Dataset Reports 3:1 (2024)
ISSN 2965-1182

REVIEW ARTICLE

DATASET REPORTS

Poluição do ar como fator de risco para tuberculose, câncer de pulmão e COVID-19: uma revisão integrativa de literatura

Air pollution as a risk factor for tuberculosis, lung cancer and COVID-19: an integrative literature review

Yuri José Almeida dos Santos [a*], Lilibeth Batista de Maras [b], Talita Pereira Lima [b]

[a] Centro de Ciências Médicas (CCM), Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil.
[b] Faculdade Estácio, 48.011-144, Alagoinhas, Bahia, Brasil.

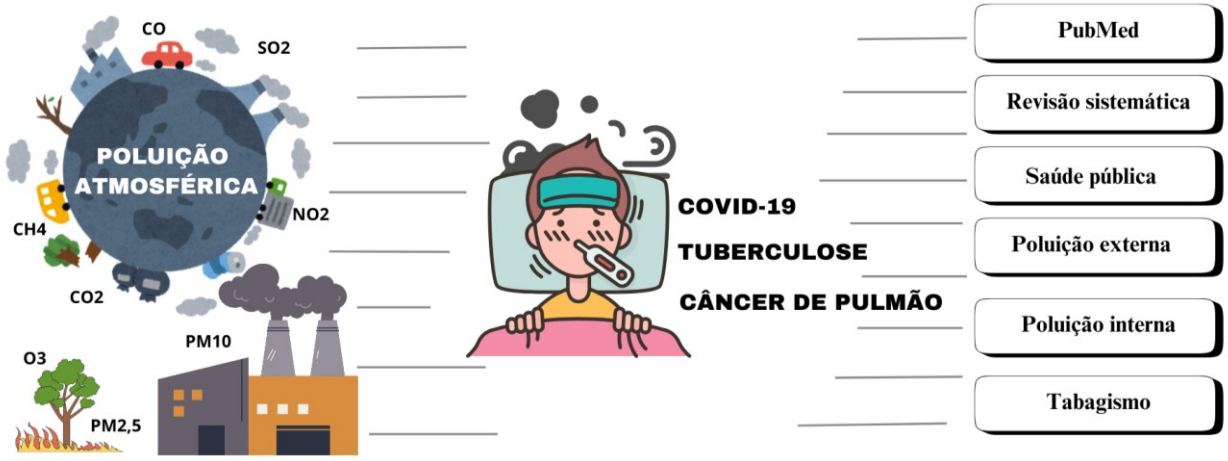
Resumo
Desde a Primeira Revolução Industrial, a poluição atmosférica é um fenômeno cada vez mais relevante para a saúde pública. São conhecidos os efeitos adversos de diversas substâncias tóxicas ou aglomerados de partículas, imersas no ar, quando em contato com o organismo. Essas substâncias e aglomerados podem danificar tecidos e aumentar a suscetibilidade do hospedeiro a doenças, assim como promover infecções ao transportarem agentes infecciosos. Nesse sentido, o objetivo principal da presente revisão consiste em analisar a associação causal ou agravante entre a poluição do ar e as seguintes doenças respiratórias: tuberculose, câncer de pulmão e COVID-19. Os trabalhos analisados apontaram que os principais parâmetros ligados à tuberculose são SO_2, NO_2, CO, O_3, $PM_{2,5}$ e PM_{10} - embora existam incertezas acerca dos papéis do O_3. Substâncias como tabaco, $PM_{2,5}$, PM_{10}, NO_2, O_3, SO_2, CO, pesticidas, sílica cristalina e partículas radioativas estão relacionadas ao câncer de pulmão - mesmo com incertezas também acerca dos efeitos do O_3. No caso da COVID-19, NO_2, SO_2, O_3, $PM_{2,5}$ e PM_{10} podem ser apresentados como fatores de risco. Embora haja variações acerca dos efeitos do SO_2. Os resultados mostraram que os parâmetros interagem diferentemente com o trato respiratório e aumentam a suscetibilidade desse às infecções, além de elevarem a resistência à replicação celular. Assim, a regulação da quantidade dessas substâncias na atmosfera pelas autoridades governamentais pode dirimir efeitos prejudiciais sobre o organismo e aumentar a saúde pública.

Palavras-chave: Poluição do ar. Medicina pulmonar. Pneumologia. Doenças respiratórias.

Abstract
Since the First Industrial Revolution, air pollution has been an increasingly significant issue for public health. The adverse effects of several toxic substances or particles clusters suspended in the air are known when they come into contact with the body. These substances and clumps can damage tissues and increase the host's susceptibility to disease, as well as promote infections by carrying infectious agents. In this sense, the main objective of this review is to analyze the causal or aggravating association between air pollution and the following respiratory diseases: tuberculosis, lung cancer and COVID-19. The studies analyzed showed that the main parameters linked to tuberculosis are SO_2, NO_2, CO, O_3, $PM_{2.5}$ and PM_{10} - although there are uncertainties regarding the roles of O_3. Substances such as tobacco, $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, O_3, SO_2, CO, pesticides, crystalline silica and radioactive particles are related to lung cancer - even with uncertainty about the effects of O_3. In the case of COVID-19, NO_2, SO_2, O_3, $PM_{2.5}$ and PM_{10} can be presented as risk factors. Although there are variations regarding the effects of SO_2. The results showed that these parameters interact differently with the respiratory tract and increase their susceptibility to infections, in addition to increasing resistance to cell replication. Thus, governmental regulation of the amounts of these substances in the atmosphere could mitigate harmful effects on the body and enhance public health.

