



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO

**EXPOSIÇÃO DE BOMBEIROS MILITARES E BRIGADISTAS À FUMAÇA E AOS
PRODUTOS DA COMBUSTÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO
FEDERAL**

BRASÍLIA - DF

2026

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**

FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO

**EXPOSIÇÃO DE BOMBEIROS MILITARES E BRIGADISTAS À FUMAÇA E AOS
PRODUTOS DA COMBUSTÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO
FEDERAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências da Saúde da
Faculdade de Saúde da Universidade de Brasília,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Doutor em Ciências da Saúde.

**BRASÍLIA – DF
2026**

FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Saúde, Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências da Saúde.

Aprovada em 06 de agosto de 2026.

Banca examinadora

Profa. Dra. Eloisa Dutra Caldas

Universidade de Brasília

Profa. Dra. Isarita Martins Sakakibara

Universidade Federal de Alfenas – Minas Gerais

Dr. George Cajaty Barbosa Braga

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Dr. Peter Rembischevski

Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

JA663ee Jaime Miranda de Araujo, Fausto
EXPOSIÇÃO DE BOMBEIROS MILITARES E BRIGADISTAS À FUMAÇA E
A PRODUTOS DA COMBUSTÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO
FEDERAL, BRASIL / Fausto Jaime Miranda de Araujo;
orientador Eloisa Dutra Caldas. Brasília, 2026.
153 p.

Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) Universidade de
Brasília, 2026.

1. Incêndios florestais. 2. Exposição ocupacional. 3.
Percepção de risco. 4. Toxicologia ocupacional. 5. Bombeiros
militar. I. Dutra Caldas, Eloisa, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À minha família (pais, irmãos, irmã, sobrinhas e sobrinho) e aos meus parentes (tios(as) e primos(as), por terem ajudado em tudo que puderam e por sempre terem torcido por mim.

À professora Eloisa, que, além de ser, inquestionavelmente, uma excelente profissional, é uma boa pessoa, pela oportunidade, pela paciência e por toda a ajuda.

Aos colegas do Laboratório de Toxicologia, por toda a ajuda.

Aos tios Carlos e Lindamar e aos primos William, Welinton e Washington. Sou e serei sempre muito grato pelo que fizeram por mim.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), por disponibilizar os recursos essenciais à realização desta pesquisa.

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, em especial ao Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM) e ao Instituto Brasília Ambiental, pela autorização e pelo apoio e suporte prestados à pesquisa.

Ao Deputado Distrital e Bombeiro Militar Roosevelt Vilela, ao Capitão Freire e ao Comando da DIEAP (Diretoria de Estudos e Análises de Projetos), especialmente ao Coronel Agra, pelo apoio fundamental à realização das atividades de coleta de campo.

A todos os bombeiros e brigadistas que participaram e fizeram o que estava ao seu alcance para contribuir.

Ao Celso Berilo Cidade Cavalcanti, por toda a ajuda com seu conhecimento e experiência, principalmente na parte técnica das coletas de campo e por ser um verdadeiro amigo, o que é muito raro.

O ser humano é naturalmente extremamente materialista, egoísta e hipócrita. Este mundo evolui tecnologicamente, mas a natureza humana não muda. A Terra é um mundo de provas e expiações, no qual, infelizmente, o mal ainda predomina sobre o bem, pois seus habitantes ainda estão em processo de evolução moral. Outro grande defeito que, para mim, dificulta muito a evolução e contribui para tornar este mundo tão cruel é o fanatismo. Sei que apenas um tolo acha que é possível resolver os problemas do mundo, mas acredito que se o ser humano evoluísse, mudando sua natureza, tornando-se menos materialista, menos egoísta e menos hipócrita e se um dia todos os tipos de fanatismo diminuíssem e a maioria deixasse de ser composta por idiotas e fanáticos, viveríamos num mundo muito melhor. Dentre nossos defeitos, a hipocrisia, para mim, é o pior. Acredito que se a hipocrisia diminuísse, o mesmo aconteceria com o materialismo, o egoísmo e outros defeitos. Concordo com Paulo de Tarso quando disse que o homem morre um pouco a cada dia e com Nietzsche, que afirmou que só houve um cristão neste mundo: Cristo.

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNICOS E SIGLAS

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais)

BTXE – Benzeno, Tolueno, Xilenos e Etilbenzeno

CBMDF – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DNA – Deoxyribonucleic Acid (Ácido desoxirribonucleico)

EM – Mixture Exposure (Exposição múltipla)

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EUA – Estados Unidos da América

EPR – Equipamento de Proteção Respiratória

FUNDACENTRO – é a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho

GPRAM – Grupamento de Proteção Ambiental

HPA – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

IARC – Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer

IBRAM – Instituto Brasília Ambiental

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MP - Material Particulado

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional)

PPM – Parte por Milhão

LEO – Limite de Exposição Ocupacional

OMS – Organização Mundial da Saúde

ttMA – Ácido Trans,trans-mucônico

TLV-STEL: Threshold Limit Value – Short-Term Exposure Limit (Limite de Exposição de Curto Prazo, segundo a ACGIH)

TLV-TWA: Threshold Limit Value – Time-Weighted Average (Limite de Exposição ocupacional na média ponderada para 8 horas de trabalho, segundo a ACGIH)

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Ilustração de combustão completa (à esquerda) e incompleta (à direita). 6

Figura 2. Bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) expostos à fumaça de incêndios florestais. 7

Figura 3. Estatística mensal de focos de incêndios florestais no Brasil de junho a outubro em 2023 e 2024..... 8

Figura 4. Mapas de distribuição espacial dos focos obtidos por satélite nos anos de 2023 e 2024. 9

Figura 5. Número de ocorrências de incêndios florestais atendidas pelo CBMDF em 2024..... 9

Figura 6. Estrutura química do benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno. 28

Figura 7. Metabolismo do benzeno. 30

Figura 8. Estrutura química da acroleína e do formaldeído. 35

Figura 9. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). 39

CAPÍTULO 2. Avaliação da exposição de bombeiros militares e brigadistas à fumaça e a produtos da combustão em incêndios florestais no Distrito Federal, Brasil

Figura 1. Brigadistas (superior) e bombeiros (inferior) utilizando soprador com suportes de ciclone para coleta de material particulado (azul) e tubos de adsorção para compostos orgânicos (verde). 54

Figura 2. Box plot data (left) and Spearman correlation (r) for MP4 and MP10 data. 58

Figura 3. Níveis de ttMA na urina dos bombeiros antes (maio, n=33) e durante o período de incêndios no Distrito Federal (agosto, n=27). 63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Literatura identificada com objetivo de verificar o nível de percepção de riscos à saúde de bombeiros. 16

Quadro 2 - Pesquisas sobre exposição ocupacional a material particulado oriundo de fumaça de incêndios florestais para bombeiros de diversos países..... 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva das amostras de materiais particulados. 58

Tabela 2. Resultados de BETEX, acroleína e formaldeído, em ppm. 60

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
1. Problemática e panorama científico acerca de incêndios florestais	5
2. Percepção de risco à saúde de bombeiros por exposição à fumaça	10
3. Produtos gerados por incêndios florestais	23
3.1 Material particulado	24
3.2 BTXE	28
3.3 Acroleína e formaldeído.....	34
3.5 HPA.....	38
OBJETIVOS	46
Objetivo Geral.....	46
Objetivos Específicos	46
ESTRUTURA DA TESE	47
CAPÍTULO 1. Risk Perception of Military Firefighters and Brigades in Relation to Exposure to Smoke from Forest Fires in Brazil	48
CAPÍTULO 2. Avaliação da exposição de bombeiros militares e brigadistas à fumaça e a produtos da combustão em incêndios florestais no Distrito Federal, Brasil.....	49
Resumo	49
1. Introdução	51
2. Materiais e métodos.....	53
2.1 Tipo do estudo e sujeitos da pesquisa	53
2.2 Coleta de material particulado	54
2.3 Compostos orgânicos.....	55
3. Resultados e discussão.....	57
3.1 Material particulado	57
3.2 Compostos orgânicos.....	59
3.3 Efeito total no pulmão	61
3.4 Monitoramento do metabólito ttMA urinário	62
4. Conclusão	65
Referências	65

CONCLUSÕES FINAIS	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
PERSPECTIVAS FUTURAS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	82

RESUMO

A fumaça gerada pela combustão de matéria orgânica durante incêndios florestais é tóxica, contendo diversos compostos químicos nocivos ao organismo e podendo causar efeitos agudos e crônicos. O presente trabalho avaliou a percepção de risco dos bombeiros militares e brigadistas florestais durante o combate a incêndios florestais no Distrito Federal (DF) e a exposição desta população ao material particulado e a substâncias orgânicas potencialmente tóxicas emitidos na combustão da biomassa. A percepção de risco foi avaliada por meio de um questionário aplicado a 150 bombeiros e 22 brigadistas. A exposição aos materiais particulados foi avaliada para partículas sólidas com tamanhos respiráveis de até 4 μm (MP_4) e torácicos de até 10 μm (MP_{10}). Foi avaliada a exposição dos participantes aos vapores de benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno ($N=30$), aos irritantes pulmonares formaldeído e acroleína ($N=29$) e aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos ($N=30$). Foi também avaliado o metabólito do benzeno, ácido trans, trans-mucônico (ttMA), na urina de 34 bombeiros, antes (maio) e durante a estação da seca no DF (setembro). Os resultados demonstraram que os participantes apresentam elevada percepção dos riscos decorrentes da exposição à fumaça, reconhecendo sua relação com doenças respiratórias, câncer e outros agravos à saúde. No entanto, aproximadamente 80% relataram não utilizar equipamentos de proteção respiratória, principalmente devido à indisponibilidade desses equipamentos nas instituições. Os brigadistas apresentaram percepção de risco significativamente maior do que a dos bombeiros; a preocupação com a exposição entre os militares correlacionou-se positivamente com a idade, o tempo de experiência e a disposição para utilizar proteção respiratória quando disponibilizada. As concentrações MP_4 e MP_{10} ultrapassaram os limites de exposição ocupacional em 41,7% e 69,7% das amostras, com faixa de concentrações entre 0,73 e 32,33 mg/m^3 para MP_4 e entre 0,75 e 31,41 mg/m^3 para MP_{10} . Entre os compostos orgânicos voláteis, o benzeno foi o principal contaminante identificado, com 70% das amostras acima do limite de exposição ocupacional (LOE) e concentrações entre 0,005 e 3,257 ppm, seguido pelo formaldeído, que excedeu esse limite em 27,6% das amostras, com concentrações entre 0,01 e 0,28 ppm. A acroleína foi detectada em algumas amostras de militares, porém sempre abaixo do LOE. Apenas duas amostras apresentaram concentrações de HPA acima do LOQ (0,01 ppm): uma de antraceno, com 443,2 ppm, e outra de fenantreno, com 1479,37 ppm. A avaliação da exposição combinada a MP_4 , formaldeído e acroleína indicou potencial risco à saúde pulmonar, com valores médios do índice de exposição à mistura (EM) superiores a 1 tanto para bombeiros quanto para brigadistas. Não houve diferenças estatisticamente significativas nos níveis de ttMA entre os períodos prévios e durante a estação seca. Concluindo, bombeiros militares e brigadistas apresentam elevada percepção dos riscos associados à fumaça, embora a maioria não utilize proteção respiratória, principalmente por não ter sido disponibilizada. Essa população está exposta a material particulado e a compostos químicos tóxicos, com destaque para o benzeno e o formaldeído, o que reforça a necessidade de medidas de controle, monitoramento ocupacional e biológico, e disponibilização de proteção respiratória adequada. Segundo os nossos melhores conhecimentos, este é o primeiro estudo conduzido no Brasil a avaliar a exposição ocupacional de bombeiros militares e brigadistas em incêndios florestais com coletas de campo realizadas por meio de bombas de amostragem individuais.

Palavras-chave: Incêndios florestais; exposição ocupacional; material particulado; benzeno; acroleína; formaldeído, HPA.

ABSTRACT

The smoke generated by the combustion of organic matter during wildfires is toxic, containing several chemical compounds harmful to the body and potentially causing acute and chronic effects. The present study evaluated the risk perception of military firefighters and forest brigadists during wildfire suppression in the Federal District (DF) and the exposure of this population to particulate matter and potentially toxic organic substances emitted during biomass combustion. Risk perception was assessed through a questionnaire administered to 150 firefighters and 22 brigadists. Exposure to particulate matter was assessed for solid particles with respirable sizes of up to 4 μm (PM₄) and thoracic sizes of up to 10 μm (PM₁₀). Participants' exposure to benzene, toluene, xylene, and ethylbenzene vapors (N=30), to the pulmonary irritants formaldehyde and acrolein (N=29), and to polycyclic aromatic hydrocarbons (N=30) was assessed. The benzene metabolite trans,trans-muconic acid (ttMA) was also evaluated in the urine of 34 firefighters, before (May) and during the dry season in the DF (September). The results demonstrated that participants have a high perception of the risks arising from exposure to smoke, recognizing its relationship with respiratory diseases, cancer, and other adverse health effects. However, approximately 80% reported not using respiratory protective equipment, mainly due to the unavailability of such equipment in the institutions. Brigadists showed significantly higher risk perception than firefighters; concern about exposure among military personnel was positively correlated with age, length of experience, and willingness to use respiratory protection when made available. PM₄ and PM₁₀ concentrations exceeded occupational exposure limits in 41.7% and 69.7% of the samples, respectively, with concentration ranges between 0.73 and 32.33 mg/m³ for PM₄ and between 0.75 and 31.41 mg/m³ for PM₁₀. Among the volatile organic compounds, benzene was the main contaminant identified, with 70% of the samples above the occupational exposure limit (OEL) and concentrations ranging from 0.005 to 3.257 ppm, followed by formaldehyde, which exceeded this limit in 27.6% of the samples, with concentrations ranging from 0.01 to 0.28 ppm. Acrolein was detected in some samples from military personnel, but always below the OEL. Only two samples presented PAH concentrations above the LOQ (0.01 ppm): one for anthracene, at 443.2 ppm, and another for phenanthrene, at 1479.37 ppm. The assessment of combined exposure to PM₄, formaldehyde, and acrolein indicated a potential risk to pulmonary health, with mean values of the mixture exposure index (ME) above 1 for both firefighters and brigadists. There were no statistically significant differences in ttMA levels between the periods before and during the dry season. In conclusion, military firefighters and brigadists have a high perception of the risks associated with smoke, although most do not use respiratory protection, mainly because it was not provided. This population is exposed to particulate matter and toxic chemical compounds, particularly benzene and formaldehyde, reinforcing the need for control measures, occupational and biological monitoring, and the provision of adequate respiratory protection. To the best of our knowledge, this is the first study conducted in Brazil to evaluate the occupational exposure of military firefighters and brigadists during wildfires with field sampling performed using personal sampling pumps.

Keywords: forest fires, occupational exposure, particulate matter, benzene, acrolein, formaldehyde, PAH

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais representam uma grande ameaça à sociedade. Além dos danos ao meio ambiente, são considerados problemas de segurança pública, por poderem atingir grandes áreas, e de saúde pública, por afetarem toda a comunidade (MIRANDA et al., 2010). A queima de biomassa é uma das principais fontes de gases e partículas na atmosfera, contribuindo para alterar sua composição química (BURLING et al., 2010) e impactando negativamente a qualidade do ar (URBANSKI et al., 2014).

Bombeiros e brigadistas florestais lidam rotineiramente com situações de perigo, pois seu trabalho envolve estresse, fadiga, calor, ruído e esforços físicos intensos, fatores que podem causar acidentes ou lesões e comprometer a saúde. Além disso, esses profissionais ainda estão expostos a situações de risco pela exposição a material particulado e compostos químicos gerados pela combustão da matéria orgânica durante os incêndios, que podem causar efeitos à saúde a curto e a longo prazo (REISEN et al. 2011). A exposição a estes agentes pode ocorrer por inalação, ingestão ou contato com a pele (BRITZ-MCKIBBIN et al., 2016), e há evidências de associação positiva entre a exposição à fumaça de incêndios florestais e diversas doenças crônicas, incluindo câncer (ABREU et al., 2017; URRUTIA-PEREIRA et al., 2021).

Ao contrário dos bombeiros que combatem incêndios urbanos, a maioria dos bombeiros florestais não utiliza equipamentos de proteção respiratória (EPR), com exceção de bandanas ou capuzes sobre o nariz e a boca, improvisados pelos próprios militares, que são inadequados para a proteção (LEONARD et al., 2007; HUNTER et al., 2014; NAVARRO et al., 2019). Essa situação é semelhante entre os brigadistas (ROBSON et al., 2025). O baixo uso de EPR pode estar relacionado a fatores operacionais, organizacionais e culturais, como desconforto, calor, dificuldades de comunicação, ausência de testes de vedação, treinamento insuficiente e influência da liderança.

Nos últimos anos, tem havido muitas pesquisas em diversos países sobre os riscos e impactos à saúde de bombeiros florestais causados pela exposição à fumaça (GAUGHAN et al., 2014; ADETONA et al., 2016; NAVARRO et al., 2019). Vários fatores podem interferir na avaliação da exposição, incluindo o tipo de biomassa queimada, as condições do local, a temperatura, a velocidade e a direção do vento e a duração da atividade (LEONARD et al., 2007).

A grande maioria dos estudos que avaliam a exposição de bombeiros e brigadistas à fumaça de incêndios florestais é conduzido em ambientes experimentais, com fogo controlado

(queimada prescrita) (Reisen & Brown, 2009; MIRANDA et al., 2010; HUNTER et al., 2014). O presente estudo foi conduzido também em ambientes reais de incêndio e em queimadas controladas, o que constitui um importante diferencial em comparação com outros. Segundo os nossos melhores conhecimentos, este é o primeiro estudo no Brasil que se propõe a avaliar a exposição de bombeiros e brigadistas à os componentes da fumaça durante incêndios florestais, com coletas de campo realizadas por meio de bombas de amostragem individuais.

A hipótese desta pesquisa é que os bombeiros do CBMDF e os brigadistas do IBRAM do Distrito Federal estão expostos a compostos gerados pela combustão em concentrações acima dos valores máximos preconizados pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) (ACGIH, 2024) em suas atividades ocupacionais, já que a maioria desses profissionais não utiliza equipamentos de proteção respiratória e está sujeita a longos períodos de atividade. Foram utilizados os parâmetros internacionais da ACGIH, por não haver legislação específica suficientemente abrangente no Brasil.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Problemática e panorama científico acerca de incêndios florestais

Incêndios florestais provavelmente se tornarão cada vez mais comuns, devido ao aquecimento global e a longos períodos de estiagem em todo o mundo. Alterações nos padrões de temperatura, no volume e na frequência da precipitação pluvial estão aumentando a ocorrência e a gravidade dos incêndios florestais, com temporadas de queima mais longas e áreas queimadas maiores, o que impacta a saúde pública devido à grande geração de fumaça (REID et al., 2016; JOHNSTON et al., 2024; GOULD et al., 2024).

Os brigadistas do IBRAM atuam principalmente na prevenção de incêndios florestais em parques públicos do Distrito Federal por meio de queimadas prescritas e controladas nas margens dos parques, com o objetivo de gerar aceiros. E, mesmo com a prevenção, tem a função de combater incêndios nestes locais (IBRAM, 2025). Já os bombeiros do CBMDF atuam em combate a incêndios reais em todo o Distrito Federal (CBMDF, 2026).

A combustão dos incêndios florestais libera grandes quantidades de compostos químicos no ambiente, que são tóxicos e podem causar danos à saúde da população em geral e, principalmente, aos bombeiros e brigadistas que atuam na linha de frente dos combates e, por isso, sofrem maior exposição (TEIXEIRA et al., 2024; WAH et al., 2025). Os compostos tóxicos emitidos pelos incêndios florestais resultam da queima incompleta da biomassa. Numa combustão completa, os resíduos gerados são apenas vapor de água e gás carbônico (CO₂) e por isso essa reação não gera fumaça. É o que percebemos, por exemplo, na queima de GLP num fogão, enquanto, nos incêndios, ocorre combustão incompleta, na qual o material combustível não é oxidado totalmente, gerando também diversos gases, vapores e material particulado que são dispersos na atmosfera (Figura 1) (TEIXEIRA et al., 2024; ISLAM et al., 2026).

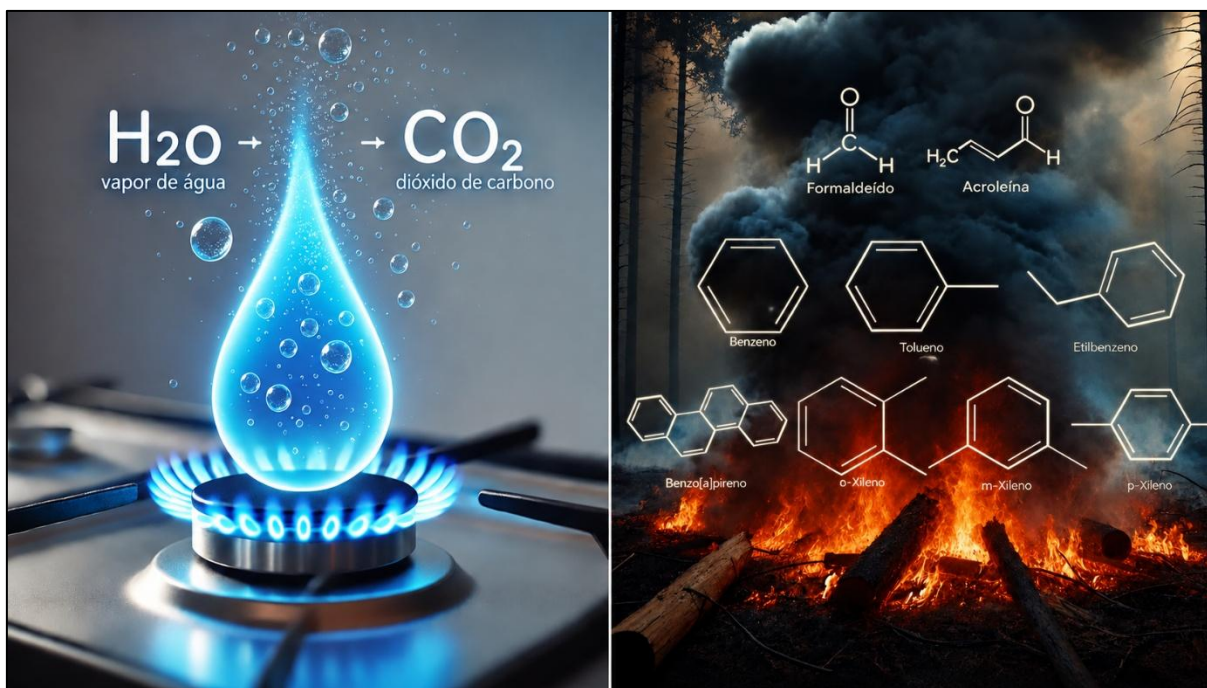


Figura 1. Ilustração de combustão completa (à esquerda) e incompleta (à direita).

Fonte: Gerada por IA.

Segundo Tawfiq et al. (2015), as emissões oriundas da combustão de biomassa representam 30% das emissões globais totais, sendo os incêndios florestais, portanto, influenciadores consideráveis da atmosfera. Incêndios florestais liberam anualmente na atmosfera cerca de 2 teragramas (2×10^{12} g) de carbono (VAN DER WERF et al. 2010) e essas emissões alteram o clima no planeta, devido a mudanças no forçamento radiativo (diferença entre a energia que entra na atmosfera pela radiação solar e a que sai) e nos ciclos hidrológicos (JOHNSTON et al. 2012). O aumento do forçamento radiativo leva ao aquecimento global e a climas mais quentes, contribuindo para o aumento da frequência e da severidade dos incêndios (JOHNSTON et al. 2012). Ocorre, portanto, um ciclo de impactos negativos na atmosfera.

Há consenso de que as atividades de combate a incêndios florestais (Figura 2) são, além de perigosas, insalubres devido ao calor, às partículas e aos agentes químicos tóxicos presentes na fumaça, o que torna necessárias medidas de proteção. As premissas da engenharia de segurança são que, primeiramente, o risco seja eliminado na fonte, o que não é possível no caso do combate a incêndios, que deve ser executado pelo homem. Deve-se, então, adotar medidas administrativas para reduzir o tempo de exposição do trabalhador, com revezamento de

períodos e de funções. Quando as medidas administrativas não forem suficientes, adotam-se equipamentos de proteção individual, principalmente de proteção respiratória (BARBONI et al., 2010b), para se proteger contra a inalação de partículas finas e de compostos tóxicos.



Figura 2. Bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) expostos à fumaça de incêndios florestais.
Fonte: CBMDF (2026).

Os produtos da combustão em incêndios florestais podem apresentar alta variabilidade devido a fatores como a temperatura, o tipo, a composição e a quantidade do material (biomassa) queimado, bem como às condições dos incêndios e das operações de combate. Portanto, a exposição de bombeiros e brigadistas também pode apresentar grande variação, sendo necessário avaliar a exposição individual em cada país e, mais especificamente, em cada região (MIRANDA et al., 2012).

Em um incêndio florestal, a combustão passa por fases que, a depender das condições (como o tipo e a quantidade de combustível, a umidade e a velocidade do vento), podem ser mais curtas ou mais demoradas. Como o ambiente é aberto, a oferta de oxigênio é constante e este elemento não altera as fases. Áreas maiores, com grande quantidade de combustíveis secos, geram fases de queima livre, nas quais há presença de chamas mais longas. A fase de queima lenta, em que há apenas brasas, pode durar por horas ou dias (SANTOSO et al., 2019).

Os níveis de exposição dependem da tarefa e da posição do bombeiro durante o combate, podendo ocorrer que, em pequenos incêndios, fiquem mais expostos do que em incêndios de grandes proporções. Isto porque, geralmente, em grandes incêndios, a estratégia mais adotada

consiste em ficar sempre atrás do fogo, em vez de combatê-lo em ataque direto, como se faz em pequenos incêndios (MIRANDA et al., 2012).

O período crítico para incêndios florestais no Brasil é entre junho e outubro. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2025), neste período no ano de 2024 o total de focos registrados no país foi de 220.049, apresentando um aumento de 60,8% em comparação com 2023 (Figura 3). A Figura 4 mostra a distribuição espacial desses incêndios. O mês de setembro geralmente apresenta o pico de focos, por representar o auge do período de estiagem, com as chuvas retornando em novembro.

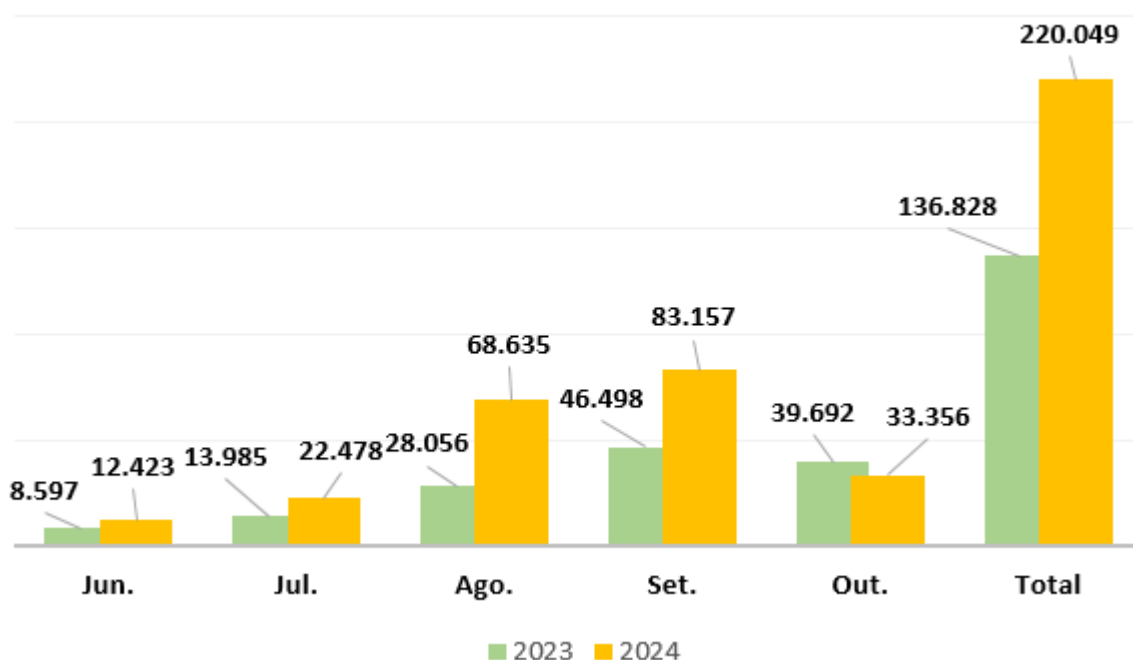


Figura 3. Estatística mensal de focos de incêndios florestais no Brasil de junho a outubro em 2023 e 2024.

Fonte: INPE (2025).

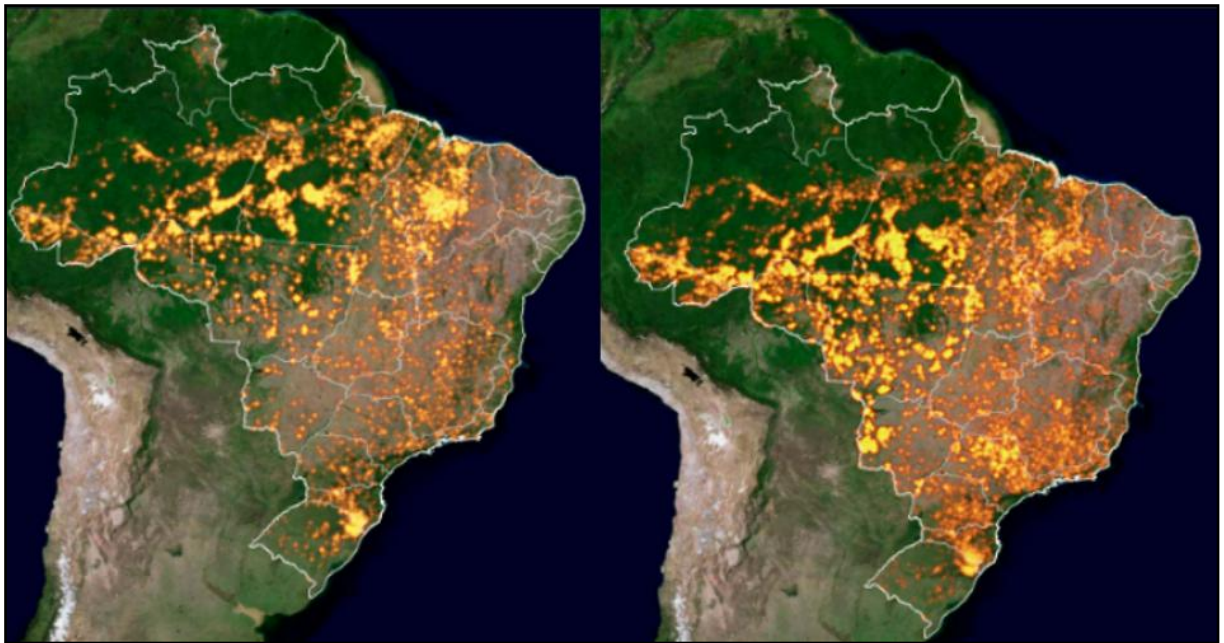


Figura 4. Mapas de distribuição espacial dos focos obtidos por satélite nos anos de 2023 e 2024.

Fonte: Adaptado do INPE (2025).

De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, a corporação atendeu, em 2024, a um total de 8.635 ocorrências de incêndios florestais, a maioria também no mês de setembro (Figura 5), e a área queimada foi de 31.077 hectares.

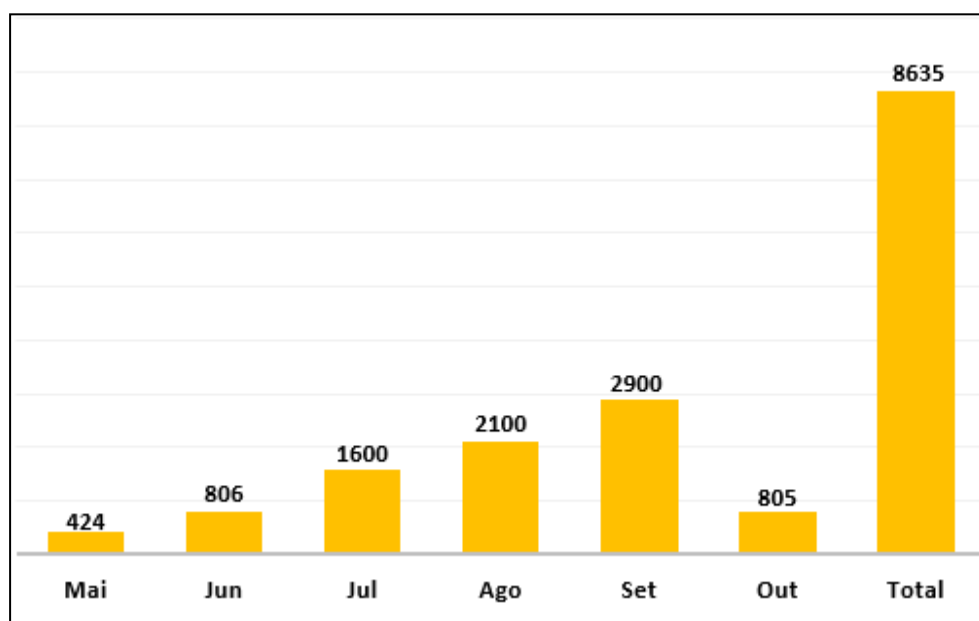


Figura 5. Número de ocorrências de incêndios florestais atendidas pelo CBMDF em 2024.

Fonte: CBMDF (2026).

2. Percepção de risco à saúde de bombeiros por exposição à fumaça

O risco pode ser definido como a combinação de possíveis consequências e das incertezas a elas associadas (AVEN et al., 2007). A percepção de risco é definida como a consciência de que uma situação tem pelo menos uma consequência potencialmente negativa. O julgamento de um indivíduo pode modificar o nível de risco que ele percebe em uma situação, bem como suas representações sociais (LATOURET & GRANIÉ, 2022).

Há uma lacuna importante na literatura internacional sobre a percepção de risco por exposição à fumaça entre bombeiros, no que se refere a como este profissional compreende e percebe o risco, suas atitudes, comportamentos e barreiras culturais ao uso de equipamentos de proteção e às práticas de descontaminação, e a como o risco pode ser mitigado por meio de práticas operacionais e comportamentos (ANDERSON et al., 2017; HARRISON et al., 2022). No entanto, a compreensão desta percepção é fundamental para o desenvolvimento de intervenções que promovam mudanças nas rotinas ocupacionais e a proteção à saúde dos bombeiros (ANDERSON et al., 2017, HAHM et al., 2016).

A percepção de risco, ou a percepção individual de suscetibilidade a uma ameaça, influencia os comportamentos relacionados à segurança e à proteção da saúde (FERRER & KLEIN, 2015; CASEROTTI et al., 2021). Em princípio, uma percepção mais alta está associada à maior adesão a regras e procedimentos de segurança, como o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e de proteção respiratória (EPR), bem como à maior participação em treinamentos de segurança (FIALHO et al., 2024).

A percepção de risco no ambiente de trabalho não é puramente objetiva, e sim definida por fatores como experiências pessoais, emoções e informações recebidas (FERRER & KLEIN, 2015), bem como por fatores psicossociais, tais como a motivação e a satisfação com os regulamentos de segurança (SNOW & GREGORY, 2016). É muito importante identificar os níveis de percepção para, assim, desenvolver intervenções capazes de promover mudanças de comportamento (FERRER & KLEIN, 2015). Alterar a percepção de risco pode estimular a adoção de comportamentos de segurança entre bombeiros (FIALHO et al., 2024), pois essa percepção desempenha papel fundamental na elaboração e implementação de ações e medidas de prevenção para um ambiente de trabalho mais seguro (FIESTAS et al., 2020).

Pessoas tendem a se habituar a riscos aos quais são expostas diária e repetidamente e com isso a percepção diminui, sendo menor quando há alto nível de familiaridade e controle da

situação (HAHM et al., 2016). Em incêndios florestais, ocorre exposição repetida devido ao alto número de focos anuais, o que pode levar à habituação e à redução da percepção do risco por parte de bombeiros e brigadistas. E também pode ocorrer um fenômeno chamado fatalismo, quando as pessoas percebem que um risco não pode ser controlado (FIALHO et al., 2024). Muitos bombeiros demonstram visões fatalistas sobre o risco de câncer causado por exposição a fumaça, acreditando que sua ocorrência é inevitável (ANDERSON et al., 2017; HARRISON et al., 2022), mas mesmo assim, ainda demonstram ter esperanças de que ações preventivas possam ser executadas para diminuir o risco. A crença de que o câncer é inevitável não impede, portanto, as ações de prevenção (ANDERSON et al., 2017).

A cultura dos bombeiros enfatiza a coragem e comportamentos agressivos para superar obstáculos e alcançar objetivos. Há uma relutância em relatar problemas ou dificuldades em seus trabalhos, o que pode transparecer como sinal de fraqueza e muitas vezes se vêem pressionados a nunca dizer não a um trabalho ou tarefa, por mais difícil que possa ser, por mais que seja quase impossível. Isso pode se refletir em atitudes de excesso de confiança e numa sensação de falsa segurança ou de falsa invulnerabilidade e, assim, aumentar a exposição à fumaça (BANES et al., 2014).

Existe um senso comum entre os bombeiros de que o bom atendimento à ocorrência, seja extinguindo o fogo ou realizando um bom resgate, é o mais importante. É necessário que se considere também a própria segurança como prioridade (FIALHO et al., 2024). Há outras concepções que também precisam mudar, como a de que vestimenta e EPI sujos simbolizam experiência e respeito (WOLFFE et al., 2023).

Em geral, os bombeiros demonstram preocupação quanto ao risco de câncer e de doenças cardiovasculares decorrentes da exposição à fumaça. Embora tenha sido percebido o aumento no uso de EPI e EPR, a cultura institucional dos quartéis e as crenças individuais ainda influenciam as decisões de uso dos equipamentos de proteção (JAHNKE et al., 2012). Fatores como a cultura organizacional, o estilo de liderança, as pressões institucionais e a falta de recursos impactam diretamente as práticas seguras (DEJOY et al., 2017).

Existe também uma lacuna entre o conhecimento sobre a necessidade de medidas de proteção respiratória para bombeiros florestais e sua aplicação prática. Isso evidencia que há necessidade de diretrizes operacionais mais eficazes e treinamento adequado com foco na adoção de medidas de prevenção para estes profissionais (CARBALLO-LEYENDA, et al., 2022). No geral, não se percebe uma cultura de prevenção e de cuidado com a própria saúde e

segurança entre os bombeiros. O não uso ou o uso de forma incompleta do EPI é prática comum entre esses profissionais, bem como práticas inadequadas de ajuste e higienização dos equipamentos. A falta de conhecimento sobre normas e procedimentos de segurança e a persistência de uma cultura que valoriza a negligência como demonstração de experiência, comprometem sua segurança. São necessárias mudanças institucionais e educativas para mudar essa realidade e fomentar uma cultura de prevenção (KAHN et al., 2020).

Além do câncer, bombeiros também se preocupam com outros riscos e fatores que podem afetar sua saúde, como doenças cardiovasculares, alimentação durante os plantões, distúrbios do sono e estresse psicológico decorrente da exposição a trauma. Portanto, há uma percepção generalizada de que a profissão inevitavelmente encurtará a vida dos bombeiros (JAHNKE et al., 2012).

As percepções de risco podem variar de acordo com características sociodemográficas como gênero, idade, escolaridade, cultura, tempo de experiência na função e até a origem geográfica ou etnia (CARPENTER et al., 2016; LATOUR & GRANIÉ, 2022). O baixo nível de conhecimento, as grandes demandas de trabalho, a cultura organizacional já enraizada, os poucos investimentos em recursos e as políticas inadequadas geram uma grande barreira à redução de riscos para os bombeiros, principalmente para os que atuam em incêndios florestais. As diferenças de conhecimento, atitudes, e comportamentos entre grupos de diferentes faixas etárias ou diferentes gerações dentro das corporações de bombeiros e a estrutura hierárquica podem dificultar a promoção de uma cultura de prevenção (HARRISON et al., 2022; FIALHO et al., 2024).

A repetição pode gerar hábitos, fazendo com que pessoas com mais tempo de serviço em atividades com riscos constantes fiquem menos preocupadas (CARBALLO- LEYENDA et al., 2022). Lozano & García (2023) identificaram que a percepção de risco é mais alta entre bombeiros profissionais do que entre os voluntários e que essa percepção influencia diretamente as adesões às práticas de prevenção à saúde e à segurança.

Quanto ao fator experiência, observam-se conclusões distintas em estudos sobre a percepção de risco entre bombeiros. Fialho et al. (2024) identificaram que a resistência ao uso de EPI é maior entre bombeiros jovens e com menos experiência, devido à alegação de desconforto e de que dificultam o trabalho. Os autores afirmam que os mais jovens, com menos de 5 anos de serviço, têm menor percepção deste risco e que a experiência pode levar a uma maior conscientização. O mesmo foi constatado por Solle et al. (2018) e por Latour & Granié

et al. (2022). Segundo Solle et al. (2018), bombeiros novatos tendem a se preocupar mais com os riscos imediatos à saúde e à segurança, enquanto os mais experientes se preocupam com os efeitos a longo prazo, como o câncer. Os mais experientes demonstram maior conscientização coletiva e aderem mais às práticas preventivas do que os novatos no início da carreira. Segundo Latour & Granié et al. (2022), bombeiros mais jovens apresentam maior frequência de comportamentos arriscados e a hipótese para a causa disto é a socialização no ambiente de trabalho, que reforça comportamentos, gestos e atitudes de masculinidade que muitas vezes ignoram a segurança e a prevenção da saúde.

Por outro lado, Harrison et al. (2022) identificaram que bombeiros mais velhos e mais experientes têm menor percepção de risco. Os mais jovens têm mais acesso à informação e, por isso, mais conhecimento sobre os riscos de exposição, enquanto os mais velhos podem confiar mais na experiência prática, que nem sempre se alinha à pesquisa científica. Kahn et al. (2020) concluíram que bombeiros mais velhos e experientes ainda são mais propensos a lesões por queimaduras, talvez por terem se habituado e por serem menos sensíveis aos perigos. Glasgow et al. (2024) concluíram que bombeiros consideram fatores como sono, saúde mental, bem-estar e o equilíbrio entre a vida profissional e a pessoal como os mais importantes e que merecem mais atenção, enquanto as exposições ocupacionais receberam menos atenção. Isso pode indicar uma desconexão entre a percepção do risco de exposição e a prioridade atribuída a ele no dia-a-dia (GLASGOW et al., 2024)

Segundo Maglio et al. (2016), bombeiros novatos tendem a se espelhar nos mais experientes e a seguir seus exemplos, o que também vale para comportamentos de segurança, como o uso de EPR. Ambos (novatos e experientes) tendem a adotar uma mentalidade de “alto risco/alta recompensa”, na qual acreditam que vale a pena correr os riscos da profissão porque os benefícios os superam. As principais preocupações de saúde para ambos os grupos são lesões, doenças crônicas e estresse, sendo o câncer a principal preocupação para os bombeiros, independentemente do tempo de serviço (SOLLE et al., 2018).

Anderson et al. (2017) afirmam que bombeiros mais experientes demonstram uma mudança positiva nas atitudes em relação às preocupações com a saúde e às práticas de prevenção, como o uso de EPR e descontaminação de EPI. Isso provavelmente foi causado por verem vários colegas mais velhos, que tinham a cultura do bombeiro resistente, serem diagnosticados com câncer. Os novatos demonstram maior consciência do risco de câncer por

terem recebido treinamentos recentes nas academias de bombeiros, onde tendem a generalizar e tratar tudo como tóxico

Carballo-Leyenda et al. (2022) realizaram uma pesquisa por meio de questionários aplicados a 1459 bombeiros florestais da Europa do Sul e da América Latina (Espanha, Itália, Portugal, Argentina, Brasil, Chile, México e outros países latino-americanos). Os autores concluíram que os mais experientes são mais cuidadosos nos movimentos para evitar lesões, o que altera a percepção geral desse risco. Porém, quanto à percepção de risco de câncer por exposição à fumaça, não encontraram diferenças, ambos (novatos e experientes) demonstraram o mesmo nível de preocupação, a mesma percepção, relatando o câncer como a principal preocupação à saúde.

Apesar de, no geral, haver alto nível de informação entre os bombeiros, percebe-se uma grande lacuna entre o conhecimento e o comportamento de segurança e prevenção, bem como na implementação prática de estratégias de prevenção e mitigação de risco, principalmente no que se refere ao uso de EPR (MAGLIO et al., 2016; CARBALLO-LEYENDA et al., 2022). Os principais fatores que influenciam o não uso ou uso incorreto dos EPR são a personalidade do bombeiro, o anseio pelo objetivo, fazendo com que priorizem o resultado do resgate mais do que a segurança, o desconforto dos EPR, e a pressão social dos colegas para não usá-los (MAGLIO et al., 2016).

