforça a sugestão da presença de sabão.

Em análise dos espectros UV/VIS do ponto P3-C2 (Peito – Camada de Proteção Térmica) a intensidade do espectro T1 nas RPCIU AS1, AL2 e AL3 apresentou aumento discreto em relação à T0, sugerindo pouca variação na absorção de contaminantes na camada interna de proteção térmica, figura 19. O

espectro T2 apresentou uma redução na concentração dos contaminantes para as mesmas RPCIU, com exceção de AL2 que apresentou banda centrada em 273nm conforme espectros anteriores que sugerem a presença de sabão.

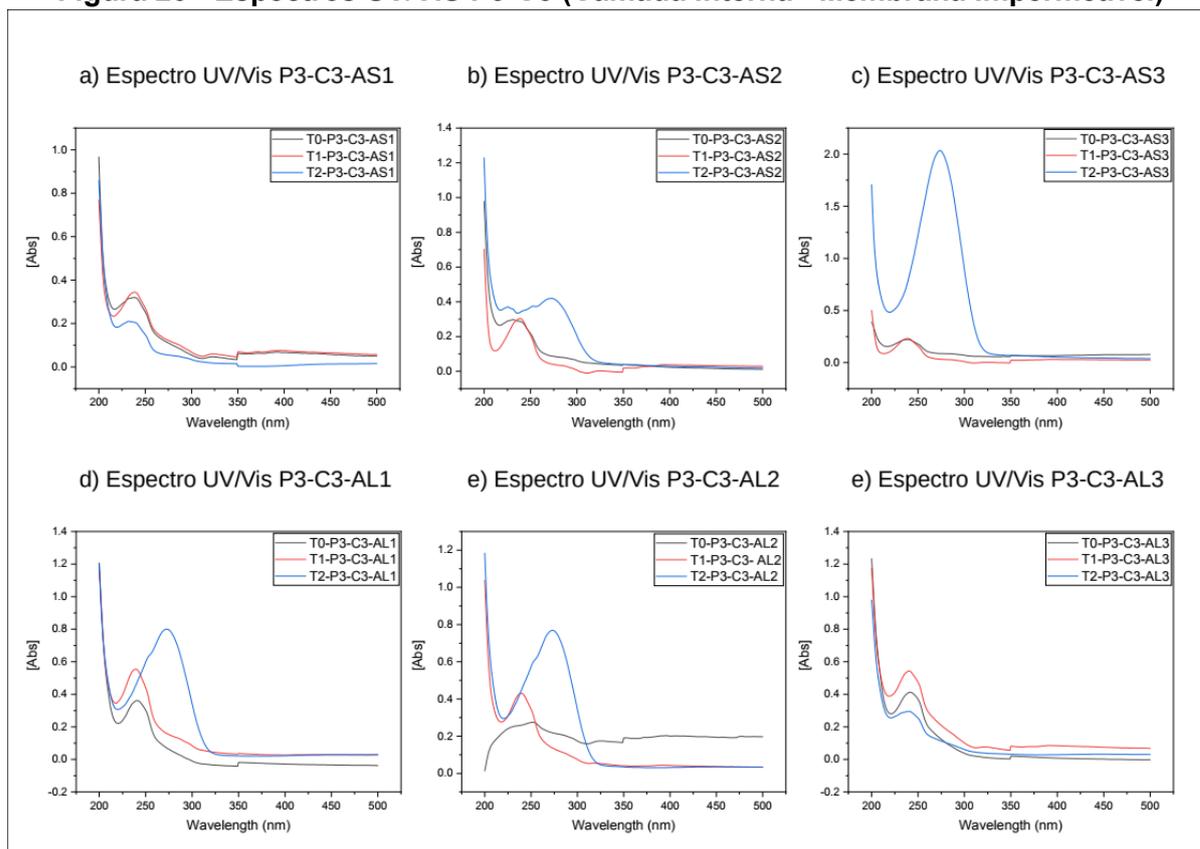
Figura 19 - Espectros UV/VIS P3-C2 (Peito - Camada Interna de Proteção Térmica)



Fonte: o autor

Em análise da membrana impermeável (camada interna, P3-C3), figura 20, é possível perceber pouca variação na intensidade do espectro T1 em relação a T0, indicando pouca adesão de contaminantes nesta camada interna após um evento de incêndio, comportamento similar ao ocorrido na camada interna de proteção térmica, P3-C2.

Figura 20 - Espectros UV/VIS P3-C3 (Camada Interna - Membrana Impermeável)



Fonte: o autor

No que se refere ao espectro T2, a lavagem apresentou efeito positivo na redução da intensidade do espectro, com exceção da elevação nas análises que apresentaram bandas centradas em 273nm, repetindo comportamento das demais amostras que sugerem a presença do sabão.

Ainda em relação à membrana impermeável, P3-C3, a variação de intensidade após a lavagem apresentou pouca variação, assim como T1 em relação a T0, adesão de contaminantes pós queima, indicando que para o exercício praticado como metodologia a retenção teve pouca influência nesta camada, o que é reforçado pelo comportamento de variação de intensidades dos espectros da camada de proteção térmica, também interna.

O processo de lavagem apresentou resultado diferente do estudo realizado pela Texport (Anexo A) e citado na referência bibliográfica na medida em que a membrana impermeável teve variação pequena na absorção de contaminantes após a exposição, e não apresentou aumento na concentração destes contaminantes pós

lavagem. Em que pese a comparação indicativa dos resultados apresentados neste estudo, o método de coleta e análise foram diferentes.

Após as análises dos espectros UV/VIS dos diversos pontos e tempos de coleta é possível afirmar que existem indícios do aumento da concentração de contaminantes após o exercício, possivelmente HPA, fato este que acompanha os achados da literatura mencionada neste trabalho.

Os espectros UV/VIS também permitem sugerir uma forte correlação entre o procedimento de lavagem adotado e a redução dos contaminantes o que pôde ser evidenciado principalmente pelos gráficos de P1, P2 e P3 – C1 (figuras 14, 17 e 18). Sendo estes pontos, todos da camada externa, mais afetados pela retenção dos contaminantes quando em comparação com as camadas internas.

Nos pontos P3-C2 e P3-C3 (figuras 19 e 20), a proximidade das bandas nos diferentes tempos não indicam forte evidência de retenção de contaminantes após a queima e redução de contaminantes pós-lavagem sugerindo que, por se tratarem de camadas internas, os processos do experimento tiveram pouca influência na penetração de contaminantes e sua respectiva retirada.

A baixa concentração dos contaminantes e a presença de possíveis interferentes (sabão residual da lavagem, álcool e material do *swab*) dificultam a análise por UV/VIS, técnica que não permite identificar a natureza dos compostos extraídos.

Contudo, após a análise dos espectros obtidos é possível identificar uma possível redução dos contaminantes, fato observado pela redução da intensidade dos espectros obtidos no tempo T2. Tal comportamento deve ser confirmado posteriormente, utilizando a técnica de Cromatografia Gasosa acoplada ao Espectrofotômetro de Massas (CG-MS).

O uso isolado do UV/VIS foi indicativo dos efeitos da contaminação após uma simulação de incêndio com fogo na RPCIU e a posterior degradação dos mesmos pelo processo de lavagem, e o CG-MS parece ser, pela indicação da literatura, um método complementar ao UV/VIS sendo possível inclusive a mensuração das

concentrações de contaminantes em cada processo em um cenário ideal de pesquisa.

A pesquisa bibliográfica investigou também parâmetros internacionais para limpeza adequada das RPCIU, quarto objetivo específico. Diante dos achados, a NFPA 1851 se apresentou como documento complementar às orientações do fabricante podendo ser adotados procedimentos adicionais na ausência de orientação por parte do fabricante atual da RPCIU do CBMDF.

O método de lavagem proposto na metodologia deste trabalho buscou seguir as orientações do fabricante, conforme aponta a NFPA 1851, e foram adotadas etapas adicionais da referida norma que não foram abordadas pelo fabricante. O método adotado é apresentado como minuta de Procedimento Operacional Padrão (POP) para lavagem de RPCIU (Apêndice B).

As etapas e orientações adicionais em destaque foram a utilização de máquina com abertura frontal, seguindo a vedação para máquinas de abertura superior da NFPA 1851. A máquina não foi sobrecarregada, respeitando-se o peso possível para a máquina. Conforme orientação da referida norma, foi realizado o máximo de enxágues possível pela configuração da máquina, sendo a água extraída ao final de cada ciclo.

A atenção sobre a extração da água dos enxágues se faz pertinente uma vez que os HPAs, como apresentado na pesquisa bibliográfica, são compostos lipofílicos que uma vez aderidos a partículas em suspensão podem ser transportados em meios aquáticos contribuindo para a contaminação dos sistemas de tratamento de água e esgoto.

O quesito secagem obedeceu orientações do fabricante em consonância com a NFPA 1851 pela secagem ao ar livre, ambiente ventilado, com proteção de luzes diretas e indiretas do sol, fluorescentes e UV. Uma observação para este ponto diz respeito à possibilidade de uso da função secar da máquina utilizada uma vez que sendo disponível o ciclo de secagem, e permitida a utilização do fabricante da máquina de secar roupas, o mesmo não cita limites de temperatura de secagem, enquanto a NFPA 1851 é taxativa ao afirmar que a temperatura do tambor não deve passar os 40°C.

A vedação no limite de temperatura de secagem proposta pela NFPA 1851 deve ser analisada cuidadosamente uma vez que os componentes têxteis da RPCIU podem sofrer modificações de acordo com o comportamento da matriz das camadas quando expostos a diferentes temperaturas e umidade envolvida no processo de secagem na máquina.

A orientação sobre centrifugação pelo fabricante é discreta, limitando-se a indicar que seja “normal”. Quanto a este processo, a NFPA 1851 também parece estabelecer limitação importante ao orientar que não seja excedida 100G, pela possibilidade de causar danos nas costuras e danificar a membrana impermeável pela pressão da água causada por força centrífuga muito alta, perdendo assim parte da segurança do EPI como aponta Walker (2006).

No que se refere aos parâmetros de segurança para verificação contínua da adequação dos processos de lavagem a Certificação OEKO-TEX 100 se apresenta como referência na detecção de contaminantes presentes no ambiente de incêndio analisado neste estudo e com o benefício de ter sua aplicação voltada para tecidos tal qual os materiais componentes da RPCIU.

O uso da Certificação OEKO-TEX 100 como parâmetro pode ser adotado, porém a certificação envolve laboratórios credenciados para emissão de tal certificado. Os valores de referência são públicos, no entanto, a forma de coleta e de análise são restritos à rede de credenciadores envolvendo possivelmente um custo para a realização das análises químicas.

Diante de todo o exposto, este trabalho apresenta a minuta do POP para Limpeza Avançada de RPCIU (Apêndice B) baseado nas referências internacionais, achados da literatura utilizada bem como resultados obtidos por meio de análises laboratoriais realizadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho ora apresentado realizou estudo sobre o ambiente de incêndio urbano, tratou mais detalhadamente da fumaça gerada no processo de combustão uma vez que este elemento apresenta risco não apenas por suas características físicas, mas também pelos componentes químicos que a compõem.