Keywords: Air pollution. Pulmonary medicine. Pneumology. Respiratory diseases.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Yuri J. A. Santos. E-mail address: ya528772@gmail.com
Submitted: 21 October 2024; Accepted: 25 October 2024; Published: 28 October 2024.
© The Author(s) 2024. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

Desde o início da primeira Revolução Industrial até os dias atuais, as concentrações de dióxido de carbono (CO_2) atingiram níveis alarmantes na atmosfera, provocando um aumento de 1°C na temperatura média global da superfície terrestre em comparação com níveis pré-industriais. A poluição proveniente de atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, a produção animal, a utilização de solos e os incêndios, está a emergir como uma grande ameaça para a saúde pública (Michaud & Leigh, 2024; Pacheco et al., 2021). As emissões em massa de monóxido de carbono e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos afetam o bem-estar de diversas estruturas biológicas (Pacheco et al., 2021). Inclusive no Brasil, quando observado o predomínio de incêndios florestais (Cobelo et al., 2023). Nunca foram registradas taxas acumuladas tão altas de queimadas em território nacional. Segundo a plataforma MapBiomas (2024), a área queimada acumulada no Brasil em 2023 ultrapassou os 199.121.738 hectares. De acordo com o Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apenas em relação ao ano de 2023, já foi observado um aumento de 76% no número de focos registrados até o momento (Brasil, 2024).

A poluição atmosférica é um fenômeno multifatorial caracterizado por vários poluentes. Os componentes mais frequentes incluem (1) partículas ultrafinas inaláveis à base de carbono ou de metais com um diâmetro inferior a 100 nm, (2) partículas com diâmetro inferior ou igual a 2,5 µm ($PM_{2,5}$), (3) partículas com diâmetro inferior ou igual a 10 µm (PM_{10}), (4) dióxido de nitrogênio (NO_2), (5) gás ozônio (O_3) e vários outros compostos (Alessio et al., 2021). As partículas são distribuídas no trato respiratório de acordo com seus diâmetros, de modo que as opções mais espessas são depositadas no trato respiratório superior e as mais delgadas no trato respiratório inferior. O conteúdo das partículas é constituído por compostos inorgânicos, orgânicos e biológicos provenientes de processos naturais e antropogênicos. Em conjunto, poeiras, fuligem, metais, sais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, aminas aromáticas, endotoxinas e fungos formam uma mistura capaz de alterar a homeostase celular e induzir doenças (Santibáñez-Andrade et al., 2019).

Na esfera doméstica, os efeitos da qualidade do ar também são notáveis. Os combustíveis sólidos e o querosene - altamente nocivos para as estruturas biológicas humanas - continuam a ser utilizados como principais fontes de energia em muitos países, inclusive no Brasil. Apenas em 2017, cerca de 2,8 bilhões de pessoas no mundo ainda dependiam de combustíveis sólidos. E sobre a atual conjuntura, estima-se que gerem cerca de 3,2 milhões de mortes evitáveis todos os anos (Balmes, 2019; Gioda et al., 2019; Puzzolo et al., 2024). O tabagismo é também considerado um dos principais fatores que contribuem para a poluição do ar interior (Pacheco et al., 2021; Van Vliet et al., 2019). Os fumantes são expostos a uma mistura tóxica de mais de 7000 químicos e mais de 60 compostos cancerígenos conhecidos quando inalam a fumaça do cigarro (Urrutia-Pereira et al., 2022).

As ações humanas interferem na dinâmica do clima, na estruturação da paisagem e no fluxo de moléculas e partículas. Esses fatores têm impacto nas atividades humanas de várias formas. O desmatamento de florestas e a desconfiguração de ecossistemas aumentam a pressão seletiva sobre certas formas de vida e favorecem o transporte inter-animal de certos vírus (Grobusch & Grobusch, 2022; He et al., 2023; Yam, 2020). As temperaturas quentes conduzem a um risco estatisticamente mais elevado de hospitalizações respiratórias em grupos etários acima de 75 anos (Peng et al., 2022). Adicionalmente as nuvens de poeira aumentam a incidência de doenças respiratórias, como a tuberculose e a COVID-19 (Li et al., 2023; Vergadi et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Um estudo brasileiro, ao analisar os parâmetros $PM_{2,5}$, NO_2 e O_3, contribuiu para essas constatações na medida em que evidenciou o poder mortífero da poluição do ar. Foram registradas variações consideráveis em relação aos tipos de poluentes, às regiões e aos grupos populacionais - segmentados por sexo e faixa etária (Requia et al., 2024). Esse poder mortífero também é refletido na incidência de doenças cardiovasculares. Outra pesquisa demonstrou que a mortalidade por doenças cardiovasculares de todos os tipos aumentou em 0,723% quando as concentrações de $PM_{2,5}$ aumentaram em 10 µg/m^3. O PM_{10}, quando aumentado em um valor igual, fez com que as doenças cardiovasculares subissem em 0,424% (Zhu et al., 2023). Todavia, o presente estudo não tem como objetivo analisar a influência da poluição do ar nas doenças cardiovasculares, mas na tuberculose, no câncer de pulmão e na COVID-19.

O Relatório Global da Tuberculose, publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), mostrou que apenas em 2022 a doença foi responsável pela morte de 1,3 milhão de pessoas ao redor do mundo. Sendo que em âmbito nacional, nesse mesmo ano, 105 mil pessoas foram acometidas pela tuberculose e 87.344 foram diagnosticadas e tratadas (OMS, 2023). O câncer de pulmão é uma das principais preocupações das instituições que visam promover a saúde mundial. De acordo com o boletim mais recente publicado pela Fundação do Câncer (2024), apenas em 2022, 29 mil pessoas morreram devido a essa doença. Em 2024 aparentemente não será diferente, uma vez que estimativas apontam para mais de 32.500 casos. A COVID-19, apesar de ter sua situação epidemiológica controlada atualmente, ainda mantém uma incidência de 360 casos por 100 mil habitantes, de acordo com dados do Sistema Único de Saúde (Brasil, 2024).

Nesse sentido, a qualidade do ar é um fator determinante na incidência de diversas doenças, uma vez que tem o poder de alterar a homeostase tecidual e causar prejuízos ao hospedeiro. Além disso, a tuberculose, o câncer de pulmão e a COVID-19 ainda são doenças bastante relevantes para o cenário brasileiro - prejudicando a vida de milhares de pessoas. Este estudo, portanto, busca analisar esses parâmetros e relacionar a poluição do ar como um fator agravante ou originário de tais doenças.

2. Metodologia

A base de dados PubMed foi utilizada para a pesquisa dos estudos referenciados neste artigo, no período de 15 de maio a 12 de junho de 2024. Utilizando os descritores disponibilizados pela plataforma DeCS (Descritores em Ciências da Saúde) e o operador booleano AND, foram reunidas as expressões de pesquisa “COVID-19 AND air pollution”, “silicosis AND air pollution”, “Tuberculosis AND air pollution” e “Lung Cancer AND air pollution”. Para o reconhecimento do trabalho, considerou-se um recorte temporal de 5 anos (2019 a 2024), a base de dados MEDLINE e filtros relacionados ao idioma português, espanhol e inglês e à gratuidade e completude dos artigos. Após submeter os trabalhos a critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 16 artigos para os resultados, com o intuito de relacionar a poluição do ar com a tuberculose, o câncer de pulmão e a COVID-19.

3. Resultados e Discussão

Este estudo procurou estabelecer uma relação entre a poluição atmosférica e a tuberculose, o câncer de pulmão e a COVID-19. Entre os poluentes externos, observou-se que os parâmetros $PM_{2,5}$, PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 e CO são os mais

relevantes para o agravamento da tuberculose, do câncer de pulmão e da COVID-19. Em relação à poluição interior, o fumo do tabaco continua a ser o principal fator da tuberculose e do câncer de pulmão.

3.1. Tuberculose

A tuberculose é ainda mais preocupante para a saúde pública porque se trata de uma doença silenciosa. É um desafio para o sistema de saúde porque sua identificação não é tão intuitiva, gerando diagnósticos tardios A maioria das pessoas infectadas com tuberculose são classificadas como "latentemente infectadas", o que significa que não apresentam sintomas clínicos e as bactérias sobrevivem no organismo sob um estado dormente. Por sua vez, quando o sistema imunológico do corpo está comprometido, a doença ativa progride (Yang et al., 2020).

Os poluentes influenciam a infecção, e as condições climáticas e a localização geográficas afetam o grau de propagação dos poluentes. De forma abrangente, o $PM_{2,5}$ e o PM_{10} estão relacionados com a diminuição da resposta imune. Por ambos serem menores do que 10 µm, têm o tamanho ideal para atravessar o sistema respiratório e se acumularem no trato respiratório inferior. Assim, núcleos contendo *Mycobacterium tuberculosis* podem atingir os tecidos pulmonares e causarem infecção utilizando $PM_{2,5}$ e PM_{10} como transportadores (Yang et al., 2020). O $PM_{2,5}$ pode transportar substâncias nocivas do ambiente, como benzopireno, metais pesados, microrganismos patogênicos, íons metálicos e minerais para o trato respiratório, causando reações inflamatórias locais. Como a *M. tuberculosis* é uma bactéria aeróbica obrigatória, seu crescimento e sua reprodução não podem ser separados de elementos metálicos como o ferro, fazendo com que o $PM_{2,5}$ construa um ambiente adequado para o seu desenvolvimento. Além disso, o $PM_{2,5}$ aparentemente também tem capacidade de inibir a expressão do fator TNF-α, reduzindo a imunidade humana (Deng et al., 2023).

Um estudo avaliou o estado reprodutivo da *M. tuberculosis* ao perfilar sua taxa de mutação. Foi constatado que o estado reprodutivo da *M. tuberculosis* pode aumentar na medida em que as concentrações de NO_2 também aumentam. Além disso, a inalação de concentrações elevadas de NO_2 pode estimular o estresse oxidativo no trato respiratório e elevar o risco de infecções. Com isso, o NO_2 pode contribuir para o aumento do risco de tuberculose (Tao et al., 2023). A exposição ao NO_2 não só inibe a formação de anticorpos neutralizantes, mas também inibe a fagocitose de macrófagos alveolares e células mononucleares do sangue, destruindo o sistema imunológico humoral do corpo (Yang et al., 2020). Sobre o O_3, são conhecidas pela literatura suas fortes propriedades oxidantes (Deng et al., 2023; Yang et al., 2020), e por isso a hipótese apontada é que suas características fortes poderiam causar declínio da função pulmonar, tosse e dispneia, agravando as condições dos pacientes com tuberculose e aumentando o risco da doença. Além disso, também poderia causar reação de ácidos graxos insaturados, aminoácidos e outras proteínas, gerando uma série de efeitos que poderiam acelerar o processo da tuberculose e aumentar o risco de incidência (Deng et al., 2023).

Apesar de ser conhecido pelo seu potencial oxidativo, o O_3 apresenta dois efeitos contrários sobre o organismo. O primeiro diminui o poder fagocítico dos macrófagos alveolares humanos e a defesa antimicrobiana do hospedeiro, enquanto o segundo mostra que O_3 pode agir como um agente antibacteriana. Por isso, sua prevalência sobre a tuberculose ainda é incerta (Tao et al., 2023). O tabagismo anterior e atual, por suas vezes, aumenta o risco de infecções por tuberculose, progressão para tuberculose ativa, desenvolvimento de formas mais graves e morte por tuberculose (Petersen et al., 2019).

Os dados analisados indicam que o SO_2 foi positivamente relacionado à tuberculose (Li et al., 2019; Yang et al., 2020). A razão para isso pode estar relacionada com a capacidade do SO_2 de destruir macrófagos alveolares e reduzir algumas das substâncias imunologicamente ativas do corpo. Foi constatado que, quando associado a uma exposição in vitro de 12,5 ppm durante 30 minutos, está relacionado com a apoptose de 62% dos macrófagos alveolares humanos. O CO também está relacionado com o aumento da tuberculose devido ao enfraquecimento do sistema imune. Estudos sugerem que a heme oxigenase é produzida pelo monóxido de carbono e o monóxido de carbono tem um efeito inibitório sobre a resposta imune e sobre processos inflamatórios (Yang et al., 2020).

3.2. Câncer de pulmão

O relatório da OMS '*Tobacco: Poisoning Our Planet*' destaca que os prejuízos do tabaco à saúde humana não são oriundos apenas da sua combustão. Toda a produção de tabaco está relacionada a danos ao planeta terra e a sua biodiversidade. Produtores de tabaco são expostos a vários riscos à saúde, entre eles o envenenamento por nicotina, causado pelo manuseio das folhas do tabaco. Estima-se que um produtor de tabaco, que planta, cultiva e colhe possa absorver nicotina equivalente a 50 cigarros. Sobre o câncer de pulmão, o tabaco ainda é um dos principais fatores de risco. Um dado interessante é que o tabaco produz maior poluição do que um escapamento de diesel, quando analisado seus materiais particulados. Cigarros também geram poluição de forma indireta quando são descartados de forma irresponsável na natureza. Em 2010, uma ponta de cigarro provocou um grande incêndio na Índia, responsável pela queima de 60 hectares de floresta (OMS, 2022).

A combustão do tabaco está relacionada com mais de 7000 toxinas danosas ao organismo. Inclusive, um estudo apontou que as substâncias emitidas pela queima de tabaco podem interagir com outros poluentes atmosféricos - como $PM_{2,5}$ ou O_3 - e elevar o risco de câncer de pulmão significativamente (Xing et al., 2019). A *International Agency For Research On Cancer* (IARC) classificou o $PM_{2,5}$ como um carcinógeno do grupo 1 para o câncer de pulmão. O $PM_{2,5}$ inclui vários metais e hidrocarbonetos relacionados a danos e alterações de reparo no DNA. Nesse sentido, tais substâncias têm o potencial de gerar inflamação, alterações imunológicas, estresse oxidativo e alterações epigenéticas (Liu et al., 2023). Além disso, há evidências de que os materiais particulados atuam sobre a sinalização proliferativa sustentada, sobre a resistência das células à morte e sobre a metástase do tumor. A proliferação crônica é a característica mais marcante das células cancerígenas, e isso só é possível devido a uma forte regulação da sinalização orientada para iniciar e manter o crescimento celular - mediante entradas consecutivas nas fases do ciclo celular. Um aumento na porcentagem de células localizadas na fase S foi relatado em células epiteliais nasais de indivíduos expostos à poluição do ar, bem como em células pulmonares tratadas in vitro com hidrocarbonetos aromáticos policiclicos presentes no $PM_{2,5}$ e no PM_{10} (Santibáñez-Andrade et al., 2019).

