

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL  
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DIRETORIA DE ENSINO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR  
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 **ZIRALDO DOS SANTOS JÚNIOR**



**ANÁLISE SOBRE A PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA DO  
COMBATENTE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

BRASÍLIA  
2022

Cadete BM/2 **ZIRALDO** DOS SANTOS JÚNIOR

## **ANÁLISE SOBRE A PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA DO COMBATENTE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Ten-Cel. QOBM/Comb. JOSÉ **GENILSON** DOS SANTOS

BRASÍLIA  
2022

Cadete BM/2 **ZIRALDO DOS SANTOS JÚNIOR**

## **ANÁLISE SOBRE A PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA DO COMBATENTE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

VICTOR GONZAGA DE MENDONÇA – Major QOBM/Comb.  
**Presidente**

---

RAFAEL COSTA GUIMARÃES – 1º Ten. QOBM/Compl.  
**Membro**

---

MATHEUS DE SOUZA JUNQUEIRA – 1º Ten. QOBM/Comb.  
**Membro**

---

JOSÉ GENILSON DOS SANTOS – Ten-Cel. QOBM/Comb.  
**Orientador**

## RESUMO

Incêndios florestais são uma ameaça ao meio ambiente e para a sociedade, dado que a fumaça emitida por esses incêndios é formada por diversos elementos nocivos à saúde humana. No Distrito Federal em 2019, cerca de 9% de todas as ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) foram de combate a incêndios em vegetação. Pelas características das fitofisionomias do cerrado e pelo clima da região, o tema se torna relevante uma vez que é atividade rotineira para o CBMDF trabalhar na prevenção e no combate a esses incêndios. O sistema respiratório e as mucosas são as mais expostas a essas substâncias nocivas presentes na fumaça, tanto que a OMS estipula limites de exposição para a população de forma a proteger aqueles que são mais sensíveis e vulneráveis a possíveis doenças respiratórias. Com o objetivo de contribuir com o conhecimento científico a respeito da exposição dos bombeiros e sobre qual equipamento de proteção seria mais adequado para a atividade, o presente trabalho buscou junto à Universidade de Brasília dados de monitoramento de combates feitos no DF, Goiás e Roraima. A análise dos dados revelou que a exposição do combatente é intermitente, e cerca de 5 a 10% das amostras indicaram valores de concentração acima do limite de exposição ocupacional. O valor de FPMR para mistura irritante foi de 1,15 e para o CO ficou abaixo de 1. O EPR selecionado como compatível foi a máscara semifacial, ou facial completa com filtro combinado P3/Baixa concentração de vapores orgânicos.

**Palavras-chave:** Incêndio florestal; Proteção respiratória; equipamento de proteção respiratória; máscara com filtros.

## **ANALYSIS ON RESPIRATORY PROTECTION OF WILDLAND FIREFIGHTERS**

### **ABSTRACT**

*Forest fires are a threat to the environment and to society, given that the smoke emitted by these fires is formed by several elements harmful to human health. In the Federal District in 2019, about 9% of all emergency calls attended by the Military Fire Brigade of the Federal District (CBMDF) were related to firefighting in vegetation. Due to the characteristics of the vegetation of the region and its climate, the topic becomes relevant since it is a routine activity for the CBMDF to work on preventing and fighting these fires. The respiratory system and mucous membranes are the most exposed to these harmful substances present in smoke, so much so that the WHO sets exposure limits for the population in order to protect those who are more sensitive and vulnerable to respiratory diseases. In order to contribute to scientific knowledge about firefighters' exposure and which protective equipment would be most suitable for the activity, the present work sought data from the monitoring of combats carried out in the DF, Goiás and Roraima from the University of Brasília. Data analysis revealed that firefighter's exposure is intermittent, and about 5 to 10% of samples indicated concentration values above the occupational exposure limit. The minimum protection factor required values for the irritant mixture were 1.15 and for the CO was below 1. The PPR selected as compatible was the half mask, or full-face mask with combined filter P3/Low concentration of organic vapors.*

**Keywords:** *Wildfire; Firefighter; Respiratory protection; half mask.*

## 1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho busca estudar e investigar a proteção respiratória compatível com a atividade de combate a incêndios florestais no âmbito do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF).

O clima nas áreas cerradeiras apresenta duas estações bem marcadas: inverno seco e verão chuvoso. Seus solos distinguem-se pela deficiência em nutrientes e pelos altos teores de ferro e alumínio. Estes abrigam plantas de aparência seca, sendo, na maioria, arbustos esparsos sob uma manta de gramíneas (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS, 2017). Durante a estação seca, os índices pluviométricos e a umidade relativa do ar chegam a níveis extremamente baixos, como ilustra a Figura 1. Isso, combinado com as altas temperaturas favorece a proliferação de incêndios no cerrado (SOUZA, 2011).

**Figura 1: Índice pluviométrico médio anual em Brasília – DF.**



Fonte: Weather Spark (2021).

Os incêndios em vegetação representam uma parcela significativa das ocorrências atendidas pelo CBMDF, em 2019 os atendimentos a incêndios florestais chegaram a 11.936, representando 8,9% do total de atendimentos a ocorrências no referido ano (CBMDF, 2021a). Esses incêndios liberam grandes quantidades de fumaça, mistura constituída por diversos elementos tóxicos. Os componentes da fumaça podem provocar desde pequenas irritações aos olhos e ao trato respiratório até problemas respiratórios mais graves a longo prazo,

como a doença pulmonar obstrutiva crônica e até diferentes tipos de câncer (STONE *et al.*, 2019).

Hoje na corporação, o combatente é equipado com equipamento de proteção individual importado e certificado para protegê-lo das chamas e do calor, juntamente com uma proteção apropriada para os pés, capacete e óculos de proteção. Muitos utilizam a balaclava para a proteção do trato respiratório, porém esta oferece apenas proteção térmica à região da face, não sendo certificada e recomendada para proteger o sistema respiratório. De acordo com Reh *et al.* (1994) o uso de bandanas como equipamento de proteção respiratória deveria ser proibido, uma vez que os componentes da fumaça conseguem passar livremente pelos poros da balaclava, não oferecendo proteção respiratória aos combatentes. Além disso, concede ao combatente a falsa impressão de que está sendo protegido, em algum nível, contra névoas e poeiras. Há a recomendação ainda de que os bombeiros recebam no mínimo uma proteção respiratória descartável contra poeiras e fumos, para a retenção de particulados, que irá fornecer uma proteção mais adequada aos efeitos prejudiciais da fumaça.

Diante do exposto, busca-se responder o seguinte problema de pesquisa: **é possível encontrar um equipamento que mitigue os efeitos da fumaça e se adeque a atividade de combate a incêndios florestais?** A hipótese do trabalho é de que é possível selecionar um equipamento que seja compatível com a atividade de combate a incêndio florestal e seja capaz de mitigar os efeitos da fumaça.

**O objetivo geral da pesquisa é selecionar um equipamento de proteção respiratória que proteja o combatente e se adeque a atividade de combate a incêndio florestal.** De forma a atingir esse objetivo, algumas etapas se tornam necessárias:

- a) Verificar com base nos valores de referência de exposição ocupacional, a exposição dos bombeiros florestais com relação aos principais contaminantes que constituem a fumaça;
- b) Verificar por meio da metodologia do programa de proteção respiratória qual é o equipamento mais adequado a ser utilizado nos combates;
- c) Verificar a necessidade de treinamento e instrução com relação ao tipo de máscara e filtro a ser utilizado para o combate.

A pesquisa se justifica na necessidade de encontrar um meio de salvar o bombeiro militar durante o cumprimento de sua atividade. O CBMDF não possui diretiva com relação à proteção respiratória dos combatentes florestais e não há informações a respeito do nível de exposição que esses profissionais estão sujeitos na corporação. Além disso, o presente trabalho se alicerça nos seguintes pontos:

- Competência legal do CBMDF: dever legal de atuar na prevenção e combate a incêndios florestais, de acordo com decreto 31.817 que regulamenta a lei de organização básica do Corpo de Bombeiros, de 21 de junho de 2010 e que define como a proteção ambiental como competência do comando operacional da corporação (DISTRITO FEDERAL, 2010).
- Planejamento estratégico do CBMDF (2017 – 2024), consta como objetivo estratégico “valorizar o profissional bombeiro-militar”, e uma das iniciativas que constam no plano para atingi-lo é “realizar campanhas e ações abrangendo atividades de prevenção de acidentes do trabalho e doenças ocupacionais.” Dessa forma, é explícito no plano a preocupação com os combatentes que atuam no braço operacional da corporação, o que torna o presente trabalho alinhado e relevante do ponto de vista do planejamento estratégico da instituição (CBMDF, 2016)

De forma a atingir os objetivos mencionados utilizou-se da análise de revisão bibliográfica e da ferramenta questionário. Para definir o perfil de exposição do combatente florestal foi utilizado estudos que monitoraram as concentrações instantâneas dos gases tóxicos presentes na fumaça ao longo de combates reais, tanto no Brasil como nos Estados Unidos. De forma a selecionar o equipamento de proteção respiratória mais adequado à atividade foi utilizado a metodologia da Fundacentro por meio do programa de proteção respiratória do Ministério do Trabalho e os referenciais de limite de exposição ocupacional definidos por agências reguladoras internacionais.

Com relação ao questionário, foi definido o universo de pesquisa como os militares especialistas com o Curso de Prevenção e Combate a Incêndio Florestal (CPCIF) da ativa, totalizando cerca de 610 militares, por sua vez a amostra foi definida em 105 militares distribuídos entre os quartéis multiemprego



e o Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM). A amostra foi definida com grau de confiança de 95% e possui erro amostral de 9%.

O presente trabalho é composto por quatro capítulos. Após a introdução, é apresentada a revisão de literatura formada pela pesquisa bibliográfica com vistas a substanciar a análise quanto ao tema, apresentando as características e particularidades da atividade de combate a incêndio florestal, o perfil de exposição ocupacional do bombeiro florestal e os tipos de equipamento de proteção respiratória disponíveis no mercado. Em seguida, é demonstrada a metodologia utilizada durante a execução da pesquisa, com vistas à classificação da pesquisa, ao universo e amostra e quanto ao instrumento de pesquisa. Por fim, apresenta-se os resultados obtidos na pesquisa a respeito do tema e são feitas as considerações finais a respeito da pesquisa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

A presente revisão tem como intuito abordar a atividade fim do CBMDF e sua competência legal no ramo de atuação em atividades de prevenção e proteção ao meio ambiente.

Em seguida será abordada a atividade de combate a incêndio florestal, as dificuldades durante o combate e os efeitos adversos decorrentes principalmente pelo contato com a fumaça.

Adiante, serão apresentados os diferentes tipos de equipamentos para proteção respiratória (EPRs) hoje disponíveis de acordo com normas brasileiras vigentes. Por fim, será apresentado o programa de proteção respiratória da Fundacentro para fundamentar a seleção do EPR adequado ao combate a incêndio florestal.

### **2.1 A atividade fim do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.**

Segundo os termos da lei 8.255 de 20 de novembro de 1991, que dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) e dá outras providências, é de competência do CBMDF, entre outros: “realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios e executar atividades de prevenção aos incêndios florestais, com vistas à proteção ambiental” (BRASIL, 1991). Ainda na esfera legal, o decreto 31.817 de 21 de junho de 2010, que também dispõe sobre a organização básica do CBMDF, institui dentro da estrutura dos órgãos de execução, o grupamento de proteção ambiental, “responsável pelas atividades de prevenção e combate a incêndios florestais, emergências com produtos perigosos e demais ações de proteção ao meio ambiente” (DISTRITO FEDERAL, 2010).

Dessa forma, fica evidente a competência legal e a atividade finalística do CBMDF no campo da prevenção e combate a incêndios florestais.

### **2.2 A Atividade de Combate a Incêndio em Vegetação**

A atividade profissional de bombeiros militares envolve intensas demandas físicas e emocionais, que resultam em elevada sobrecarga cardiovascular. Os bombeiros atuam em combate a incêndios (urbanos e florestais), resgates e emergências pré-hospitalares. (SOTERIADES *et al.*, 2011). Essas atividades expõem os bombeiros a diferentes riscos ocupacionais,

caracterizando a profissão como de alto risco e com elevada taxa de mortalidade cardiovascular em serviço (SMITH, *et al.*, 2016). De acordo com Fahy *et al.* (2016), em 2015 houve 68 mortes de bombeiros norte americanos em serviço. Dentre essas, 35 foram por ataque cardíaco súbito com possível causa de esforço excessivo, stress ou outras condições clínicas.

O combate a incêndio florestal requer boa capacidade aeróbica e bom vigor físico, pois envolve confecção de aceiros, remoção de materiais em combustão com ferramentas manuais, longas caminhadas em terrenos com elevação carregando muito peso e uso de equipamentos pesados para supressão do fogo (HEIL, 2002; RUBY *et al.*, 2003). O peso dessas ferramentas pode chegar a 25kg e são manuseadas em terrenos acidentados e com elevada concentração de gases tóxicos. (STRANG *et al.*, 2018).

O combate pode envolver períodos de mais de 12 horas de atividade laboral e resultar em gastos energéticos da ordem de 3000 a 6000 kcal por dia. (RUBY *et al.*, 2003). Durante o combate os bombeiros executam um trabalho extenuante, normalmente em regiões de difícil acesso, com temperaturas elevadas, baixíssima umidade relativa do ar e sob condições altamente estressantes. (RODRÍGUEZ-MARROYO *et al.*, 2012).

### **2.3 A fumaça: seus componentes e efeitos**

Incêndios florestais são comuns a praticamente todo tipo de vegetação e em sua maioria são causados por negligência ou associados a queimas descontroladas no ramo agropecuário. A queima da biomassa contribui largamente para a liberação de gases tóxicos e partículas poluentes, uma vez que a queima desse material se dá de forma incompleta. Do resultado dessa combustão são gerados materiais particulados, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre (SCHWELA *et al.*, 1999).

O material particulado (MP) é o mais tóxico e que tem sido mais estudado. Seu tamanho é o parâmetro mais importante, dado que determina sua deposição dentro do sistema respiratório (CORMIER *et al.*, 2006). Partículas menores penetram de forma mais profunda no sistema respiratório baixo. A maior parte do MP emitido na combustão da biomassa possui diâmetro inferior a 0,1 $\mu$ m ou está entre 0,1 $\mu$ m e 2,5 $\mu$ m (PHULERIA *et al.*, 2005). Esse material particulado fino (<2,5 $\mu$ m), (MP<sub>2,5</sub>), consegue penetrar até os alvéolos e possui meia-vida que pode chegar a anos (SOUZA, 2020). Os efeitos da exposição ao MP fino variam

de irritação no sistema respiratório e nos olhos até complicações mais severas que compreendem tosse crônica, dificuldade de respirar, redução na capacidade pulmonar, bronquite, agravamento da asma, problemas cardíacos e morte precoce (STONE *et al.*, 2019).

Além disso, estudos têm estabelecido a ligação entre o tamanho das partículas, o tipo e intensidade do efeito adverso causado em seres humanos (HARRISON; YIN, 2000). A parcela fina do particulado (MP<sub>2,5</sub>) está mais fortemente associada com a mortalidade e morbidade, enquanto que as partículas grossas (MP<sub>10</sub>) têm sido associadas a internações respiratórias (SCAPINI *et al.*, 2016).

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro e tóxico gerado pela combustão incompleta. Sua forte combinação com a hemoglobina impede que o oxigênio se ligue à hemácia e seja transportado às células. Dado que a afinidade deste gás com a hemoglobina é de 200 a 300 vezes maior que a do oxigênio, fica evidente que baixas concentrações desse gás já se tornam perigosas (CBMDF, 2012). Após a ligação do CO à hemoglobina, formando a carboxihemoglobina, a hemácia é condenada à morte. O que pode causar dores de cabeça, náusea, vômitos, asfixia e óbito (SOUZA, 2020)

Segundo Hodgson, *et al.*, (2018), incêndios florestais no cerrado geram 74g de CO por kg de biomassa queimada com eficiência relativa da combustão (MCE) de 94%, enquanto que em biomas com vegetação mais densa como a floresta amazônica e outras florestas tropicais a emissão chega a ser de 237g de CO por kg com MCE de 79%. No caso de incêndios subterrâneos, Hodgson *et al.*, (2018), estudando a região da Indonésia encontra valores máximos de emissão de 291 g de CO por kg de biomassa com MCE de 77%. A eficiência relativa da combustão desses diferentes tipos de incêndios florestais é relacionada com a quantidade proporcional gerada de CO<sub>2</sub> e CO, quanto menor a eficiência, maior é a liberação de CO.

Aldeídos são compostos orgânicos voláteis encontrados na fumaça. Esses compostos podem causar irritação nos olhos, no sistema respiratório alto e inflamação dos pulmões. O formaldeído é o aldeído mais comum de ser encontrado na fumaça e quando entram no corpo é convertido em ácido fórmico que também é tóxico (GABBERT, 2006). Exposições de 10 a 20 ppm produzem reações imediatas de irritação dos olhos, do sistema respiratório e podem causar tosse, espirro e dificuldade de respirar (PATTY, 1963). Além desses efeitos, o

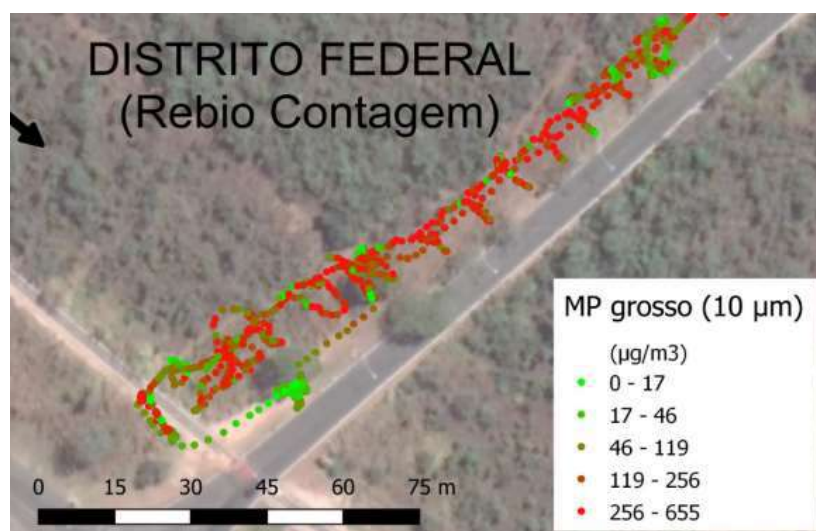
formaldeído pode causar leucemia e câncer na região da nasofaringe (IARC, 2004).

O dióxido de enxofre causa irritação severa nos olhos, no sistema respiratório, na pele, e nas mucosas e pode levar a broncoconstrição. Na presença de vapor de água pode formar ácido sulfúrico que pode causar lesões às vias aéreas (GABBERT, 2006)

A acroleína pode causar irritação do sistema respiratório e pode aumentar a chance de ocorrer novas infecções respiratórias. A longo prazo, pode levar a perda de capacidade funcional dos pulmões e irritação crônica do sistema respiratório, caso a exposição seja prolongada por muitos anos (GABBERT, 2006).

Um estudo realizado por Alencar *et al.* (2019) em Goiás e Distrito Federal teve como objetivo traçar curvas de concentração de CO e MP durante incêndios reais para averiguar a condição laboral dos bombeiros que combatem incêndios florestais. Com o auxílio de uma sonda, carregada por um bombeiro junto à linha de fogo, foram feitas medições de concentração instantânea de CO e MP, durante 3 dias de combate em turnos de trabalho que variaram entre 3 e 5 horas de trabalho. A figura 2 mostra o percurso realizado na Reserva Biológica da Contagem no DF (ReBio – DF) e a concentração do MP<sub>10</sub> ao longo do combate.

**Figura 2: Concentração instantânea de MP<sub>10</sub>: ReBio – DF.**



Fonte: ALENCAR *et al.* (2019).