Dentre os compostos químicos presentes na fumaça foi corrente na literatura a preocupação com contaminantes de potencial lesivo ao ser humano pelos riscos de inalação, mas também de absorção pela pele. Dado que a profissão de bombeiro é responsável pelo enfrentamento do fogo, são estes profissionais mais expostos e por isso também classificados como profissão de risco potencial de desenvolvimento de câncer pela Agência Internacional de Estudo sobre Câncer (IARC).

O risco constatado pelos estudos apresentados neste trabalho derivam da presença dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) por serem substâncias potencialmente carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas. Estes compostos têm, comprovadamente, capacidade de absorção dérmica e se tornaram objeto de amplos estudos relacionados à atividade de bombeiro ao longo dos anos.

As RPCIU por sua composição têxtil aliada às características dos HPAs passaram a ser alvo de diversos estudos sobre a retenção destes contaminantes bem como de métodos para a remoção dos mesmos. Normas e certificações foram desenvolvidas com o intuito de minimizar o risco aos seres humanos.

Nesta pesquisa foram buscados mecanismos de detecção apropriados para identificar a retenção destes contaminantes pela RPCIU quando exposta a exercício de simulação de incêndio, como para avaliar a eficiência do processo de degradação destes compostos pela lavagem.

Os resultados obtidos apontaram uma retenção de contaminantes na RPCIU durante o exercício de simulação com fogo real por meio de Espectroscopia UV/VIS, e após processo de lavagem a mesma metodologia apontou considerável diminuição desta contaminação, em casos abaixo inclusive do estado inicial da RPCIU.

Por fim restaram apresentados parâmetros internacionais para procedimentos adequados de limpeza avançada de RPCIU, bem como certificados, e, portanto, limites aceitáveis de segurança para presença em tecidos dos mesmos contaminantes oriundos de incêndios referenciados na literatura.

Dentre as normas referenciadas neste trabalho para o CBMDF a adoção da NFPA tem especial importância uma vez que esta organização é também referência a ser seguida no Objetivo de “Atender as ocorrências emergenciais nos padrões internacionais” do Planejamento Estratégico publicado no Boletim Geral nº72, de 13 de abril de 2017.

A referência de padrões internacionais seja de procedimentos adequados para minimizar riscos de contaminação de bombeiros, seja para limites seguros, é fundamental para a implementação de processos de limpeza avançada de RPCIU em níveis referenciados de segurança.

Diante do exposto, retorna-se à questão fundamental deste trabalho: como reduzir o risco à saúde dos bombeiros em decorrência da atuação em operações de incêndio urbano por meio de medidas seguras na limpeza e redução de contaminação das RPCIU?

Apresentados os resultados obtidos com a consecução dos objetivos específicos e geral a pesquisa conclui que os processos de limpeza avançada tal como os aqui propostos possuem comprovadamente eficiência na remoção de contaminantes devendo ser buscada a implementação de política de uso e manutenção adequada da RPCIU pelo risco real de acúmulo de contaminantes cancerígenos nas mesmas.

Porém, como ocorre no processo dialético de construção do conhecimento, outros aspectos passam a despertar atenção dada a complexidade do cenário desde a exposição até a degradação final dos contaminantes envolvidos no processo.

A retirada da RPCIU na cena do socorro, seu adequado acondicionamento para evitar maior exposição aos profissionais já expostos, o transporte seguro em local adequado, manuseio apropriado a fim de serem iniciados os processos de

limpeza avançada se tornam também parte integrante da cadeia que envolve a contaminação e descontaminação.

As múltiplas combinações do processo de lavagem entre adição de compostos químicos para descontaminação associados a etapas funcionais disponíveis nas máquinas de lavar são de igual maneira variantes passíveis de estudo a fim de ir além da indicação de um procedimento adequado, mas do melhor processo de descontaminação que retire de forma mais eficiente e com menor diminuição das propriedades funcionais da RPCIU e que garanta maior durabilidade.

Sendo os HPAs compostos lipofílicos facilmente carregados em ambientes aquáticos, como apresentado na literatura, e sabidamente danosos à saúde humana, a preocupação com sua degradação deve se estender para fora dos muros das unidades do CBMDF. Desta maneira, o esgotamento da água oriunda do processo de limpeza avançada demanda outros estudos, igualmente importantes, a fim de buscar na plenitude o lema “vidas alheias e riquezas salvar”.

Além de procedimentos apropriados de limpeza avançada, o estudo dos métodos de análise dos processos são igualmente valiosos a fim de ampliar a capacidade de detecção e conseqüentemente maior precisão na escolha do melhor procedimento de limpeza.

Este estudo se utilizou de uma metodologia analítica eficiente para o objetivo proposto, porém a complementação com o uso de outras metodologias de análises químicas referenciadas na literatura poderão apresentar resultados ainda mais precisos e colaborar no processo de tomada de decisão quanto à temática abordada.

Por fim, estudos epidemiológicos do CBMDF são o passo inicial para uma conclusão precisa que estabeleça relação de causa e efeito no processo de contaminação e descontaminação uma vez que estes são apenas ferramentas para a proteção contra o desenvolvimento de cânceres. Em que pese a validação dos procedimentos de detecção e descontaminação, são os estudos epidemiológicos sobre a população bombeiro militar que registrará o impacto real das medidas aqui apresentadas.

5.1 Recomendações

O presente trabalho discorreu sobre uma temática sensível à saúde dos militares do CBMDF na perspectiva de contribuir para o aumento da segurança no processo que envolve o combate a incêndio urbano. Enquanto por um lado existem medidas factíveis para maior proteção dos bombeiros, por outro, mais ações são necessárias a fim de melhorar a práxis na minimização do risco de desenvolvimento de cânceres relacionados a esta nobre atividade laboral. Desta maneira, recomenda-se:

- Planejamento e implementação de uma política de manutenção das RPCIU a fim de minimizar o risco de contaminação entre os militares com capacitação de militares, uso de POPs e monitoramento das ações planejadas;
- Aquisição de sistema ou contratação de serviço apropriado para limpeza avançada das RPCIU;
- Fomentar estudos e pesquisas sobre a incidência de câncer nos militares do CBMDF e as possíveis correlações laborais;
- Aperfeiçoamento dos métodos analíticos, tal qual o CG-MS, na detecção dos contaminantes de incêndio urbano;
- Aparelhamento e manutenção dos equipamentos do Laboratório da DINVI a fim de permitir desenvolvimento de pesquisas no CBMDF;
- Desenvolvimento de pesquisas para a degradação dos contaminantes oriundos do processo de limpeza avançada a fim de garantir a segurança no esgotamento dos resíduos da lavagem na rede de saneamento;
- Fomentar estudos sobre maneira adequada de manuseio e transporte da RPCIU a fim de diminuir o risco para os militares do CBMDF e pessoas envolvidas no processo;
- Realizar testes a fim de encontrar combinações mais eficientes na remoção de sujidades e contaminantes das RCPIU e que garantam maior durabilidade das mesmas.

REFERÊNCIAS

- ACGIH. **About ACGIH**. 2020a. Disponível em: <https://www.acgih.org/about-us/about-acgih>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- ACGIH. **TLV/BEI Overview**. 2020b. Disponível em: <https://www.acgih.org/tlv-bei-guidelines/policies-procedures-presentations/overview>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- AUSTIN, C. C. *et al.* Characterization of volatile organic compounds in smoke at experimental fires. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A**, 2001a. v. 63, n. 3, p. 191–206.
- AUSTIN, C. C. *et al.* Characterization of volatile organic compounds in smoke at municipal structural fires. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A**, 2001b. v. 63, n. 6, p. 437–458.
- BAUA. Product Safety Commission (AfPS). GS Specification. **Testing and assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the course of awarding the GS mark - Specification pursuant to article 21 (1) no . 3 of the Product Safety Act (ProdSG)**. Federal Institute for Occupational Safety and Health . 2014. p. 1–12.
- BAXTER, C. S. *et al.* Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 2014. v. 11, n. 7, p. 37–41.
- BRASIL. Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Processo nº 027/2.13.0000696-7**. 1ª Vara Criminal de Santa Maria. Juiz Prolator Ulysses Fonseca Louzada. Sentença de pronúncia proferida em 27.7. Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. Processo nº 027/2.13.000069. 2016.
- CARUSO, M. S.; ALABURBA, J. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - benzo(a)pireno: uma revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, 2008. v. 67, n. 1, p. 1–27.
- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Manual Básico de Combate a Incêndio. Módulo 1: Comportamento do Fogo**. 2.ª Edição ed. Brasília, DF. CBMDF, 2009.
- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Sistema DAVI - Painel Operacional**. 2020. Disponível em: <http://davi.cbm.df.gov.br/painel/operacional/>. Acesso em: 9 out. 2020.
- Centers for Disease Control and Prevention. **CDC - NIOSH - About NIOSH**. 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/about/default.html#About NIOSH>. Acesso

em: 12 nov. 2020.

DANIELS, R. D. *et al.* Mortality and cancer incidence in a pooled cohort of US fire fighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950-2009). **Occupational and Environmental Medicine**, 2014. v. 71, n. 6, p. 388–397.

EUROPEAN PARLIAMENT. Directive 2004/42/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amendi. **Official Journal of the European Union**, 2004. n. L 143, p. 87–96. Disponível em:

[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0042:EN:NOT)

[uri=CELEX:32004L0042:EN:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0042:EN:NOT). Acesso em: 12 nov. 2020.

FABIAN, T. Z. *et al.* Characterization of Firefighter Smoke Exposure. **Fire Technology**, 2014. v. 50, n. 4, p. 993–1019.

FCSN. **Taking Action Against Cancer in the Fire Service**. 2013. v. 2013, n. August, p. 16.

FENT, K. W. *et al.* Systemic exposure to pahs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. **Annals of Occupational Hygiene**, 2014. v. 58, n. 7, p. 830–845.

FENT, K. W. *et al.* Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 2017a. v. 14, n. 10, p. 801–814.

FENT, K. W. *et al.* Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 2017b. v. 14, n. 10, p. 801–814. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1334904>. Acesso em: 08 out. 2020.

FENT, K. W. *et al.* Airborne contaminants during controlled residential fires. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 2018. v. 15, n. 5, p. 399–412. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1445260>. Acesso em: 15 out. 2020.

FENT, K. W. *et al.* Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, 2020. v. 30, n. 2, p. 338–349. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41370-019-0145-2>. Acesso em: 15 out. 2020.

IARC. **Painting, Firefighting, and Shiftwork**. Lyon, France: World Health Organization - International Agency for Research on Cancer, 2010a. V. 98.

IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. **IARC**

Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2010b. v. 93, p. 9–38.

IARC. **IARC's Mission: Cancer research for cancer prevention** – IARC. 2020. Disponível em: <<https://www.iarc.fr/about-iarc-mission/>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ISO. **ISO - ISO/CD 23616 - Cleaning, inspection and repair of firefighters personal protective equipment**. 2020. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/76407.html>>. Acesso em: 11 out. 2020.

