
EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL DO BOMBEIRO A MATÉRIA PARTICULADA EM VÁRIOS CONTEXTOS DO SEU QUOTIDIANO

Joana Teixeira^{1,2}

<https://orcid.org/0000-0002-8094-5877>

*Cristina Delerue-Matos*²

<https://orcid.org/0000-0002-3924-776X>

*Alice Santos-Silva*³

<https://orcid.org/0000-0002-2565-3169>

*Francisca Rodrigues*²

<https://orcid.org/0000-0001-8803-0041>

*Marta Oliveira*²

<https://orcid.org/0000-0003-4150-0151>

RESUMO

A matéria particulada (MP) é um dos poluentes atmosféricos que mais contribui para a degradação da qualidade do ar. Os bombeiros estão expostos a MP respirável (MP com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm) em diversos cenários do seu quotidiano, nomeadamente em ambiente de quartel, e durante as atividades de combate a incêndios. Neste trabalho, são caracterizados os diversos ambientes em que os bombeiros estão expostos a MP, apresentando os níveis reportados na literatura em ambiente de quartel e durante o combate aos incêndios florestais e estruturais. De um modo geral, os valores de exposição ocupacional durante os incêndios excedem as diretrizes e recomendações disponíveis. A exposição a MP pode potenciar e/ou agravar o desenvolvimento de doenças respiratórias (e.g., alergias e asma) e cardiovasculares (e.g., doença cardíaca sistémica e ataque cardíaco) assim como potenciar o desenvolvimento de alguns tipos de cancro. Em estudos epidemiológicos realizados com bombeiros foram registadas elevadas taxas de morbilidade e mortalidade, sendo que a exposição regular a MP contribui para estes resultados. A caracterização dos níveis de exposição dos bombeiros à MP é determinante para definir e implementar medidas de prevenção e de mitigação.

PALAVRAS-CHAVE: Exposição ocupacional; Matéria particulada; Partículas respiráveis; Bombeiros; Incêndios.

¹ MSc, REQUIMTE/LAQV-Instituto Superior de Engenharia, Instituto Politécnico do Porto, e REQUIMTE/UCIBIO, Laboratório de Bioquímica, Departamento de Ciências Biológicas, Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

² PhD, REQUIMTE/LAQV-Instituto Superior de Engenharia, Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal

³ PhD, REQUIMTE/UCIBIO e i4HB – Instituto para a Saúde e Bioeconomia, Laboratório de Bioquímica, Departamento de Ciências Biológicas, Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

FIREFIGHTER' OCCUPATIONAL EXPOSURE TO PARTICULATE MATTER IN DIFFERENT DAILY CONTEXTS

ABSTRACT

Particulate matter (PM) is one of the atmospheric pollutants that most contribute to the degradation of air quality. Firefighters are exposed to respirable PM (PM with an aerodynamic diameter inferior to 10 μm) in different daily situations, namely at fire stations and during firefighting events. In this work, the different daily environments in which firefighters are exposed to PM are characterized, presenting the levels reported in the literature at fire stations and during forest and structural firefighting events. Overall, occupational exposure levels during firefighting events exceeded the available guidelines and recommendations. Exposure to PM can potentiate and/or aggravate the development of respiratory (e.g., allergies and asthma) and cardiovascular (e.g., systemic heart disease and heart stroke) diseases as well as potentiate the development of some types of cancer. Epidemiologic studies performed with firefighters registered increased rates of morbidity and mortality, being regular exposure to PM contributing to the obtained results. The characterization of firefighters' exposure to PM is determinant to define and implement preventive and mitigation actions.

KEYWORDS: Occupational exposure; Particulate matter; Respirable particles; Firefighters; Fire events.

Artigo Recebido em 20/07/2023
Aceito em 29/09/2023
Publicado em 10/10/2023

1. INTRODUÇÃO

A matéria particulada (MP) é um dos poluentes que mais contribui para a poluição atmosférica. A MP consiste numa mistura heterogênea de partículas sólidas e gotículas suspensas no ar, podendo ter origem natural (e.g., erupções vulcânicas) ou antropogénica (e.g., emissões de tráfego automóvel, atividade industrial, incêndios florestais, etc.) (Moreno-Ríos et al., 2022:101147, Oliveira et al., 2020b:1032, Oliveira et al., 2019:180, WHO, 2006, 2021). A MP é frequentemente classificada de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico em grosseira (MP > 2,5 µm), fina (MP ≤ 2,5 µm), e ultrafina (MP ≤ 0,1 µm) (Moreno-Ríos et al., 2022:101147; Oliveira et al., 2020b:1032; Oliveira et al., 2019:180; WHO, 2021, 2006). Além do diâmetro da MP condicionar os possíveis impactos negativos na saúde e no ambiente, a composição química da MP também é um fator determinante no seu potencial toxicológico (Alemayehu et al., 2020:27491). A MP pode apresentar na sua constituição diversas substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, e.g., carbono, metais, vários compostos orgânicos voláteis, e agentes biológicos (Alemayehu et al., 2020:27491). A intensidade e duração da exposição à MP será determinante para os potenciais riscos e consequentes efeitos que pode causar na saúde humana (Alemayehu et al., 2020:27491). A MP presente no ar ambiente já foi classificada como um agente carcinogénico para o Homem (Grupo 1) pela Agência Internacional de Investigação para o Cancro (IARC). Esta classificação fundamentou-se na existência de evidência científica suficiente acerca da carcinogenicidade em humanos causada pela exposição à MP do ar ambiente, nomeadamente no desenvolvimento de cancro no pulmão e em dados recolhidos através de diferentes modelos animais (Loomis et al., 2013:1262). As possíveis consequências da exposição à MP na saúde humana foram suportados por estudos toxicológicos com modelos *in vitro* (Chen et al., 2022:134473; Chu et al., 2019:180; Han et al., 2022:135794; Park et al., 2023:137395; Santibáñez-Andrade et al., 2022:133900), contudo os