Na figura 2, os pontos representados em verde ilustram o limite inferior da escala, já os pontos em vermelho representam o limite superior da escala. As cores dos pontos variam de acordo com a proximidade desses limites. O referido

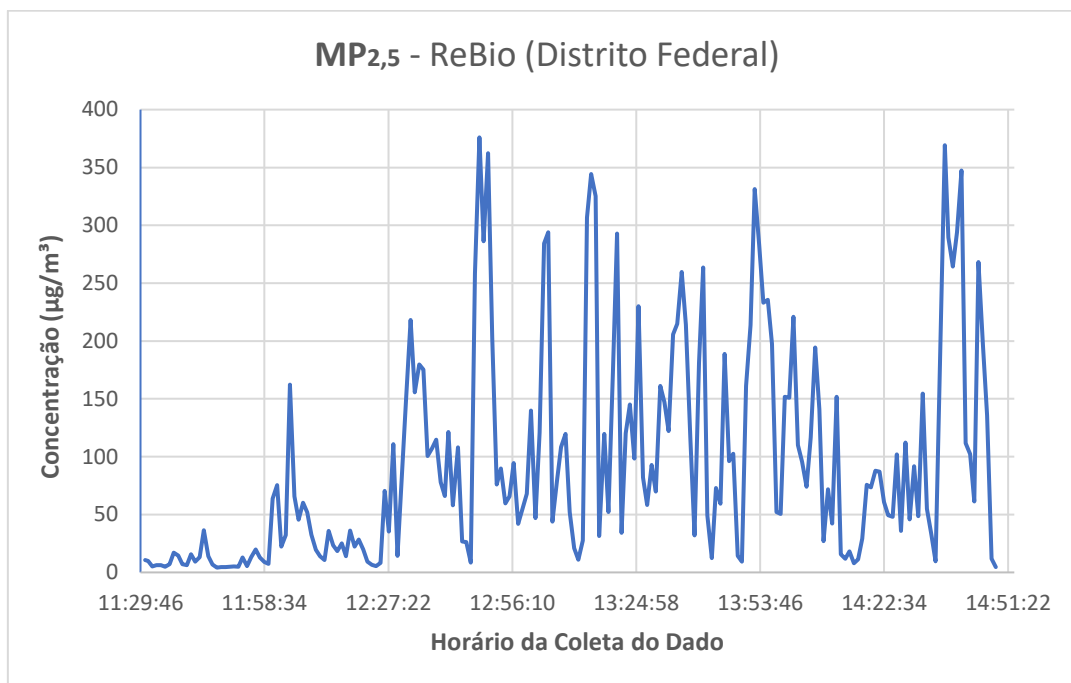
combate ocorreu em fevereiro do ano de 2018. A tabela 1 indica as concentrações dos contaminantes durante o combate.

**Tabela 1 – Concentração de CO e MP durante combate no DF.**

Amostra/ Hora	Médias por hora			Máximo por hora			Desvio Padrão		
	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
11:30 – 12:30	0,104	24,30	98,98	0,658	652,0	651,8	0,075	47,265	134,04
12:30 – 13:30	0,232	128,55	200,54	3,708	655,2	654,7	0,434	152,86	166,16
13:30 – 14:30	0,113	121,06	127,63	1,807	654,3	655,0	0,113	152,66	146,51

Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

Na tabela 1 é interessante salientar que, com relação às concentrações instantâneas de CO, o máximo registrado foi abaixo de 5 ppm com um desvio padrão de 0,4 ppm. A média de exposição ao CO por hora não passou de 0,3 ppm no combate analisado. No caso do material particulado, o máximo registrado do MP<sub>2,5</sub> foi de 655,2 µg/m<sup>3</sup> com um desvio padrão de 152,86 µg/m<sup>3</sup>. Analisando a tabela verifica-se alto valor de desvio padrão das medições quando comparado com valor da média por hora calculada. Isso indica que houve grande variação no valor dos pontos medidos a partir da média. Assim, é possível inferir que durante esse combate os bombeiros foram expostos ao MP de forma intermitente, como mostra a figura 3.

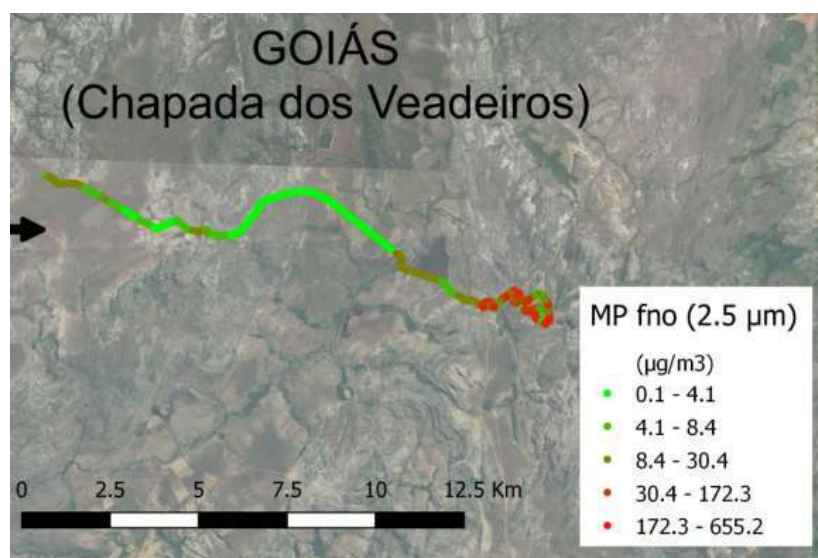
**Figura 3: Concentração de MP média por minuto em combate no DF.**

Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

Para coletar os dados, Alencar *et al.* (2019) utilizaram uma sonda com capacidade de medição a cada 2 (dois) segundos das concentrações instantâneas de MP e CO. Para a confecção do gráfico ilustrado na figura 3 foi feita uma média dos valores instantâneos para agrupar os dados em intervalos de minutos. Assim, cada ponto do gráfico na figura 3 representa a concentração média aferida durante 1 (um) minuto.

Alencar *et al.* (2019) também realizaram medições durante combate a incêndios em Goiás (GO) durante dois dias em julho de 2018, com turnos de trabalho que variaram entre 3 e 5 horas. A figura 4 ilustra um incêndio real na Chapada dos Veadeiros – GO, em que foi analisada a concentração de MP<sub>2,5</sub> ao longo do combate.

**Figura 4: Concentração instantânea de MP<sub>2,5</sub>: Chapada dos Veadeiros – GO.**



Fonte: ALENCAR *et al.* (2019)

Na figura 4 os pontos representados em verde ilustram o limite inferior da escala, já os pontos em vermelho representam o limite superior da escala. As cores dos pontos variam de acordo com a proximidade desses limites. A tabela 2 indica a concentração dos contaminantes durante o combate:

**Tabela 2 – Concentração de CO e MP durante combate no GO – Dia 2.**

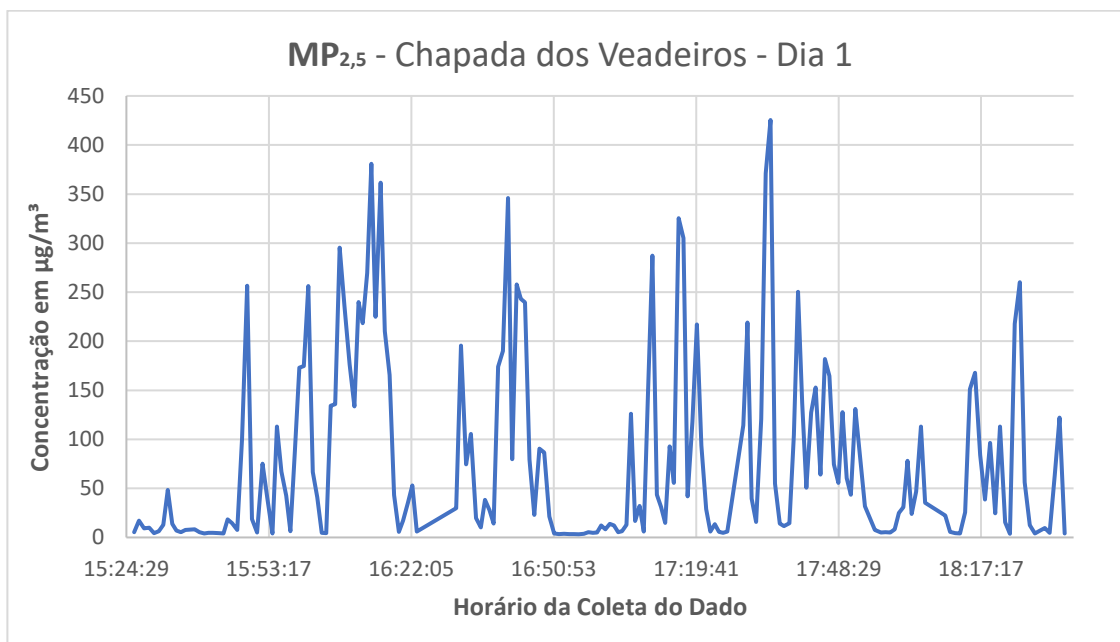
Amostra/ Hora	Médias por hora			Máximo por hora			Desvio Padrão		
	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO ppm	MP <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup>	MP <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
13:00 – 14:00	5,74	13,825	32,145	18,77	643,7	562,8	1,65	50,77	46,82
14:00 – 15:00	7,55	168,12	37,91	11,96	655,2	627,59	2,12	180,89	64,36
15:00 – 16:00	7,18	82,73	56,77	11,96	652,8	620,60	3,53	140,56	92,66
16:00 – 17:00	6,32	84,46	48,75	12,42	654,9	628,59	2,76	144,27	83,40
17:00 – 18:00	7,79	151,43	26,48	11,73	652,9	575,59	2,76	165,02	43,91

Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

De forma a entender a característica da exposição do combatente florestal, as figuras 5 e 6 ilustram a variação da concentração média por minuto de MP<sub>2,5</sub> e CO respectivamente na Chapada dos Veadeiros. Cada ponto no gráfico representa um minuto.

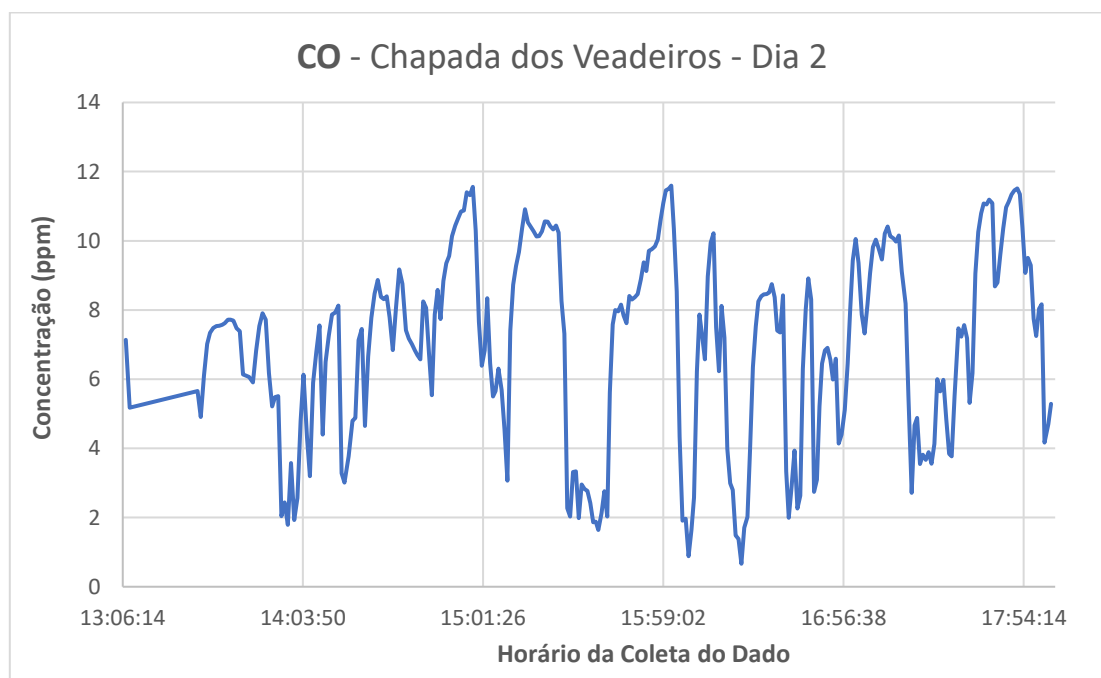


**Figura 5: Concentração de MP<sub>2,5</sub> média por minuto – GO.**



Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

**Figura 6: Concentração de CO média por minuto – GO.**



Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

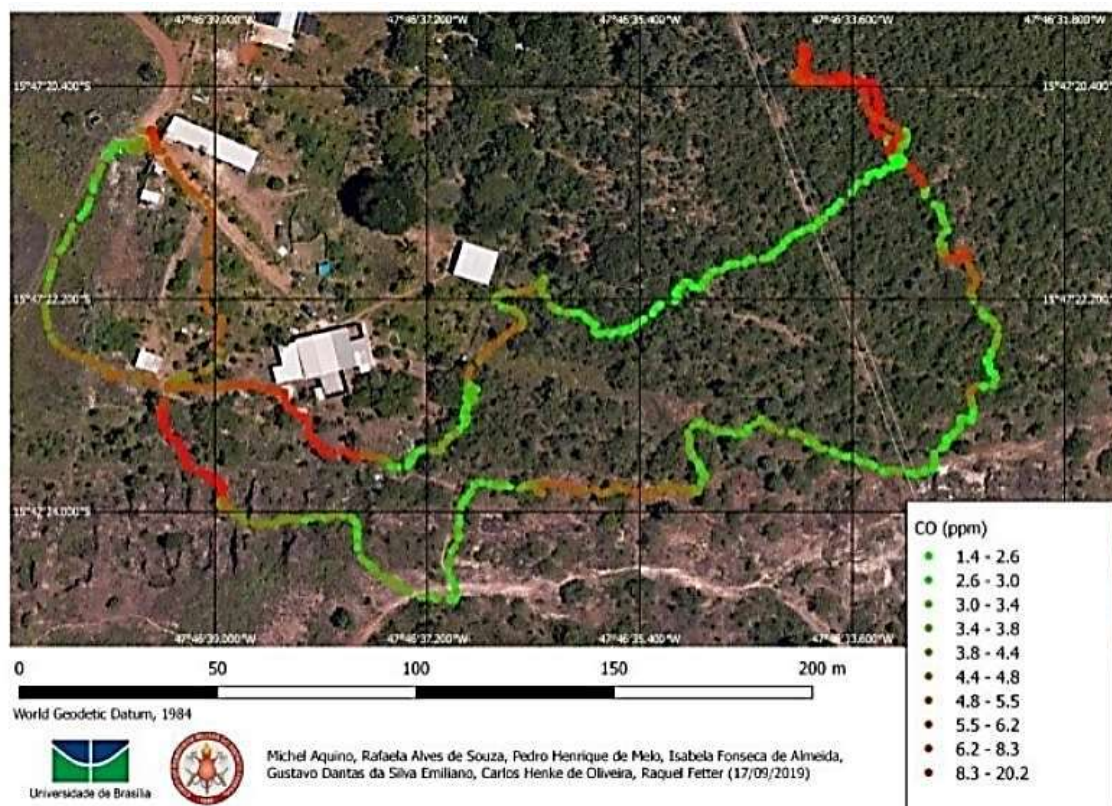
Analisando os dados do incêndio na chapada dos veadeiros, verifica-se novamente a característica intermitente da exposição dos combatentes florestais, ou seja, há momentos em que o bombeiro está suscetível a altas concentrações de contaminantes, porém por períodos curtos e não constantes.

De acordo com Souza (2020, p.13):

Os pesquisadores do Projeto Prometheu (Chamada 33/2018 CNPq Prevfogo/lbama) já observaram concentrações instantâneas de 8,3 a 20,2 ppm de CO e Material Particulado Fino (MP<sub>2,5</sub>) acima de 521 µg/m<sup>3</sup> e MP<sub>10</sub> acima de 973 µg/m<sup>3</sup> em combates relativamente leves.

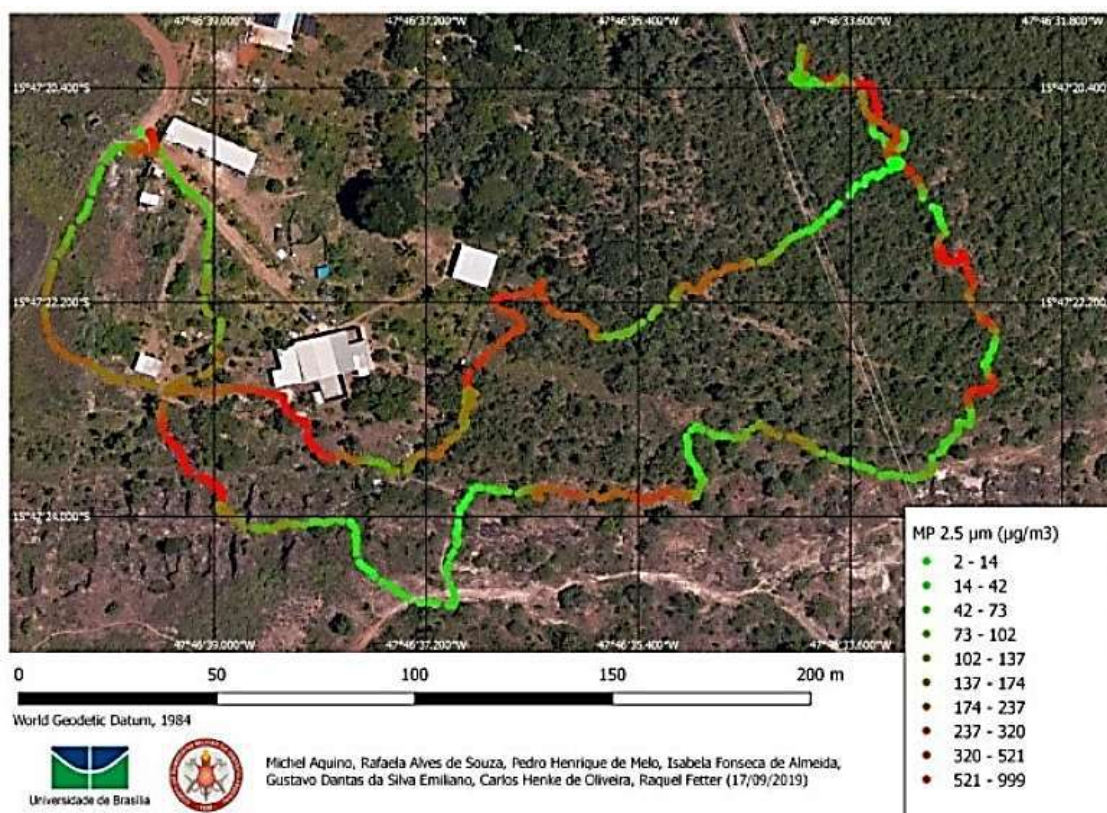
O incêndio real em Brasília monitorado pelos pesquisadores do projeto Prometheu é ilustrado nas figuras 7 e 8. Na ocasião, foi utilizada uma sonda para aferir a concentração instantânea de CO e MP<sub>2,5</sub> durante um turno de trabalho de 2 horas. Os pontos representados em verde ilustram o limite inferior da escala, já os pontos em vermelho representam o limite superior da escala. As cores dos pontos registrados variam de acordo com a proximidade desses limites.

**Figura 7: Concentração instantânea de CO [ppm] em combate no DF.**



Fonte: Adaptado de SOUZA (2020).

**Figura 8: Concentração instantânea de MP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] em combate no DF.**



Fonte: Adaptado de SOUZA (2020).

## 2.4 Concentração e Limites de Exposição

Em 1971, a *Environmental Protection Agency (EPA)* com o objetivo de proteger a sociedade de doenças respiratórias e aqueles que são mais sensíveis à poluição atmosférica, estipulou limites de exposição a diversas substâncias e índices de qualidade do ar (EPA, 2022). O limite de exposição é um valor padrão, que leva em consideração o tempo de exposição e a concentração de determinado contaminante no qual a maioria das pessoas, caso estejam expostas ao nível de concentração e tempo estipulados não vão, de forma geral, desenvolver nenhum tipo de doença ou sequela (SAFEOPEDIA, 2017). Além da EPA, a Organização Mundial da Saúde (OMS) também definiu limites de exposição, a tabela 3 indica os limites de exposição para MP:

**Tabela 3 – Limites de exposição para material particulado.**

Tempo de Exposição	Concentração de Material Particulado (MP) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	OMS		EPA	
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
24 horas	50	25	150	35*
Anual	20	10	-	12*

\*: Não deve exceder mais que uma vez ao ano.

Fonte: EPA (2022).

Ressalta-se que a exposição deve ser distinguida da concentração, que é uma expressão quantitativa de poluente dentro de um determinado ambiente não levando em consideração o tempo de exposição ao contaminante, assim, concentrações elevadas de poluição de ar não necessariamente resultam em altas exposições (WHO, 2005). De acordo com Adetona *et al.* (2013) – a exposição se deve tanto ao tempo quanto às concentrações, o alto tempo de jornada contribui de forma notável para a exposição. Segundo Alencar (2018), a exposição dos combatentes florestais está mais relacionada às concentrações do que com o tempo de jornada, dada a característica intermitente da exposição dos bombeiros florestais.