Essa carência de conhecimento sobre os riscos da exposição à fumaça e sobre a necessidade de proteção respiratória nos incêndios florestais pode ser explicada pelo fato de haver, entre muitos bombeiros, a mentalidade de que o risco nos incêndios florestais é menor do que nos urbanos, por se tratar de ambiente aberto (MIRANDA et al., 2012). Porém, vários autores não confirmam esta premissa, já que os incêndios florestais expõem os bombeiros aos poluentes gerados pela combustão da biomassa, gerando riscos à sua saúde (FABIAN et al., 2014; ADETONA et al., 2016; MAYER et al., 2022).

Bel-Latour e Granié (2022), em um estudo com bombeiros franceses, investigaram a influência da masculinidade percebida da profissão sobre a adoção de comportamentos de risco. Observaram que bombeiros mais jovens apresentavam maior frequência de comportamentos de risco e discutiram que os processos de socialização no ambiente profissional podem contribuir para o reforço de normas e comportamentos associados à masculinidade, influenciando a maneira como os profissionais lidam com situações de risco. Nesse contexto, a valorização de comportamentos associados à masculinidade no ambiente de trabalho pode favorecer a adoção

de condutas de maior risco e menor atenção às práticas de prevenção e segurança (BEL-LATOUR e GRANIÉ (2022)).

O Quadro 1 resume dados de pesquisas sobre percepção de riscos à saúde entre bombeiros de diversos países. A metodologia empregada em todas foi a mesma, entrevista com aplicação de questionário.

Quadro 1 - Literatura identificada com objetivo de verificar o nível de percepção de riscos à saúde de bombeiros.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
Sadler et al. (2007). Austrália.	Investigar como dois diferentes cenários (incêndios florestais com fogo descrito como contido e outro em progresso), influenciam a percepção de risco entre bombeiros, comparando bombeiros experientes e voluntários.	As condições do incêndio eram idênticas nas duas situações. No entanto, a maneira como o cenário foi descrito influenciou significativamente a percepção dos bombeiros novatos, que avaliaram o fogo contido como significativamente menos arriscado do que o fogo em progresso. Os experientes não apresentaram diferença significativa em suas avaliações de risco, demonstrando que sua percepção de risco é mais estável e menos influenciável.
Martin et al. (2009). EUA.	Analisar como percepções de risco influenciam comportamentos preventivos em incêndios florestais de moradores de áreas próximas aos incêndios. Foram consideradas variáveis como experiência de ação em incêndios, conhecimento subjetivo sobre o risco, autoeficácia, noção das responsabilidades e se reside em tempo integral ou sazonal no local.	O conhecimento subjetivo e a noção de responsabilidade afetam indiretamente as ações de mitigação, ao passo que a autoeficácia e o status de residente em tempo integral exercem influência direta sobre essas atitudes preventivas. Ao contrário do que se imagina, a experiência direta com incêndios não demonstrou impacto significativo, possivelmente devido à cultura de que os incêndios são inevitáveis.
Jahnke et al. (2012). EUA	Verificar as principais preocupações de saúde num grupo com total de 332 bombeiros e gestores de 28 corporações do país.	As principais preocupações são câncer, doenças cardiovasculares, baixa aptidão física, alimentação inadequada, distúrbios do sono, sofrimento psíquico e lesões ocupacionais, demonstrando que bombeiros têm percepção sobre o risco de câncer por exposições a poluentes em suas atividades ocupacionais. O estudo demonstra que muitos bombeiros têm a percepção que terão suas vidas encurtadas em razão da profissão e relatam dificuldades para aderir às boas práticas de saúde e prevenção.
Prati et al. (2013). Itália	Analisar como fatores como experiência, treinamento e estresse agudo influenciam na percepção de risco em diferentes tipos de emergência em 1.324 bombeiros da Alemanha e da Itália.	Bombeiros italianos demonstraram maior percepção de risco a desastres, como terremotos, inundações, provavelmente por estarem mais expostos a esse tipo de emergência. Isto demonstra que fatores culturais e organizacionais influenciam na percepção de risco. Identificaram também que o estresse psicológico tem papel importante na elevação da percepção de risco.
Banes (2014). EUA.	Analisar como aspectos da cultura institucional e de grupo do corpo de bombeiros influenciam	A cultura da bravura e resistência à vulnerabilidade gera uma resistência em abandonar uma tarefa, mesmo sentindo sintomas agudos. Isso faz com que muitos bombeiros ignorem sinais

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
	diretamente o comportamento dos profissionais em relação à adoção de práticas saudáveis e uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPI) e respiratória (EPR), gerando uma resistência destes equipamentos de proteção.	precoces de doenças ou evitem usar o EPR corretamente, mesmo em ambientes perigosos. Geralmente, percebem-se pressão e coesão de grupo. Muitos bombeiros, principalmente os mais jovens, não se veem vulneráveis, o que reduz o uso de EPI e EPR. A cultura de habituação às atividades normaliza o risco, que deixa de ser percebido como relevante. Portanto, a pressão social, a valorização do heroísmo, a falta de incentivo formal e a subestimação dos riscos são barreiras reais ao comportamento seguro nas rotinas dos corpos de bombeiros.
Garzón et al. (2015). Equador.	Analisaram a percepção de riscos ocupacionais de 205 bombeiros na cidade de Quito e identificar os fatores que definem a percepção de risco, verificando se há homogeneidade ou heterogeneidade na percepção e quais variáveis pessoais mais influenciam, como nível de escolaridade, idade, tempo de serviço etc.	Os atributos com impactos mais significativos identificados foram as consequências de longo prazo e vulnerabilidade pessoal. Isso indica que os bombeiros que percebem risco à sua saúde no longo prazo e que se sentem mais vulneráveis têm maior percepção geral do risco. 63% apresentaram alta percepção de risco e 37% baixa. A única variável sociodemográfica estatisticamente associada à percepção de risco foi o nível de escolaridade. Bombeiros com ensino superior apresentaram percepção de risco mais elevada e quanto maior o nível de escolaridade, maior a percepção do risco. Não houve associação estatisticamente significativa para idade, tempo de serviço, cargo, estado civil e gênero. As conclusões são que a percepção de risco entre bombeiros é multidimensional, não baseada apenas na probabilidade de consequência, e não é homogênea, havendo um grupo com percepção significativamente mais baixa, sendo a escolaridade o principal fator de influência.
Maglio et al. (2016). EUA.	Verificar os fatores que influenciam as decisões relação ao uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e de equipamentos de proteção respiratória (EPR), aparelho de respiração autônomo num grupo de 123 bombeiros de 12 corporações do país	Identificaram que o uso de EPR é influenciado por fatores além do conhecimento técnico, como a identidade profissional e pressões sociais e culturais nas equipes. A maioria dos bombeiros não os utiliza para manter a imagem de corajoso, porque priorizam o bom resultado da ocorrência em detrimento da segurança e porque alegam desconforto.
Anderson et al. (2017). EUA.	Observar rotinas, atitudes, comportamentos e ambiente físico de bombeiros por um período de 150 horas em 15 quartéis no sul da Flórida para analisar sua percepção os riscos de câncer associados à profissão.	Bombeiros reconhecem os riscos de câncer e, embora haja resistência à mudança, principalmente entre os mais antigos, há indícios de transformação cultural. O entendimento desses fatores é essencial para projetar intervenções eficazes de promoção à saúde na profissão.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
Solle et al. (2018). EUA.	Analisar as percepções de risco à saúde, principalmente risco de câncer, num grupo de 57 bombeiros em início de sua carreira no sul da Flórida (sem experiência) e compararam com percepções de bombeiros experientes.	Ambos reconhecem a profissão como de alto risco, alta recompensa, mas os novatos focam mais em riscos imediatos, como lesões e estresse, enquanto os experientes se preocupam mais com doenças crônicas e câncer. Apesar dessas diferenças, o câncer foi identificado por todos os entrevistados como o principal risco ocupacional, devido à exposição a agentes carcinogênicos liberados pelos incêndios, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, benzeno e compostos orgânicos voláteis.
Broyles et al. (2019). EUA.	Analisar a percepção de risco quanto a ruído e uso de equipamentos de proteção entre bombeiros militares florestais.	A maioria dos bombeiros identificou corretamente quando estavam em ambientes com alto nível de ruído, mas apenas 65% relataram usar algum tipo de proteção auditiva, enquanto 23% não usavam nenhum tipo de EPI e 13% não responderam. Foi percebida percepção ao risco, mas isso não garante ação preventiva adequada. Somente 19% receberam treinamento adequado. O baixo índice de capacitação formal contribui para negligência no uso ou uso incorreto de equipamentos de proteção, reforçando a necessidade de políticas institucionais permanentes e educativas. A conclusão é de que o conforto, a facilidade de comunicação e interferência na execução das tarefas dos equipamentos influenciam mais do que a consciência sobre os riscos.
Fiestas et al. (2020). Espanha.	Analisaram a percepção de risco entre bombeiros de quatro países de língua espanhola, considerando os fatores que influenciam o nível de percepção de risco, e as diferenças entre bombeiros voluntários e profissionais. A amostra engloba 690 bombeiros, 354 profissionais, da Espanha e do Equador e 336 voluntários, da Argentina e do Chile.	Os bombeiros profissionais (experientes) apresentaram níveis mais altos de percepção de risco. Os voluntários mostraram nível significativamente menor, o que pode indicar maior aceitação ou desconhecimento do risco. A percepção de risco não depende apenas do conhecimento técnico, mas também de como o bombeiro avalia os efeitos a longo prazo e a própria vulnerabilidade. Programas de treinamento devem enfatizar efeitos crônicos da exposição. Não houve diferenças significativas entre as nacionalidades.
Millet (2020). EUA.	Investigou a percepção sobre riscos ocupacionais de câncer e identificar quais dados deverem ser coletados em relatórios de exposição ocupacional num grupo de 52 bombeiros especialistas em m salvamento e combate a	Bombeiros se preocupam mais com a exposição contínua a gases e fumaças provenientes de motores de aeronaves em funcionamento próximo às estações do que aos riscos diretos durante os atendimentos e consideram os protocolos atuais de descontaminação dos EPI ineficazes, devido à contaminação ambiental persistente.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
	incêndios em aeroportos de três estações no sul da Flórida.	
Harrison et al. (2022). EUA.	Realizar uma revisão sobre a incidência de câncer em bombeiros, a percepção de risco e esforços de mitigação. O estudo reuniu dados epidemiológicos e qualitativos de diferentes países da Europa, América Latina e Ásia, apesar de a maioria ser dos Estados Unidos.	A maioria dos bombeiros reconhece o risco de câncer, porém essa percepção não é homogênea. Os mais experientes tendem a subestimar o risco ou vê-lo como “inevitável”, enquanto os mais novos mostram maior preocupação. Nos incêndios florestais percebe-se resistência ao uso de máscaras respiratórias por motivos como peso dos equipamentos, calor, desconforto, restrições operacionais e cultura organizacional, que enxerga equipamentos de proteção individual sujos como sinal de bravura. Nos incêndios estruturais, percebe-se que não são realizadas práticas de descontaminação dos EPI e as máscaras são retiradas antes da hora.
Louzado-Feliciano et al. (2022). República Dominicana.	Investigar as percepções de 37 bombeiros de três corporações diferentes sobre o risco ocupacional de câncer e suas atitudes em relação às práticas de prevenção.	Os bombeiros têm percepção do alto risco ocupacional de desenvolver câncer devido à exposição frequente à fumaça e reconhecem que há escassez de equipamentos de proteção respiratória e que, mesmo assim, as práticas e comportamentos de prevenção são dificultados por barreiras culturais. Os autores sugerem investimentos em políticas institucionais com foco na saúde ocupacional destes profissionais.
Eun Oh et al. (2022). Coréia do Sul.	Analisar a percepção do risco de exposição a poluentes em incêndios e as crenças de saúde em estudo transversal com 1940 bombeiros da capital do país, Seul.	Bombeiros com maior percepção de susceptibilidade apresentaram maior consciência dos riscos de exposição primária (na cena do incêndio), secundária (por meio de EPI contaminados) e terciária (por contaminação ambiental nos quartéis). Já aqueles que apresentaram desconhecimento dos procedimentos de saúde, desinteresse por doenças ocupacionais e dificuldade em realizar exames de função pulmonar demonstraram menor consciência dos riscos de exposição a poluentes emitidos pelos incêndios.
Latour & Granié (2022). França.	Investigar como a percepção de masculinidade associada à profissão influencia comportamentos de risco no trabalho, avaliando a percepção de risco e o comportamento num grupo de 501 bombeiros.	Bombeiros que percebem suas atividades como mais masculinas tendem a apresentar comportamentos mais arriscados em suas atividades ocupacionais de combate a incêndio e bombeiros profissionais mais jovens apresentaram maior frequência de comportamentos arriscados, em comparação com bombeiros mais experientes.
Carballo-Leyenda, et al. (2022). Espanha.	Verificar a percepção sobre estresse e esforço térmicos e as estratégias de mitigação no combate a incêndios florestais, por meio de um	A maioria dos bombeiros, cerca de 90%, reconhece o esforço térmico como um risco significativo à saúde e segurança. No entanto, práticas efetivas de mitigação, como a aclimação ao calor, não são adotadas, sendo preferidas estratégias mais simples, como ciclos de descanso e hidratação.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
	estudo com 1.459 bombeiros de diferentes países (Espanha, Itália, Portugal, Argentina, Brasil, Chile e México).	
Lozano & García (2023). Espanha.	Realizar um estudo de revisão com artigos publicados entre 2013 e 2022, analisando os principais riscos ocupacionais das atividades de bombeiros, considerando fatores físicos (ruído e calor), químicos (poluentes emitidos na combustão), mecânicos (quedas, acidentes) e psicossociais, (estresse, fadiga física e mental) e como a percepção de risco e as estratégias de gestão institucional contribuem para a prevenção.	No geral, foi identificada baixa percepção de risco entre os bombeiros, principalmente entre os voluntários e isto afeta diretamente a saúde e o desempenho destes profissionais.
Pendergrast et al. (2023). Austrália.	Verificar a percepção de bombeiros urbanos do estado da Austrália do Sul sobre riscos respiratórios inerentes à profissão, por exposição a fumaça e agentes tóxicos e prevenção à saúde pulmonar.	A maioria demonstra ter a percepção de que as exposições são inevitáveis, mesmo utilizando EPI, e que os bombeiros, em geral, demonstram preocupação com o assunto e anseiam por programas com ações para garantir proteção respiratória e prevenção ao câncer.
Wolffe et al. (2023). Reino Unido.	Analisar, num grupo de 10.649 bombeiros do país, como crenças culturais e a falta de treinamento contribuem para práticas que aumentam a exposição ocupacional a contaminantes.	Bombeiros sem treinamento formal tem maior probabilidade de não higienizar corretamente e armazenar limpos seus equipamentos de proteção individual (EPI), permanecendo longos períodos com vestimentas contaminadas. A crença que manter os EPI sujos representa prestígio foi mais comum entre os mais experientes e os de cargos de chefia. Isso indica que práticas culturais podem dificultar ações de prevenção baseadas apenas em treinamento.
Fialho et al. (2024). Portugal.	Analisar percepção de risco de bombeiros e fatores que a afetam, como comportamento de segurança e uso de EPI e EPR.	A média de percepção de risco geral foi alta, 8,61, numa escala de 1 a 10, o que demonstra alta consciência de risco na atividade. O estudo demonstra uma alta percepção de risco quanto a inalação de agentes químicos. A principal preocupação foi com doenças causadas pela inalação de partículas e produtos da combustão. Porém, mesmo com consciência do risco respiratório, muitos bombeiros não usam o EPR constantemente. Bombeiros mais jovens focam nos riscos imediatos, enquanto os mais experientes se preocupam mais com efeitos de longo prazo.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
		Bombeiros novatos, com menos de 5 anos de serviço, demonstraram menor percepção de risco ($p < 0,05$) e relataram mais incômodo no uso de EPI e os que tiveram mais horas de treinamento demonstraram mais adesão ao uso, evidenciando que o treinamento contínuo melhora o uso de EPI/EPR, principalmente entre os que sentem desconforto ou resistência inicial. Maior tempo de treinamento está associado a maior percepção de risco e maior adesão aos comportamentos seguros. Fatores emocionais, tempo de serviço, treinamento e cultura institucional influenciam na percepção e no comportamento.
Glasgow et al. (2024). EUA.	Analisar comportamentos de estilo de vida e a percepção sobre risco de câncer em 171 bombeiros da cidade de Richmond, no estado da Virgínia.	82% concordaram com a ideia “tudo parece causar câncer”, 63% com “há muitas recomendações diferentes, difícil saber o que seguir” e 16% com “não há muito o que se possa fazer para reduzir o risco de câncer”. Bombeiros com ensino superior foram mais propensos a ter sono adequado e crenças menos fatalistas sobre câncer. Os que se autodeclararam negros ou outra raça tiveram menos sono adequado, mas menor adesão a crenças fatalistas. Os com mais estresse percebido relataram pior qualidade de sono e menor adesão a exames de câncer de próstata. Bombeiros com mais de 40 anos se preocupam mais com risco de câncer. Fatores como idade, raça, escolaridade e estresse interferem diretamente na saúde, nas crenças e nas ações preventivas dos bombeiros. A cultura organizacional influencia o que os bombeiros priorizam como risco, muitas vezes dando menos valor à exposição à fumaça e mais a questões de estilo de vida. A maioria demonstrou maior preocupação com intervenções sobre sono, saúde mental e equilíbrio vida e trabalho do que com as ações voltadas aos riscos das exposições ocupacionais.
McClanahan et al. (2024). EUA.	Analisar as percepções sobre o risco de câncer e a influência da alimentação na prevenção num grupo de 471 bombeiros.	Cerca de 16% relataram já ter tido algum tipo de câncer, onde os de pele foram os mais comuns. Muitos bombeiros reconhecem que tem alto risco de desenvolver câncer e que uma alimentação saudável pode reduzi-lo. Há preocupação destes profissionais com a falta de informação e com dificuldades de colocar em prática as mudanças alimentares na rotina profissional.
Zadunayski et al. (2024). Canadá.	Analisar a percepção de risco de bombeiros florestais quanto a exposição à fumaça e o uso voluntário de máscaras de proteção respiratória e investigar quais condições os fazem optar por usar, se a percepção de intensidade da fumaça se	A percepção quanto a intensidade da fumaça se correlacionou bem com os níveis de exposição medidos. No entanto, essa percepção não resultou em maior uso de máscaras, que ocorreu em menos de 30% dos períodos de trabalho. As tarefas com níveis mais altos de exposição foram ataque inicial, combate prolongado do fogo e queima prescrita. O uso de máscara foi mais

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Resultados
	correlaciona com a real exposição, que foi mensurada por meio de material particulado tamanho inferior a 2,5 micrômetros (MP _{2,5}) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos policíclicos (HPA) e se o uso da máscara realmente os protegeu da exposição, medindo nos níveis de 1-hidroxipireno urinário, marcador de absorção de HPA.	identificado em tarefas como ataque inicial e rescaldo, mas sua eficácia na redução de HPA ocorreu apenas nas situações de alta concentração de particulados.
Filiberti et al. (2025). EUA.	Realizar uma revisão, baseada em literatura científica, em dados de órgãos do governo dos EUA e do Canadá, como o serviço florestal dos EUA, a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA), em comunicação com bombeiros florestais para identificar as condições de trabalho de bombeiros florestais norte-americanos e analisar os riscos por exposição à fumaça, bem como a não existência de diretrizes obrigatórias para o uso de máscaras para proteção respiratória.	A conclusão é que, apesar de estudos recentes demonstrarem que a exposição prolongada à fumaça por bombeiros florestais representa um risco significativo à sua saúde e que o uso de equipamentos como máscaras ou respiradores podem reduzir significativamente os efeitos adversos, os protocolos atuais ainda não exigem seu uso por motivo de preocupações com conforto e desempenho físico.
Silva et al. (2025). Brasil.	Avaliar a percepção de risco à saúde e os efeitos da exposição ocupacional à fumaça de incêndios florestais em bombeiros militares de Belo Horizonte, Minas Gerais, por meio de aplicação de um questionário	92% dos entrevistados julgaram necessário o uso máscara de proteção respiratória nas atividades de combate a incêndios florestais e o desenvolvimento de uma específica para estas atividades. 94,50% dos bombeiros afirmaram que a atividade de combate a incêndios florestais apresenta riscos à saúde, o que demonstra percepção individual de risco à saúde em relação aos impactos da fumaça e 90% relataram receptividade em relação à implementação de novos equipamentos de proteção respiratória no futuro.

3. Produtos gerados por incêndios florestais

O produto da queima dos incêndios florestais é uma mistura complexa, constituída por centenas de compostos em forma de partículas, gases, vapores e fumaça, de composição variável conforme as condições da combustão e as características dos combustíveis (ADETONA et al., 2016).

Aerossol ou aerodispersoide é um termo bastante amplo, usado para designar uma suspensão de partículas sólidas, líquidas ou gasosas, finamente divididas, dispersas em um gás. O diâmetro dessas partículas pode variar de 0,001 a 100 μm (SOTO et al., 1989; ALVES et al., 2005). Seguem as definições dos principais aerodispersoides gerados por incêndios florestais (SALIBA et al., 2014).

Fumaça: partícula sólida finamente dividida gerada por reação química. Ex: fumaça proveniente do escapamento dos automóveis, decorrente de incêndio florestal ou de fabricação de negro de fumo (combustão incompleta).

Gases: produto que na condição normal de temperatura e pressão (CNTP – 298K e 1ATM) está na forma gasosa. Os gases são definidos como fluidos amorfos que ocupam um espaço ou compartimento e que podem ser alterados para o estado sólido (solidificação) ou líquido (liquefação) apenas pelo efeito combinado do aumento da pressão e diminuição da temperatura. Ex: oxigênio, monóxido de carbono, acroleína, formaldeído.

Vapores: sólido ou líquido de um produto com baixo ponto de ebulição, que devido a temperatura ou pressão evapora, ou seja, passou do estado sólido ou líquido para a forma gasosa do agente químico. Eles podem ser condensados para estes estados apenas pelo aumento da pressão ou diminuição da temperatura. Ex: Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), produtos da queima incompleta de matéria orgânica, que incluem vapores como o naftaleno; cetonas, como acetona, que são vapores liberados na queima de vegetação e materiais ricos em celulose.

A fumaça de incêndios florestais é composta principalmente por CO_2 e vapor de água. O restante da composição consiste numa mistura complexa de centenas de substâncias em fases sólida, líquida e gasosa (REINHARDT & OMAR, 2004). Os principais poluentes emitidos pelos incêndios florestais para a atmosfera são: material particulado (MP), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEx), óxidos de nitrogênio (NO_x), formaldeído e acroleína (MIRANDA et al., 2010; ADETONA et al., 2016; GILL et al., 2019). Os componentes que

merecem maior preocupação são os materiais particulados com partículas finas, benzeno, acroleína e formaldeído (ADETONA et al., 2016).

A composição da fumaça e, por consequência, sua toxicidade podem variar muito a depender dos materiais combustíveis e das condições de queima, como a umidade do combustível, a temperatura e as condições do vento. A exposição humana ocorre simultaneamente a uma combinação complexa de vários poluentes, mas a avaliação de risco convencional leva em conta apenas os impactos de cada um sobre a saúde, isoladamente. Estudos investigando possíveis interações são escassos, porque são difíceis de serem realizados, por serem mais complexos, por falta de métodos para identificar interações importantes e diminuir as incertezas e por terem custos altos (LOGUE et al., 2010; MACSWEEN et al., 2019).

3.1 Material particulado

O material particulado (MP) é constituído por uma mistura de partículas e gotículas líquidas de metais, ácidos, solo ou poeiras suspensas no ar, sendo classificado pelo diâmetro de suas partículas, como MP_{2,5} (material particulado com partículas com diâmetro aerodinâmico < 2,5 µm), MP₄ (< 4 µm) e MP₁₀ (< 10 µm). O MP_{2,5}, partículas finas, que podem penetrar profundamente no trato respiratório, afetando os pulmões e o sistema cardiovascular e também podem chegar à corrente sanguínea (LIU et al., 2015). Segundo o inventário nacional de emissões da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), os incêndios florestais são a maior fonte de emissões de MP_{2,5} nos EUA, sendo responsáveis por 29% das emissões totais, acima das fontes de transporte, que contribuem com 9,2% das emissões (ADETONA et al., 2016).

MP é considerado o melhor indicador único para riscos à saúde causados por combustão de biomassa (ADETONA et al. 2016; NAEHER et al., 2007), e vários estudos demonstram que há uma associação entre exposição ao MP e diversos problemas de saúde, como doenças respiratórias e cardiovasculares, hospitalizações, câncer e até mortalidade (KOLLANUS et al., 2016; ADETONA et al., 2016; NAVARRO et al., 2019).

A composição química do MP da fumaça de incêndios florestais depende do tipo de biomassa queimada e das condições de combustão e, por isso, pode variar bastante. As fases do ciclo e a temperatura da combustão geram partículas com grandes diferenças nos aspectos físico-químicos e no potencial inflamatório (JALAVA et al, 2010; BOOLLING et al, 2012). Os principais constituintes são compostos orgânicos como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

(HPA), aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos (ALVES et al., 2010), carbono elementar (fuligem), que pode causar danos aos pulmões e que também tem um alto potencial de absorver a luz solar e, assim, contribui para o aquecimento global (ALVES et al., 2010) e metais pesados, como chumbo, cádmio e mercúrio (AHMED et al., 2016). Partículas oriundas da queima de biomassa vegetal são carbonáceas, constituídas por pelo menos 50% de carbono orgânico em peso (ADETONA et al., 2016).

O MP gerado por incêndios florestais mais comumente identificado são $MP_{2,5}$ e MP_{10} , sendo cerca de 80 a 90% está dentro da faixa de partículas finas ($MP_{2,5}$), com alto teor de carbono (YOUSSOUF et al., 2014). Em muitas pesquisas, os autores utilizaram as concentrações de MP_4 para estimar as de $MP_{2,5}$, considerando que a maior parte das partículas de até 4 μm é constituída por partículas finas de $MP_{2,5}$ e que a quantidade de partículas maiores entre 2,5 μm e 4 μm é muito pequena, sendo a maior parte do MP constituída por partículas de tamanho muito pequeno, próximas de 0,3 μm (NAVARRO et al., 2019). Há evidências científicas de um aumento do risco de eventos cardiovasculares, como ataques cardíacos, devido à inflamação e ao estresse oxidativo causados por partículas presentes na fumaça (US EPA, 2024; GOULD et al., 2024).

O Quadro 2 resume dados de pesquisas sobre exposição ocupacional a material particulado proveniente da fumaça de incêndios florestais entre bombeiros de diversos países

Quadro 2 - Pesquisas sobre exposição ocupacional a material particulado oriundo de fumaça de incêndios florestais para bombeiros de diversos países

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Metodologia (Forma de coletas)	Resultados
Booze et al. (2004). EUA.	Avaliar a exposição dos bombeiros florestais à fumaça no oeste dos Estados Unidos.	Amostragem ativa pessoal com bombas portáteis em incêndios florestais reais e em queimadas prescritas.	Concentrações médias em queimadas prescritas e em incêndios reais para MP _{3,5} foram de 1,0 mg/m ³ e 0,72 mg/m ³ , respectivamente
Leonard et al. (2007). EUA.	Investigar a geração de radicais livres na fumaça de incêndios florestais e sua influência sobre a toxicidade para bombeiros florestais.	Amostradores ativos fixos num grande incêndio real, chamado Boundary Fire, ocorrido entre julho e setembro de 2004 em Fox, no Alasca.	O tamanho das partículas influencia nos riscos. As concentrações variaram entre 0,75 a 1,3 mg/m ³ , sendo 20,2% ultrafinas, 43,8% finas (0,42–2,4 µm) e 36,1% grossas.
Reisen & Brown (2009). Austrália.	Avaliaram a exposição de bombeiros à MP ₄ em incêndios florestais.	Amostradores ativos fixos em queimadas prescritas.	A concentração média de MP ₄ foi de 1,0 mg/m ³ , com picos de até 110 mg/m ³ em períodos curtos. 7% das amostras excederam o limite de exposição ocupacional (LEO) australiano, que é de 3 mg/m ³ .
Soares Neto et al. (2009). Brasil.	Quantificar a biomassa antes e após uma queima controlada numa área de 4 hectares na Amazônia e determinar os fatores de emissão dos principais gases gerados (CO ₂ , CO, CH ₄ , hidrocarbonetos e MP _{2,5}) ao nível do solo	Amostrador ativo fixo em queima controlada.	As concentrações de MP _{2,5} aumentaram, em média, 5,97 mg/m ³ na fase de chamas, 14,32 mg/m ³ na fase intermediária e 4,48 mg/m ³ na fase de brasas.
Alves et al. (2010). Portugal.	Avaliar a emissão e a composição orgânica de MP _{2,5} e MP ₁₀ provenientes de incêndios florestais.	Amostrador ativo fixo em queimadas controladas.	Concentrações de MP _{2,5} variaram de 0,6 a 12,5 mg/m ³ e de MP ₁₀ de 0,22 a 1,14 mg/m ³ .
Miranda et al. (2010). Portugal.	Avaliar a exposição dos bombeiros a CO, NO ₂ , COV e MP _{2,5} em incêndios florestais.	Amostragem ativa pessoal com bombas portáteis em queimadas prescritas	Concentrações médias de MP _{2,5} abaixo do limite de exposição LEO, porém com altas concentrações instantâneas, próximos a 18 mg/m ³ durante ataques diretos.

Citação (Autor/Ano/ país)	Objetivos	Metodologia (Forma de coletas)	Resultados
Reisen et al. (2011). Austrália.	Monitorar a exposição de bombeiros a CO, MP ₄ e formaldeído de incêndios florestais.	Amostragem ativa com bombas portáteis para CO e formaldeído e um fotômetro portátil, que realiza monitoramento direto em tempo real para MP ₄ em 27 queimadas prescritas e em 2 incêndios reais.	As concentrações medidas de MP ₄ variaram entre 0,02 a 16,6 mg/m ³ e 7% das amostras excederam o limite de exposição ocupacional de 3 mg/m ³ .
Youssof et al. (2014). França.	Avaliar os efeitos da fumaça de incêndios florestais à saúde da comunidade em geral e bombeiros, correlacionando partículas de MP _{2,5} e MP ₁₀ a aumentos em visitas a emergências e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares.	Revisão sistemática.	Poucas relações de mortalidade devido à exposição à fumaça foram observadas. Na Malásia, níveis de MP ₁₀ ultrapassaram 0,21 mg/m ³ em episódios de incêndio e num incêndio na Espanha os níveis de MP _{2,5} foram 75 vezes acima do recomendado pela OMS (0,035 mg/m ³ para MP _{2,5} e 0,15 mg/m ³ para MP ₁₀ para exposição de 24 h e 0,012 mg/m ³ para MP _{2,5} e valores médios de 0,035 mg/m ³ para MP ₁₀ para período de um ano).
Navarro et al. (2019). EUA.	Estimar o risco de câncer de pulmão e a taxa de mortalidade por doenças cardiovasculares para bombeiros florestais com base na exposição a MP _{2,5} e MP ₄ .	Amostragem ativa, com bombas pessoais portáteis em incêndios reais e em queimadas prescritas.	O risco de mortalidade por câncer de pulmão entre os bombeiros variou de 8% a 43%, e o de doenças cardiovasculares, de 16% a 30%. A concentração média de MP ₄ monitorada nas atividades de combate a incêndios florestais foi de 0,51 mg/m ³ , com o maior valor de 0,64 mg/m ³ .

3.2 BTXE

O termo BTXE refere-se um grupo de compostos orgânicos aromáticos voláteis: benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno (Figura 6), constituindo um dos mais importantes componentes da fumaça de incêndios florestais.

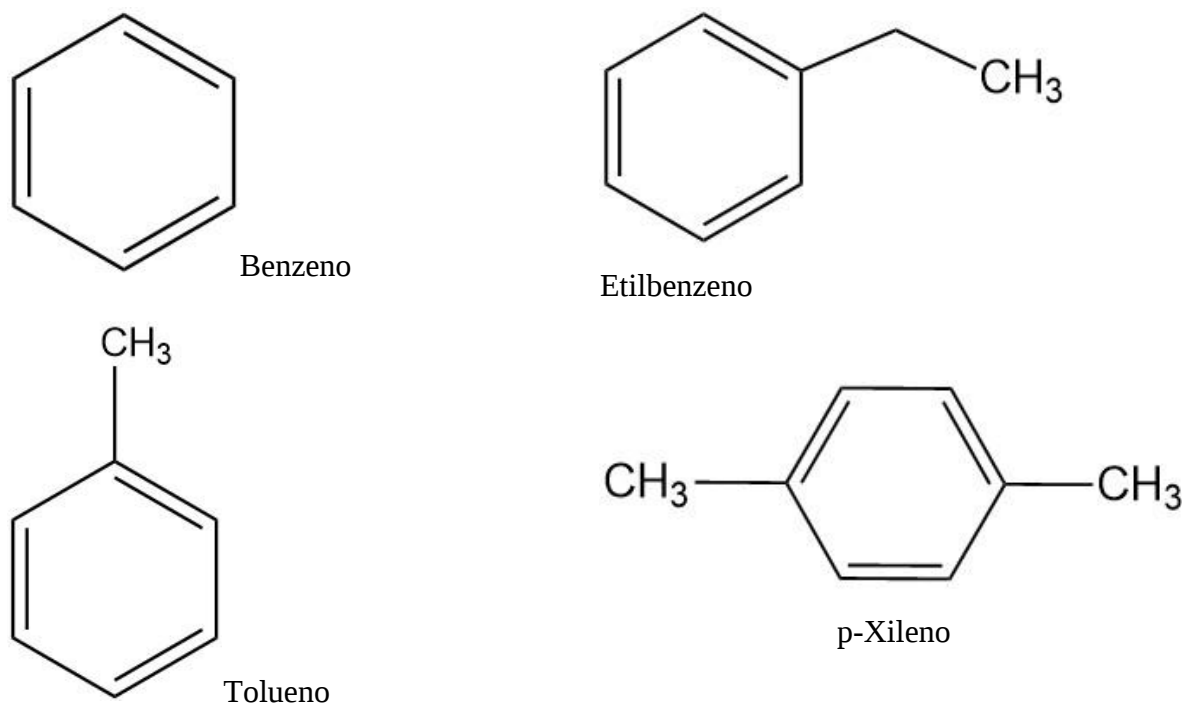


Figura 6. Estrutura química do benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno.

A exposição a BTXE por inalação de fumaça de incêndios florestais representa sérios riscos à saúde para toda a população e, principalmente, para bombeiros e brigadistas, com aumento do risco de câncer para níveis acima do aceitável (ADETONA et al., 2016). O benzeno pode atacar medula óssea e, por isso, aumentar o risco de leucemia, o tolueno pode causar danos à saúde reprodutiva e neurocomportamental, e o xileno danos no sistema nervoso e nos pulmões, irritação nos olhos, nariz e garganta (ADETONA et al., 2016, GOLKHORSHIDI et al., 2019; ALAHABADI et al., 2021). Khalade al. (2010) realizaram uma revisão sistemática sobre benzeno, estimando a relação entre exposição ocupacional e risco de leucemia. Os resultados mostram que a exposição ao benzeno foi associada a um aumento no risco de qualquer tipo de leucemia, especialmente em níveis de exposição acima de 100 ppm.

De acordo com a Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC, 2024), o benzeno pertence ao grupo 1 (carcinogênico para humanos), o etilbenzeno ao grupo 2B

(possível carcinogênico para humanos) e o tolueno e os xilenos ao grupo 3 (sem evidência de carcinogenicidade). Tolueno e xileno também podem causar irritação nos olhos e nas vias respiratórias, falta de ar, dor de cabeça, tonturas e náuseas (AMINI et al., 2017; GOLKHORSHIDI et al., 2019). A inalação de benzeno geralmente causa sintomas agudos como dor de cabeça, tontura, náuseas, confusão e irritação do trato respiratório (BARBONI et al., 2010b; BARBONI et al., 2010c).

Os compostos BTXE geralmente apresentam padrões de emissão agrupados devido à sua presença comum em fontes como emissões de veículos e atividades industriais (LIU et al., 2009). A composição de BTXE pode variar conforme a localização, a época do ano e outras fontes de emissão (LATIF et al., 2019; GARG et al., 2019). A razão tolueno/benzeno (T/B) é amplamente utilizada como indicador de emissões de tráfego (LIU et al., 2009; HAMID et al., 2020). Os incêndios florestais podem ser considerados uma fonte de BTXE no ar, com base também na T/B (GOLKHORSHIDI et al., 2019; LATIF et al., 2019). Uma razão maior que 4,3 indica que os compostos se originaram principalmente de fontes pontuais estacionárias, como incêndios florestais ou queima de biomassa. Grandes quantidades de troncos de árvores permanecem em combustão lenta por longos períodos, emitindo compostos BTXE para o ambiente (TAWFIQ et al., 2015).

Diversos estudos demonstram que o benzeno e o tolueno são os compostos BTXE mais emitidos em incêndios florestais. Barboni et al. (2010b) constataram que o benzeno representava uma parcela significativa dos compostos orgânicos voláteis (COV) totais produzidos em queimadas prescritas na ilha de Córsega, na França, nos anos de 2004, 2005 e 2007. Simms et al. (2021) constataram que o tolueno foi o composto BTXE mais detectado em amostras de ar coletadas durante o Camp Fire, considerado o incêndio florestal mais destrutivo da história da Califórnia até então. A exposição ao benzeno proveniente de incêndios florestais está associada a problemas respiratórios, como asma, diminuição da função pulmonar e aumento do risco de infecções respiratórias (SIMMS et al., 2021).

O benzeno é utilizado em larga escala como solvente industrial e como precursor químico em várias indústrias desde o final do século XIX (CAPLETON e LEVY, 2005). Os primeiros relatos de toxicidade foram documentados em casos de anemia aplástica e efeitos hematológicos graves, o que levou ao surgimento de regulamentações para o composto, que se tornaram mais restritivas ao longo do tempo à medida que sua toxicidade foi mais amplamente conhecida (CAPLETON e LEVY, 2005); GALBRAITH et al., 2010). Na década de 1980, os

xilenos. Os autores afirmam que o Limite de Exposição de Curto Prazo (TLV- STEL), valor que representa a concentração máxima à qual os trabalhadores podem estar expostos por até 15 minutos sem efeitos adversos significativos à saúde, é de 16 mg/m³ (5,01 ppm) para benzeno, 574 mg/m³ (152,31 ppm) para tolueno, 662 mg/m³ (152,45 ppm) para etilbenzeno e 541 mg/m³ (124,59 ppm) para xilenos. Em 4 dos 5 locais monitorados, as concentrações de benzeno estavam próximas ou acima do STEL. O benzeno foi caracterizado pelos autores como um "rastreador de toxicidade" em operações de queimadas prescritas, por ser um importante indicador de toxicidade na fumaça. Tolueno e xileno também foram encontrados em altas concentrações em alguns locais, mas em níveis inferiores aos do benzeno. A variação nas concentrações destes dois compostos foi atribuída a fatores como a densidade da vegetação, as condições climáticas e a intensidade do fogo (BARBONI et al., 2010b).

Barboni et al. (2010b), na França, avaliaram os riscos ocupacionais de bombeiros florestais decorrentes da exposição à fumaça em queimadas prescritas, por meio de coletas com bombas de amostragem pessoais em locais entre 1 e 10 m da frente do fogo. 79 compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, incluindo hidrocarbonetos aromáticos, aldeídos, fenóis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos foram identificados, dentre os quais os 4 do grupo BTXE receberam destaque devido ao seu potencial tóxico e tiveram suas concentrações quantificadas. O benzeno apresentou concentrações elevadas, entre 12 e 54 mg m³ (3,76 a 16,90 ppm), muito superiores aos limites ocupacionais de exposição, em todos os locais avaliados, sendo apontado como um possível indicador da toxicidade da fumaça de queimadas prescritas.

Barboni et al. (2010c), também por meio de bombas de amostragens portáteis fixadas na cintura de bombeiros durante queimadas prescritas na Ilha de Córsega, na França, investigaram as emissões do grupo BTXE, analisando como as concentrações variam em função da fase de combustão e da distância da frente de fogo. As concentrações de BTEX são significativamente mais elevadas nas proximidades das chamas (1 a 10 metros) e durante a fase de brasa, comparada à fase de chamas ativas. A concentração média de BTXE foi de $21 \pm 4,2$ mg/m³ entre 1 e 10 m na fase de chamas, $34 \pm 4,3$ mg/m³ entre 1 e 10 m na fase de brasas e à medida que a distância aumentou para 100 a 150 metros, a média total de BTEX caiu para $0,177 \pm 0,060$ mg/m³. Para o benzeno especificamente, a concentração média na fase de chamas foi de $12 \pm 1,8$ mg/m³ ($3,76 \pm 0,56$ ppm) entre 1 e 10 m, $0,262 \pm 0,041$ mg/m³ ($0,0820 \pm 0,0128$ ppm) entre 30 e 50 m e $0,093 \pm 0,015$ mg/m³ ($0,0291 \pm 0,0047$ ppm) entre 100 e 150 m. Porém, o estudo destaca que a fase de brasa é significativamente mais tóxica do que a fase de chamas

para quase todos os compostos [benzeno Aumenta de 3,76 ppm (chamas) para 5,64 ppm (brasa), tolueno de 1,59 para 2,39 ppm, xilenos de 0,23 para 0,6991 ppm e etilbenzeno de 0,46 para 0,921 ppm]. A concentração de benzeno, que variou de 0,0291 a 5,64 ppm, excedendo o Limite de Exposição de Curto Prazo (TLV-STEL de 16 mg/m³) durante a fase de brasa a curta distância e também o Limite de Exposição ocupacional na média ponderada para 8 horas de trabalho da ACGIH (TLV-TWA), que, segundo (ACGIH, 2024), é de apenas 0,02 ppm.

Barboni et al. (2010a) investigaram a queima de biomassa de cinco espécies mediterrâneas em laboratório para correlacionar a composição química das plantas com a toxicidade da fumaça, focando nos riscos à saúde ocupacional. Foram identificados 71 compostos. Os resultados demonstraram que as espécies com maior teor de lignina, como o *Pinus laricio*, emitem concentrações significativamente mais altas de substâncias perigosas, incluindo o benzeno e fenóis.

Em Portugal, Evtyugina et al. (2013) analisaram as emissões de gases provenientes de incêndios florestais ocorridos em 2010 em florestas do Mediterrâneo. CO e CO₂ representaram 78% e 18% do carbono emitido e benzeno e tolueno representaram 51% das emissões de COV. As concentrações médias foram de 0,09 ppm para benzeno, 0,052 ppm para tolueno, bem acima das concentrações normais no ar em dias sem incêndios (0,00078 ppm para benzeno e 0,00395 ppm para tolueno). Os autores afirmam que incêndios em florestas mediterrâneas emitem mais COV do que outros biomas, como florestas tropicais e savanas, devido à composição específica da vegetação, e que esses COV contribuem para a formação de ozônio e aerossóis na troposfera, impactando o clima e a saúde.

Na Malásia, Tawfiq et al. (2015) analisaram as emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e BTXE de incêndios florestais, realizando queimas prescritas em áreas com as dez espécies mais comuns nas florestas tropicais. Os resultados mostraram que a umidade do combustível exerce grande influência sobre a eficiência da combustão e as emissões. Biomassa mais úmida emite mais CO, por gerar uma combustão menos eficiente. A proporção CO/CO₂ aumenta com a umidade, o que reflete o impacto da água na queima incompleta. As maiores emissões de BTXE ocorreram na fase de queima lenta, sugerindo que a combustão incompleta favorece a liberação de compostos orgânicos voláteis.

Na Noruega, Rosting & Olsen (2020) analisaram a exposição de 9 bombeiros ao benzeno e ao tolueno, monitorando esses compostos no ar em um incêndio experimental, bem como seus metabólitos na urina logo após o incêndio: ácido s-fenilmercaptúrico (SPMA),

metabólito do benzeno (Figura 7), e ácido s-benzilmercaptúrico, metabólito do tolueno. As concentrações médias no incêndio foram de 15,5 ppm de benzeno e 3,2 ppm de tolueno, ultrapassando o limite de exposição ocupacional em muitos casos. O SPMA foi detectado em todas as amostras de urina coletadas três horas após o exercício, com mediana de 0,6 µg/g de creatinina, indicando exposição dos bombeiros ao benzeno. Os valores de ácido s-benzilmercaptúrico encontrados são equivalentes aos observados em pessoas sem exposição ocupacional ao tolueno, sugerindo que a exposição ao tolueno durante o experimento pode não ser a principal fonte desse metabólito. Os autores concluem que a exposição prolongada e repetida ao benzeno pode levar a efeitos cumulativos, que aumentam o risco de doenças, incluindo câncer, e reforçam a importância de limites rígidos de exposição ocupacional para bombeiros.

Nos EUA, Karl et al. (2007) investigaram as emissões de COV de incêndios em florestas tropicais, realizando experimentos de queima controlada de madeira em laboratório. Os compostos identificados foram: formaldeído (0,0045 ppm); acroleína (0,0021 ppm); xilenos (0,0003 ppm); metanol (0,0125 ppm); acetaldeído (0,0043 ppm); ácido acético (0,0078 ppm); isopreno (0,0008); fenol (0,0013).