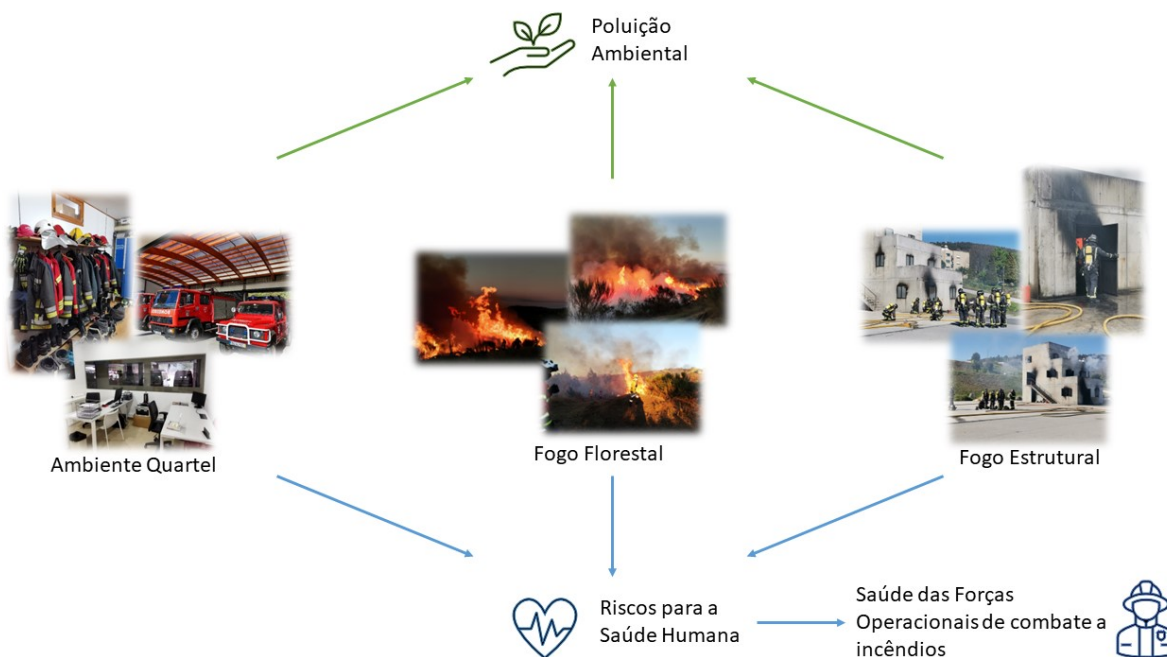
mecanismos de ação da carcinogenicidade da MP no corpo humano permanecem pouco caracterizados (*Ohlwein et al., 2019:547; Rubaiee et al., 2021:2683; Schraufnagel, 2020:311*). As vias de exposição mais comuns à MP são a inalação e a ingestão.

No seu cotidiano, o bombeiro desempenha diversas tarefas (e.g., apoio de emergência médica, assistência pré-hospitalar, transporte de doentes com doença crônica, auxílio em acidentes rodoviários, operações de resgate e salvamento, combate a incêndios, etc.), que podem potencializar a exposição destes operacionais à MP proveniente de diversas fontes. A exposição ocupacional como bombeiro apresenta vários riscos que se podem traduzir em efeitos negativos na saúde dos operacionais sendo que, recentemente, a IARC classificou esta atividade ocupacional como sendo carcinogénica para o Homem (Grupo 1) (*Demers et al., 2022:985*). Esta classificação foi sustentada com evidência científica suficiente que demonstrou o desenvolvimento de cancro da bexiga e mesotelioma em bombeiros (*Demers et al., 2022:985*). A evidência científica existente é limitada para o desenvolvimento de cancro do cólon, próstata e testículos, melanoma e linfoma não-Hodgkin em bombeiros (*Demers et al., 2022:985*). Os estudos epidemiológicos já realizados com bombeiros reportam elevadas taxas de morbilidade e mortalidade em operacionais com participação regular no combate a incêndios (*Barros et al., 2021:106704; Barry et al., 2017:92; Jalilian et al., 2019:2639; Soteriades et al., 2019:3221*). Além da exposição que ocorre durante o combate a incêndios, a exposição do bombeiro a compostos perigosos para a saúde pode ocorrer em ambiente de quartel, por exemplo no contato direto com ferramentas, veículos e equipamento de proteção individual (EPI) contaminados durante os eventos de fogo (*Banks et al., 2020:73-84; Bott et al., 2017:1320; Engelsman et al., 2019:108745; Oliveira et al., 2017a:184; Rakowska et al., 2022:1263; Rogula-Kozłowska et al., 2020:107255; Sparer et al., 2017:1017*).

O interesse por avaliar a exposição a MP tem sido crescente, com o objetivo de melhorar a caracterização dos níveis de exposição do bombeiro e

estimar os possíveis efeitos nocivos na saúde dos indivíduos expostos (*Lin et al., 2021:128841; Moreno-Ríos et al., 2022:101147; Ohlwein et al., 2019:547; Schraufnagel, 2020:311; WHO, 2021*), em particular nas forças operacionais envolvidas no combate a incêndios. Neste trabalho, é apresentada uma caracterização da exposição dos bombeiros à MP nos principais contextos do seu cotidiano (ambiente de quartel, incêndio florestal e estrutural), reportando os níveis descritos na literatura existente e enquadrando-os com a legislação disponível para exposição ocupacional (Figura 1). A caracterização das emissões de MP é importante para estimar a exposição das populações localizadas nas áreas envoltas aos focos de incêndio e possível impacto das emissões de MP na qualidade do ar ambiente e na saúde humana.

Figura 1 - Ambientes caracterizados com exposição a MP.



2. NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO À MATÉRIA PARTICULADA

A Organização Mundial da Saúde atualizou recentemente as diretrizes para a qualidade do ar ambiente, nomeadamente os níveis de MP₁₀ (45,0 e 15,0 µg/m³) e MP_{2,5} (15,0 e 5,0 µg/m³) respetivamente para exposição de curta e longa duração (WHO, 2021). No que respeita à qualidade do ar interior dos edifícios, a Organização Mundial da Saúde ainda não definiu limites para a MP (WHO, 2010).

No âmbito ocupacional, Organização Norte Americana para a Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) definiu um limite permissível de exposição a partículas respiráveis no valor de 5,0 mg/m³ durante um turno de trabalho regular (OSHA, 2017).

2.1 Ambiente de quartel

Os bombeiros passam uma parte significativa do seu turno de trabalho no interior do quartel onde realizam diferentes atividades. A caracterização dos níveis de MP no quartel torna-se assim importante para a avaliação de risco do bombeiro.

Os níveis de MP_{2,5} descritos na literatura variaram de 14,06 – 324,7 µg/m³ (Baxter et al., 2014:D85; Rakowska et al., 2022:1263; Sparer et al., 2017:1017; Teixeira et al., 2023b:139005), não ultrapassando o limite ocupacional definido pela OSHA. Os níveis elevados de MP também foram observados noutros espaços interiores, como a cozinha, zonas de descanso e áreas administrativas (Baxter et al., 2014:D85; Engelsman et al., 2019:108745; Payne et al., 2016:26; Teixeira et al., 2023b:139005). A variabilidade de resultados observada entre as diferentes corporações de bombeiros estudadas pode ser atribuída às diferentes taxas de ocupação diária, técnicas de ventilação em uso, incluindo a ventilação natural, atividades de rotina realizadas, e sistemas de aquecimento em uso nas diferentes áreas do quartel

(*Bott et al., 2017:1320; Engelsman et al., 2019:108745; Payne et al., 2016:26; Teixeira et al., 2023b:139005*).