É importante salientar a diferença de limite de exposição definido pela EPA e OMS e os limites de exposição ocupacional *PEL (Permissible Exposure Limit)* definido pela OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), o *TLV (Threshold Limit Value)* definido pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) e o *REL (Recommended Exposure Limits)* definido pela NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*). No âmbito dos poluentes atmosféricos, os limites de exposição definidos pela EPA e pela OMS são limiares para a população em geral que servem como guia para que possam se proteger em caso de altos índices de poluição ou grande incêndios que liberam grandes quantidades de fumaça no ar. Trata-se, portanto, de índice de qualidade do ar (EPA, 2022).

Os limites de exposição ocupacional levam em consideração a exposição continuada a determinado agente, normalmente por um período de 8 horas em uma semana de 40 horas de trabalho. Nesse caso é definido o *TWA (Time-Weighted Average)*, uma vez alcançado esse limite, o trabalhador não pode ser exposto àquele reagente sem que haja consequências para sua saúde. Há também limites para intervalos menores de tempo definidos como *STEL (Short*

*Term Exposure Limit*) que determina o máximo de exposição a determinado agente dentro do intervalo de no máximo 15 minutos (CCOHS, 2022). O trabalhador não pode ultrapassar o *STEL* mais do que quatro vezes durante o mesmo período de trabalho. Caso o trabalhador ultrapasse o valor de *STEL*, ele deve se afastar por 1 hora do local de trabalho entre as exposições. Nos casos em que as jornadas de trabalho ultrapassam as 8 horas, há fatores de redução aplicados aos valores de *TWA* (CCOHS, 2022). Segundo a agência britânica de saúde e segurança (HSE), em casos em que a jornada de trabalho difere de 8 horas ou a exposição ocorre durante período determinado de tempo dentro do turno de trabalho é possível ajustar a equação para o cálculo referente a situação dada. (HSE, 2020). De forma geral, o *TWA* ajustado é dado pela equação (1):

$$TWA_a = \left( \frac{t_{exp} \cdot C_{média} + (8 - t_{exp}) \cdot C_{média}}{8} \right) \quad (1)$$

Onde:

- $TWA_a$  = *TWA* ajustado para a situação;
- $t_{exp}$  = tempo de exposição em horas;
- $C_{média}$  = Concentração média durante o período.

Caso a exposição seja intermitente, é possível contabilizar as diferentes situações enfrentadas pelo trabalhador, computando o tempo e a concentração do contaminante que o trabalhador estava sujeito, como ilustra as equações 2 e 3:

$$TWA_a = \left( \frac{t_{exp1} \cdot C_{média1} + t_{exp2} \cdot C_{média2} + \dots + t_{expn} \cdot C_{médian}}{8} \right) \quad (2)$$

$$t_{exp1} + t_{exp2} + \dots + t_{expn} = \text{tempo total turno de trabalho} \quad (3)$$

Onde:

- $TWA_a$  = *TWA* ajustado para a situação;
- $t_{exp}$  = tempo de exposição em horas;
- $C_{média}$  = Concentração média durante o período.

As agências reguladoras não chegaram a um consenso com relação aos limites de exposição ocupacional, assim, esses limites apresentam pequenas variações a depender da localidade que se utiliza como referência. No Brasil, os

limites de exposição ocupacional são definidos pela portaria 3.214 do Ministério do Trabalho, de 08 de junho de 1978, que estabeleceu as atividades e operações insalubres (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). Porém, segundo Cota e Cláudio (2018), mais de 40% dos limites de exposição referentes a substâncias químicas da NR – 15 apresentam valor superior ao estipulado pela ACGIH, de modo que a norma se encontra desatualizada.

Na tabela 4 são indicados os limites de exposição ocupacional definidos pelas agências ACGIH, OSHA e NIOSH.

**Tabela 4 – Limites de exposição ocupacionais dos contaminantes na fumaça de incêndios florestais.**

Substância	TLV (ppm)	PEL (ppm)	REL (ppm)	STEL (ppm)
Acroleína (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O)		0,1		0,3
Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	0,5	1	0,1	2,5
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )		5,000		30,000
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	2	5	2	5
Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)	0,3	0,75	0,016	2
Material Particulado (MP)	-	-	-	-
Monóxido de Carbono (CO)	25	50	35	200

Fonte: Adaptado de LUDWIG *et al.* (1994).

Pela análise da tabela acima, evidencia-se que os valores de *PEL* definidos pela OSHA são os mais permissíveis, enquanto que os valores de *TLV* e *REL* são os mais rigorosos quanto à exposição. A escolha da referência a ser utilizada, uma vez que não há consenso entre as agências, é discricionária. Dessa forma, no presente trabalho, serão utilizados preferencialmente como referência os limites de exposição definidos pela ACGIH ou pela NIOSH, por serem mais conservadores.

Segundo Austin (2008), os limites admissíveis para o MP não estão estabelecidos, porém acredita-se que até mesmo MP com baixa toxicidade tenha efeitos adversos para a saúde humana. No entanto, há a recomendação da ACGIH de que as exposições à MP respirável (<MP<sub>10</sub>) devem ficar abaixo de 3 mg/m<sup>3</sup> ajustado para *TWA*, e para MP inalável (MP<sub>10</sub> a MP<sub>100</sub>) abaixo de 10 mg/m<sup>3</sup> (OSHA, 2022).

Ainda no âmbito das regulamentações a respeito de exposições a contaminantes, a NIOSH possui um cadastro com diversas substâncias e seu

respectivo *Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)*. De acordo com Ludwig *et al.* (1994) o *IDLH* é baseado no risco imediato a vida ou nos danos permanentes à saúde no longo prazo provocados por exposição à determinado contaminante no intervalo de 30 minutos. Entretanto, o índice não implica que o trabalhador possa ser exposto aos níveis de concentração estipulados por até 30 minutos. O *IDLH* possui dois objetivos:

1. Garantir que o trabalhador seja capaz de escapar de um ambiente contaminado no caso de uma falha em seu equipamento de proteção respiratória;
2. Indicar um valor máximo de concentração no qual, acima deste, apenas um trabalhador com um equipamento de proteção respiratória altamente confiável, provendo máxima proteção, poderá permanecer.

A tabela 5 indica os valores de *IDLH* para algumas substâncias presentes na fumaça advinda dos incêndios florestais.

**Tabela 5 – Valores de *IDLH***

<b>Substância</b>	<b>IDLH</b>
Acroleína (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O)	2 ppm
Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	500 ppm
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	40,000 ppm
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	100 ppm
Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)	20 ppm
Material Particulado (MP)	-
Monóxido de Carbono (CO)	1200 ppm

Fonte: Adaptado de LUDWIG *et al.* (1994).

Reinhardt e Ottmar (2004) conduziram uma análise, durante 30 dias de supressão a incêndios florestais nos Estados Unidos, dos contaminantes presentes na fumaça de um incêndio florestal. O estudo acompanhou combatentes com turnos de trabalho que duravam de 12 a 18 horas, com 3 horas em média de efetivo combate, na linha de fogo. A tabela 6 ilustra a proporção dos contaminantes em cada tipo de combate.

**Tabela 6: Proporção de poluentes encontrados na fumaça.**

Contaminantes	Tipo de Fogo	Por Turno (máximo)	Na linha de fogo (máximo)
Acroleína	Ataque Inicial	0,011 ppm	0,037 ppm
	Ataque sustentado	0,015 ppm	0,016 ppm
Dióxido de Carbono	Ataque Inicial	706 ppm	742 ppm
	Ataque sustentado	588 ppm	668 ppm
Monóxido de Carbono	Ataque Inicial	13.1 ppm	28.2 ppm
	Ataque sustentado	31 ppm	39 ppm
Formaldeído	Ataque Inicial	0,058 ppm	0,092 ppm
	Ataque sustentado	0,084 ppm	0,093 ppm
Material Particulado (MP <sub>3,5</sub> )	Ataque Inicial	1,56 mg/m <sup>3</sup>	2,46 mg/m <sup>3</sup>
	Ataque sustentado	2,30 mg/m <sup>3</sup>	2,93 mg/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de REINHARDT e OTTMAR (2004).

De acordo com Reinhardt e Ottmar (2004), o ataque inicial constitui a supressão aos focos do incêndio no primeiro dia de incêndio. O ataque sustentado constitui a supressão das chamas quando o incêndio toma grandes proporções e se alastra por dias e até semanas.

## 2.5 Proteção Respiratória

Segundo Souza (2020), a proteção respiratória do combatente de incêndios florestais é a combinação de dois fatores, a prevenção à exposição perigosa e o uso de equipamentos de proteção adequada. Todo equipamento de proteção individual (EPI) do combatente, incluindo o EPI para a proteção respiratória, deve aumentar a proteção contra as chamas e temperaturas elevadas.

De forma a atuar na prevenção e evitar situações em que os bombeiros ficam muito expostos à fumaça, OSHA (2021) indica que a exposição à fumaça seja limitada, o trabalho de combate seja feito prioritariamente com o vento pelas costas e que o combate deve ser revezado com pausas para áreas que contenham menos fumaça. Além disso, indica o monitoramento rotineiro dos bombeiros com relação aos efeitos da fumaça assim como o nível de monóxido de carbono durante as atividades de combate.

Ainda no âmbito da prevenção o planejamento é essencial e ações simples podem fazer a diferença. Localizar aceiros naturais e artificiais, atacar os flancos do foco em vez da cabeça em situações de fumaça muito densa, usar



linhas negras para reduzir a exposição à fumaça e utilizar retardante para diminuir a carga de trabalho e a exposição dos bombeiros florestais são algumas das ações que podem ser implementadas (NWCG, 2019).

Um estudo da NIOSH verificou que a utilização de bandanas para proteção respiratória contra a fumaça deveria ser proibida uma vez que os gases e vapores passam facilmente pelos poros do tecido da mesma forma que um mosquito passa por uma porta aberta. Os poros das bandanas são da ordem de 200  $\mu\text{m}$  x 200  $\mu\text{m}$ , cerca de 500 a 2000 vezes maior que as partículas da fumaça (REH; LETTS; DEITCHMAN, 1994).

O uso de máscaras com filtros deve ser utilizado com cautela, uma vez que seu uso pode aumentar a exposição dos bombeiros aos efeitos adversos da fumaça, alerta a OSHA. Em situações com fumaça muito densa, o combatente pode acabar ficando mais tempo em cena com a impressão de que está protegido por sua máscara, o que pode ser perigoso, pois há uma maior exposição aos gases que não são filtrados pela máscara. Há ainda o aumento de resistência que a máscara oferece à respiração, o que pode levar a falta de ar e à sensação de claustrofobia. Dessa forma, deve ser ministrado um programa de treinamento para a utilização dos respiradores (OSHA, 2021).

Haston (2007) alerta que para a NIOSH não se faz diferenciação quanto a respiradores para combatentes de incêndios em áreas urbanas e áreas de vegetação natural. Para ambos os casos, é indicado máscara completa para o rosto com sistema de pressão positiva, isolado e alimentado por um cilindro de ar respirável. Porém, esse tipo de equipamento não é compatível com a atividade do combatente florestal em razão do seu peso e da sua baixa autonomia de 30 a 60 minutos. Dessa forma, conclui que não há norma específica da NIOSH de respiradores para combatentes florestais e que se deve pesar os benefícios e os potenciais riscos antes de se implementar a utilização geral de um tipo de respirador.

De acordo com Pareja e Lorenzo (2020), a mecanização é crítica, sem a proteção adequada os combatentes não deveriam ser expostos aos riscos da fumaça. No caso da impossibilidade de mecanizar, a utilização de uma meia máscara com um catalisador para neutralizar o CO seria o mais indicado, de forma a se proteger desse gás asfixiante. Um catalisador com a mesma função já é utilizado na indústria automotiva e na de extração de minérios, porém são

muito pesados e caros. De forma que ainda não existem opções comerciais disponíveis com essa tecnologia para o efetivo combate a incêndios florestais.

Máscaras com filtros são capazes de remover partículas pequenas e tóxicas presentes na fumaça, essas máscaras filtram ácidos orgânicos vaporizados, material particulado, acroleína, formaldeído, ácido fórmico e ácido acético. Os filtros têm capacidade de filtrar por 30 minutos em fumaça densa e durante 6 horas em fumaça leve. Porém, oferecem uma proteção parcial, uma vez que não conseguem filtrar o monóxido de carbono, gás invisível que ataca o sistema nervoso e diminui a resposta motora (CONE,1992).

## **2.6 Tipos de respiradores comerciais**

De acordo com Souza (2020), poucas indústrias possuem produtos destinados de forma específica para a proteção respiratória do combatente florestal. Recentemente, uma empresa lançou um modelo de respirador específico para combatentes florestais, muito semelhante a uma máscara com filtros, porém com revestimento de tecido ininflamável.

De acordo com ABNT (1999), há dois tipos de respiradores:

- Respiradores de adução de ar: recebem o ar de uma fonte externa ao ambiente de trabalho, como respiradores de linha de ar comprimido;
- Purificadores de ar: filtram o ar ambiente com a ajuda de filtros específicos, removendo vapores, gases, aerossóis ou a combinação destes. Os filtros podem ser mecânicos, químicos ou combinados.

No mercado, há três tipos mais comuns de respiradores purificadores de ar:

- Máscara quarto facial: máscara que cobre nariz e boca, protegendo cerca de  $\frac{1}{4}$  do rosto do usuário, pode conter uma entrada para conexão de filtro ou não;
- Máscara semi-facial com filtro: máscara que cobre parcialmente o rosto, protegendo nariz e boca, podendo conter uma ou mais conexões para filtros;
- Máscara facial inteira com filtros: máscara que cobre completamente o rosto com um visor panorâmico podendo conter uma ou mais conexões para filtros.

Os filtros químicos disponíveis no mercado obedecem a classificação de acordo com ABNT (2005), a tabela 7 indica os tipos de filtros químicos:

**Tabela 7: Tipos de filtros químicos.**

Classes	Tipos	Concentração Máxima (ppm)	Tipo de peça facial compatível
Baixa capacidade FBC-1	Vapores orgânicos	50	Semifacial filtrante, quarto facial
	Gases ácidos	50	
Baixa capacidade FBC-2	Vapores orgânicos	1000	Semifacial, facial inteira.
	Cloro	10	
Classe I: cartucho pequeno	Vapores orgânicos	1000	Quarto facial, semifacial, facial inteira, conjunto bocal (fuga)
	Amônia	300	
	Metilamina	100	
	Gases Ácidos	1000	
	Ácido Clorídrico	50	
	Cloro	10	
Classe II: cartucho médio	Vapores orgânicos	5.000	Facial inteira
	Amônia	5.000	
	Metilamina	5.000	
	Gases Ácidos	5.000	
Classe III: cartucho grande	Vapores orgânicos	10.000	Facial Inteira
	Amônia	10.000	
	Gases Ácidos	10.000	

Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

De acordo com ABNT (2010), os filtros mecânicos são classificados em:

- P1 ou PFF-1: manipulação de ácido crômico, Ácido sulfúrico, sódio, potássio, ureia, sílica, sais solúveis de ferro;
- P2 ou PFF-2: Manipulação de fumos metálicos, óxido de ferro, fumos de parafina. Equivale a N-95;
- P3 ou PFF-3: Manipulação de compostos inorgânicos de mercúrio, radionuclídeos. Manipulação de quimioterápicos na forma de pó liofilizado. Equivale as classes N-99, N-100.

Os filtros mecânicos são geralmente constituídos por um emaranhado de microfibras sintéticas que normalmente são tratadas eletrostaticamente e são capazes de reter os materiais particulados (3M, 2022).

Esses filtros são caracterizados também pelo ensaio de penetrabilidade. Segundo ABNT (2010), o ensaio de penetração através do filtro deve ser realizado com o aerossol de cloreto de sódio (Na Cl). Se o filtro for indicado também para a remoção de partículas oleosas, deve ser realizado o ensaio de

penetração com óleo de parafina ou dioctil ftalato (DOP). A tabela 8 indica a penetrabilidade máxima permitida das diferentes classes de filtro:

**Tabela 8: Penetração máxima permitida.**

Classe do Filtro	Penetração máxima do aerossol de ensaio %	
	Ensaio com Na Cl	Ensaio com óleo parafina ou DOP
P1	20	20
P2	6	6
P3	0,05	0,05

Fonte: Adaptado de ABNT (2010).

O ensaio de penetração é feito a partir da geração de um aerossol de partículas de cloreto de sódio. É feita a nebulização em uma solução aquosa do sal e evapora-se a água. A concentração deste aerossol é medida antes e depois do filtro sob ensaio, por fotometria de chama ou por fotometria de espalhamento de luz (ABNT, 2010). As características do aerossol utilizado são dadas pela tabela 9:

**Tabela 9: Parâmetros do Aerossol.**

Parâmetros dos Aerossóis	Aerossol de NaCl		Aerossol Oleoso (parafina ou DOP)
	Fotometria de chama	Fotometria de espalhamento de luz	Fotometria de espalhamento de luz
Diâmetro médio mássico	0,6 $\mu\text{m}$	0,3 $\mu\text{m}$	0,33 $\mu\text{m}$
Diâmetro médio por contagem	0,06 $\mu\text{m}$	0,075 $\mu\text{m}$	0,20 $\mu\text{m}$
Desvio Padrão geométrico	Polidisperso	<1,86	<1,6

Fonte: Adaptado de ABNT (2010).

Proteção respiratória compatível com a atividade do combatente florestal e que controle a exposição ao monóxido de carbono, formaldeído, partículas e outros contaminantes não existe no mercado (DE VOS *et al.*, 2006). Dado que a proteção respiratória utilizada no incêndio estrutural não é aplicável ao combatente florestal (HASTON, 2007).

A autoridade de serviços de incêndio e emergência da Austrália (FESA) determinou que um dos métodos mais apropriados para controlar a exposição dos bombeiros à fumaça dos incêndios florestais era distribuir uma máscara semifacial com um filtro mecânico. Porém, os bombeiros adquiriram por conta própria uma máscara com filtro combinado (mecânico e químico) para vapores

orgânicos, uma vez que o filtro mecânico se mostrou ineficaz na proteção (DE VOS *et al.*, 2006).

Um estudo buscando selecionar o melhor tipo de filtro para ser utilizado no combate a incêndios florestais foi realizado com 64 bombeiros na Austrália, onde foi simulado condições de fumaça leve dentro de um habitáculo controlado. Foram distribuídas aos bombeiros máscaras faciais e foi realizado espirometria e aferição da saturação de oxigênio periférico antes e depois do estudo. Descobriu-se que o uso de máscaras semifaciais, independentemente do tipo de filtro – mecânico, químico ou combinado –, foi ineficaz em prevenir mudanças significativas na função primária dos pulmões e na saturação periférica de oxigênio dos participantes. Isso se deve muito provavelmente à presença do CO que não é filtrado pelas máscaras e não era objeto de estudo da análise. Com relação aos três tipos de filtro, o filtro mecânico foi ineficaz em remover os componentes irritantes da fumaça, como formaldeído e acroleína. O filtro combinado foi efetivo na remoção dos componentes, e os participantes utilizando esse filtro reportaram pouco ou nenhum sintoma respiratório, já o filtro combinado para vapores orgânicos e formaldeído foi o mais efetivo em prevenir sintomas respiratórios, nenhum dos indivíduos utilizando esse filtro acusaram aumento em tosse, espirros ou mudança na capacidade respiratória (DE VOS *et al.*, 2006).

## **2.7 Programa de Proteção Respiratória (PPR) - Fundacentro.**

Com o objetivo de auxiliar os profissionais responsáveis pela elaboração, implementação e administração de um programa que abrange a seleção, a utilização e a manutenção corretas dos equipamentos de proteção respiratória, o Ministério do Trabalho, por meio de instrução normativa publicou o programa de proteção respiratória (FUNDACENTRO, 2016).

O PPR é uma norma que trata de recomendações referentes à proteção de trabalhadores contra a inalação de contaminantes perigosos e contra a inalação de ar com deficiência de oxigênio nos locais de trabalho por meio do uso de respiradores (FUNDACENTRO, 2016).

Segundo Fundacentro (2016, p.16):

O uso de EPR tem como objetivo principal prevenir a exposição por inalação de substâncias perigosas e/ou ar com deficiência de oxigênio. Quando não for possível prevenir a exposição ocupacional, o controle da exposição adequada deve ser alcançado, tanto quanto possível, pela adoção de outras medidas de controle que não o uso de EPR.

Porém, em situações que outras medidas de controle já foram adotadas, e ainda há exposição que extrapola os limites estabelecidos ou em situações em que não há possibilidade de afastar o perigo do trabalhador, é necessário o uso de respirador (FUNDACENTRO, 2016).