Wallace et al. (2019), também nos EUA, analisaram a exposição ocupacional de bombeiros a COV (benzeno, tolueno, etilbenzeno, m,p-xileno, o-xileno e estireno) e a resposta de biomarcadores por meio da análise do ar exalado. O objetivo foi avaliar a exposição em níveis grupais e individuais, identificando possíveis vulnerabilidades ou falhas nos EPI. O experimento consistiu na queima de uma estrutura de madeira, semelhante a uma residência, com mobiliário doméstico como combustível, para simular condições reais de incêndio. Foram realizadas 12 queimadas controladas, em dias distintos. No total, 41 bombeiros participaram, distribuídos em diferentes funções operacionais. As medições de COV no ar exalado dos bombeiros foram realizadas antes, imediatamente após e uma hora após as queimadas controladas. Os resultados mostraram um aumento significativo de benzeno no ar exalado após a exposição, principalmente entre os bombeiros que atuaram nas funções de combate direto ao fogo e de busca e resgate. No entanto, após uma hora, as concentrações do composto voltaram ao valor basal. Embora os EPI tenham protegido contra compostos de menor concentração ambiental, como etilbenzeno, houve absorção de benzeno, que estava presente em níveis mais altos. As áreas de contato com a pele, principalmente ao redor do pescoço, que geralmente ficam desprotegidas, podem ter contribuído para a exposição dérmica. O estudo concluiu que

os bombeiros são expostos a COV, mesmo utilizando equipamentos de proteção respiratória e dérmica, e que a absorção dérmica, embora mais lenta, pode ser uma rota relevante para compostos como o benzeno, principalmente em áreas de menor proteção, como o pescoço.

Também nos EUA, Mayer et al. (2022) analisaram a exposição de 24 bombeiros a compostos presentes na fumaça de um incêndio controlado e testaram 3 tipos de EPI. Realizaram amostragem de ar do lado de fora e do lado de dentro do EPI (capuz de malha, jaqueta e calças) para medir benzeno, tolueno e naftaleno. As concentrações de benzeno no ar exalado aumentaram significativamente do período pré-incêndio ao pós-incêndio, mesmo com os bombeiros usando máscaras de ar autônomas. A eficácia dos capuzes bloqueadores de partículas e das jaquetas lavadas não diferiu significativamente em relação à dos equipamentos novos.

3.3 Acroleína e formaldeído

A acroleína (Figura 8) é um aldeído insaturado, irritante respiratório em baixas concentrações, e um dos compostos mais frequentemente detectados na fumaça de incêndios florestais. Tem sido relatada em níveis acima dos limites de exposição ocupacional em diversos estudos e é classificada como provável carcinógeno humano (ADETONA et al., 2016). A exposição a baixas concentrações pode causar sintomas respiratórios, irritação nos olhos, no nariz e em todo o trato respiratório e, em concentrações maiores, lesão pulmonar e doenças respiratórias, como a asma (WOODRUFF et al., 2007; BEIN & LEIKAUF, 2011). A exposição à acroleína também pode aumentar o risco de doenças cardíacas (ROY et al., 2010; CONKLIN et al., 2016).

A acroleína interfere na resposta imunológica, reduzindo a capacidade de fagocitose dos macrófagos e afetando a eliminação de patógenos nos pulmões. Ela também desencadeia o acúmulo de mucina (MUC5AC), aumentando a produção de muco e a inflamação das vias aéreas. A exposição crônica à acroleína leva ao desequilíbrio protease-antiprotease no tecido pulmonar, promovendo um processo de degradação que se manifesta em doenças obstrutivas crônicas.

Nos EUA, Woodruff et al. (2007) estimaram o risco de efeitos adversos não cancerígenos da acroleína, utilizando um modelo dose-resposta de um estudo em ratos que avaliou a relação entre a substância e marcadores de função pulmonar, como a relação volume residual/capacidade pulmonar total (VR/CPT) e a conformidade específica (CE), que é uma

medida que avalia a flexibilidade com que os pulmões se expandem e se contraem em resposta a mudanças de pressão, ajustada para o volume pulmonar dos indivíduos. Os resultados mostraram que a exposição à acroleína pode estar associada a um aumento de aproximadamente 2,5 casos de alteração em CE para cada 1.000 pessoas nos Estados Unidos. Reduções na CE indicam que o tecido pulmonar perdeu elasticidade ou sofreu danos, o que torna a respiração mais difícil. VR/CPT, de cerca de 0,002 casos para cada 1.000 pessoas.

O formaldeído (Figura 8) é um gás inflamável, incolor, de odor forte, muito reativo e facilmente polimerizável. Assim como a acroleína, é uma substância irritante para os olhos, o nariz, a garganta e todo o trato respiratório mesmo em baixas concentrações. Isso ocorre devido ao seu efeito quimiossensorial, à interação com terminações nervosas locais, também conhecido como irritação sensorial. Esta irritação causa sintomas como tosse, lacrimejamento, espirros, excesso de muco nasal, vasodilatação e alteração da taxa respiratória, acarretando diminuição do volume de ar inalado, o que é um mecanismo de defesa do organismo para proteger o indivíduo (ARTS et al., 2006a). O formaldeído gerado por incêndios florestais tem impactos diretos na qualidade do ar urbano e na poluição atmosférica. Em áreas metropolitanas como Pequim, os níveis de formaldeído podem atingir até 0,04 a 0,05 ppm (SALTHAMMER, 2013).

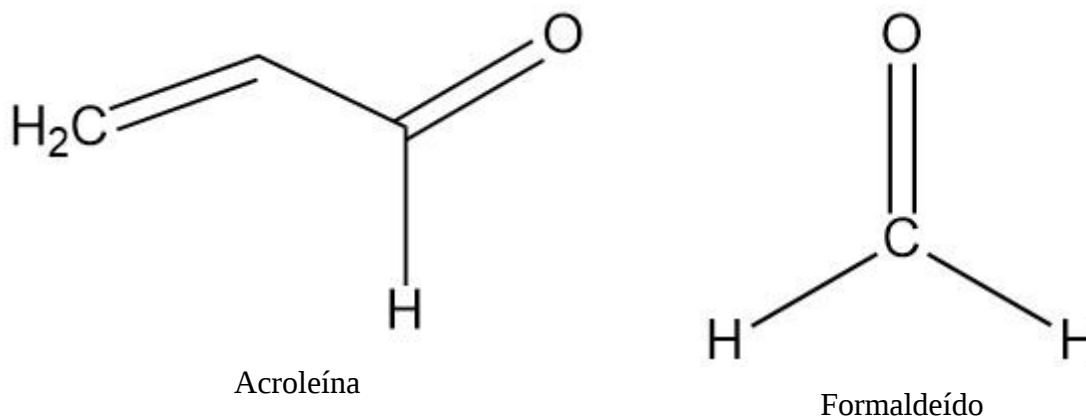


Figura 8. Estrutura química da acroleína e do formaldeído.

Na Holanda, Arts et al. (2006b) investigaram os riscos de inalação de formaldeído, principalmente a irritação dos olhos e do trato respiratório superior, bem como a possível associação entre a inalação de formaldeído e o desenvolvimento de tumores. Baixas concentrações de formaldeído (0,24 ppm) já podem causar irritação no trato respiratório e nos olhos em humanos. Em ratos, a exposição crônica levou ao desenvolvimento de carcinomas

nasais e, em humanos, observaram-se associações entre a exposição ocupacional e o câncer de nasofaringe. Baseada na análise de dose de referência, a exposição abaixo de 1 ppm foi considerada segura em termos de irritação mínima para humanos, e não representa um risco significativo de câncer. Arts et al. (2008) confirmaram que a irritação ocular aparece em concentrações de 1 ppm, enquanto as irritações no nariz e garganta começam a surgir em concentrações a partir de 2 ppm, e propõem que uma concentração de 0,1 ppm seria segura para evitar riscos de câncer, confirmando a análise de carcinogenicidade realizada pelo Instituto Federal de Avaliação de Risco da Alemanha.

Lang et al. (2008) investigaram a irritação sensorial e os sintomas subjetivos de pessoas expostas a concentrações de formaldeído que simulam as observadas em suas atividades ocupacionais. Foram estudadas as seguintes situações: com a presença do composto em concentrações de pico e sem pico, a presença ou ausência de um agente de mascaramento (acetato de etila) e a influência de fatores de personalidade. Foram avaliadas diferentes condições de exposição, por períodos de 4 horas, durante 10 semanas e os sintomas objetivos e subjetivos foram analisados, como vermelhidão e irritação ocular, frequência de piscar, irritação nasal, função pulmonar e reações cognitivas. As exposições de pico de formaldeído (1,0 ppm), em comparação com a base de 0,5 ppm, aumentaram significativamente a vermelhidão e a irritação ocular, e a frequência de piscar e as irritações nos olhos e ouvidos foram relatadas em concentrações baixas (0,3 ppm), especialmente na presença de acetato de etila, embora tenha sido percebido que somente este composto também foi irritante.

Incêndios florestais emitem acroleína em concentrações significativas, principalmente na fase de queima lenta, gerando riscos para bombeiros e brigadistas, que podem estar expostos a níveis elevados, bem como para a população em geral, especialmente para pessoas com predisposição a doenças respiratórias (BOOZE et al., 2004; REINHARDT et al., 2004; REISEN & BROWN, 2009). As concentrações de acroleína na fumaça dos incêndios florestais podem apresentar alta variabilidade, dependendo de fatores como o tipo, a quantidade e a umidade da vegetação queimada, a temperatura, as condições do vento, entre outros (REISEN & BROWN, 2009). Nos EUA, as concentrações ambientais excedem o limite estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental (USEPA) em todo o país, o que constitui um sério problema de saúde pública (WOODRUFF et al., 2007). Durante a exposição a fumaça de incêndios florestais, as concentrações podem atingir 0,58 mg/m³, o que pode induzir sintomas respiratórios em pessoas expostas (BEIN & LEIKAUF, 2011).

Nos EUA, Reinhardt & Ottmar (2004) monitoraram por 5 anos poluentes oriundos da fumaça de incêndios florestais, dentre eles, CO, MP_{3,5}, benzeno e os irritantes respiratórios formaldeído e acroleína, em queimadas prescritas e em incêndios florestais. O estudo demonstra que os bombeiros que atuam em queimadas controladas estiveram mais expostos a esses agentes do que os que atuam em incêndios florestais ativos, principalmente nas operações de combate inicial. Isso porque, no primeiro caso, o tempo de exposição costuma ser maior. Em ambos os tipos de incêndio, os bombeiros que realizavam ataques diretos ou contendo focos fora da linha de fogo apresentaram as maiores exposições. Os níveis de acroleína identificados foram, em média, 0,015 ppm e 0,002 ppm para queimadas prescritas e incêndios, respectivamente. Para formaldeído de 0,0075 ppm e 0,018 ppm; para benzeno de 0,028 ppm e 0,006 ppm e de MP_{3,5} 1 mg/m³ e 0,72 mg/m³, respectivamente.

Na Austrália, De Vos et al. (2009) investigaram os efeitos à saúde de irritantes respiratórios provenientes da fumaça dos incêndios florestais, em câmara de fumaça e em queimadas prescritas. Na câmara de fumaça foram medidos os compostos formaldeído, acroleína, CO, COV e MP, por um período de 15 minutos e coletas de campo apenas o formaldeído foi monitorado, por um período de 2 horas. Os níveis de formaldeído e acroleína encontrados atingiram 60% e 80%, respectivamente, do STEL. O nível de CO, por sua vez, ultrapassou o limite de pico de 400 ppm, reforçando o perigo potencial à saúde respiratória dos bombeiros.

Também na Austrália, Reisen & Brown (2009) monitoraram compostos tóxicos na fumaça de incêndios florestais em bombeiros em queimadas prescritas em todo o país, em 2005 e 2006. As concentrações de CO, MP₄ e formaldeído variavam bastante, com exposições mais elevadas durante atividades de patrulhamento e combate direto nas queimadas. Foi observado que o limite de exposição ocupacional desses compostos foi excedido em algumas amostras, especialmente em situações de queima controlada em áreas próximas a zonas urbanas, onde as atividades foram mais intensas. Concentrações de acroleína estiveram abaixo do limite de detecção na maioria dos casos e o limite de exposição ocupacional (0,1 ppm) não foi ultrapassado em nenhuma. Embora a exposição a alguns compostos estivesse dentro dos limites ocupacionais, picos e períodos de exposição elevada foram observados, o que implica riscos potenciais para a saúde dos bombeiros.

Reisen et al. (2011) monitoraram compostos tóxicos no ar provenientes da fumaça de incêndios florestais (CO, MP₄ e formaldeído) num grupo de 130 bombeiros florestais na

Austrália. Os níveis de formaldeído encontrados variaram entre abaixo do limite de detecção e 0,67 ppm, com uma média geométrica de 0,10 ppm. MacSween et al. (2019) avaliaram a concentração de CO e outros gases tóxicos em 122 bombeiros, em 31 queimadas prescritas de florestas temperadas e compararam com os valores do Work Safe Australia (WSA). MP₃, formaldeído e acroleína foram considerados os mais perigosos à saúde e contribuíram significativamente para a exposição.

Nos EUA, Rice et al. (2023) monitoraram poluentes cancerígenos ou causadores de outros problemas graves à saúde no ar oriundos de incêndios florestais ocorridos na região oeste do país entre 2006 e 2020 e também na área de San Jose, Califórnia, entre 2017 a 2020. As concentrações médias de formaldeído e acroleína aumentaram significativamente nos dias com impacto de fumaça em comparação aos dias sem fumaça. Formaldeído apresentou um aumento médio de 43% e acroleína aumentou em média de 34% nos dias com fumaça.

3.5 HPA

A queima da vegetação e biomassa em geral é uma fonte significativa de poluentes no ar, sendo os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA, Figura 9) um dos tipos de compostos liberados para o ambiente durante os incêndios florestais (ADETONA et al., 2016; ADETONA et al., 2017).

A exposição de bombeiros e brigadistas florestais aos HPA ocorre por inalação de fumaça e por contato com a pele e, para a população em geral, além dessas duas vias, também pode ocorrer por ingestão de alimentos processados (OLIVEIRA et al., 2020; HWANG et al., 2021). Há associação entre a exposição aos HPA e um maior risco de desenvolvimento de alguns tipos de câncer, como os de pulmão, de bexiga e de pele (KEIR et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2016; HWANG et al., 2021).

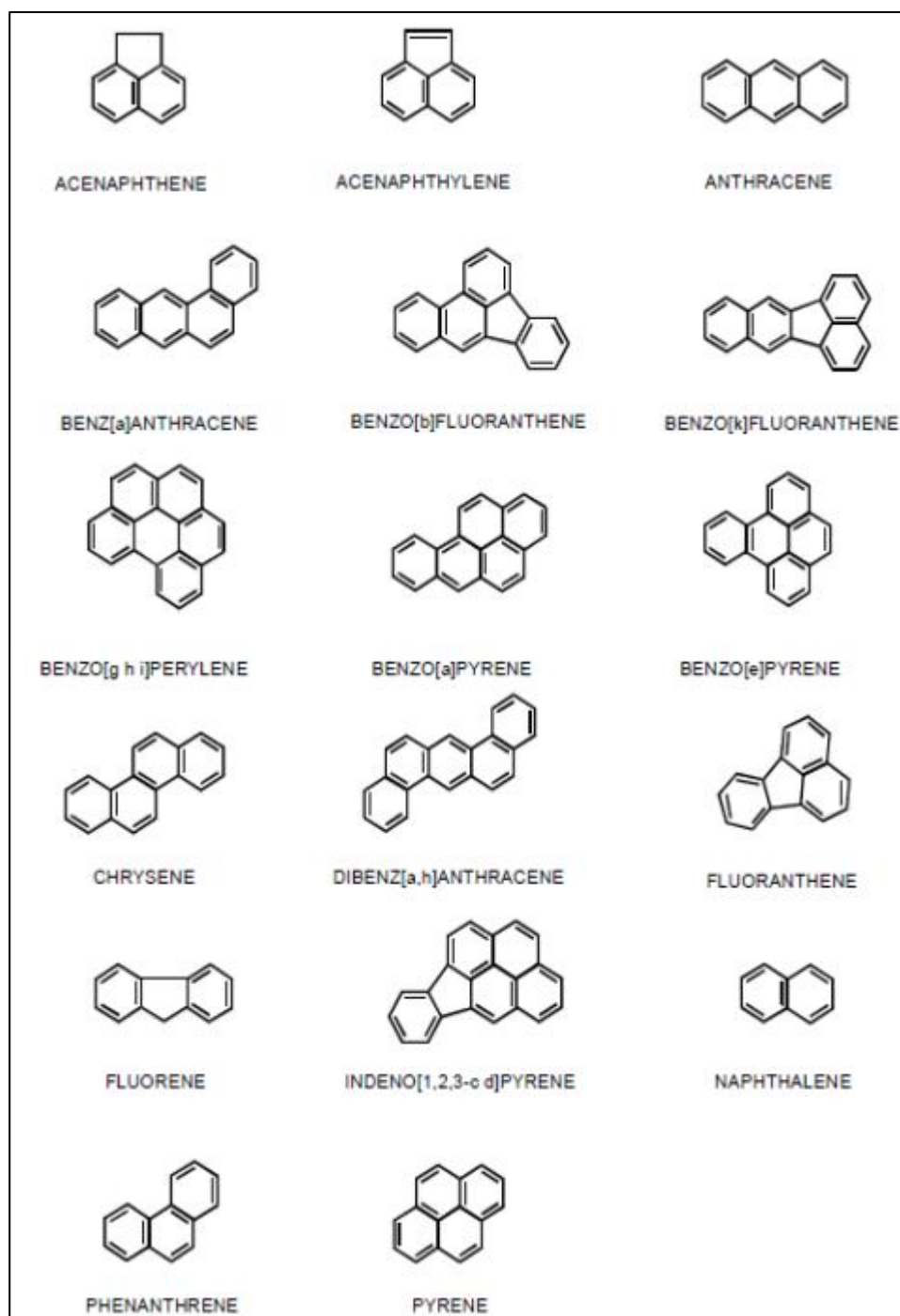


Figura 9. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).
 Fonte: NIOSH (1998b).

O nível de exposição de bombeiros e brigadistas que atuam em incêndios florestais a HPA pode ser influenciado por vários fatores, como o tipo, a quantidade e a umidade do combustível, a duração da exposição, o uso ou não de EPI dérmico e de proteção respiratória, e as práticas de descontaminação. Por isso, medidas para reduzir a exposição destes

profissionais consistem no uso de EPI dérmicos e respiratórios adequados e na adoção de práticas de descontaminação dos EPI. Para a população em geral, recomendam-se medidas como evitar sair de casa durante as temporadas de incêndios, usar máscaras em ambientes abertos e monitorar a qualidade do ar (ADETONA et al., 2016).

Estudos mostram que metabólitos de HPA na urina de bombeiros aumentam significativamente após atuarem no combate a incêndios florestais (OLIVEIRA et al., 2016; ADETONA et al., 2017) e que os bombeiros sofrem exposição por contaminação de seus EPI (KIRK & LOGAN, 2015; HWANG et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2017).

No Canadá, Caux et al. (2002) analisaram a presença de HPA e benzeno em amostras de urina de bombeiros de incêndios estruturais, mesmo com o uso de EPI. Foram analisados os biomarcadores 1-hidroxipireno (indicador de HPA) e o ácido trans, trans-mucônico (ttMA, indicador de benzeno, Figura 7). A maioria das amostras apresentou níveis de ttMA não quantificados, indicando baixa exposição ao benzeno. As concentrações de 1-hidroxipireno em quase todas as amostras-controle estavam abaixo de 0,32 $\mu\text{mol/mol}$ de creatinina, exceto uma, e 38% das amostras apresentaram valores acima desse valor, com o máximo registrado de 3,63 $\mu\text{mol/mol}$ de creatinina. As concentrações em bombeiros foram mais baixas do que as observadas em indústrias com exposição ocupacional conhecida a HPA, como a pavimentação ou a produção de alumínio, nas quais os valores frequentemente excedem 0,5 $\mu\text{mol/mol}$ de creatinina. Não houve correlação entre os níveis dos dois biomarcadores, indicando que as exposições a HPA e ao benzeno ocorrem de forma independente.

Fent et al. (2014), nos EUA, analisaram a exposição de bombeiros ao HPA e ao benzeno durante simulações de combate a incêndios estruturais em experimentos controlados, com foco na exposição dérmica e nos efeitos de proteção proporcionados pelos EPIs. Os resultados mostram que os bombeiros absorveram produtos de combustão, principalmente HPA pela pele, especialmente no pescoço devido à menor proteção fornecida pelos capuzes; as concentrações de benzeno no ar exalado aumentaram significativamente após as simulações, mas as excreções urinárias de metabólitos foram limitadas, indicando doses sistêmicas moderadas; houve variações nos níveis de HPA entre as duas rodadas de incêndio, que foram atribuídas pelos autores a diferenças nos cenários de queima e nos equipamentos utilizados; as condições de alta umidade e suor durante as operações podem aumentar a absorção dérmica de compostos tóxicos. Os níveis de S-PMA (Figura 7) em todas as amostras estavam abaixo do limite de detecção do método, e os níveis de metabólitos de HPA também foram baixos.

Fent et al. (2019) analisaram a exposição de bombeiros ao HPA e ao benzeno pela análise de metabólitos urinários e de ar exalado de 24 bombeiros e 10 instrutores ao longo de exercícios de treinamento. O experimento consistiu em um incêndio controlado com a queima de paletes, madeira, feno e placas de madeira OSB (*Oriented Strand Board*) em diferentes configurações de combustíveis e simulações, permitindo avaliar a absorção por via respiratória e cutânea, mesmo com os bombeiros utilizando equipamento de proteção respiratória. Os resultados mostraram que as concentrações de HPA na urina aumentaram após os exercícios, sendo maiores nos cenários com madeira OSB, seguidos pelos de paletes e de feno. Os instrutores, por supervisionarem vários exercícios por dia, apresentaram acúmulo de HPA, com níveis mais altos no final do turno em comparação com os bombeiros. A absorção ocorreu predominantemente por via dérmica, pois os equipamentos respiratórios apenas proporcionaram proteção contra a inalação.

Nos EUA, Adetona et al. (2017) analisaram a exposição de bombeiros à fumaça de incêndios florestais prescritos por meio da análise de HPA hidroxilados (OH-HPA) como biomarcadores. As concentrações pós-turno de todos os OH-HPA foram significativamente maiores do que as do pré-turno, e o metabólito 4-hidroxifenantreno (4-PHE) apresentou associações significativas com os níveis de levoglucosano no ar, um marcador da fumaça de biomassa. Os níveis de OH-HPA entre os bombeiros florestais também foram maiores do que os da população geral dos EUA.

Na Austrália, Kirk & Logan (2015) analisaram a exposição aos HPA de bombeiros instrutores em treinamentos de combate a incêndios. Foram realizadas coletas de ar dentro e fora das roupas de incêndio dos instrutores durante cinco atividades de combate a incêndios em contêineres. O combustível utilizado foi composto por painéis de partículas, que são compostos de 80 a 90% de fibras, partículas ou flocos de madeira, unidos por resinas, situação semelhante à de incêndios florestais. As concentrações de HPA variaram entre 430 e 2700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fora e entre 32 e 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dentro dos EPIs. Os compostos identificados em maiores concentrações foram naftaleno, fenantreno, acenaftileno e benzo[a]pireno. As deposições nos EPIs variaram de 69 a 290 ng/cm^2 , acima dos limites de exposição para algumas indústrias, onde as exposições de HPA raramente ultrapassam 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em média ponderada por 8 horas. A pesquisa demonstra a necessidade de adoção de práticas de higiene para os bombeiros, como banhos e descontaminação dos EPIs por lavagem após cada treinamento.

Em Portugal, Oliveira et al. (2016) analisaram metabólitos de HPA na urina de 153 bombeiros saudáveis e não fumantes que atuam em incêndios florestais, para estimar o impacto na saúde destes profissionais decorrente da exposição à fumaça. Foram analisados seis metabólitos urinários (OH-HPA), entre eles o 1-hidroxinaftaleno e o 1-hidroxifenantreno. Bombeiros expostos apresentaram concentrações urinárias de OH-HPA significativamente mais altas do que as dos não expostos, e a inalação foi a principal via de exposição. O 1-hidroxinaftaleno foi o metabólito mais abundante, indicando exposição ao naftaleno e ao acenafteno. O 1-hidroxipireno apresentou concentrações baixas, sugerindo a necessidade de utilizar outros metabólitos para avaliar melhor a exposição ocupacional.

Oliveira et al. (2017) estudaram a exposição ocupacional de bombeiros urbanos aos HPA nos ambientes de 5 quartéis em Portugal, com amostras de ar coletadas nas proximidades das zonas respiratórias. As concentrações totais de HPA variaram de 46,8 a 155 ng/m³, com compostos leves (2-3 anéis) representando de 76 a 99% do total, e compostos pesados (5-6 anéis), que têm maior potencial carcinogênico, representando apenas de 3 a 9%. Os níveis identificados estavam abaixo dos limites ocupacionais e das diretrizes de qualidade do ar do país. O risco incremental de câncer ao longo da vida, baseado em diretrizes da OMS (1 caso de câncer em 100.000 pessoas expostas por toda a vida), foi excedido em 44 vezes, ou seja, até 44 casos a mais em 100.000 devido à exposição a estes compostos. O estudo avaliou apenas a fase particulada de HPA.

Oliveira et al. (2020) investigaram a exposição de 171 bombeiros portugueses à fumaça de incêndios florestais, com foco nos efeitos dos HPA e nos biomarcadores de danos genotóxicos e oxidativos. As concentrações de HPA foram elevadas entre os bombeiros expostos, principalmente entre os fumantes, mas os biomarcadores de estresse oxidativo foram elevados entre os não-fumantes expostos, sugerindo alterações subclínicas. Não foram observadas diferenças significativas nos danos primários ao DNA entre os grupos. Exposições de curto prazo, com duração média de 3 horas ou menos, já foram suficientes para provocar um aumento significativo nos níveis de biomarcadores do eixo HPA na urina. Os principais metabólitos detectados foram 1-hidroxinaftaleno e 2-hidrofluoreno, que representaram a maior parte do total. Também foram observadas alterações cardiovasculares, como frequência cardíaca elevada, provavelmente decorrentes do esforço físico e da exposição à fumaça. Os autores concluem que há necessidade de monitoramento contínuo da saúde de bombeiros

florestais e de medidas de mitigação para reduzir a exposição, com EPR e EPI adequados para minimizar a inalação de fumaça e a exposição dérmica.

Nos EUA, Navarro et al. (2017) analisaram a exposição de bombeiros a 17 compostos HPA durante dois incêndios florestais ocorridos em 2015 e duas queimadas prescritas, uma em 2014 e outra em 2015. Os níveis de HPA foram mais elevados em incêndios florestais do que em queimadas prescritas. A maior concentração observada ocorreu nas tarefas que envolviam contato direto com a fumaça. Os compostos mais detectados foram naftaleno, reteno e fenantreno, com predominância de HPA de peso molecular mais baixo. As concentrações médias dos compostos analisados não ultrapassaram os limites ocupacionais definidos pelas legislações vigentes do país.

Ainda nos EUA, Mayer et al. (2020) investigaram como o design dos EPIs dérmicos e a lavagem repetida afetam a proteção dos bombeiros contra a exposição a produtos de combustão, como HPA e benzeno. Os resultados mostraram que capuzes bloqueadores de partículas reduziram em 30% a contaminação por HPA na região do pescoço em comparação com capuzes de malha; as jaquetas com zíper ofereceram melhor proteção contra HPA do que as com fechos de gancho, que permitiam maior penetração de fumaça. O benzeno, por ser altamente volátil, atravessa o EPI facilmente, com concentrações internas semelhantes às externas, sugerindo uma proteção limitada do EPI contra vapores. Os autores concluíram que, a roupa que protege contra o calor e as chamas não é eficaz para a proteção contra compostos orgânicos voláteis.

Na Suécia, Wingfors et al. (2018) analisaram a exposição de bombeiros a 22 HPA durante exercícios de combate a incêndios e avaliaram as medidas de proteção adotadas. Foram realizados 5 simulados de incêndio com combate em contêineres, e amostras de pele e de urina de 20 bombeiros foram coletadas antes e após cada simulado. Os objetivos foram testar a eficácia das roupas de proteção na redução da exposição a HPA e analisar a deposição de HPA na pele e os biomarcadores urinários em bombeiros após exposição à fumaça. Foi calculado o Work Protection Factor (WPF), que é a razão entre a concentração de contaminantes fora das roupas de proteção e a concentração dentro delas, o que mede a eficácia do EPI dérmico. O WPF médio calculado foi de 146, o que indica que a concentração de HPA fora do EPI foi, em média, 146 vezes maior do que dentro do EPI. As concentrações médias de todos os HPA aumentaram cinco vezes na pele; as concentrações de 1-hidroxipireno aumentaram oito vezes na urina. Os resultados mostram, portanto, que os EPI reduziram significativamente a exposição

aos HPA, mas não eliminaram totalmente a contaminação cutânea. O 1-hidroxipireno foi o biomarcador mais confiável para avaliar a exposição e a exposição cutânea foi a rota predominante, principalmente para os compostos menos voláteis. Apesar da proteção, a contaminação acumulada nos EPI representa um risco prolongado para os bombeiros.

No Reino Unido, Stec et al. (2018) analisaram a exposição ocupacional de bombeiros a HPA e estimaram o risco de câncer associado à absorção dérmica e à inalação de HPA. Benzo[a]pireno, um HPA altamente carcinogênico genotóxico (Grupo 1 da IARC), foi encontrado em quase todas as amostras pós-exposição. Também foram identificadas altas concentrações de HPA no ar e nas superfícies dos quartéis e dos caminhões. Os procedimentos de limpeza dos EPIs não foram 100% eficazes na remoção de HPA. Os autores afirmam que o principal risco para os bombeiros advém da absorção dérmica, principalmente em áreas com pele mais fina, como o pescoço e a mandíbula, seguida pela inalação. Foi estimado que, a cada 100.000 bombeiros, 350 podem desenvolver câncer devido à exposição ao HPA no EPI.

Gill et al. (2019) investigaram a determinação de 1-hidroxipireno urinário como biomarcador de exposição a HPA em bombeiros que atuaram no incêndio florestal ocorrido em Fort McMurray, na província de Alberta, Canadá. Foram coletadas amostras de urina de 42 bombeiros após o incêndio, com intervalo médio de 6 dias em relação à exposição. As concentrações de 1-hidroxipireno variaram de 0,030 a 0,485 µg/g de creatinina, valores abaixo do limite de exposição biológica recomendado (2,500 µg/L), o que pode ter sido devido ao atraso na coleta das amostras. A pesquisa demonstrou que o 1-hidroxipireno é um biomarcador confiável, mas que há a necessidade de coletas mais rápidas e mais próximas da exposição para avaliar melhor a exposição.

Silva et al. (2026) avaliaram a exposição a HPA e sua associação com danos oxidativos ao DNA em bombeiros militares de Minas Gerais, Brasil. O estudo incluiu 84 bombeiros, divididos em um grupo operacional, que se expõe com frequência à fumaça de incêndios florestais, e em um grupo administrativo, raramente exposto. Foram quantificados os metabólitos urinários de HPA (OH-HPA) e de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG), biomarcador de dano oxidativo ao DNA. A concentração mediana total de OH-HPA foi 6,57 vezes maior no grupo operacional (97,81 µg/L) do que no administrativo (14,88 µg/L), enquanto a concentração de 8-OHdG foi aproximadamente 3,4 vezes maior entre os bombeiros operacionais. Destaca-se ainda o 1-hidroxipireno (1-OHPyr), cuja concentração mediana foi de 38,75 µg/L no grupo operacional, cerca de 15 vezes superior ao índice biológico de exposição

de 2,5 µg/L adotado pela ACGIH. Além disso, foi observada forte correlação positiva entre a carga corporal total de HPA e o dano oxidativo ao DNA ($r = 0,72$; $p < 0,001$), indicando que a maior exposição aos HPA esteve associada a maior dano oxidativo ao DNA nesses profissionais.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a percepção de risco e a exposição dos bombeiros militares e brigadistas florestais à fumaça durante suas atividades ocupacionais no Distrito Federal.

Objetivos Específicos

1. Aplicar questionário junto aos bombeiros e brigadistas para avaliar a percepção de risco no que se refere às atividades de combate a incêndios florestais;
2. Avaliar o nível de exposição a material particulado (MP₄ e MP₁₀) durante a atividade de combate aos incêndios;
3. Identificar a exposição desta população a compostos químicos presentes na fumaça (BTX, formaldeído, acroleína e HPA);
4. Realizar exames laboratoriais de amostras de urina (ácido trans-trans mucônico) dos bombeiros antes e depois da temporada de combate a incêndios florestais.

ESTRUTURA DA TESE

Os métodos e resultados deste trabalho serão apresentados em dois capítulos, em formato de artigo.

O Capítulo 1 (**Risk Perception of Military Firefighters and Brigades in Relation to Exposure to Smoke from Forest Fires in Brazil**) refere-se à avaliação da percepção de bombeiros e brigadistas sobre os riscos à sua saúde decorrentes da exposição à fumaça, por meio da aplicação de um questionário. Este capítulo atende ao objetivo 1 deste trabalho e foi publicado na Toxics 2026, 14, 431. (Anexos 1, 2 e 3).

O Capítulo 2 (**Avaliação da exposição de bombeiros militares e brigadistas à fumaça e a produtos da combustão em incêndios florestais no Distrito Federal**) refere-se ao trabalho de campo da pesquisa, na qual foram realizadas amostragens de fumaça, com uso de bombas de amostragem, em incêndios reais e em queimadas prescritas, para determinar as concentrações de componentes, bem como a coleta de amostras de urina de bombeiros para análises laboratoriais. Este capítulo atende aos objetivos 2, 3 e 4 deste trabalho.

CAPÍTULO 1. Risk Perception of Military Firefighters and Brigades in Relation to Exposure to Smoke from Forest Fires in Brazil

Fausto Jaime Miranda de Araujo and Eloisa Dutra Caldas

Publicado na Toxics 2026, 14, 431

Abstract

Firefighters and forest brigades engaged in wildfire suppression are routinely exposed to smoke containing toxic compounds that pose acute and chronic health risks, and it is important to understand how they perceive these risks during their work. This study aimed to evaluate health risk perception among military firefighters and contracted forest brigades in the Federal District, Brazil, the use of respiratory protection equipment (RPE), and institutional support. A questionnaire was administered to 150 firefighters and 22 brigades in 2023 and 2024. Most respondents were between 30 and 40 years old, with firefighters having a significantly higher education level than brigades ($p < 0.0001$). Most were concerned about smoke exposure and recognized its high health risk, including respiratory diseases and cancer, with brigades showing a higher risk perception than firefighters ($p < 0.0001$). Despite this high perceived risk, about 80% of firefighters and 86% of brigades reported not using RPE, mainly because it was not provided by their institutions (according to 53.8% of firefighters and 73.7% of brigades). The level of concern about wildfire smoke among participants correlated positively with age, years of experience, perceived necessity of RPE, and willingness to use it if provided. Firefighters rated their institution's performance on occupational health and safety significantly less positively than brigades ($p < 0.0001$). The results of this study demonstrated that the lack of preventive and protective practices is not due to low risk perception, but rather to institutional failures in guidance, support, and provision of RPE.

Keywords: risk perception; wildfires; military firefighters; forest brigades; respiratory protection equipment

CAPÍTULO 2. Avaliação da exposição de bombeiros militares e brigadistas à fumaça e a produtos da combustão em incêndios florestais no Distrito Federal, Brasil

Resumo

Bombeiros militares e brigadistas florestais estão frequentemente expostos à fumaça de incêndios florestais, uma mistura complexa de partículas, gases e vapores tóxicos. Este estudo avaliou a exposição ocupacional de bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e de brigadistas do Instituto Brasília Ambiental aos principais produtos da combustão em incêndios florestais (bombeiros) e em queimadas prescritas (brigadistas) no Distrito Federal, Brasil. Foram realizadas coletas em condições reais de trabalho, nos anos de 2023 e 2024, com amostragem pessoal de material particulado respirável (MP₄) e inalável (MP₁₀), benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno, formaldeído, acroleína e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, utilizando procedimentos padronizados de higiene ocupacional. Adicionalmente, foi realizado monitoramento biológico urinário de ácido trans, trans-mucônico (ttMA) em bombeiros, como biomarcador de exposição ao benzeno. Os resultados mostraram elevadas concentrações de material particulado, com 41,7% das amostras de MP₄ e 69,7% das amostras de MP₁₀ acima do limite de exposição ocupacional (LEO, 3 mg/m³), com faixa de concentrações entre 0,73 e 32,33 mg/m³ para MP₄ e entre 0,75 e 31,41 mg/m³ para MP₁₀. Entre os orgânicos voláteis, o benzeno foi o principal composto encontrado, com concentrações entre 0,018 e 3,257 ppm, e 21 das 30 amostras (70%) apresentaram concentrações acima do LEO (0,02 ppm). O formaldeído foi o segundo composto mais encontrado, com concentrações acima do LEO (0,1 ppm) em 27,6% das 29 amostras analisadas (de 0,01 a 0,28 ppm), e média significativamente maior entre os brigadistas, comparada à dos bombeiros (0,128 e 0,045 ppm, respectivamente). A acroleína foi detectada em 31% das amostras, porém abaixo do LEO de 0,1 ppm. Entre os HPA, duas amostras isoladas continham antraceno e fenantreno, nas concentrações de 443,2 e 1479,37 ppm, respectivamente. A avaliação da exposição combinada a MP₄, formaldeído e acroleína indicou potencial risco à saúde pulmonar, com valores médios do índice de exposição à mistura (EM) superiores a 1 tanto para bombeiros quanto para brigadistas. Os níveis de ttMA na urina dos bombeiros não diferiram estatisticamente antes (maio) e durante a estação seca (setembro). Os resultados demonstram que bombeiros e brigadistas do Distrito Federal estão expostos ocupacionalmente a níveis elevados dos componentes da fumaça, o que evidencia a necessidade de implementar medidas preventivas e estratégias de proteção à saúde desses trabalhadores.

Palavras-chave: Bombeiros florestais; brigadistas, material particulado; benzeno; formaldeído;

1. Introdução

Os incêndios florestais representam uma grande ameaça à sociedade. Além dos danos ao meio ambiente, são considerados problemas de segurança pública, por poderem atingir grandes áreas, e de saúde pública, por afetarem toda a comunidade e impactarem negativamente a qualidade do ar (MIRANDA et al., 2010). Bombeiros e brigadistas florestais lidam rotineiramente com situações de estresse, fadiga, calor, ruído e esforços físicos intensos, fatores que podem levar a acidentes ou lesões (REISEN et al., 2011). Além disso, esses profissionais estão expostos a material particulado e compostos químicos gerados pela combustão da matéria orgânica durante os incêndios, que podem causar efeitos à saúde a curto e a longo prazo (REISEN et al., 2011; ADETONA et al., 2016; NAVARRO et al., 2019).

Os principais compostos gerados durante os incêndios são hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), monóxido de carbono (CO), benzeno, formaldeído, acroleína e óxidos de nitrogênio (NOx) (MIRANDA et al., 2010; ADETONA et al., 2016). A exposição ocorre principalmente por inalação, mas também por ingestão ou pela pele (FERNANDO et al., 2016) e há evidências de associação positiva entre exposição a fumaça de incêndios florestais e diversas doenças crônicas, incluindo câncer (ABREU et al., 2017; URRUTIA-PEREIRA et al., 2021). As atividades dos bombeiros, incluindo a exposição a componentes da fumaça, são classificadas pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer como carcinogênica para humanos (Grupo 1), com base em evidências suficientes de associação com mesotelioma e câncer de bexiga (IARC, 2022). O benzeno e o benzopireno também são classificados como Grupo 1 (IARC, 2026) e o etilbenzeno como Grupo 2B (IARC, 2000).

Navarro et al. (2019) investigaram dois cenários de exposição (49 e 98 dias de incêndios por ano) e diferentes durações da carreira (5-25 anos), estimando que bombeiros florestais apresentavam um risco aumentado de mortalidade por câncer de pulmão (de 3% a 40%) e por doenças cardiovasculares (de 16 a 30%).

Ao contrário dos bombeiros que combatem incêndios urbanos, os bombeiros florestais normalmente não utilizam equipamentos de proteção respiratória (EPR), com exceção de bandanas ou capuzes sobre o nariz e a boca, improvisados pelos próprios profissionais e inadequados para a proteção respiratória. Segundo Araújo e Caldas (2026), 80% dos bombeiros militares e brigadistas no Distrito Federal relataram não usar EPR em sua atuação profissional. Além disso, o tempo de exposição dos bombeiros florestais costuma ser maior, podendo durar de dias a semanas (HUNTER et al., 2014; ADETONA et al., 2016; NAVARRO et al., 2019).

Nos últimos anos, vários estudos foram conduzidos para avaliar os riscos da exposição de bombeiros florestais à fumaça; porém, a grande maioria foi realizada em queimadas prescritas (REISEN e BROWN, 2009; MIRANDA et al., 2010; HUNTER et al., 2014). Segundo a ACGIH, o limite de exposição de curto prazo (LEO agudo) (TLV-STEL, *Threshold Limit Value-Short-Term Exposure Limit*) indica por quanto tempo o trabalhador pode ficar exposto por até 15 minutos, enquanto o limite de exposição ocupacional (LEO) (TLV-TWA, *Threshold Limit Value-Time Weighted Average*) representa a concentração média máxima para uma jornada de trabalho de 8 horas (ACGIH, 2024).

Booze et al. (2004) avaliaram a exposição à fumaça de bombeiros florestais em incêndios e em queimadas prescritas nos Estados Unidos. Foram analisados 15 contaminantes prioritários, incluindo benzeno, formaldeído, acroleína, CO, material particulado respirável (MP_{3,5}) e HPA. Apenas o benzeno e o formaldeído apresentaram riscos cancerígenos superiores ao nível de referência de um caso por milhão de indivíduos expostos. A acroleína e o MP_{3,5} apresentaram índices de risco não cancerígeno acima dos limites de exposição aceitáveis.

Reisen e Brown (2009), na Austrália, avaliaram a exposição à fumaça de 50 bombeiros em 12 queimadas prescritas, com uso de bombas de amostragem pessoais. MP₄ (até 4 µm) e o formaldeído estavam acima dos limites ocupacionais recomendados, com concentrações médias de 1,0 mg/m³ (0,09–4,0 mg/m³) para MP₄, com picos de até 110 mg/m³, e 0,14 ppm para formaldeído, com valor máximo de 0,57 ppm. A acroleína foi detectada em apenas 5% das amostras, com concentrações de 12 e 22 ppb. Foram identificadas concentrações médias de 0,06 mg/m³ de benzeno, 0,17 mg/m³ de tolueno e 1,83 mg/m³ de compostos orgânicos voláteis (VOC) totais.

Barboni et al. (2010) e Barboni & Chiaramonti (2010) avaliaram os riscos ocupacionais de bombeiros florestais decorrentes da exposição à fumaça em cinco queimadas prescritas na Ilha de Córsega, França, por meio de coletas de amostras pessoais com bombas de amostragem. No total, foram avaliados 79 compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, incluindo hidrocarbonetos aromáticos, aldeídos, fenóis e BTXE (benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno). O benzeno apresentou as concentrações mais elevadas, entre 12 e 54 mg/m³ (3,76 a 16,90 ppm), muito superiores aos limites ocupacionais de exposição, em todos os locais avaliados, sendo apontado como um possível indicador da toxicidade da fumaça de queimadas prescritas.

O objetivo deste trabalho foi verificar se os bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar e os brigadistas florestais do Distrito Federal estão expostos ao material particulado e aos

compostos gerados pela combustão em concentrações acima dos valores máximos considerados seguros em suas atividades ocupacionais. Segundo os nossos melhores conhecimentos, este é o único estudo conduzido no Brasil que se propõe a avaliar a exposição dos bombeiros e brigadistas à fumaça durante incêndios florestais.

2. Materiais e métodos

2.1 Tipo do estudo e sujeitos da pesquisa

O estudo foi conduzido com bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) e brigadistas do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da UnB (No. 55389921.9.0000.0030, Anexo 2) e autorizado pelo CBMDF e pelo IBRAM, que deram todo o apoio logístico necessário. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo 2).

Para os bombeiros, as coletas de amostras de material particulado (MP) e de compostos orgânicos foram realizadas durante o atendimento a ocorrências de incêndios florestais, em julho de 2023 (somente MP) e em julho e agosto de 2024. As coletas de brigadistas ocorreram durante 5 queimadas prescritas e controladas em julho de 2024, visando à proteção de parques públicos do Distrito Federal.