Os níveis de MP no interior do quartel estão dependentes de diversos fatores como a localização do edifício, tendo em conta o espaço (urbano/rural) envolvente que o circunda e as possíveis fontes emissoras de MP (e.g., zonas de tráfego rodoviário e de estacionamento automóvel, áreas industriais, postos de abastecimento de combustível, restaurantes, etc.) (*IARC, 2010a, 2010b; Karagulian et al., 2015:475; Madureira et al., 2016:198; Oliveira et al., 2017b:277; Oliveira et al., 2016:73; Rogula-Kozłowska et al., 2020:107255; Sparer et al., 2017:1017*). A organização das diferentes áreas do quartel, os sistemas de aquecimento utilizados, as rotinas de manutenção e limpeza dos espaços assim como o ano de construção do edifício constituem fatores que também podem influenciar a concentração de MP no interior do quartel (*Teixeira et al., 2023b:139005*). Na determinação dos níveis interiores de MP, devem ser monitorizados diferentes microambientes do quartel, sendo que a contribuição de cada espaço para o nível total de MP poderá ser diferente. Diversos estudos caracterizaram os níveis de MP em diferentes espaços das corporações de bombeiros (*Baxter et al., 2014:D85; Bott et al., 2017:1320; Engelsman et al., 2019:108745; Payne et al., 2016:26; Rakowska et al., 2022:1263; Rogula-Kozłowska et al., 2020:107255; Sparer et al., 2017:1017; Teixeira et al., 2023b:139005*). Alguns autores reportaram níveis elevados de MP nas garagens de veículos pesados e nas salas de armazenamento dos EPIs contra incêndios (*Baxter et al., 2014:D85; Bott et al., 2017:1320; Rakowska et al., 2022:1263; Rogula-Kozłowska et al., 2020:107255; Sparer et al., 2017:1017*). A contaminação destas áreas do quartel, geralmente localizadas muito próximas uma da outra, é potenciada pela contaminação cruzada com MP a partir de ferramentas, veículos e EPIs contaminados com os gases e partículas libertados durante os incêndios e trazidos pelos bombeiros para as áreas comuns dos quartéis. Este tipo de transferência promove uma exposição continuada dos bombeiros a MP dentro da sua corporação. Os

gases resultantes da combustão de combustível dos veículos também contribuem para os níveis mais elevados de MP registados nas garagens, em particular na garagem de viaturas pesadas. A utilização de sistemas de exaustão e/ou ventilação natural na garagem e na sala de armazenamento de EPIs pode auxiliar na redução dos níveis de MP destes microambientes. A nível estrutural, a criação de uma separação física entre a garagem de viaturas pesadas e os restantes espaços do quartel têm-se mostrado muito útil no isolamento do ruído e na redução da difusão de MP no ar interior do quartel (Teixeira et al., 2023b:139005).

2.2 Atividades de combate a incêndios

Durante os incêndios são emitidos diversos compostos (e.g., MP, monóxido de carbono, metais e vários compostos orgânicos voláteis) que podem ter impactos negativos para a saúde dos indivíduos expostos, bem como para a qualidade do ar ambiente envolvente (Cascio, 2018: 586; Heaney et al., 2022: e2021GH000578, Sousa et al., 2022:12677; Teixeira et al., 2023a: 489). A caracterização das emissões durante os incêndios e eventos de fogo controlado é importante para avaliar os níveis de exposição das forças operacionais envolvidas no combate direto a incêndios, da população exposta e estimar os possíveis impactos na saúde humana e ambiental.

2.2.1 Incêndio florestal

As alterações climáticas têm contribuído para o aumento do número de ocorrências e da intensidade dos incêndios florestais (Meyn et al., 2007:287; Mieziite et al., 2022:116134; Westerling, 2016:20150178; Westerling et al., 2006:940), em particular em alguns estados dos Estados Unidos da América, Canadá, Austrália e nos países do sul da Europa, aumentando a preocupação da contribuição destes incêndios para a degradação da qualidade do ar ambiente com consequentes problemas para o meio-ambiente e para a saúde

pública (*Black et al., 2017:186; Cascio, 2018:586; Messier et al., 2019:696; Navarro, 2020:763*).

As emissões dos incêndios florestais são condicionadas por diversos fatores como a duração variável destes eventos (pode ir de poucas horas a várias semanas), o combustível disponível e as condições meteorológicas existentes no local (e.g., temperatura, humidade relativa, e intensidade do vento). Os níveis totais de MP reportados na literatura variam de 50,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante um fogo controlado florestal a 27211 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ num incêndio florestal que ocorreu no Parque Nacional Glacier, em Montana (*Costa et al., 2022:1; Gaughan et al., 2014:591*). Relativamente a níveis de $\text{MP}_{2,5}$, alguns estudos reportam uma gama de valores mais elevados, 525 – 1750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Adetona et al., 2013:269; Hejl et al., 2013:173; Neitzel et al., 2009:349; Reisen et al., 2011:314; Wu et al., 2021:110541*), do que os valores observados por outros autores, 5,00 - 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Adetona et al., 2019:73; Adetona et al., 2011:835; Cherry et al., 2020:148; McNamara et al., 2012:149; Naeher et al., 2013:304; Navarro et al., 2019a:735*). Os estudos citados referem-se a fogos controlados florestais, avaliando os níveis de MP no ar pessoal dos bombeiros. Tendo em conta, a função desempenhada pelos bombeiros (e.g., maior proximidade ao foco de incêndio) e o tempo de amostragem, as variações entre os resultados reportados podem ser significativas. As variações nos valores registados também se podem relacionar com os métodos de amostragem usados para monitorizar a MP, o tipo de combustível disponível e as diferentes condições meteorológicas registadas em cada local. Considerando os valores reportados na literatura, na maioria dos eventos caracterizados, os níveis de MP emitida ultrapassam os limites definidos pelas diretivas para a qualidade do ar ambiente e em alguns casos as recomendações para a exposição ocupacional dos bombeiros.