Segundo Fundacentro (2016) a avaliação dos riscos respiratórios é essencial para o processo de seleção e a utilização do respirador adequado. A avaliação inclui três etapas:

1. Avaliar os perigos do ambiente;
2. Avaliar a adequação do respirador à exposição;
3. Avaliar a adequação do respirador à tarefa, ao usuário e ao ambiente de trabalho.

A primeira etapa da avaliação dos riscos do ambiente ocorre obedecendo a seguinte ordem:

- a) Determinar se existe risco potencial de deficiência de oxigênio;
- b) Identificar os contaminantes presentes no ambiente e seu estado físico;
- c) Determinar se existe óleo presente no caso de contaminantes particulados;
- d) Identificar limite de tolerância, ou qualquer limite de exposição ou estimar a toxidez dos contaminantes;
- e) Verificar regulamentos ou leis específicas com relação a exposição dos contaminantes;
- f) Medir ou estimar a concentração dos contaminantes na condição de exposição ocupacional mais crítica prevista nas operações de rotina, emergência, resgate ou escape;
- g) Determinar a possibilidade de ocorrência de condições *IDLH*;
- h) Determinar se os contaminantes presentes podem ser absorvidos pela pele, se são radioativos, irritantes ou corrosivos para os olhos ou pele;
- i) Determinar se são conhecidos limiares de odor, paladar ou para a indução de irritação da pele para os gases e vapores contaminantes.

A segunda etapa da avaliação do respirador consiste em verificar se ele é capaz de reduzir a exposição do usuário a valores abaixo dos valores considerados aceitáveis. Para isso é necessário conhecer o Fator de Proteção Mínimo Requerido (FPMR) para o respirador, o qual é determinado pela equação 4:

$$FPMR = \frac{C}{LE} \quad (4)$$

Onde:

- FPMR: fator de proteção mínimo requerido;
- C: concentração mais crítica de exposição;
- LE: limite de exposição aplicável.

Uma vez determinado o FPMR, seleciona-se um respirador com fator de proteção atribuído (FPA) maior do que o valor de FPMR. No presente trabalho, os LEs utilizados serão os valores de referência *TLV ou REL*, uma vez que representam a melhor aproximação para a característica de trabalho dos combatentes florestais.

Em casos em que o FPMR for menor que 1, não é necessário a utilização do equipamento de proteção respiratória, exceto para aerossóis contendo asbesto.

A terceira etapa consiste em avaliar se o respirador é adequado à tarefa, ao usuário e ao ambiente de trabalho para que ofereça a proteção necessária durante o período de uso.

1. Com relação à tarefa:

- a. Frequência e duração da tarefa: o tempo de permanência na área de risco deve ser considerada. Devem também ser incluídas considerações sobre vida útil dos filtros;
- b. Nível de esforço físico: o esforço físico determina a quantidade de ar/gás respirável demandada pelo usuário, o que pode diminuir a autonomia do respirador;
- c. Emprego de ferramentas: as ferramentas podem influenciar no desempenho do respirador;
- d. Mobilidade: a mobilidade necessária para a realização da tarefa pode limitar a escolha do tipo de respirador;
- e. Comunicação;

- f. Vida útil dos filtros: deve ser definido os tipos e classes dos filtros, bem como a frequência de troca destes.
2. Com relação ao usuário:
    - a. Vedação: características faciais, pelos faciais e o uso simultâneo com outros EPIs podem prejudicar a vedação do respirador.
    - b. Conforto: deve ser levado em consideração o calor e o frio gerados pelos respiradores, uma vez que certos respiradores podem gerar desconforto ao usuário.
  3. Com relação ao ambiente de trabalho:
    - a. Uso em condições climáticas extremas: condições de temperatura e umidade, aumento ou diminuição da pressão do ambiente e velocidade do vento onde o respirador será utilizado.
    - b. Perigos não respiratórios: presença de fagulhas, abrasão e outros.

Uma vez feita essas considerações, é possível selecionar um respirador para determinada aplicação.



### 3. METODOLOGIA

De acordo com sua finalidade a presente pesquisa se enquadra na pesquisa aplicada que segundo Gil (2017), são pesquisas voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica. Dado que o presente trabalho busca possíveis soluções práticas para resolver um problema no âmbito do CBMDF.

De acordo com os objetivos, este trabalho é classificado como exploratório, ou seja, conforme Gil (2017, p. 33) “busca proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses”. Dessa forma, busca-se investigar a proteção respiratória para os combatentes florestais e verificar a seguinte hipótese: Há no mercado solução que mitigue os efeitos adversos da fumaça e que seja compatível com a atividade de combate a incêndio florestal?

Quanto à abordagem, este trabalho classifica-se de forma qualitativa uma vez que se pretende coletar dados por meio de interações sociais e analisar subjetivamente os resultados. Não há no presente trabalho a intenção de constatar quantitativamente a eficiência de filtros e respiradores, uma vez que esses testes já são realizados pelos fabricantes e são regulamentados por normas específicas – NBR 12543, NBR 13697 e NBR ISO 16972.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa se enquadra em pesquisa bibliográfica e documental. Isso se deve, pois a pesquisa tem alicerce em material científico já publicado e também utiliza de diversos levantamentos estatísticos feitos pelo CBMDF relacionado aos atendimentos a incêndios florestais nos anos de 2012 a 2019. A pesquisa bibliográfica se deu com a finalidade de selecionar o respirador que mais se adequa às atividades do combatente florestal. Foi utilizado o programa de proteção respiratória da Fundacentro como principal guia de seleção, assim como os valores de referência de limites de exposição ocupacional da NIOSH e ACGIH, os valores de referência *IDLH* (*Immediately dangerous to life and health*) no livro de Ludwig *et al.* (1994), e os valores de referência de concentração de poluentes na fumaça provinda de incêndios florestais nas publicações de Reinhardt e Ottmar (2004), Alencar (2018) e Adetona *et al.* (2013).

Este trabalho ainda se caracteriza por ser um levantamento, pois procura saber o nível de conhecimento dos militares especialistas com o curso de prevenção e combate a incêndios florestais (CPCIF) em relação aos tipos de

filtros e tipos de máscaras que poderiam ser utilizados durante o combate a incêndios florestais. A escolha desse grupo é conveniente, dado que ele está mais exposto aos efeitos adversos da fumaça por atuarem de forma corriqueira em incêndios em vegetação. Outro ponto importante, é que os especialistas são divulgadores da doutrina de sua respectiva especialidade, ou seja, eles são em parte responsáveis pela gestão de conhecimento dentro da corporação. Assim, é necessário que eles estejam informados e capacitados sobre as inovações e descobertas que possam auxiliá-los e protegê-los durante o exercício de suas atividades.

### **3.1 Universo e amostra**

A pesquisa se trata de uma amostragem por acessibilidade. O universo da pesquisa se trata dos militares que possuem o curso de prevenção e combate a incêndio florestal no CBMDF. De acordo com o GPRAM, na atividade são cerca de 610 especialistas. A amostra contemplou 105 militares dispersados nos quartéis multiemprego e no GPRAM. Ela foi calculada de forma que seja possível representar estatisticamente 95% do comportamento da população com erro amostral de 9%.

### **3.2 Instrumento de pesquisa**

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se a ferramenta questionário para instrumentalizar os dados relevantes para o estudo. A primeira parte do questionário buscou identificar o militar e verificar os seguintes quesitos:

- Nome de guerra;
- Posto ou graduação;
- Matrícula;
- Idade;
- Ano em que realizou o CPCIF.

A segunda parte do questionário buscou verificar o conhecimento dos militares a respeito da utilização de proteção respiratória no combate a incêndios florestais. O intuito do questionário é fazer um diagnóstico de forma a balizar a discussão a respeito do tema. Assim como, responder eventuais perguntas dos militares com o presente trabalho. As perguntas do questionário estão dispostas no apêndice A.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, o respirador e o filtro mais adequados para a atividade de combate a incêndio florestal serão definidos com base na metodologia do programa de proteção respiratória da Fundacentro.

Posteriormente, os resultados a respeito do levantamento feito com os especialistas do CPCIF serão discutidos.

É importante salientar que o presente trabalho não tem como intuito esgotar a discussão a respeito do uso de respiradores durante o combate a incêndios florestais. Ressalta-se ainda que o processo de seleção é apenas uma etapa dentro da implementação de um programa de proteção respiratória (PPR). De acordo com Fundacentro (2016), é essencial que seja estabelecido um PPR por escrito antes de se utilizar um respirador, com os procedimentos específicos para o local de trabalho. O PPR deve ser implantado, avaliado e atualizado sempre que necessário e deve ser compreendido por todos os níveis hierárquicos da empresa.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é indicar uma alternativa adequada para proteger o combatente e servir como referência para futuros trabalhos na área e, idealmente, para o PPR de incêndios florestais do CBMDF.

### 4.1 Avaliação dos riscos do ambiente

- a) Determinar se existe risco de deficiência de oxigênio durante o combate a incêndio florestal.

De acordo com CBMGO (2017), incêndio florestal é todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação. Os incêndios florestais podem ser classificados em três tipos: superficial, de copa e subterrâneo. Este último é caracterizado por uma combustão lenta por se tratar de uma queima de turfa que ocorre no subsolo com baixa concentração de oxigênio. Os incêndios superficiais e de copa ocorrem em ambientes abertos e não confinados, de forma geral esses incêndios são limitados pela oferta de combustível e pelas características do terreno. A ventilação nesse tipo de incêndio raramente é um fator limitante pois há oferta abundante de oxigênio. Dessa forma, incêndios florestais não constituem atmosferas que são caracterizadas pela deficiência de oxigênio, e será considerado que a concentração de oxigênio é maior que 18%, ou seja, o ambiente não será considerado atmosfera *IDLH*.

- b) Identificar os contaminantes presentes no ambiente e seu estado físico;

Como já visto em seções anteriores, alguns dos principais contaminantes presentes na fumaça dos incêndios florestais, são:

- Acroleína;
- Dióxido de Carbono;
- Formaldeído;
- Material particulado fino e grosso;
- Monóxido de Carbono.

Os contaminantes da fumaça podem estar tanto na fase gasosa quanto em forma líquida ou sólida, porém dispersa no ar em forma de aerodispersóide. Para cada contaminante será utilizada a equação (4) para obter o FPMR. Nota-se que não há dados disponíveis a respeito de todos os contaminantes presentes na fumaça, constituindo uma das limitações do presente trabalho, assim há uma subestimação dos valores de FPMR calculados. A fumaça é uma mistura complexa de gases composta por diversos elementos que possuem características semelhantes, e que afetam os mesmos órgãos, assim para obter o  $FPMR_{mistura}$  serão utilizadas as equações (5) e (6) para contabilizar o efeito aditivo ou sinérgico dessas substâncias. De acordo com Reinhardt e Ottmar (2004), a acroleína, formaldeído e o MP fino constituem substâncias irritantes e a presença desses contaminantes juntos possuem efeitos aditivos.

$$\left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = \left(\frac{C_1}{LE_1}\right) + \left(\frac{C_2}{LE_2}\right) + \dots + \left(\frac{C_n}{LE_n}\right) \quad (5)$$

$$se \left(\frac{C_m}{LE_m}\right) > 1 \therefore \left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = FPMR_{mistura} \quad (6)$$

Onde:

- $C_{1,2,..n}$  = concentração crítica de exposição de cada substância;
- $LE_{1,2,..n}$  = Limite de exposição respectivo;
- $C_m$  e  $LE_m$  = concentração e limite de exposição da mistura.

Caso o quociente  $C_m/LE_m$  for menor que 1.0, não é necessário equipamento de proteção respiratória. Caso esse valor seja maior que 1.0, o valor encontrado será o  $FPMR_{mistura}$ .

#### 4.1.1 Acroleína

Para a Acroleína, de acordo com Ludwig, *et al.* (1994) o limite de exposição permissível ocupacional é de 0,1 ppm *TWA*, tanto o *TLV* quanto o *REL*. Não há dados coletados em incêndios ocorridos no Brasil referenciando a concentração instantânea de acroleína, por isso serão utilizados os dados de Reinhardt e Ottmar (2004) como referência. Os autores constataram, nos estudos realizados em solo norte americano, que um valor de referência para a exposição do combatente a acroleína seria de 0,015 ppm ajustado para *TWA*. Para a acroleína a equação (4) fica:

$$FPMR_{acroleína} = \frac{0,015}{0,1}$$

$$FPMR_{acroleína} = 0,15$$

#### 4.1.2 Dióxido de carbono

Para o dióxido de carbono, segundo Ludwig *et al.* (1994), o limite de exposição permissível ocupacional é de 5000 ppm *TWA*, tanto o *TLV* quanto o *REL*. Não há dados coletados em incêndios ocorridos no Brasil referenciando a concentração instantânea de dióxido de carbono, por isso serão utilizados os dados de Reinhardt e Ottmar (2004), que mediram uma concentração média de 588 ppm ajustado para *TWA* próximo à linha de fogo durante os incêndios analisados. Para o dióxido de carbono a equação (4) fica:

$$FPMR_{Dióxido\ de\ Carbono} = \frac{588}{5000}$$

$$FPMR_{Dióxido\ de\ Carbono} = 0,1176$$

#### 4.1.3 Formaldeído

Para o formaldeído, de acordo com Ludwig *et al.* (1994), o limite de exposição permissível ocupacional é de 0,3 ppm *TWA* para o *TLV* e para o *REL* é de 0,016 ppm *TWA*, uma vez que a NIOSH considera o formaldeído um agente cancerígeno. Dessa forma será utilizado como referência o limite estipulado pela NIOSH, por ser mais conservador. Não há dados coletados em incêndios ocorridos no Brasil referenciando a concentração instantânea de formaldeído, por isso serão utilizados os dados de Reinhardt e Ottmar (2004), que

constatarem que durante o turno de trabalho dos combatentes florestais a concentração média de formaldeído foi de 0,013 ppm ajustado para *TWA*. Para o formaldeído a equação (4) fica:

$$FPMR_{Formaldeído} = \frac{0,013}{0,016}$$

$$FPMR_{Formaldeído} = 0,8125$$

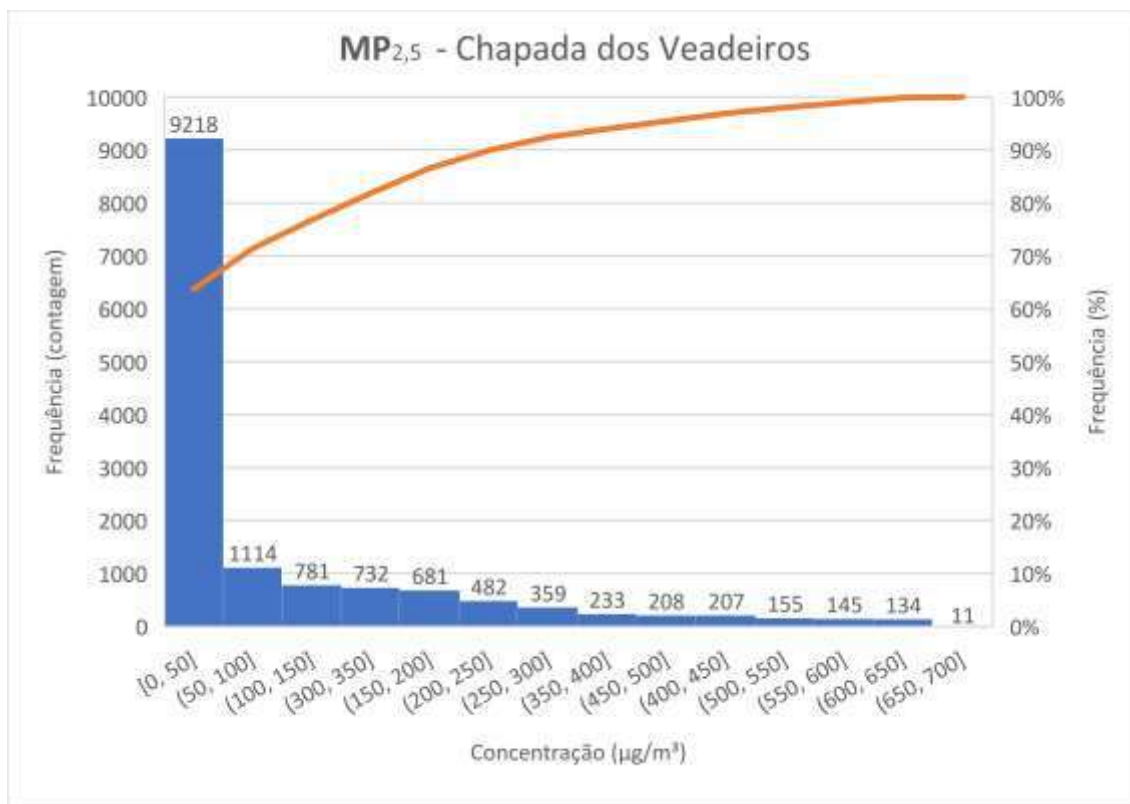
#### 4.1.4 Material particulado

Para o  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  será utilizado o que é recomendado pela *ACGIH*, de que as concentrações devem ser mantidas abaixo de 3  $mg/m^3$  para o  $MP_{2,5}$  e de 10  $mg/m^3$  para o  $MP_{10}$ . É importante lembrar que não há *TLV* definido para o  $MP$ , como já discutido anteriormente. Ressalta-se que os limites de exposição de 24 horas definidos pela *EPA* e pela *OMS* não são aplicáveis, uma vez que representam índices de qualidade do ar e não um limite de exposição ocupacional.

Conforme Reinhardt e Ottmar (2004), para cada contaminante é possível aplicar um fator redutor para que seja aplicável a turnos de trabalho mais curtos ou mais longos, porém no caso de material particulado tal redução não deve ser feita em razão de sua natureza irritante. Saliencia-se ainda que como foi evidenciado nas figuras 5 e 6, a exposição do combatente florestal é intermitente com grande variação, ou seja, se torna difícil estipular um valor específico para uma exposição longa e contínua como é assumido nos cálculos das equações da metodologia da Fundacentro. Assim, para balizar os valores de concentração crítica ajustada serão utilizados os estudos Reinhardt e Ottmar (2004) e de Adetona *et al.* (2013).

Para que se entenda a natureza da exposição do combatente florestal foi feito um histograma de frequência das concentrações instantâneas de material particulado. A figura 9 ilustra o histograma dos incêndios monitorados na chapada dos veadeiros.

**Figura 9: Concentração instantânea de MP<sub>2,5</sub> – GO**



Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR, *et al.* (2019).

Evidencia-se que, durante os combates, a concentração instantânea de MP<sub>2,5</sub> predominou nos intervalos de 0 a 50 µg/m<sup>3</sup> com frequência relativa acima de 60%. Cerca de 92% das concentrações medidas na chapada dos veadeiros ficaram abaixo de 350 µg/m<sup>3</sup>. É importante notar também que os períodos analisados compreendem turnos de trabalho de 3 a 5 horas e que cada contagem de frequência é representada pela concentração instantânea de análise (uma aferição a cada 2 segundos de combate). Durante os estudos feitos por Alencar *et al.* (2019) não houve diferenciação quanto a exposição do bombeiro na linha do fogo, durante ataque inicial ou rescaldo.

Nesses incêndios monitorados por Alencar *et al.* (2019) a maior concentração de MP<sub>2,5</sub> foi de 0,655 mg/m<sup>3</sup>. De acordo com Reinhardt e Ottmar (2004), as concentrações médias de MP fino ajustadas para TWA na linha de fogo chegaram a 0,5 mg/m<sup>3</sup> em incêndios florestais analisados em solo norte americano. Segundo Adetona *et al.* (2013), em incêndios monitorados nos anos de 2008 e 2009 nos Estados Unidos, foi registrado concentrações médias de MP fino ajustado para TWA de 0,483 mg/m<sup>3</sup> a 0,581 mg/m<sup>3</sup>. Nota-se que há convergência nos valores encontrados pelos diferentes autores para as concentrações de MP fino ajustadas para TWA.