Sobre a resistência à morte celular - outra característica marcante de células cancerígenas -, o tratamento com $PM_{2,5}$ pode prevenir a apoptose induzida por mitocôndrias de células epiteliais brônquicas humanas ao exibir reduções na frequência de alterações morfológicas associadas à apoptose, como diminuição do tamanho celular, condensação da cromatina e formação de corpos apoptóticos. O $PM_{2,5}$ também produz efeitos anti-apoptóticos ao carregar metais de transição. O ferro é capaz de ativar o fator NRF2, seguido de uma repressão de genes envolvidos nas vias da morte celular. Um dado interessante é que o PM_{10} e o $PM_{2,5}$ agem semelhantemente transportando

hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, relacionados com a sinalização antiapoptótica e com a posterior produção de EROS. A inibição da autofagia também é uma resposta fisiológica à resistência à apoptose induzida por $PM_{2,5}$ (Santibáñez-Andrade et al., 2019; Veith et al., 2021).

Um estudo tentou relacionar o câncer de pulmão com $PM_{2,5}$, NO_2, O_3 e partículas radioativas (PR) e chegou a resultados positivos. De acordo com as evidências encontradas, a exposição de longo prazo a NO_2 aumenta significativamente as chances do organismo de desenvolver câncer de pulmão, embora o NO_2 não seja um carcinógeno estabelecido. O interessante é que esse dado foi checado com base em concentrações inferiores a 30 ppb. $PM_{2,5}$ e PR foram associados ao câncer de pulmão. O O_3, por sua vez, representou resultados incertos - sob concentrações abaixo de 35 ppb apresentou resultados positivos, mas para toda coorte apresentou resultados negativos. Essas incertezas provavelmente derivaram da distribuição espacial de onde os dados foram coletados. Também podem estar relacionadas com a existência de dois tipos de O_3: antropogênico - mais danoso para a saúde humana - e não antropogênico (Liu et al., 2021).

Outro estudo mostrou que pesticidas também podem ser poluentes atmosféricos determinantes para o câncer de pulmão quando pulverizados, especialmente para três inseticidas - dieldrina, clorpirifós e carbofurano - e para dois herbicidas - glifosato e paraquat (Kangkhetkron & Juntarawijit, 2021). Os autores confirmam ainda a influência da sílica cristalina em processos poluentes. Esse composto é utilizado em vários processos industriais, como mineração, fundição, siderurgia e construção civil. A doença mais comum associada à sílica cristalina é a silicose, uma doença ocupacional irreversível que afeta diversos trabalhadores ao redor do mundo, conforme evidenciado pela literatura (Lima et al., 2023). Além disso, o câncer de pulmão também é uma das doenças associadas, principalmente quando o contato com esse composto excede os limites recomendados (Rahimimoghadam et al., 2023).

3.3. COVID-19

Ainda são necessários mais estudos que apontem a qualidade do ar como um fator de risco para a COVID-19, mas com os estudos incluídos nesta revisão é possível ter uma noção dos efeitos maléficos da poluição atmosférica sobre essa doença. A exposição de curto prazo à poluição do ar afeta as funcionalidades normais do sistema respiratório, resultando em menores respostas do sistema imune e inflamação. Além disso, o material particulado pode conferir adesão e transporte para o vírus da doença. Quando aumentada a concentração de $PM_{2,5}$ em 10 $\mu g/m^3$, os casos diários de COVID-19 aumentaram em 9,41%. Para o mesmo aumento, o O_3 fez com que os casos diários aumentassem em 2,42% (Xu et al., 2022; Zhang et al., 2021).

Um estudo analisou dados publicados pela Comissão Nacional de Saúde da China e constatou que existem relações estatísticas entre a qualidade do ar e a incidência da COVID-19. Ao todo, 82,8% dos 81.740 casos confirmados foram analisados a partir de 6 de abril de 2020. Além disso, $PM_{2,5}$, PM_{10} e NO_2 aumentaram a morbidade da COVID-19 em 7%, 6% e 19%, respectivamente, por aumento dos intervalos entre quartis (IQR) de $PM_{2,5}$, PM_{10} e NO_2. Uma hipótese para esses resultados talvez seja a capacidade dos vírus de se associarem fisicamente a algumas partículas, prolongando suas transmissões por aerossóis e aumentando o potencial infeccioso do ar (Zhang et al., 2021). Aparentemente, a exposição à poluição atmosférica e ao SARS-CoV-2 é um "duplo golpe" para os pulmões. O $PM_{2,5}$ pode penetrar nos espaços aéreos periféricos e, por meio da interação com o sistema renina-angiotensina pulmonar, facilitar a infecção viral. Foi relatado que a enzima conversora de angiotensina 2 (ECA-2), expressa a nível alveolar, é um co-receptor para a entrada do vírus SARS-CoV-2, mediante a interação com as proteínas spike virais. Em doentes cronicamente expostos a níveis elevados de $PM_{2.5}$, a ECA-2 é expressa, o que está relacionado com a suscetibilidade à infeção por SARS-CoV-2. A ligação do SARS-CoV-2 a ECA-2 pode induzir uma ação anti-inflamatória deficiente, conduzindo à lesão pulmonar aguda (Semczuk-Kaczmarek et al., 2022).

Por fim, um aumento de 10$\mu g/m^3$ nas concentrações de $PM_{2,5}$, PM_{10}, NO_2 e O_3 levou a aumentos de 2,24%, 1,76%, 6,94% e 4,76%, respectivamente, nos casos confirmados de COVID-19. O SO_2, para igual aumento de concentração, esteve relacionado a uma diminuição de 7,79% dos casos confirmados de COVID-19, o que é explicado pela capacidade virucida do SO_2 (Zhu et al., 2020). Por outro lado, outros estudos levantam considerações favoráveis acerca do SO_2, mostrando que as infecções por SARS-CoV-2 respondem sensivelmente às concentrações dessa substância (Liu et al., 2021; Semczuk-Kaczmarek et al., 2022).

4. Conclusão

A poluição atmosférica é um fator determinante para o desenvolvimento de doenças como a tuberculose, o câncer de pulmão e a COVID-19. Os parâmetros que se mostraram positivamente associados à incidência de tuberculose incluem $PM_{2,5}$, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3 e CO, embora existam variações na literatura sobre a prevalência do O_3 como um fator de risco para essa doença. O câncer de pulmão foi positivamente relacionado com $PM_{2,5}$, PM_{10}, CO, O_3, SO_2, pesticidas, partículas radioativas e sílica cristalina, apesar de incertezas persistirem em relação ao papel do O_3 na incidência da doença. A COVID-19, por sua vez, está relacionada com $PM_{2,5}$, PM_{10}, O_3, NO_2 e SO_2, com algumas variações literárias acerca do SO_2. Por último, o fumo do tabaco continua a ser um dos principais fatores de risco em ambientes internos e externos, estando positivamente relacionado com o câncer de pulmão e a tuberculose. Este estudo busca contribuir para a literatura evidenciando o papel da poluição atmosférica no agravamento das doenças supracitadas. É notável que a qualidade atmosférica brasileira diminui gradativamente ao longo dos anos, impulsionada pela expansão da malha rodoviária, pela persistência de incêndios florestais, pelo elevado percentual correspondente a fumantes e pela dependência de combustíveis sólidos por parte da população para sobreviver. Embora tenha havido limitações, principalmente sobre o quantitativo diminuto de artigos analisados, os resultados reforçam as relações entre a qualidade atmosférica e a tuberculose, o câncer de pulmão e a COVID-19. Logo, o presente trabalho pode contribuir no embasamento de projetos institucionais que buscam dirimir a incidência da tuberculose, do câncer de pulmão e da COVID-19 mediante cuidados atmosféricos.

Contribuições dos Autores

Y.J.A.S., L.B.M., T.P.L.: Curadoria de Dados, Redação - Preparação do Rascunho Original; Edição - Revisão e Edição. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Referências

Alessio, H. M., Bassett, D. R., Bopp, M. J., Parr, B. B., Patch, G. S., Rankin, J. W., Rojas-Rueda, D., Roti, M. W., & Wojcik, J. R. (2021). Climate Change, Air Pollution, and Physical Inactivity: Is Active Transportation Part of the Solution? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(6), 1170–1178. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002569

Balmes, J. R. (2019). Household air pollution from domestic combustion of solid fuels and health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *143*(6), 1979–1987. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2019.04.016

Brasil. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. Programa Queimadas. Brasília: INPE, 2024. Acesso em: 20 set. 2024. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/.

Brasil. Ministério da Saúde. COVID-19 No Brasil. Brasília: MS, 2024. Disponível em: https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html. Acesso em: 20 set. 2024.

Cobelo, I., Castelhano, F. J., Borge, R., Roig, H. L., Adams, M., Amini, H., Koutrakis, P., & Réquia, W. J. (2023). The impact of wildfires on air pollution and health across land use categories in Brazil over a 16-year period. *Environmental Research*, *224*, 115522. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115522

Deng, X., Xing, D., Chen, Z., Zou, Y., He, Y., Chen, S., Wang, Q., & Zhang, Y. (2023). The short-term effect of air pollution on the incidence of pulmonary tuberculosis in Chongqing, China, 2014-2020. *The Journal of Infection in Developing Countries*, *17*(12), 1722–1731. https://doi.org/10.3855/jidc.17217

Fundação do Câncer. (2024). Câncer de Pulmão No Brasil: por dentro dos números. Rio de Janeroi. Acesso em: 20 set. 2024. Disponível em: <https://www.cancer.org.br/a-fundacao/publicacoes/info-oncollect/>.

Gioda, A., Tonietto, G. B., & Leon, A. P. de. (2019). Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. *Ciência & Saúde Coletiva*, *24*(8), 3079–3088. https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.23492017

Grobusch, L. C., & Grobusch, M. P. (2022). A hot topic at the environment–health nexus: investigating the impact of climate change on infectious diseases. *International Journal of Infectious Diseases*, *116*, 7–9. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.12.350

He, Y., Liu, W. J., Jia, N., Richardson, S., & Huang, C. (2023). Viral respiratory infections in a rapidly changing climate: the need to prepare for the next pandemic. *EBioMedicine*, *93*, 104593. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104593

Kangkhetkron, T., & Juntarawijit, C. (2021). Pesticide exposure and lung cancer risk: A case-control study in Nakhon Sawan, Thailand. *F1000Research*, *9*, 492. https://doi.org/10.12688/f1000research.24114.4

Li, Y., Sun, J., Lei, R., Zheng, J., Tian, X., Xue, B., & Luo, B. (2023). The Interactive Effects between Drought and Air Pollutants on Children's Upper Respiratory Tract Infection: A Time-Series Analysis in Gansu, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3), 1959. https://doi.org/10.3390/ijerph20031959

Li, Z., Mao, X., Liu, Q., Song, H., Ji, Y., Xu, D., Qiu, B., Tian, D., & Wang, J. (2019). Long-term effect of exposure to ambient air pollution on the risk of active tuberculosis. *International Journal of Infectious Diseases*, *87*, 177–184. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.07.027

Lima, A. K. S. de, Ribeiro, A. A. S., Santos, M. E. de J., Santos, R. de C. R. dos, & Souza, M. P. S. (2023). Alterações cardiorrespiratórias decorrentes da exposição à sílica em mineradores: uma revisão integrativa. *Dataset Reports,* *2*(1). https://doi.org/10.58951/dataset.2023.58

Liu, C. S., Wei, Y., Danesh Yazdi, M., Qiu, X., Castro, E., Zhu, Q., Li, L., Koutrakis, P., Ekenga, C. C., Shi, L., & Schwartz, J. D. (2023). Long-term association of air pollution and incidence of lung cancer among older Americans: A national study in the Medicare cohort. *Environment International*, *181*, 108266. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108266

Liu, Q., Xu, S., & Lu, X. (2021). Association between air pollution and COVID-19 infection: evidence from data at national and municipal levels. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(28), 37231–37243. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13319-5

Michaud, A., & Leigh, R. (2024). Letter from Canada: Global warming and wildfire smoke pollution emerging as major threats to respiratory health. *Respirology*, *29*(5), 430–431. https://doi.org/10.1111/resp.14716

OMS - Organização Mundial da Saúde. (2023). Relatório Global Sobre Tuberculose. Geneva: OMS, 2023. Acesso em: 20 set. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports>.

OMS - Organização Mundial da Saúde. (2022). Tabaco: Envenenando Nosso Planeta. Geneva: OMS, 2022. Acesso em: 20 set. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051287>.

Pacheco, S. E., Guidos-Fogelbach, G., Annesi-Maesano, I., Pawankar, R., D'Amato, G., Latour-Staffeld, P., Urrutia-Pereira, M., Kesic, M. J., & Hernandez, M. L. (2021). Climate change and global issues in allergy and immunology. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *148*(6), 1366–1377. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.10.011

Peng, W., Li, H., Peng, L., & Wang, Y. (2022). Effects of particulate matter on hospital admissions for respiratory diseases: an ecological study based on 12.5 years of time series data in Shanghai. Environmental Health, 21(12), 1-12. https://doi.org/10.1186/s12940-021-00828-6

Petersen, A. B., Muffley, N., Somsamouth, K., & Singh, P. N. (2019). Smoked Tobacco, Air Pollution, and Tuberculosis in Lao PDR: Findings from a National Sample. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(17), 3059. https://doi.org/10.3390/ijerph16173059

Plataforma - MapBiomas Brasil (2024). Histórico do fogo no Brasil (1985 a 2023). *MapBiomas Fogo Coleção 3*. Acesso em: 23 outubro de 2024. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/hotside-fogo.

Puzzolo, E., Fleeman, N., Lorenzetti, F., Rubinstein, F., Li, Y., Xing, R., Shen, G., Nix, E., Maden, M., Bresnahan, R., Duarte, R., Abebe, L., Lewis, J., Williams, K. N., Adahir-Rohani, H., & Pope, D. (2024). Estimated health effects from domestic use of gaseous fuels for cooking and heating in high-income, middle-income, and low-income countries: a systematic review and meta-analyses. *The Lancet Respiratory Medicine*, *12*(4), 281–293. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00427-7

Rahimimoghadam, S., Ganjali, A., Khanjani, N., Normohammadi, M., & Yari, S. (2023). Application of Multiple Occupational Health Risk Assessment Models for Crystalline Silica Dust among Stone Carvers. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, *24*(11), 3999–4005. https://doi.org/10.31557/APJCP.2023.24.11.3999

Requia, W. J., Vicedo-Cabrera, A. M., Amini, H., & Schwartz, J. D. (2024). Short-term air pollution exposure and mortality in Brazil: Investigating the susceptible population groups. *Environmental Pollution*, *340*, 122797. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122797

Santibáñez-Andrade, M., Chirino, Y. I., González-Ramírez, I., Sánchez-Pérez, Y., & García-Cuellar, C. M. (2019). Deciphering the Code between Air Pollution and Disease: The Effect of Particulate Matter on Cancer Hallmarks. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(1), 136. https://doi.org/10.3390/ijms21010136

Semczuk-Kaczmarek, K., Rys-Czaporowska, A., Sierdzinski, J., Kaczmarek, L. D., Szymanski, F. M., & Platek, A. E. (2022). Association between air pollution and COVID-19 mortality and morbidity. *Internal and Emergency Medicine*, *17*(2), 467–473. https://doi.org/10.1007/s11739-021-02834-5

Tao, B., Li, Z., Wang, Y., Wu, J., Shi, X., Shi, J., Liu, Q., & Wang, J. (2023). Environment pollutants exposure affects the endogenous activation of within-host Mycobacterium tuberculosis. *Environmental Research*, *227*, 115695. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115695

Urrutia-Pereira, M., Guidos-Fogelbach, G., & Solé, D. (2022). Climate changes, air pollution and allergic diseases in childhood and adolescence. *Jornal de Pediatria*, *98*, S47–S54. https://doi.org/10.1016/j.jped.2021.10.005

Van Vliet, E. D. S., Kinney, P. L., Owusu-Agyei, S., Schluger, N. W., Ae-Ngibise, K. A., Whyatt, R. M., Jack, D. W., Agyei, O., Chillrud, S. N., Boamah, E. A., Mujtaba, M., & Asante, K. P. (2019). Current respiratory symptoms and risk factors in pregnant women cooking with biomass fuels in rural Ghana. *Environment International*, *124*, 533–540. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.046

Veith, M., McAlarney, D., Xue, X., Rohan, T. E., & Hosgood, H. D. (2021). Characterizing Trends in Lung Cancer Mortality Attributable to Airborne Environmental Carcinogens. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(24), 13162. https://doi.org/10.3390/ijerph182413162

Vergadi, E., Rouva, G., Angeli, M., & Galanakis, E. (2022). Infectious Diseases Associated with Desert Dust Outbreaks: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(11), 6907. https://doi.org/10.3390/ijerph19116907

Xing, D. F., Xu, C. D., Liao, X. Y., Xing, T. Y., Cheng, S. P., Hu, M. G., & Wang, J. X. (2019). Spatial association between outdoor air pollution and lung cancer incidence in China. *BMC Public Health*, *19*(1), 1377. https://doi.org/10.1186/s12889-019-7740-y

Xu, L., Taylor, J. E., & Kaiser, J. (2022). Short-term air pollution exposure and COVID-19 infection in the United States. *Environmental Pollution*, *292*, 118369. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118369

Yam, E. L. Y. (2020). Climate change and the origin of SARS-CoV-2. *Journal of Travel Medicine*, *27*(8). https://doi.org/10.1093/jtm/taaa224

Yang, J., Zhang, M., Chen, Y., Ma, L., Yadikaer, R., Lu, Y., Lou, P., Pu, Y., Xiang, R., & Rui, B. (2020). A study on the relationship between air pollution and pulmonary tuberculosis based on the general additive model in Wulumuqi, China. *International Journal of Infectious Diseases*, *96*, 42–47. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.032

Zhang, C., Zhao, D., Liu, F., Yang, J., Ban, J., Du, P., Lu, K., Ma, R., Liu, Y., Sun, Q., Chen, S., & Li, T. (2024). Dust particulate matter increases pulmonary embolism onset: A nationwide time-stratified case-crossover study in China. *Environment International*, *186*, 108586. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108586

Zhang, X., Tang, M., Guo, F., Wei, F., Yu, Z., Gao, K., Jin, M., Wang, J., & Chen, K. (2021). Associations between air pollution and COVID-19 epidemic during quarantine period in China. *Environmental Pollution*, *268*, 115897. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115897

Zhu, F., Yu, H., Fan, X., Ding, Z., Wang, Q., & Zhou, J. (2023). Particulate air pollution and cardiovascular disease mortality in Jiangsu Province, China: a time-series analysis between 2015 and 2021. *Frontiers in Public Health*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1218479

Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of The Total Environment*, *727*, 138704. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704