As emissões dos incêndios florestais podem causar impactos de curta e longa duração na saúde das populações expostas (população civil e forças operacionais). Os principais efeitos da exposição incluem desidratação, dores

de cabeça, fadiga extrema, inflamação crónica e agravamento de doenças respiratórias (e.g., doença pulmonar obstrutiva crónica, hipoxia e asma), cardiovasculares (e.g., hipertensão, enfarte do miocárdio e acidentes vasculares cerebrais) e cancro (e.g., pele e pulmão) (*Akdis and Nadeau, 2022:651; Barros et al., 2021:106704; Black et al., 2017:186; D'Evelyn et al., 2022:366; Moreno-Ríos et al., 2022:101147; Navarro et al., 2021:144296; Ohlwein et al., 2019:547; Oliveira et al., 2020a:121179*).

2.2.2 Incêndio estrutural

Os incêndios estruturais caracterizam-se por serem eventos de curta duração com exposição das forças operacionais de combate aos incêndios a elevado stress térmico e físico. Apesar da inalação ser uma das principais vias de exposição dos bombeiros aos compostos emitidos durante os incêndios, nos incêndios de natureza estrutural a exposição por inalação é minimizada pelo uso do Aparelho Respiratório Isolante de Circuito Aberto (ARICA) (*Hwang et al., 2021:4209*).

A gama de concentrações de MP total reportados na literatura, durante os incêndios estruturais, varia de $2,32 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo em conta dados recolhidos de vários incêndios estruturais, a $5,60 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante um incêndio estrutural residencial (*Baxter et al., 2014:D85; Burgess and Crutchfield, 1995:37; Jankovic et al., 1991:581*). No que respeita à $\text{MP}_{2,5}$, os níveis reportados na literatura variam entre $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $17530 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a fase de rescaldo de 5 incêndios estruturais (*Anthony et al., 2007:703; Baxter et al., 2014:D85; Burgess et al., 2001:467; Fent et al., 2018:399*). Os níveis de MP registados durante os incêndios estruturais são superiores aos níveis observados para os incêndios florestais, podendo estes níveis estar relacionados com as temperaturas mais elevadas observadas bem como com a complexidade do incêndio tendo por base os tipos de combustíveis disponíveis nestes eventos. Em oposição aos incêndios florestais, durante os incêndios estruturais é frequentemente libertada MP contendo um maior número de

poluentes provenientes da combustão de plásticos, produtos químicos, materiais de construção, veículos, etc.. É importante realçar que os níveis de MP reportados durante os incêndios estruturais não representam o ar respirável do bombeiro uma vez que o EPI usado inclui o uso do sistema ARICA. De um modo geral, os níveis de MP reportados na literatura durante os fogos estruturais ultrapassam os limites para a exposição ocupacional pelo que se torna imperativo o correto uso do sistema ARICA durante todas as etapas do incêndio, incluindo durante a fase de rescaldo. Deste modo, o uso adequado do EPI, incluindo o sistema ARICA durante todas as fases de um incêndio estrutural é determinante para uma maior proteção dos bombeiros à MP respirável entre outros poluentes perigosos para a saúde humana. Contudo, a exposição aos compostos nocivos, gases e poeiras libertados durante os incêndios estruturais, pode ocorrer em diferentes situações: i) durante a fase de rescaldo se o sistema ARICA for parcialmente/totalmente retirado, ii) por contacto direto com ferramentas e veículos contaminados durante o combate ao incêndio, e iii) durante a retirada do EPI contaminado (*Hwang et al., 2021:4209*).

3. RISCOS PARA A SAÚDE

A exposição regular a partículas respiráveis tem sido associada ao desenvolvimento e/ou agravamento de doenças respiratórias (e.g., alergias, sinusite e asma) e cardiovasculares (e.g., doença cardíaca isquémica, ataque cardíaco e acidente vascular cerebral) assim como alguns tipos de cancro, contribuindo para um aumento das taxas de morbilidade e mortalidade da população (*Isiugo et al., 2019:408; Landrigan et al., 2018:462; Loomis et al., 2013:1262; Miri et al., 2018:307; Moreno-Ríos et al., 2022:101147; Ohlwein et al., 2019:547; Samoli et al., 2020: 200116; Schraufnagel, 2020:311; Yang et al., 2019:874; Yang et al., 2023:137037*). Vários estudos epidemiológicos demonstraram que a exposição a ambientes interiores contaminados com poluentes atmosféricos pode induzir inflamação crónica, dano oxidativo e

danos oculares em populações expostas, em particular nos grupos mais sensíveis como crianças, grávidas e pessoas com doença crônica (Yang et al., 2023:137037). A MP fina e ultrafina i.e., $MP \leq 2,5 \mu m$, têm a capacidade de penetrar nas regiões mais sensíveis do sistema respiratório, alcançar e depositar-se nos alvéolos pulmonares, podendo mesmo atravessar as membranas superficiais alveolares e atingir o tecido epitelial, intersticial, endotélio pulmonar e outros órgãos secundários (Navarro et al., 2021:144296). A MP fina e ultrafina formada e libertada durante os incêndios apresenta uma maior toxicidade assim como um maior número de riscos para a saúde do bombeiro devido à presença de vários poluentes (possíveis/prováveis) carcinogênicos absorvidos/adsorvidos à sua superfície (e.g., metais, compostos orgânicos voláteis, entre outros) (Moreno-Ríos et al., 2022:101147; Ohlwein et al., 2019:547). A exposição a MP pode também potenciar efeitos mutagênicos e genotóxicos (Bonetta et al., 2019:1124; Borgie et al., 2015:352; Dubey et al., 2022:114205). Devido à exposição regular dos bombeiros à MP, assim como outros compostos nefastos para a saúde, as taxas de morbidade e mortalidade são superiores às registadas para a população geral devido à sua maior propensão para o desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias e cancro (Amadeo et al., 2015:437; Ma et al., 2006:883; Navarro et al., 2019b:462). Apesar das evidências já existentes, a contribuição da exposição dos bombeiros à MP para os danos registados na saúde deste grupo ocupacional deve continuar a ser investigada. É ainda necessária investigação para explorar e conhecer melhor os mecanismos associados à toxicidade da MP no sistema respiratório humano.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho caracteriza os diversos ambientes em que os bombeiros estão expostos à MP durante as suas atividades diárias. A presença de MP em ambiente de quartel está demonstrada e pode ser influenciada por

várias fontes emissoras externas (e.g., atividades urbanas nas redondezas da corporação de bombeiros, tráfego automóvel, atividade industrial, etc.) e internas (e.g., veículos pesados, contaminação cruzada das emissões dos incêndios, sistemas de aquecimento e de ventilação usados, etc.). Os níveis de MP reportados na literatura em ambiente de quartel não excedem o limite de exposição ocupacional definido pela OSHA, contudo podem ser implementadas medidas para minimizar a difusão de MP nos diferentes microambientes do quartel. Entre outras medidas, destacam-se a implementação e/ou reforço da separação física entre a garagem dos veículos pesados da sala de armazenamento dos EPIs e as restantes áreas comuns do quartel. Estudos adicionais devem ser efetuados em diversas corporações de bombeiros, recolhendo diferentes frações de MP permitindo uma caracterização mais alargada da distribuição de MP neste ambiente de trabalho dos bombeiros.