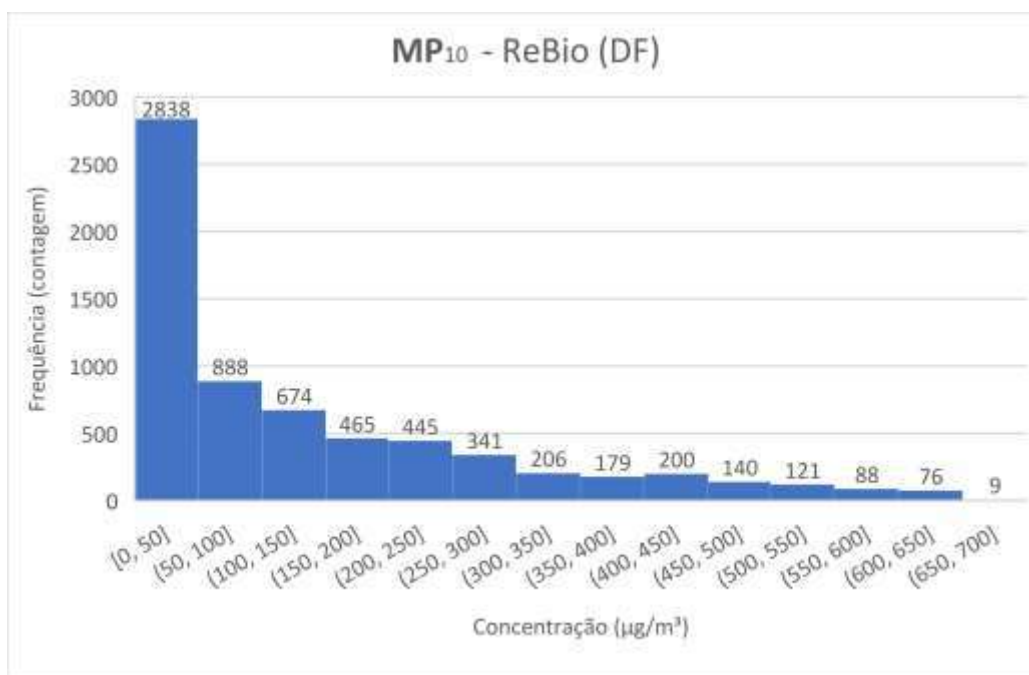
Para o cálculo do FPMR para o MP fino será utilizado os valores de referência de Adetona *et al.* (2013), por resultar em valores de FPMR mais conservadores. Dessa forma para o MP<sub>2,5</sub> a equação (4) fica:

$$FPMR_{Material\ Particulado\ Fino} = \frac{0,581}{3}$$

$$FPMR_{Material\ Particulado\ Fino} = 0,194$$

Para o MP<sub>10</sub>, o histograma da figura 10 ilustra as frequências das concentrações aferidas.

**Figura 10: Concentração instantânea de MP<sub>10</sub> – DF**



Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

Durante os combates, a concentração instantânea de MP<sub>10</sub> na reserva biológica do DF se concentrou no intervalo de 0 a 50 µg/m<sup>3</sup> com frequência relativa de cerca de 65%. Cerca de 95% das concentrações medidas na reserva biológica do DF ficaram abaixo de 500 µg/m<sup>3</sup>.

Em razão dos poucos dados obtidos, principalmente com relação aos turnos de trabalho mais curtos em relação às pesquisas de Adetona *et al.* (2013) e Reinhardt e Ottmar (2004), os valores de TWA ajustado calculados a partir dos estudos de Alencar, *et al.* (2019) não são suficientes para serem valores de referência para os cálculos de FPMR, assim, a concentração mais crítica de MP<sub>10</sub> foi definida pelos estudos de Reinhardt e Ottmar (2004), que registrou, durante



o turno de trabalho, valores médios de material particulado inalável de 1,47 mg/m<sup>3</sup> ajustado para *TWA*. Assim, a equação (4) para o MP<sub>10</sub>, fica:

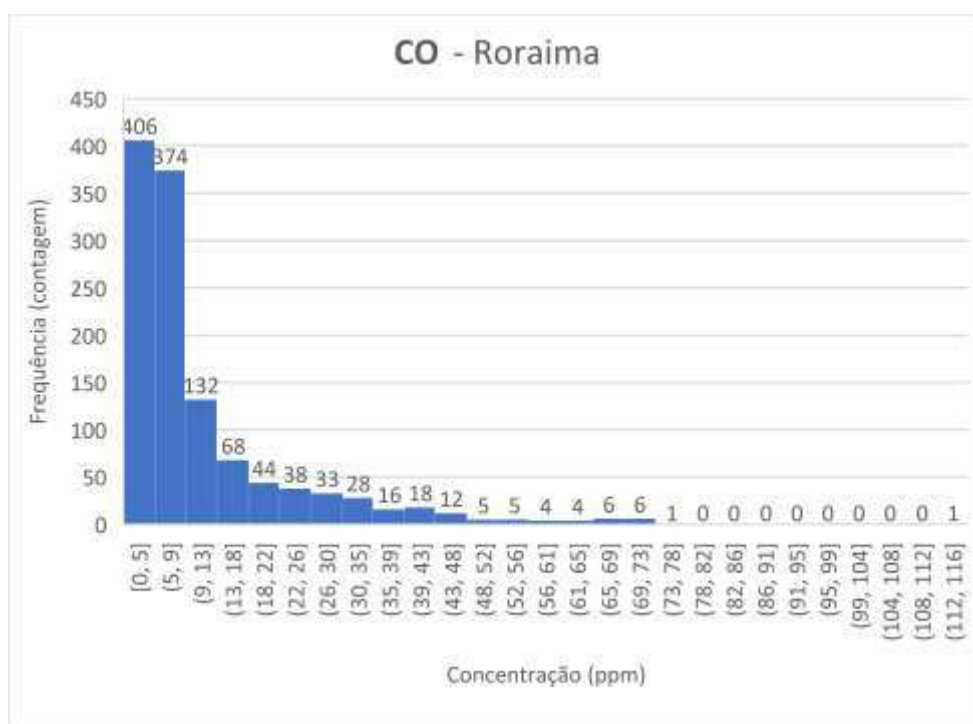
$$FPMR_{Material\ Particulado\ Grosso} = \frac{1,47}{10}$$

$$FPMR_{Material\ Particulado\ Grosso} = 0,147$$

#### 4.1.5 Monóxido de carbono

Para o monóxido de carbono, de acordo com Ludwig *et al.* (1994), o limite de exposição permissível *TLV* é de 25 ppm *TWA* e o *STEL* de 200 ppm. Os incêndios analisados por Alencar *et al.*, (2019) na chapada dos veadeiros, na reserva biológica do DF e em Roraima registraram médias de 7 ppm, 0,15 ppm e 10 ppm e as máximas de 11,5 ppm, 2,4 ppm e 114 ppm respectivamente em combates que duraram entre 3 e 5 horas. Assim, como discutido na seção do material particulado, a exposição é intermitente e por vezes há registro de altas concentrações por curtos períodos de tempo. O histograma da figura 11 ilustra essa característica.

**Figura 11: Concentração média de CO por minuto – Roraima**



Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

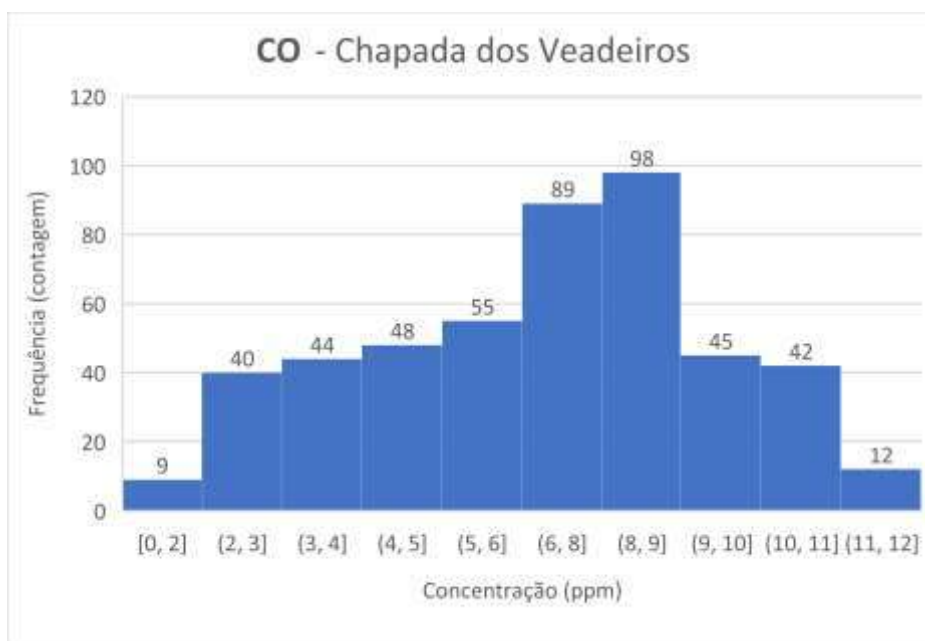
Nos incêndios monitorados no estado de Roraima ao longo de 11 dias nos meses de dezembro de 2016 e março de 2017 foram registradas as maiores

concentrações médias por minuto de 114 ppm de CO. Nota-se ainda que 93,6% das aferições feitas representam valores de concentração de CO abaixo de 35 ppm (*REL*) e 88% ficaram abaixo de 25 ppm (*TLV*). Tais dados são condizentes com os valores aferidos por Reinhardt e Ottmar (2004), que indicaram que entre 5 e 7% das concentrações de CO medidas ultrapassaram os limites de exposição ocupacional *REL* para CO. Já o valor de *STEL* de 200 ppm não foi ultrapassado durante o combate em Roraima, quando se analisa a média das aferições por minuto.

Utilizando os estudos de Alencar *et al.* (2019) e aplicando a equação do  $TWA_a$  para cada minuto e sua concentração correspondente, o valor da concentração média ajustada para *TWA* é de 7,04 ppm para os incêndios em Roraima. Os estudos de Adetona, *et al.* (2013), indicam concentrações de CO ajustadas para *TWA* de 8,2 ppm nos incêndios analisados, já Reinhardt e Ottmar (2004) registraram concentrações de CO ajustadas para *TWA* de 30,5 ppm. Para os incêndios analisados por Reinhardt e Ottmar (2004) a concentração de CO ajustada para *TWA* é superior ao limite *TLV* e inferior ao limite *REL*.

No incêndio monitorado por Alencar *et al.* (2019) na chapada dos veadeiros foi registrado uma concentração média por minuto máxima de 11,5 ppm de CO. O valor de exposição  $TWA_a$  para esse incêndio não foi calculado, uma vez que a máxima concentração aferida não ultrapassou os valores limites de *TLV*, como ilustra a figura 12.

**Figura 12: Concentração média de CO por minuto – GO**



. Fonte: Elaborado pelo autor – Banco de dados de ALENCAR *et al.* (2019).

Para o monóxido de carbono há poucas alternativas de EPRs que conseguem proteger o combatente. Uma alternativa seria o EAPR de circuito fechado ou aberto, de forma a isolar o combatente do ambiente externo. Porém, como já mencionado, o EAPR é incompatível com a atividade florestal. Outra alternativa é a utilização de filtros específicos para retenção de CO por meio de catalisadores. Esses filtros não são bem difundidos no mercado ainda por se tratarem de uma tecnologia relativamente nova, assim, é necessário aguardar para que as agências reguladoras testem devidamente o equipamento antes que seu uso seja recomendado.

Dessa forma, a alternativa viável é o controle da exposição dos combatentes, por meio do constante monitoramento desse gás durante o combate e o revezamento das guarnições durante a supressão dos focos de incêndio, principalmente em áreas com alta densidade de fumaça. Para o monitoramento, recomenda-se o uso de um dosímetro de CO que alerte os bombeiros para concentrações acima dos limites de exposição ocupacional estabelecidos (AUSTIN, 2008).

Reinhardt e Ottmar (2004) realizaram ainda regressões lineares dos dados, juntamente com a análise qualitativa dos observadores de campo dos incêndios, de forma a prever as concentrações dos principais contaminantes da fumaça dependendo de sua condição. A regressão tem alicerce na concentração de CO, que é facilmente verificada por meio de dosímetro de CO, e fornece estimativas dos outros contaminantes da fumaça em função da concentração de CO aferida. O modelo matemático englobou o formaldeído e material particulado. Os dados referentes a acroleína não eram suficientes para realizar uma regressão linear. As figuras 13, 14 e 15 ilustram as concentrações inferidas dos contaminantes e as condições da fumaça para cada situação.

**Figura 13 – Fumaça de leve densidade com concentrações:  
CO: 15 ppm/ Formaldeído: 0,1 ppm/ MP<sub>fino</sub>: 2 mg/m<sup>3</sup>.**



Fonte: Adaptado de REINHARDT e OTTMAR (2004).

**Figura 14 – Fumaça de média densidade com concentrações:  
CO: 30 ppm/ Formaldeído: 0,15 ppm/ MP<sub>fino</sub>: 3 mg/m<sup>3</sup>.**



Fonte: Adaptado de REINHARDT e OTTMAR (2004).

**Figura 15 – Fumaça de alta densidade com concentrações:**

**CO: 44 ppm/ Formaldeído: 0,2 ppm/ MP<sub>fino</sub>: 5 mg/m<sup>3</sup>.**



Fonte: Adaptado de REINHARDT e OTTMAR (2004).

Nota-se que os dados representados pelas figuras 13, 14 e 15 se tratam de inferências deduzidas por regressões matemáticas e análise qualitativa de campo. Esses valores não representam as concentrações médias de exposição ajustadas para *TWA*. Deve-se lembrar que a exposição do combatente florestal é intermitente, o que mitiga sua exposição.

#### 4.1.6 Mistura irritante

Como mencionado na seção 4.1.1 a acroleína, formaldeído e o material particulado fino possuem efeitos aditivos, assim, deve-se utilizar as equações (5) e (6) para definir o  $FPMR_{mistura}$ . Dado que:

- $FPMR_{acroleína} = 0,15$
- $FPMR_{formaldeído} = 0,8125$
- $FPMR_{MP_{2,5}} = 0,194$

$$\left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = \left(\frac{C_1}{LE_1}\right) + \left(\frac{C_2}{LE_2}\right) + \dots + \left(\frac{C_n}{LE_n}\right) \quad (5)$$

$$\left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = \left(\frac{C_{acroleína}}{LE_{acroleína}}\right) + \left(\frac{C_{formaldeído}}{LE_{formaldeído}}\right) + \left(\frac{C_{MP\ fino}}{LE_{MP\ fino}}\right)$$

$$\left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = 1,15 ;$$

$$se \left(\frac{C_m}{LE_m}\right) > 1 \therefore \left(\frac{C_m}{LE_m}\right) = FPMR_{mistura} \quad (6)$$

$$1,15 = FPMR_{mistura}$$

O valor  $C_m/LE_m$  ficou acima de 1 para dados analisados, o que indica que é necessário proteção respiratória para os combatentes. Porém, há limitações nos cálculos, uma vez que há diversas substâncias irritantes que não foram monitoradas e podem contribuir para o aumento do valor de  $C_m/LE_m$ . Cabe ainda pontuar que o limite de exposição ocupacional referente ao material particulado não é formalmente definido pelas agências reguladoras, há apenas a recomendação de que as exposições aos trabalhadores devem ficar abaixo de  $3 \text{ mg/m}^3$ . Outro ponto relevante é que no Brasil há poucos estudos a respeito da exposição do combatente florestal, e considerando que a característica da vegetação, os fatores meteorológicos e o relevo influenciam de forma significativa para os incêndios, é de suma importância analisar mais incêndios locais de forma a confirmar os achados internacionais.

#### **4.2 Avaliar a adequação do respirador à exposição.**

Como discutido na seção anterior, os dados analisados indicam que os limites de exposição ocupacional para o monóxido de carbono e para a mistura irritante não são respeitados. Segundo Reinhardt e Ottmar (2004), cerca de 5% das concentrações médias por turno para o CO ultrapassaram o limite *TLV* e 10% das concentrações médias por turno para a mistura irritante ultrapassaram o limite *TLV* nos incêndios analisados pelos autores em solo norte americano.

Para a mistura irritante, a análise dos dados de Alencar *et al.* (2019), Adetona *et al.* (2013) e Reinhardt e Ottmar (2004) resultaram no  $C_m/LE_m$  calculado de 1,15, indicando a necessidade de proteção respiratória. Para o CO, nos incêndios monitorados no Brasil por Alencar *et al.* (2019) o FPMR ficou abaixo de 1, assim como nos incêndios monitorados por Adetona *et al.* (2013) nos Estados Unidos, porém os estudos feitos por Reinhardt e Ottmar (2004) indicaram concentrações médias por turno de 30,5 ppm em cerca de 5% dos turnos analisados, com um FPMR calculado de 1,22.

Como já discutido, ainda não há proteção para o CO, deve ser feito o controle de exposição para mitigar os efeitos desse contaminante junto ao seu monitoramento. Segundo Austin (2008), o uso de respiradores deve ser considerado um meio secundário de proteção, o principal método consiste nas técnicas de revezamento, o combate com o vento pelas costas e por métodos preventivos.

Dito isso, para a mistura irritante de  $C_m/LE_m$  igual a 1,15, o respirador adequado deve possuir fator de proteção atribuído (FPA) maior que o valor de  $C_m/LE_m$ . Há dois tipos de purificadores de ar que são elegíveis:

- peça semifacial: FPA = 10 (com vedação)
- peça facial inteira: FPA = 100 (com vedação)

Para a mistura irritante, analisando apenas o  $C_m/LE_m$ , os dois respiradores são capazes de proteger o usuário da exposição.

Para selecionar o filtro, é necessário analisar se este é capaz de reter o material particulado e as substâncias irritantes, como acroleína, formaldeído e outros, que em sua maioria são vapores advindos da queima da biomassa, ou seja, vapores orgânicos. Além disso, como a fumaça advinda dos incêndios florestais pode ou não conter partículas à base de óleo, o filtro deve ser capaz de retê-las também.

O filtro deve ser selecionado de forma que, a concentração do poluente não seja superior que sua capacidade de filtragem, no caso dos filtros químicos. Para os filtros mecânicos, deve ser analisado o percentual de penetração requerido, assim como o ensaio de penetração e a resistência máxima inicial ventilatória.

O filtro mais adequado é o combinado classe P3 SL e para baixas concentrações de Vapores Orgânicos. Esse filtro possui as seguintes características:

- O filtro P3 é indicado para poeiras, névoas fumos radionuclídeos e particulados altamente tóxicos. Ele possui baixa penetrabilidade, 0,05% de acordo com os testes com aerossol de NaCl, quando comparado ao P2 que possui penetrabilidade de 6%.
- SL: essa característica do filtro permite reter partículas que tenham como base óleo ou não.
- Filtro para baixas concentrações de vapores orgânicos: como demonstrado em seções anteriores, os vapores orgânicos como formaldeído e acroleína são contaminantes irritantes perigosos aos bombeiros. Porém, suas concentrações na fumaça são baixas e para os casos analisados, de acordo com 3M (2018) ficam abaixo do nível de ação, que é metade do limite de tolerância. O limite de tolerância utilizado como referência para os filtros da 3M são os

valores estipulados na NR-15 ou os valores de *TLV* definidos pela *ACGIH*.

O filtro de classe P3 é uma seleção mais conservadora e protege mais o combatente devido sua baixa penetrabilidade, quando comparado ao filtro de classe P2. Porém, o filtro P3 possui resistência ventilatória inicial máxima de 420 Pa, para um fluxo de ar de 95L/min, enquanto que o filtro P2 possui resistência ventilatória de 240 Pa para o mesmo fluxo de ar. Assim a resistência ventilatória do filtro P3 é quase 2 vezes maior que a do filtro P2, o que pode causar desconforto durante a atividade de combate, que pode durar longos períodos.

Como mencionado em seções anteriores, não há muitos estudos a respeito da proteção respiratória dos bombeiros florestais, assim há a impossibilidade de determinar com precisão algumas questões que dependem de confirmação e estudos práticos, como essa relação de *trade-off* entre penetrabilidade e resistência ventilatória entre os filtros P2 e P3. A tabela 10 ilustra a resistência ventilatória máxima inicial de cada filtro.

**Tabela 10: Resistência máxima à respiração dos filtros para partículas.**

Classe do Filtro	Resistência Máxima Inicial (Pa)	
	Fluxo de ar contínuo a 30L/min	Fluxo de ar contínuo a 95L/min
P1	60	210
P2	70	240
P3	120	420

Fonte: Adaptado de ABNT (2010).

#### **4.3 Avaliação da adequação do respirador à tarefa, ao usuário e ao ambiente de trabalho.**

Além de possuir o fator de proteção atribuído adequado o respirador deve se adequar às circunstâncias do trabalhador. No caso dos incêndios florestais, os quesitos aplicáveis da metodologia Fundacentro nessa seção são:

- Frequência e duração da tarefa;
- Nível de esforço físico;
- Vida útil dos filtros;
- Vedação;
- Adequação ao ambiente de trabalho.



### 4.3.1 Frequência e duração da tarefa.

Segundo Ruby *et al.* (2002), o trabalho de combate a incêndios florestais pode envolver períodos entre 12 horas e 18 horas de atividade, envolvendo grande gasto energético.