KEIR, J. L. A. *et al.* Elevated Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Other Organic Mutagens in Ottawa Firefighters Participating in Emergency, On-Shift Fire Suppression. **Environmental Science and Technology**, 2017. v. 51, n. 21, p. 12745–12755.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. 2ª edição. São Paulo, Editora Atlas, 1992.

MARKETSANDMARKETS. **Biomarkers Market - Global Forecast to 2021**. 2017. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polyurethane-market-151784541.html>>. Acesso em: 27 out. 2020.

MAURICIO, F. G. M. **Contribuições para a química forense: sensores para explosivos, efeito de interferentes na análise de explosivos e avaliação da ozonólise como método de descontaminação de resíduos de incêndio**. 2019. (Programa de Pós-Graduação em Química) – Universidade de Brasília, Brasília 2019.

MAYER, A. C. *et al.* Firefighter hood contamination: Efficiency of laundering to remove PAHs and FRs. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 2019. v. 16, n. 2, p. 129–140. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1540877>>.

MCKENNA, S. T.; HULL, T. R. The fire toxicity of polyurethane foams. **Fire Science Reviews**, 2016. v. 5, n. 1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s40038-016-0012-3>>.

NFPA. **PPE Cleaning Validation: Fighting, Proximity Fire Inception, Project Fire, Proximity Protective, Fighting**. 2017. n. August, p. 2017–2019.

NFPA. **PPE Cleaning Validation: Verification of Cleaning, Decontamination and Sanitization of Fire Fighter Garments**. 2018. n. December.

NFPA. **NFPA 1851: Standard on Selection, Care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting**. 2020a. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1851>>. Acesso em: 11 out. 2020.

NFPA. **Research Foundation project - PPE and Fire Service Gear Cleaning**

Validation. 2020b. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/PPECleaning>>. Acesso em: 10 out. 2020.

NIOSH. **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.** [S.l.]: NIOSH Publications, 2007.

OEKO-TEX. **Testing Methods STANDARD 100 by OEKO-TEX®.** 2016. p. 1–10.

OEKO-TEX. **About us - OEKO-TEX®.** 2020a. Disponível em: <<https://www.oeko-tex.com/en/about-us/oeko-tex>>. Acesso em: 8 nov. 2020.

OEKO-TEX. **STANDARD 100 by OEKO-TEX®.** 2020b. Disponível em: <<https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/standard-100-by-oeko-tex>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

OEKO-TEX. **Standard STANDARD 100 by OEKO - TEX® Declaration of Conformity.** 2020c. p. 1–5.

OMS. **IARC Publications Website - Painting, Firefighting, and Shiftwork.** 2020. Disponível em: <<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Painting-Firefighting-And-Shiftwork-2010>>. Acesso em: 9 out. 2020.

OSHA. **OSHA Annotated PELs | Occupational Safety and Health Administration.** OSHA, 2016. Disponível em: <<https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html#notes>>. Acesso em: 8 nov. 2020.

OSHA. 1910.134 - Respiratory Protection. | Occupational Safety and Health Administration. **OSHA Regulations and Standards**, 2020. Disponível em: <<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>>. Acesso em: 7 nov. 2020.

PASSARI, L. M. Z. G. *et al.* Estatística aplicada à química: Dez dúvidas comuns. **Química Nova**, 2011. v. 34, n. 5, p. 888–892.

RODRIGUES, H. A. **Avaliação do risco de câncer de pele melanoma nos militares responsáveis pelas instruções de combate a incêndio ministradas no centro de treinamento operacional.** 2020. Trabalho Monográfico. (Curso de Altos Estudos de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020.

SILVA, T. E. **Avaliação da exposição tóxica durante a perícia de incêndios urbanos pelo CBMDF.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso de Formação de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019. Disponível em: <<http://biblioteca.cbm.df.gov.br:8080/jspui/handle/123456789/63>>.

SKOOG, WEST, HOLLER, C. **Fundamentos de Química Analítica.** Tradução d ed. São Paulo-SP: Editora Thomson, 2006. V. 15.

STEC, A. A. *et al.* Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. **Scientific Reports**, 2018a. v. 8, n. 1, p. 4–11. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-20616-6>>.

STEC, A. A. *et al.* Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. **Scientific Reports**, 2018b. v. 8, n. 1.

TEXPORT. **Informações ao Utilizador**. Disponível em: <<https://www.textport.at/assets/pdf/VWI-FW-Allgemein-PT.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2020

TEXPORT. **Firewear Fire Survivor Brochure**. Disponível em: <https://www.textport.at/assets/public/products/folder/en/TEXPORT_Katalog_Fire-Survivor_EN_final_ANSICHT.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

UNIMAC. **UniMac PPE Drying Cabinet - Haddon**. Disponível em: <<https://haddon.ca/product/unimac-ppe-drying-cabinet/>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

USEPA. Extra_Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Fact Sheet. **Environmental Health**, 2013. p. 1–2. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/pahs_factsheet_cdc_2013.pdf>.

USEPA. **Technical Overview of Volatile Organic Compounds | Indoor Air Quality (IAQ) | US EPA**. 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

VANROOIJ, J. G. M. *et al.* Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin: Differences between anatomical sites and individuals. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, 1993. v. 38, n. 4, p. 355–368.

WALKER, S.; STULL, J. O. **Evaluation of the Cleaning Effectiveness and Impact of Esporta and Industrial Cleaning Techniques On Firefighter Protective Clothing Technical Report**. 2006. n. 512. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.510.9010&rep=rep1&type=pdf>>.

WEN, S. *et al.* Photocatalytic reactions of pyrene at TiO₂/water interfaces. **Chemosphere**, 2003. v. 50, n. 1, p. 111–119.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Limites de Exposição para Diferentes Contaminantes

Tabela A-1 - Limites de Exposição para diferentes contaminantes

Composto	Artigo citado	Local de extração	OSHA LEP	NIOSH LER	ACGIH TLV®	OEKO-TEX 100® Classe 3
Ácido Cianídrico	Fent (2018); Fabian (2014) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	11 mg/m ³	4.7 ppm	4.7 ppm	-
Ácido Clorídrico	Fent (2018) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	7 mg/m ³	5 ppm	2 ppm	-
Brometo de Hidrogênio	Fent (2018) Mckenna (2016)	Ar	10 mg/m ³	3 ppm	2 ppm	-
Fluoreto de Hidrogênio	Fent (2018) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	3ppm	3ppm	0.5ppm	-
Ácido Fosfórico	Fent (2018)	Ar	1 mg/m ³	1 mg/m ³	1 mg/m ³	-
CO ₂	Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	9000 mg/m ³	5000 ppm	5000 ppm	-
CO	Fabian (2014) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	55 mg/m ³	35 ppm	25 ppm	-
Amônia	Fabian (2014)	Ar	35 mg/m ³	25ppm	25ppm	-
Arsênico (inorgânico)	NFPA (2018)	Tecido	-	Ca* (c) 0.002 mg/m ³	0.01 mg/m ³	1mg/kg
Octacosane	NFPA (2018)	Tecido	-	-	-	-

Continua...

Continuação

Composto	Artigo citado	Local de extração	OSHA LEP	NIOSH LER	ACGIH TLV®	OEKO-TEX 100® Classe 3
Chumbo	NFPA (2018)	Tecido	-	0.05 mg/m ³	0.05 mgm ³	1.0mg/kg
Acetaldeído	Austin (2001b)	Ar	360 mg/m ³	Ca*	(c) 25 ppm	-
Acroleína	Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	0.25 mg/m ³	0.1 ppm	(c) 0.1 ppm	-
Amoníaco	Fabian (2014)	Ar	-	-	-	-
Benzaldeído	Austin (2001b)	Ar	-	-	-	-
Cloreto de Metileno	Austin (2001b)	Ar	100ppm	Ca*	50ppm	1.0 mg/kg
Dióxido de Enxofre	Fabian (2014) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	13 mg/m ³	2 ppm	(ST) 0.25 ppm	-
Dióxido de Nitrogênio	Fabian (2014) Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	(c) 9 mg/m ³	(ST) 1 ppm	0.2 ppm	-
Fenol	NFPA (2018)	Tecido	19 mg/m ³	5 ppm	5 ppm	50mg/kg
Formaldeído	Austin (2001b) Mckenna (2016)	Ar	-	Ca* 0.016 ppm	(ST) 0.3 ppm	0.1mg/kg
Glutaraldeído	Austin (2001b)	Ar	-	-	-	-
Isovaleraldeído	Austin (2001b)	Ar	-	-	-	-
Percloroetileno	Austin (2001b)	Ar	100ppm	Ca*	25ppm	-
Sulfeto de Hidrogênio	Fabian (2014)	Ar	20pm	10ppm (c)	1ppm	-
Tricloroetileno	Austin (2001b)	Ar	100ppm	Ca*	10ppm	1 mg/kg
Triclorofenol	Austin (2001b)	Ar	-	-	-	2 mg/kg
VOC:	-	-	-	-	-	-
Benzeno	Fent (2018) Austin (2001b) Austin (2001a)	Ar	10ppm	1.0 ppm	0.5 ppm	2.0mg/kg
Ethil Benzeno	Fent (2018)	Ar	435 mg/m ³	100 ppm	20 ppm	10mg/kg
Tolueno	Fent (2018) Austin (2001b) Austin (2001a)	Ar	200ppm	Ca*	10ppm	10mg/kg

Continua...

Continuação

Composto	Artigo citado	Local de extração	OSHA LEP	NIOSH LER	ACGIH TLV®	OEKO-TEX 100® Classe 3
xylenes	Fent (2018) NFPA (2018) Austin (2001b) Austin (2001a)	Ar e Tecido	435 mg/ m ³	100 ppm	100 ppm	10mg/kg
Estireno	Austin (2001a)	Ar	200ppm (c)	50ppm	20ppm	10mg/kg
1,3-butadieno	Austin (2001a)	Ar	1 ppm	Ca*	2 ppm	0.002mg/ kg
Propeno	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
Propano	Austin (2001a)	Ar	1800 mg/m ³	1000 ppm	-	-
1-buteno	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
2-Metilpropeno	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
2-Metilbutano	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
Etilbenzeno	Austin (2001a)	Ar	435 mg/ m ³	100 ppm	20 ppm	10mg/kg
Ciclopenteno	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
1- Metilciclopente no	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
Iso propibenzeno	Austin (2001a)	Ar	-	-	-	-
HAP:	-	-	-	-	-	-
Acenaphthene	Fent (2018)	Ar	-	-	-	-
Acenaphthylene	Fabian (2014) Austin (2001b)	Tecido	-	-	-	-
Anthracene	Fent (2018) Fabian (2014)	Ar e Tecido	0.2 mg/ m ³	Ca* 0.1 mg/ m ³	0.2 mg/ m ³	-
Benzo[a]anthracene	Fent (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	-	-	-	1 mg/kg
Benzo[a]pyrene	Fent (2018) Fabian (2014)	Ar e Tecido	0.2 mg/ m ³	Ca* 0.1 mg/ m ³	0.2 mg/ m ³	1 mg/kg
Benzo[e]pireno	Austin (2001b)	Ar	-	-	-	1 mg/kg
Benzo[b] fluoranthene	Fent (2018) Baxter (2014)	Ar e Pele	-	-	-	1 mg/kg

Continua...