Os níveis de MP reportados na literatura são mais elevados durante os incêndios de natureza florestal, mas principalmente nos incêndios estruturais. As alterações climáticas têm vindo a contribuir para um aumento no número de ocorrências e da intensidade dos incêndios florestais, aumentando assim os níveis de MP emitida para o meio-ambiente. Nos incêndios estruturais, a presença de um maior número de compostos tóxicos e cancerígenos na MP é mais provável, aumentando a preocupação sobre os possíveis efeitos adversos na saúde dos indivíduos expostos. Além do impacto negativo na saúde das populações expostas, os eventos de fogo contribuem para a emissão de compostos poluentes que irão potenciar a degradação do meio ambiente. De um modo geral, os valores de MP reportados durante os incêndios florestais e estruturais ultrapassam as diretrizes definidas para a qualidade do ar ambiente e, por vezes, o limite ocupacional existente. A exposição dos bombeiros à MP potencia os efeitos nefastos observados na saúde humana como o desenvolvimento/agravamento de doenças cardiorrespiratórias e alguns tipos de cancro tendo sido registadas elevadas taxas de mortalidade e morbidade em estudos epidemiológicos.

A literatura existente relacionada com a caracterização da exposição dos bombeiros à MP permanece limitada, sendo importante a realização de mais estudos, em ambiente de quartel e durante o combate de incêndios para melhor caracterizar a exposição deste grupo ocupacional. A análise dos níveis de MP com diferentes tamanhos e a sua composição química deve ser incentivada. O maior conhecimento dos perfis de exposição à MP permitirá propor medidas de prevenção e de mitigação para serem implementadas pelas várias forças de combate a incêndios. Uma vez implementadas, algumas das medidas podem ser aplicadas para proteção da população geral exposta aos incêndios.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi financiado pelos projetos PCIF/SSO/0090/2019 e 2022.05381.PTDC através da Fundação para a Ciência e Tecnologia e Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (FCT-MCTES) com fundos nacionais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve o suporte dos projetos UIDB/50006/2020, UIDP/50006/2020, LA/P/0008/2020, e PCIF/SSO/0017/2018 através da FCT-MCTES. M. Oliveira e F. Rodrigues agradecem aos Contratos de Programa Individual CEECIND/03666/2017 e CEECIND/01886/2020, respetivamente.

REFERÊNCIAS

Adetona, A. M., W. Kyle Martin, S. H. Warren, N. M. Hanley, O. Adetona, J. Zhang, et al. (2019). Urinary mutagenicity and other biomarkers of occupational smoke exposure of wildland firefighters and oxidative stress. *Inhalation Toxicology* **31** (2), 73-87. doi: 10.1080/08958378.2019.1600079

Adetona, O., D. B. Hall and L. P. Naehrer (2011). Lung function changes in wildland firefighters working at prescribed burns. *Inhalation Toxicology* **23** (13), 835-841. doi: 10.3109/08958378.2011.617790

Adetona, O., J. J. Zhang, D. B. Hall, J. S. Wang, J. E. Vena and L. P. Naehrer (2013). Occupational exposure to woodsmoke and oxidative stress in wildland firefighters. *Science of the Total Environment* **449**, 269-275. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.075

Akdis, C. A. and K. C. Nadeau (2022). Human and planetary health on fire. *Nature Reviews Immunology* **22** (11), 651-652. doi: 10.1038/s41577-022-00776-3

Alemayehu, Y. A., S. L. Asfaw and T. A. Terfie (2020). Exposure to urban particulate matter and its association with human health risks. *Environmental Science and Pollution Research* **27** (22), 27491-27506. doi: 10.1007/s11356-020-09132-1

Amadeo, B., J. L. Marchand, F. Moisan, S. Donnadieu, C. Gaëlle, M. P. Simone, et al. (2015). French firefighter mortality: analysis over a 30-year period. *American Journal of Industrial Medicine* **58** (4), 437-443. doi: 10.1002/ajim.22434

Anthony, T. R., P. Joggerst, L. James, J. L. Burgess, S. S. Leonard and E. S. Shogren (2007). Method Development Study for APR Cartridge Evaluation in Fire Overhaul Exposures. *The Annals of Occupational Hygiene* **51** (8), 703-716. doi: 10.1093/annhyg/mem048

Banks, A. P. W., M. Engelsman, C. He, X. Wang and J. F. Mueller (2020). The occurrence of PAHs and flame-retardants in air and dust from Australian fire stations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **17** (2-3), 73-84. doi: 10.1080/15459624.2019.1699246

Barros, B., M. Oliveira and S. Morais (2021). Firefighters' occupational exposure: Contribution from biomarkers of effect to assess health risks. *Environmental International* **156**, 106704-106725. doi: 10.1016/j.envint.2021.106704

Barry, K. H., J. I. Martinsen, M. C. R. Alavanja, G. Andreotti, A. Blair, J. Hansen, et al. (2017). Risk of early-onset prostate cancer associated with occupation in the Nordic countries. *European Journal of Cancer* **87**, 92 - 100. doi: 10.1016/j.ejca.2017.09.023

Baxter, C. S., J. D. Hoffman, M. J. Knipp, T. Reponen and E. N. Haynes (2014). Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons.

Journal of Occupational and Environmental Hygiene **11** (7), D85-D91. doi: 10.1080/15459624.2014.890286

Black, C., Y. Tesfaigzi, J. A. Bassein and L. A. Miller (2017). Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue. *Environmental Toxicology and Pharmacology* **55**, 186 - 195. doi: 10.1016/j.etap.2017.08.022

Bonetta, S., Bonetta, S., Schilirò, T., Ceretti, E., Feretti, D., Covolo, L., et al., (2019). Mutagenic and genotoxic effects induced by PM0.5 of different Italian towns in human cells and bacteria: The MAPEC_LIFE study. *Environmental Pollution* **245**, 1124 - 1135. doi: 10.1016/j.envpol.2018.11.017

Borgie, M., Ledoux, F., Verdin, A., Cazier, F., Greige, H., Shirali, P., et al., (2015). Genotoxic and epigenotoxic effects of fine particulate matter from rural and urban sites in Lebanon on human bronchial epithelial cells, *Environmental Research* **136**, 352 - 362. doi: 10.1016/j.envres.2014.10.010

Bott, R. C., K. M. Kirk, M. B. Logan and D. A. Reid (2017). Diesel particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons in fire stations. *Environmental Science: Processes and Impacts* **19** (10), 1320-1326. doi: 10.1039/C7EM00291B

Burgess, J. L. and C. D. Crutchfield (1995). Tucson Fire Fighter Exposure to Products of Combustion: A Risk Assessment. *Applied Occupational Environmental Hygiene* **10**, 37-42. doi: 10.1080/1047322X.1995.10387609

Burgess, J. L., C. J. Nanson, D. M. Bolstad-Johnson, R. Gerkin, T. A. Hysong, R. C. Lantz, et al. (2001). Adverse Respiratory Effects Following Overhaul in Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **43** (5), 467 - 473. doi: 10.1097/00043764-200105000-00007

Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. *Science of the Total Environment* **624**, 586-595. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.086

Chen, S.-S., T.-Q. Wang, W.-C. Song, Z.-J. Tang, Z.-M. Cao, H.-J. Chen, et al. (2022). A novel particulate matter sampling and cell exposure strategy based on agar membrane for cytotoxicity study. *Chemosphere* **300**, 134473-134483. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134473

Cherry, N., J.-M. Galarneau, D. Kinniburgh, B. Quemerais, S. Tiu and X. Zhang (2020). Exposure and Absorption of PAHs in Wildland Firefighters: A Field Study with Pilot Interventions. *Annals of Work Exposures and Health* **65** (2), 148-161. doi: 10.1093/annweh/wxaa064

Chu, C., H. Zhang, S. Cui, B. Han, L. Zhou, N. Zhang, et al. (2019). Ambient PM_{2.5} caused depressive-like responses through Nrf2/NLRP3 signaling pathway modulating inflammation. *Journal of Hazardous Materials* **369**, 180-190. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.02.026

Costa, M. A. M., S. S. Amaral, T. G. Soares Neto, A. A. Cardoso, J. C. Santos, M. L. Souza and J. A. Carvalho (2022). Forest Fires in the Brazilian Amazon and their Effects on Particulate Matter Concentration, Size Distribution, and Chemical Composition. *Combustion Science and Technology*, 1-27. doi: 10.1080/00102202.2021.2019229

D'Evelyn, S. M., J. Jung, E. Alvarado, J. Baumgartner, P. Caligiuri, R. K. Hagmann, et al. (2022). Wildfire, Smoke Exposure, Human Health, and Environmental Justice Need to be Integrated into Forest Restoration and Management. *Current Environmental Health Reports* **9** (3), 366-385. doi: 10.1007/s40572-022-00355-7

Demers, P. A., D. M. DeMarini, K. W. Fent, D. C. Glass, J. Hansen, O. Adetona, et al. (2022). Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. *Lancet Oncology* **23** (8), 985-986. doi: 10.1016/S1470-2045(22)00390-4

Dubey, K., Maurya, R., Mourya, D., Pandey, A. K., (2022). Physicochemical characterization and oxidative potential of size fractionated Particulate Matter: Uptake, genotoxicity and mutagenicity in V-79 cells, *Ecotoxicology and Environmental Safety* **247**, 114205 - 114220. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.114205

Engelsman, M., M. F. Snoek, A. P. W. Banks, P. Cantrell, X. Wang, L. M. Toms and D. J. Koppel (2019). Exposure to metals and semivolatile organic compounds in Australian fire stations. *Environmental Research* **179**, 108745 - 108753. doi: 10.1016/j.envres.2019.108745

Fent, K. W., D. E. Evans, K. Babik, C. Striley, S. Bertke, S. Kerber, D. Smith and G. P. Horn (2018). Airborne contaminants during controlled residential fires. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **15** (5), 399-412. doi: 10.1080/15459624.2018.1445260

Gaughan, D. M., C. A. Piacitelli, B. T. Chen, B. F. Law, M. A. Virji, N. T. Edwards, et al. (2014). Exposures and cross-shift lung function declines in wildland firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **11** (9), 591-603. doi: 10.1080/15459624.2014.895372

Han, B., Q. Liu, X. Su, L. Zhou, B. Zhang, H. Kang, et al. (2022). The role of PP2A /NLRP3 signaling pathway in ambient particulate matter 2.5 induced lung injury. *Chemosphere* **307**, 135794-135808. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135794

Heaney, A., J. D. Stowell, J. C. Liu, R. Basu, M. Marlier and P. Kinney (2022). Impacts of Fine Particulate Matter From Wildfire Smoke on Respiratory and Cardiovascular Health in California. *GeoHealth* **6** (6), e2021GH000578. doi: 10.1029/2021GH000578

Hejl, A. M., O. Adetona, D. Diaz-Sanchez, J. D. Carter, A. A. Commodore, S. L. Rathbun and L. P. Naeher (2013). Inflammatory Effects of Woodsmoke Exposure Among Wildland Firefighters Working at Prescribed Burns at the Savannah River Site, SC. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **10** (4), 173-180. doi: 10.1080/15459624.2012.760064

Hwang, J., C. Xu, R. J. Agnew, S. Clifton and T. R. Malone (2021). Health risks of structural firefighters from exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18** (8), 4209-4227. doi: 10.3390/ijerph18084209
IARC (2010a). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. Vol. 92, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.

IARC (2010b). Painting, Firefighting, and Shiftwork. Vol. 98, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.

Isiugo, K., R. Jandarov, J. Cox, P. Ryan, N. Newman, S. A. Grinshpun, et al., (2019). Indoor particulate matter and lung function in children, *Science of the Total Environment* **663**, 408 - 417. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.309

Jalilian, H., M. Ziaei, E. Weiderpass, C. S. Rueegg, Y. Khosravi and K. Kjaerheim (2019). Cancer incidence and mortality among firefighters. *International Journal of Cancer* **145** (10), 2639 - 2646. doi: 10.1002/ijc.32199
Jankovic, J., W. Jones, J. Burkhart and G. Noonan (1991). Environmental study of firefighters. *The Annals of Occupational Hygiene* **35** (6), 581-602. doi: 10.1093/annhyg/35.6.581

Karagulian, F., C. A. Belis, C. F. C. Dora, A. M. Prüss-Ustün, S. Bonjour, H. Adair-Rohani and M. Amann (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment* **120**, 475-483. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087
Landrigan, P.J., R. Fuller, N.J.R. Acosta, O. Adeyi, R. Arnold, N. Basu, et al., (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* **391** (10119), 462 - 513. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0

Lin, L., T. Li, M. Sun, Q. Liang, Y. Ma, F. Wang, J. Duan and Z. Sun (2021). Effect of particulate matter exposure on the prevalence of allergic rhinitis in

children: A systematic review and meta-analysis. *Chemosphere* **268**, 128841 - 128857. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128841

Loomis, D., Y. Grosse, B. Lauby-Secretan, F. El Ghissassi, V. Bouvard, L. Benbrahim-Tallaa, et al. (2013). The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncology* **14** (13), 1262-1263. doi: 10.1016/s1470-2045(13)70487-x

Ma, F., L. E. Fleming, D. J. Lee, E. Trapido and T. A. Gerace (2006). Cancer incidence in Florida professional firefighters, 1981 to 1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **48** (9), 883-888. doi: 10.1097/01.jom.0000235862.12518.04

Madureira, J., I. Paciência, J. Rufo, M. Severo, E. Ramos, H. Barros and E. de Oliveira Fernandes (2016). Source apportionment of CO₂, PM₁₀ and VOCs levels and health risk assessment in naturally ventilated primary schools in Porto, Portugal. *Building and Environment* **96**, 198-205. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.11.031

McNamara, M. L., E. O. Semmens, S. Gaskill, C. Palmer, C. W. Noonan and T. J. Ward (2012). Base Camp Personnel Exposure to Particulate Matter During Wildland Fire Suppression Activities. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **9** (3), 149-156. doi: 10.1080/15459624.2011.652934

Messier, K. P., L. G. Tidwell, C. C. Ghetu, D. Rohlman, R. P. Scott, L. M. Bramer, et al. (2019). Indoor versus Outdoor Air Quality during Wildfires. *Environmental Science and Technology Letters* **6** (12), 696-701. doi: 10.1021/acs.estlett.9b00599

Meyn, A., P. White, C. Buhk and A. Jentsch (2007). Environmental drivers of large, infrequent wildfires: The emerging conceptual model. *Progress in Physical Geography* **3**, 287-312. doi: 10.1177/0309133307079365

Miezīte, L. E., A. Ameztegui, M. De Cáceres, L. Coll, A. Morán-Ordóñez, C. Vega-García and M. Rodrigues (2022). Trajectories of wildfire behavior under climate change. Can forest management mitigate the increasing hazard? *Journal of Environmental Management* **322**, 116134-116145. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116134

Miri, M., A. Alahabadi, M.H. Ehrampush, A. Rad, M.H. Lotfi, M.H. Sheikhha, et al., (2018). Mortality and morbidity due to exposure to ambient particulate matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **165**, 307 - 313. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.09.012

Moreno-Ríos, A. L., L. P. Tejada-Benítez and C. F. Bustillo-Lecompte (2022). Sources, characteristics, toxicity, and control of ultrafine particles: An overview. *Geoscience Frontiers* **13** (1), 101147-101162. doi: 10.1016/j.gsf.2021.101147

Naeher, L. P., D. B. Barr, O. Adetona and C. D. Simpson (2013). Urinary levoglucosan as a biomarker for woodsmoke exposure in wildland firefighters. *International Journal of Occupational and Environmental Health* **19** (4), 304-310. doi: 10.1179/2049396713Y.0000000037

Navarro, K. (2020). Working in Smoke: Wildfire Impacts on the Health of Firefighters and Outdoor Workers and Mitigation Strategies. *Clinics in Chest Medicine* **41** (4), 763-769. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.017

Navarro, K. M., R. Cisneros, D. Schweizer, P. Chowdhary, E. M. Noth, J. R. Balmes and S. K. Hammond (2019a). Incident command post exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and particulate matter during a wildfire. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **16** (11), 735-744. doi: 10.1080/15459624.2019.1657579

Navarro, K. M., K. A. Clark, D. J. Hardt, C. E. Reid, P. W. Lahm, J. W. Domitrovich, et al. (2021). Wildland firefighter exposure to smoke and COVID-19: A new risk on the fire line. *Science of the Total Environment* **760**, 144296-144304. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144296

Navarro, K. M., M. T. Kleinman, C. E. Mackay, T. E. Reinhardt, J. R. Balmes, G. A. Broyles, R. D. Ottmar, L. P. Naher and J. W. Domitrovich (2019b). Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research* **173**, 462-468. doi: 10.1016/j.envres.2019.03.060

Neitzel, R., L. P. Naeher, M. Paulsen, K. Dunn, A. Stock and C. D. Simpson (2009). Biological monitoring of smoke exposure among wildland firefighters: A pilot study comparing urinary methoxyphenols with personal exposures to carbon monoxide, particular matter, and levoglucosan. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* **19** (4), 349-358. doi: 10.1038/jes.2008.21

Ohlwein, S., R. Kappeler, M. Kutlar Joss, N. Künzli and B. Hoffmann (2019). Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence. *International Journal of Public Health* **64** (4), 547-559. doi: 10.1007/s00038-019-01202-7

Oliveira, M., S. Costa, J. Vaz, A. Fernandes, K. Slezakova, C. Delerue-Matos, et al. (2020a). Firefighters exposure to fire emissions: Impact on levels of biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and genotoxic/oxidative-effects. *Journal of Hazardous Materials* **383**, 121179-121189. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121179

Oliveira, M., C. Delerue-Matos, M. C. Pereira and S. Morais (2020b). Environmental Particulate Matter Levels during 2017 Large Forest Fires and Megafires in the Center Region of Portugal: A Public Health Concern? *International Journal of Environmental Research and Public Health* **17** (3), 1032-1052. doi: 10.3390/ijerph17031032

Oliveira, M., K. Slezakova, M. J. Alves, A. Fernandes, J. P. Teixeira, C. Delerue-Matos, et al. (2017a). Polycyclic aromatic hydrocarbons at fire stations: firefighters' exposure monitoring and biomonitoring, and assessment of the contribution to total internal dose. *Journal of Hazardous Materials* **323** (Pt A), 184-194. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.03.012

Oliveira, M., K. Slezakova, C. Delerue-Matos, M. C. Pereira and S. Morais (2019). Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Environmental International* **124**, 180-204. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.052

Oliveira, M., K. Slezakova, A. Fernandes, J. P. Teixeira, C. Delerue-Matos, M. C. Pereira and S. Morais (2017b). Occupational exposure of firefighters to polycyclic aromatic hydrocarbons in non-fire work environments. *Science of the Total Environment* **592**, 277-287. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.081

Oliveira, M., K. Slezáková, M. C. Pereira, A. Fernandes, J. Vaz, C. Delerue-Matos and S. Morais (2016). Firefighter's occupational exposure to PM_{2.5} and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Occupational Safety and Hygiene IV*. P. M. Arezes, J. P. Baptista, M. P. Barroso et al. London, United Kingdom, CRC Press, Taylor and Francis Group: 73-76.

OSHA (2017). Permissible Exposure Limits. Vol. 29, Occupational Safety and Health Agency, United States of America.

Park, J. E., J. Y. Lee, J. Chae, C. H. Min, H. S. Shin, S. Y. Lee, et al. (2023). In vivo tracking of toxic diesel particulate matter in mice using radiolabeling and nuclear imaging. *Chemosphere* **313**, 137395-137403. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137395

Payne, R. L., V. M. Alaves, R. R. Larson and D. K. Sleeth (2016). An evaluation of diesel particulate matter in fire station vehicle garages and living quarters. *Journal of Chemical Health and Safety* **23** (4), 26-31. doi: 10.1016/j.jchas.2015.10.020

Rakowska, J., M. Rachwał and A. Walczak (2022). Health Exposure Assessment of Firefighters Caused by PAHs in PM₄ and TSP after Firefighting Operations. *Atmosphere* **13** (8), 1263 - 1276. doi: 10.3390/atmos13081263

Reisen, F., D. Hansen and C. P. Meyer (2011). Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: Firefighters' exposure risks and options. *Environmental International* **37** (2), 314-321. doi: 10.1016/j.envint.2010.09.005

Rogula-Kozłowska, W., K. Bralewska, P. Rogula-Kopiec, R. Makowski, M. Majder-Łopatka, A. Łukawski, et al. (2020). Respirable particles and polycyclic aromatic hydrocarbons at two Polish fire stations. *Building and Environment* **184**, 107255 - 107266. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107255

Rubaiee, S., M. Hamdi, A. Mahfouz, T. S and A. Alharbi (2021). Risk assessment of human exposure to airborne ultrafine particles and toxic metals: a comprehensive and comparative analysis between urban and rural environments of Jeddah City, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences* **14**, 2683 - 2703. doi: 10.1007/s12517-021-09092-x

Samoli, E., S. Rodopoulou, A. Schneider, L. Morawska, M. Stafoggia, M. Renzi, et al., (2020). Meta-analysis on short-term exposure to ambient ultrafine particles and respiratory morbidity. *European Respiratory Review* **29**, (158), 200116 - 200130. doi: 10.1183/16000617.0116-2020

Santibáñez-Andrade, M., Y. Sánchez-Pérez, Y. I. Chirino, R. Morales-Bárceñas, R. Quintana-Belmares and C. M. García-Cuellar (2022). Particulate matter (PM₁₀) destabilizes mitotic spindle through downregulation of SETD2 in A549 lung cancer cells. *Chemosphere* **295**, 133900 - 133912. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133900

Schraufnagel, D. E. (2020). The health effects of ultrafine particles. *Experimental and Molecular Medicine* **52** (3), 311-317. doi: 10.1038/s12276-020-0403-3

Soteriades, E. S., J. Kim, C. A. Christophi and S. N. Kales (2019). Cancer Incidence and Mortality in Firefighters: A State-of-the-Art Review and Meta-Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* **20** (11), 3221 - 3231. doi: 10.31557/apjcp.2019.20.11.3221

Sousa, G., J. Teixeira, C. Delerue-Matos, B. Sarmiento, S. Morais, X. Wang, F. Rodrigues and M. Oliveira (2022). Exposure to PAHs during Firefighting Activities: A Review on Skin Levels, In Vitro/In Vivo Bioavailability, and Health Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **19** (19), 12677 - 12699. doi: 10.3390/ijerph191912677

Sparer, E. H., D. P. Prendergast, J. N. Apell, M. R. Bartzak, G. R. Wagner, G. Adamkiewicz, et al. (2017). Assessment of Ambient Exposures Firefighters Encounter While at the Fire Station: An Exploratory Study. *Journal of*

Occupational and Environmental Medicine **59** (10), 1017-1023. doi: 10.1097/jom.0000000000001114

Teixeira, J., C. Delerue-Matos, F. Rodrigues, S. Morais and M. Oliveira (2023a). Emissions from Vehicle Fires: A Literature Review of Levels of Exposure During Firefighting Activities. *Occupational and Environmental Safety and Health IV*. P. M. Arezes, J. S. Baptista, R. B. Melo et al. Cham, Springer International Publishing: 489-500.

Teixeira, J., G. Sousa, S. Morais, C. Delerue-Matos and M. Oliveira (2023b). Assessment of coarse, fine, and ultrafine particulate matter at different microenvironments of fire stations. *Chemosphere* **335**, 139005-139014. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.139005

Westerling, A. L. (2016). Increasing western US forest wildfire activity: sensitivity to changes in the timing of spring. *Philosophical Transactions B* **371** (1696), 20150178-20150188. doi: 10.1098/rstb.2015.0178

Westerling, A. L., H. G. Hidalgo, D. R. Cayan and T. W. Swetnam (2006). Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science* **313** (5789), 940-943. doi: 10.1126/science.1128834

WHO (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Vol. xxi. World Health Organization, Geneva.

WHO (2006). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva.

World Health Organization (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization, Denmark.

Wu, C.-M., C. Song, R. Chartier, J. Kremer, L. Naeher and O. Adetona (2021). Characterization of occupational smoke exposure among wildland firefighters in the midwestern United States. *Environmental Research* **193**, 110541-110550. doi: 10.1016/j.envres.2020.110541

Yang, Y., Ruan, Z., Wang, X., Yang, Y., Mason, T.G., Lin, H., et al., (2019). Short-term and long-term exposures to fine particulate matter constituents and health: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*. **247**, 874 - 882. doi: 10.1016/j.envpol.2018.12.060.

Yang, D.-L., Zhang, Z.-N., Liu, H., Yang, Z.-Y., Liu, M.-M., Zheng, Q.-X., et al., (2023). Indoor air pollution and human ocular diseases: Associated

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Artigo Publicado no Vol.09 N.27 – II Edição Especial 2023 - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>

contaminants and underlying pathological mechanisms, *Chemosphere* **311**, (2), 137037 - 137047. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137037