Além disso, há que se considerar a característica intermitente da exposição que os bombeiros estão sujeitos, evidenciada em seções anteriores. Assim, o tempo de permanência em locais com grande exposição, onde o respirador é necessário, é difícil de ser determinado. Dado essa característica da exposição, é lógico presumir que o uso da proteção respiratória deve acompanhar essa peculiaridade, não existindo necessidade da utilização do EPR a todos os momentos.

Dessa forma, é recomendável que a utilização dos respiradores seja feita apenas em situações próximas aos focos, ou durante as atividades de combate e supressão aos incêndios, de forma a evitar que a resistência respiratória do respirador gere cansaço desnecessário ao usuário.

Por esse motivo, o respirador deve ser leve e de fácil utilização, de forma que não cause desconforto durante as longas horas de combate.

É importante lembrar ainda que segundo Austin (2008) a máscara é uma proteção secundária, os métodos preventivos são a proteção principal do combatente florestal.

### 4.3.2 Nível de Esforço Físico.

Segundo Bycura, *et al.* (2019), o mínimo exigido pela *NFPA* para os bombeiros é uma capacidade aeróbica máxima de 42 ml/kg.min. De acordo com *USDA* (2001), as tarefas que envolvem o combate a incêndios florestais demandam 7.5 kcal/min ou 22,5 ml/kg.min em média. Dessa forma, o trabalho do combatente florestal é classificado como trabalho muito, muito pesado que segundo a *Fundacentro* (2016, p. 93):

Trabalho contínuo de até 2 horas sem interrupção. Trabalho de resgate com equipamentos pesados e/ou equipamentos de proteção individual; escape de minas ou túneis; indivíduos em boa condição física exercendo 50% – 60% de sua capacidade aeróbica máxima; caminhar rápido ou correr com equipamentos de proteção individual e/ou ferramentas ou materiais; caminhar a 5 km/h em rampa com 10% de elevação.

Assim, o trabalho do combatente florestal exige 85 L/min de ar respirável.

### **4.3.3 Vida útil dos filtros.**

Segundo 3M (2022a) A vida útil dos filtros mecânicos é variável, dependendo de diversos fatores tais como o tipo de contaminante, sua concentração, a frequência respiratória do usuário e a conservação do produto. O filtro mecânico deve ser trocado sempre que o usuário perceber um aumento na dificuldade de respiração através do filtro. Isto significa que ele se encontra saturado (entupido). Também deve ser trocado sempre que houver danos físicos, e quando não estiver mais em condições adequadas de higiene.

Assim, são necessárias mais pesquisas para determinar a vida útil dos filtros utilizados nos combates, uma vez que a exposição intermitente a concentrações elevadas pode ter efeitos não esperados na vida útil dos filtros.

### **4.3.4 Vedação.**

Segundo Pareja e Lorenzo (2020), o equipamento de proteção respiratória tem sua proteção baseada na capacidade do equipamento de isolar o usuário do perigo, a vedação é de grande importância. Dessa forma, um respirador adequado é aquele que se molda ao rosto do usuário de forma a não permitir a entrada do contaminante ou não permitir sua entrada sem que tenha sido purificado por filtros.

## **4.4 Adequação ao ambiente de trabalho.**

De acordo com a metodologia da Fundacentro (2016), o respirador deve se adequar ao ambiente de trabalho. Assim, para a utilização no combate a incêndio florestais o respirador deve possuir resistência ao calor. A maioria dos respiradores disponíveis na indústria são feitos de elastômeros termoplásticos (TPE), que possuem resistência a temperaturas de até 120°C. Segundo Carballo-Leyenda (2019) em um estudo feito para determinar as temperaturas nas mediações locais que os combatentes florestais estão sujeitos foi identificado que nas áreas mais quentes as temperaturas chegaram a  $78 \pm 8,9$  °C com temperaturas médias de  $32 \pm 8,9$  °C.

Nota-se a importância de se verificar o material constituinte do respirador junto ao fabricante para evitar que o equipamento apresente problemas.

#### 4.5 Respirador para combate a incêndios florestais.

Com base na seção 4.1, o respirador adequado à atividade de combate a incêndios florestais é a máscara semifacial ou facial completa, constituídos de elastômero termoplástico, uma vez que oferecem a proteção necessária compatível com a exposição do combatente. A máscara semifacial possui um fator de proteção atribuído mais baixo, porém é alto suficiente para os níveis de exposição do combatente florestal. Além disso, é uma máscara leve, que pode ser colocada e retirada de forma rápida, facilitando a comunicação e seu uso de forma intermitente.

De acordo com os manuais de utilização e os dados obtidos das literaturas estudadas, o filtro que mais se adequa à atividade de combate a incêndios florestais é o filtro combinado P3 SL e para baixas concentrações de vapores orgânicos. Ressalta-se que, o filtro P2 SL pode ser uma opção viável, porém por falta de estudos práticos é difícil dizer se a diferença de penetrabilidade de 5% entre o filtro P2 e P3 é significativa para a atividade de CIF. De forma resumida, são compatíveis com a atividade de CIF:

- Os filtros 3M 2097, 3M 2078, 3M 60926;
- A máscara semifacial 3M séries 6100, 6200 e 6300 e a facial completa 3M séries 6700, 6800 e 6900.

Os filtros 3M 2097 e 3M 2078 são filtros combinados P3/Baixas concentrações de vapores orgânicos, e devem ser utilizados até o nível de ação para proteção contra vapores orgânicos, que é metade do limite de tolerância ou *TLV*. (3M, 2018).

É importante lembrar que o presente trabalho carece de comprovações práticas dos equipamentos de proteção em campo, ou seja, os equipamentos são compatíveis com o nível de exposição do combatente florestal, porém não foram coletados dados práticos sobre sua utilização. Torna-se necessário um estudo mais abrangente para verificar os eventuais problemas que a utilização do EPI traz ao combatente, antes de implementá-lo de forma corporativa.

As figuras 16 e 17 ilustram a máscara semifacial série 6200 e o filtro P3 2097 respectivamente.

**Figura 16 – Máscara semifacial em Elastômero termoplástico.**



Fonte: 3M (2022c).

**Figura 17 – Filtro combinado P3/Baixas concentrações vapores orgânicos.**



Fonte: 3M (2022b).

É importante ressaltar novamente que junto com o EPR devem ser executadas as técnicas preventivas de combate, de forma a reduzir a exposição dos combatentes. Além disso, para monitorar o CO, é fundamental que haja um dosímetro de CO junto a guarnição de combate para que os limites de exposição sejam respeitados.

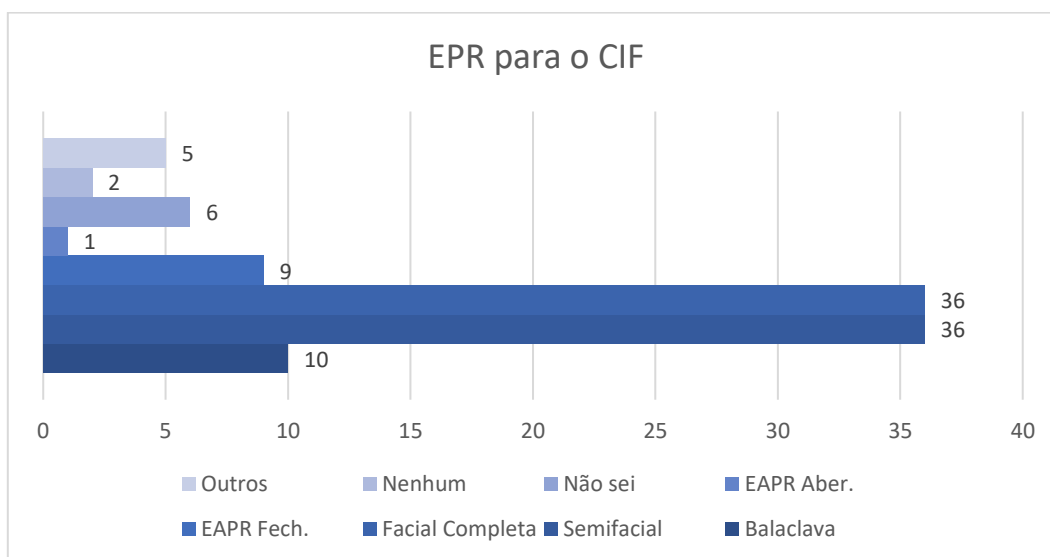
#### **4.6 Diagnóstico do conhecimento da tropa especializada**

A exposição dos combatentes florestais, como visto em seções anteriores, é bastante complexa. Envolve vários contaminantes que podem ou não possuir efeitos aditivos, um regime de trabalho não convencional que pode durar mais de 12 horas com longas caminhadas e alto gasto metabólico, incêndios que mudam de forma significativa de acordo com as condições meteorológicas e o tipo de vegetação no local. Em razão desses fatores, é plausível que a proteção respiratória para esse profissional tenha que atender condições muito específicas.

Por conta dessa complexidade e pela ampla gama de filtros e máscaras no mercado é esperado que, na ausência de uma diretiva ou instrução clara a respeito, não haja conhecimento difundido e consolidado sobre o tema na corporação. Assim, o questionário aplicado aos militares especializados busca verificar o nível de conhecimento dos militares a respeito da exposição e da proteção respiratória do combatente florestal com o intuito de verificar se é necessário instrução e treinamento com relação ao tema.

A figura 18 ilustra a opinião dos militares com relação ao EPR adequado à atividade de CIF.

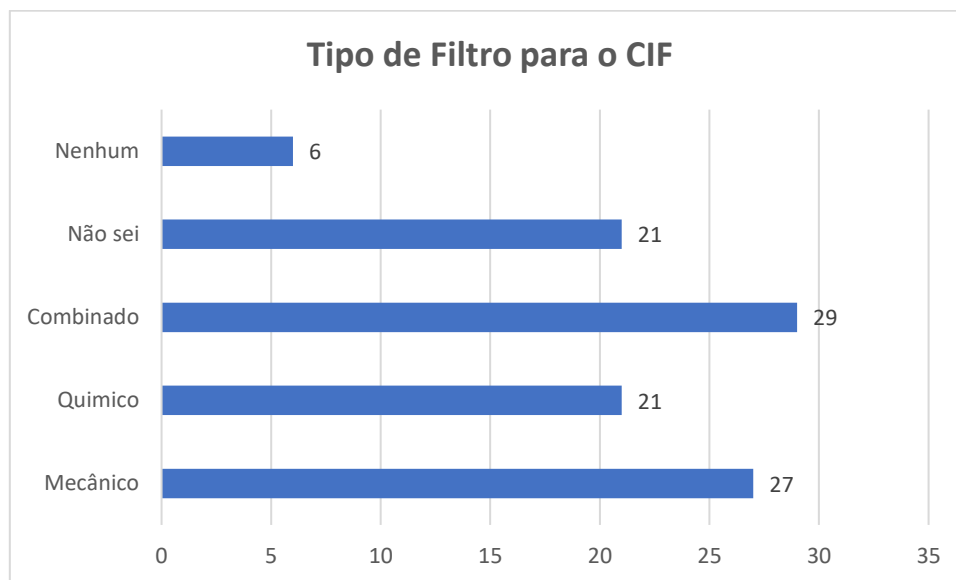
**Figura 18 – Levantamento sobre EPR adequado ao CIF.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse quesito, cerca de 70% dos militares possuem conhecimento com relação aos EPRs mais adequados à atividade, as máscaras semifaciais e faciais completas. Os EAPRs tanto fechado quanto abertos, atualmente, ou não possuem autonomia suficiente ou são extremamente pesados para serem carregados durante horas, nas longas caminhadas características da atividade de CIF. Como já discutido a balaclava não oferece proteção respiratória, apenas proteção térmica.

A figura 19 ilustra a opinião dos militares com relação ao tipo de filtro adequado à atividade de CIF.

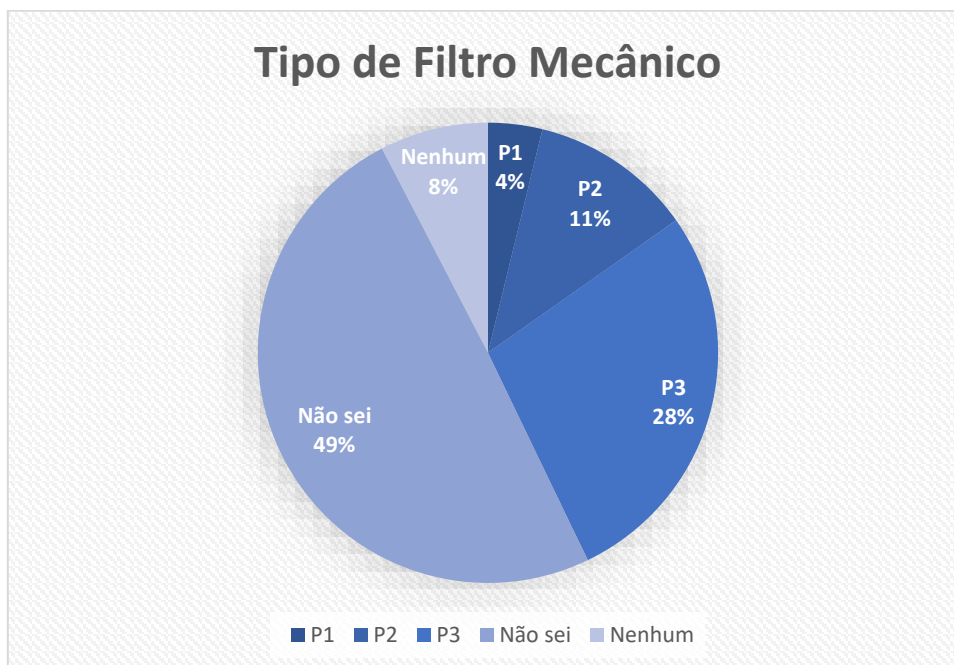
**Figura 19 – Levantamento sobre tipo de filtro adequado ao CIF.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa pergunta, os resultados estão bastante similares, mostrando que há certa dúvida com relação ao tipo de filtro. Segundo Austin (2008) os incêndios florestais liberam grande quantidade de material particulado, gases ácidos, vapores orgânicos e inorgânicos. Assim, o filtro combinado é o mais adequado para a atividade, por conseguir reter partículas e substâncias químicas. De acordo com Adetona *et al.* (2013) os bombeiros florestais estão expostos a altos níveis de material particulado e segundo os dados de Reinhardt e Ottmar (2004) as concentrações de vapores orgânicos como acroleína, formaldeído e benzeno são baixas quando comparadas com os limites de exposição ocupacionais. Assim, o filtro deve ser capaz de reter o MP e reter os vapores orgânicos em baixas concentrações.

Como não há proteção respiratória para o CO sem a utilização de EAPR, é importante a utilização de um medidor de monóxido de carbono para alertar os bombeiros sobre concentrações que ultrapassem os limites de exposição ocupacional. Como já discutido e segundo Austin (2008), a máscara não oferece proteção completa, ela deve ser utilizada de forma conjunta com as técnicas de combate – utilizar-se do vento pelas costas, evitar zonas em que a fumaça esteja muito densa e utilizar de revezamento dentro das guarnições quando possível.

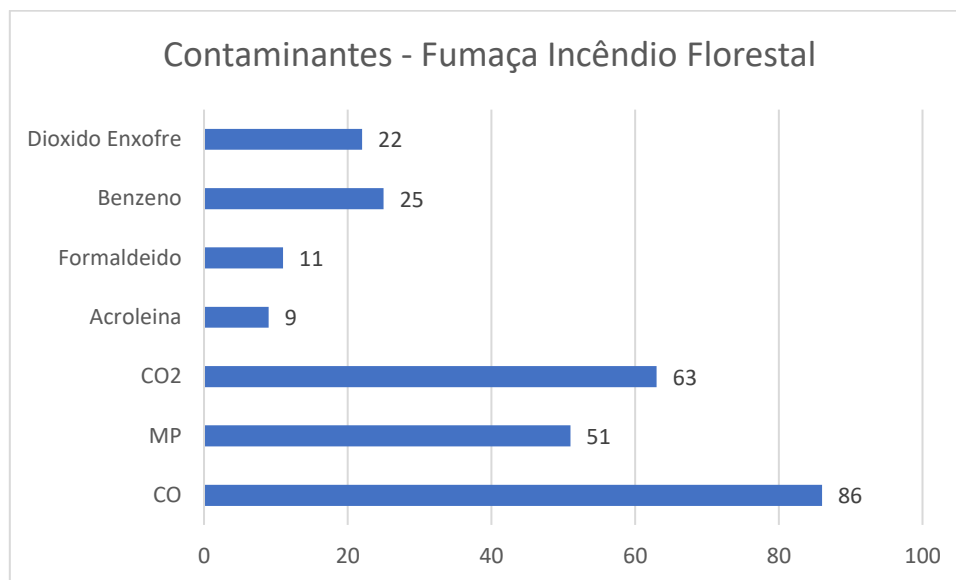
A figura 20 ilustra a opinião dos militares com relação ao tipo de filtro mecânico adequado à atividade de CIF.

**Figura 20 – Levantamento sobre filtros mecânicos adequados ao CIF.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse quesito, os resultados indicam que cerca de metade dos militares questionados não sabiam que tipo de filtro mecânico seria mais adequado. Para a atividade de CIF, o que mais protege o combatente é o filtro P3, devido sua baixa penetrabilidade, conforme ABNT (2010) o filtro P3 possui penetrabilidade de 0,05%, o P2 de 6% e o P1 de 20%, de forma que o material particulado representa uma exposição relevante para o combatente é necessário o máximo de proteção contra esse contaminante. Há aqui, porém uma questão referente a resistência ventilatória, uma vez que o filtro P3 apresenta praticamente o dobro de resistência do filtro P2, o que pode vir a atrapalhar de forma demasiada o combate. Assim, são necessários mais estudos para definir qual filtro seria ótimo para atividade, de forma a oferecer proteção suficiente e não diminuir a capacidade laboral do bombeiro florestal.

A figura 21 ilustra a opinião dos militares com relação aos contaminantes presentes na fumaça dos incêndios florestais.

**Figura 21 – Levantamento sobre EPR adequado ao CIF.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse quesito, nota-se que os militares questionados possuem conhecimento com relação aos contaminantes, elencando o CO como um dos mais relevantes e o material particulado como o terceiro. Novamente, a fumaça é uma mistura complexa formada por diversos elementos perigosos, entre eles monóxido de carbono, material particulado, formaldeído, acroleína, dióxido de enxofre, dióxido de carbono, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio (AUSTIN 2008).

O questionário revelou que dentro do grupo analisado, 105 especialistas em prevenção e combate a incêndios florestais, há conhecimento consolidado com relação aos principais contaminantes presentes na fumaça, assim como quais os possíveis equipamentos de proteção respiratória compatíveis com a atividade de CIF. Evidenciou-se também que há uma preocupação com relação ao tema, e que alguns já fazem uso de respiradores para efetuar os combates. Notou-se também que é necessário treinamento e instrução quanto ao tipo de filtro a ser utilizado, assim como sua especificação, uma vez que apenas 27% dos militares questionados selecionaram o filtro combinado como sendo o mais adequado e cerca de 50% dos militares questionados não sabiam qual classe de filtro seria mais adequada.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo científico teve como objetivo definir o perfil de exposição dos bombeiros que atuam em incêndios florestais, de modo a selecionar o equipamento de proteção respiratória mais adequado a ser utilizado durante sua atividade. Além disso, buscou verificar se os militares especializados no curso CPCIF possuem conhecimento a respeito da exposição que estão sujeitos e quais seriam os métodos mais eficazes de se protegerem.

O perfil de exposição foi traçado com base nos monitoramentos feitos por Alencar *et al.* (2019) no DF, Goiás e Roraima. A análise dos dados mostrou que a exposição do combatente para os incêndios analisados é intermitente e apresenta altos valores de concentração instantânea dos contaminantes em curtos períodos de tempo, assim como períodos longos com baixa ou média concentração instantânea dos poluentes, gerando um efeito de amortização nos cálculos de exposição. Dessa forma, a exposição dos bombeiros por vezes fica acima do limite de exposição ocupacional, ou é limítrofe, indicando que um equipamento de proteção respiratória é necessário para mitigar os efeitos adversos da fumaça nessas ocasiões. A análise é compatível com o que foi publicado por Reinhardt e Ottmar (2004), que verificou que cerca de 5% das concentrações médias por turno para o CO ultrapassaram o limite *TLV* e 10% das concentrações médias por turno para a mistura irritante ultrapassaram o limite *TLV* nos incêndios analisados pelos autores em solo norte americano.