Continuação

Composto	Artigo citado	Local de extração	OSHA LEP	NIOSH LER	ACGIH TLV®	OEKO-TEX 100® Classe 3
Benzo[<i>j</i>]fluoranthene	Baxter (2014)	Pele	-	-	-	1 mg/kg
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	Fent (2018) Baxter (2014)	Ar e Pele	-	-	-	1 mg/kg
Benzo[<i>b</i>]fluoranthracene	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
Benzo[<i>g,h,i</i>]perylene	Fent (2018) Fabian (2014)	Ar e Tecido	-	-	-	-
Benzo[<i>k</i>]fluoranthracene	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
Chrysene	Fent (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	0.2 mg/m ³	Ca* 0.1 mg/m ³	0.2 mg/m ³	1 mg/kg
Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene	Fent (2018) Fabian (2014)	Ar e Tecido	-	-	-	1 mg/kg
Fluoranthene	Fent (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	-	-	-	-
Fluorene	Fent (2018) Fabian (2014)	Ar e Tecido	-	-	-	-
Naftaleno	Fent (2018) NFPA (2018) Fabian (2014) Austin (2001b) Austin (2001 ^a)	Ar e Tecido	50 mg/m ³	10 ppm	10 ppm	2 mg/kg
Indeno[1,2,3cd]pireno	Fent (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	-	-	-	-
Fenantreno	Fent (2018) NFPA (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	0.2 mg/m ³	Ca* 0.1 mg/m ³	0.2 mg/m ³	-
Pireno	Fent (2018) NFPA (2018) Fabian (2014) Baxter (2014)	Ar, Tecido e Pele	-	-	-	-
Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	Fabian (2014) NFPA (2018) Baxter (2014)	Tecido e Pele	5 mg/m ³	Ca* 5mg/m ³	5mg/m ³	-

Continua...

Continuação

Composto	Artigo citado	Local de extração	OSHA LEP	NIOSH LER	ACGIH TLV®	OEKO-TEX 100® Classe 3
2-Methylnaphtalene	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
Acetophenone	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	10 mg/kg
Di-n-butylphthalate	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
Butybenzylphthalate	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
Di-n-octyl phthalate	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
2-Methylphenol	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
4-Methylphenol	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
2,4-Dimethylphenol	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-
4-Chloro-3-methylphenol	Fabian (2014)	Tecido	-	-	-	-

*Ca: Carcinogênico – são compostos considerados pelo NIOSH como comprovadamente carcinogênicos

Fonte: o autor

APÊNDICE B

MINUTA



CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
COMANDO OPERACIONAL
SEÇÃO DE EMPREGO OPERACIONAL E ESTATÍSTICA



<p>POP: Limpeza Avançada da RPCIU</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Publicado em ___/___/___</p> <p>Atualizado em ___/___/___</p>	<p>FINALIDADE DO POP</p> <p>Orientar o Bombeiro Militar a realizar Limpeza Avançada da RPCIU</p> <hr/> <p>Profissional de Segurança Pública</p> <p>Bombeiro Militar</p>
---	---

<p>1. RESULTADOS ESPERADOS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar acúmulo de contaminantes na RPCIU; • Efetivar a degradação de contaminantes das RPCIU; • Minimizar o risco de desenvolvimento de câncer em Bombeiros Militares. • Evitar ou minimizar danos à RPCIU.
<p>2. MATERIAL NECESSÁRIO</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Saco plástico 50L ou 100L – 15 micra ou mais de espessura; • Abraçadeira de Nylon; • Luva de Procedimento (Látex, PVC, Nitrílica ou outra); • Máscara de proteção respiratória N-95 ou PFF2; • Máquina de lavar com abertura frontal programável permitindo múltiplas formulações de aplicação de detergente, temperatura da água, nível de água, tipo de ciclos e funções e tempo de cada ciclo; • Detergente de roupas delicadas (sem branqueadores, sem amaciantes, não utilizar concentrados) com pH entre 6 e 10,5; • Escova (para uso em caso de pré-tratamento);
<p>3. PROCEDIMENTOS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Após a utilização da RPCIU a mesma deve ser acondicionadas nos sacos plásticos, com uso de luva de procedimento, e após o acondicionamento do saco, o mesmo deve ser lacrado com uso de abraçadeira de nylon; • No local de lavagem, devidamente protegido com luva de procedimento e máscara de proteção respiratória, romper o lacre e retirar a RPCIU para limpeza; • É recomendável abrir o saco plástico em uma área bem ventilada ou ao ar livre para permitir a evaporação de substâncias voláteis remanescentes da RPCIU; • As RPCIU com sujidades pesadas e visíveis devem ser pré-tratadas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Esfregar suavemente com escova a área a ser lavada com água e detergente até

que a sujidade local seja parcialmente ou totalmente removida, repetir se necessário;

- Enxaguar após a remoção;
- Remover acessórios não fixos, fechar zíperes, bolsos e velcros;
- Virar com cuidado a RPCIU ao avesso (forro interno para fora);
- Colocar a RPCIU na máquina com o cuidado para não sobrecarregar a máquina;
- Adicionar detergente no compartimento, caso seja possível adicionar detergente para pré-lavagem ou aplicação múltipla de detergente, preencher também o reservatório correspondente;
- Não usar alvejante, amaciante, ou composto não expressamente autorizado pelo fabricante da RPCIU;
- Ajustar o programa de lavagem:
 - Temperatura da água não deve passar 60°C (para RPCIU marca da Texport);
 - Se disponível opção “pré-lavagem”, “lavagem pesada” ou semelhante, seleccionar opção;
 - Utilizar múltiplos enxágues, com extração da água entre cada enxágue;
 - Seleccionar a opção de centrifugação não devendo ultrapassar força de 100G¹;
- Efetuar a limpeza;
- Inspeccionar após a lavagem e se necessário repetir passos anteriores;
- Se uma máquina de lavar roupa pessoal / doméstica precisar ser usada, quando terminar, deve ser executado um ciclo de lavagem completo vazio com sabão e temperatura máxima possível da máquina;
- Após o término do programa de lavagem proceder a secagem da RPCIU:
 - Se for utilizada máquina de secar (ou máquina lava e seca) deve ser certificado que temperatura interna não passe de 40°C;
 - Se for utilizada a secagem ao ar livre, colocar os conjuntos de proteção em área de boa ventilação; não deixar para secar em contato direto ou indireto com luz do sol, luz fluorescente ou luz UV; não permitir que a temperatura da área de secagem passe dos 40°C;
- Uma vez limpas e secas, a RPCIU seca deve ser armazenada em local seco e limpo, longe de janelas ou aberturas com incidência de luz solar, fluorescente ou UV, caso necessário, colocar filtro UV ou tapar tais janelas ou aberturas.

4. POSSIBILIDADES DE ERRO

- Transportar o EPI sem o devido acondicionamento em saco plástico lacrado;
- Manusear a RPCIU sem utilizar luvas de procedimento e máscara de proteção respiratória;
- Programação inadequada do ciclo de limpeza;
- Realizar secagem em temperatura inadequada ou em local com exposição à luz solar, fluorescente ou UV;

5. FATORES COMPLICADORES

- Deixar de pré-tratar áreas muito sujas;
- Uso repetido da RPCIU sem realização de lavagem regular, ou após exposição crítica;

¹ Este cálculo pode ser realizado mais facilmente com uso de calculadoras online (e.g. <http://fibrina.com.br/fibrina/calculadora-2/>)

6. GLOSSÁRIO

RPCIU: Roupa de Proteção Contra Incêndio Urbano, composta de jaqueta e calça;

Contaminantes: Elementos nocivos com capacidade de provocar dano ao ser humano;

pH: Potencial Hidrogeniônico, usado para medir grau de acidez;

G: força G, neste caso se refere a Força Centrífuga Relativa (FCR);

UV: Ultravioleta, ou luz ultravioleta, radiação eletromagnética com comprimento de onda menor que o da luz visível e maior que Raio-X;

7. BASE LEGAL E REFERENCIAL

NFPA. **NFPA 1851: Standard on Selection, Care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting.** 2020a. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1851>>. Acesso em: 11 out. 2020.

SILVA, T. E. **Avaliação da exposição tóxica durante a perícia de incêndios urbanos pelo CBMDF.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso de Formação de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019. Disponível em: <<http://biblioteca.cbm.df.gov.br:8080/jspui/handle/123456789/63>>.

TEXPORT. **Informações ao Utilizador.** Disponível em: <<https://www.texport.at/assets/pdf/VWI-FW-Allgemein-PT.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2020

WALKER, S.; STULL, J. O. **Evaluation of the Cleaning Effectiveness and Impact of Esporta and Industrial Cleaning Techniques On Firefighter Protective Clothing Technical Report.** 2006. n. 512. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.510.9010&rep=rep1&type=pdf>>.

ANEXOS

ANEXO A



Decontamination of firefigthing clothing



- › **Definition**
- › **Decontamination: the reducion of all known toxic compounds in work clothing below the legally admissible level.**
- › **REACH is a regulation of the European Union, adopted to improve the protection of human health and the environment from the risks that can be posed by chemicals**
- › **The registration, evaluation and admission is defined by the central European Chemicals Agency (ECHA), to protect the human health and improve the environment**

“Known Toxic Compounds“



- According to OEKO-TEX® 100 Class 3, a **maximum of 1 mg/kg** per variety may be included in the list of PAHs for each chemical. In total, **max. 10 mg/kg** of all substances (PAHs).

PAHs: Polycyclic aromatic hydrocarbons	OEKO-TEX®, Product Class 3 - minor skin contact
Benzo(a)pyrene/Benzo(a)pyren Benzo(e)pyrene/Benzo(e)pyren Benzo(a)anthracene/Benzo(a)anthracen Chrysen/Chrysen Benzo(b)fluoranthenes/Benzo(b)fluoranthen Benzo(j)fluoranthenes/Benzo(j)fluoranthen Benzo(k)fluoranthenes/Benzo(k)fluoranthen Dibenzo(a,h)anthracene/Dibenzo(a,h)anthracen Benzo(g,h,i)perylene Indeno(1,2,3,c,d)pyrene Acenaphthylene Acenaphthene Fluorene Phenathene Pyrene Anthracene Fluoranthene Naphthalene	<p style="text-align: center;">Per chemical each Max. 1mg / kg</p> <p style="text-align: center;">In Total: max. 10 mg/kg</p>

TEXPORT
clean
&care

Information Analysis Jacket BF Berlin

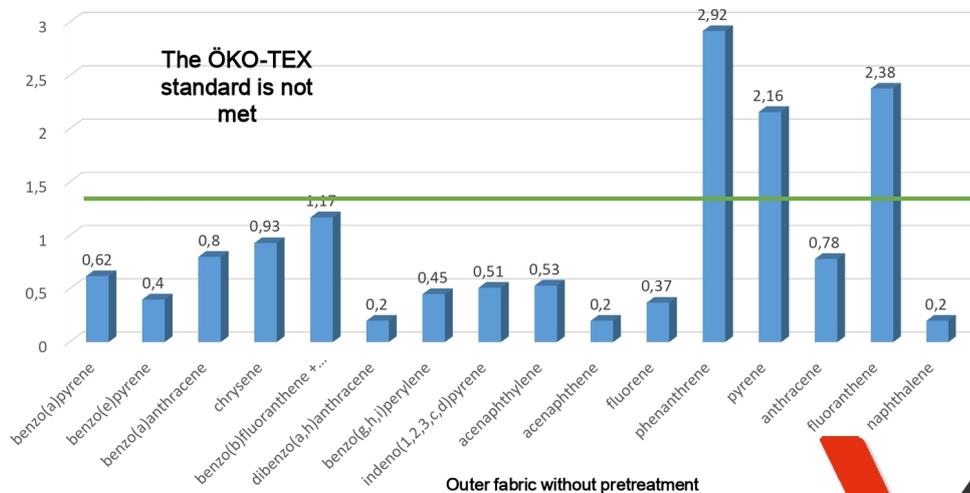
Report: 18.02921.01

- **Model:**
TEXPORT®
Fire Bear Rescue Jacke
X-TREME®, PBI Matrix,
Fireblocker
- **Art. Nr. 1294010A1**
- **material composition**
 - **Outer fabric**
 - **Thermo lining**
 - **Membrane**
 - **Lining**



TEXPORT
clean
&care

Outer fabric without pretreatment: Jacket BF Berlin

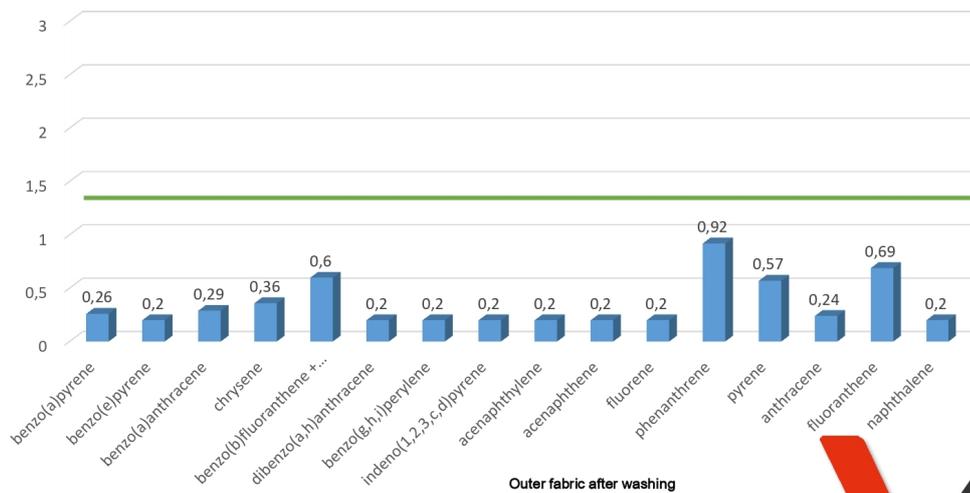


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

6

Outer fabric after washing 60°C: Jacket BF Berlin

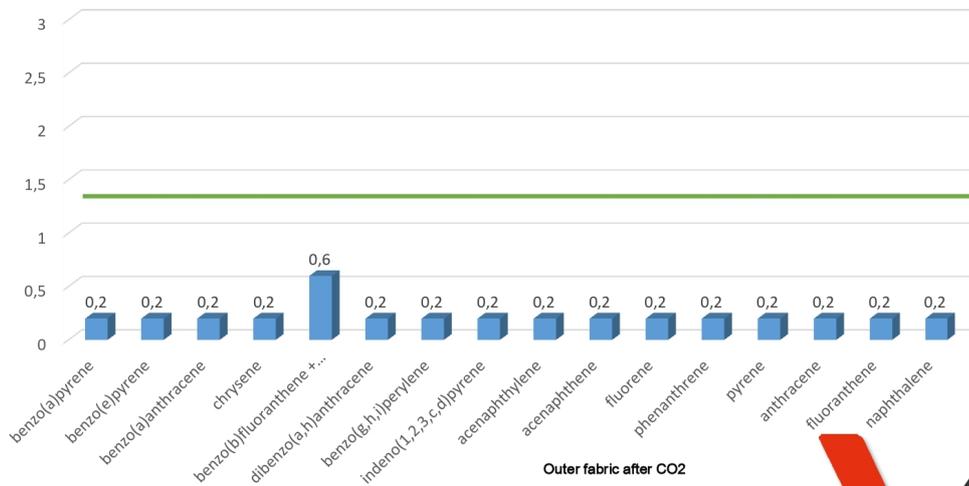


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

7

Outer fabric after CO₂ decontamination: Jacket BF Berlin

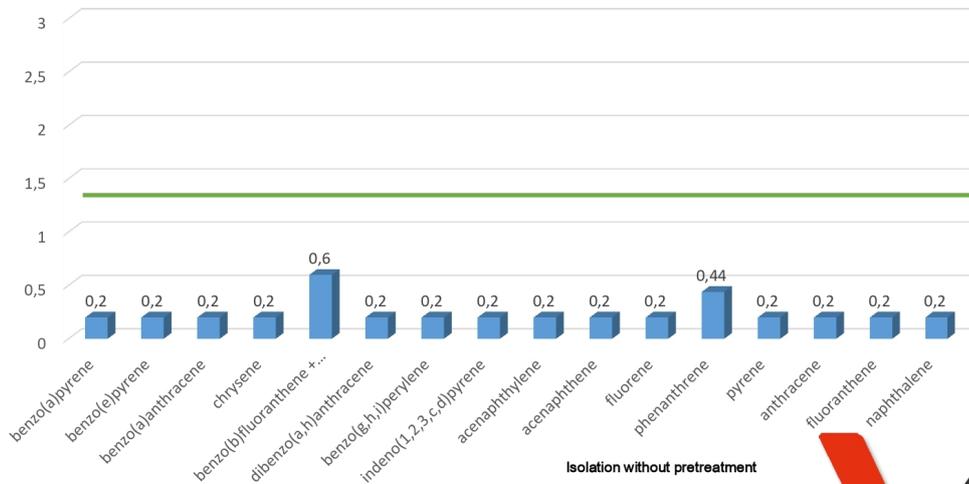


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

8

Isolation without pretreatment: Jacket BF Berlin

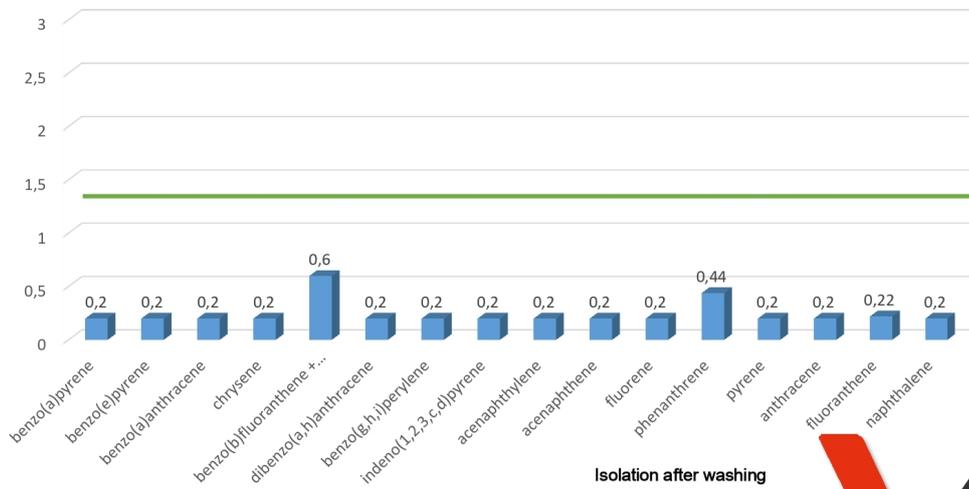


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

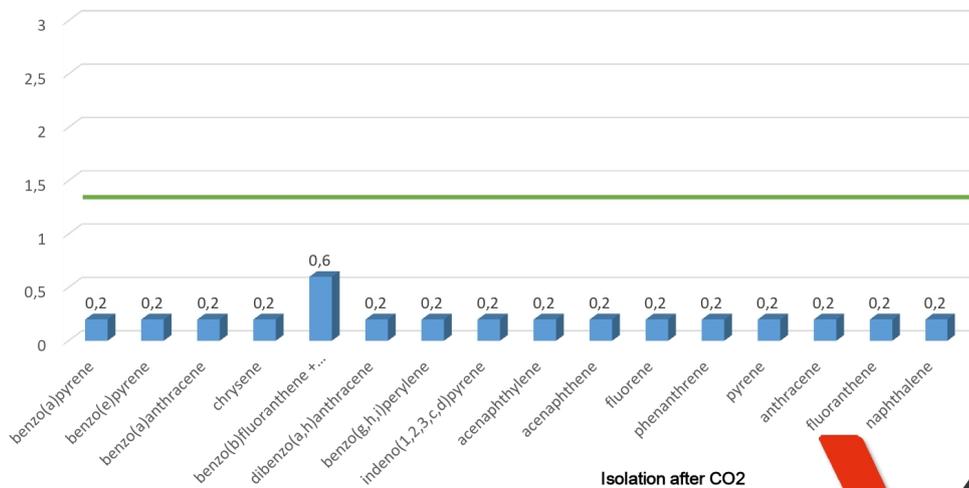
9

Isolation after washing at 60°C: Jacket BF Berlin



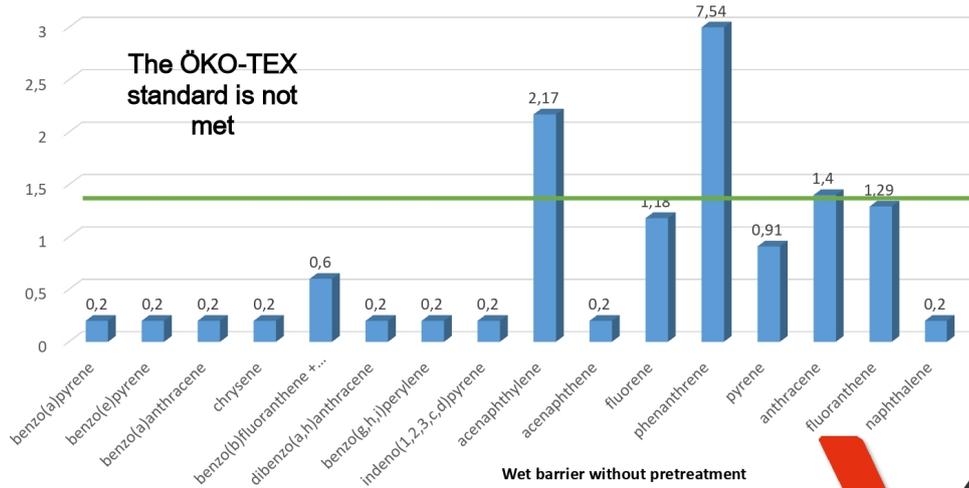
(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Isolation after CO2 decontamination: Jacket BF Berlin



(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Wet barrier without pretreatment: Jacket Berlin

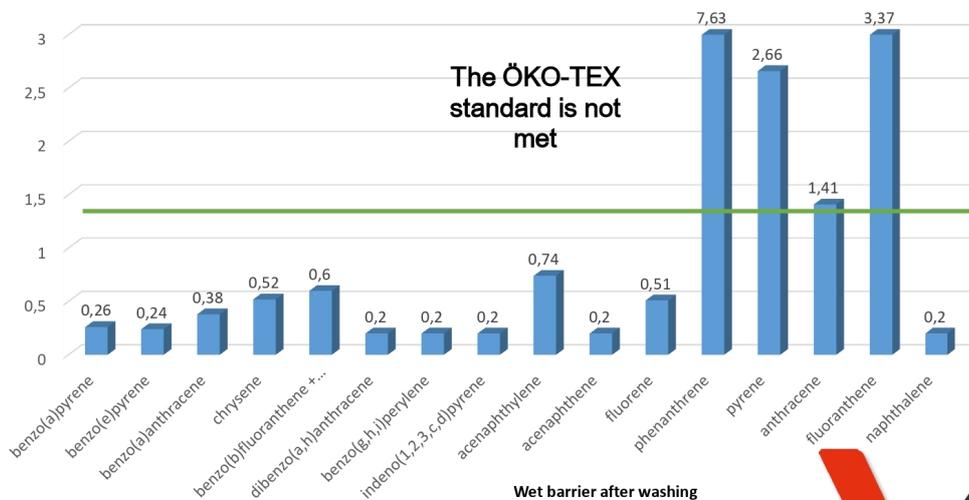


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

12

Wet barrier after washing at 60°C: Jacket BF Berlin

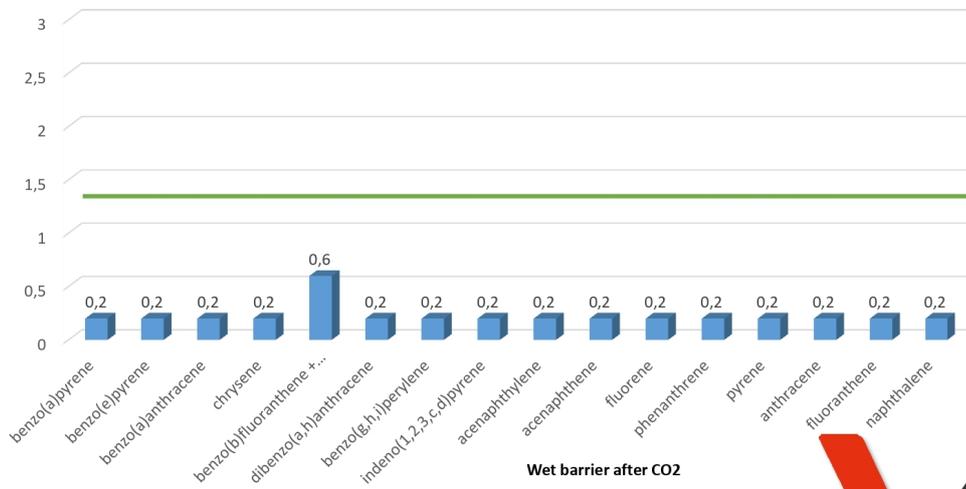


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

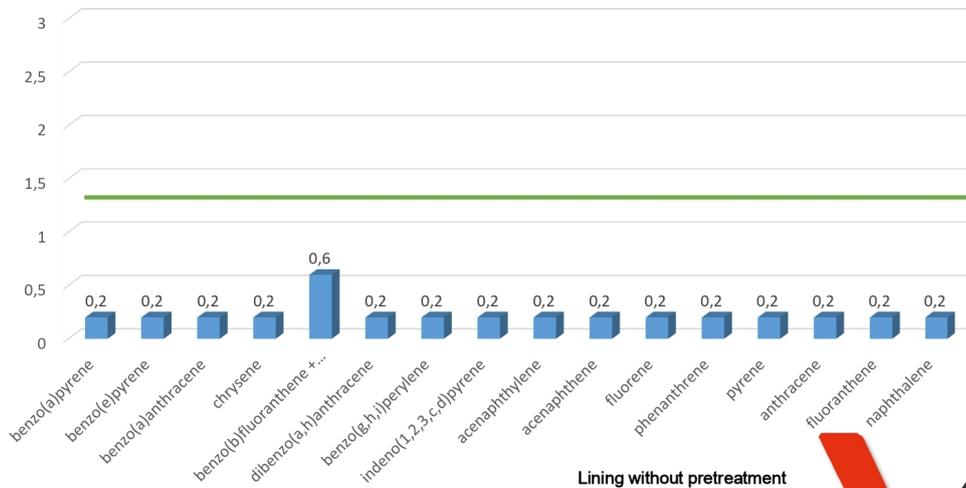
13

Wet barrier after CO2 decontamination: Jacket BF Berlin



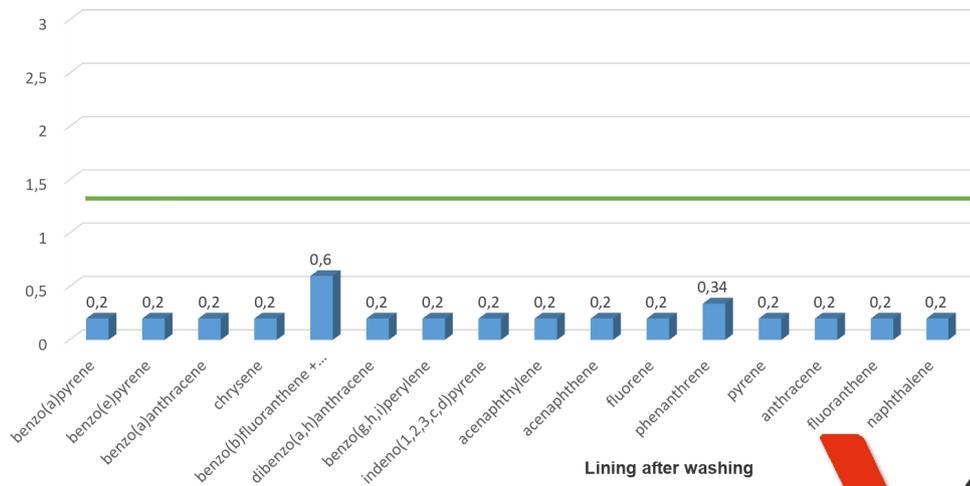
(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Lining without pretreatment: Jacket BF Berlin



(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Lining after washing: Jacket BF Berlin

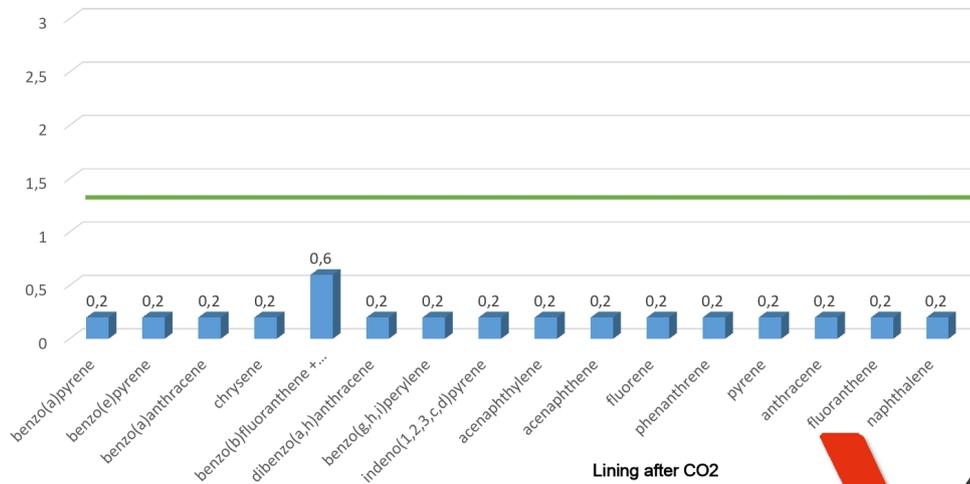


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

16

Lining after CO2 decontamination: Jacke BF Berlin

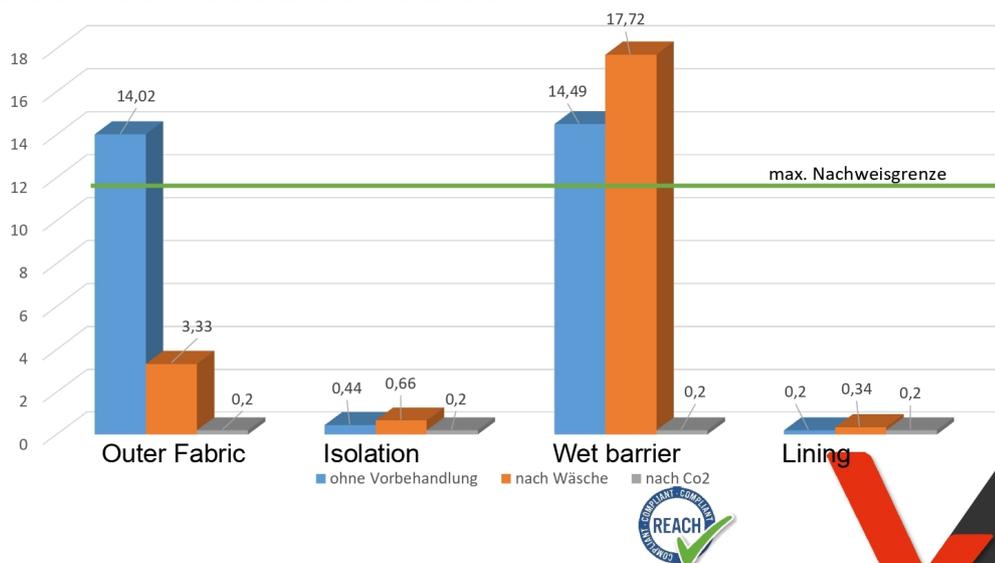


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

TEXPORT
clean
&care

17

Amount of PAHs in mg/kg: Jacket BF Berlin



TEXPORT
clean
&care

18

Information

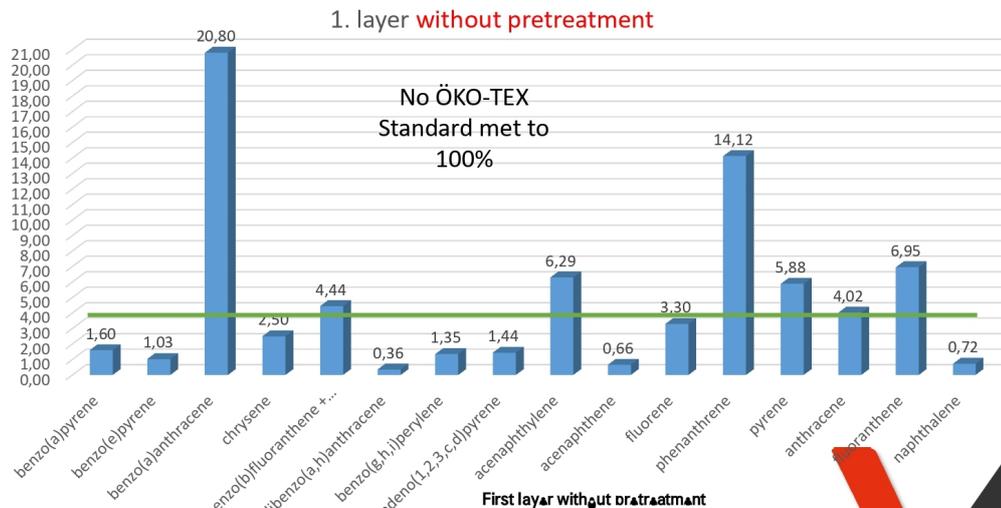
- **Model:** Fire fighter gloves
TEXPORT® Fire FOX BETA II
- **Art. Nr.** 2012002A1B
- **Material composition**
 - **Outer Fabirc**
„Kevlar with silicone coating“
 - **thermal lining**
„Non Woven“
 - **Membrane**
„Wet barrier“
 - **Inner Lining**
„Lining“



TEXPORT
clean
&care

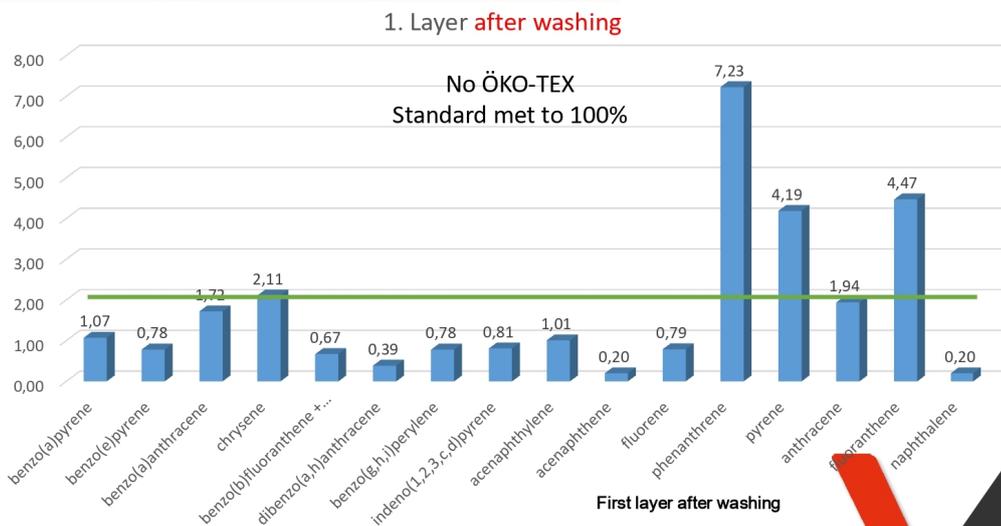
19

Left glove, 1. Layer / Kevlar with silicone coating



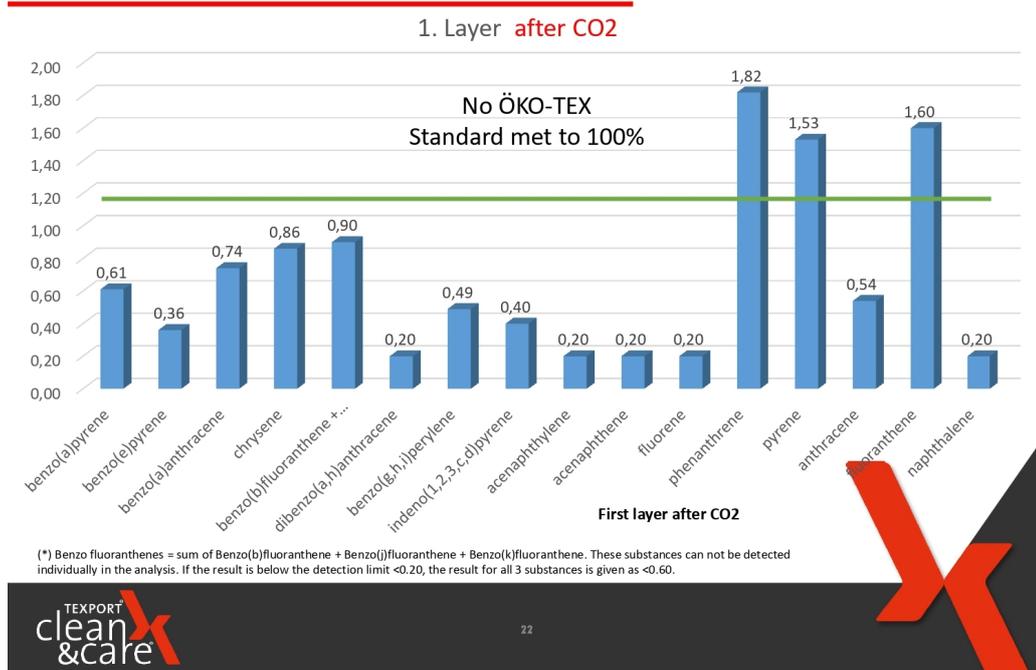
(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Right glove, 1. layer / Kevlar with silicone coating

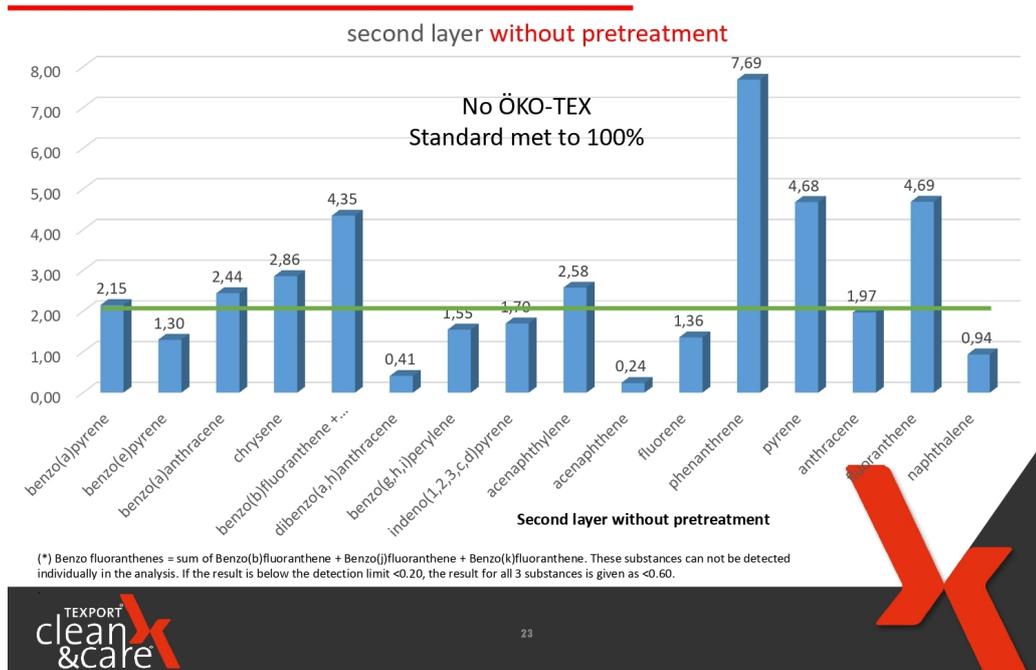


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

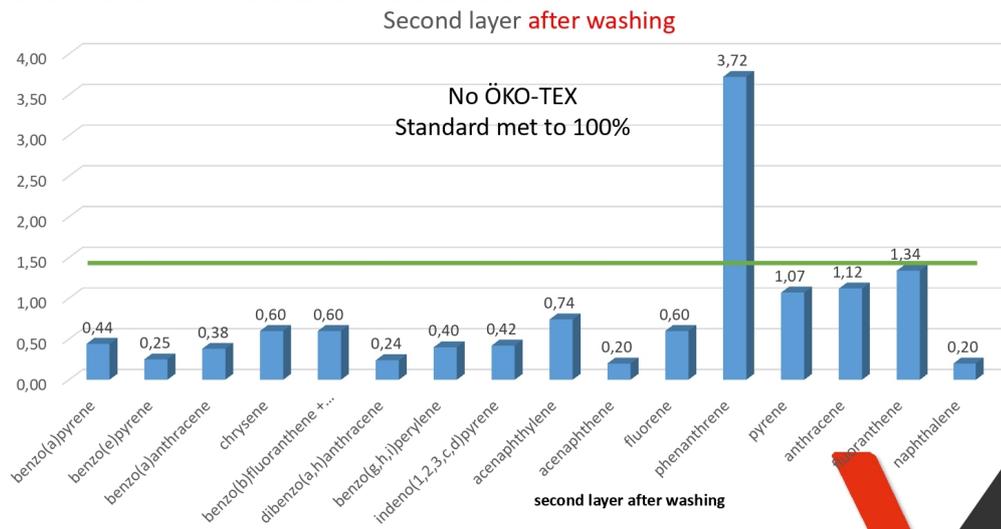
Left clove, 1. layer/ Kevlar with silicone coating



Left clove, 2. layer / Non Woven



Right glove, 2. layer / Non Woven

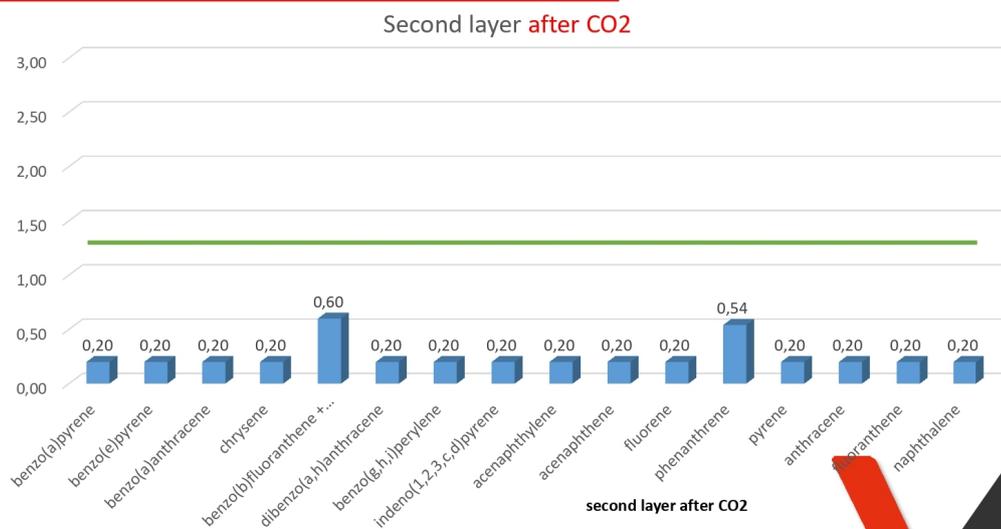


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.



24

Left glove, 2. layer / Non Woven

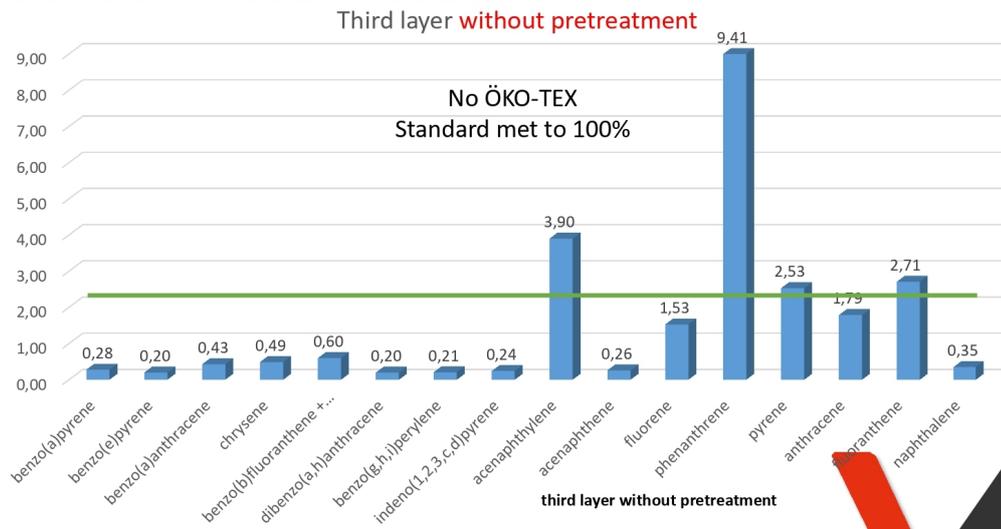


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.



25

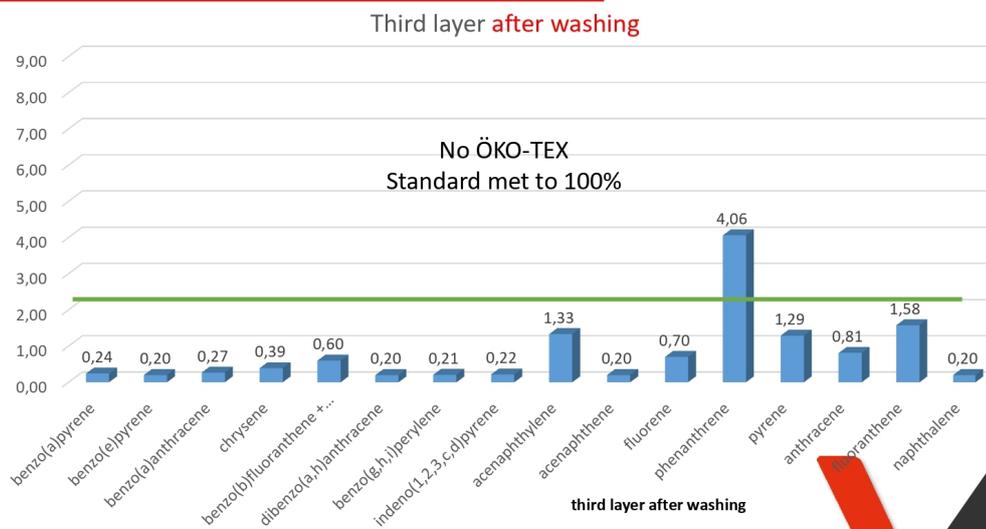
Left glove, 3. layer/ Wet barrier



(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.



Left glove, 3. Layer/ Wet barrier

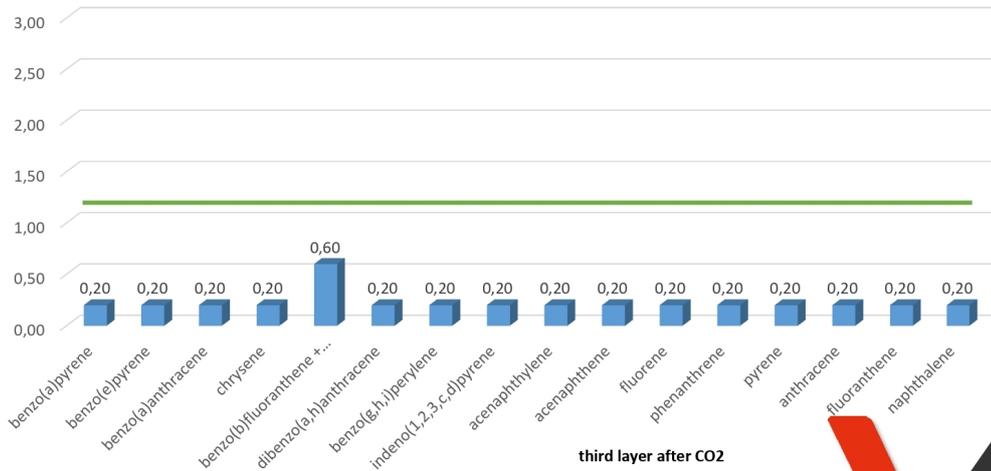


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.



Left glove, 3. layer/ Wet barrier

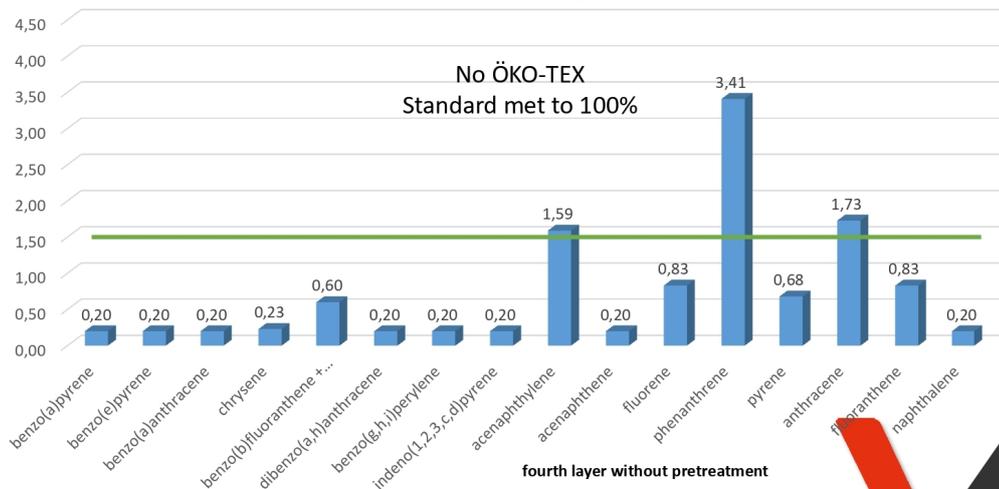
Third layer **after CO2**



(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

Left glove, 4. layer/ Lining

Fourth layer **without pretreatment**

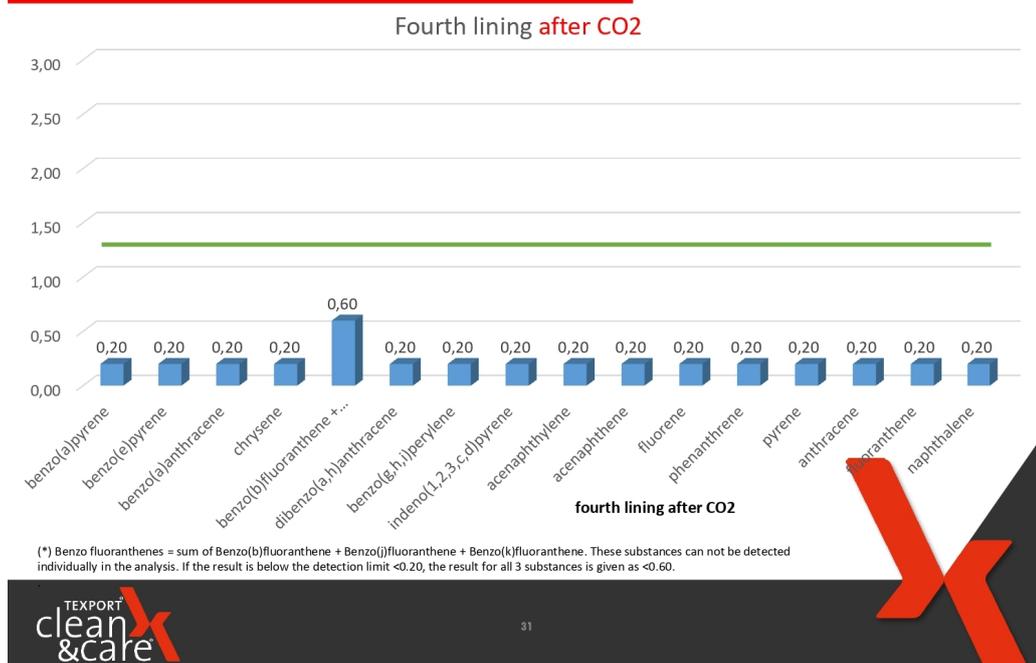


(*) Benzo fluoranthenes = sum of Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene. These substances can not be detected individually in the analysis. If the result is below the detection limit <0.20, the result for all 3 substances is given as <0.60.

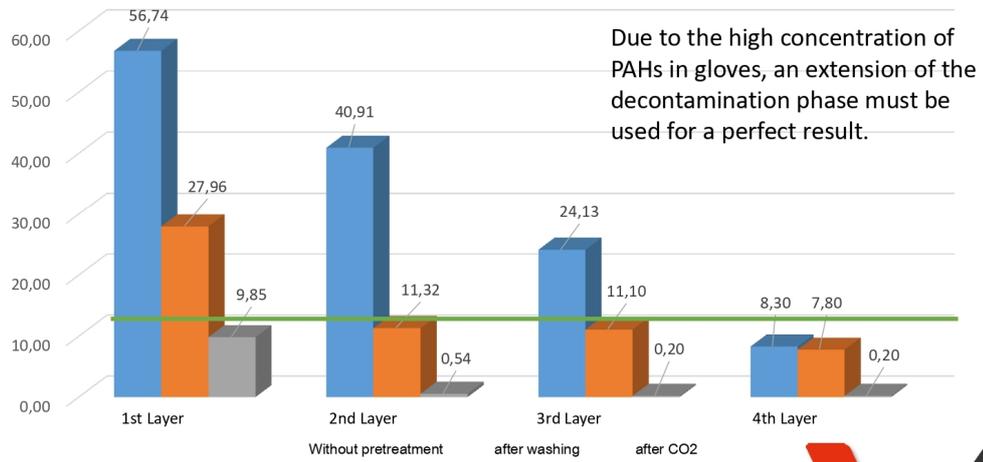
Right glove, 4. layer/ Lining



Left glove, 4. layer/ Lining



Amount of PAHs in mg/kg Gloves



TEXPORT
clean
&care

32

TEXPORT®
PROTECTING YOU.

33



Terms of use

The present presentation and its contents are the property of TEXPORT® Handelsgesellschaft m.b.H. Any use, transfer, duplication or even withdrawal of partial information of the presentation requires the express consent of TEXPORT® Handelsgesellschaft m.b.H. This reserves the right to withdraw the commitment in case of misuse, improper use or other misuse of the information without giving any reason. Violations will be prosecuted.