As amostras foram coletadas por meio de dispositivos de amostragem que capturam os principais componentes da fumaça, gases e vapores, retendo-os em filtros ou tubos de adsorção (Figuras 1 e 2). As bombas são acomodadas no cinto ou no uniforme, permanecendo fixas e permitindo que o trabalhador se desloque e desempenhe suas atividades normalmente. Em cada evento de incêndio, foram recrutados, no mínimo, dois bombeiros ou brigadistas. Um recebeu duas bombas, uma para coleta de amostra para análise de BTXE e outra para coleta de amostra para análise de acroleína/formaldeído. O outro recebeu três bombas, uma para coleta de MP₄, outra para coleta de MP₁₀ e a terceira para coleta de HPA. Foram utilizadas bombas de amostragem do tipo MOD. BDX-II (CEM do Brasil Instrumentos Tecnológicos LTDA, São Paulo, Brasil), previamente aferidas em calibrador primário, nas vazões recomendadas, conforme o material/composto a ser coletado.

Os tubos de adsorção (para compostos orgânicos) ou cassetes com filtros (para material particulado) foram acoplados às bombas por meio de uma mangueira e fixados no colarinho do uniforme dos participantes, de modo que ficassem a até 15 cm da zona respiratória (Figura 1),

conforme prevê a Norma de Higiene Ocupacional (NHO) nº 08 (FUNDACENTRO, 2009). Os profissionais foram acompanhados e monitorados pelo pesquisador em cada etapa da coleta.



Figura 1. Brigadistas (superiores) e bombeiros (inferior) utilizando soprador com suportes de ciclone para coleta de material particulado (azul) e tubos de adsorção para compostos orgânicos (verde).

2.2 Coleta de material particulado

Para coletar MP_4 e MP_{10} (até $10\ \mu m$), as bombas foram ajustadas às vazões de $2,5\ L/min$ ($0,0025\ m^3/min$) e $1,6\ L/min$ ($0,0016\ m^3/min$), respectivamente. As bombas foram acopladas a um suporte para cassetes SKC, com garra de fixação e mangueira, e a um cassete plástico SKC

de 37 mm, com membrana de PVC com porosidade de 5 μm e ciclone de tamanho de partícula de alumínio, específico para alcançar entre 0,1 e 2,0 mg de MP, conforme o método NMAM 0600 (NIOSH, 1998a, Anexo 4). Para MP₄, a coleta foi realizada com ciclone para partículas respiráveis (SKC 225-01-02) e para MP₁₀ com ciclone torácico (BGI GK2.69), ambos adquiridos da Faster Comércio e Soluções Tecnológicas LTDA (São Paulo, Brasil).

O tempo de coleta recomendado é de 120 minutos para ambos, no entanto, em sete situações, o tempo de coleta foi menor que duas horas (entre 30 e 100 minutos) devido aos incêndios terem sido extintos. Nesses casos, a concentração foi ajustada para o tempo de coleta.

As membranas foram previamente pesadas em balança analítica de alta precisão (Shimadzu AUW220D, precisão de 0,01 mg) e mantidas no dessecador com sílica gel até o momento do uso. Ao término da coleta, as bombas foram desligadas, os cassetes foram transportados em caixa de isopor até o Laboratório de Toxicologia (LabTox) da Universidade de Brasília (UnB) e acondicionados em dessecador até o momento da pesagem. A massa de material particulado foi determinada por gravimetria; o volume coletado é encontrado multiplicando o tempo de coleta em min pela vazão em m³/min, e o resultado é expresso em mg/m³.

O limite de exposição ocupacional (LEO) para exposição diária, média ponderada no tempo para 8 h, é de 3 g/m³ para MP₄ e MP₁₀ (ACGIH, 2025). No total, foram coletadas 36 amostras para MP₄ (das quais 7 de brigadistas em queima por prescrição) e 33 amostras para MP₁₀ (das quais 4 de brigadistas).

2.3 Compostos orgânicos

2.3.1 BTXE

Para coleta de amostra para análise de BTXE, a bomba de amostragem foi aferida para uma vazão 0,2 L/min (Método 1501; NIOSH, 2003a, Anexo 5) e acoplada a um suporte para tubo de carvão ativado de casca de coco, triturado e moído (TCA) 100/50 mg, fornecidos pela empresa SGS do Brasil LTDA (Barueri, São Paulo, Brasil). O tempo de coleta foi de 40 minutos, o que corresponde a um volume total de 8 L.

Os filtros adsorventes foram enviados ao Laboratório SGS para análise por cromatografia gasosa com detector de chama (GC-FID) com limite de quantificação (LQ) de 0,005 ppm para benzeno e 0,1 ppm para tolueno, xileno e etilbenzeno. Foram realizadas 30 coletas para análise de BTXE.

2.3.2 Acroleína e formaldeído

Para a coleta de amostras para análise de formaldeído e acroleína, a bomba foi acoplada a uma mangueira e conectada a um suporte contendo um tubo de sílica gel SKC tratado com 2,4-dinitrofenilhidrazina, 300/150 mg (Faster Comércio e Soluções Tecnológicas LTDA, São Paulo, Brasil).

A vazão da bomba foi de 1,5 L/min para atingir 60 L, e o tempo de coleta poderia variar de 10 a 333 minutos, conforme o método (NIOSH, 2003b, Anexo 6). Para facilitar a dinâmica da amostragem, algumas coletas foram realizadas em períodos de 40 minutos para coincidir com as de BTXE, e a maioria, em períodos de 1h40min para coincidir com o encerramento das coletas de HPA.

Os tubos foram enviados ao Laboratório SGS e os compostos foram analisados por cromatografia líquida de alta resolução com detector acoplado de UV (HPLC-UV), com LQ de 0,001 ppm. Foram realizadas 29 coletas para análise de acroleína e formaldeído.

2.3.3 Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)

Para HPA, utilizou-se o método NMAM 5506 (NIOSH, 1998b; Anexo 7), que exige vazão da bomba de 2 L/min e volume entre 200 e 1000 L. Adotou-se o volume mínimo de 200 L, com tempo de coleta de 1h40min.

Foi usado o coletor cassete em poliestireno de 37 mm com filtro de PTFE com porosidade de 2 µm montado com espaçador de celulose e tubo de resina XAD-2 de 100 mg/50mg (Faster Comércio e Soluções Tecnológicas LTDA). Os tubos foram enviados ao Laboratório SGS para análise por HPLC-UV-fluorescência. Foram analisados antraceno, fenantreno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, pireno, fluoreno, indeno[1,2,3-cd]pireno, fluoranteno, benzo [ghi]pirileno, dizeno[a,h] antraceno, naftaleno, acenafteno, acenaftileno e criseno, com LQ de 0,01 ppm para cada composto.

2.4 Monitoramento biológico urinário de ácido trans,trans-mucônico

Foram coletadas amostras de urina de 34 bombeiros militares para avaliar a exposição ocupacional ao benzeno por meio do biomarcador urinário ácido trans, trans-mucônico (ttMA). As amostras foram coletadas pela manhã no dia seguinte após a exposição, tanto as coletadas antes quanto as coletadas durante o período de seca (em maio e setembro de 2024, respectivamente). Esses bombeiros não participaram das etapas de coleta de amostras de campo.

As amostras coletadas foram armazenadas em geladeira e transportadas no mesmo dia em caixa térmica com gelo até o Laboratório Sabin, em Brasília, para análise por HPLC-UV. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g/g}$ creatinina, para reduzir a influência da diluição urinária sobre a interpretação dos resultados. O limite de detecção (LD) e o LQ do método no equipamento são 26 e 50 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. Para o cálculo da média, resultados abaixo do LD foram considerados iguais a 0 e amostras com valores $\geq \text{LD}$ e $< \text{LQ}$ foram consideradas no nível $\frac{1}{2} \text{LQ}$.

2.5 Análise estatística

Utilizou-se o software GraphPad Prism 11.0.2. Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e foram considerados normalmente distribuídos. Diferenças entre os parâmetros e/ou a população foram avaliadas pelo teste de Mann-Whitney, e as correlações de Spearman foram avaliadas por meio de testes não paramétricos. A significância estatística dos resultados foi estabelecida com $p < 0,05$.

3. Resultados e discussão

3.1 Material particulado

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos resultados do estudo. A média de MP_4 dos brigadistas durante as queimadas prescritas ($n=7$; 1,98 mg/m^3) foi significativamente menor ($p=0,0092$) do que a dos bombeiros militares durante os incêndios ($n=29$; 5,45 mg/m^3). A mediana dos bombeiros foi cerca de 55% maior do que a das brigadistas e quase metade dos níveis excedeu o LEO (3 mg/m^3) (ACGIH, 2024). Os níveis de MP_{10} dos brigadistas ($4,3 \pm 2,6 \text{ mg/m}^3$) foram inferiores aos dos bombeiros ($6,4 \pm 6,88 \text{ mg/m}^3$), porém, a diferença não foi significativa ($p>0,05$).

Quando os dados de ambos os grupos populacionais foram combinados (Tabela 1), ambos os parâmetros, MP_4 e MP_{10} apresentaram faixas semelhantes e, embora a média do MP_4 seja menor do que a do MP_{10} (4,77 e 6,17 mg/m^3), a diferença não é significativa ($p>0,05$). A mediana do MP_{10} é cerca de 40% maior do que a do MP_4 e cerca de 42% dos valores de MP_4 e 67% dos valores de MP_{10} estavam acima do LEO. A Figura 2 apresenta os box-plots de MP_4 e MP_{10} e a correlação significativa entre os dois parâmetros.

Os brigadistas do IBRAM atuam principalmente na prevenção de incêndios florestais em parques públicos do Distrito Federal. Realizando principalmente queimadas prescritas, ou

seja, controladas nas margens dos parques, com o objetivo de gerar aceiros e combater incêndios nesses locais (IBRAM, 2025). Os bombeiros do CBMDF atuam no combate a incêndios reais em todo o Distrito Federal (CBMDF, 2026).

Tabela 1. Estatística descritiva das amostras de materiais particulados.

Material particulado	Faixa, mg/m ³	Média ± sd, mg/m ³	Mediana, mg/m ³	> LEO ^c (%)
MP ₄ (n=36)	0,73 – 32,3	4,77 ± 6,31	2,78	41,7
Brigadistas (n=7)	0,73 – 4,13	1,98 ^a ± 1,10	1,93	14,3
Bombeiros (n=29)	1,2 – 32,3	5,45 ^b ± 6,87	3,0	48,3
MP ₁₀ (n=33)	0,75 – 31,4	6,17 ± 6,51	3,88	66,7
Brigadistas (n=4)	2,4 – 8,18	4,3 ± 2,6	3,3	75,0
Bombeiros (n=29)	0,75 – 31,4	6,4 ± 6,88	4,25	65,5

a,b = significativamente diferentes, p=0.0092; c= 3mg/m³

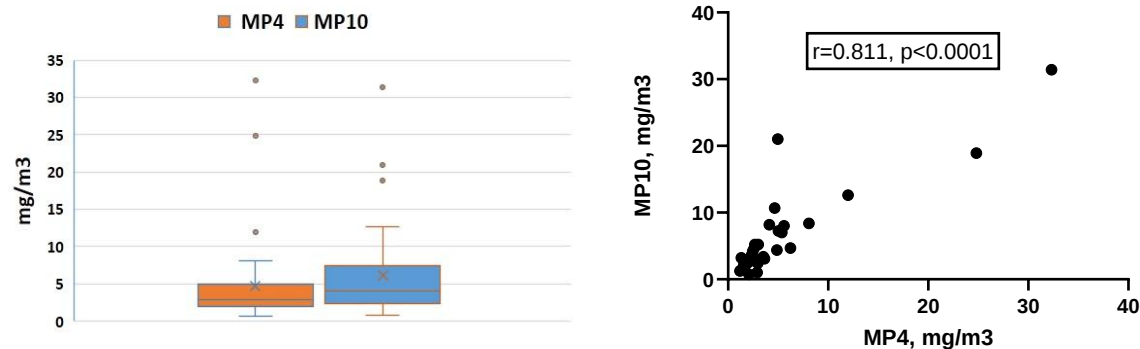


Figura 2. Box plot data (left) and Spearman correlation (r) for MP₄ and MP₁₀ data.

Reisen & Brown (2009) avaliaram a exposição ocupacional de bombeiros durante 12 queimadas prescritas ocorridas em 2005 e 2006 na Austrália. A concentração média (n=42) de MP₄ foi de 1,3 mg/m³, com máximas variando de 3,5 a 110 mg/m³, superiores às observadas neste estudo e, como neste estudo, a maioria das amostras excedeu 3 mg/m³. Na Austrália, Reisen et al. (2011), avaliou a exposição de bombeiros a MP₄ em queimadas prescritas e em incêndios reais, com uso de um fotômetro portátil. Ao contrário do presente estudo, as concentrações de MP₄ foram maiores nas queimadas prescritas, variando entre 0,02 e 16 mg/m³ (n=63), e entre 0,02 e 1,46 (n=12), respectivamente.

No estudo conduzido por Reinhardt e Ottmar (2004) nos EUA, a exposição foi similar entre os bombeiros de 39 queimadas prescritas (n=220) e em incêndios florestais (n=84), com médias geométricas de $MP_{3,5}$ de 0,63 mg/m^3 e 0,5 mg/m^3 , respectivamente. Os valores máximos, porém, foram maiores nas queimadas prescritas (6,9 e 2,3 mg/m^3), respectivamente. Booze et al. (2004), também nos EUA, encontraram concentrações médias de $MP_{3,5}$ em queimadas prescritas e em incêndios reais de 1,0 mg/m^3 e 0,72 mg/m^3 , respectivamente, valores bem abaixo dos observados no presente estudo para MP_4 (1,98 e 5,45 mg/m^3).

Em Portugal, Alves et al. (2010) avaliaram a exposição dos trabalhadores à fumaça em sete queimadas controladas numa floresta de arbustos. As concentrações de $MP_{2,5}$ variaram de 0,6 a 12,5 mg/m^3 e as de $MP_{2,5-10}$, de 0,22 a 1,14 mg/m^3 . Comparados ao presente estudo para os brigadistas, os níveis de $MP_{2,5}$ são maiores que os de MP_4 , porém os de $MP_{2,5-10}$ estão bem abaixo do MP_{10} . No entanto, importante ressaltar que $MP_{2,5-10}$ não inclui o $MP_{2,5}$, enquanto o MP_{10} inclui o MP_4 . Também em Portugal, Miranda et al. (2010) encontraram concentrações médias de $MP_{2,5}$ abaixo de 3 mg/m^3 em 11 queimadas prescritas, porém com concentrações próximas a 18 mg/m^3 durante ataques diretos.

3.2 Compostos orgânicos

Um total de 30 amostras foram analisadas para BETEX, das quais 23 coletadas de bombeiros e 7 de brigadistas, sendo o benzeno o composto mais detectado nas amostras.

O nível médio de benzeno nas amostras dos bombeiros foi maior (0.272 ± 0.71 ppm) do que o dos brigadistas (0.055 ± 0.119 ppm), mas essa diferença não foi significativa ($p = 0.06$), e os valores foram agrupados (Tabela 2). O benzeno foi quantificado em 22 amostras (73,3% das 30 amostras analisadas), com valores variando entre 0,018 e 3,257 ppm e média de 0,222 ppm. Com exceção de uma, todas as amostras quantificadas apresentavam níveis acima do LEO de benzeno (0,02 ppm). Tolueno foi detectado em 5 amostras (máximo de 2,4 ppm), xileno em 3 amostras (máximo de 0,6 ppm) e etilbenzeno em apenas uma amostra (0,3 ppm). Todas as amostras contendo tolueno, xileno e etilbenzeno foram coletadas pelos bombeiros e nenhuma continha níveis acima do LEO para esses compostos (20 ppm).

Tabela 2. Resultados de BETEX, acroleína e formaldeído, em ppm.

Composto (N)	≥ LQ n (%)	Faixa ^f	Mediana	Média ^g ± dp	> LEO ^h n (%)
Benzeno ^a (30)	22 (73,3)	0,018 – 3,257	0,0295	0,222 ± 0,628	21 (70)
Tolueno ^b (30)	5 (16,7)	0,2 – 2,4	<0,1	0,16 ± 0,45	0
Xilenos ^b (30)	3 (6,7)	0,3 – 0,6	<0,1	0,07 ± 0,10	0
Etilbenzeno ^b (30)	1 (3,3)	0,3	<0,1	0,06 ± 0,05	0
Acroleína ^{c,d} (29)	9 (31,0)	0,02 – 0,03	<0,01	0,01 ± 0,008	0
Formaldeído ^{c,e} (29)	17 (51,6)	0,03 – 0,28	0,06	0,071 ± 0,079	8 (27,6)
Bombeiros (20)	9 (45,0)	0,03 – 0,28	<0,01	0,045 ^a ± 0,066	2 (10)
Brigadistas (9)	8 (88,9)	0,07 – 0,28	0,12	0,128 ^b ± 0,026	6 (66,7)

^a LQ= 0.005 ppm, LEO= 0.02 ppm; ^b LQ= 0.1 ppm, LEO=20 ppm; ^c LQ = 0.01 ppm; ^d LEO agudo=0.05 ppm; ^e LEO=0.1 ppm; ^f apenas para amostras positivas; ^g amostras < LOQ a 1/2 LQ; ACGIH, 2024; a,b = significativamente diferentes, p=0.0018

A acroleína foi detectada somente em 9 das 29 amostras analisadas (0,02 a 0,03 ppm), todas coletadas entre os bombeiros, e nenhuma acima do LEO para o composto (0,1 ppm) (Tabela 2). Formaldeído foi detectado em 51,6% das 29 amostras analisadas (20 coletadas entre os bombeiros e 9 entre os brigadistas). O percentual de amostras positivas entre os bombeiros foi menor do que entre os brigadistas (45% e 88,9%, respectivamente). Enquanto a faixa de concentração dessas amostras foram similares, a média entre os bombeiros foi significativamente menor (0.045 ppm) que entre os brigadistas (0.128 ppm), assim como o percentual de amostras acima do LEO (Tabela 2).

No total, 30 amostras foram analisadas para os 15 HPA incluídos no estudo (23 de bombeiros). As amostras não continham nenhum composto analisado (< 0,1 ppm), com exceção de duas amostras isoladas que continham antraceno e fenantreno, nas concentrações de 443,2 e 1479,37 ppm, respectivamente, ambas coletadas entre os bombeiros. O nível de antraceno é seis ordens de grandeza acima do seu LOE (0,014 ppm). O fenantreno não possui LOE. Os dois compostos identificados têm em comum a presença de três anéis benzênicos.

No estudo de Barboni et al. (2010) entre bombeiro de 5 queimadas prescritas (n=12 em cada local) na ilha de Córsega, na França, o benzeno apresentou as maiores médias na maioria das queimadas, e o único BTEX a exceder o LEO em todos os locais estudados. As

concentrações médias variaram entre 3,76 e 16,9 ppm para benzeno, entre 1,59 e 20,7 ppm para tolueno, entre 0,46 e 14,28 ppm para etilbenzeno e entre 0,23 e 12,44 ppm para xilenos, valores muito acima dos encontrados no presente estudo.

Evtugina et al. (2013) em incêndios florestais ocorridos em 2010 em florestas de Portugal também encontrou concentrações baixas de BTEX, com concentrações similares de benzeno e tolueno, $0,090 \pm 0,082$ e $0,052 \pm 0,048$ ppm, respectivamente.

No estudo de Reinhardt e Ottmar (2004) conduzido na Austrália, os níveis médios de benzeno, formaldeído e acroleína em queimadas prescritas também foram mais baixas que esse estudo (16, 47 e 9 ppb, respectivamente). Nos incêndios, esses valores foram ainda menores (4, 13 e 1 ppb, respectivamente).

Navarro et al. (2017) avaliaram a exposição ocupacional de bombeiros florestais a HPA durante dois incêndios florestais reais (n=28) e queimadas prescritas (n=11) na Califórnia. Naftaleno e reteno foram encontrados nas maiores concentrações, com máximo de 0,004 e 0,0026 ppm, respectivamente, nos incêndios florestais e 0,001 e 0,0004 ppm, respectivamente, nas queimadas prescritas. Além disso, as maiores concentrações foram observadas entre os bombeiros que desempenhavam atividades com contato mais direto com a fumaça, como operações de contenção e patrulhamento próximo à frente de fogo.

Cherry et al. (2021), no Canadá, avaliaram a exposição de bombeiros florestais aos HPA durante queimadas prescritas e incêndios florestais por meio de amostragem pessoal da zona respiratória durante toda a jornada de trabalho. Foram analisados 11 HPA nas fases particulada e gasosa, sendo detectados HPA em 6 das 11 equipes avaliadas. O fenantreno foi o principal composto identificado, na concentração média de 0,03 ppb na fase gasosa e 0,02 ppb na fase particulada.

3.3 Efeito total no pulmão

Reinhardt e Ottmar (2004) propuseram o índice de exposição à mistura (Mixture Exposure – EM), baseado em um critério aditivo de exposição, considerando a exposição simultânea aos irritantes pulmonares acroleína e formaldeído e ao material particulado respirável, segundo a Eq. 1. Um EM estimado acima de 1 indica um potencial risco para o trabalhador.

$$EM = \frac{\text{Formaldeído}}{LEO} + \frac{\text{Acroleína}}{LEO} + \frac{MP4}{LEO} \quad \text{Eq. 1}$$

No presente estudo, as médias de concentração de MP₄ para bombeiros e brigadistas (Tabela 1) são 5,45 e 1,98 mg/m³, respectivamente, com LEO de 3 mg/m³. Os valores médios de formaldeído para bombeiros e brigadistas, são 0,045 e 0,128 ppm, respectivamente, e para acroleína é de 0,01 ppm (Tabela 2). O LEO utilizado para o formaldeído é de 0,1 ppm (ACGIH, 2024) e, para a acroleína, também de 0,1 ppm (REINHARDT E OTTMAR, 2004; REISEN E BROWN, 2009).

Para os bombeiros, o EM médio calculado segundo a equação 1 foi de 2,37 e, para os brigadistas, de 1,94, indicando que a exposição segura para ambas as populações foi excedida. É importante ressaltar que o EM para brigadistas não incluiu a acroleína, que não foi detectada em nenhuma das amostras coletadas nessa população. Entre os bombeiros, a exposição à MP₄ foi a que mais contribuiu para a EM (76,8%), enquanto, entre os brigadistas, a maior contribuição foi a exposição ao formaldeído (66,0%). Para bombeiros, 21 das 22 amostras (95,5%) apresentaram EM>1; para brigadistas, isso ocorreu em 100% das 7 amostras coletadas.

Reinhardt e Ottmar (2004) observaram que as maiores exposições ocorreram durante queimadas prescritas, com mais de 85% dos 200 bombeiros com EM > 1 (máx. de 4,5). Apenas três dos 84 bombeiros nos incêndios reais tiveram EM>1 (3,5%). Os autores utilizaram o LEO de 0,1 e 0,3 ppm para acroleína e formaldeído, respectivamente.

Reisen e Brown (2009) também estimaram a EM. Quando os autores utilizaram 1 ppm como LEO para formaldeído, o índice EM foi > 1 em 28% das amostras e quando utilizaram 0,3 ppm, o EM foi > 1 em 36% das amostras. No presente estudo, o LEO utilizado para formaldeído foi de 0,1 ppm.

3.4 Monitoramento do metabólito ttMA urinário

Amostras de urina para determinação do metabólito ttMA foram coletadas de 34 bombeiros (não participantes do estudo de campo); porém, nem todos forneceram amostras antes e durante o período de início dos incêndios na região (maio e setembro, respectivamente). O metabólito não foi detectado (< LD) na maioria (60,6%) das 33 amostras coletadas em maio e em 37% das 27 amostras coletadas em agosto. Considerando as amostras não detectadas como iguais a zero, não foi observada diferença significativa entre as médias de tt-MA (em µg/g creatinina) nos dois períodos ($58,5 \pm 123,3$ e $69,7 \pm 130,7$, respectivamente). A Figura 3 apresenta os valores de ttMA em ambos os períodos para cada bombeiro. Nenhum dos

trabalhadores ultrapassou o índice biológico de exposição excessiva para este indicador biológico, 750 $\mu\text{g/g}$ creatinina, conforme a Norma Regulamentadora No. 7 (Brasil, 2022).

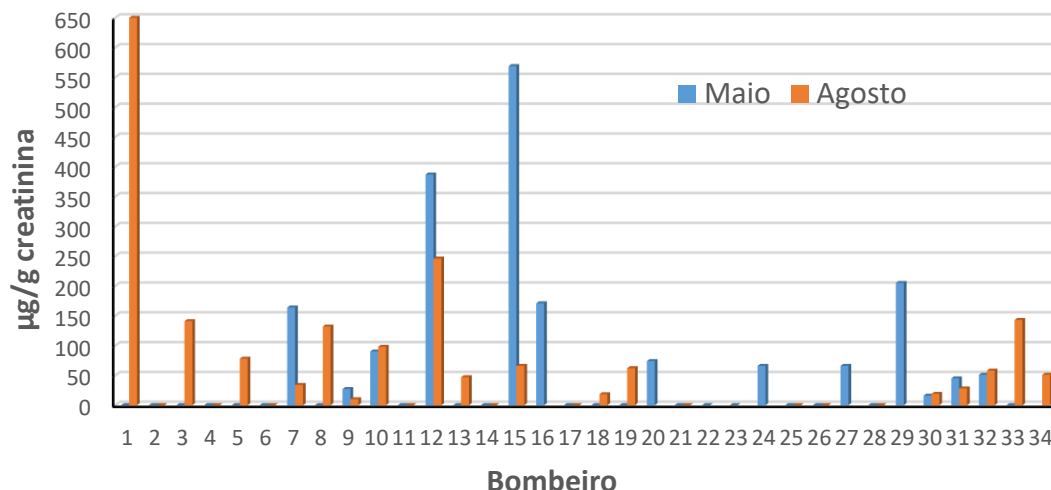


Figura 3. Níveis de ttMA na urina dos bombeiros antes (maio, n=33) e durante o período de incêndios no Distrito Federal (agosto, n=27).

Scherer et al. (1998), realizaram uma revisão abrangente sobre a utilização do tt-MA como biomarcador de exposição ao benzeno, abordando seu metabolismo, fatores que influenciam sua excreção, métodos analíticos e aplicações no monitoramento biológico ocupacional e ambiental. Os autores concluíram que o tt-MA constitui um biomarcador adequado para monitorar exposições ocupacionais ao benzeno em concentrações iguais ou superiores a aproximadamente 0,1 ppm, apresentando boa correlação com os níveis ambientais nessas condições. Entretanto, ressaltaram que fatores como o consumo de alimentos contendo ácido sórbico, o tabagismo, a co-exposição ao tolueno e diferenças individuais no metabolismo podem influenciar significativamente seus níveis urinários, reduzindo sua especificidade.

Paula et al. (2003) avaliaram a utilização do tt-MA como biomarcador de exposição ocupacional ao benzeno em 36 trabalhadores de uma refinaria de petróleo da região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, comparados a 116 indivíduos não expostos. Foram observadas diferenças significativas entre os grupos exposto e não exposto, mas não encontraram correlação entre as concentrações de benzeno no ar e os níveis urinários de tt-MA, atribuindo esse resultado às baixas concentrações ambientais de benzeno (média de 0,05 ppm).

Também no Brasil, Martins e Siqueira (2004), avaliaram o melhor momento para coleta de amostras de urina para a análise do tt-MA em 25 trabalhadores expostos ocupacionalmente ao benzeno numa refinaria de petróleo em Cubatão, São Paulo. Coletaram amostras de urina antes da jornada de trabalho, imediatamente após a jornada e na manhã do dia seguinte à exposição. Os resultados demonstraram que as concentrações urinárias de tt-MA foram significativamente maiores nas amostras coletadas ao final da jornada de trabalho, indicando esse período como o mais adequado para o monitoramento biológico da exposição ao benzeno. No presente trabalho as amostras de urina foram coletas na manhã do dia seguinte à exposição.

No Irã, Jalai et al. (2017), investigaram a confiabilidade do tt-MA como biomarcador para monitoramento de exposições ocupacionais e ambientais a baixas concentrações de benzeno. Avaliaram 248 participantes distribuídos em quatro grupos com diferentes níveis de exposição, incluindo trabalhadores de uma indústria química produtora de alquilbenzeno, policiais, moradores de área urbana e moradores da zona rural. Apenas os trabalhadores submetidos às maiores concentrações de benzeno apresentaram correlação entre a exposição ambiental e os níveis urinários de tt-MA, enquanto indivíduos expostos a concentrações inferiores a 0,5 ppm não apresentaram relação consistente entre esses parâmetros.

No presente estudo, fatores inerentes à dinâmica operacional, como a variabilidade da intensidade da exposição, o tempo de permanência na fumaça e as diferentes atividades desempenhadas pelos bombeiros, podem ter influenciado a resposta biológica observada, reforçando a necessidade de interpretar os resultados do tt-MA em conjunto com as avaliações ambientais de exposição ao benzeno.

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser ressaltadas. Devido à questões de logística e disponibilidade em participar durante o trabalho de combate ao fogo em situação real, o número de bombeiros foi limitado. Adicionalmente, o número de brigadistas ficou condicionado ao planejamento do IBRAM das atividades de queimadas prescritas, o que também limitou o número de participantes. Devido a estas limitações, não foi possível correlacionar estatisticamente os níveis encontrados com a atividade dos bombeiros, como soprador, bomba costal e pinga fogo (somente nas queimadas prescritas). As coletas de urina para análise de ttMA foram realizadas no dia seguinte à atividade de combate ao fogo dos bombeiros, o que provavelmente comprometeu sua detecção. Como os participantes desta etapa não foram os mesmos que participaram do trabalho de campo, não foi possível correlacionar os níveis de benzeno no ar seu indicador biológico na urina.

4. Conclusão

Bombeiros militares e brigadistas florestais do Distrito Federal estão expostos a compostos tóxicos em suas atividades de combate a incêndios florestais e em queimadas prescritas. A exposição não é uniforme entre os compostos nem entre os dois grupos. O material particulado, e os compostos benzeno e o formaldeído foram mais identificados.

Os níveis de MP₄ dos bombeiros foram significativamente maiores do que os dos brigadistas, mas, em ambos os grupos, a maioria das amostras apresentou níveis de MP₁₀ acima do LEO. Entre os compostos do grupo BTXE, o benzeno foi o mais detectado com a maioria das amostras acima do LEO. O formaldeído também foi detectado em na maioria das amostras, com concentrações significativamente maiores entre os brigadistas.

Em síntese, o estudo demonstra a necessidade de programas permanentes de prevenção e vigilância da saúde de bombeiros e brigadistas, considerando as particularidades de cada atividade. As medidas devem contemplar monitoramento ambiental e biológico periódico, organização das jornadas e dos períodos de recuperação, treinamento para redução da permanência nas áreas de maior concentração de fumaça e desenvolvimento de equipamentos de proteção respiratória compatíveis com as exigências físicas e operacionais do trabalho. A realização do estudo em condições reais e a avaliação simultânea de diferentes classes de contaminantes fornecem evidências importantes para orientar estratégias de redução da exposição ocupacional à fumaça de incêndios florestais no Brasil.

Referências

- Adetona, O.; Reinhardt, T.E.; Domitrovich, J.; Broyles, G.; Adetona, A.M.; Kleinman, M.T.; Ottmar, R.D.; Naeher, L.P. Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology* 2016, 28, 95–139.
- ACGIH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH, 2024.
- Abreu, A.; Costa, C.; Silva, S.P.; Morais, S.; Pereira, M.C.; Fernandes, A.; Andrade, V.M.; Teixeira, J.P.; Costa, S. Wood smoke exposure of Portuguese wildland firefighters: DNA and oxidative damage evaluation. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 2017, 80, 1–9.
- Alves, C.A.; Gonçalves, C.; Evtyugina, M.; Pio, C.A.; Mirante, F.; Puxbaum, H. Particulate organic compounds emitted from experimental wildland fires in a Mediterranean ecosystem. *Atmospheric Environment* 2010, 44, 2750–2759.
- Araujo, F.J.M.; Caldas, E.D. Risk perception of military firefighters and brigades in relation to exposure to smoke from forest fires in Brazil. *Toxics* 2026, 14, 431.
- Barboni, T.; Cannac, M.; Pasqualini, V.; Simeoni, A.; Leoni, E.; Chiamonti, N. Volatile and semi-volatile organic compounds in smoke exposure of firefighters during prescribed

- burning in the Mediterranean region. *International Journal of Wildland Fire* 2010, 19, 606–612.
- Barboni, T.; Chiaramonti, N. BTEX emissions during prescribed burning in function of combustion stage and distance from flame front. *Combustion Science and Technology* 2010, 182, 747–761.
- Booze, T.F.; Reinhardt, T.E.; Quiring, S.J.; Ottmar, R.D. A screening-level assessment of the health risks of chronic smoke exposure for wildland firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2004, 1, 296–305.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP nº 567, de 10 de março de 2022. Altera a Norma Regulamentadora nº 7 (NR-7) – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO). Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF). Abertura da Operação Verde Vivo 2026. Brasília, DF: CBMDF, 2026. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/operacao-verde-vivo/>. Acesso em: 13 ago. 2026.
- Cherry, N.; Galarneau, J.-M.; Kinniburgh, D.; Quemerais, B.; Tiu, S.; Zhang, X. Exposure and Absorption of PAHs in Wildland Firefighters: A Field Study with Pilot Interventions. *Annals of Work Exposures and Health* 2021, 65, 148–161.
- Evyugina, M.; Calvo, A.I.; Nunes, T.; Alves, C.; Fernandes, A.P.; Tarelho, T.; Vicente, A.; Pio, C. VOC emissions of smouldering combustion from Mediterranean wildfires in central Portugal. *Atmospheric Environment* 2013, 64, 339–348.
- Fernando, S.; Shaw, L.; Shaw, D.; Gallea, M.; VandenEnden, L.; House, R.; Verma, D.K.; Britz-McKibbin, P.; McCarry, B.E. Evaluation of firefighter exposure to wood smoke during training exercises at burn houses. *Environmental Science & Technology* 2016, 50, 1536–1543.
- Fundacentro. Norma de Higiene Ocupacional NHO 08: procedimento técnico: coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. 2009.
- Hunter, A.L.; Unosson, J.; Bosson, J.A.; Langrish, J.P.; Pourazar, J.; Raftis, J.B.; Miller, M.R.; Lucking, A.J.; Boman, C.; Nyström, R.; Donaldson, K.; Flapan, A.D.; Shah, A.S.V.; Pung, L.; Sadiqsis, I.; Masala, S.; Westerholm, R.; Sandström, T.; Blomberg, A.; Newby, D.E.; Mills, N.L. Effect of wood smoke exposure on vascular function and thrombus formation in healthy fire fighters. *Particle and Fibre Toxicology* 2014, 11, 62.
- Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). Edital nº 3, de 16 de Maio de 2025. Dispõe Sobre a Abertura de Processo Seletivo Para Contratação de Brigadistas. Brasília. 2025. Disponível em: https://www.ibram.df.gov.br/documents/26676051/26679862/edital_no_03_de_16_de_maiode_2025.pdf. Acesso em: 8 May 2026).
- IARC I. - International Agency for Research on Cancer, 2000. Some Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 77. Available: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Industrial-Chemicals-2000>. Accessed: 15 Ago 2026.
- IARC I. - International Agency For Research on Cancer, 2022. Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes. 1–137. Available: https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-132-occupational-exposure-as-a-firefighter/?utm_source=chatgpt.com. Accessed: 15 Ago 2026.
- IARC I. - International Agency for Research on Cancer, 2026. Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes 1–142. Available: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>. Accessed: 15 Ago 2026.
- Jalai, A.; Ramezani, Z.; Ebrahim, K.; Jafari Moghadam, S.R. Urinary trans,trans-muconic acid is not a reliable biomarker for low-level environmental and occupational benzene exposures. *Safety and Health at Work* 2017, 8, 220–225.

- Martins, I.; Siqueira, M.E.P.B. Trans,trans-muconic acid in urine samples collected in three periods from benzene handling workers in a Brazilian refinery. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 2004, 40, 197–201.
- Miranda, A.I.; Martins, V.; Cascão, P.; Amorim, J.H.; Valente, J.; Tavares, R.; Borrego, C.; Tchepel, O.; Ferreira, A.J.; Cordeiro, C.R.; Viegas, D.X.; Ribeiro, L.M.; Pita, L.P. Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal. *Environment International* 2010, 36, 736–745.
- Navarro, K.M.; Cisneros, R.; Noth, E.M.; Balmes, J.R.; Hammond, S.K. Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon of wildland firefighters at prescribed and wildland fires. *Environmental Science & Technology* 2017, 51, 6461–6469.
- Navarro, K.M.; Kleinman, M.T.; Mackay, C.E.; Reinhardt, T.E.; Balmes, J.R.; Broyles, G.A.; Ottmar, R.D.; Naeher, L.P.; Domitrovich, J.W. Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research* 2019, 173, 462–468.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. *Particulates not otherwise regulated, respirable: Method 0600*. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 1998a.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Polynuclear aromatic hydrocarbons by HPLC: Method 5506. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 1998. Issue 3, 15 Jan. 1998b.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Hydrocarbons, aromatic: Method 1501. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 2003a.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Formaldehyde: Method 2016. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 2003b.
- Paula, F.C.S.; Silveira, J.N.; Junqueira, R.G.; Leite, E.M.A. Assessment of urinary trans, trans-muconic acid as a biomarker of exposure to benzene. *Revista de Saúde Pública* 2003, 37, 780–785.
- Reinhardt, T.A.; Ottmar, R.D. Baseline measurements of smoke exposure among wildland firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2004, 1, 593–606.
- Reisen, F.; Brown, S.K. Australian firefighters' exposure to air toxics during bushfire burns of autumn 2005 and 2006. *Environment International* 2009, 35, 342–352.
- Reisen, F.; Hansen, D.; Meyer, C.P.M. Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: Firefighters' exposure risks and options. *Environment International* 2011, 37, 314–321.
- Scherer, G.; Renner, T.; Meger, M. Analysis and evaluation of trans, trans-muconic acid as a biomarker for benzene exposure. *Journal of Chromatography B* 1998, 717, 179–199.
- Simms, L.A.; Borrás, E.; Chew, B.S.; Matsui, B.; McCartney, M.M.; Robinson, S.K.; Kenyon, N.; Davis, C.E. Environmental sampling of volatile organic compounds during the 2018 Camp Fire in Northern California. *Journal of Environmental Sciences* 2021, 103, 135–147.
- Urrutia-Pereira, M.; Rizzo, L.V.; Chong-Neto, H.J.; Solé, D. Impact of exposure to smoke from biomass burning in the Amazon rain forest on human health. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 2021, 47, e20210219.

CONCLUSÕES FINAIS

Bombeiros militares e brigadistas do Distrito Federal apresentam alta percepção dos riscos decorrentes da exposição à fumaça de incêndios florestais e reconhecem a associação da exposição a doenças respiratórias, câncer e outros riscos à saúde. No entanto, isso não implica ações de proteção, pois a maioria dos participantes relatou não utilizar equipamentos de proteção respiratória, principalmente devido à indisponibilidade desses equipamentos nas instituições. Os resultados demonstram que as principais dificuldades enfrentadas quanto à proteção da saúde desses profissionais estão relacionadas a fatores institucionais e operacionais, reforçando a necessidade de investimentos em políticas de prevenção, treinamento e na disponibilização de equipamentos adequados.

Bombeiros militares e brigadistas estão expostos, em suas atividades ocupacionais, a concentrações elevadas de poluentes emitidos durante incêndios florestais. As concentrações de material particulado ultrapassaram os limites máximos recomendados na maioria das coletas tanto para MP₄ quanto para MP₁₀. A exposição a material particulado constitui um dos principais riscos associados à fumaça dos incêndios florestais, podendo causar problemas respiratórios e outras consequências à saúde de forma crônica se a exposição for repetida ao longo de anos. Os resultados reforçam a necessidade de adoção de estratégias de controle da exposição e proteção destes profissionais, como medidas administrativas, monitoramento ocupacional e utilização de equipamentos de proteção respiratória compatíveis com os riscos existentes e atividades que executam.

Quanto aos compostos químicos presentes na fumaça, o benzeno foi o principal composto identificado, com concentrações muito acima do limite de exposição ocupacional na maioria das amostras analisadas. Os níveis do metabólito do benzeno (ttMA) em amostras de urina de bombeiros não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os períodos antes e durante a temporada de incêndios florestais no DF.

O formaldeído foi o principal irritante pulmonar detectado nas amostras, com níveis mais elevados entre os brigadistas. A acroleína foi detectada, mas apenas em baixas concentrações. Apenas os HPA antraceno e fenantreno foram detectados nas amostras, mas apenas em duas com altas concentrações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados confirmam que bombeiros militares e brigadistas estão expostos a uma mistura complexa de compostos químicos tóxicos durante o combate a incêndios florestais e que essa exposição acarreta riscos ocupacionais. Além de contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre a exposição ocupacional a incêndios florestais no Brasil, esta pesquisa fornece subsídios para o aperfeiçoamento de ações e políticas institucionais voltadas à proteção da saúde de bombeiros militares e brigadistas florestais nessas atividades, bem como para o monitoramento ambiental e biológico.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Recomenda-se a realização de pesquisas com maior número de participantes e abrangência em diferentes regiões do país, incluindo outros biomas, tipos de vegetação, condições climáticas e estratégias de combate a incêndios florestais. Também são necessários estudos longitudinais que acompanhem esses profissionais ao longo de vários anos, possibilitando uma melhor compreensão dos efeitos da exposição ocupacional e a avaliação de um conjunto mais amplo de biomarcadores. Outra perspectiva consiste no desenvolvimento e na validação de equipamentos de proteção respiratória (EPR) específicos para as atividades de combate a incêndios florestais, considerando as características e demandas particulares desse cenário ocupacional. Por fim, recomenda-se a realização de análises estatísticas que permitam correlacionar os níveis dos contaminantes encontrados com as diferentes atividades desempenhadas pelos profissionais durante o combate aos incêndios florestais, contribuindo para uma avaliação mais precisa dos fatores associados à exposição ocupacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.; COSTA, C.; SILVA, S. P.; MORAIS, S.; PEREIRA, M. C.; FERNANDES, A.; ANDRADE, V. M.; TEIXEIRA, J. P.; COSTA, S. Wood smoke exposure of Portuguese wildland firefighters: DNA and oxidative damage evaluation. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 80, n. 13–15, p. 596–604, 2017.
- ACGIH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH: ACGIH, 2024.
- ADETONA, O.; T. E. REINHARDT, DOMITROVICH, J.; BROYLES, G.; ADETONA, A. M.; KLEINMAN, M. T.; R. D. OTTMAR; NAEHER, L. P. Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology*, v. 28, n.3, p. 95–139, 2016.
- ADETONA, O.; SIMPSON, C. D.; LI, Z.; SJODIN, A.; CALAFAT, A. M.; NAEHER, L. P. Hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons as biomarkers of exposure to wood smoke in wildland firefighters. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, v. 27, p.78–831, 2017.
- AHMED, M.; XINXIN, G.; XING-MIN, Z. Determination and analysis of trace metals and surfactant in air particulate matter during biomass burning haze episode in Malaysia. *Atmospheric Environment*, v. 141, p. 171–179, 2016.
- ALAHABADI, A.; FAZELI, F.; RAKHSHANI, M. H.; NAJAFI, M. L.; ALIDADI, H.; MIRI, M. Spatial distribution and health risk of exposure to BTEX in urban area: a comparison study of different land-use types and traffic volumes. *Environ Geochem Health*, (2021) v. 43, p.2871–2885, 2021.
- ALVES, C. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. *Quim. Nova*, v. 28, n. 5, p. 859-870, 2005.
- ALVES, C. A.; GONÇALVES, C.; EVTYUGINA, M.; PIO, C. A.; MIRANTE, F.; PUXBAUM, H. Particulate organic compounds emitted from experimental wildland fires in a Mediterranean ecosystem. *Atmospheric Environment* v. 44, n. 23, p. 2750–2759, 2010.
- AMINI, H.; HOSSEINI, V.; SCHINDLER, C.; HASSANKHANY, H.; YUNESIAN, M.; HENDERSON, S. B.; KÜNZLI, N. Spatiotemporal description of BTEX volatile organic compounds in a Middle Eastern megacity: Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR). *Environmental Pollution*, v. 226, p. 219-229, 2017.
- ANDERSON, D.; A.; HARRISON, T.; R.; YANG, F.; MUHAMAD, J. W.; MORGAN, S.; E. Firefighter perceptions of cancer risk: Results of a qualitative study. *American Journal of Industrial Medicine*, v. 60, n. 7, p. 644–650, 2017.
- ARTS, J. H. E.; HEER, C.; WOUTERSEN, R. A. Local effects in the respiratory tract: relevance of subjectively measured irritation for setting occupational exposure limits. *Int Arch Occup Environ Health*, v. 79, p. 283–298, 2006a.
- ARTS, J. H. E.; RENNEN, M. A. J.; HEER, C. Inhaled formaldehyde: Evaluation of sensory irritation in relation to carcinogenicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 44, n. 2, p. 144–160, 2006b.