Como já referenciado por outros autores como Reinhardt e Ottmar (2004), o monóxido de carbono não é retido pelos filtros convencionais, o que evidencia que a adoção das máscaras com filtro são uma ação de mitigação, uma vez que não é capaz de filtrar todos os elementos nocivos presentes na fumaça. Tal fato também ilustra que o uso das máscaras deve estar aliado a um equipamento que seja capaz de monitorar a concentração instantânea desse gás, de forma a alertar os bombeiros nos casos de concentrações muito elevadas que possam trazer riscos à guarnição. A adoção das máscaras também não altera o modo de combate, que deve ser feito prioritariamente com o vento pelas costas e adotando as medidas de prevenção e revezamento dos componentes da guarnição de combate a incêndio florestal.

Já a mistura irritante, formada principalmente por  $MP_{fino}$ , formaldeído e acroleína, é retida pelos filtros e pelos cálculos realizados exige um FPMR de 1,15, indicando a necessidade de proteção respiratória. Como discutido, tanto a

máscara semifacial como a facial completa possuem FPA maior que o valor de FPMR calculado para a mistura irritante e são capazes de oferecer proteção adequada. Essas máscaras combinadas a um filtro combinado P3/Baixa concentração de vapores orgânicos são adequadas à proteção do combatente florestal. Mais estudos e confirmações práticas são necessárias para verificar a relação de custo e benefício quando se trata do uso do filtro P2, uma vez que possui cerca de metade da resistência ventilatória, mas possui penetrabilidade 5% maior quando comparado ao filtro P3.

Além disso, foi verificado por meio de levantamento que dentro do grupo analisado, 105 especialistas do CPCIF, há conhecimento consolidado com relação aos principais contaminantes presentes na fumaça, assim como quais os possíveis EPRs compatíveis com a atividade de CIF. Evidenciou-se também que há uma preocupação com relação ao tema, e que alguns já fazem uso de respiradores para efetuar os combates. Entretanto, notou-se que é necessário treinamento e instrução quanto ao tipo de filtro a ser utilizado e sua especificação, uma vez que apenas 27% dos militares questionados selecionaram o filtro combinado como sendo o mais adequado e cerca de 50% não sabia qual classe filtro seria mais adequada para a atividade de CIF.

Com o intuito de informar a tropa a respeito do tema apresentado nesse trabalho foi confeccionado uma cartilha com as informações sobre os tipos de filtros e respiradores compatíveis com a atividade, assim como informações sobre o perfil de exposição dos combatentes florestais. Tal produto tem caráter informativo, e tem como objetivo a continuação do estudo a respeito da proteção respiratória dos combatentes florestais. É importante que o equipamento seja utilizado e testado de forma a embasar futuros estudos e pesquisas, confirmando se o uso de máscaras com filtros é o ideal para a atividade de combate a incêndios florestais.

Por fim, encontrar um equipamento leve, de fácil uso, resistente às altas temperaturas, compatível com a atividade do combatente florestal e que o proteja de todos os efeitos adversos da fumaça é muito difícil. A solução é combinar as técnicas de combate, fazer o uso de revezamento do serviço em áreas de fumaça muito densa, com uma máscara que filtre o material particulado, vapores orgânicos e um detector de monóxido de carbono. Essa solução não protege o combatente de todos os perigos da fumaça, mas ajuda a mitigar os efeitos adversos que a fumaça gera na saúde do combatente de incêndios florestais.

## REFERÊNCIAS

3M. **Boletim Técnico: Respirador reutilizável facial inteira – 3M série 6800.** 2018. Disponível em: <https://multimedia.3m.com/mws/media/828366O/boletim-tecnico-respirador-3m-6800.pdf>. Acesso em 01 de ago. 2022.

3M. **Qual a diferença entre cartuchos e filtros.** 2022a. Disponível em: [https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/epi/diferenca-cartuchos-filtros/](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/epi/diferenca-cartuchos-filtros/). Acesso em 02 jul. 2022.

3M. **Filtro para particulados 3M 2097.** 2022b. Disponível em: [https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/p/d/v000491397/](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/p/d/v000491397/). Acesso em 06 jul. 2022.

3M. **Respirador Reutilizável Semifacial 3M 6000.** 2022c. Disponível em: [https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/p/d/b00039327/](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/p/d/b00039327/). Acesso em 06 jul. 2022.

ABNT. **NBR 12543:** Equipamentos de proteção respiratória – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT 1999.

ABNT. **NBR 12543:** Equipamentos de proteção respiratória – classificação. Rio de Janeiro: ABNT 2017.

ABNT. **NBR 13696:** Equipamentos de proteção respiratória – filtros químicos e combinados. Rio de Janeiro: ABNT 2005.

ABNT. **NBR 13697:** Equipamentos de proteção respiratória – filtros para partículas. Rio de Janeiro: ABNT 2010.

ADETONA, O., *et al.* Exposure of Wildland Firefighters to Carbon Monoxide, Fine Particles, and Levoglucosan. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 57, n. 8, p. 979– 991, 1 out. 2013.

ALENCAR, P. A. L. **Condição laboral de combatentes do fogo em relação ao monóxido de carbono e material particulado.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) - UnB, Brasília, 2018.

ALENCAR, P. A. L., *et al.* Condições laborais no combate a incêndios florestais: poluição atmosférica. **Biodiversidade Brasileira**. Brasília, v. 1 (*Wildfire conference: resumos*), 2019. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/images/wildfire/posteres/ID1006.pdf>. Acesso em 15 mai. 2022

AUSTIN, C. Wildland Firefighter Health Risks and Respiratory Protection: (Report R-572). **IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvéen santé et en sécurité du travail)**, Montreal, set. 2008. Disponível em: <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-572.pdf>. Acesso em 5 jun. 2021

BRASIL. **Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991.** Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L8255.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm). Acesso em: 6 jun. 2021.

BYCURA, D. K. *et al.* Training Implications for Firefighters through objective Measurement of the Physiological Demands of Firefighter Job Tasks. **American Journal of Biomedical Science and Research**, California, v. 3, nº 5, p. 447-452, jul. 2019. Disponível em <https://biomedgrid.com/fulltext/volume3/training-implications-for-firefighters-through-objective-measurement-of-the-physiological-demands-of-firefighter-job-tasks.000715.php>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CARBALLO-LEYENDA, B. *et al.* Characterizing Wildland Firefighters' Thermal Environment During Live-Fire Suppression. **Frontiers in Physiology**, Lausanne, ago. 2019. Disponível em <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2019.00949/full>. Acesso em 02 jul. 2022.

CCOHS. **Occupational Hygiene – Occupational Exposure Limits**. 2022. Disponível em: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/occ\\_hygiene/occ\\_exposure\\_limits.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/occ_hygiene/occ_exposure_limits.html). Acesso em 20 jun. 2022.

CONE, M. **Mask Seems Blessing for Firefighters: Safety: New respirators hold promise for crews who have fought wildfires with just bandannas to protect their lungs**. 1992. Disponível em: <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1992-12-08-mn-1859-story.html>. Acesso em 4 jun. 2021.

CORMIER, S; LOMNICKI, S. M.; BACKES, W. L.; DELLINGER, B. Origin and Health Impacts of Emissions of Toxic By-Products and Fine Particles from Combustion and Thermal Treatment of Hazardous Wastes and Materials. **Environmental health perspectives**, Louisiana, v. 114, nº 6, p. 810-817, jul. 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/7023198\\_Origin\\_and\\_Health\\_Impacts\\_of\\_Emissions\\_of\\_Toxic\\_Byproducts\\_and\\_Fine\\_Particles\\_from\\_Combustion\\_and\\_Thermal\\_Treatment\\_of\\_Hazardous\\_Wastes\\_and\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/7023198_Origin_and_Health_Impacts_of_Emissions_of_Toxic_Byproducts_and_Fine_Particles_from_Combustion_and_Thermal_Treatment_of_Hazardous_Wastes_and_Materials). Acesso em: 6 jun. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: comportamento do fogo**. 2. ed. Brasília, 2012.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Portarias Internas do CBMDF: Planejamento Estratégico 2020 – 1995**, 2016. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/downloads/edocman/estrategico//Plano%20Estrategico%202017-2024.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Anuário estatístico do CBMDF**. 2021a. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/lai/acoes-e-programas/anuario-estatistico-do-cbmdf/>. Acesso em 9 nov. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. O Plano de Operação - GPRAM/COESP/COMOP - Operação Verde-Vivo 2021. Descreve o planejamento das ações operacionais que serão desencadeadas pelo CBMDF durante o período de estiagem no âmbito do Distrito Federal. **Boletim Geral nº 73, de 19 de abr. de 2021**, Brasília, 2021b.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Manual operacional de bombeiros: prevenção e combate a incêndios florestais**. Goiânia, 2017.

COTA, A. R.; CLAÚDIO, F. A. **Agentes químicos da NR 15 têm limite de tolerância acima do previsto pela ACGIH**. 2018. Disponível em <https://melos.com.br/agentes-quimicos-da-nr-15-tem-limite-de-tolerancia-acima-do-previsto-pela-acgih/#:~:text=Portanto%2C%2048%2C7%25%20dos,nos%20par%C3%A2metros%20atuais%20da%20ACGIH>. Acesso em 02 jul. 2022.

DE VOS, A. J. B. M; COOK, A.; DEVINE, B. THOMPSON, P.J.; WEINSTEIN, P. Effect of protective filters on fire fighter respiratory health during simulated bushfire smoke exposure. **American journal of industrial medicine**, v. 49, p. 740-750, jan. 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/227740991\\_Effect\\_of\\_protective\\_filters\\_on\\_fire\\_fighter\\_respiratory\\_health\\_during\\_simulated\\_bushfire\\_smoke\\_exposure](https://www.researchgate.net/publication/227740991_Effect_of_protective_filters_on_fire_fighter_respiratory_health_during_simulated_bushfire_smoke_exposure). Acesso em 4 jun. 2021

DISTRITO FEDERAL. **Decreto 31.817, de 21 de junho de 2010**. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Governo do Distrito Federal, 2010. Disponível em: [http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/63268/exec\\_dec\\_31817\\_2010.html](http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/63268/exec_dec_31817_2010.html). Acesso em: 6 jun. 2021.

EPA. **What are the Air Quality Standards for PM**. 2022 Disponível em: <https://www3.epa.gov/region1/airquality/pm-aq-standards.html#:~:text=Since%201997%2C%20EPA%20has%20evaluated,of%20150%20%CE%BCg%2Fm3>. Acesso em 15 jun. 2022.

FAHY, R. F.; LEBLANC, P. R.; MOLIS, J. L. Firefighter fatalities in the United States, 2015. **NFPA Journal**. 2016. Disponível em: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2016/July-August-2016/Features/Firefighter-Fatalities>. Acesso em 8 nov. 2021.

FUNDACENTRO. **Programa de proteção respiratória: recomendações, seleção e uso de respiradores**. 4. ed. São Paulo. 2016

GABBERT, B. **Wildfire Today**: Study shows firefighters' exposure to smoke increases disease risk. 2006. Disponível em: <https://wildfiretoday.com/2018/02/06/study-shows-firefighters-exposure-smoke-increases-disease-risk/>. Acesso em 5 jun. 2021

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.

HARRISON, R. M.; YIN, J. Particulate Matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? **The Science of Total Environment**, Birmingham, abr. 2000, v. 249, p. 85 – 101. Disponível em: <http://www.prof.uniandes.edu.co/~nrojas/WhichParticlePropertiesAreImportant.pdf>. Acesso em 12 jun. 2021

HASTON, D. V. Management Tech Tips Respirator Usage by Wildland Firefighters. **United States Department of Agriculture, Forest Service**, San Dimas, Mar. 2007. Disponível em: [https://webarchive.library.unt.edu/eot2008/20080916183838/http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/hi\\_res/07511301hi.pdf](https://webarchive.library.unt.edu/eot2008/20080916183838/http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/hi_res/07511301hi.pdf). Acesso em 5 jun. 2021.

HEIL, D. P. Estimating energy expenditure in wildland fire fighters using a physical activity monitor. **Applied Ergonomics**, Montana, set. 2002, v. 33, n. 5, p. 405-413. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000368700200042X?via%3Dihub>. Acesso em: 8 nov. 2021.

HODGSON, A. K. *et al.* Near-field emission profiling of tropical forest and Cerrado fires in Brazil during SAMBBA 2012. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 8, p. 5619-5638, abr. 2018. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/18/5619/2018/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

HSE. **EH40 Workplace Exposure Limits**: Containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended). 4. ed. Norwich, 2020.

IARC. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans. Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxy-2-propanol**. 88. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2004

MINISTÉRIO DO TRABALHO. Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 dez. 1977. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>. Acesso em 5 jun. 2021.

LUDWIG, H. R. *et al.* **Documentation for Immediately dangerous to life and health concentrations (IDLHs)**. Ohio, 1994

NWCG. **6 Minutes for Safety. Smoke Exposure**. 2019. Disponível em <https://www.nwcg.gov/committee/6mfs/smoke-exposure>. Acesso em 6 jun. 2021

OSHA. **Wildland firefighting face masks**. 2021. Disponível em: <https://osha.oregon.gov/OSHAPubs/hazard/2993-33.pdf>. Acesso em 4 jun. 2021.

OSHA. **OSHA Occupational Chemical Database**. 2022. Disponível em: <https://www.osha.gov/chemicaldata/801>. Acesso em 02 de jul. 2022.

PAREJA, S.; LORENZO, Á. **Respiratory protective equipment for wildland fires**. 2020. Disponível em: <https://www.vallfirest.com/en/news/respiratory-protective-equipment-for-wildland-fires>. Acesso em 5 jun. 2021

PATTY, F.A. **Industrial Hygiene and Toxicology Vol II**. New York, 1963.

PHULERIA, H. C.; FINE, P. M.; ZHU, Y.; SIOUSTAS, C. Air quality impacts of the October 2003 Southern California wildfires. **Journal of geophysical**

**research**, Califórnia, v. 110, nº7, fev. 2005. Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/display.files/fileID/13868>. Acesso em: 6 jun. 2021.

REH, C.M.; LETTS, D.; DEITCHMAN, S. Health hazard evaluation report. **National Institute of Occupational Health and Safety (NIOSH)**, California, 1994. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/1990-0365-2415.pdf?id=10.26616/NIOSHETA9003652415>. Acesso em 6 jun. 2021.

REINHARDT, T. E.; OTTMAR, R. D. Baseline measurements of smoke exposure among wildland firefighters. **Journal of occupational and environmental hygiene**, Washington, v. 1, n. 9, p. 593-606, set. 2004. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.577.2615&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 5 jun. 2021.

RODRÍGUEZ-MARROYO, J. A. *et al.* Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression. **International Archives of Occupational and Environmental Health**. v. 85, n. 2, p. 221 – 228, fev. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/51204157\\_Physiological\\_work\\_demands\\_of\\_Spanish\\_wildland\\_firefighters\\_during\\_wildfire\\_suppression](https://www.researchgate.net/publication/51204157_Physiological_work_demands_of_Spanish_wildland_firefighters_during_wildfire_suppression). Acesso em 8 nov. 2021.

RUBY B. C. *et al.* Water turnover and changes in body composition during arduous wildfire suppression. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v. 35, n. 10, p. 1760-1765, out. 2003. Disponível em: [https://journals.lww.com/acsmmsse/Fulltext/2003/10000/Water\\_Turnover\\_and\\_Changes\\_in\\_Body\\_Composition.22.aspx](https://journals.lww.com/acsmmsse/Fulltext/2003/10000/Water_Turnover_and_Changes_in_Body_Composition.22.aspx). Acesso em 8 nov. 2021.

SAFEOPEDIA. **Exposure Limit**. 2017. Disponível em: <https://www.safeopedia.com/definition/61/exposure-limit#:~:text=An%20exposure%20limit%20is%20an,human%20life%20and%2For%20health>. Acesso em jul. 2022.

SCAPINI, C. *et al.* **Monitoramento da qualidade do ar na cidade de Florianópolis através de amostragens de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>)**, Florianópolis, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280886628\\_Monitoramento\\_da\\_qualidade\\_do\\_ar\\_na\\_cidade\\_de\\_Florianopolis\\_atraves\\_de\\_amostragens\\_de\\_material\\_particulado\\_inalavel\\_MP10](https://www.researchgate.net/publication/280886628_Monitoramento_da_qualidade_do_ar_na_cidade_de_Florianopolis_atraves_de_amostragens_de_material_particulado_inalavel_MP10). Acesso em: jul. 2021

SCHWELA, D.H.; GOLDAMMER, J. G.; MORAWSKA, L. H.; SIMPSON, O. **Health guidelines for vegetation fires events**, Cingapura, 1999. Disponível em: [https://www.who.int/docstore/peh/Vegetation\\_fires/Executive\\_Summary.pdf](https://www.who.int/docstore/peh/Vegetation_fires/Executive_Summary.pdf). Acesso em 6 jun. 2021.

SMITH, D.L. *et al.* Cardiovascular Strain of Firefighting and the Risk of Sudden Cardiac Events. **Exercise and Sports Sciences Review**, Filadelfia, v. 44, n. 3, p. 90-97. jul. 2016. Disponível em: [https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2016/07000/Cardiovascular\\_Strain\\_of\\_Firefighting\\_and\\_the\\_Risk.2.aspx](https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2016/07000/Cardiovascular_Strain_of_Firefighting_and_the_Risk.2.aspx). Acesso em 8 nov. 2021.

SOTERIADES, E. S. *et al.* Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. **Cardiology in review**, Filadelfia, v. 19, n. 4, p: 202-215, jul. 2011. Disponível em: [https://journals.lww.com/cardiologyinreview/Abstract/2011/07000/Cardiovascular\\_Disease\\_in\\_US\\_Firefighters\\_\\_A.5.aspx](https://journals.lww.com/cardiologyinreview/Abstract/2011/07000/Cardiovascular_Disease_in_US_Firefighters__A.5.aspx). Acesso em 8 nov. 2021.

SOUZA, P. R. M. **Análise da exposição dos bombeiros ao monóxido de carbono liberado na fumaça dos incêndios florestais**. 2011. Monografia (Especialização) - Curso de CAO, CBMDF, Brasília, 2011.

SOUZA, M. A. Proteção respiratória do combatente de incêndio florestal. **Revista FLAMMAE**, Pernambuco, v. 6, nº17, p. 7-44, jul. 2020. Disponível em: <https://www.revistaflammae.com/c%C3%B3pia-vol-4-n%C3%BAmero-11>. Acesso em: 5 jun. 2021.

STONE, S. L. *et al.* **Wildfire smoke: a guide for health officials**. Ed. 4, California: EPA, 2019

STRANG, J. T. *et al.* **Metabolic Energy Requirements during Load Carriage: Implications for the Wildland Firefighter Arduous Pack Test**. 2018. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers – University of Montana. Montana, 2018. Disponível em: <https://scholarworks.umt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=12289&context=etd>. Acesso em: 8 nov. 2021.

USDA. **Wildland Firefighter Health and Safety Report**. 2001. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/td/pubs/pdfpubs/pdf01512817/pdf01512817dpi300.pdf>. Acesso em 02 jul. 2022.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Brasília no ano todo**. 2021. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30238/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bras%C3%ADlia-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 10 nov. 2021.

WHO. **Air Quality Guidelines: global update, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Copenhagen, 2005.



## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS MILITARES ESPECIALISTAS EM PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS.

Essa pesquisa tem como objetivo estudar e analisar as diferentes alternativas para proteger o combatente de Incêndios Florestais (IFs) durante sua atividade. Os IFs liberam diversas substâncias tóxicas que afetam a saúde do ser humano tanto no curto quanto no longo prazo. Assim, é de grande importância estudar e entender os efeitos nocivos da fumaça e como minimizá-los.

O tempo de resposta aproximado desse questionário é de 2 minutos. Agradeço desde já sua colaboração!

### IDENTIFICAÇÃO

1. Qual o seu sexo
  - a. Masculino
  - b. Feminino
  - c. Prefiro não dizer
2. Qual sua idade? \_\_\_\_\_
3. Qual sua matrícula SIAPE? \_\_\_\_\_
4. Qual o seu quadro no CBMDF? \_\_\_\_\_
5. Qual a sua graduação/posto? \_\_\_\_\_
6. Em que ano você fez o Curso de Prevenção e Combate a Incêndio Florestal (CPCIF)?  
\_\_\_\_\_

### QUESTIONÁRIO – PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

1. Com base nos seus conhecimentos, qual a proteção respiratória mais adequada para ser utilizada no Combate a Incêndio Florestal (CIF)?
  - a. Balaclava
  - b. Máscaras Semifaciais com filtros.
  - c. Máscaras Completas com filtros.
  - d. Equipamento autônomo de proteção respiratória (EAPR circuito aberto).
  - e. Equipamento autônomo de proteção respiratória (EAPR circuito fechado).
  - f. Nenhuma das anteriores.
  - g. Não sei responder.