- ARTS, J. H. E.; MUIJSER, H.; KUPER, C. F.; WOUTERSEN, R. A. Setting an indoor air exposure limit for formaldehyde: Factors of concern. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 52, n. 2, p. 189–194, 2008.
- AVEN, T. A unified framework for risk and vulnerability analysis covering both safety and security. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 92, n.6, p. 745–754, 2007.
- BANES, C. J. Firefighters' cardiovascular risk behaviors: effective interventions and cultural congruence. *Workplace Health & Safety*, v. 62, n. 1, p.27–34, 2014.
- BARBONI, T.; PELLIZZARO, G.; ARCA, B.; CHIARAMONTI, N.; DUCE, P. Analysis and origins of volatile organic compounds smoke from ligno-cellulosic fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 89, p. 60-65, 2010a.
- BARBONI, T.; CANNAC, M.; PASQUALINI, V.; SIMEONI, A.; LEONI, E.; CHIARAMONTI, E. Volatile and semi-volatile organic compounds in smoke exposure of firefighters during prescribed burning in the Mediterranean region. *International Journal of Wildland Fire*, v. 19, p. 606–612, 2010b.
- BARBONI, T.; CHIARAMONTI, N.. BTEX emissions during prescribed burning in function of combustion stage and distance from flame front. *Combustion Science and Technology*, v. 182, p. 1193-1200, 2010c.
- BEIN, K.; LEIKAUF, G. D. Acrolein - a pulmonary hazard. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 55, n. 9, p. 1342–1360, 2011.
- BOOLLING, A. K.; TOTLANDSDAL, A. I.; SALLSTEN, G.; BRAUN, A.; WESTERHOLM, R.; BERGVALL, C.; BOMAN, J.; DAHLMAN, H. J.; SEHLSTEDT, M.; CASSEE, F.; SANDSTROM, T.; SCHWARZE, P. E.; HERSETH, J. I. Wood smoke particles from different combustion phases induce similar pro-inflammatory effects in a co-culture of monocyte and pneumocyte cell lines. *Particle and Fibre Toxicology*, v. 9, n. 45, p. 1-15, 2012.
- BOOZE, T. F.; REINHARDT, T. E.; QUIRING, S. J.; OTTMAR, R. D. A Screening-Level Assessment of the Health Risks of Chronic Smoke Exposure for Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 1, n. 5, p. 296–305, 2004.
- BRITZ-MCKIBBIN, P.; FERNANDO, S.; GALLEA, M.; VANDENENDEN, L.; HOUSE, R.; VERMA, D.; SHAW, L.; MCCARRY, B. E.; SHAW, D. Evaluation of Firefighter Exposure to Wood Smoke During Training Exercises at Burn Houses. *Environmental Science & Technology*, v. 5, n. 3, p. 1536-1543, 2016.
- BROYLES, G.; KARDOUS, C. A.; SHAW, P. B.; KRIEG, E. F. Noise exposures and perceptions of hearing conservation programs among wildland firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 16, n. 12, p. 775–789, 2019.
- BURLING, I. R.; YOKELSON, R. J.; GRIFFITH, D. W. T.; JOHNSON, T. J.; VERES, P.; ROBERTS, J. M.; WARNEKE, C.; URBANSKI, S. P.; REARDON, J.; WEISE, D. R.; HAO, W. M.; GOUW, J. D. Laboratory measurements of trace gas emissions from biomass burning of fuel types from the southeastern and southwestern United States. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, n. 22, p. 11115–11130, 2010.

- CAPLETON, A. C.; LEVY, L. S. An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in Europe and North America. *Chemico-Biological Interactions*, v. 153-154, p. 43-53, 2005.
- CARPENTER, D.; MAASBER, M.; HICKS, C.; CHEN, X. A multicultural study of biometric privacy concerns in a fire ground accountability crisis response system. *International Journal of Information Management*, v. 36, p. 735–747, 2016.
- CARBALO-LEYENDA, B.; VILA- VICENTE, J. G.; DELOGU, G. M.; RODRIGUEZ- MARROYO, J. A.; MOLINA-TERRÉN, D. M. Perceptions of Heat Stress, Heat Strain and Mitigation Practices in Wildfire Suppression across Southern Europe and Latin America. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 19, p. 12288, 2022.
- CASCIO, W. E. Wildland fire smoke and human health. *Science of the Total Environment*, v. 624, p. 624: 586–595, 2018.
- CASEROTTI, M.; GIRARDI, P.; RUBALTELLI, E.; TASSO, A.; LOTTO, L.; GAVARUZZI, T. Associations of COVID-19 risk perception with vaccine hesitancy over time for Italian residents. *Social Science & Medicine*, v. 272, p. 113688, 2021.
- CAUX, C.; O'BRIE, C.; VIAU, C. Determination of Firefighter Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Benzene During Fire Fighting Using Measurement of Biological Indicators. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, v. 17, n. 5, p. 379–386, 2002.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF). Abertura da Operação Verde Vivo 2026. Brasília, DF: CBMDF, 2026. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/operacao-verde-vivo/>. Acesso em: 13 ago. 2026.
- CONKLIN, D. J.; Acute cardiopulmonary toxicity of inhaled aldehydes: role of TRPA1. *Ann New York Academy of Sciences*, v. 1374, n. 1, p. 59-67, 2016.
- DEJOY, D. M.; SMITH, T. D.; DYAL, M. A. Safety climate and firefighting: Focus group results. *Journal of Safety Research*, v. 62, p. 107–116, 2017.
- DE VOS, A. J. B. M.; REISEN, F.; COOK, A.; DEVINE, B.; WEINSTEIN, P. Respiratory irritants in Australian bushfire smoke: air toxics sampling in a smoke chamber and during prescribed burns. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 56, n. 2, p. 380–388, 2009.
- EVTYUGINA, M.; CALVO, A. I.; NUNES, T.; ALVES, C.; FERNANDES, A. P.; TARELHO, T.; VICENTE, A.; PIO, C. VOC emissions of smouldering combustion from Mediterranean wildfires in central Portugal. *Atmospheric Environment*, v. 64, p. 339-348, 2013.
- EUN OH, H. E.; KIM, JIN, S.; WOO, H.; HAM, S. Associations between awareness of the risk of exposure to pollutants occurring at fire scenes and health beliefs among metropolitan firefighters in the Republic of Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 14, p. 8860, 2022.
- FABIAN, T. Z.; BORERSON, J. L.; GANDHI, P. D.; Characterization of Firefighter Smoke Exposure. *Fire Technology*, v. 50, p. 993–1019, 2014.

- FENT, K. W., EISENBERG, J., SNAWDER, J., SAMMONS, D., PLEIL, J. D., STIEGEL, M. A. & DALTON, J. Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. *Annals of occupational hygiene*, v. 58, n. 7, p. 830-845, 2014.
- FENT, KW. K.; MAYER, A.; BERTKE, S.; KERBER, S.; SMITH, D.; HORN, G. P. Understanding airborne contaminants produced by different fuel packages during training fires. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 16, n. 8, 532–543, 2019.
- FERRER, R. A.; KLEIN, W. M. P. Risk perceptions and health behavior. *Current Opinion in Psychology*, v.5, p. 85–89, 2015.
- FIALHO, M.; NUNES, S.; GAMELAS, C. A. Risk Perception, Safety Behavior and Work Accidents: Assessment and Relations in a Sample of Portuguese Firefighters. *Fire Technology*, v. 60, p. 3529–3552, 2024.
- FIESTAS, M. M.; GARZÓN, I. R.; PADIAL, A. A. Firefighter perception of risk: A multinational analysis. *Safety Science*, v. 123, p. 104545, 2020.
- FILIBERTI, A. A.; DAVIS, S. C.; SPANO, S. J. Smoke Exposure and Respirator Use Among Wildland Firefighters: A Narrative Review. *WILDERNESS & ENVIRONMENTAL MEDICINE*, v. 36, n. 1, 1–11, 2025.
- GALBRAITH, D.; GROSS, S. A.; PAUSTENBACH, D. Benzene and human health: A historical review and appraisal of associations with various diseases. *Critical Reviews in Toxicology*, v. 40, p. 1 – 46, 2010.
- GARG, A.; GUPTA, N. C. A comprehensive study on spatio-temporal distribution, health risk assessment and ozone formation potential of BTEX emissions in ambient air of Delhi, India. *Science of the Total Environment*, v. 659, p. 1090–1099, 2019.
- GARZÓN, I. R.; FIESTAS, M. M.; PADIAL, A. D.; RUIZ, V. L. Perception of Occupational Risk of Firefighters in Quito (Ecuador). *Fire Technology*, v. 52, p. 753–773, 2015.
- GAUGHAN, D. M.; SIEGEL, P. D.; HUGHES, M. D.; CHANG, C.; LAW, B. F.; CAMPBELL, C. R.; RICHARDS, J. C.; KALES, S. F.; CHERTOK, M.; KOBZIK, L.; NGUYEN, P.; O'DONNELL, C. R.; KIEFER, M.; WAGNER, G. R.; CHRISTIANI, D. C. Arterial Stiffness, Oxidative Stress, and Smoke Exposure in Wildland Firefighters. *American Journal of Industrial Medicine*, v. 57, p. 748–756, 2014.
- GILL, B.; MELL, A.; SHANMUGANATHAN, S.; JOBST, K.; ZHANG, X.; KINNIBURGH, D.; CHERRY, N.; BRITZ-MCKIBBIN, P. Urinary hydroxypyrene determination for biomonitoring of firefighters deployed at the Fort McMurray wildfire: an inter-laboratory method comparison. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 411, n. 7, p. 1397-1407, 2019.
- GLASGOW, T. E.; BURCH, J. B.; ARCAN, C.; FUEMMELER, B. F. Cancer Prevention Among Firefighters: Examining Lifestyle, Screening Behavior, and Beliefs. *Workplace Health & Safety*, v. 72, n. 7, p. 283-297, 2024.
- GOLKHORSHIDI, F.; SOROOSHIAN, A.; JAFARI, A. J.; BAGHANI, A. N.; KERMANI, M.; KALANTARY, R. R.; ASHOURNEJADF, Q.; DELIKHOON, M. On the nature and health impacts of

BTEX in a populated Middle Eastern city: Tehran, Iran. *Atmospheric Pollution Research*, v. 10, n. 3, p. 921-930, 2019.

GOULD, C. F.; HEFT-NEAL, S.; PRUNICKI, M.; AGUILERA, J.; BURKE, M.; NADEAU, K. Health Effects of Wildfire Smoke Exposure. *Annual Review of Medicine*, v. 75, p. 277-292, 2024.

HAHM, S.; KNUTH, D.; KEHL, D.; SCHMIDT, S. The Impact of Different Natures of Experience on Risk Perception Regarding Fire-related Incidents: A Comparison of Firefighters and Emergency Survivors Using Cross-national Data. *Safety Science*, v. 82, p. 274–282, 2016.

HARRISON, T. R.; MUHAMAD, J. W.; MALOVA, E. Firefighters and Cancer: A Review of the Current State of Cancer Incidences and Recent Trends in Risk Perception and Risk Reduction Efforts. *Medical Research Archives*, v. 10, n. 11, 2022.

HUNTER, A. A.; UNOSSON, J.; BOSSON, J. A.; LANGRISH, J. P.; POURAZAR, J.; RAFTIS, J. B.; MILLER, M. R.; LUCKING, A. J.; BOMAN, C.; NYSTRÖM, R.; DONALDSON, K.; FLAPAN, A. D.; SHAH, A. V.; PUNG, L.; SADIKTSIS, I.; MASALA, S.; WESTERHOLM, R.; SANDSTRÖM, T.; BLOMBERG, A.; NEWBY, D. E.; MILLS, N. L. Effect of wood smoke exposure on vascular function and thrombus formation in healthy fire fighters. *Particle and Fibre Toxicology*, v. 11, n. 62, 2014.

HWANG, J.; XU, C.; CLIFITON, S.; MALONE, T.R. Health Risks of Structural Firefighters from Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 8, p. 4209, 2021.

IARC I. - International Agency for Research on Cancer, 2000. Some Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 77. Available: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Industrial-Chemicals-2000>. Accessed: 15 Ago 2026.

IARC I. - International Agency For Research on Cancer, 2022. Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes. 1–137. Available: https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-132-occupational-exposure-as-a-firefighter/?utm_source=chatgpt.com. Accessed: 15 Ago 2026.

IARC I. - International Agency for Research on Cancer, 2026. Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes 1–142. Available: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>. Accessed: 15 Ago 2026.

Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). Edital nº 3, de 16 de maio de 2025. Dispõe Sobre a Abertura de Processo Seletivo Para Contratação de Brigadistas. Brasília. 2025. Disponível em: https://www.ibram.df.gov.br/documents/26676051/26679862/edital_no_03_de_16_de_maio_de_2025.pdf . Acesso em: 8 May 2026).

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Painel de Monitoramento da Ocorrência de Focos de Fogo. Available: <https://data.inpe.br/queimadas/painel-do-fogo/>. Accessed: 09 Jul 2026.

ISLAM, M. M.; MANDAL, S.; AL-MASHALA, H. H.; SCHNITZLER, E. G.; PETROVA, A.; AGNEW, R. J.; BOORADY, L. M. Wildfire smoke and firefighter safety: a review of toxic particle exposure, clothing performance and health implications. *Fire and Materials*, v. 50, n. 1, p. 64–78, 2026.

JAHNKE, S. A.; POSTON, W. S. C.; JITNARIN, N.; HADDOCK, C. K. Health Concerns of the U.S. Fire Service: Perspectives from the Firehouse. *American Journal of Health Promotion*, v. 27, n. 2, p. 111–118, 2012.

JALAVA, P.; SALONEN, R. O.; NUUTINEN, K.; PENNANEN, A. S.; HAPPO, M. S.; TISSARI, J.; FREY, A.; HILLAMO, R.; JOKINIEMI, J.; HIRVONEN, M. Effect of combustion condition on cytotoxic and inflammatory activity of residential wood combustion particles. *Atmospheric Environment*, v. 44, p. 1691–1698, 2010.

JOHNSTON, F. H.; HENDERSON, S. B.; CHEN, Y.; RANDERSON, J. T.; MIRIAM MARLIER, DEFRIES, R. S.; KINNEY, P.; BOWMAN, D. M. J. S.; BRAUER, M. Estimated Global Mortality Attributable to Smoke from Landscape Fires. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 5, p. 695–701, 2012.

JOHNSTON, F. H.; WILLIAMSON, G.; BORCHERS-ARRIAGADA, N.; HENDERSON, S. B.; BOWMAN, D. M. J. S. Climate change, landscape fires, and human health: a global perspective. *Annual Review of Public Health*, v. 45, p. 295–314, 2024.

KAHN, S. A.; LEONARD, C.; LEE, Y. G.; BOATWRIGHT, R.; FLAMM, T.; WOODS, J. A pilot survey of Southeastern firefighters: Safety practices, use of protective gear, and injury. *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*, v. 46, n.2, p. 298–302, 2020.

KHALADE, A.; JAAKKOLA, M. S.; PUKKALA, E.; JAAKKOLA, J. J. Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, v. 9, n. 31, 2010.

KARL, T. G.; CHRISTIAN, T. J.; YOKELSON, R. J.; ARTAXO, P.; HAO, W. M.; GUENTHER, A. The Tropical Forest and Fire Emissions Experiment: method evaluation of volatile organic compound emissions measured by PTR-MS, FTIR, and GC from tropical biomass burning. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 7, p. 5883–5897, 2007.

KEIR, J. L. A.; AKHTAR, U. S.; MATSCHKE, D. M. J.; WHITE, P. A.; KIRKHAM, T. L.; CHAN, H. M.; BLAIS, J. M. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) and metal contamination of air and surfaces exposed to combustion emissions during emergency fire suppression: Implications for firefighters' exposures. *Science of the Total Environment*, v. 698, p. 134211, 2020.

KIRK, K. M.; LOGAN, M. B. Firefighting Instructors' Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons During Live Fire Training Scenarios. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 12, p. 227–234, 2015.

KOLLANUS, V.; TIITTANEN, P.; NIEMI, J. V.; LANKI, T. Effects of long-range transported air pollution from vegetation fires on daily mortality and hospital admissions in the Helsinki metropolitan area, Finland. *Environmental Research*, v. 151, p. 351–358, 2016.

LANG, I.; BRUCKNER, T.; TRIEBIG, G. Formaldehyde and chemosensory irritation in humans: A controlled human exposure study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* v. 50, p. 23–36, 2008.

- LATIF, M. T.; HAMID, H. H. A.; AHAMAD, F.; KHAN, M. F.; NADZIR, M. S. M.; OTHMAN, M.; SAHANI, M.; WAHAB, M. I. A.; MOHAMAD, N.; UNING, R.; POH, S. C.; FADZIL, M. F.; SENTIAN, J.; TAHIR, N. M. BTEX compositions and its potential health impacts in Malaysia. *Chemosphere Science and Environment*, v. 237, p. 124451, 2019.
- LATOUR, L. B.; GRANIÉ, M. A. The influence of the perceived masculinity of an occupation on risk behavior: The case of firefighters. *Safety Science*, v. 150, p. 105702, 2022.
- LEONARD, S. S.; CASTRANOVA, V.; CHEN, B. T.; SCHWEGLER-BERRY, D.; HOOVER, M.; PIACITELLI, C.; GAUGHAN, D. M. Particle size-dependent radical generation from wildland fire smoke. *Toxicology* v. 236, p. 103–113, 2007.
- LIU, J.; MU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, Z.; WANG, X.; LIU, Y.; SUN, Z. Atmospheric levels of BTEX compounds during the 2008 Olympic Games in the urban area of Beijing. *Science of the Total Environment* v. 408, p. 109–116, 2009.
- LOGUE, J. M.; SMALL, M. J.; STERN, D.; MARANCHE, J.; ROBINSON, A. L. Spatial Variation in Ambient Air Toxics Concentrations and Health Risks between Industrial-Influenced, Urban, and Rural Sites. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 60, n. 3, p. 271-286, 2010.
- LOUZADO-FELICIANO, P.; SANTIAGO, K. M.; PAULE, L.; RIVERA, G.; SOLLE, N. S.; MIRIC, M.; PEREZ-THEN, E.; CABAN-MARTINEZ, A. J. Perceptions of occupational cancer risk and prevention among Dominican Republic firefighters: a qualitative study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, v. 64, n. 3, p. 131–135, 2022.
- LOZANO, M. F. C.; GARCÍA, C. O. R. Occupational Hazards in Firefighting: Systematic Literature Review. *Safety and Health at Work*, v. 14, p. 1-9, 2023.
- MCCLANAHAN, K.; SANCHEZ, P; GANT, K.; JOYCE, J.; BRAUN, A. Perceptions of preventable cancer burden among US-based firefighters: a mixed methods cross-sectional study. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, v. 56, n. 5, p. 300-309, 2024.
- MACSWEEN, K.; PATON-WALSH, C.; ROULSTON, C.; GUÉRETTE, E.; EDWARDS, G.; REISEN, F.; DESSERTVETAZ, M.; CAMERON, M.; YOUNG, E.; KUBISTIN, D. Cumulative Firefighter Exposure to Multiple Toxins Emitted During Prescribed Burns in Australia. *Springer Nature B.V.*, v. 12, n. 4, p. 721-733, 2019.
- MAGLIO, M. A.; SCOTT, C.; DAVIS, A. L.; ALLEN, J.; TAYLOR, J. A. Situational Pressures that Influence Firefighters' Decision Making about Personal Protective Equipment: A Qualitative Analysis. *American Journal of Health Behavior*, v. 40, n. 5, p. 555-567, 2016.
- MARTIN, W. E.; MARTIN, I. M.; KENT, B. The role of risk perceptions in the risk mitigation process: The case of wildfire in high risk communities. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 3, p. 489–498, 2009.
- MAYER, A. C.; HORN, G. P.; FENT, K. W.; BERTKE, S. J.; KERBER, S.; KESLER, R. M.; NEWMAN, H.; SMITH, D. L. Impact of select PPE design elements and repeated laundering in firefighter protection from smoke exposure. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 17, n. 11-12, p. 505-514, 2020.

MAYER, A. C., FENT, K. W., WILKINSON, A., CHEN, I. C., KERBER, S., SMITH, D. L., KESLER, R. M., & HORN, G. P. Characterizing exposure to benzene, toluene, and naphthalene in firefighters wearing different types of new or laundered PPE. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 240, p. 113900, 2022.

MEIRE, R. O.; AZEREDO, A.; TORRES, J. P. M. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 2, p. 188-201, 2007.

MILLET, B. Designing an Occupational Exposure Report for Aircraft Rescue and Firefighting. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, v. 64, n. 1, p. 924-927, 2020.

MIRANDA, A. I.; MARTINS, V.; CASCÃO, P.; AMORIM, J. H.; VALENTE, J.; TAVARES, R.; BORREGO, C.; TCHEPEL, O.; FERREIRA, A. J.; CORDEIRO, C.R.; VIEGAS, D. X.; RIBEIRO, L.M.; PITA, L. P. Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal. *Environment International*, v. 36, n. 7, p. 736-745, 2010.

MIRANDA, A. I.; MARTINS, V.; CASCÃO, P.; AMORIM, J. H.; VALENTE, J.; BORREGO, C.; FERREIRA, A. J.; CORDEIRO, C.R.; VIEGAS, D. X.; OTTMAR, R. Wildland smoke exposure values and exhaled breath indicators in firefighters. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 75, n. 13-15, p. 831-843, 2012.

NAEHER, L. P.; BRAUER, M.; LIPSETT, M.; ZELIKOFF, J. T.; SIMPSON, C. D.; KOENIG, J. Q.; SMITH, K. R. Woodsmoke health effects: a review. *Inhalation Toxicology*, v. 19, n. 1, p. 67-106, 2007.

NAVARRO, K.; CISNEROS, R.; NOTH, E.; BALMES, J. R.; HAMMOND, S. K. Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbon of Wildland Firefighters at Prescribed and Wildland Fires. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 11, p. 6461-6469, 2017.

NAVARRO, K. M.; KLEINMAN, M. T.; MACKAY, C. E.; REINHARDT, T. E.; BALMES, J. R.; BROYLES, G. A.; OTTMAR, R. D.; NAHER, L. P.; DOMITROVICH, J. W. Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research*, v. 173, p. 462-468, 2019.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. *Particulates not otherwise regulated, respirable: Method 0600*. In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 1998. Issue 3, 15 jan. 1998a.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. Polynuclear aromatic hydrocarbons by HPLC: Method 5506. In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 1998. Issue 3, 15 Jan. 1998b.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. Hydrocarbons, aromatic: Method 1501. In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 2003. Issue 3, 15 Mar. 2003a.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. Formaldehyde: Method 2016. In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. 4. ed. Cincinnati, OH: NIOSH, 2003. Issue 2, 15 Mar. 2003b.

- OLIVEIRA, M.; SLEZAKOVA, K.; ALVES, M. J.; FERNANDES, A.; TEIXEIRA, J. P.; DELERUE-MATOS, C.; PEREIRA, M. C.; MORAIS, S. Firefighters' exposure biomonitoring: Impact of firefighting activities on levels of urinary monohydroxyl metabolites. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 19, n. 8, 857-866, 2016.
- OLIVEIRA, M.; SLEZAKOVA, K.; FERNANDES, A.; TEIXEIRA, J. P.; DELERUE-MATOS, C.; PEREIRA, M. C.; MORAIS, S. Occupational exposure of firefighters to polycyclic aromatic hydrocarbons in non-fire work environments. *Science of the Total Environment*, v. 592, p. 277-287, 2017.
- OLIVEIRA, M.; COSTA, S.; VAZ, J.; FERNANDES, A.; SLEZAKOVA, K.; DELERUE-MATOS, C.; TEIXEIRA, J. P.; PEREIRA, M. C.; MORAIS, M. Firefighters exposure to fire emissions: Impact on levels of biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and genotoxic/oxidative effects. *Journal of Hazardous Materials*, v. 383, p. 121179, 2020.
- PENDERGRAST, C.; BOYLE, T.; CROCKETT, A. J.; ESTON, R.; JOHNSTON, K. N. Perceptions of lung function surveillance in urban firefighters. *Annals of Work Exposures and Health*, v. 67, n. 8, p. 926-937, 2023.
- PRATI, G.; PIETRANTONI, L.; SACCINTO, E.; KEHL, D.; KNUTHC, D.; SCHMIDT, S. Risk perception of different emergencies in a sample of European firefighters. *Work*, v. 45, n. 1, p. 87-96, 2013.
- REID, C. E.; BRAUER, M.; JOHNSTON, F. H.; JERRETT, M.; BALMES, J. R.; ELLIOTT, C. T. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environmental Health Perspectives*, v. 124, n. 9, p. 1334-1343, 2016.
- REINHARDT, T. A.; OTTMAR, R. D. Baseline Measurements of Smoke Exposure Among Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 1, n. 9, p. 593-606, 2004.
- REISEN, F.; BROWN, S. K. Australian firefighters' exposure to air toxics during bushfire burns of autumn 2005 and 2006. *Environment International*, v. 35, n. 2, p. 342-352, 2009.
- REISEN, F.; HANSEN, D.; MEYER, C. P. M. Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: Firefighters' exposure risks and options. *Environment International*, v. 37, n. 2, p. 314-321, 2011.
- RICE, R. B.; BOAGGIO, K.; OLSON, N. E.; FOLEY, K. M.; WEAVER, C. P.; SACKS, J. D.; MCDOW, S. R.; HOLDER, A. L.; LEDU, S. D. Wildfires Increase Concentrations of Hazardous Air Pollutants in Downwind Communities. *Environmental Science & Technology*, v. 57, n. 5, p. 21235-21248, 2023.
- ROBSON, J.; GOPALDASANI, V.; WHITELAW, J. L. Are volunteer firefighters adequately protected? Evaluating barriers to respiratory protection use during bushfire smoke exposure. Preprint. Wollongong: University of Wollongong, 2025. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=6827445>. Acesso em: 10 jul. 2026.

ROSTING, C.; OLSEN, R. Biomonitoring of the benzene metabolite s-phenylmercapturic acid and the toluene metabolite s-benzylmercapturic acid in urine from firefighters. *Toxicology Letters*, v. 329, p. 20–25, 2020.

ROY, U.; PALLEPATI, P.; BETTAIEB, A.; AVERILL-BATES, D. A. Acrolein induces apoptosis through the death receptor pathway in A549 lung cells: role of p531. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 88, n. 3, 353–368, 2010.

SADLER, P.; HOLGATE, A.; CLANCY, D. Is a Contained Fire Less Risky Than a Going Fire? Career and Volunteer Firefighters' Perception of Risk. *The Australian Journal of Emergency Management* v. 22, n. 2, p. 28–34, 2007.

SALIBA, T. M. Manual prático de avaliação e controle de poeira e outros particulados. 7a ed., editor LTr, São Paulo, 2014.

SALIBA, T. M. Manual prático de avaliação e controle de gases e vapores. 8a ed., editor LTr, São Paulo, 2018.

SALTHAMMER, Tunga. Formaldehyde in the ambient atmosphere: from an indoor pollutant to an outdoor pollutant? *Angewandte Chemie International Edition*, v. 52, n. 12, p. 3320–3327, 2013.

SANTOS, M. V. C.; FIGUEIREDO, V. O.; ARCURI, A. S. A.; COSTA-AMARAL, I. C.; GONÇALVES, E. S.; LARENTIS, A. L. Aspectos toxicológicos do benzeno, biomarcadores de exposição e conflitos de interesses. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 42, supl. 1, e13s, p.1–6, 2017.

SANTOSO, M. A.; CHRISTENSEN, E. G.; YANG, J.; REIN, G. Review of the transition from smouldering to flaming combustion in wildfires. *Frontiers in Mechanical Engineering*, v. 5, art. 49, 2019.

SILVA, R.A.; PAIVA, M.J.N.; MARTINS, I. Perception of health risks and occupational exposure to forest fires among military firefighters in Belo Horizonte, Minas Gerais. *Vigiles*, v. 8, n.1, p. 1-26, 2025.

SILVA, R. A.; LIMA, A. A. V.; CAIXETA, R. S.; SAVIETTO, G. H.; BARBOSA JUNIOR, F.; SOUZA, M. C. O.; PAIVA, M. J. N.; MARTINS, I. Association between oxidative DNA damage and PAH exposure in Brazilian wildland firefighters. *Environmental Pollution*, v. 390, art. 127527, 2026.

SIMMS, L. A.; BORRAS, E.; CHEW, B. S.; MATSUI, B.; MCCARTNEY, M. M.; ROBINSON, S. K.; KENYON, N.; DAVIS, C. E. Environmental sampling of volatile organic compounds during the 2018 Camp Fire in Northern California. *Journal of Environmental Sciences*, v. 103, p. 135–147, 2021.

SNOW, C. R.; GREGORY, D. E. Perceived Risk of Low-Back Injury Among Four Occupations. *Human Factors*, v. 58, n. 4, p. 586–594, 2016.

SOARES NETO, CARVALHO JR., J. A.; VERAS, C.A.G.; ALVARADO, E. C.; GIELOW, R.; LINCOLN, E. N.; CHRISTIAN, T. J.; YOKELSON, R. J.; SANTOS, J. C. Biomass consumption and CO₂, CO and main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire. *Atmospheric Environment* 43, n. 2, 438–446, 2009.

SOLLE, N. S.; CABAN-MARTINEZ, A. J.; LEVY, R. A.; YOUNG, B.; LEE, D.; HARRISON, T.; KOBETZ, E. Perceptions of health and cancer risk among newly recruited firefighters in South Florida. *American Journal of Industrial Medicine*, v. 61, n. 1, 77–84, 2018.

SOTO, J. M. G. *Riscos Químicos*. 1a ed. Fundacentro, São Paulo, 1989.

STEC, A. A.; DICKENS, K. E.; SALDE, M.; HEWITT, F. E.; WATTS, D. P.; HOULDSWORTH, P. E.; MARTIN, F. L. Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Scientific Reports*, v. 8, p. 2476, 2018.

TAWFIQ, M. F.; AROUA, M. K.; SULAIMAN, N. M. N. On-line CO, CO₂ emissions evaluation and (benzene, toluene, xylene) determination from experimental burn of tropical biomass. *Journal of Environmental Sciences*, v. 33, p. 239–244, 2015.

TEIXEIRA, T.; ALMEIDA, L.; DIAS, I.; BAPTISTA, J.S.; SANTOS, J.; VAZ, M.; GUEDES, J. Occupational chemical exposure and health status of wildland firefighters at the firefront: A systematic review. *Safety*, v.10, n. 3, 2024.

URBANSKI, S. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Emission factors. *Forest Ecology and Management* v. 317, p. 51–60, 2014.

URRUTIA-PEREIRA, M., RIZZO, L. V., CHONG-NETO, H. J., & SOLÉ, D. Impact of exposure to smoke from biomass burning in the Amazon rain forest on human health. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 47, n. 5, e20210219, 2021.

U.S. EPA - Environmental Protection Agency. Why Wildfire Smoke is a Health Concern. Available: <https://www.epa.gov/wildfire-smoke-course/why-wildfire-smoke-health-concern>. Accessed: 09 Jul 2026.

VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; MU, M.; KASIBHATLA, P. S.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; JIN, Y.; VAN, L. Thijs T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, p. 11707–11735, 2010.

YOUSSEF, H.; LIOUSSE, C.; ROBLOU, L.; ASSAMOI, E.; SALONEN, R. O.; MAESANO, C.; BANERJEE, S.; ANNESI-MAESANO, I. Non-Accidental Health Impacts of Wildfire Smoke. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 11, p. 11772-11804, 2014.

ZADUNAYSKI, T.; BROZNITSKY, N.; LICHTY, D.; CHERRY, N. Perceptions of Exposure and Mask Use in Wildland Firefighters. *Toxics*, v.12, n. 8, p. 576, 2024.

WAH, W.; GELAW, A.; GLASS, D. C.; SIM, M. R.; HOY, R. F.; BERECKI-GISOLF, J.; WALKER-BONE, K. Systematic review of impacts of occupational exposure to wildfire smoke on respiratory function, symptoms, measures and diseases. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 263, p. 114463, 2025.

WALLACE, M. A. G.; PLEIL, J. D.; OLIVER, K. D.; WHITAKER, D. A.; MENTESE, S.; FENT, K. W.; HORN. G. P. Targeted GC-MS analysis of firefighters' exhaled breath: Exploring biomarker

response at the individual level. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 16, n. 5, p. 355-366, 2019.

WINGFORS, H.; NYHOLM, J. R.; MAGNUSSON, R.; WIJCKMARK, C. H. Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. *Annals of Work Exposures and Health*, v. 62, n.2, p. 221-231, 2018.

WOLFFE, T. A. M.; TURRELL, L.; ROBINSON, A.; DICKENS, K.; CLINTON, A.; MARITAN-THOMSON, D.; STEC, A. A. Culture and awareness of occupational health risks amongst UK firefighters. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 97, 2023.

WOODRUFF, T. J; WELLS, E. M.; HOLT, E. W.; BURGIN, D. E.; AXELRAD, D. A. Estimating Risk from Ambient Concentrations of Acrolein across the United States. *Environmental Health Perspectives*, v. 115, n. 3, p. 410-415, 2007.

ANEXOS

Anexo 1 – Artigo: Risk Perception of Military Firefighters and Brigades in Relation to Exposure to Smoke from Forest Fires in Brazil.

Article

Risk Perception of Military Firefighters and Brigades in Relation to Exposure to Smoke from Forest Fires in Brazil

Fausto Jaime Miranda de Araujo  and Eloisa Dutra Caldas * 

Laboratory of Toxicology, Faculty of Health Sciences, University of Brasília, Brasília 70910-900, DF, Brazil; faustosst@hotmail.com

* Correspondence: eloisa@unb.br

Abstract

Firefighters and forest brigades engaged in wildfire suppression are routinely exposed to smoke containing toxic compounds that pose acute and chronic health risks, and it is important to understand how they perceive these risks during their work. This study aimed to evaluate health risk perception among military firefighters and contracted forest brigades in the Federal District, Brazil, the use of respiratory protection equipment (RPE), and institutional support. A questionnaire was administered to 150 firefighters and 22 brigades in 2023 and 2024. Most respondents were between 30 and 40 years old, with firefighters having a significantly higher education level than brigades ($p < 0.0001$). Most were concerned about smoke exposure and recognized its high health risk, including respiratory diseases and cancer, with brigades showing a higher risk perception than firefighters ($p < 0.0001$). Despite this high perceived risk, about 80% of firefighters and 86% of brigades reported not using RPE, mainly because it was not provided by their institutions (according to 53.8% of firefighters and 73.7% of brigades). The level of concern about wildfire smoke among participants correlated positively with age, years of experience, perceived necessity of RPE, and willingness to use it if provided. Firefighters rated their institution's performance on occupational health and safety significantly less positively than brigades ($p < 0.0001$). The results of this study demonstrated that the lack of preventive and protective practices is not due to low risk perception, but rather to institutional failures in guidance, support, and provision of RPE.

Keywords: risk perception; wildfires; military firefighters; forest brigades; respiratory protection equipment



Academic Editor: Jian Sun

Received: 31 March 2026

Revised: 7 May 2026

Accepted: 9 May 2026

Published: 13 May 2026

Copyright: © 2026 by the authors.

Licensee MDPI, Basel, Switzerland.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

1. Introduction

Firefighters face daily occupational hazards, with smoke exposure among the most significant [1,2]. Wildfire smoke is composed mainly of CO₂, water vapor, particulate matter, and several toxic compounds, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, formaldehyde, and acrolein [2–5]. The levels of benzene in five prescribed in France ranged from 12 to 54 mg/m³, which could already result in headaches, lassitude and weakness [6]. These pollutants are associated with respiratory and cardiovascular diseases and cancer following prolonged exposure, which is common during wildfire suppression [7–9].

Cherry et al. [7] reported the results of a cohort study to investigate the health effects of 12,731 wildland firefighters who had worked for the Alberta Fire Department (Canada) for at least 1 year. The risk of chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia, and

asthma increased with cumulative firefighting hours across multiple fire seasons. Also in Canada, Sritharan et al. [8] found that firefighters (N = 13,642) had increased risk of prostate cancer (HR = 1.43, 95% CI: 1.31–1.57), colon cancer (HR = 1.39, 95% CI: 1.19–1.63), and skin melanoma (HR = 2.38, 95% CI: 1.99–2.84). Esteves et al. [10] showed that firefighting activities led to a significant increase in both primary and oxidative DNA damage by 22–23% among Portuguese firefighters. Furthermore, firefighting activities, including exposure to smoke components, were reclassified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) in 2022 from Group 2B (possibly carcinogenic) to Group 1 (carcinogenic to humans), based on sufficient evidence for mesothelioma and bladder cancer [11]. This effect is mainly due to benzene and benzo[a]pyrene (one of the PAH), which are also classified as carcinogenic to humans [11].

Risk is omnipresent in human life, and its perception cannot be separated from the observer, as risk does not exist in itself but is mentally constructed [12]. Individuals perceive situations as safe or risky depending on the context, and cultural and organizational factors [13]. Understanding this perception is essential for developing interventions that promote changes in occupational routines and health protection [14].

Studies investigating firefighters' risk perception have been conducted worldwide, including in Latin America. Louzado-Feliciano et al. [15] characterized Dominican firefighters' perceptions and attitudes regarding occupational cancer risk and prevention practices, and in Ecuador, more than 60% of firefighters consider their occupation to pose a high risk [16]. Fialho et al. [17] concluded that Portuguese firefighters with fewer years of service have lower risk perception, and those with higher perception tend to adopt safer behaviors. The main cognitive risk perceptions related to ergonomic factors, night or prolonged shifts, inhalation of chemical agents, and thermal stress, while emotional risk perceptions were mainly associated with chemical agents, stress, and ergonomic risks [17]. In the only published study involving Brazilian military firefighters, 92.4% of participants reported at least one symptom after exposure, primarily headache, eye irritation, and cough [18].

Studies assessing Brazilian firefighters' risk perception are limited, and those with the brigades are nonexistent. The main objectives of this study are to understand the risk perception of military firefighters and contracted forest brigades in the Federal District, Brazil, regarding smoke exposure, its health implications, and the use of RPE. To the best of our knowledge, this is the first study to assess the risk perception of contracted forest brigades and compare it to that of firefighters.

2. Methods

2.1. Study Design and Setting

The study was conducted through a 20-question questionnaire administered to firefighters from the Military Fire Department of the Federal District (CBMDF) and contracted forest brigades from the Brasília Environmental Institute (IBRAM). Convenience sampling was used, i.e., professionals involved in wildfire prevention and suppression activities at both institutions were approached at random and asked to participate. The questionnaire was applied during the 2023 and 2024 dry seasons (May to September), a period when wildfires are more frequent in the region.

2.2. Participants

The CBMDF has approximately 2200 firefighters engaged in activities including wildfire suppression, urban firefighting, pre-hospital care, search and rescue, civil defense, training, and administrative duties (personal communication with Captain João Rafael). Firefighters who receive institutional specialization training in wildfire prevention and suppression are preferentially assigned to this activity during the dry season. Brigades are

temporary workers who are active mostly during the dry season and exclusively perform wildfire-related activities in conservation units and parks. On average, about 150 brigades are available for these activities each year [19]. The questionnaire was administered to 150 military firefighters and 22 brigades.

2.3. Questionnaire

The questionnaire was pretested with 10 firefighters to address any lack of clarity and adjusted before being administered to the study participants. The final version covered sociodemographic information (gender, age, civil status, and education), years of firefighting experience, general health status, and smoking and alcohol habits (Table 1). Table 2 presents questions on institutional performance and risk perception regarding wildfire smoke exposure and RPE use. The risk perception questions 4, 5, 6, 8, 9, and 12 were ranked from 4 (indicating a higher perception) to 1 (indicating a lower perception). The study was approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Health Sciences, University of Brasília (CAAE 55389921.9.0000.0030). All participants signed an informed consent form prior to participation.

Table 1. Sociodemographic profile and other parameters of the participants (military firefighters, N = 150; brigades, N = 22).

Parameter (Score)	Military Firefighters, n (%)	Brigades, n (%)
1. Men	142 (94.7)	22 (100.0)
2. Age, years ^a		
Up to 30	19 (12.7)	4 (18.2)
31 to 40	95 (63.3)	6 (27.3)
41 to 50	28 (18.7)	8 (36.4)
>50	8 (5.3)	4 (18.2)
Mean ± sd	37.5 ± 6.8	40.6 ± 9.2
2. Civil status		
Married	106 (70.7)	15 (68.2)
Single	31 (20.7)	6 (27.3)
Divorced	12 (8.0)	1 (4.5)
Widow	1 (0.7)	0
3. Education		
Elementary (1)	0	2 (9.0)
High school (2)	8 (5.3)	9 (41.0)
College (3)	119 (79.3)	9 (41.0)
Graduate school (4)	23 (15.3)	2 (9.0)
Mean ± sd	3.1 ± 0.44 *	2.5 ± 0.80 *
4. Years ^a as a firefighter ^b or brigade		
Up to 5	67 (44.7)	10 (45.5)
6 to 10	40 (26.7)	6 (27.3)
11 to 20	26 (17.3)	6 (27.3)
21 to 25	8 (5.3)	0
26 to 30	9 (6.0)	0
Mean ± sd	8.8 ± 7.8	6.9 ± 5.3
5. Health problems		
None	137 (91.3)	22 (100.0)
Hypertension	5 (3.3)	0
Respiratory diseases	3 (2.0)	0
Back pain	2 (1.3)	0
Diabetes	1 (0.7)	0
Others	2 (1.3)	0

Table 1. Cont.

Parameter (Score)	Military Firefighters, n (%)	Brigades, n (%)
6. Smoke	12 (8.0)	1 (4.5)
7. Alcohol consumption, times/week		
0	65 (43.3)	7 (31.8)
1	58 (38.7)	13 (59.1)
2	19 (12.7)	2 (9.1)
3	6 (4.0)	0
4/5	2 (1.3)	0
Mean $\pm$ sd	0.83 $\pm$ 0.95	0.77 $\pm$ 0.61

sd = standard deviation; ^a continuous variable; ^b in suppression of wildfire; * significant difference at $p < 0.0001$ (Mann–Whitney test).

Table 2. Risk perception of exposure to the smoke of forest fires and the use of respiratory protection equipment (RPE) (military firefighters, N = 150; brigades, N = 22).

Parameter (Score)	Military Firefighters, n (%)	Brigades, n (%)
1. How do you judge the performance of your institution?		
Good/very good (4)	11 (7.3)	10 (45.5)
Acceptable (3)	48 (32.0)	6 (27.3)
Low/very low (2)	89 (59.3)	5 (22.7)
Don't know (1)	2 (1.3)	1 (4.5)
Mean score $\pm$ sd	1.49 $\pm$ 0.65 *	3.14 $\pm$ 0.94 *
2. Was advised by the institution about the risk	105 (70.0)	11 (50.0)
3. Understand the combustion reaction	120 (80.0)	18 (81.2)
4. Levels of concern about the smoke		
High (4)	83 (55.3)	15 (68.2)
Average (3)	55 (36.7)	6 (27.3)
Low (2)	10 (6.7)	1 (4.5)
No concern (1)	2 (1.3)	0
Mean score $\pm$ sd	2.46 $\pm$ 0.68 *	3.64 $\pm$ 0.58 *
5. Smoke has bothered you		
Always (4)	60 (40.0)	12 (54.5)
Sometimes (3)	85 (56.7)	10 (45.4)
Never (2)	4 (2.7)	0
Don't remember/never (1)	1 (0.7)	0
Mean score $\pm$ sd	2.33 $\pm$ 0.65 *	3.54 $\pm$ 0.51 *
6. Smoke can be harmful to health		
Frequently (4)	130 (86.7)	21 (95.4)
Occasionally (3)	20 (13.3)	1 (4.6)
Rarely (2)	0	0
Not at all (1)	0	0
Mean score $\pm$ sd	1.87 $\pm$ 0.34 *	3.96 $\pm$ 0.21 *
7. Symptoms caused by smoke		
Respiratory distress	137 (91.3)	20 (90.9)
Headache/malaise/nausea	125 (83.3)	11 (50.0)
Cancer	137 (91.3)	8 (36.4)
Other symptoms	53 (35.3)	6 (27.3)
8. Risk from smoke exposure in wildfire is lower than in structural fires		
No (4)	45 (30.0)	4 (18.2)
Probably no (3)	38 (25.3)	4 (18.2)
Probably yes (2)	44 (29.3)	8 (36.4)
Yes (1)	23 (15.3)	6 (27.3)
Mean score $\pm$ sd	2.71 $\pm$ 1.05	2.27 $\pm$ 1.08

Table 2. Cont.

Parameter (Score)	Military Firefighters, n (%)	Brigades, n (%)
9. Necessary to use RPE in forest fires		
Yes (4)	111 (74.0)	17 (77.3)
Probably yes (3)	21 (14.0)	3 (13.6)
Probably no (2)	13 (8.7)	1 (4.5)
No (1)	5 (33.0)	1 (4.5)
Mean score $\pm$ sd	3.67 $\pm$ 0.86	3.64 $\pm$ 0.79
10. Use RPE	31 (20.7)	3 (13.6)
Good adaptation ^a	13 (41.9)	2 (66.7)
Uncomfortable ^a	21 (67.7)	1 (33.3)
Felt better when used it ^a	8 (25.8)	1 (33.3)
11. Why don't use ^b		
Not provided	64 (53.8)	14 (73.7)
Makes breathing difficult	16 (13.5)	0
There is no proven efficacy	14 (11.8)	2 (10.5)
Not necessary	2 (1.7)	0
Not informed	23 (19.3)	3 (15.8)
12. Would use RPE if provided		
Yes (4)	110 (73.3)	18 (81.8)
Probably yes (3)	38 (25.3)	3 (13.6)
Probably no (2)	2 (1.3)	1 (4.5)
No (1)	0	0
Mean score $\pm$ sd	3.7 $\pm$ 0.48	3.6 $\pm$ 0.79
13. Important to assess firefighters' exposure and potential health risks		
Yes	148 (98.7)	22 (100.0)
No	0	0
Don't know	2 (1.3)	0

sd = standard deviation; ^a percent related to those who use PRE: 31 military firefighters and 3 brigades; ^b percent related to those who do not use PRE: 119 military firefighters and 19 brigades; * significant difference; $p < 0.0001$. The Mann–Whitney test was used for all cases except for question 4 (Welch's *t*-test).

2.4. Statistical Analysis

The statistical analyses were performed using GraphPad Prism V 10.6.1. The parameters evaluated were age, education, years in the job, years as firefighters, alcohol consumption, institution performance, levels of concern, smoke has bothered, smoke can be harmful, risk in wildfires lower than structural, necessary to use RPE, and use RPE if provided. Age, years in the job or as a firefighter, and alcohol consumption were discrete values, while the others were assigned scores, as shown in Tables 1 and 2. With the exception of age, the parameter distributions were not parametric (Shapiro–Wilk test). Correlations among parameters within each population were evaluated using Pearson correlation coefficients (*r*), and comparisons of the same parameter between the two populations were made using the Mann–Whitney test for nonparametric data or the Welch's *t*-test for normal distribution. Significance was found at $p \leq 0.05$. Reliability (internal consistency) of the questionnaire was assessed by calculating Cronbach's alpha in IBM SPSS Statistics V.28, yielding a value of 0.41. The variance inflation factor (VIF) was below 2, indicating no multicollinearity among the variables.

3. Results

3.1. Sociodemographic and Habit Profiles

Only eight participants were women, all of whom were firefighters (Table 1). There was no significant age difference between the two groups (means of 37.5 and 40.6 years,

respectively), with most firefighters aged 31–40 years (63.3%), followed by 41–50 years (18.7%), which was also the predominant age group among brigades (36.4%). Most firefighters and brigades were married (70.7 and 68.2%, respectively).

Firefighters had a significantly higher level of education than brigades ($p < 0.0001$), with 94.6% holding a college degree or postgraduate education, compared to 50% among brigades. No significant differences in years of wildfire suppression experience were found between the two groups (8.8 and 6.9 years, respectively), with about 45% of them working in this activity in the last five years. No brigade had more than 20 years of service. Almost half of the firefighters (47.3%) were specialists in wildfire prevention and suppression and worked exclusively in this area at the time of the study.

More than 90% of firefighters and all brigades reported no health problems. Among firefighters who did report health issues, hypertension and respiratory diseases were the most common. Fewer than 10% of participants smoked. Most firefighters (58%) consumed alcohol at least once a week, a higher percentage than among brigades (31.8%), although no significant difference in mean weekly consumption was found between the two groups (0.83 and 0.77 times/week, respectively).

3.2. Risk Perception and Use of Respiratory Protection Equipment

Brigades scored higher on the evaluation of institutional performance regarding employee health and safety during the wildfire suppression activity than firefighters (mean scores of 3.14 and 1.49, respectively; $p < 0.0001$). More than half of the firefighters rated CBMDF's performance as low or very low, while 22.7% of brigades rated IBRAM similarly (Table 2). Most firefighters (70%) and half of the brigades reported receiving institutional guidance on smoke-exposure risks, and about 80% of participants reported a good understanding of the combustion reaction occurring during wildfires.

3.3. Risk Perception of Smoke Exposure During Wildfires

Most respondents reported a high level of concern regarding wildfire smoke exposure, although the brigade risk perception was higher than that of firefighters (mean scores of 3.64 and 2.46, respectively; $p < 0.0001$) (Table 2). Only two firefighters and no brigades reported no concern. All brigades and 96.7% of firefighters reported experiencing discomfort from smoke at least sometimes, with a significant difference in mean scores between the two groups (3.54 and 2.33, respectively; $p < 0.0001$).

The perception that smoke can be harmful to health was significantly higher among the brigades (mean score of 3.96 vs. 1.87; $p < 0.0001$). About 90% reported respiratory disorders as a consequence of smoke exposure. At least 80% of firefighters also reported headache/malaise/nausea and cancer, with lower percentages among brigades (50% and 36.4%, respectively). About 55% of firefighters and 36.4% of brigades believed that the smoke-exposure risk during wildfires is, or probably is, not lower than during structural fires, with similar risk-perception scores between the two groups.

3.4. Use of Respiratory Protection Equipment

More than 70% of respondents confirmed the need to use RPE during wildfires, with mean scores similar in the two groups, but only 31 firefighters and three brigades used RPE at the time of the study. Among these, 41.9% of firefighters and 66.7% of brigades adapted well to the equipment; two-thirds of firefighters and one-third of brigades reported discomfort; and 25% of firefighters and one-third of brigades reported improved health with RPE use. The main reason for non-use was a lack of equipment provision (53.8% of firefighters and 76.7% of brigades). Only two firefighters considered RPE unnecessary. About 12% of firefighters and 10.5% of brigades cited the lack of proven efficacy of available masks. More than 90% stated they would/probably use RPE if provided by the institution.

Finally, when asked whether they consider it important to assess firefighters' exposure to smoke and the potential health risks during wildfire suppression, almost all participants answered yes.

3.5. Correlations Between the Investigated Parameters

Figure 1 shows a heatmap of Pearson correlations (r) between the parameters listed in Tables 1 and 2 for the military firefighters. Out of the 121 tested correlations, 13 were significant ($p \leq 0.05$), although most had an r below 0.5. Figure 2 shows the significant correlation plots between six parameters and the level of concern regarding exposure to wildfire smoke.

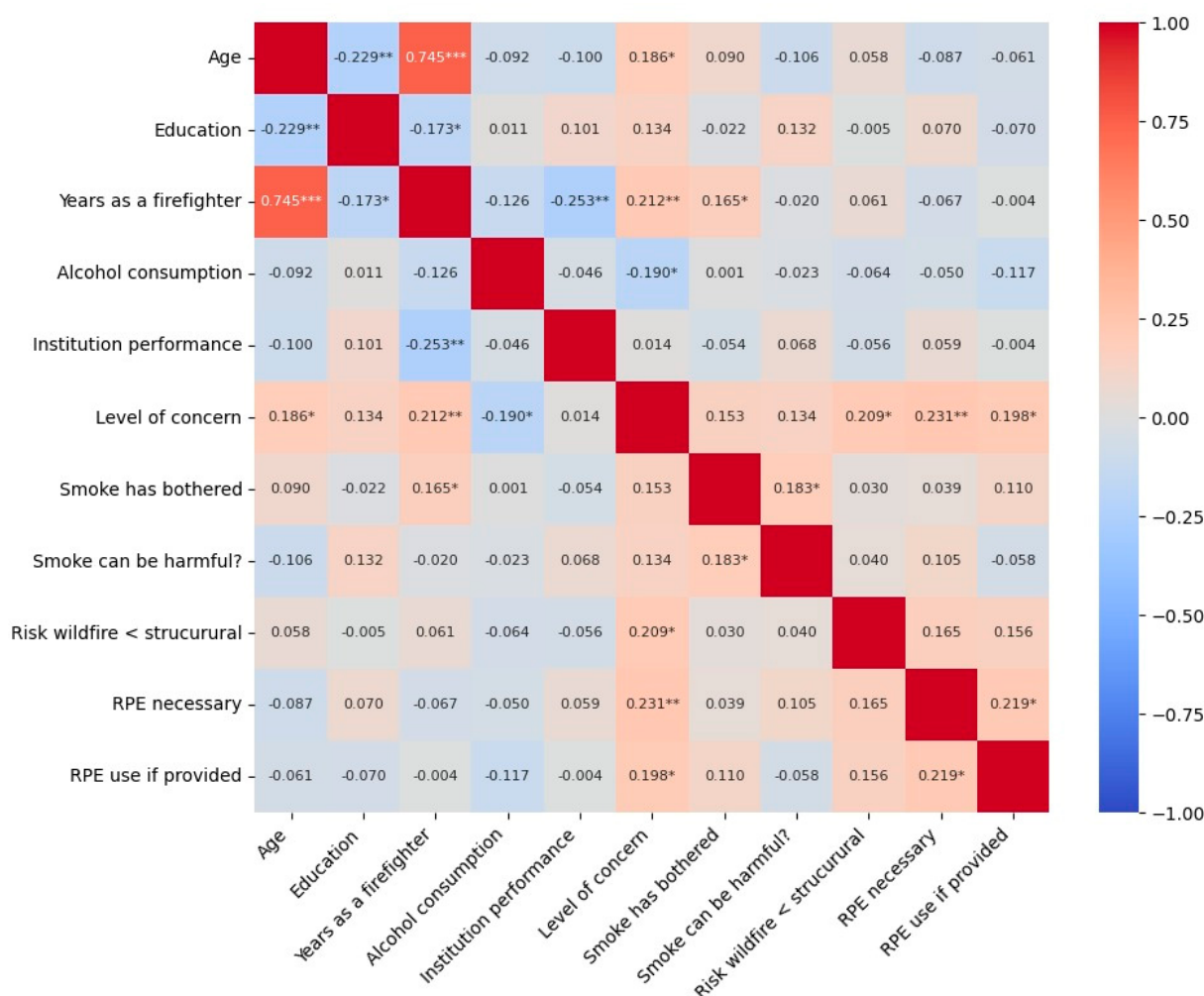


Figure 1. Pearson correlations between the parameters shown in Tables 1 and 2 for the military firefighters. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p < 0.0001$.

Age correlated negatively with education ($r = -0.229$; $p = 0.005$) and positively with years of experience in wildfire suppression ($r = 0.745$; $p < 0.0001$) and with level of concern ($r = 0.186$; $p = 0.023$). Education correlates negatively with years of experience ($r = -0.173$; $p = 0.034$), which also correlates negatively with institution performance ($r = -0.253$; $p = 0.002$) and positively with level of concern ($r = 0.212$; $p = 0.009$) and with being bothered by the wildfire smoke ($r = 0.165$; $p = 0.043$). Being bothered by smoke also correlates with the perception that smoke can be harmful ($r = 0.183$; $p = 0.025$). Alcohol consumption correlated negatively with the level of concern ($r = -0.190$; $p = 0.02$), which also correlated with the perception that wildfire risk is not lower than structural risk ($r = 0.209$;

$p = 0.011$), RPE necessary ($r = 0.231$; $p = 0.007$), and use it if provided ($r = 0.198$; $p = 0.016$), with the last two parameters correlating with each ($r = 0.219$; $p = 0.011$).

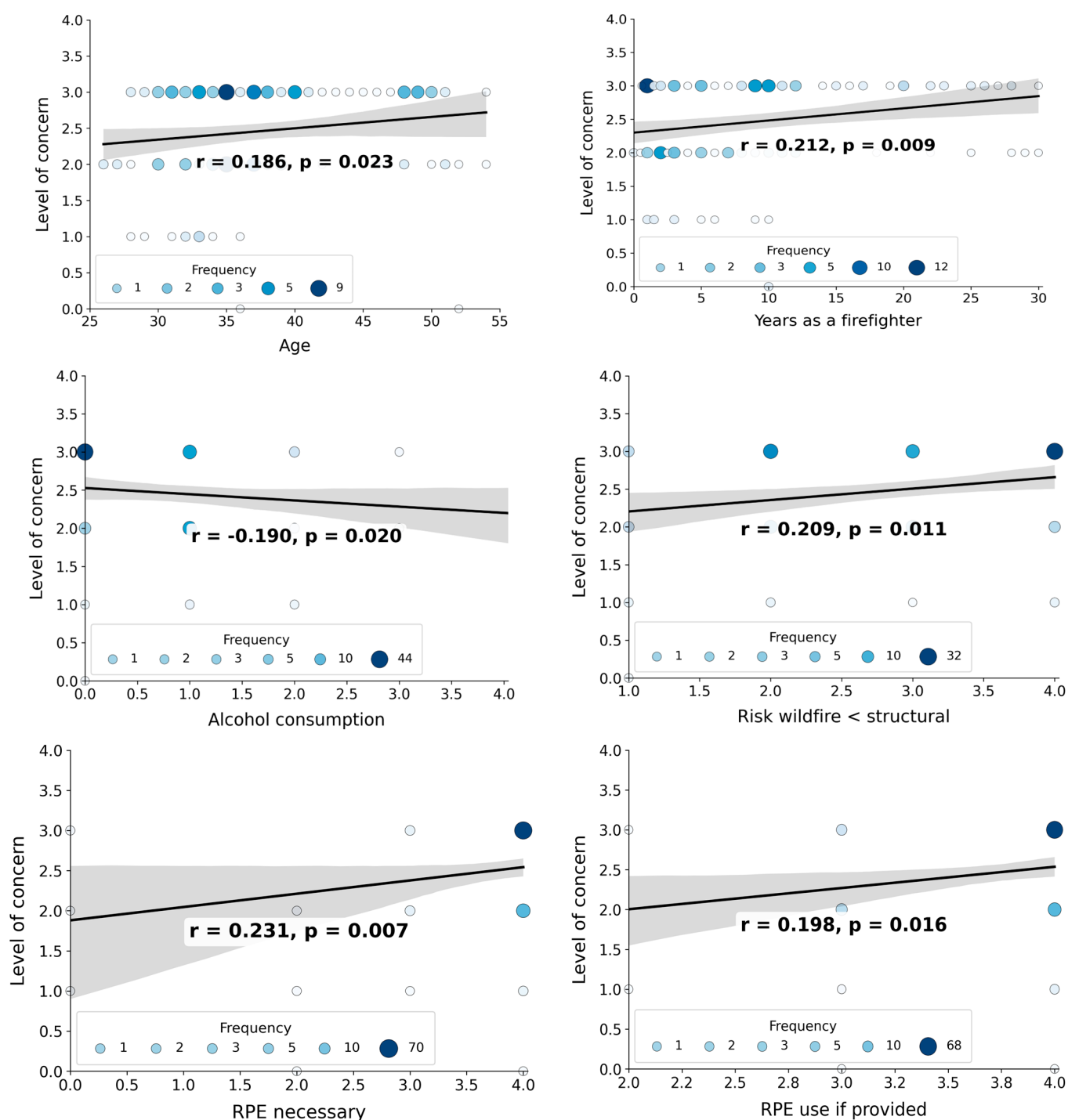


Figure 2. Plots of the significant correlations between the parameters investigated and the level of concern related to the exposure to smoke from wildfire among the military firefighters in the Federal District.

Fewer significant correlations were found among the forest brigades: age vs. time working ($r = 0.3628$, $p = 0.0036$), necessary to use RPE vs. education ($r = 0.498$, $p = 0.0239$) and vs. institution performance ($r = -0.5829$, $p = 0.0056$), and alcohol consumption vs. concern of smoke exposure ($r = -0.4306$, $p = 0.0456$).

4. Discussion

Risk perception may vary according to sociodemographic characteristics such as gender, age, education, culture, length of professional experience, and geographic origin [12,13]. The population in this study is predominantly men aged 31 to 50 years, married or in stable relationships. Firefighters had a significantly higher educational level than that of brigades, which is expected, since a college degree has been mandatory to join the military firefighter service since 2011, a requirement that does not apply to brigades. Most participants have up to 10 years of experience working in wildfire suppression. Most participants reported no health problems, do not smoke, and consume little or no alcohol. One interesting result found in both groups is the negative correlation between the level of concern related to smoke exposure and alcohol consumption.

Sadler et al. [20] identified that risk perception is higher among professional firefighters than among volunteers and that this perception directly influences adherence to health prevention and safety practices. In the present study, brigades, who are not volunteers but employees of a governmental institution, have greater concern about wildfire smoke than military firefighters. More than 80% of firefighters held a college degree; however, education level was not associated with risk perception, a finding similar to that reported by Fialho et al. [17] in Portugal; meanwhile, Rodriguez-Garzón et al. [16] found that higher education was associated with higher risk perception in Ecuador. Among brigades, however, the need for RPE use was positively correlated with education level, a result not observed among firefighters.

A significant correlation was found between age and concern about wildfire smoke exposure among firefighters, but not among brigades. Furthermore, years of firefighting experience were correlated with concern about wildfire smoke and with being bothered by the smoke, but not with RPE use. Other studies showed similar or contradictory results. Fialho et al. [17] found that firefighters with less than five years of service had the lowest mean risk perception and identified that resistance to RPE use is higher among younger and less experienced Portuguese firefighters due to discomfort and the perception that it hinders work performance. According to Solle et al. [21], novice firefighters tend to be more concerned about immediate health and safety risks, whereas more experienced firefighters are more concerned about long-term effects, such as cancer. Bel-Latour and Granié [22] showed that younger French firefighters exhibit a higher frequency of risky behaviors, likely due to workplace socialization processes that reinforce masculine behaviors, which may lead to neglect of safety and health prevention. Conversely, Harrison et al. [23] found that older and more experienced firefighters have lower risk perception. According to these authors, younger firefighters may have greater access to information and, therefore, more knowledge about exposure risks, whereas older firefighters may rely more on practical experience, which does not always align with scientific research. In a study conducted in Australia, Sadler et al. [20] found that firefighters with longer service time, thus greater experience and training, demonstrated higher awareness and, consequently, higher risk perception, a result that was also found in the present study as discussed earlier. According to the authors, these firefighters tended to adopt safer behaviors, reinforcing the importance of risk perception in implementing effective safety strategies [20].

According to Maglio et al. [24], the main factors influencing non-use or improper use of RPE are firefighters' personality traits, a strong focus on accomplishing the rescue objective that leads them to prioritize outcomes over safety, discomfort caused by RPE, and social pressure from peers not to use it. In the present study, although more than 90% of participants considered RPE use necessary, fewer than 20% actually used it; however, nearly all reported they would use it if it were provided by the institution. This suggests that RPE use is feasible and that resistance appears to be related to factors beyond discomfort alone,

which most firefighters reported. Other studies have also reported low adherence to RPE use despite recognition of smoke-related risks, citing discomfort, difficulty breathing, or impaired communication [14,24,25]. According to Anderson et al. [14], both novice and experienced firefighters tend to adopt a “high-risk/high-reward” mindset, in which they believe the risks of the profession are worth taking because the benefits outweigh them.

The main health concerns for both groups in the present study are respiratory distress, headache/malaise/nausea, and cancer. In a study involving firefighters from Europe and Latin America, Carballo-Leyenda et al. [26] concluded that risk perception of cancer due to smoke exposure is independent of age and experience. In fact, more than 90% of firefighters in the present study believe that smoke exposure can cause cancer.

In Brazil, a study among military firefighters in Belo Horizonte, Minas Gerais, found that 92% of respondents considered the use of RPE necessary during wildfire suppression activities and emphasized the need to develop equipment specific to these activities; 90% expressed receptiveness to the future implementation of new RPE [18].

The need for RPE during wildfires, however, remains controversial. For years, the United States Forest Service (USFS) did not encourage respirator use because it was expected to reduce field work capacity due to increased breathing resistance [27]. Its use was recommended only when training, tactics, and monitoring fail to protect worker health and safety, as fewer than 5% of wildfire cases exceed Occupational Safety and Health Administration (OSHA) permissible exposure limits [27]. However, OSHA limits were based on predicted harm from inert dust, and, given that wildfire particulate matter (PM) is likely more harmful than particulate matter from other sources, safe exposure limits may underestimate potential health effects [28]. In September 2025, the USFS published new guidance acknowledging, for the first time, that masks can protect firefighters from harmful particles in wildfire smoke. The guidance promotes the “use of a properly-fitted N95 respirator on a clean-shaven face with a successful fit test”, which “will remove at least 95 percent of airborne particles,” (<https://fas.org/publication/n95-firefighters/> accessed on 8 May 2026). Part of the resistance to RPE use stems from the inadequate ergonomics of available models, which hinder breathing during intense physical exertion [24]. Overall, firefighters still face considerable uncertainty regarding the efficiency and appropriateness of available protective equipment [23].

About 15% of firefighters reported not using RPE due to a lack of proven efficacy. According to Filiberti et al. [28], current guidelines discourage the use of respirators because they filter respiratory irritants but not all hazardous components of smoke. The discomfort reported by approximately 10% of firefighters when using respiratory masks is consistent with the literature. Many wildland firefighters report breathing difficulties, communication interference, and sensations of suffocation from masks, due to intense physical exertion and heat exposure [28].

All forest brigades reported improved performance or well-being from RPE use, compared with only 25% of firefighters, indicating a significant difference in perception that may be related to organizational culture or the type of RPE used. It is noteworthy that the few professionals who reported using RPE purchased the equipment on their own initiative and with personal resources, without institutional guidance or technical information.

When asked whether they would use RPE if it were provided, more than 90% of participants responded “yes” or “probably yes,” indicating that, in principle, there is no resistance. Therefore, organizational support and encouragement are crucial for RPE adherence [17]. When equipment is provided, and institutions offer adequate support and training, adherence increases significantly, even in challenging work environments that require intense physical effort, such as wildfire suppression [29,30]. Resistance to RPE use decreases considerably when professionals perceive legitimacy and encouragement from

their institution [17]. Regular provision and standardization of protective equipment for wildland firefighters increases spontaneous acceptance and risk perception [21].

In the present study, about half of the participants agreed that the risk of smoke exposure is lower during wildfires than during structural fires, and there was a positive correlation between the perception that the risk from wildfire smoke is not lower and the concern about wildfire smoke. The perception that wildfire smoke is less dangerous is not entirely incorrect, since structural fire smoke can cause severe health damage more rapidly, including immediate life-threatening effects, whereas wildfire smoke tends to cause more severe long-term (chronic) effects, such as cancer. Vegetation burning releases toxic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes (BTEX), formaldehyde, acrolein, and fine particulate matter (PM up to 2.5 μm) [1], whereas structural fire smoke often also contains compounds from burning plastics, paints, industrial products, and synthetic materials [2].

The symptoms described by participants as resulting from smoke exposure were also reported in other studies [18,25,26,31,32]. Headache, malaise, and nausea are acute symptoms associated with wildfire smoke exposure, which contains irritant gases and toxic compounds, including carbon monoxide, benzene, and PAHs [1,18]. Cancer risk was cited by most firefighters, indicating a level of chronic risk perception consistent with studies linking continuous smoke exposure to increased cancer risk [33,34]. Occupational cancer risk has also been reported as the main health concern among both novice and experienced firefighters in other studies [21,23]. Fewer than 40% of brigades mentioned this risk, possibly because of their shorter service in fire suppression.

Most CBDF firefighters rated institutional performance as low or very low, and these ratings were negatively correlated with years of wildfire suppression experience. Among the brigades, fewer than 30% rated IBRAM's performance as low/very low, possibly due to the temporary nature of their work and fear of expressing dissatisfaction stemming from a lack of job stability.

The main contribution of this study was to include contracted brigades in the survey and to conclude that they perceive a higher risk of exposure to wildfire smoke than the military firefighters. This is the first time that these two populations have been compared.

This study has some limitations. First, it is a cross-sectional study based on a questionnaire applied at a single point in time, which precludes causal inferences among risk perception, RPE use, and other investigated factors. Additionally, participants were selected by convenience sampling and may not represent the entire population, and the study relies on self-reported data, which may be subject to recall bias and socially desirable responses. The number of brigade participants is much lower than that of firefighters, which may compromise the conclusions when the groups are compared. Finally, the study was conducted in a specific region of Brazil and may not be generalized to other regions of the country or the world.

5. Conclusions

Overall, the participants in this study have a high level of education, particularly among firefighters, and most are experienced in wildfire suppression. Both military firefighters and forest brigades demonstrate risk perception regarding health risks from exposure to wildfire smoke, and most recognize that continuous, frequent exposure poses a threat and are aware of both acute and chronic effects. However, the brigades' risk perception is significantly higher than that of the firefighters.

Even so, a gap is observed between this risk perception and practical preventive and protective behaviors. Few firefighters and brigades use RPE, mainly due to the lack of institutional provision. For safe behaviors to effectively occur, not only is individual awareness

required, but also effective institutional health protection policies, including guidance, provision of appropriate equipment, training, and occupational health monitoring of exposed professionals. Most military firefighters are dissatisfied with their institution's performance in occupational health and safety management, underscoring the need to improve training and institutional health and safety programs.

Author Contributions: Conceptualization, F.J.M.d.A. and E.D.C.; Methodology, F.J.M.d.A. and E.D.C.; Investigation, F.J.M.d.A.; Funding Acquisition and Project Administration, E.D.C.; Writing—Original Draft Preparation, F.J.M.d.A.; Writing—Review and Editing, E.D.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was supported by the Foundation for Research Support of the Federal District: 00193.00002407/2022-39.

Institutional Review Board Statement: The study was approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Health Sciences, University of Brasília (CAAE 55389921.9.0000.0030, approval date: 4 April 2022).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The original contributions presented in this study are included in the article. Further inquiries can be directed to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors thank the Military Fire Department of the Federal District (CBMDF) and the Brasília Environmental Institute (IBRAM) for logistical support and the firefighters and brigades who kindly agreed to participate in the project. We also thank Iuri Barbosa Pereira for helping with the statistical analysis.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Adetona, O.; Reinhardt, T.E.; Domitrovich, J.; Broyles, G.; Adetona, A.M.; Kleinman, M.T.; Ottmar, R.D.; Naeher, L.P. Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhal. Toxicol.* **2016**, *28*, 95–139. [\[CrossRef\]](#)
2. Fent, K.W.; Eisenberg, J.; Snawder, J.; Sammons, D.; Pleil, J.D.; Stiegel, M.A.; Dalton, J. Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. *Ann. Occup. Hyg.* **2014**, *58*, 830–845. [\[CrossRef\]](#)
3. Urbanski, S.P.; Hao, W.M.; Baker, S. Chemical composition of wildland fire emissions. *Dev. Environ. Sci.* **2009**, *8*, 1474–18177.
4. Mayer, A.C.; Fent, K.W.; Wilkinson, A.; Chen, I.C.; Kerber, S.; Smith, D.L.; Kesler, R.M.; Horn, G.P. Characterizing exposure to benzene, toluene, and naphthalene in firefighters wearing different types of new or laundered PPE. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **2022**, *240*, 113900. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Gould, C.F.; Heft-Neal, S.; Johnson, M.; Aguilera, J.; Burke, M.; Nadeau, K. Health effects of wildfire smoke exposure. *Ann. Rev. Med.* **2024**, *75*, 277–292. [\[CrossRef\]](#)
6. Barboni, T.; Cannac, M.; Pasqualini, V.; Simeoni, A.; Leoni, E.; Chiaramonti, N. Volatile and semi-volatile organic compounds in smoke exposure of firefighters during prescribed burning in the Mediterranean region. *Int. J. Wildland Fire* **2010**, *19*, 606–612. [\[CrossRef\]](#)
7. Cherry, N.; Fedun, M.; Galarneau, J.M.; Senkevics, D.; Zadunayski, T. Health effects of repeated exposures during wildland firefighting: A data-linkage cohort study from Alberta, Canada. *Ann. Work Expo. Health* **2025**, *69*, 132–146. [\[CrossRef\]](#)
8. Sritharan, J.; Kirkham, T.L.; MacLeod, J.; Marjerrison, N.; Lau, A.; Dakouo, M.; Logar-Henderson, C.; Norzin, T.; DeBono, N.L.; Demers, P.A. Cancer risk among firefighters and police in the Ontario workforce. *Occup. Environ. Med.* **2022**, *79*, 533–539. [\[CrossRef\]](#)
9. Hunter, A.A.; Unosson, J.; Bosson, J.A.; Langrish, J.P.; Pourazar, J.; Raftis, J.B.; Miller, M.R.; Lucking, A.J.; Boman, C.; Nyström, R.; et al. Effect of wood smoke exposure on vascular function and thrombus formation in healthy fire fighters. *Part. Fib. Toxicol.* **2014**, *11*, 62. [\[CrossRef\]](#)
10. Esteves, F.; Madureira, J.; Costa, C.; Pires, J.; Barros, B.; Alves, S.; Vaz, J.; Oliveira, M.; Slezakova, K.; Fernandes, A.; et al. Occupational exposure to wildland firefighting and its effects on systemic DNA damage. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **2025**, *266*, 114576. [\[CrossRef\]](#)
11. International Agency for Research on Cancer. Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes. 1–137. 2026. Available online: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc> (accessed on 3 May 2026).

12. Hampel, J. Different concepts of risk—A challenge for risk communication. *Int. J. Med. Microb.* **2006**, *296*, 5–10. [CrossRef]
13. Prati, G.; Pietrantonio, L.; Saccinto, E.; Kehl, D.; Knuth, D.; Schmidt, S. Risk perception of different emergencies in a sample of European firefighters. *Work* **2013**, *45*, 87–96. [CrossRef]
14. Anderson, D.A.; Harrison, T.R.; Yang, F.; Wendorf Muhamad, J.; Morgan, S.E. Firefighter perceptions of cancer risk: Results of a qualitative study. *Am. J. Ind. Med.* **2017**, *60*, 644–650. [CrossRef]
15. Louzado-Feliciano, P.; Santiago, K.M.; Paule, L.; Rivera, G.; Solle, N.S.; Miric, M.; Perez-Then, E.; Caban-Martinez, A.J. Perceptions of occupational cancer risk and prevention among Dominican Republic firefighters: A qualitative study. *J. Occup. Environ. Med.* **2022**, *64*, e131–e135. [CrossRef] [PubMed]
16. Rodríguez-Garzón, I.; Fiestas, M.M.; Padial, A.D.; Ruiz, V.L. Perception of occupational risk of firefighters in Quito (Ecuador). *Fire Technol.* **2016**, *52*, 753–773. [CrossRef]
17. Fialho, M.; Nunes, S.; Gamelas, C.A. Risk perception, safety behavior and work accidents: Assessment and relations in a sample of Portuguese firefighters. *Fire Technol.* **2024**, *60*, 3529–3552. [CrossRef]
18. Silva, R.A.; Paiva, M.J.N.; Martins, I. Perception of health risks and occupational exposure to forest fires among military firefighters in Belo Horizonte, Minas Gerais. *Vigiles* **2025**, *8*, e080112.
19. Instituto Brasília Ambiental. Edital nº 3, de 16 de Maio de 2025. Dispõe Sobre a Abertura de Processo Seletivo Para Contratação de Brigadistas. Brasília. 2025. Available online: https://www.ibram.df.gov.br/documents/26676051/26679862/edital_no_03_de_16_de_maio_de_2025.pdf (accessed on 8 May 2026).
20. Sadler, P.; Holgate, A.; Clancy, D. Is a contained fire less risky than a going fire? Career and volunteer firefighters' perception of risk. *Austr. J. Emerg. Manag.* **2007**, *22*, 28–34.
21. Solle, N.S.; Caban-Martinez, A.J.; Levy, R.A.; Young, B.; Lee, D.; Harrison, T.; Kobetz, E. Perceptions of health and cancer risk among newly recruited firefighters in South Florida. *Am. J. Ind. Med.* **2018**, *61*, 77–84. [CrossRef] [PubMed]
22. Bel-Latour, L.; Granié, M.-A. The influence of the perceived masculinity of an occupation on risk behavior: The case of firefighters. *Saf. Sci.* **2022**, *150*, 105702. [CrossRef]
23. Harrison, T.R.; Muhamad, J.W.; Malova, E. Firefighters and cancer: A review of the current state of cancer incidences and recent trends in risk perception and risk reduction efforts. *Med. Res. Arch.* **2022**, *10*, 1–16. [CrossRef]
24. Maglio, M.A.; Scott, C.; Davis, A.L.; Allen, J.; Taylor, J.A. Situational pressures that influence firefighters' decision making about personal protective equipment: A qualitative analysis. *Am. J. Health Behav.* **2016**, *40*, 555–567. [CrossRef]
25. Zadunayski, T.; Broznitsky, N.; Lichty, D.; Cherry, N. Perceptions of exposure and mask use in wildland firefighters. *Toxics* **2024**, *12*, 576. [CrossRef]
26. Carballo-Leyenda, B.; Villa-Vicente, J.G.; Delogu, G.M.; Rodríguez-Marroyo, J.A.; Molina-Terrén, D.M. Perceptions of heat stress, heat strain and mitigation practices in wildfire suppression across Southern Europe and Latin America. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 12288. [CrossRef]
27. Sharkey, B. (Ed.) Health hazards of smoke: Recommendations of the consensus conference April 1997. In *Proceedings of USDA/USFS Consensus Conference*; Missoula Technology and Development Center: Missoula, MT, USA, 1997. Available online: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=umn.31951d02179782x&seq=12> (accessed on 8 May 2026).
28. Filiberti, A.A.; Davis, S.C.; Spano, S.J. Smoke Exposure and Respirator Use Among Wildland Firefighters: A Narrative Review. *Wild. Environ. Med.* **2025**, *36*, 405–415. [CrossRef] [PubMed]
29. Daniels, R.D.; Bertke, S.; Dahm, M.M.; Yiin, J.H.; Kubale, T.L.; Hales, T.R.; Baris, D.; Zahm, S.H.; Beaumont, J.J.; Waters, K.M.; et al. Exposure-response relationships for select cancer and non-cancer health outcomes in a cohort of U.S. firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950–2009). *Occup. Environ. Med.* **2015**, *72*, 699–706. [CrossRef]
30. Safak, I.; Okan, T.; Karademir, D. Perceptions of Turkish forest firefighters on in-service trainings. *Fire* **2023**, *6*, 38. [CrossRef]
31. Millet, B. Designing an occupational exposure report for aircraft rescue and firefighting. *Proc. Hum. Fact. Ergon. Soc. Ann. Meet.* **2020**, *64*, 924–927. [CrossRef]
32. Shah, N.N.; Steinberg, M.B.; Caban-Martinez, A.J.; Austin, E.; Burgess, J.L.; Hollerbach, B.S.; Edwards, D.L.; Black, T.M.; Black, K.; Hinton, K.M.; et al. Prevalence and predictors of skin cancer screening among sample of United States volunteer firefighters. *Am. J. Ind. Med.* **2023**, *66*, 897–903. [CrossRef]
33. McClanahan, K.; Sanchez, P.; Gant, K.; Joyce, J.; Braun, A. Perceptions of preventable cancer burden among US-based firefighters: A mixed methods cross-sectional study. *J. Nut. Educ. Behav.* **2024**, *56*, 300–309. [CrossRef] [PubMed]
34. Eun Oh, H.E.; Kim, J.S.; Woo, H.; Ham, S. Associations between awareness of the risk of exposure to pollutants occurring at fire scenes and health beliefs among metropolitan firefighters in the Republic of Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 8860.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Anexo 2 – Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisas (CEP) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE BOMBEIROS MILITARES E BRIGADISTAS À FUMAÇA E A OUTROS PRODUTOS DA COMBUSTÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO FEDERAL.

Pesquisador: FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 55389921.9.0000.0030

Instituição Proponente: FACULDADE DE SAÚDE - FS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.684.533

Apresentação do Projeto:

Segundo documento "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2529039_E1.pdf", postado em 29/05/2025:

"Desenho:

O estudo será conduzido com bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), lotados no Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM), Asa Norte- DF, que atuam exclusivamente em combate a incêndios florestais no Distrito Federal e também com brigadistas do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM).

O estudo compreenderá três etapas:

- 1) aplicação de questionário para avaliar o perfil dos bombeiros e dos brigadistas e suas percepções de risco frente à suas atividades de combate ao fogo florestal;
- 2) Realização de exames laboratoriais de sangue (bioquímica e hemograma) e de urina e de exames para avaliação da função pulmonar (espirometria);
- 3) Estudo de amostragem de campo (avaliação da exposição à fumaça) durante a atividade de combate ao fogo florestal. A pesquisa ocorrerá durante 3 anos, conforme segue:

No primeiro ano ocorrerão as seguintes atividades:

o a aplicação do questionário, uma única vez, no período compreendido entre os meses de fevereiro a julho;

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 7.684.533

o duas coletas de sangue e de urina, uma no mês de julho e outra no mês de setembro;

o duas avaliações da função pulmonar através de exames de espirometria, sendo também uma no mês de julho e outra no mês de setembro;

o amostragem de campo (avaliações da exposição pessoal à fumaça de cada bombeiro e/ou brigadista) com uso de uma bomba de amostragem, no período entre os meses de agosto e setembro. No segundo e terceiro ano serão repetidas as mesmas atividades de pesquisa do primeiro, nos mesmos meses. A única diferença é que não haverá mais a aplicação de questionário, que ocorrerá apenas uma vez no primeiro ano. 150 (cento e cinquenta) bombeiros e 30 (trinta) brigadistas serão convidados para participar das etapas 1 e 2 do estudo, e cerca de 60 (sessenta) bombeiros e de 60 (sessenta) brigadistas que participarão destes serão convidados a participar do estudo de campo (etapa 3). As avaliações ocorrerão durante atendimentos reais de combate a incêndios e também em queimadas prescritas, que possuem as mesmas características de incêndios reais. Cada bombeiro ou brigadista utilizará uma bomba de amostragem na etapa 3. Esta bomba será fixada em seu corpo, próxima à cintura e um suporte da bomba com um filtro será fixado no colarinho do uniforme, conforme ilustrado na figura 1 do projeto. A bomba succiona o ar do ambiente e os compostos emitidos pela fumaça serão capturados pelo filtro, que será enviado ao laboratório de toxicologia para análises químicas. Os bombeiros e brigadistas realizarão suas atividades de combate ao fogo normalmente. A bomba não incomodará, nem atrapalhará em nada. E não haverá nenhuma manobra invasiva neste estudo de campo."

"Resumo:

A fumaça gerada pela combustão de incêndios florestais é tóxica, contendo uma grande quantidade de compostos químicos nocivos a nosso organismo, podendo causar efeitos agudos e crônicos. A exposição a estes compostos pode afetar toda a comunidade e principalmente os bombeiros militares e brigadistas florestais, por estarem na linha de frente nas atividades de combate. O presente trabalho desenvolverá avaliações de amostragem do ar nos ambientes de ocorrência de incêndios florestais no DF, bem como análises químicas laboratoriais para identificar as concentrações dos principais compostos emitidos pela fumaça e a exposição dos bombeiros e dos brigadistas a esses compostos."

"Hipótese:

Os compostos emitidos pelos incêndios florestais podem afetar a saúde de bombeiros e

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



brigadistas florestais com efeitos agudos, como, por exemplo, dor de cabeça, tontura, dificuldade de respirar e com efeitos crônicos, como perda da função respiratória e câncer. Os bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e os brigadistas florestais do Instituto Brasília Ambiental estão altamente expostos a compostos tóxicos emitidos nos incêndios florestais, presentes na fumaça e isso gera riscos à sua saúde."

"Metodologia Proposta:

A pesquisa será realizada no período de 3 anos, sendo as mesmas atividades repetidas 3 vezes. As etapas do estudo serão: 1) aplicação de questionário para avaliar o perfil dos bombeiros e brigadistas e suas percepções de risco frente às suas atividades de combate ao fogo florestal; 2) Coleta de sangue e urina para Realização de exames laboratoriais, sendo de sangue (bioquímica e hemograma) e de urina e realização de exames para avaliação da função pulmonar (espirometria); A amostragem de campo, ou seja, a avaliação da exposição dos bombeiros e brigadistas à fumaça, ocorrerá com uso de bombas de amostragens. Serão avaliados nesta etapa a exposição a compostos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) e outros dois compostos orgânicos (formaldeído e acroleína). Esses são os compostos mais identificados na fumaça e os mais tóxicos. 3) Estudo de amostragem de campo (avaliação da exposição à fumaça) durante a atividade de combate ao fogo florestal. No primeiro ano ocorrerão as seguintes atividades: a aplicação do questionário, uma única vez, no período compreendido entre os meses de fevereiro a julho; duas coletas de sangue e de urina, uma no mês de julho e outra no mês de setembro; duas avaliações da função pulmonar através de exames de espirometria, sendo também uma no mês de julho e outra no mês de setembro; amostragem de campo (avaliações da exposição pessoal à fumaça de cada bombeiro) com uso de uma bomba de amostragem, no período entre os meses de agosto e setembro. No segundo e terceiro ano serão repetidas as mesmas atividades de pesquisa do primeiro, nos mesmos meses. A única diferença é que não haverá mais a aplicação de questionário, que ocorrerá apenas uma vez no primeiro ano. 150 (cento e cinquenta) bombeiros e 30 (trinta) brigadistas serão convidados para participar das etapas 1 e 2 do estudo, e cerca de 60 (sessenta) bombeiros e de 60 (sessenta) brigadistas que participarão destes serão convidados a participar do estudo de campo (etapa 3). As avaliações ocorrerão durante atendimentos reais de combate a incêndios e em queimadas prescritas, que possuem as mesmas características de incêndios reais. Cada bombeiro ou brigadista utilizará uma bomba de amostragem na etapa 3. Esta bomba será fixada em seu corpo, próxima à cintura e um suporte da bomba com um filtro será

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASÍLIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 7.684.533

fixado no colarinho do uniforme, conforme ilustrado na figura 1 do projeto. A bomba succiona o ar do ambiente e os compostos emitidos pela fumaça serão capturados pelo filtro, que será enviado ao laboratório de toxicologia para análises químicas. Os bombeiros realizarão suas atividades de combate ao fogo normalmente. A bomba não incomodará, nem atrapalhará em nada. E não haverá nenhuma manobra invasiva neste estudo de campo. Exames bioquímicos e hemograma serão realizados em laboratório nas amostras de sangue coletadas. Exames de urina para identificar os metabólitos dos compostos analisados também serão realizados em laboratório. A capacidade da função pulmonar será avaliada através de exames de espirometria. Serão enviados relatórios parciais ao CEP no período entre os meses de outubro e novembro do primeiro ano da pesquisa (2023) e também entre outubro e novembro do segundo ano da pesquisa (2024). No período compreendido pelos meses de outubro e novembro do terceiro ano da pesquisa (2025) será enviado relatório final ao CEP. Haverá uma coleta de sangue antes e outra após o período de exposição aos incêndios florestais, em junho e setembro, respectivamente, durante 3 anos consecutivos, nos anos de 2023, 2024 e 2025. Haverá uma coleta de urina antes e outra após o período de exposição aos incêndios florestais, em junho e setembro, respectivamente, durante 3 anos consecutivos, nos anos de 2023, 2024 e 2025."

"Critério de Inclusão:

Bombeiros militares lotados no Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM) do CBMDF e que trabalham no operacional, combatendo incêndios florestais no período de estiagem (abril a outubro) e brigadistas florestais do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) que atuam realizando queimadas prescritas em áreas próximas a rodovias e a parques públicos no Distrito Federal com intuito de realização de aceiros e, desta forma, realizarem prevenção a incêndios florestais e também combatendo incêndios florestais nos parques públicos, caso ocorram."

"Critério de Exclusão:

Bombeiros que não trabalham no operacional e sim no administrativo do CBMDF e brigadistas que atuam em outras funções que não sejam as de prevenção e combate a incêndios florestais."

"Desfecho Primário:

Conhecer o nível de concentração dos compostos emitidos pela fumaça que serão analisados,

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASÍLIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 7.684.533

para, assim conhecer a exposição dos bombeiros militares do DF e dos brigadistas florestais do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) a estes compostos, nas circunstâncias reais de suas atividades de combate a incêndios florestais."

"Desfecho Secundário:

- 1) Conhecer o nível de percepção de risco dos bombeiros e dos brigadistas florestais no que se refere à atividade de combate a incêndios florestais através das respostas obtidas na entrevista por meio do questionário.
- 2) Obter dados da capacidade pulmonar dos bombeiros e dos brigadistas florestais participantes da pesquisa e comparar os resultados dos exames de espirometria realizados antes e após o período de estiação, no qual ocorrerão as atividades de combate a incêndios florestais, para, assim, poder associar a possível diminuição da capacidade pulmonar com a exposição à fumaça.
- 3) Conhecer os resultados dos níveis de concentração dos compostos químicos analisados na avaliação de campo: BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), formaldeído e acroleína, bem como também o material particulado da fumaça e assim poder estabelecer se estão ou não dentro dos limites estabelecidos como seguros.
- 4) Através dos resultados dos exames de sangue e de urina verificar se houve contaminação dos bombeiros e dos brigadistas florestais pelos compostos químicos presentes na fumaça considerados na no estudo (BTEX, formaldeído e acroleína)."

"Tamanho da Amostra: 300."

Objetivo da Pesquisa:

Segundo documento "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2529039_E1.pdf", postado em 29/05/2025:

"Objetivo Primário:

Avaliar a exposição dos bombeiros militares e dos brigadistas florestais à fumaça dos incêndios florestais nas circunstâncias reais em que ocorrem suas atividades ocupacionais no DF."

"Objetivo Secundário:

Avaliar a percepção de risco dos bombeiros e brigadistas no que se refere à atividade de combate a incêndios florestais através de pesquisa por aplicação de questionário; Avaliar a capacidade pulmonar destas populações antes e depois da estação pico de incêndios florestais

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 7.684.533

na região (junho-setembro) por meio de exames de espirometria; Identificar a exposição destas populações a compostos químicos presentes na fumaça (BTEX, formaldeído e acroleína) e a material particulado no mesmo período; Avaliar se há contaminação destas populações pelos compostos químicos presentes na fumaça considerados na no estudo (BTEX, formaldeído e acroleína) através de exames laboratoriais de sangue e de urina."

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo documento "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2529039_E1.pdf", postado em 29/05/2025:

"Riscos:

Possíveis constrangimentos durante a etapas da pesquisa: aplicação dos questionário, coletas de sangue e urina, realização de exame de espirometria e avaliação de amostragem de campo (através de bomba de amostragem). Se a bomba for fixada ao corpo do bombeiro e brigadista a seu uniforme não incomodará nem atrapalhará em nada suas atividades ocupacionais. Mas se não for fixada da maneira correta poderá gerar incômodos e dificultar nas atividades de combater o fogo. A pesquisa pode gerar risco de exposição das informações dos bombeiros e brigadistas. Por isso, todos os cuidados referente aos preceitos éticos serão aplicados.

A coleta de sangue pode oferecer riscos aos participantes da pesquisa e aos profissionais que irão realizar esse procedimento. Podem ser citados riscos de picadas, de contaminação por agentes externos e de infecção por patógenos devida à exposição ao sangue contaminado. Por esse motivo, todas as atividades serão executadas com minuciosos cuidados, seguindo as instruções da cartilha de orientações sobre flebotomia da OMS e da portaria nº 158/2016 do Ministério da Saúde."

"Benefícios:

A pesquisa permitirá conhecer a exposição dos bombeiros militares do Distrito Federal e dos brigadistas florestais do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) à fumaça de incêndios florestais e, assim, mensurar o risco à saúde destes profissionais. O estudo gerará informações que servirão como base para estratégias de medidas ocupacionais para o CBMDF e para o IBRAM, medidas estas com finalidade de garantir proteção à saúde dos bombeiros e brigadistas. A forma de retorno direto aos participantes da pesquisa como benefícios para o Corpo de Bombeiros e para o IBRAM como todo serão: palestras demonstrando os riscos químicos por exposição dos bombeiros militares e brigadistas florestais à fumaça nos incêndios florestais; apresentação de

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 7.684.533

medidas para proteger estes profissionais, como medidas administrativas para redução da exposição e medidas de proteção individual, como fornecimento de máscaras e também orientações para a necessidade de realização de exames laboratoriais periódicos de acompanhamento, bem como qual deverá ser a frequência destes."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de emenda E1 ao projeto de pesquisa AVALIAÇÃO DE RISCO QUÍMICO PARA BOMBEIROS MILITARES POR EXPOSIÇÃO À FUMAÇA EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO FEDERAL, aprovado no parecer consubstanciado nº 5.318.695, de 04/04/2022.

A emenda solicita a alteração do título para: Avaliação da exposição de bombeiros militares e brigadistas à fumaça e a outros produtos da combustão em incêndios florestais no Distrito Federal. Quanto aos participantes, além dos bombeiros militares do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, também serão incluídos brigadistas florestais do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). Portanto, a emenda consiste apenas em incluir os brigadistas florestais na pesquisa. Não haverá nenhuma alteração na metodologia e nos procedimentos de coleta. A justificativa é que os brigadistas desempenham atividades semelhantes aos bombeiros militares do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal prevenindo e combatendo incêndios florestais. Para isso, o Instituto Brasília Ambiental foi incluído como instituição coparticipante. Não haverá nenhuma alteração nos objetivos e nem metodologia do projeto original. Um novo TCLE foi apresentado.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentos acrescentados ao processo e analisados para a emissão deste parecer:

- 1 - PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2529039_E1.pdf, postado em 29/05/2025;
- 2 - ProjetoDePesquisaDetalhadoCorrigido.pdf, postado em 29/05/2025;
- 3 - TCLECorrigido.pdf, postado em 29/05/2025;
- 4 - DeclaracaoConcordanciaIBRAM.pdf, postado em 11/04/2025;
- 5 - EmendaaProjetoDePesquisa.pdf, postado em 11/04/2025; e
- 6 - FolhaDeRostoAssinada.pdf, postado em 11/04/2025.

Recomendações:

Não se aplicam.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não foram observados óbices éticos.

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 7.684.533

Considerações Finais a critério do CEP:

Conforme a Resolução CNS 466/2012, itens X.1.- 3.b. e XI.2.d, os pesquisadores responsáveis devem apresentar relatórios parciais semestrais, contados a partir da data de aprovação do protocolo de pesquisa; e um relatório final do projeto de pesquisa, após a conclusão da pesquisa.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2529039_E1.pdf	29/05/2025 14:42:48		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDePesquisaDetalhadoCorrigido.pdf	29/05/2025 14:42:28	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDePesquisaDetalhadoCorrigido.docx	29/05/2025 14:42:19	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLECorrigido.pdf	29/05/2025 14:39:43	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLECorrigido.docx	29/05/2025 14:39:36	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	DeclaracaoConcordanciaIBRAM.pdf	11/04/2025 19:05:56	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	EmendaaProjetoDePesquisa.pdf	11/04/2025 19:03:11	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Folha de Rosto	FolhaDeRostoAssinada.pdf	11/04/2025 19:01:22	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Esclarecimentos_cbmdf_pendencia_4.pdf	10/03/2022 14:53:35	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Termo_concordancia_instituicao_proposente_word.doc	24/01/2022 20:27:08	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Termo_concordancia_instituicao_coparticipante.pdf	24/01/2022 20:24:20	FAUSTO JAIME MIRANDA DE	Aceito

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 7.684.533

Outros	Termo_concordancia_instituicao_coparticipante.pdf	24/01/2022 20:24:20	ARAUJO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_responsabilidade_ompromisso_pesquisar_esponsavel_corrigido_em_Word.doc	24/01/2022 20:20:51	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_responsabilidade_compromisso_pesquisador_responsavel_corrigido.pdf	24/01/2022 20:19:33	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Questionario_Fausto.pdf	08/12/2021 21:19:21	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Curriculo_lattes_Orientadora.pdf	08/12/2021 21:14:15	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Curriculo_lattes_Orientando.pdf	08/12/2021 21:13:29	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Outros	Termo_cessao_uso_de_imagem_e_som_da_voz.pdf	08/12/2021 21:12:31	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Orçamento	Planilha_de_orcamento_fausto.pdf	08/12/2021 21:11:59	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Declaração de concordância	Termo_concordancia_instituicao_propONENTE.pdf	08/12/2021 21:10:59	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Cronograma	Cronograma_da_pesquisa_Fausto.pdf	08/12/2021 21:10:00	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito
Brochura Pesquisa	Brochura_pesquisa.pdf	08/12/2021 21:05:01	FAUSTO JAIME MIRANDA DE ARAUJO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BRASILIA, 02 de Julho de 2025

Assinado por:
Janine Araki
(Coordenador(a))

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 7.684.533

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Convidamos o(a) Senhor(a) a participar do projeto de pesquisa "**AVALIAÇÃO DE RISCO QUÍMICO PARA BOMBEIROS MILITARES POR EXPOSIÇÃO À FUMAÇA EM INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO FEDERAL**", sob a responsabilidade do pesquisador Fausto Jaime Miranda de Araujo.

Os objetivos desta pesquisa são: avaliar a percepção de risco dos bombeiros relacionado à atividade de combate a incêndios florestais; avaliar a capacidade pulmonar desta população antes e depois da estação pico de incêndios na região (junho-setembro) e identificar a exposição desta população a compostos químicos presentes na fumaça (BTEX, formaldeído e acroleína) e a material particulado no mesmo período.

Esta pesquisa permitirá conhecer melhor as condições e o ambiente de trabalho de bombeiros nas atividades de combate a incêndios florestais e, assim, possibilitará que novas medidas sejam adotadas visando a segurança ocupacional, caso seja necessário.

O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá, sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação se dará por meio das seguintes atividades: entrevista através de questionários por escrito com um tempo estimado de 10 a 15 min para sua realização; doação de sangue (5ml) para análises laboratoriais; realização do exame de espirometria para avaliar a capacidade pulmonar, e coleta de amostras de ar nas atividades de combate a incêndios florestais (atividades de amostragem de campo) por meio de bombas de amostragem. A entrevista por questionário ocorrerá apenas uma vez e as demais avaliações, que englobam exames de sangue, avaliações de amostragem de campo e exames de espirometria ocorrerão durante três anos consecutivos.

A pesquisa não acarretará riscos a sua integridade física, pois as avaliações não interferirão em nada em suas atividades. No entanto, pode haver dano psicológico na entrevista por questionário, pois alguma questão pode lhe causar algum tipo de desconforto ou constrangimento. Por isso é importante que tenha inteiro conhecimento de como se dará sua participação e o propósito da pesquisa. Se o(a) senhor(a) aceitar participar, estará contribuindo para aumentar o conhecimento de como o risco por contato e exposição à fumaça é percebido pelos bombeiros militares e se os compostos químicos presentes na fumaça causam contaminação. Desta forma, será possível propor ações e medidas no sentido minimizar esses riscos, bem como comunicá-los de forma responsável para os demais órgãos e profissionais responsáveis pela execução das atividades de combate a incêndios florestais.

Nome do participante: _____

Rubrica do participante

Rubrica do pesquisador



O(a) senhor(a) pode se recusar a responder qualquer questão que lhe traga constrangimento, bem como pode se recusar a participar de qualquer outra etapa da pesquisa, como doação de sangue de sangue, realização dos exames de espirometria e das avaliações de amostragem a campo, podendo desistir em qualquer momento, sem nenhum prejuízo para si. Sua participação é voluntária, ou seja, não haverá pagamento por sua colaboração.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, o(a) senhor(a) poderá ser indenizado(a), obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados no sítio eletrônico do Laboratório de Toxicologia, situado na Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília (Labtox/UnB), vide <http://www.toxicologia.unb.br>. Os dados brutos e material biológico serão utilizados somente para esta pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, quando serão destruídos.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: Fausto Jaime Miranda de Araujo, tel.: (61) 3107-1875, cel. e whatsapp: (61) 98157-9020, disponível inclusive para ligação a cobrar, ou via e-mail (faustosst@hotmail.com).

Este projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP/FS) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidos pelo telefone (61) 3107-1947 ou do e-mail cepfs@unb.br ou cepfsunb@gmail.com, horário de atendimento de 10:00 h às 12:00 h e de 13:30 h às 15:30 h, de segunda a sexta-feira. O CEP/FS se localiza na Faculdade de Ciências da Saúde, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Asa Norte.

Declaro que o presente documento cumpre com as exigências contidas no item IV.3 da Resolução CNS n. 466, de 12 de dezembro de 2012.

Caso concorde em participar, pedimos que assine este documento que foi elaborado em duas vias, das quais uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

Assinatura do participante

Fausto Jaime Miranda de Araujo - Pesquisador Responsável

Brasília, ____ de _____ de 20__ .

Anexo 3 – Questionário de Percepção de Risco.



Universidade de Brasília
Faculdade de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde



1

Número: _____

PERCEPÇÃO DE RISCO QUÍMICO POR EXPOSIÇÃO À FUMAÇA NAS ATIVIDADES DE COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS

Gênero: Masculino (☐) Feminino (☐) Outro (☐)

Idade: _____

Estado civil: União estável/casado(a) (☐) Separado(a) (☐) Viúvo(a) (☐) Solteiro(a) (☐)

Residência: Plano Piloto (☐) Cidade Satélite (☐) Entorno (☐)

Tempo de serviço no CBMDF: _____

Escolaridade:

(☐) 1º grau incompleto/completo

(☐) 2º grau incompleto/completo

(☐) Superior incompleto/completo

(☐) Pós-graduação

1. Você é especialista em combate a incêndios florestais? (☐)Sim (☐)Não

2. Há quanto tempo trabalha nas atividades de incêndios florestais?

3. Você compreende bem a reação de combustão e os principais produtos gerados por ela?

(☐)Sim (☐)Não

4. Você já foi orientado pelo CBMDF em instruções em cursos, palestras, por livretos ou outros meios sobre possíveis riscos causados à saúde pela fumaça de incêndios florestais?

(☐)Sim (☐)Não

5. Você fuma?

(☐)Sim (☐)Não

6. Você ingere bebida alcoólica?

(☐)Sim (☐)Não

7. Você tem algum problema de saúde? Caso afirmativo, especifique.

(☐)Sim (☐)Não

8. Você tem alguma doença respiratória?



() Sim () Não

Caso afirmativo, especifique.

9. Você acha que a fumaça pode trazer risco (fazer mal) à saúde?

() Sim, frequentemente

() Sim, ocasionalmente

() Raramente

() De jeito nenhum

10. Qual o seu nível de preocupação quanto à presença de substâncias tóxicas na fumaça dos incêndios florestais e o risco que causam à saúde?

() Elevado

() Médio

() Baixo

() Nenhuma preocupação a respeito

11. A fumaça já te incomodou enquanto trabalhou em incêndios florestais, dificultando a respiração.

() Sim, sempre

() Sim, algumas vezes

() Não, nunca

() Não lembro

12. Você acha que os riscos à saúde causados pela fumaça dos incêndios florestais são menores do que os dos incêndios urbanos?

() Sim

() Provavelmente sim

() Não

() Provavelmente não

13. Você acha desnecessário utilizar EPI nos incêndios florestais, pois o ambiente é aberto?

() Sim

() Provavelmente sim

() Não

() Provavelmente não



14. O que você acha que a fumaça pode causar à saúde? Pode assinalar mais de uma opção.

- ☐ () Câncer
- ☐ () Dor de cabeça, mal estar, náuseas
- ☐ () Doenças respiratórias/dificuldade de respirar
- ☐ () Outros efeitos
- ☐ () Nenhum efeito negativo à saúde
- ☐ () Não sei/prefiro não opinar

15. Você acha que conseguiria usar um equipamento de proteção respiratória no combate a incêndios florestais?

- ☐ () Sim
- ☐ () Provavelmente sim
- ☐ () Não
- ☐ () Provavelmente não

16. Como você julga o desempenho do CBMDF no que diz respeito à preocupação com a saúde e com a segurança nas atividades de combate a incêndios florestais?

- ☐ () Muito bom/bom
- ☐ () Aceitável
- ☐ () Baixo/muito baixo
- ☐ () Não tenho opinião a respeito

17. Você acha que importante estudos para identificar as concentrações dos compostos da fumaça dos incêndios florestais e quantificar a exposição dos bombeiros e possíveis riscos à saúde?

- ☐ () Sim, acho muito importante e necessário
- ☐ () Não acho importante e nem acho necessário
- ☐ () Não acredito que os estudos identifiquem realmente os riscos, caso existam, e que possam acrescentar para melhorias nas condições de trabalho
- ☐ () Não tenho opinião a respeito

Anexo 4 – Método NIOSH 0600.

PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE 0600

DEFINITION: aerosol collected by sampler
with 4- μ m median cut point

CAS: None

RTECS: None

METHOD: 0600, Issue 3		EVALUATION: FULL		Issue 1: 15 February 1984 Issue 3: 15 January 1998	
OSHA: 5 mg/m ³ NIOSH: no REL ACGIH: 3 mg/m ³		PROPERTIES: contains no asbestos and quartz less than 1%; penetrates non-ciliated portions of respiratory system			
SYNONYMS: nuisance dusts; particulates not otherwise classified					
SAMPLING			MEASUREMENT		
SAMPLER: CYCLONE + FILTER (10-mm nylon cyclone, Higgins-Dewell [HD] cyclone, or aluminum cyclone + tared 5-µm PVC membrane)			TECHNIQUE: GRAVIMETRIC (FILTER WEIGHT)		
FLOW RATE: nylon cyclone: 1.7 L/min HD cyclone: 2.2 L/min Al cyclone: 2.5 L/min			ANALYTE: mass of respirable dust fraction		
VOL-MIN: 20 L @ 5 mg/m ³ -MAX: 400 L			BALANCE: 0.001 mg sensitivity; use same balance before and after sample collection		
SHIPMENT: routine			CALIBRATION: National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 or ASTM Class 1 weights		
SAMPLE STABILITY: stable			RANGE: 0.1 to 2 mg per sample		
BLANKS: 2 to 10 field blanks per set			ESTIMATED LOD: 0.03 mg per sample		
ACCURACY			PRECISION: <10 µg with 0.001 mg sensitivity balance; <70 µg with 0.01 mg sensitivity balance [3]		
RANGE STUDIED: 0.5 to 10 mg/m ³ (lab and field)					
BIAS: dependent on dust size distribution [1]					
OVERALL PRECISION ($\hat{S}_p$): dependent on size distribution [1,2]					
ACCURACY: dependent on size distribution [1]					
APPLICABILITY: The working range is 0.5 to 10 mg/m ³ for a 200-L air sample. The method measures the mass concentration of any non-volatile respirable dust. In addition to inert dusts [4], the method has been recommended for respirable coal dust. The method is biased in light of the recently adopted international definition of respirable dust, e.g., ≈ +7% bias for non-diesel, coal mine dust [5].					
INTERFERENCES: Larger than respirable particles (over 10 µm) have been found in some cases by microscopic analysis of cyclone filters. Over-sized particles in samples are known to be caused by inverting the cyclone assembly. Heavy dust loadings, fibers, and water-saturated dusts also interfere with the cyclone's size-selective properties. The use of conductive samplers is recommended to minimize particle charge effects.					
OTHER METHODS: This method is based on and replaces Sampling Data Sheet #29.02 [6].					

EQUIPMENT:

1. Sampler:
 - a. Filter: 5.0- μ m pore size, polyvinyl chloride filter or equivalent hydrophobic membrane filter supported by a cassette filter holder (preferably conductive).
 - b. Cyclone: 10-mm nylon (Mine Safety Appliance Co., Instrument Division, P. O. Box 427, Pittsburgh, PA 15230), Higgins-Dewell (BGI Inc., 58 Guinan St., Waltham, MA 02154) [7], aluminum cyclone (SKC Inc., 863 Valley View Road, Eighty Four, PA 15330), or equivalent.
 2. Personal sampling pump, 1.7 L/min $\pm$ 5% for nylon cyclone, 2.2 L/min $\pm$ 5% for HD cyclone, or 2.5 L/min $\pm$ 5% for the AI cyclone with flexible connecting tubing.
NOTE: Pulsation in the pump flow must be within $\pm$ 20% of the mean flow.
 3. Balance, analytical, with sensitivity of 0.001 mg.
 4. Weights, NIST Class S-1.1, or ASTM Class 1.
 5. Static neutralizer, e.g., Po-210; replace nine months after the production date.
 6. Forceps (preferably nylon).
 7. Environmental chamber or room for balance, e.g., 20 $^{\circ}$ C $\pm$ 1 $^{\circ}$ C and 50% $\pm$ 5% RH.
-

SPECIAL PRECAUTIONS: None.

PREPARATION OF SAMPLERS BEFORE SAMPLING:

1. Equilibrate the filters in an environmentally controlled weighing area or chamber for at least 2 h.
2. Weigh the filters in an environmentally controlled area or chamber. Record the filter tare weight, W_1 (mg).
 - a. Zero the balance before each weighing.
 - b. Handle the filter with forceps (nylon forceps if further analyses will be done).
 - c. Pass the filter over an anti-static radiation source. Repeat this step if filter does not release easily from the forceps or if filter attracts balance pan. Static electricity can cause erroneous weight readings.
3. Assemble the filters in the filter cassettes and close firmly so that leakage around the filter will not occur. Place a plug in each opening of the filter cassette.
4. Remove the cyclone's grit cap before use and inspect the cyclone interior. If the inside is visibly scored, discard this cyclone since the dust separation characteristics of the cyclone may be altered. Clean the interior of the cyclone to prevent reentrainment of large particles.
5. Assemble the sampler head. Check alignment of filter holder and cyclone in the sampling head to prevent leakage.

SAMPLING:

6. Calibrate each personal sampling pump to the appropriate flow rate with a representative sampler in line.
NOTE 1: Because of their inlet designs, nylon and aluminum cyclones are calibrated within a large vessel with inlet and outlet ports. The inlet is connected to a calibrator (e.g., a bubble meter). The cyclone outlet is connected to the outlet port within the vessel, and the vessel outlet is attached to the pump. See APPENDIX for alternate calibration procedure. (The calibrator can be connected directly to the HD cyclone.)
NOTE 2: Even if the flow rate shifts by a known amount between calibration and use, the nominal flow rates are used for concentration calculation because of a self-correction feature of the cyclones.
7. Sample 45 min to 8 h. Do not exceed 2 mg dust loading on the filter. Take 2 to 4 replicate samples for each batch of field samples for quality assurance on the sampling procedure (see Step 10).

NOTE :Do not allow the sampler assembly to be inverted at any time. Turning the cyclone to anything more than a horizontal orientation may deposit oversized material from the cyclone body onto the filter.

SAMPLE PREPARATION:

8. Remove the top and bottom plugs from the filter cassette. Equilibrate for at least 2 h in an environmentally controlled area or chamber.

CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

9. Zero the microbalance before all weighings. Use the same microbalance for weighing filters before and after sample collection. Calibrate the balance with National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 or ASTM Class 1 weights.
10. The set of replicate field samples should be exposed to the same dust environment, either in a laboratory dust chamber [8] or in the field [9]. The quality control samples must be taken with the same equipment, procedures, and personnel used in the routine field samples. Calculate precision from these replicates and record relative standard deviation (S_r) on control charts. Take corrective action when the precision is out of control [8].

MEASUREMENT:

11. Weigh each filter, including field blanks. Record this post-sampling weight, W_2 (mg), beside its corresponding tare weight. Record anything remarkable about a filter (e.g., visible particles, overloading, leakage, wet, torn, etc.).

CALCULATIONS:

12. Calculate the concentration of respirable particulate, C (mg/m³), in the air volume sampled, V (L):

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3, \text{ mg/m}^3,$$

where: W_1 = tare weight of filter before sampling (mg),
 W_2 = post-sampling weight of sample-containing filter (mg),
 B_1 = mean tare weight of blank filters (mg),
 B_2 = mean post-sampling weight of blank filters (mg),
 V = volume as sampled at the nominal flow rate (i.e., 1.7 L/min or 2.2 L/min).

EVALUATION OF METHOD:

1. Bias: In respirable dust measurements, the bias in a sample is calculated relative to the appropriate respirable dust convention. The theory for calculating bias was developed by Bartley and Breuer [10]. For this method, the bias, therefore, depends on the international convention for respirable dust, the cyclones' penetration curves, and the size distribution of the ambient dust. Based on measured penetration curves for non-pulsating flow [1], the bias in this method is shown in Figure 1.

For dust size distributions in the shaded region, the bias in this method lies within the ± 0.10 criterion established by NIOSH for method validation. Bias larger than ± 0.10 would, therefore, be expected for some workplace aerosols. However, bias within ± 0.20 would be expected for dusts with geometric standard deviations greater than 2.0, which is the case in most workplaces.

Bias can also be caused in a cyclone by the pulsation of the personal sampling pump. Bartley, et al. [12] showed that cyclone samples with pulsating flow can have negative bias as large as -0.22 relative to samples with steady flow. The magnitude of the bias depends on the amplitude of the pulsation at the cyclone aperture and the dust size distribution. For pumps with instantaneous flow rates within 20% of the mean, the pulsation bias magnitude is less than 0.02 for most dust size distributions encountered in the workplace.

Electric charges on the dust and the cyclone will also cause bias. Briant and Moss [13] have found electrostatic biases as large as -50%, and show that cyclones made with graphite-filled nylon eliminate the problem. Use of conductive samplers and filter cassettes (Omega Specialty Instrument Co., 4 Kidder Road, Chelmsford, MA 01824) is recommended.

2. Precision: The figure 0.068 mg quoted above for the precision is based on a study [3] of weighing procedures employed in the past by the Mine Safety and Health Administration (MSHA) in which filters are pre-weighed by the filter manufacturer and post-weighed by MSHA using balances readable to 0.010 mg. MSHA [14] has recently completed a study using a 0.001 mg balance for the post-weighing, indicating imprecision equal to 0.006 mg.

Imprecision equal to 0.010 mg was used for estimating the LOD and is based on specific suggestions [8] regarding filter weighing using a single 0.001 mg balance. This value is consistent with another study [15] of repeat filter weighings, although the actual attainable precision may depend strongly on the specific environment to which the filters are exposed between the two weighings.

REFERENCES:

- [1] Bartley DL, Chen CC, Song R, Fischbach TJ [1994]. Respirable aerosol sampler performance testing. *Am Ind Hyg Assoc J*, 55(11): 1036-1046.
- [2] Bowman JD, Bartley DL, Breuer GM, Shulman SA [1985]. The precision of coal mine dust sampling. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Pub. No. 85-220721.
- [3] Parobeck P, Tomb TF, Ku H, Cameron J [1981]. Measurement assurance program for the weighings of respirable coal mine dust samples. *J Qual Tech* 13:157.
- [4] ACGIH [1996]. 1996 Threshold limit values (TLVs™) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (BEIs™). Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- [5] American Conference of Governmental Industrial Hygienists [1991]. Notice of intended change—appendix D—particle size-selective sampling criteria for airborne particulate matter. *Appl Occup Env Hyg* 6(9): 817-818.
- [6] NIOSH [1977]. NIOSH Manual of sampling data sheets. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. 77-159.
- [7] Higgins RI, Dewell P [1967]. A gravimetric size selecting personal dust sampler. In: Davies CN, Ed. *Inhaled particles and vapors II*. Oxford: Pergamon Press, pp. 575-586.
- [8] Bowman JD, Bartley DL, Breuer GM, Doemeny LJ, Murdock DJ [1984]. Accuracy criteria recommended for the certification of gravimetric coal mine dust personal samplers. NTIS Pub. No. PB 85-222446 (1984).
- [9] Breslin, JA, Page SJ, Jankowski RA [1983]. Precision of personal sampling of respirable dust in coal mines. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations #8740.
- [10] Bartley DL, Breuer GM [1982]. Analysis and optimization of the performance of the 10-mm cyclone. *Am Ind Hyg Assoc J* 43: 520-528.
- [11] Caplan KJ, Doemeny LJ, Sorenson S [1973]. Evaluation of coal mine dust personal sampler performance, Final Report. NIOSH Contract No. PH CPE-r-70-0036.

- [12] Bartley DL, Breuer GM, Baron PA, Bowman JD [1984]. Pump fluctuations and their effect on cyclone performance. *Am Ind Hyg Assoc J* 45(1): 10–18.
- [13] Briant JK, Moss OR [1983]. The influence of electrostatic charge on the performance of 10-mm nylon cyclones. Unpublished paper presented at the American Industrial Hygiene Conference, Philadelphia, PA, May 1983.
- [14] Koqut J [1994]. Private Communication from MSHA, May 12, 1994.
- [15] Vaughn NP, Chalmers CP, Botham [1990]. Field comparison of personal samplers for inhalable dust. *Ann Occup Hyg* 34: 553–573.

METHOD REVISED BY:

David L. Bartley, Ph.D., NIOSH/DPSE/ARDB and Ray Feldman, OSHA.

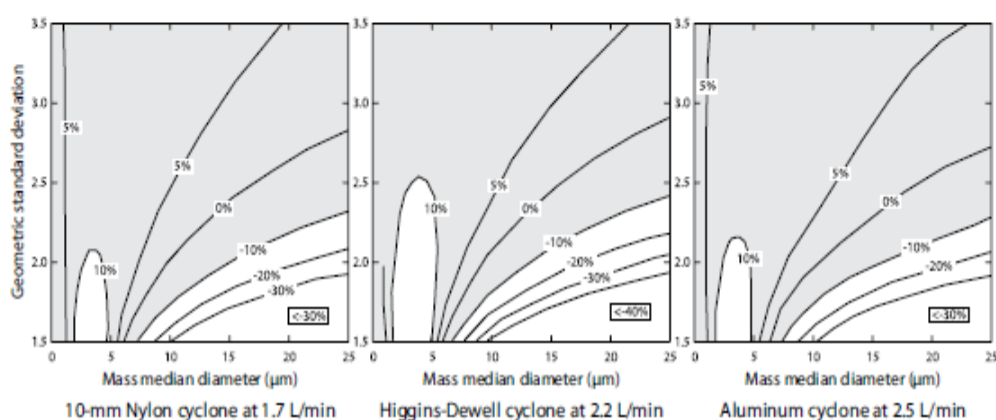


Figure 1. Bias of three cyclone types relative to the international respirable dust sampling convention.

APPENDIX: Jarless Method for Calibration of Cyclone Assemblies

This procedure may be used in the field to calibrate an air sampling pump and a cyclone assembly without using the one-liter "calibration jar".

1. Connect the pump to a pressure gauge or water manometer and a light load (adjustable valve or 5- μ m filter) equal to 2" to 5" H₂O with a "TEE" connector and flexible tubing. Connect other end of valve to an electronic bubble meter or standard bubble tube with flexible tubing (See Fig. 2.1).
NOTE: A light load can be a 5- μ m filter and/or an adjustable valve. A heavy load can be several 0.8- μ m filters and/or adjustable valve.
2. Adjust the pump to 1.7 L/min, as indicated on the bubble meter/tube, under the light load conditions (2" to 5" H₂O) as indicated on the pressure gauge or manometer.
3. Increase the load until the pressure gauge or water manometer indicates between 25" and 35" H₂O. Check the flow rate of the pump again. The flow rate should remain at 1.7 L/min $\pm$ 5%.
4. Replace the pressure gauge or water manometer and the electronic bubble meter or standard bubble tube with the cyclone having a clean filter installed (Fig. 2.2). If the loading caused by the cyclone assembly is between 2" and 5" H₂O, the calibration is complete and the pump and cyclone are ready for sampling.

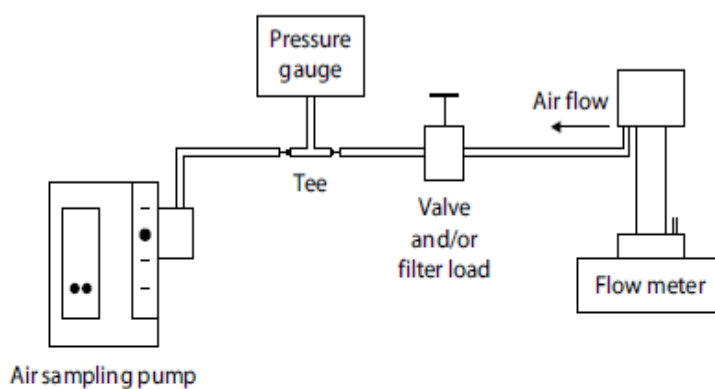


Figure 2.1. Block diagram of pump/load/flow meter set-up.

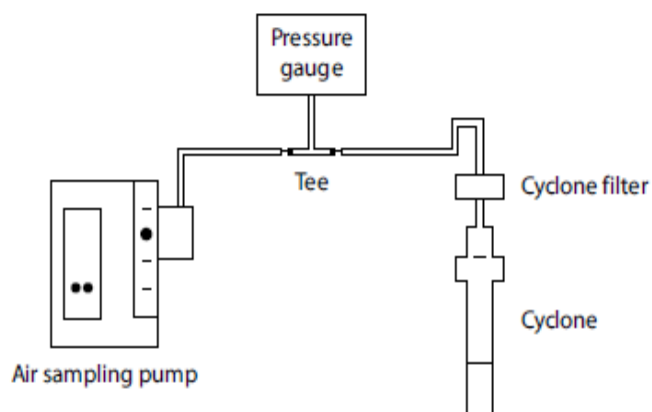


Figure 2.2. Block diagram with cyclone as the test load.

Anexo 5 – Método NIOSH 1501.

HYDROCARBONS, AROMATIC

1501

FORMULA: Table 1

MW: Table 1

CAS: Table 1

RTECS: Table 1

METHOD: 1501, Issue 3		EVALUATION: Full		Issue 1: 15 August 1990 Issue 3: 15 March 2003		
OSHA: Table 2 NIOSH: Table 2 ACGIH: Table 2		PROPERTIES: Table 1				
SYNONYMS: Group A: benzene toluene ethylbenzene o-xylene m-xylene p-xylene (Synonyms in Table 1) Group B: cumene p-tert-butyltoluene α-methylstyrene β-methylstyrene styrene						
SAMPLING			MEASUREMENT			
SAMPLER:	SOLID SORBENT TUBE (coconut shell charcoal, 100 mg/50 mg)		TECHNIQUE:	GAS CHROMATOGRAPHY, FID		
FLOW RATE:	Table 3		ANALYTE:	Hydrocarbons listed above		
VOL-MIN:	Table 3		DESORPTION:	1 mL CS ₂ , stand 30 min with agitation		
-MAX:	Table 3		INJECTION VOLUME:	1 μL (Group A: split 5:1; Group B: split 1:1)		
SHIPMENT:	Routine		TEMPERATURE			
SAMPLE STABILITY:	30 days @ 5°C		-INJECTION:	250 °C		
BLANKS:	10% of samples		-DETECTOR:	300 °C		
			-COLUMN:	Group A: 40 °C (10 min) to 230°C (10 °C/min) Group B: 35 °C (8 min) to 225°C (10 °C/min)		
ACCURACY			CARRIER GAS:	He @ 2.6 mL/min		
RANGE STUDIED:	Table 3		COLUMN:	Capillary, fused silica Group A: 30m x 0.32-mm ID; 1-μm film 100% PEG or equivalent Group B: 30m x 0.53-mm ID; 3-μm film crossbonded@ 35% diphenyl 65% dimethyl polysiloxane or equivalent		
BIAS:	Table 3		CALIBRATION:	Solutions of analytes in CS ₂		
OVERALL PRECISION (S _v):	Table 3		RANGE:	Table 4		
ACCURACY:	Table 3		ESTIMATED LOD:	Table 4		
			PRECISION (S _v):	Table 4		

APPLICABILITY: This method is for peak, ceiling, and TWA determinations of aromatic hydrocarbons. Interactions between analytes may reduce breakthrough volumes and affect desorption efficiencies. Naphthalene, originally validated in S292 [4], failed to meet acceptable desorption efficiency recovery and storage stability criteria at the levels evaluated in this study. However, the application of this method to naphthalene levels at or near the REL/PEL continues to meet acceptable recovery criteria. Styrene failed to meet acceptable recovery criteria at the two lowest levels evaluated in this study (highest level to meet the criteria was 181 μ g/sample).

INTERFERENCES: Under conditions of high humidity, the breakthrough volumes may be reduced. Other volatile organic compounds such as alcohols, ketones, ethers, and halogenated hydrocarbons are potential analytical interferences.

OTHER METHODS: This method updates NMAM 1501 issued on August 15, 1994 [1] which was based upon P&CAM 127 (benzene, styrene, toluene, and xylene) [2]; S22 (*p*-tert-butyltoluene) [3]; S23 (cumene) [3]; S29 (ethylbenzene) [3]; S26 (α -methylstyrene) [3]; S30 (styrene); S311 (benzene) [4]; S343 (toluene) [4]; and S318 (xylenes) [4].

REAGENTS:

1. Carbon disulfide*, low benzene, chromatographic quality.
2. Analytes, reagent grade.
3. Helium, prepurified and filtered.
4. Hydrogen, prepurified and filtered.
5. Air, prepurified and filtered.

* See SPECIAL PRECAUTIONS

EQUIPMENT:

1. Sampler: glass tube, 7 cm long, 6-mm OD, 4-mm ID, flame-sealed ends, containing two sections of activated coconut shell charcoal (front = 100 mg, back = 50 mg) separated by a 2-mm urethane foam plug. A silylated glass wool plug precedes the front section and a 3-mm urethane foam plug follows the back section. Tubes are commercially available.
2. Personal sampling pump, 0.01 to 1.0 L/min (Table 3), with flexible connecting tubing.
3. Gas chromatograph, FID, integrator, and columns (page 1501-1).
4. Autosampler vials, glass, 1.8 mL, with PTFE-lined caps.
5. Pipets, 1-mL, and pipet bulb.
6. Syringes, 10- μ L, 25- μ L, and 250- μ L.
7. Volumetric flasks, 10-mL.

SPECIAL PRECAUTIONS: Carbon disulfide is toxic and extremely flammable (flash point = -30°C), benzene is a suspect carcinogen. Prepare standards and samples in a well ventilated hood.

SAMPLING:

1. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler in line.
2. Break the ends of the sampler immediately before sampling. Attach sampler to personal sampling pump with flexible tubing.
3. Sample at an accurately known flow rate between 0.01 and 0.2 L/min for a total sample size as shown in Table 3.
4. Cap the samplers with plastic (not rubber) caps and pack securely for shipment.

SAMPLE PREPARATION:

5. Place the front and back sorbent sections of the sampler tube in separate vials. Include the glass wool plug in the vial along with the front sorbent section.
6. Add 1.0 mL eluent to each vial. Attach crimp cap to each vial immediately.
7. Allow to stand at least 30 min with occasional agitation.

CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

8. Calibrate daily with at least six working standards from below the LOD to 10 times the LOQ. If necessary, additional standards may be added to extend the calibration curve.
 - a. Add known amounts of analytes to carbon disulfide solvent in 10-mL volumetric flasks and dilute to the mark. Prepare additional standards by serial dilution in 10-mL volumetric flasks.
 - b. Analyze together with samples and blanks (steps 11 through 12).
 - c. Prepare calibration graph (peak area of analyte vs. μ g analyte per sample).

9. Determine desorption efficiency (DE) at least once for each batch of charcoal used for sampling in the calibration range (step 8).
 - a. Prepare three tubes at each of five levels plus three media blanks.
 - b. Inject a known amount of DE stock solution (5 to 25 µL) directly onto front sorbent section of each charcoal tube with a microliter syringe.
 - c. Allow the tubes to air equilibrate for several minutes, then cap the ends of each tube and allow to stand overnight.
 - d. Desorb (steps 5 through 7) and analyze together with standards and blanks (steps 11 and 12).
 - e. Prepare a graph of DE vs. µg analyte recovered.
10. Analyze a minimum of three quality control blind spikes and three analyst spikes to insure that the calibration graph and DE graph are in control.

MEASUREMENT:

11. Set gas chromatograph according to manufacturer's recommendations and to conditions given on page 1501-1. Inject a 1-µL sample aliquot manually using the solvent flush technique or with an autosampler.
 Note: If peak area is above the linear range of the working standards, dilute with solvent, reanalyze, and apply the appropriate dilution factor in the calculations.

Analyte	Approximate Retention Time (min)
benzene ^a	3.52
toluene ^a	6.13
ethylbenzene ^a	10.65
<i>o</i> -xylene ^a	12.92
<i>m</i> -xylene ^a	11.33
<i>p</i> -xylene ^a	11.04
cumene ^b	18.61
<i>p</i> -tert-butyltoluene ^b	21.45
α -methylstyrene ^b	19.99
β -methylstyrene ^b	20.82
styrene ^b	18.33

^a Separation achieved using a 30-m Stabilwax fused silica capillary column.

^b Separation achieved using a 30-m Rtx-35 fused silica capillary column.

12. Measure peak areas.

CALCULATIONS:

13. Determine the mass, µg (corrected for DE) of analyte found in the sample front (W_f) and back (W_b) sorbent sections, and in the average media blank front (B_f) and back (B_b) sorbent sections.
 NOTE: If $W_b > W_f/10$, report breakthrough and possible sample loss.
14. Calculate concentration, C , of analyte in the air volume sampled, V (L):

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{V}, \text{mg} / \text{m}^3$$

NOTE: µg/L = mg/m³

EVALUATION OF METHOD:

The desorption efficiency, at levels ranging from 5 times the LOQ to 0.1x the REL, was determined for each analyte by spiking known amounts (in CS₂) on coconut shell charcoal tubes. Both groups of analytes (A and B) were spiked together on the charcoal sorbent tubes. All analytes, with the exception of styrene and naphthalene, exhibited acceptable desorption efficiency recovery results at all five levels evaluated. Styrene failed to meet the 75% recovery criteria at the 18.1 µg and 90.6 µg levels. Naphthalene failed to meet the 75% criteria at all levels evaluated ranging from 48.8 µg to 976.0 µg.

Each analyte, at a level approximately 0.05x REL/PEL, was evaluated for its storage stability @ 5°C after 7, 14, and 30 days. All analytes, with the exception of naphthalene, had acceptable recoveries after 30 days storage.

REFERENCES:

- [1] NIOSH [1984]. Hydrocarbons, Aromatic: Method 1501. In: Eller PM, ed. NIOSH Manual of Analytical Methods. 4th rev. ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- [2] NIOSH [1977]. NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd. ed., V. 1, P&CAM 127, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-157-A.
- [3] Ibid, V. 2, S22, S23, S25, S26, S29, S30, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-157-B (1977).
- [4] Ibid, V. 3, S292, S311, S318, S343, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-157-C (1977).
- [5] NIOSH [1977]. Documentation of the NIOSH Validation Tests, S22, S23, S25, S26, S29, S30, S292, S311, S318, S343, U.S. Department of Health, Education, and Welfare; Publ. (NIOSH) 77-185.

METHOD WRITTEN BY:

Stephanie M. Pendergrass, NIOSH/DART

TABLE 1. SYNONYMS, FORMULA, MOLECULAR WEIGHT, PROPERTIES

Name/Synonyms	Empirical Formula	Molecular Weight	Boiling Point (°C)	Vapor Pressure @ 25 °C (mm Hg)	(kPa)	Density @ 20 °C (g/mL)
benzene CAS #71-43-2 RTECS CY1400000	C ₆ H ₆	78.11	80.1	95.2	12.7	0.879
p-tert-butyltoluene CAS #98-51-1 RTECS XS8400000 1-tert-butyl-4-methylbenzene	C ₁₁ H ₁₄	148.25	192.8	0.7	0.09	0.861
cumene CAS #98-82-8 RTECS GR8575000 isopropylbenzene	C ₉ H ₁₂	120.20	152.4	4.7	0.63	0.862
ethylbenzene CAS #100-41-4 RTECS DA0700000	C ₈ H ₁₀	106.17	136.2	9.6	1.28	0.867
α-methylstyrene CAS #98-83-9 RTECS WL5075300 isopropenylbenzene (1-methylethenyl)-benzene	C ₉ H ₁₀	118.18	165.4	2.5	0.33	0.909
β-methylstyrene CAS #873-66-5 RTECS DA8400500	C ₉ H ₁₀	118.18	175.0	—	—	0.911
toluene CAS #108-88-3 RTECS XS5250000 methylbenzene	C ₇ H ₈	92.14	110.6	28.4	3.79	0.867
xylene ^a CAS #1330-20-7 RTECS ZE2100000 dimethylbenzene (p-xylene)	C ₈ H ₁₀ (ortho) (meta) (para)	106.17	144.4 139.1 138.4	6.7 8.4 8.8	0.89 1.12 1.18	0.880 0.864 0.861
styrene CAS #100-42-5 RTECS WL3675000 vinylbenzene	C ₈ H ₈	104.15	145.2	6.1	0.81	0.906

TABLE 2. PERMISSIBLE EXPOSURE LIMITS, PPM

Substance	OSHA TWA	NIOSH			ACGIH		mg/m ³ per ppm
		TWA	C	STEL	TLV	STEL	
benzene	1	0.1 ^a	1		10 ^b		3.19
<u>p</u> -tert-butyltoluene	10	10		20	1		6.06
cumene	50 (skin)	50 (skin)			50 (skin)		4.91
ethylbenzene	100	100		125	100	125	4.34
α -methylstyrene	100	50		100	50	100	4.83
β -methylstyrene	100	50		100	50	100	4.83
toluene	200	100		150	50 (skin)		3.77
<u>o</u> -xylene	100	100 ^c		150	100	150	4.34
<u>m</u> -xylene	100	100			100	150	4.34
<u>p</u> -xylene	100	100			100	150	4.34
styrene	100	50		100	50	100 (skin)	4.26

^a Potential carcinogen^b Suspect carcinogen^c Group I Pesticide**TABLE 3. SAMPLING FLOWRATE^a, VOLUME, CAPACITY, RANGE, OVERALL BIAS AND PRECISION**

Substance	Sampling			Breakthrough		Range at VOL-MIN (mg/m ³)	Overall		Accuracy (±%)
	Flowrate (L/min)	MIN	MAX	Volume @ Concentration (L) (mg/m ³)			Bias (%)	Precision (S _d)	
benzene	≤0.20	5	30	>45	149	42 - 165	-0.4	0.059	11.4
<u>p</u> -tert-butyltoluene	≤0.20	1	29	44	112	29 - 119	-10.3	0.07 f	20.7
cumene	≤0.20	1	30	>45	480	120 - 480	5.6	0.059	15.2
ethylbenzene	≤0.20	1	24	35	917	222 - 884	-7.6	0.08 f	17.1
α -methylstyrene	≤0.20	1	30	>45	940	236 - 943	-7.6	0.06 f	16.9
β -methylstyrene	≤0.20	1	30	>45	940	236 - 943	-7.6	0.061	16.9
toluene	≤0.20	1	8	12	2294	548 - 2190	1.6	0.052	10.9
xylene (<u>o</u> -, <u>m</u> -, <u>p</u> -)	≤0.20	2	23	35	870	218 - 870	-1.2	0.060	12.2
styrene	≤1.00	1	14	21	1710	426 - 1710	-7.9	0.05 f	16.7

^a Minimum recommended flow is 0.01 L/min.^b V_{min} = minimum sample volume @ OSHA TWA;^c V_{max} = maximum sample volume @ OSHA TWA^d Corrected value, calculated from data in Reference 5.

Anexo 6 – Método NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 2016: Formaldehyde.

FORMALDEHYDE		2016
H ₂ C=O	MW: 30.03	CAS: 50-00-0
		RTECS: LP8925000
METHOD: 2016, Issue 2		EVALUATION: FULL
		Issue 1: 15 January 1998 Issue 2: 15 March 2003
OSHA: 0.75 ppm; 2 ppm STEL NIOSH: 0.016 ppm; C 0.1 ppm; carcinogen ACGIH: C 0.3 ppm; suspected human carcinogen (1 ppm = 1.23 mg/m ³ @ NTP)		PROPERTIES: Gas; BP -19.5 °C; specific gravity 1.067 (air = 1); explosive range 7 to 73% (v/v) in air
NAMES & SYNONYMS: methanal; formalin (aqueous 30 to 60% w/v formaldehyde); methylene oxide		
SAMPLING		MEASUREMENT
SAMPLER: CARTRIDGE (Cartridge containing silica gel coated with 2,4-dinitrophenylhydrazine)		TECHNIQUE: HPLC, UV DETECTION
FLOW RATE: 0.03 to 1.5 L/min		ANALYTE: 2,4-dinitrophenylhydrazone of formaldehyde
VOL-MIN: 1 L @ 0.25 mg/m ³ -MAX: 15 L @ 2.5 mg/m ³		EXTRACTION: Elution with 10 mL of carbonyl-free acetonitrile
SHIPMENT: Place caps onto cartridge. Ship on ice.		INJECTION VOLUME: 20 µL
SAMPLE STABILITY: 34 days @ 5 °C [1]		MOBILE PHASE: 45% acetonitrile/55% water (v/v), 1.3 mL/min
BLANKS: 2 to 10 field blanks per set 6 to 10 media blanks per set		COLUMN: 3.9 x 150-mm, stainless steel, packed with 5-µm C-18, Symmetry™ or equivalent
ACCURACY		DETECTOR: UV @ 360 nm
RANGE STUDIED: 0.025 to 2.45 mg/m ³ (22-L samples) [2]		CALIBRATION: Samplers fortified with standard solutions of formaldehyde in water
BIAS: +4.4%		RANGE: 0.23 to 37 µg per sample [1,2]
OVERALL PRECISION (S_r): 0.057 [1,2]		ESTIMATED LOD: 0.07 µg/sample [1]
ACCURACY: ±19.0%		PRECISION (S_r): 0.032 @ 1.0 to 20.0 µg/sample [1]
APPLICABILITY: The working range is 0.015 to 2.5 mg/m ³ (0.012 to 2.0 ppm) for a 15-L sample. This method can be used for the determination of formaldehyde for both STEL and TWA exposures [1,2].		
INTERFERENCES: Ozone has been observed to consume the 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH) reagent and to degrade the formaldehyde derivative [3]. Ketones and other aldehydes can react with 2,4-DNPH; the derivatives produced, however, are separated chromatographically from the formaldehyde derivative.		
OTHER METHODS: NIOSH methods 2541 [4] and 3500 [5] and OSHA method 52 [6] are other methods for determination of formaldehyde in air. NIOSH method 5700 employs 2,4-DNPH and HPLC for determination of formaldehyde on textile or wood dust [7]. A journal method employs the same procedure for formaldehyde in automobile exhaust [8].		

REAGENTS:

1. Formaldehyde stock solution,* aqueous, standardized, 1 mg/mL (see APPENDIX A). Alternatively, standardized formaldehyde solution, aqueous, 4 mg/mL, is available commercially from Hach Co., Loveland, CO.
2. Acetonitrile,* distilled in glass, low carbonyl content.**
3. Water, deionized and distilled.
4. Sulfuric acid, 0.02 N (pH standardization procedure) or 0.1 N (colorimetric procedure).
5. Sodium hydroxide, 0.01 N.
6. Sodium sulfite (Na_2SO_3), 1.13 M (pH procedure) or 0.1 M (colorimetric procedure). Prepare fresh immediately before use.
7. Thymolphthalein indicator solution, 0.04% (w/v) in 50:50 ethanol:water.

* See SPECIAL PRECAUTIONS.

** Carbonyl content of acetonitrile can be determined by passing 10 mL of the solvent through a cartridge of DNPH-coated silica gel and analyzing by HPLC. Formaldehyde content should be below the LOD.

EQUIPMENT:

1. Sampler: Plastic holder containing 0.35 g of 150-250 μm (60-100 mesh) silica gel coated with 1.0 mg of acidified 2,4-dinitrophenylhydrazine. Pressure drop across sampler should be less than 28 inches of water (7 kPa) at 1.5 L/min. Samplers are commercially available, [Supelco S10 LpDNPH cartridge, cat. No. 2-1014; Waters Corp. Sep-Pak XPOsure Aldehyde Sampler, part No. WATO47205; see APPENDIX B for SKC sampler].
2. Personal sampling pump, 0.03 to 1.5 L/min with flexible connecting tubing.
3. Vials, 4-mL, glass with PTFE-lined rubber septa caps.
4. Vials, 20-mL, glass.
NOTE: Do not use vials with "polycone" liners (sources of high formaldehyde blanks) [5,9].
5. Liquid chromatograph with UV detector, recorder, integrator, and column (page 2016-1).
6. Syringes, 100- μL , 500- μL and 10-mL.
7. Volumetric flasks, 10-mL, 25-mL, and 1-L.
8. Burets, 50-mL.
9. pH meter.
10. Magnetic stirrer.
11. Beaker, 50-mL.
12. Flask, Erlenmeyer, 250-mL.
13. Ozone scrubber (Waters Corp.)(optional).
14. Aluminum foil or black electrical tape (optional).

SPECIAL PRECAUTIONS: Formaldehyde is a suspect carcinogen and a proven human sensitizer; it should be handled in a fume hood [10-12]. Acetonitrile is toxic and is a fire hazard (flash point = 12.8 °C).

SAMPLING:

1. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler (and ozone scrubber, if used) in line.
2. Open sampler packet and remove end caps.
3. Attach sampler to the sampling pump with flexible tubing. The Waters sampler is bi-directional and can be connected at either end.
NOTE: The sampler does not have a backup section for determination of breakthrough. If high concentrations of aldehydes and ketones are anticipated, connect two samplers in series. The back pressure of the sampling train will be higher and a lower flow rate may be required.
4. Sample 1 to 15 L of air at 0.03 to 1.5 L/min.
NOTE: To protect from intense light, such as bright sunlight, the sampler can be wrapped with aluminum foil or electrical tape.
5. Place end caps onto the sampler and seal sampler in an envelope. Protect samples from heat.
6. Ship samples on ice (0 °C).

SAMPLE PREPARATION:

NOTE: Check acetonitrile for formaldehyde content by elution and analysis of a blank cartridge; the formaldehyde level should be below the detection limit. Since background levels of formaldehyde on the samplers may change during storage, compare samples with sampler blanks from the same lot. Samples and blanks should be stored under the same conditions.

7. Elute the formaldehyde derivative from the cartridge samplers with 10-mL quantities of acetonitrile.
 - a. Collect effluent from each sampler in a 10-mL volumetric flask.
 - b. Add acetonitrile to the mark for each sampler.

NOTE: The silica gel bed of the sampler will retain approximately 0.5 mL of the original 10 mL.

CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

8. Calibrate daily with at least six media working standards over the range of interest.
 - a. Prepare a series of aqueous formaldehyde solutions for the fortification of samplers. Suggested concentrations include 1, 4, and 20 µg/mL. See APPENDIX A for standardization of formaldehyde in water.
 - b. Connect the outlet of a cartridge sampler to a personal sampling pump with flexible tubing. Turn on the pump and make sure there is a flow of air through the sampler.
 - c. Load a 100-µL syringe with a selected volume of aqueous formaldehyde solution in the range of 30 to 90 µL. Suggested quantities of formaldehyde for spiking include 0.04, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.80, 1.0 and 2.0 µg/sample.
 - d. Place the tip of the syringe needle against the frit in the inlet of the sampler and eject the formaldehyde solution.
 - e. Prepare the media working standard (steps 7.a and 7.b).
 - f. Prepare additional working standards (steps 8.b. through 8.e.).
 - g. Transfer 3-mL aliquots of working standards to 4-mL vials, and analyze (steps 10, 12 and 13).
 - h. Prepare calibration graph, peak area or height vs. µg formaldehyde per sample.
9. Fortify and analyze three quality control spikes and three analyst spikes to ensure that calibration graph is in control.

MEASUREMENT:

10. Set liquid chromatograph according to manufacturer's recommendations and to conditions given on page 2016-1.
11. Transfer a 3-mL aliquot of the sample solution from step 7 to a 4-mL vial. Cap the vial.
12. Inject a 20-µL sample aliquot.
13. Measure peak area or peak height.

NOTE 1: If sample peak is larger than the largest standard peak, dilute an aliquot of the remaining sample solution, reanalyze, and apply appropriate dilution factor in the calculations.

NOTE 2: To ensure validity of the samples, identify those samples which contain more than 37 µg of formaldehyde. The capacity of the samplers before breakthrough may have been exceeded for these samples, and collection of smaller samples would be warranted.

NOTE 3: The size of the 2,4-DNPH peak should be about 2.7 times the size of the formaldehyde-DNPH peak or larger. Otherwise, breakthrough from the sampler may have occurred.

CALCULATIONS:

14. Determine mass, µg, of formaldehyde, W, found in the sample and the average media blank, B, from the calibration graph.

15. Calculate concentration, C , of formaldehyde in the air volume sampled, V (L).

$$C = \frac{W - B}{V}, \text{mg} / \text{m}^3$$

NOTE: $\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$

EVALUATION OF METHOD:

Issue 1

This method was originally evaluated with Waters Sep-Pak XPoSure Aldehyde samplers using data produced at NIOSH and at Waters Corporation [2]. Test atmospheres of formaldehyde were generated at Waters Corp. [2]. Overall measurement precision, $\hat{S}_{\text{rel}}$, was 0.057 based on NIOSH guidelines [13] including a 5% pump error factor and estimated bias of +4.4%. Sample storage stability was evaluated over the range of 0.5 to 55 μg formaldehyde/sample. Losses for Waters samplers were 4 to 8% when stored up to 14 days at 4 °C. An additional study with Waters samplers found that losses were 5% or less after 4 days of storage at ambient temperature. All calibration standards used at Waters Corporation were liquid standard solutions of formaldehyde-DNPH derivative in acetonitrile [2,14].

The capacity of DNPH-coated silica gel samplers was found to vary with relative humidity (RH) in addition to concentration of formaldehyde. At a formaldehyde concentration of 1.2 mg/m^3 and at 5% breakthrough, the Waters sampler had a capacity at <10% RH of 55 μg , and at >85% RH a capacity of 77 μg . At 2.4 mg/m^3 and <10% RH, the 5% breakthrough capacity of the Waters sampler was 59 μg of formaldehyde. At 2.6 mg/m^3 and >85% RH, the 5% breakthrough capacity was 106 μg . Thus, the smallest capacity at 5% breakthrough was 55 μg of formaldehyde; the upper limit of the range of the method is two thirds of 55 μg , or 37 μg . Capacity information for the Waters sampler is applicable to the Supelco sampler because (a) the Waters and Supelco samplers contain 0.9 and 1 mg of DNPH, respectively, and (b) each sampler contains 350 mg of silica gel.

Issue 2

In subsequent work on this method, additional formaldehyde samplers were evaluated, Supelco S10 LpDNPH cartridges and SKC, Inc. Aldehyde samplers (DNPH-coated silica gel tubes No.226-119) [1]. The sorbent beds of Supelco and Waters cartridges and front sections of SKC samplers were treated with acetonitrile. Formaldehyde was not detected on any blank sampler (LOD = 0.01 $\mu\text{g/mL}$). The SKC sampler for aldehydes may be used for formaldehyde with modifications of this method (See APPENDIX B). However, evaluation of the SKC sampler at NIOSH has been limited.

Supelco samplers were fortified with known quantities of free formaldehyde in water, and calibration was performed with media standards prepared from Supelco samplers fortified with known quantities of free formaldehyde in water; average recoveries ranged from 96.3% to 99.3% for five levels at 1.00 to 20 μg of formaldehyde per sampler (pooled $S_r = 0.0316$; $n = 6$ at each level).

In a storage study, six Supelco samplers were fortified with 4- μg quantities of free formaldehyde in water. Samplers were stored 34 days at 5 °C in the dark; the average recovery based on media standards was 99% ($S_r = 0.014$).

Eight media standards were prepared by fortification of Supelco samplers with solutions of free formaldehyde in water. The solutions were drawn through the DNPH-coated silica gel beds with an air pump. The resulting LOD and LOQ were 0.07 and 0.23 $\mu\text{g/sample}$, respectively, according to a least squares calibration graph.

Standard solutions of formaldehyde-DNPH at 0.10 and 1.0 $\mu\text{g/mL}$ (formaldehyde equivalent concentrations) were stored in airtight vials at 5 °C in the dark and were analyzed periodically. The standard solutions were found to be stable (with no detectable loss) for at least 10 weeks and at least 12 weeks, respectively.

It is suggested that the reader see the Backup Data Report for a comparison of media standards with liquid standards for calibration [1]. Air sampling for a 24-hour period can be performed with a single Supelco sampler. Thus, background levels at <1 ppb can be determined.

REFERENCES:

- [1] Tucker SP [2002]. Formaldehyde Backup Data Report for method 2016 Issue 2, National Institute for Occupational Safety and Health, DART, Cincinnati, OH. Unpublished report for evaluation of method mainly with Supelco S10 LpDNPH samplers.
- [2] Iraneta PC, Collamati RA., Costello DN, Crowley RJ, Fernandes RL, Hopkins MR, Knowles CE, Martin DM [1995]. A Validation Study of a New Active Sampler for the Analysis of Formaldehyde in Workplace and Indoor Air, Waters Corp., Milford, MA. Unpublished report for evaluation of method with Waters Sep-Pak XPOSure Aldehyde samplers.
- [3] Kleindienst TE, Corse EW, Blanchard FT [1998]. Evaluation of the Performance of DNPH-coated Silica Gel and C₁₈ Cartridges in the Measurement of Formaldehyde in the Presence and Absence of Ozone. *Environmental Science & Technology* 32(1):124-130.
- [4] NIOSH [1994]. Formaldehyde by GC: Method 2541. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- [5] NIOSH [1994]. Formaldehyde by VIS: Method 3500. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- [6] OSHA [1985]. Formaldehyde: Method 52. In: OSHA Analytical Methods Manual, Salt Lake City, UT: U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, OSHA Analytical Laboratory.
- [7] NIOSH [1994]. Formaldehyde on Dust (Textile or Wood): Method 5700. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- [8] Lipari F, Swarin S [1982]. Determination of Formaldehyde and Other Aldehydes in Automobile Exhaust with an Improved 2,4-Dinitrophenylhydrazine Method. *J. Chromatogr.* 247: 297-306.
- [9] Dollberg DD, Smith DL, Tharr DG [1986]. Lab/Field Coordination. *Appl. Ind. Hyg.* 1:F44-F46.
- [10] ACGIH [2001]. 2001 Threshold Limit Values[®] and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [11] ACGIH [1991]. Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Sixth ed. Formaldehyde, pp. 664-688. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [12] Code of Federal Regulations [1999]. Title 29, Part 1910.1048, 29 CFR Chapter XVII (7-1-99 Edition). Formaldehyde, pp. 354-378. Occupational Safety and Health Administration, Labor. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- [13] Kennedy ER, Fischbach TJ, Song R, Eller PE, Shulman SA [1995]. Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 95-117.
- [14] Waters Corp. [1994]. Waters Sep-Pak XPOSure Aldehyde Sampler Care and Use Manual, Waters Corp., Milford, MA, p. 31.
- [15] Walker JF [1964]. Formaldehyde, Third Ed., Chapter 18, p. 486. American Chemical Society Monograph Series, Reinhold Publishing Corporation, New York.

METHOD REVISED BY:

Samuel P. Tucker, Ph.D., NIOSH/DART.

Method originally written by P Iraneta, Waters Corp., MJ Seymour and ER Kennedy, Ph.D., NIOSH/DART.

APPENDIX A - PREPARATION AND STANDARDIZATION OF FORMALDEHYDE STOCK SOLUTION (ca. 1 mg/mL)

Preparation. Dilute 2.7 mL 37% aqueous formalin solution to 1 L with distilled, deionized water. This solution is stable for at least three months when stored at room temperature.

Standardization by pH Titration.

Place 5.0 mL of freshly prepared 1.13 M sodium sulfite solution in a 50-mL beaker and stir magnetically. Adjust pH to between 8.5 and 10 with base or acid. Record the pH. Add 3.0 to 12.0 mL formaldehyde stock solution. The pH should now be greater than 11. Titrate the solution back to its original pH with 0.02 N sulfuric acid (1 mL acid = 0.600 mg formaldehyde; about 17 mL acid needed). If the endpoint pH is overrun, back-titrate to the endpoint with 0.01 N sodium hydroxide. Calculate the concentration, C_s (mg/mL), of the formaldehyde stock solution:

$$C_s = \frac{30.0(N_a V_a - N_b V_b)}{V_s}, \text{mg / mL}$$

Where: 30.0 = 30.0 g/equivalent of formaldehyde
 N_a = normality of sulfuric acid (0.02 N)
 V_a = volume of sulfuric acid (mL) used for titration
 N_b = normality of NaOH (0.01 N)
 V_b = volume of NaOH (mL) used for back-titration
 V_s = volume of formaldehyde stock solution (mL)

Standardization by Colorimetric Titration.

Place 50 mL of freshly prepared 0.1 M sodium sulfite and 3 drops of 0.04% thymophthalein indicator (w/v) in 50:50 ethanol:water into a 250-mL Erlenmeyer flask. Titrate the contents of the flask to a colorless endpoint with 0.1 N sulfuric acid (usually 1 or 2 drops is sufficient). The indicator is blue at pH values above the endpoint and is colorless at pH values below the endpoint. Transfer 3.0 to 12.0 mL of the formaldehyde solution to the same flask and titrate the mixture with 0.1 N sulfuric acid to a colorless endpoint. Calculate the concentration, C (mg/mL), of formaldehyde in solution.

$$C = \frac{30.0(N_a V_a)}{V_i}, \text{mg / mL}$$

Where: 30.0 = g/equivalent of formaldehyde
 N_a = normality of sulfuric acid (0.1 N)
 V_a = volume of sulfuric acid used for titration (mL)
 V_i = volume of formaldehyde stock solution (mL)

NOTE: Sulfuric acid (0.1 N) is substituted for 0.1 N hydrochloric acid, which is specified in OSHA Method 52, in order to prevent possible formation of bis(chloromethyl)ether, a potent carcinogen, by reaction of formaldehyde with hydrochloric acid [12].

This colorimetric titration was adapted from OSHA Method 52 [5], which was based on the procedure of Walker [15].

APPENDIX B - USE OF SKC SAMPLER FOR FORMALDEHYDE

The SKC, Inc. sampler for aldehydes (DNPH-coated silica gel tube, catalogue No. 226-119) may be used for sampling formaldehyde with modifications of this method. These modifications include the following:

- (a) The maximum recommended air volume should be less than 15 L at an air concentration of 2.5 mg/m³ (indicated on page 2016-1), because the upper limit of the method for the SKC sampler is probably less than 37 µg.
- (b) The procedure for recovery of analyte from the sorbent would be modified, i.e., placement of the sorbent sections in vials, addition of solvent, and possible use of an ultrasonic bath.
- (c) A volume of solvent much less than 10 mL can be used for recovery. However, the minimum volume should be tested for adequate recovery.
- (d) Consequences of using a much smaller volume of solvent for recovery include a lower LOD and LOQ, the need for a different range of calibration standards, and the need for a different range of fortification levels (step 8).
- (e) The maximum volume of solution for fortification of the front sorbent bed must be less than 90 µL and should be determined (step 8).

Anexo 7 – Método NIOSH 5506.

POLYNUCLEAR AROMATIC HYDROCARBONS by HPLC

5506

Formulae: Table 1

MW: Table 1

CAS: Table 2

RTECS: Table 2

METHOD: 5506, Issue 3		EVALUATION: PARTIAL		Issue 1: 15 May 1985 Issue 3: 15 January 1998	
OSHA : Table 3 NIOSH: Table 3 ACGIH: Table 3			PROPERTIES: Table 1		
Compounds	acenaphthene acenaphthylene anthracene benz[a]anthracene benzo[b]fluoranthene benzo[k]fluoranthene	benzo[ghi]perylene benzo[a]pyrene benzo[e]pyrene chrysene dibenz[a,h]anthracene fluoranthene		fluorene indeno[1,2,3-cd]pyrene naphthalene phenanthrene pyrene	
NAMES & SYNONYMS: Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs; also see Table 2.					
SAMPLING			MEASUREMENT		
SAMPLER: FILTER + SORBENT TUBE (37-mm, 2-µm, PTFE + washed XAD-2, 100 mg/50 mg)			TECHNIQUE:	HPLC, FLUORESCENCE/UV DETECTION	
FLOW RATE:	2 L/min		ANALYTE:	compounds listed above	
VOL-MIN: -MAX:	200 L 1000 L		EXTRACTION:	5 mL acetonitrile; ultrasonic bath, 30 to 60 minutes	
SHIPMENT:	transfer filters to culture tubes; wrap sorbent and culture tubes in Al foil; ship @ 0 °C		INJECTION VOLUME:	10 to 50 µL	
SAMPLE STABILITY:	unknown; protect from heat and UV light		MOBILE PHASE:	acetonitrile/water gradient @ ambient temperature, 1 mL/min	
FIELD BLANKS:	3 to 10 field blanks per set		COLUMN:	250 x 4.6-mm, reversed-phase, 5-µm C ₁₈	
MEDIA BLANKS:	6 to 10 media blanks per set		DETECTOR:	UV @ 254 nm; fluorescence @ 340 nm (excitation), 425 nm (emission)	
ACCURACY			CALIBRATION:	standards in acetonitrile	
RANGE STUDIED:	not determined		RANGE:	see EVALUATION OF METHOD	
BIAS:	not determined		ESTIMATED LOD:	see EVALUATION OF METHOD	
OVERALL PRECISION (S _r):	not determined		PRECISION (S _r):	see EVALUATION OF METHOD	
ACCURACY:	not determined				
APPLICABILITY: This method is applicable to samples that can be extracted with acetonitrile. This method is not applicable to samples that require a different extraction solvent or contain large amounts of highly adsorptive particulate matter, e.g., fly ash or diesel soot; also, this method is not applicable to asphalt fume samples.					
INTERFERENCES: Any compound that elutes at the same HPLC retention time may interfere. Heat, ozone, NO ₂ , or UV light may cause sample degradation.					
OTHER METHODS: This revises P&CAM 206 and 251 [1]. Method 5515 uses the same sampling technique, with gas chromatographic measurement [2]. Method 5800 uses the same sampling technique, and a flow-injection method to determine total polycyclic aromatic compounds at two different sets of fluorescent wavelengths [3].					

REAGENTS:

1. Water, distilled, deionized, degassed.
2. Acetonitrile, HPLC grade, degassed.
3. PAH test mixture,* a liquid standard containing the PAHs except benzo[e]pyrene (EPA 610 Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, Supelco, Cat. No. 4-8743; or equivalent).
4. Benzo[e]pyrene,* solid (Supelco, Cat. No. 44-2475; or equivalent).

* See SPECIAL PRECAUTIONS

EQUIPMENT:

1. Sampler:
 - a. Filter. 37-mm, 2- μ m pore size, PTFE membrane filter laminated to PTFE, (Zeffluor, Pall Gelman Sciences, Cat. No. P5PJ037; SKC Inc., Cat. No. 225-17-07; or equivalent filter), cellulose spacer ring, 37-mm OD, 32-mm ID, (SKC Inc., Cat. No. 225-23; or equivalent) in a 37-mm cassette filter holder.
NOTE: If sampling is to be done in bright sunlight, use opaque or foil-wrapped cassettes to prevent sample degradation.
 - b. Sorbent tube, washed XAD-2 resin (front = 100 mg; back = 50 mg) (ORBO 43, Supelco, Cat. No. 2-0258; or equivalent), connected to filter with minimum length of PVC tubing. Plastic caps are required after sampling.
NOTE: If pressure drop is excessive or pump fails, use a larger diameter sorbent tube with XAD-2 resin (ORBO 42 Large, Supelco, Cat. No. 2-0264U; or equivalent).
2. Personal sampling pump capable of operating for 8 h at 2 L/min, with flexible connecting tubing.
3. Aluminum foil.
4. Refrigerant, bagged.
5. Culture tubes, PTFE-lined screw cap, 13-mm x 100-mm.
6. Forceps.
7. Syringe filters, 0.45- μ m, 25-mm, PTFE (Acrodisc-CR, Pall Gelman Sciences, Cat. No. 4219; or equivalent).
8. Pipet, 5-mL.
9. Syringe or micropipets, 1- to 100- μ L.
10. Ultrasonic bath.
11. HPLC, with gradient capability, fluorescence (excitation @ 340 nm, emission @ 425 nm) and UV (254 nm) detectors in series, electronic integrator, and a 250 x 4.6-mm C_{18} column (Vydac 201TP, The Separations Group, Hesperia, CA, Cat. No. 201TP54; or equivalent).
12. Volumetric flasks, 10- and 100-mL.
13. Recommendation: lighting in laboratory should be incandescent or UV-shielded fluorescent.

SPECIAL PRECAUTIONS: Treat all polynuclear aromatic hydrocarbons as carcinogens. Samples and unused standards are considered toxic waste. Dispose of in an appropriate manner. Counter tops and equipment should be checked regularly with a "black light" for fluorescence as an indicator of contamination by PAHs.

SAMPLING:

1. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler in line.
2. Take personal samples at 2 L/min for a total sample size of 200 to 1000 L.
3. Immediately after sampling, transfer the filter carefully with forceps to a culture tube. Hold filter at edge to avoid disturbing the collected sample. Cap the tube and wrap in aluminum foil.
NOTE: This step is necessary to avoid loss of analytes by sublimation.
4. Cap the sorbent tube and wrap in aluminum foil.
5. Ship to laboratory in insulated container with bagged refrigerant.

SAMPLE PREPARATION:

NOTE: UV light may degrade PAHs; therefore, recommend using yellow, UV-absorbing shields for fluorescent lights or use incandescent lighting.

6. Refrigerate samples upon receipt at laboratory.
7. Extract PAH from filters.
 - a. Add 5.0 mL of acetonitrile to each culture tube containing a filter. Similarly, add 5.0 mL of acetonitrile to each culture tube containing the media and reagent blanks. Cap the tubes.
 - b. Place capped tubes in an ultrasonic bath for 30 to 60 min.
8. Desorb PAH from sorbent.
 - a. Score each sorbent tube with a file in front of the front (larger) sorbent section. Break tube at score line.
 - b. Transfer front glass wool plug and front sorbent section to a culture tube. Transfer back sorbent section, and the middle glass wool plug to a second culture tube.
 - c. Add 5.0 mL acetonitrile to each culture tube. Cap the tubes.
 - d. Place capped tubes in an ultrasonic bath for 30 to 60 min.
9. Filter all sample extracts through an 0.45- μ m syringe filter.

CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

10. Calibrate daily with at least six working standards.
NOTE: If a benzo[e]pyrene standard is needed, weigh desired amount and add to a known volume of the PAH test mixture.
 - a. Dilute aliquots of the PAH test mixture (containing benzo[e]pyrene if needed) with acetonitrile in 10-mL volumetric flasks. The concentration range should cover most of the PAH concentrations in the samples.
 - b. During analysis, intersperse working standards with samples and blanks.
 - c. Prepare calibration graphs (peak area vs. μ g of each PAH per sample).
11. Recovery and desorption efficiency.
 - a. Determine recovery (R) from filters and desorption efficiency (DE) from sorbent tubes at least once for each lot of filters and sorbent tubes used in the range of interest.
 - (1) Filters. Using a microliter syringe or a micropipette, spike four filters at each of five concentration levels with a mixture of the analytes. Allow the filters to dry in the dark overnight. Analyze the filters (steps 7, 9, and 13 through 15). Prepare graphs of R vs. amounts found.
 - (2) Sorbent tubes. Transfer an unused front sorbent section to a culture tube. Prepare a total of 24 culture tubes in order to measure DE at five concentration levels plus blank in quadruplicate. Using a microliter syringe or micropipette, add calibration stock solution directly to sorbent. Cap culture tubes and allow to stand overnight. Desorb and analyze (steps 8, 9, and 13 through 15). Prepare graphs of DE vs. amounts found.
 - b. Check R and DE at two levels for each sample set, in duplicate. Repeat determination of R or DE graphs if checks do not agree to within $\pm 5\%$ of R or DE graph.
12. Analyze at least three field blanks for each sample medium.

MEASUREMENT:

13. Set HPLC according to manufacturer's instructions, conditions on page 5506 and steps 14 and 15.
14. Inject sample aliquot (10 to 50 μL). Start mobile phase gradient:
 - a. Linear gradient from 60% acetonitrile/40% deionized water to 100% acetonitrile at 1 mL/min over 20 min.
 - b. Hold at 100% acetonitrile for 20 min.
 - c. Linear gradient to initial condition, 5 min.
15. Measure peak areas for each analyte using the appropriate detector as specified in Table 1.

NOTE 1: The order of elution for the PAHs appears in Table 4.

NOTE 2: If peak area is above the calibration range, dilute with acetonitrile, reanalyze, and apply dilution factor in calculations.

NOTE 3: If sample has many interferences, additional sample cleanup may be necessary.

CALCULATIONS:

16. Read the mass, μg (corrected for R or DE) of each analyte found on the filter (W) and front sorbent (W_f) and back sorbent (W_b) sections, and on the average media blank filter (B) and front sorbent (B_f) and back sorbent (B_b) sections from the calibration graphs.
17. Calculate concentration, C (mg/m^3), as the sum of the particulate concentration and the vapor concentration in the actual air volume sampled, V (L).

$$C = \frac{(W + W_f + W_b - B - B_f - B_b)}{V}, \text{ mg}/\text{m}^3$$

NOTE 1: $\mu\text{g}/\text{mL} = \text{mg}/\text{m}^3$

NOTE 2: W_f and W_b include analyte originally collected on the filter as particulate, then volatilized during sampling. This can be a significant fraction for many PAHs (e.g., anthracene, fluoranthene, fluorene, naphthalene, phenanthrene).

EVALUATION OF METHOD:

The UV detector is used to analyze for some PAHs (see Table 1), and the remaining PAHs are analyzed by a fluorescent detector, which gave better sensitivity for some PAHs. The ranges of the limit of detection (LOD) and the limit of quantitation (LOQ) values for the 17 PAHs are reported in Table 4 [4]. The LOD and LOQ values varied because of differences in the detectors used and the concentrations of the standards. Therefore, it is important that the LOD and LOQ values be determined for each set of samples. The LOQs are the lower end of the analytical ranges. The upper end of the analytical ranges were not determined.

This method was evaluated by means of a user check [5]. An independent laboratory prepared spiked filters and sorbent tubes for a recovery and desorption efficiency study (see Table 4). For the filters, except naphthalene, the recovery results were greater than or equal to 75%. Since naphthalene is fairly volatile under ambient conditions, this may account for the poor recovery results. For the sorbent tubes, only four of the 17 analytes had desorption efficiencies that were greater than or equal to 75%. During the user check, the sorbent tubes were extracted by adding 5 mL acetonitrile and were allowed to stand for 30 minutes with occasional swirling. In more recent quality control experiments, the desorption efficiencies were often better for some analytes (see Table 4) [4]. These results were achieved using an ultrasonic bath for 30 to 60 minutes. The results indicated the importance of preparing media spikes for recovery and desorption efficiency studies for each set of samples; moreover, the results reinforce this need when using new lots of media.

REFERENCES:

- [1] NIOSH [1977]. Total particulate aromatic hydrocarbons: Method P&CAM 206. NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd ed., Vol. 1. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. 77-157-A.
- [2] NIOSH [1994]. Polynuclear aromatic hydrocarbons by GC: Method 5515. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- [3] NIOSH [1998]. Polycyclic aromatic compounds: Method 5800. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed., 2nd Supplement. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 98-119.
- [4] NIOSH unpublished data.
- [5] User Check Report for Method 5506, Analytical Report for NIOSH Sequence 4170 (NIOSH, DPSE, MRSB, unpublished, March 16, 1984).
- [6] Handbook of Chemistry and Physics, 78th ed. [1997], Boca Raton, FL: CRC Press.
- [7] IARC [1983]. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: polynuclear aromatic compounds, Part I, chemical, environmental and experimental data. Vol. 32. Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.
- [8] Lenga RE, Votoupal KL, eds. [1993]. The Sigma-Aldrich library of regulatory and safety data, Volume 1. Sigma-Aldrich Company.
- [9] NIOSH [1998]. Registry of toxic effects of chemical substances data base. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health. Unpublished data base.
- [10] NIOSH [1997]. NIOSH pocket guide to chemical hazards. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-140.
- [11] ACGIH [1997]. 1997 TLVs® and BEIs®, Threshold limit values for chemical substances and physical agents, Biological exposure Indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
- [12] NIOSH [1992]. NIOSH recommendations for occupational safety and health, compendium of policy documents and statements. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 92-100.

METHOD REVISED BY:

L. D. Olsen, B. R. Belinky, C. E. Neumeister, L. B. Jaycox, and D. D. Dollberg, NIOSH/DPSE.

TABLE 1. FORMULAS AND PHYSICAL PROPERTIES.

COMPOUND (by M.W.)	FORMULA	WEIGHT	DETECTOR	MELTING POINT (°C)	BOILING POINT (°C)	REFERENCE
1. NAPHTHALENE	C ₁₀ H ₈	128.17	UV	80.2	218	[6]
2. ACENAPHTHYLENE	C ₁₂ H ₈	152.20	UV	92.5	280	[6]
3. ACENAPHTHENE	C ₁₂ H ₁₀	154.21	UV	93.4	279	[6]
4. FLUORENE	C ₁₃ H ₁₀	166.22	UV	115	295	[6]
5. ANTHRACENE	C ₁₄ H ₁₀	178.23	UV	215	340	[6]
6. PHENANTHRENE	C ₁₄ H ₁₀	178.23	UV	99.2	340	[6]
7. FLUORANTHENE	C ₁₆ H ₁₀	202.26	FL	108	384	[6]
8. PYRENE	C ₁₆ H ₁₀	202.26	FL	151	404	[6]
9. BENZ[a]ANTHRACENE	C ₁₈ H ₁₂	228.29	FL	167	435	[7]
10. CHRYSENE	C ₁₈ H ₁₂	228.29	UV	258	448	[6]
11. BENZO[b]FLUORANTHENE	C ₂₀ H ₁₂	252.32	FL	168	--	[7]
12. BENZO[k]FLUORANTHENE	C ₂₀ H ₁₂	252.32	FL	217	480	[6]
13. BENZO[a]PYRENE	C ₂₀ H ₁₂	252.32	FL	177	495	[6, 8]
14. BENZO[e]PYRENE	C ₂₀ H ₁₂	252.32	FL	178	311	[6]
15. BENZO[ghi]PERYLENE	C ₂₂ H ₁₂	276.34	FL	278	--	[7]
16. INDENO[1,2,3-cd]PYRENE	C ₂₂ H ₁₂	276.34	FL	164	--	[7]
17. DIBENZ[a,h]ANTHRACENE	C ₂₂ H ₁₄	278.35	FL	270	524	[7, 8]

TABLE 2. SYNONYMS, CAS AND RTECS NUMBERS.

COMPOUND (alphabetically)	SYNONYMS, CAS and RTECS Numbers ^a
1. ACENAPHTHENE	CAS # 83-32-9; RTECS # AB1000000
2. ACENAPHTHYLENE	acenaphthalene; CAS # 208-96-8; RTECS # AB1254000
3. ANTHRACENE	CAS # 120-12-7; RTECS # CA9350000
4. BENZ[a]ANTHRACENE	1,2-benzanthracene; benzo[b]phenanthrene; 2,3-benzophenanthrene; tetraphene; CAS # 56-55-3; RTECS # CV9275000
5. BENZO[b]FLUORANTHENE	3,4-benzofluoranthene; 2,3-benzofluoranthene; benz[e]acephenanthrylene; B(b)F; CAS # 205-99-2; RTECS # CU1400000
6. BENZO[k]FLUORANTHENE	11,12-benzofluoranthene; CAS # 207-08-9; RTECS # DF6350000
7. BENZO[ghi]PERYLENE	1,12-benzoperylene; CAS # 191-24-2; RTECS # DI6200500
8. BENZO[a]PYRENE	3,4-benzopyrene; 6,7-benzopyrene; B(a)P; BP; CAS # 50-32-8; RTECS # DJ3675000
9. BENZO[e]PYRENE	1,2-benzopyrene; 4,5-benzopyrene; B(e)P; CAS # 192-97-2; RTECS # DJ4200000
10. CHRYSENE	1,2-benzophenanthrene; benzo[a]phenanthrene; CAS # 218-01-9; RTECS # GC0700000
11. DIBENZ[a,h]ANTHRACENE	1,2,5,6-dibenzanthracene; CAS # 53-70-3; RTECS # HN2625000
12. FLUORANTHENE	benzo[k]fluorene; CAS # 208-44-0; RTECS # LL4025000
13. FLUORENE	CAS # 86-73-7; RTECS # LL5670000
14. INDENO[1,2,3-cd]PYRENE	2,3-phenylenepyrene; CAS # 193-39-5; RTECS # NK9300000
15. NAPHTHALENE	naphthene; CAS # 91-20-3; RTECS # QJ0525000
16. PHENANTHRENE	CAS # 85-01-8; RTECS # SF7175000
17. PYRENE	benzo[def]phenanthrene; CAS # 129-00-0; RTECS # UR2450000

^a Data from [6, 8, and 9].TABLE 3. EXPOSURE LIMITS^a

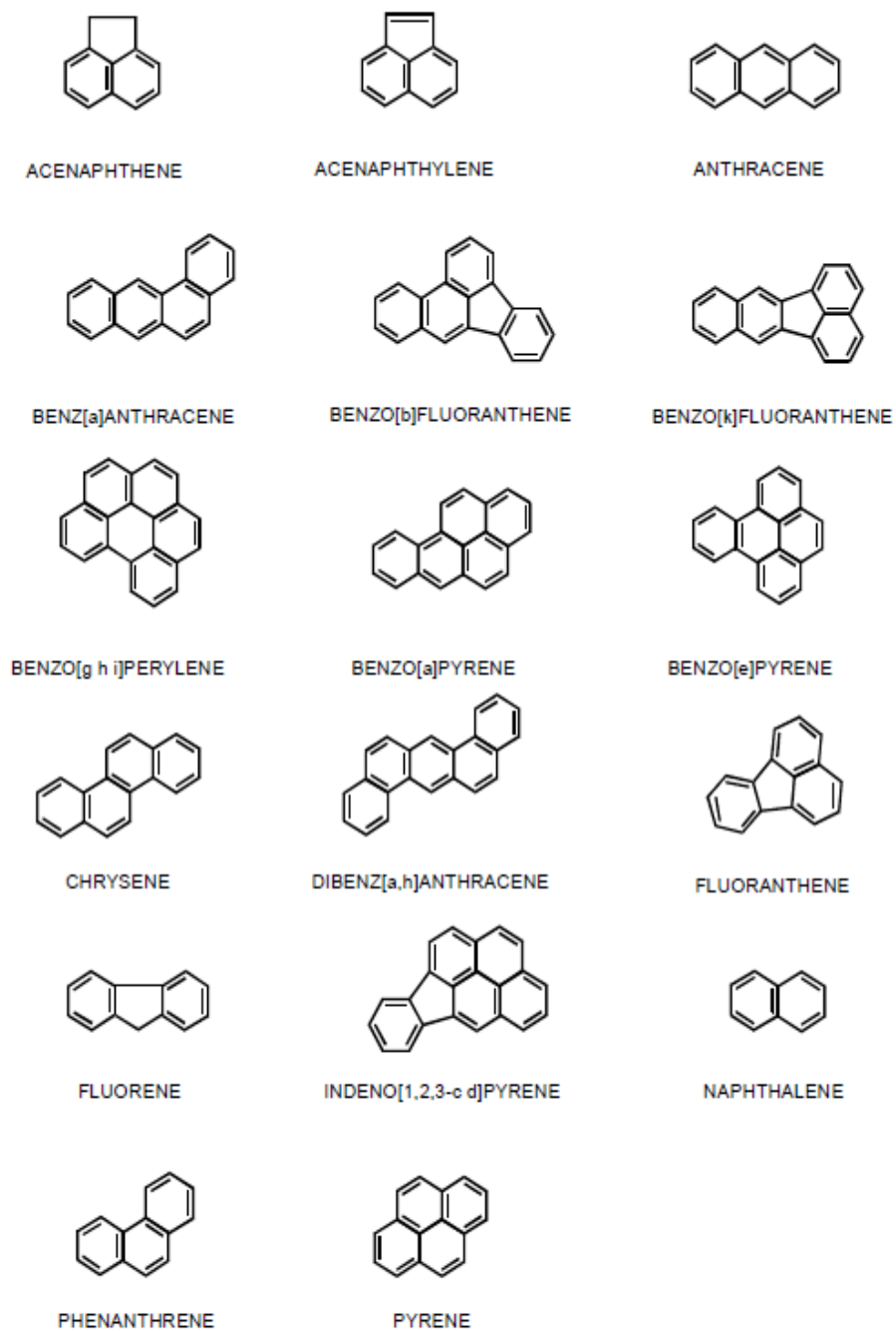
COMPOUND	OSHA ¹	NIOSH ²	ACGIH ³
1. ANTHRACENE	0.2 mg/m ³	--	
2. BENZ[a]ANTHRACENE	--	--	suspect human carcinogen
3. BENZO[b]FLUORANTHENE	--	--	suspect human carcinogen
4. BENZO[a]PYRENE	0.2 mg/m ³	--	suspect human carcinogen
5. CHRYSENE	0.2 mg/m ³	potential occupational carcinogen ⁴	animal carcinogen
6. NAPHTHALENE	10 ppm; STEL 15 ppm	10 ppm; STEL 15 ppm	10 ppm; STEL 15 ppm
7. PHENANTHRENE	0.2 mg/m ³	--	--
8. PYRENE	0.2 mg/m ³	--	--

^a This table only includes the compounds with established exposure limit values.¹ Information from [10].² Information from [11].³ Information from [12].

TABLE 4. LOD AND LOQ VALUES, AND RECOVERY DATA.

COMPOUND (by elution order)	Range of values [†]		Recoveries (%) [†]	
	LOD (µg per sample)	LOQ (µg per sample)	Filters	Sorbent tubes
1. NAPHTHALENE	0.20 - 0.80	0.39 - 2.6	49.6	68.5
2. ACENAPHTHYLENE	0.090 - 2.0	0.28 - 6.6	98.2	98.2
3. ACENAPHTHENE	0.20 - 5.0	0.58 - 16.	--	--
4. FLUORENE	0.030 - 0.30	0.099 - 0.26	95.0	95.0
5. PHENANTHRENE	0.0070 - 0.060	0.023 - 0.19	99.0, 90.4 [*]	84.0, 92.5 [*] , 82.6 [*]
6. ANTHRACENE	0.0010 - 0.090	0.023 - 0.30	81.8, 94.4 [*]	72.8, 96.2 [*] , 72.9 [*]
7. FLUORANTHENE	0.0020 - 0.090	0.0066 - 0.30	94.9, 90.4 [*]	73.0, 93.5 [*] , 81.7 [*]
8. PYRENE	0.0010 - 0.30	0.0036 - 0.99	94.4, 76.1 [*]	84.9, 77.0 [*] , 75.9 [*]
9. BENZ[a]ANTHRACENE	0.0010 - 0.090	0.0042 - 0.30	86.6, 92.7 [*]	62.4, 95.0 [*] , 72.3 [*]
10. CHRYSENE	0.0070 - 0.20	0.023 - 0.37	94.6, 89.9 [*]	62.7, 89.8 [*] , 74.0 [*]
11. BENZO[e]PYRENE	0.0060 - 0.80	0.020 - 2.6	110	48.3
12. BENZO[b]FLUORANTHENE	0.0030 - 0.20	0.011 - 0.66	94.8	64.2
13. BENZO[k]FLUORANTHENE	0.0020 - 0.040	0.0054 - 0.13	103	53.2
14. BENZO[a]PYRENE	0.0020 - 0.10	0.0051 - 0.33	101, 88.1 [*]	50.4, 91.6 [*] , 68.4 [*]
15. DIBENZ[a,h]ANTHRACENE	0.0040 - 0.60	0.014 - 2.0	76.5	61.0
16. BENZO[ghi]PERYLENE	0.0030 - 0.50	0.011 - 1.7	76.5	61.0
17. INDENO[1,2,3-cd]PYRENE	0.0090 - 0.20	0.027 - 0.66	91.6	36.5

^{*} Data from [4].[†] Data from [5].



1. Structure of the PAHs.

Figure