- h. Outros...
2. Com base nos seus conhecimentos e experiências, qual tipo de filtro é mais adequado e oferece maior proteção respiratória para o uso durante a atividade de CIF?
    - a. Filtro Mecânico (P1, P2 e P3).
    - b. Filtro Químico (gases e vapores orgânicos, gases e vapores inorgânicos, amônia, ácido clorídrico, cloro, vapores de mercúrio e outros).
    - c. Filtro Combinado.
    - d. Nenhuma das Anteriores.
    - e. Não sei responder.
  3. No caso dos filtros mecânicos, qual classe de filtro seria mais adequada?
    - a. P1
    - b. P2
    - c. P3
    - d. Nenhuma das Anteriores.
    - e. Não sei responder.
  4. No caso de filtros químicos, qual classe de filtro seria mais adequada?
    - a. FBC - 1.
    - b. FBC - 2.
    - c. Classe 1.
    - d. Classe 2.
    - e. Classe 3.
    - f. Nenhuma das Anteriores.
    - g. Não sei responder.
  5. Com base nos seus conhecimentos, quais são as substâncias mais perigosas à saúde presentes na fumaça originada de incêndios florestais? (É possível marcar mais de uma opção.)
    - a. Material Particulado Grosso e Fino.
    - b. CO (Monóxido de Carbono).
    - c. CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono).
    - d. Acroleína.
    - e. Formaldeído.
    - f. SO<sub>2</sub> (Dióxido de Enxofre).
    - g. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (Benzeno) e outros Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos.
    - h. Outros ...

## SUGESTÕES

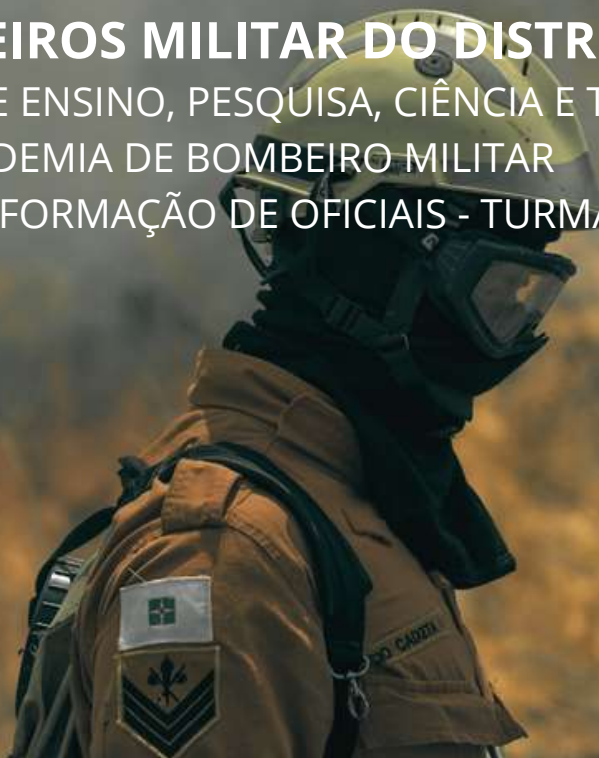
1. Utilize este espaço para registrar algum comentário ou sugestão para a pesquisa: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B – CARTILHA SOBRE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL NO CBMDF.

### ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 **ZIRALDO** dos Santos Júnior
2. **Nome:** Cartilha sobre proteção respiratória no combate a incêndio florestal no CBMDF.
3. **Descrição:** Cartilha informativa a respeito do perfil de exposição do combatente florestal e sobre os equipamentos de proteção respiratória compatíveis com essa exposição.
4. **Finalidade:** O objetivo do produto é informar os bombeiros sobre a exposição que estão submetidos e orientá-los quanto as proteções compatíveis que podem ser utilizadas. Além disso, o produto tem como fim ampliar a discussão sobre proteção respiratória e motivar os bombeiros a entenderem e divulgarem o tema.
5. **A quem se destina:** A todos os militares do CBMDF, em especial aos especialistas do CPCIF e aos militares que trabalham com incêndio florestal do GPRAM.
6. **Funcionalidades:** A cartilha pode ser usada como fonte de referência para estudos e como um breve guia dos equipamentos de proteção respiratória compatíveis com a exposição do combatente florestal.
7. **Especificações técnicas:** A cartilha está em formato .pdf, deve ser impressa em papel couche, tamanho A4, de preferência em modelo de livreto, frente e verso, colorido e deve ser grampeada ao centro. A capa deve ser impressa em papel com gramatura 170 e para as demais páginas 90.
8. **Instruções de uso:** A cartilha deve ser utilizada como material didático para apoio em instruções e referência para estudos sobre proteção respiratória.
9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento** (quando for o caso): Deve ser alocado em local seco e arejado, longe de umidade.

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL**  
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS - TURMA 41



# **Proteção Respiratória no Combate a Incêndio Florestal no CBMDF**



**PRODUTO DERIVADO DE ARTIGO CIENTÍFICO**

**CAD./41 ZIRALDO DOS SANTOS JÚNIOR**

# Proteção Respiratória no Combate a Incêndio Florestal no CBMDF

Cartilha apresentada à disciplina  
trabalho de conclusão de curso,  
originada do artigo científico:  
**ANÁLISE SOBRE A PROTEÇÃO  
RESPIRATÓRIA DO COMBATENTE  
DE INCÊNDIOS FLORESTAIS.**

Autor: Cad BM/2 **ZIRALDO** dos Santos Júnior  
Orientador: Ten-Cel. José **GENILSON** dos Santos

Brasília, 2022



# **Apresentação**

O Distrito Federal encontra-se totalmente inserido no cerrado. O clima nas regiões cerradeiras possui duas estações bem definidas, invernos secos e verões chuvosos. Durante a estação seca, o índice pluviométrico e a umidade do ar chegam a níveis extremamente baixos, o que corrobora com a proliferação de incêndios florestais<sup>1</sup>.

A fumaça advinda desses incêndios é uma mistura complexa de gases e de substâncias em suspensão que afetam principalmente o sistema respiratório, tanto no médio quanto no longo prazo. A fumaça é especialmente prejudicial àqueles mais vulneráveis ou aos que estão mais expostos, como os combatentes florestais.

Assim, com o intuito de informar os bombeiros a respeito do perfil de exposição dos combatentes florestais e a proteção respiratória compatível com a atividade essa cartilha foi elaborada.

# Sumário

- 04 A Fumaça
- 05 Qual o Tamanho do Problema?
- 06 A Exposição do Combatente
- 07 Exposição ao CO
- 08 Exposição ao MP
- 09 A Mistura Irritante
- 10 **Como me Proteger?**
- 13 Saiba Mais!
- 14 Referências

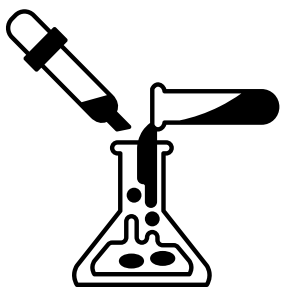
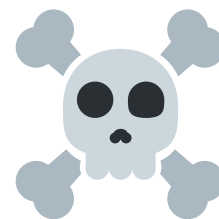




## A Fumaça

Os principais componentes da fumaça, mais prejudiciais à saúde humana, são<sup>2,3</sup>:

- + Formaldeído
- ↑ Monóxido de Carbono
- Material Particulado (MP) Fino
- Acroleína
- Benzeno
- Hidrocarbonetos Policíclicos
- Dióxido de Carbono
- Monóxido de Nitrogênio
- Material Particulado (MP) Grosso



Alguns elementos da fumaça possuem efeitos aditivos, como o formaldeído, acroleína e o MP fino, que formam uma mistura irritante<sup>2</sup>.





## Qual o tamanho do problema?

De 5 a 10% das amostras analisadas pela UnB de incêndios no DF, GO e RR indicaram exposição acima dos níveis de exposição ocupacional recomendados.



Valores de referência dos poluentes encontrados no combate a incêndio florestal<sup>2,4,5</sup>:

Substância	Exposição (TWA) - <b>LEO*</b> (TWA)**
Acroleína	0,015 ppm - <b>0,1 ppm</b>
Formaldeído	0,013 ppm - <b>0,016 ppm</b>
Dióxido de Carbono	588 ppm - <b>5000 ppm</b>
MP Fino	483 a 581 µg/m <sup>3</sup> - <b>3000 µg/m<sup>3</sup></b>
MP Grosso	1470 µg/m <sup>3</sup> - <b>10000 µg/m<sup>3</sup></b>
Benzeno	0,004 ppm - <b>0,5 ppm</b>
Monóxido de Carbono	7 a 30,5 ppm - <b>25 - 35 ppm</b>

\***LEO**: Limite de exposição ocupacional.

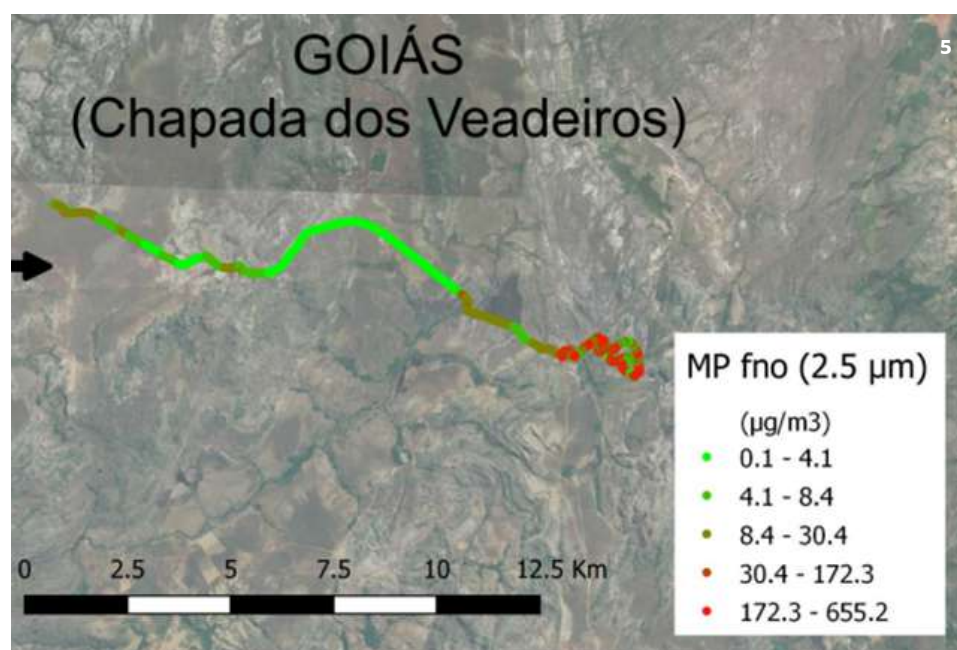
\*\***TWA**: concentração média referente a exposição em um turno de trabalho de 8 horas em uma semana de trabalho de 40 horas.

- **ppm**: parte por milhão.



## A Exposição do Combatente

Exposição é definida pelo **tempo** que o trabalhador está exposto a determinado contaminante e à **concentração média** do contaminante durante aquele tempo.<sup>5</sup>



A exposição do combatente florestal é caracterizada por **curtos períodos** com **altas concentrações** instantâneas e **médios ou longos períodos** com **baixas concentrações** instantâneas dos contaminantes. Em razão disso há um efeito de suavização da exposição do combatente, por esta ser intermitente.

Há ainda aqui influência de fatores climáticos como o vento, a própria tática de combate que prioriza o ataque às chamas feito com o vento pelas costas e o revezamento, colaborando também para a diminuição da exposição do combatente florestal.<sup>5</sup>



## Exposição ao CO

O monóxido de carbono (CO), gás inodoro e incolor, não é filtrado pelos filtros convencionais e é um dos contaminantes perigosos ao combatente, em razão de sua natureza asfíxiante.<sup>3</sup>

### Avaliar é preciso!

A liberação do CO depende da eficiência do processo de combustão. Em regiões de cerrado a eficiência modificada de combustão é de cerca de 94%, com produção de cerca de 74g de CO por kg de biomassa queimada, em biomas mais densos, como florestas tropicais, a eficiência cai para cerca de 79%, com produção de cerca de 237g de CO por kg. Já em incêndios subterrâneos a eficiência cai mais um pouco para cerca de 77%, com emissão de cerca de 291g de CO.<sup>6</sup>

No Brasil, monitoramentos feitos no DF, Goiás e Roraima, indicam variações significativas nas concentrações instantâneas desse contaminante. No Goiás e no DF, as concentrações de CO ficaram abaixo de **todos** os limites de exposição ocupacional definidos. Já em Roraima, os monitoramentos indicam registro de concentrações elevadas de CO, porém ainda abaixo dos limites ocupacionais de exposição.<sup>5</sup>

De qualquer forma, nota-se a importância de uma avaliação bem feita do incêndio e o uso de um **monitorador de CO**, de modo a proteger os bombeiros quando houver grande liberação desse gás.



## Exposição ao MP

O MP fino é um contaminante atmosférico relevante do ponto de vista da saúde pública, pois adentra fundo no sistema respiratório e pode chegar até a corrente sanguínea, causando irritação, inflamações, problemas respiratórios e câncer.

Como base comparativa, a tabela abaixo indica a relação entre a concentração média em 24 horas de MP fino e as ações preventivas para a população em geral. O nível de qualidade do ar é um parâmetro importante para a população mais sensível, mas pode servir como comparação para aqueles que estão comumente expostos à fumaça.

PM fino ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ações Preventivas	Qualidade do Ar
0 - 12	Nenhuma.	Bom
12 - 35	Pessoas sensíveis devem evitar esforços pesados ou prolongados.	Moderado
35 - 55	Pessoas sensíveis devem evitar esforços. Limitação de tempo ao ar livre.	Prejudicial à saúde dos mais sensíveis
55 - 150	Todos devem limitar esforços intensos ou prolongados.	Prejudicial à saúde
150 - 250	Todos devem evitar esforços intensos e prolongados.	Muito Prejudicial à saúde
250 - 500	Todos devem evitar atividades ao ar livre.	Perigoso



## A Mistura Irritante

O material particulado fino junto ao formaldeído, a acroleína e outras substâncias possuem efeitos aditivos e constituem uma mistura irritante. Os incêndios monitorados no Brasil e nos Estados Unidos, indicam que a exposição a essa mistura é por vezes limítrofe ou supera o limite de exposição ocupacional.

Quando o limite de exposição é superado, calcula-se o Fator de Proteção Mínimo Requerido (FPMR), dado pela razão da concentração média do contaminante pelo limite de exposição de referência:

$$FPMR = \frac{C \text{ média}}{\text{Limite Exposição}}$$

Para misturas soma-se os FPMR de cada substância. O resultado é o FPMR da mistura. Usando os valores de exposição da página 5:

$$\left( \frac{C_{\text{mistura}}}{LE_{\text{mistura}}} \right) = \left( \frac{C_{\text{acroleína}}}{LE_{\text{acroleína}}} \right) + \left( \frac{C_{\text{formaldeído}}}{LE_{\text{formaldeído}}} \right) + \left( \frac{C_{\text{MP fino}}}{LE_{\text{MP fino}}} \right)$$

$$FPMR_{\text{mistura}} = 1,15$$

Valores de FPMR acima de 1 indicam a **necessidade** de proteção respiratória.

Ao selecionar um respirador, este deve possuir Fator de Proteção Atribuído (FPA) acima do valor de FPMR.



## Como me proteger?

O uso das táticas de combate a incêndio florestal, com o combate feito com o vento pelas costas, o revezamento e autocontrole de exposição são as estratégias **primárias** para a proteção do combatente.



O uso de máscaras semifaciais com os filtros não oferece proteção completa ao combatente, uma vez que não filtra o CO. Contudo, protege contra ampla gama de contaminantes, e como visto anteriormente, a exposição ao CO fica abaixo dos limites ocupacionais em regiões de cerrado, sendo preocupação maior em regiões de florestas tropicais e incêndios de turfa.

É importante **extinguir** a noção de que:

“ JÁ QUE NÃO HÁ PROTEÇÃO COMPLETA, É MELHOR NÃO UTILIZAR PROTEÇÃO ”



## Como me proteger?

A máscara semifacial é uma proteção compatível com o combate a incêndio florestal dado que oferece:

- .Leveza;
- .Fácil colocação e retirada;
- .Proteção adequada.

A **MÁSCARA SEMIFACIAL** com vedação adequada e combinada ao **FILTRO ADEQUADO** possui **FATOR DE PROTEÇÃO ATRIBUÍDO DE 10**.

As máscaras compatíveis com a atividade de combate a incêndio florestal são:

- . **3M séries 6100, 6200 e 6300**
- . **3M séries 6700, 6800 e 6900**



Atentar para os materiais de fabricação das máscaras. As máscaras citadas nessa cartilha são fabricadas em elastômero termoplástico, que possui faixa de operação até 90°C. Outros fabricantes podem utilizar materiais diferentes.



## Como me proteger?

Os filtros para a atividade de combate a incêndio florestal devem ser capazes de reter o material particulado e os vapores orgânicos em baixas concentrações. O filtro deve ser **COMBINADO, P3** para reter o material particulado e no mínimo **BAIXA CONCENTRAÇÃO DE VAPORES ORGÂNICOS**.

Os seguinte **filtros** são compatíveis com a atividade de combate a incêndio florestal:

- . **3M 2078**
- . **3M 2097**
- . **3M 60926**



As máscaras combinadas aos filtros citados são capazes de proteger o combatente de forma adequada contra os seguintes contaminantes<sup>8</sup>:

**Material Particulado Fino e Grosso, Formaldeído, Acroleína, Sulfeto de Hidrogênio, Fluoreto de Hidrogênio, Metilamina, Dióxido de Enxofre, Vapores orgânicos e Gases ácidos (3M 2078 e 3M 60926).**

**Os filtros indicados nessa cartilha possuem resistência à chama e água de acordo com o fabricante.<sup>8</sup>**





## Saiba Mais!

Para maiores informações, acesse o QR Code abaixo, para acessar o artigo científico:

### **ANÁLISE SOBRE A PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA DO COMBATENTE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS.**



<https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/352>

Atenção: a presente cartilha não é um PPR nos moldes indicados pela Fundacentro, constitui-se de um guia informativo a respeito dos equipamentos de proteção respiratória para a atividade de combate a incêndio florestal no âmbito do CBMDF.



## Referências

1. SOUZA, P. R. M. **Análise da exposição dos bombeiros ao monóxido de carbono liberado na fumaça dos incêndios florestais**. 2011. Monografia (Especialização) - Curso de CAO, CBMDF, Brasília, 2011.
2. REINHARDT, T. E.; OTTMAR, R. D. Baseline measurements of smoke exposure among wildland firefighters. **Journal of occupational and environmental hygiene**, Washington, v. 1, n. 9, p. 593-606, set. 2004. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.577.2615&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 5 jun. 2021.
3. SOUZA, M. A. Proteção respiratória do combatente de incêndio florestal. **Revista FLAMMAE**, Pernambuco, v. 6, nº17, p. 7-44, jul. 2020. Disponível em: <https://www.revistaflammae.com/c%C3%B3pia-vol-4-n%C3%BAmero-11>. Acesso em: 5 jun. 2021.
4. ADETONA, O., et al. Exposure of Wildland Firefighters to Carbon Monoxide, Fine Particles, and Levoglucosan. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 57, n. 8, p. 979–991, 1 out. 2013.
5. ALENCAR, P. A. L. **Condição laboral de combatentes do fogo em relação ao monóxido de carbono e material particulado**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) - UnB, Brasília, 2018.
6. HODGSON, A. K. et al. **Near-field emission profiling of tropical forest and Cerrado fires in Brazil during SAMBBA** 2012. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 18, n. 8, p. 5619-5638, abr. 2018. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/18/5619/2018/>. Acesso em: 05 jun. 2021.
7. STONE, S. L. et al. **Wildfire smoke: a guide for health officials**. Ed. 4, California: EPA, 2019
8. 3M. **Boletim Técnico: Respirador reutilizável facial inteira – 3M série 6800**. 2018. Disponível em: <https://multimedia.3m.com/mws/media/8283660/boletim-tecnico-respirador-3m-6800.pdf>. Acesso em 01 de ago. 2022.
9. RODRIGUES, M.; FUZEIRA, V. **Metrópoles: Bombeiros sofrem queimaduras durante combate a incêndio florestal no DF**. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/bombeiros-sofrem-queimaduras-durante-combate-a-incendio-florestal-no-df>. Acesso em 25 set. 2022

As imagens não referenciadas utilizadas foram retiradas da plataforma de design online Canva.



# **Vidas Alheias e Riquezas Salvar**

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL**