

# Efeitos à Saúde Coletiva da Exposição à Poluição Atmosférica Urbana

## Resumo

A poluição do ar é um problema enfrentado pela população dos centros urbanos, onde milhões de indivíduos são expostos diariamente a esses compostos nocivos. A fim de analisar os estudos sobre poluição do ar e os seus efeitos na saúde da população, foi realizada uma revisão estruturada com base nas principais bases de dados em literatura científica na saúde e meio ambiente. Muitos estudos relataram efeitos à saúde pela exposição aos poluentes, entre esses, destacam-se internações e óbitos por causas cardiovasculares, respiratórias, oculares, reprodutoras e até mesmo cânceres. Os estudos, predominantemente, utilizam modelos de regressão para estimar os efeitos da exposição aos poluentes na saúde. Pode-se afirmar que essas informações são de relevância para a população e gestores públicos, e deveriam ser utilizadas para aprimorar as políticas públicas em prol da saúde nos centros urbanos.

**Palavras-chave:** Poluição do ar; Impactos na Saúde; Centros Urbanos; Saúde Coletiva; Revisão.

## Abstract

*Air pollution is an issue faced by the population from urban centers, where millions of individuals are daily exposed to these harmful compounds. To analyze the studies concerning air pollution and its effects on the population health, a review was performed in the main health and environment databases. Several studies reported air pollution effects on deaths and hospitalizations by cardiovascular, respiratory, ophthalmic, reproductive diseases and cancer. In addition, the research, predominantly, use regression models to estimate the health effects of exposure to pollutants. In conclusion, it can be stated that this information is relevant for the population and public managers, and it should be used to improve public policies in favor of health in urban centers.*

**Keywords:** Air pollution; Health Impacts; Urban Centers; Public Health; Review

**Simone Georges  
El Khouri Miraglia**

Doutora em Ciências pela Faculdade de Medicina da USP, Professora Associada I do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP – Campus Diadema. Líder do Laboratório de Economia, Saúde e Poluição Ambiental (LESPA-UNIFESP).

**E-mail:** simone.miraglia@unifesp.br

**Karina Camasmie Abe**

Doutora em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Professora Adjunta da Universidade Cruzeiro do Sul e Pesquisadora no Laboratório de Economia, Saúde e Poluição Ambiental (LESPA-UNIFESP).

**E-mail:** karina.abe@cruzeirodosul.edu.br

**Rodrigo Mascarenhas Pires de Godoy**

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP.

**E-mail:** godoy.rodrigo@unifesp.br

## Introdução

O avanço do processo de industrialização e o aumento do número de veículos automotores, devido ao acelerado crescimento econômico, levaram a um incremento na emissão antrópica de gases e partículas nocivas oriundas da queima de combustíveis fósseis. Em virtude disso, houve uma degradação da qualidade do ar, especialmente nos grandes centros urbanos (IEMA, 2012).

Alguns desses gases e partículas têm efeitos comprovados na saúde humana e no meio ambiente e passam a ser nomeados poluentes atmosféricos, razão pela qual há muita atenção voltada a eles. Dentre estes, destacam-se o monóxido de carbono (CO), o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), o material particulado (MP), o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (IEMA, 2012; WHO, 2006).

O MP de diâmetro de até 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>) é constituído por partículas de materiais sólidos ou líquidos, suspensas no ar, de diâmetro inferior a 2,5 µm (CETESB, 2018). Em diversos estudos, houve a comprovação dos impactos à saúde causados pelo MP<sub>2,5</sub>, levando a perdas econômicas significativas e que representam um custo para a sociedade (WU *et al.*, 2017, XIE *et al.*, 2016 e YIN *et al.*, 2017).

Semelhantemente, o MP de diâmetro de até 10 µm (MP<sub>10</sub>) é composto por partículas suspensas no ar de até 10 µm (CETESB, 2018). O MP, geralmente, tem origem em fontes antropogênicas e naturais. Dentre as fontes naturais podemos citar fortes ventos em regiões áridas e desérticas, sem vegetação rasteira (KUROSAKI; MIKAMI, 2003) e os incêndios naturais de florestas. Já as principais fontes antropogênicas são a queima de combustíveis fósseis, queima de carvão mineral, desgaste de pneus nas grandes cidades e processos industriais, como forjas e processos em indústrias de cimento e aço (POPE *et al.*, 2006). Essas partículas variam em composição química, tamanho, formato, solubilidade e origem (POPE *et al.*, 2006). O MP<sub>10</sub> é composto majoritariamente por minerais, partículas secundárias (formadas a partir de

outros poluentes atmosféricos), íons, oligoelementos, metais pesados, matéria orgânica entre outros elementos (SONG *et al.*, 2016; HUEGLIN *et al.*, 2005).

Estudos realizados em diversos centros urbanos ao redor do mundo associaram poluentes atmosféricos às elevações na taxa de mortalidade e agravamento de doenças cardiovasculares (CHANG; CHEN; YANG, 2015; BRAVO *et al.*, 2016; ZÚÑIGA *et al.*, 2016), respiratórias (HOEK *et al.*, 2013; XIONG *et al.*, 2015; FREITAS *et al.*, 2016; TO *et al.*, 2016) e neurológicas (CALDERÓN-GARCIDUEÑAS *et al.*, 2015; ANGELICI *et al.*, 2016; JUNG; LIN; HWANG, 2015; OUDIN *et al.*, 2016), além de causarem complicações no processo de gestação, como crescimento intrauterino retardado (RICH *et al.*, 2009; CHOI *et al.*, 2008), parto prematuro (DARROW *et al.*, 2009; PARKER *et al.*, 2008) e malformações congênitas (CHOI *et al.*, 2008; MEECHAM; THOMSON, BLAIR, 1991).

No Brasil, alguns grupos de pesquisas em poluentes atmosféricos e efeitos à saúde destacam os efeitos cardiovasculares e respiratórios da exposição a esses poluentes (COSTA *et al.*, 2016; ARAÚJO; ABE; MIRAGLIA, 2019). Nesse contexto, o município de São Paulo e outras cidades densamente urbanizadas são cidades com elevado número de pesquisas, devido à disponibilidade de dados e condições de monitoramento ambiental.

Dessa forma, identificou-se a necessidade de elencar os principais estudos sobre os efeitos cardiorrespiratórios da exposição aos poluentes atmosféricos, de forma a divulgar os principais poluentes, grupos etários e efeitos à saúde encontrados na literatura científica. Essa revisão visa, adicionalmente, auxiliar na divulgação das informações, nortear pesquisas futuras e subsidiar a análise de políticas públicas e na área de Saúde Coletiva populacional.

## Materiais e Métodos

### Levantamento de Artigos

Para a realização desse artigo de revisão foram utilizados três bancos de dados para



o levantamento: *Web of Science*<sup>1</sup>, *Scopus*<sup>2</sup> e *PubMed*<sup>3</sup>. Para organizar a busca inicial de artigos foi realizado um levantamento bibliográfico estruturado, utilizando-se a organização da pergunta de pesquisa na estratégia PICO, que é um acrônimo de **P**opulação (ou **P**aciente), **I**ntervenção, **C**omparação e **D**esfecho (**O**utcome). Uma pergunta de pesquisa bem construída é fundamental para a definição correta do escopo e das evidências, maximizando a eficiência da busca de informações pertinentes e evitando-se a realização de buscas desnecessárias (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Assim, para a pergunta PICO construída foi identificada a população de centros urbanos; a intervenção estudada (no caso, a exposição aos poluentes atmosféricos); a comparação é feita a partir da ausência de exposição; e os desfechos considerados foram os eventos em saúde.

As palavras-chave utilizadas como estratégia de busca nos bancos de dados foram: “*air pollution*”, “*air pollutants*”, “*particulate matter*”, “*São Paulo*”, “*cardiorrespiratory*”, “*respiratory*”, “*vascular*”, “*mortality*”, “*morbidity*”. Essas palavras foram combinadas com os operadores booleanos “*AND*” ou “*OR*” nas bases de buscas.

## Critérios de Inclusão e Exclusão

Como critério de inclusão, delimitou-se o idioma para português ou inglês e artigos publicados entre 2010 e 2019. Como critério de exclusão, foram retirados artigos que pesquisavam os efeitos em animais, ou que não atendessem aos critérios de inclusão. Todo o processo de filtragem e seleção dos artigos interessantes à revisão foi organizado em forma de um fluxograma baseado no modelo PRISMA (PRISMA, 2015), trazendo transparência e confiabilidade a essa revisão e à seleção dos artigos.

1 <https://bit.ly/3vW2eDO>

2 <https://bit.ly/3bjO5J2>

3 <https://bit.ly/2Ri0bLE>

Os artigos selecionados foram lidos na íntegra e os assuntos abordados foram organizados em três seções temáticas, sendo elas: Artigos de Poluição e Morbimortalidade: análises multipolvente; unipolvente; e artigos de revisão.

## Resultados e Discussão

Os artigos gerados como resultado da busca nos três bancos de dados foram representados no *PRISMA FLOW DIAGRAM* (Figura 1). Nesse diagrama, apresenta-se o número total de artigos levantados, assim como os critérios de inclusão e exclusão, com os respectivos números de artigos que não atenderam aos requisitos.

Os artigos selecionados foram divididos em três seções temáticas, conforme a seguir:

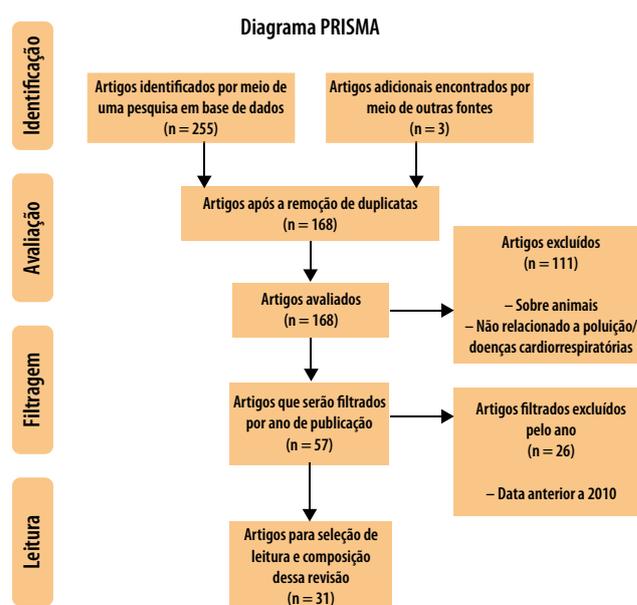


Figura – Fluxograma dos procedimentos realizados

Fonte: Adaptado de PRISMA, 2015

## Artigos de Poluição e Morbimortalidade: Análises Multipolvente

Pode-se englobar 14 artigos nessa categoria. Analisando os mais diversos poluentes atmosféricos, em conjunto, os trabalhos buscaram encontrar relações entre variações nas concentrações dos poluentes e complicações à saúde. Análises de séries temporais são comumente

utilizadas para determinar associações estatísticas. Estudos com base multipolvente são mais comuns devido à relação entre as fontes emissoras e pelo difícil isolamento de suas consequências na saúde (WHO, 2017).

Costa *et al.* (2016) estudaram os efeitos dos poluentes  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e CO na saúde da população de idosos (faixa etária superior a 60 anos) do município de São Paulo (MSP). Os resultados encontrados foram associações positivas entre os poluentes de estudo e mortes por causas não acidentais, respiratórias, circulatórias e câncer (CID-10 – série C a D-48). Todas as análises estatísticas foram modeladas a partir de modelos de regressões lineares generalizadas de Poisson, aplicando os conceitos de defasagem temporal máxima de 30 dias. O uso do tempo de defasagem é importante para avaliações de efeitos à saúde, uma vez que muitos dos efeitos nos organismos biológicos são observados após alguns dias, ou até meses, da exposição. Assim, nesse estudo, foi encontrada a associação entre os poluentes estudados e os desfechos em saúde, mesmo após terem se passado 30 dias da exposição aos agentes nocivos.

O poluente  $MP_{2,5}$  também foi associado ao aumento de óbitos por causa respiratória, assim como o  $O_3$  e os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), em diferentes dias após a exposição primária aos poluentes (CÉSAR, CARVALHO JR., NASCIMENTO, 2015). Outro estudo, conduzido na capital paulista, identificou associação entre casos de internações hospitalares por câncer do aparelho respiratório e o fato da pessoa residir em áreas com alta densidade de tráfego veicular (RIBEIRO *et al.*, 2019). Ainda em outro, as internações por doenças respiratórias também foram associadas à maior queima da cana-de-açúcar, prática comum no interior do Estado e que contribui para o aumento da concentração de poluentes atmosféricos primários e secundários (PARAISO; GOUVEIA, 2015).

Os riscos na saúde cardiorrespiratória para populações em regiões rurais, onde ocorre a queima de plantações de cana de açúcar ou outros tipos de queimadas são elevados. Analisando-se algumas regiões do Brasil e do

Equador, estudos com amostras de fuligem e material particulado atmosférico durante as diferentes fases do cultivo e processamento da cana mostraram que a queima desse composto libera diversos poluentes atmosféricos, chegando a ocasionar um aumento de até 3% nos óbitos gerais das cidades próximas a essa prática (LE BLOND *et al.*, 2017).

No município de São Paulo, Costa *et al.* (2017) analisaram a relação entre a poluição atmosférica e a mortalidade de idosos. Os poluentes analisados foram  $NO_2$ ,  $MP_{10}$  e CO, com a adição da análise do  $O_3$ . Modelos aditivos generalizados de Poisson, com defasagem temporal de até 10 dias foram utilizados para efetuar as análises estatísticas. Nesse estudo, verificou-se que todos os poluentes apresentaram associação positiva com o aumento dos casos de óbitos em idosos, em modelos unipolvente, ou seja, analisando-se os efeitos dos poluentes, separadamente. Nos modelos multipolvente, concluíram que as mortes por causa respiratória eram associadas, principalmente, com a exposição ao CO e  $O_3$ , independentemente da análise de defasagem temporal. Os pesquisadores ainda associaram os óbitos por causas respiratórias, à exposição pelo  $NO_2$  (COSTA *et al.*, 2017).

Ao se estudar a influência da faixa etária, um estudo multicêntrico analisou os efeitos da poluição na saúde em quatro das maiores cidades da América Latina: São Paulo, Rio de Janeiro, Santiago e Cidade do México. Como resultado, os pesquisadores também confirmaram uma associação positiva entre o  $MP_{10}$  e o aumento do risco de doenças respiratórias para recém-nascidos (idade inferior a 1 ano), crianças (1 a 5 anos) e também para Infecções Agudas das Vias Respiratórias Inferiores, em crianças de 1 a 14 anos. Além disso, também foi encontrado que o  $O_3$  possui um papel no aumento das Infecções Agudas das Vias Respiratórias Inferiores, em recém-nascidos e crianças, durante as estações quentes (GOUVEIA *et al.*, 2018).

Levando em conta o caráter socioeconômico e o nível de escolaridade da amostra populacional do município de São Paulo, a pesquisa de Bravo *et al.* (2016) conseguiu, por meio de



análise de série temporal com case-crossover, indicar associações positivas entre os poluentes de estudo ( $MP_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  e CO) e óbitos cardiorrespiratórios (CID-10 – séries I e J). No entanto, a parcela da população com maior nível de escolaridade (superior a 11 anos de escolaridade) apresentou relativa diminuição nas taxas de óbitos, quando comparada com a população de menor escolaridade, para várias combinações de poluentes, incluindo mortalidade por causa não acidental e  $NO_2$ ,  $SO_2$  e CO, bem como mortalidade cardiovascular e  $MP_{10}$ . Esses achados são consistentes com outro estudo realizado em São Paulo (MARTINS *et al.*, 2004), que utilizou o nível educacional como um indicador social e constatou associação a maiores efeitos à saúde relacionados à menor escolaridade e exposição à poluição do ar.

O impacto da poluição atmosférica pode ser observado em áreas urbanas de diferentes densidades demográficas e atividade econômica. O estudo conduzido por Ardiles *et al.* (2018) considerou 2 municípios paranaenses, alvos da pesquisa: Araucária (119,123 habitantes) e Curitiba (1,75 milhões de habitantes) (IBGE, 2010). Pela diferença de porte das cidades, os poluentes atmosféricos eram provenientes, predominantemente, de fontes distintas. Na cidade de Araucária, a maior parte das emissões eram originadas de fontes industriais, enquanto em Curitiba, as emissões provenientes do tráfego de veículos eram as mais predominantes.

De acordo com esse estudo, verificou-se que, em Araucária, o CO era um fator de risco nas hospitalizações por doenças circulatórias nos idosos acima de 64 anos e nas hospitalizações de crianças e adolescentes na faixa etária entre 10 e 19 anos, por doenças respiratórias. Já o  $NO_2$  foi considerado um fator de risco para a população na faixa etária entre 20 e 64 anos. Para Curitiba, os poluentes que apresentaram associação com o aumento de casos e admissões hospitalares por doenças respiratórias foram o  $MP_{10}$  nas crianças e jovens entre 0 e 9 anos, o CO e o  $O_3$ , nos adultos de 20 a 64 anos e o CO, isoladamente, nos idosos com idade acima de 64 anos.

Em relação aos custos da poluição do ar, o estudo econômico conduzido por Abe e Miraglia (2016) identificou quais os benefícios econômicos que seriam gerados por uma adequação aos padrões de qualidade do ar estipulados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Nesse estudo, mostrou-se que se os padrões da OMS fossem atendidos para o poluente  $MP_{2,5}$ , o MSP economizaria, anualmente, cerca de US\$15,1 bilhões em vidas poupadas, evitando mais de 5 mil mortes prematuras. Adicionalmente, a população do município poderia aumentar a expectativa de vida em até 15,8 meses, caso os padrões da OMS fossem respeitados no município.

A poluição do ar possui impactos relevantes em diferentes centros urbanos ao redor do mundo. Na China, a cidade de Hong Kong, uma das cidades com maior densidade populacional do planeta, foi alvo de estudos sobre o material particulado que compunha as fortes tempestades de areia que ocorrem nessa capital. Como resultado, a pesquisa verificou que nos dias de tempestades, havia o aumento na concentração de  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  – que são os principais componentes de uma tempestade de areia – e esses poluentes foram associados ao aumento no número de óbitos por causas cardiorrespiratórias e não-acidentais. Os idosos com mais de 65 anos e economicamente inativos foram a parcela da população que mais apresentou o risco aumentado de óbito. (HO *et al.*, 2018)

Em estudo realizado na cidade portuária de Ningbo, na China, os pesquisadores verificaram uma associação positiva entre casos de internações por doenças respiratórias (CID-10 – série J) e os poluentes  $MP_{10}$ ,  $SO_2$  e  $NO_2$ . Essas associações foram mais evidentes em um período de defasagem de 1 dia entre a exposição e os efeitos à saúde e aumentavam substancialmente em dias de clima frio (ZHENG *et al.*, 2017).

Na América Latina, estudos multicêntricos entre Brasil, México e Chile também confirmaram os mesmos achados sobre o impacto da exposição ao  $MP_{10}$  e  $O_3$ . A exposição a esses poluentes foi associada com o aumento de óbitos nesses países. Ao adicionar a defasagem

temporal aos estudos, os resultados para os poluentes foram semelhantes, no entanto, variações na concentração atmosférica do  $MP_{10}$  mostraram maior influência sobre o aumento da mortalidade se comparado a variações do  $O_3$  (ROMIEU *et al.*, 2012).

Franck, Leitte e Suppan (2014) conduziram estudo em Santiago, capital chilena, avaliando a exposição à poluição atmosférica e admissões hospitalares por complicações respiratórias. Dados de 7 estações de monitoramento foram utilizados para estimar a exposição aos poluentes atmosféricos ( $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $NO_2$ , CO e  $O_3$ ). Concluiu-se que para os modelos unipolvente, o CO,  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  foram os poluentes mais determinantes para os casos de morbidades respiratórias. Para modelos com 2 poluentes, o  $NO_2$  se mostrou o mais influente nas interações. Levando em conta os efeitos de defasagem temporal, observou-se que os efeitos mais notórios eram para o dia da exposição, após 1 e até 7 dias. Isso mostra a extensão dos efeitos da ação dos poluentes nos organismos, mesmo vários dias após a exposição.

## Artigos de Poluição e Morbimortalidade: Análises Unipolvente

Nesta subseção, os artigos tratam dos efeitos causados na saúde por um poluente em específico. Devido às limitações de se conduzir estudos com poluentes isolados, esses geralmente são menos recorrentes e analisados por meio de séries temporais com defasagem temporal. Totalizam 10 artigos nessa categoria, sendo os poluentes  $NO_2$ ,  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  os mais recorrentes.

Mesmo em modelos estatísticos que consideram os efeitos de apenas um poluente, é possível confirmar a associação positiva entre a exposição ao poluente  $MP_{2,5}$  e o aumento de internações por causas respiratórias (NASCIMENTO *et al.*, 2017), assim como também se relacionou o  $MP_{10}$  ao aumento de óbitos por causa cardiovascular e respiratória (PINHEIRO *et al.*, 2014; ABE *et al.*, 2018).

Em modelos unipolvente também se verifica o efeito à saúde mesmo após vários dias da exposição ao poluente (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Em 2018, por Ribeiro *et al.*, dois estudos verificaram um aumento nos casos de câncer respiratório nas regiões com menor status socioeconômico no MSP. Concluiu-se, então, que o aumento no tráfego de veículos e na concentração de  $NO_2$  atmosférico estavam associados com o aumento na incidência de casos de câncer no trato respiratório.

É também importante mencionar que a temperatura e umidade, assim como pluviosidade, podem interferir nos modelos, atuando como variáveis confundidoras em alguns modelos estatísticos, o que deve ser considerado nas análises (PINHEIRO *et al.*, 2014; MORAES *et al.*, 2019).

Abe *et al.* (2018) notaram em seu estudo uma associação entre o  $MP_{10}$  e um considerável aumento no número das mortes cardiorrespiratórias no MSP. O estudo também mostrou que as mortes cardiorrespiratórias atribuídas ao  $MP_{10}$  atmosféricos somavam uma perda de US\$14 bilhões para a cidade de São Paulo, no período analisado de dez anos.

Em uma das maiores metrópoles do continente americano, a Zona Metropolitana do Vale do México, Carbajal-Arroyo *et al.* (2011), com a premissa de falta de estudos sobre a mortalidade infantil no México, realizaram em 2011 um estudo avaliando a relação entre a mortalidade de bebês entre 1 e 11 meses e a poluição atmosférica ( $MP_{10}$  e  $O_3$ ), correlacionando o status socioeconômico dos indivíduos. Utilizando uma abordagem de análise com case-crossover e modelos unipolvente, o grupo de pesquisadores pôde verificar um aumento significativo no risco relativo de óbitos não acidentais e respiratórios para os indivíduos de baixo e médio status socioeconômico em relação ao  $MP_{10}$  atmosférico. Já o  $O_3$  foi apenas relacionado com mortalidade respiratória de crianças com baixo status socioeconômico.

Outros estudos também expõem resultados semelhantes aos apresentados anteriormente. Diversas pesquisas verificaram que aumentos na concentração de  $MP_{10}$ ,  $SO_2$  e  $O_3$  acarretavam aumentos no risco relativo para hospitalizações por doenças respiratórias (FREITAS *et al.*, 2016; NARDOCCI *et al.*, 2013). Já internações por doenças cardiovasculares foram relacionadas



ao  $O_3$  (FREITAS *et al.*, 2016; NARDOCCI *et al.*, 2013) e ao  $SO_2$  (NARDOCCI *et al.*, 2013). Diversos estudos realizados para avaliar a influência da poluição atmosférica com casos de internações e óbitos por doença pulmonar obstrutiva crônica concluíram que o  $MP_{2,5}$  está positivamente associado ao aumento dos casos dessa doença (LI *et al.*, 2016).

## Artigos de Poluição e Morbimortalidade: Artigos de Revisão

Nesta categoria foram alocados 7 artigos de revisão que abordam o tema proposto em diferentes metodologias.

Duas revisões debatem sobre os métodos estatísticos utilizados pelos estudos para avaliar a influência dos poluentes atmosféricos na saúde cardiorrespiratória. A revisão elaborada por Bai *et al.* (2018) trata exclusivamente dessa discussão sobre os métodos, concluindo que existem 3 grupos de métodos para serem aplicados às análises de séries temporais em estudos epidemiológicos: os métodos estatísticos (bom comportamento para uma amostragem extensa de dados), de inteligência artificial e o híbrido; sendo o último, mais moderno e que se destaca pelo seu baixo risco e grande popularidade. Já o outro estudo trata dessa discussão de forma mais sucinta e discreta, Brugha e Grigg (2014) discutiram os diferentes métodos para quantificar a exposição de indivíduos aos poluentes atmosféricos. Concluíram que modelos de regressão são vantajosos em análises de longos períodos e os modelos de dispersão complexos fornecem uma análise para curto e longo prazo, mas têm o lado negativo de serem pouco abrangentes.

Em um estudo de caso realizado em São Paulo, podemos ter uma ideia do dimensionamento da contaminação por poluentes atmosféricos e substâncias químicas. O estudo agrupou os casos por região para uma melhor análise espacial dos eventos, assim promovendo uma avaliação epidemiológica mais assertiva (NERY *et al.*, 2014).

Em outra revisão, constatou-se que os poluentes atmosféricos podem ser relacionados a casos de inflamações oculares, apesar de muitas questões acerca desse tema ainda permanecerem incertas (JUNG; MEHTA; TONG, 2018). Da mesma forma que foi constatado em estudos que a poluição atmosférica em megacidades estava associada a casos de morbimortalidade, como o estudo que partindo de uma análise individual dos poluentes, concluiu que as megacidades do sul da Ásia deveriam melhorar a qualidade do ar por apresentarem os maiores índices de morbimortalidade causado por poluentes atmosféricos (GURJAR *et al.*, 2010). Em São Paulo, também ficou evidenciada a associação entre os poluentes atmosféricos e casos de morbimortalidade, principalmente por doenças respiratórias e cardiovasculares (TOLEDO; NARDOCCI, 2011). Os estudos que avaliam a relação entre a poluição atmosférica e a função morfológica do sistema reprodutor são escassos e ainda inconclusivos, mas parecem indicar um possível efeito da poluição no feto e nesse sistema (SALINAS, 2018).

## Considerações Finais

Os resultados desta revisão refletem alguns dos principais efeitos à saúde humana devido à exposição aos poluentes atmosféricos. Os impactos mais comumente relatados foram o aumento no número de internações e óbitos por doenças cardiorrespiratórias, sendo o  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $O_3$  os poluentes mais associados a esses desfechos. Adicionam-se a esses efeitos, cânceres do trato respiratório, aumento de óbitos por causas não externas e efeitos ao sistema reprodutor. Os grupos etários que parecem mais sensíveis a essa exposição à poluição são os idosos, bebês e crianças, com destaque à maior associação de efeitos à saúde no grupo social com menor nível de escolaridade. Essas informações são de relevância para o conhecimento da população e dos gestores públicos, uma vez que envolvem um número muito expressivo de mortes prematuras, diminuição da qualidade e expectativa de vida, além de prejuízos econômicos ao sistema de saúde. Nesse sentido, as informações disponíveis na literatura, confirmadas e reiteradas

em pesquisas envolvendo diversos países, são de importância para o aprimoramento de políticas públicas que visem a saúde coletiva e a promoção à saúde em grandes centros urbanos.

**Agradecimentos:** O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – Processo número 2019/14686–8.

## Referências

ABE, K. C. et al. *PM<sub>10</sub> exposure and cardiorespiratory mortality—estimating the effects and economic losses in São Paulo, Brazil.* **Aerosol and Air Quality Research**, v. 18, p. 3127–3133, 2018.

\_\_\_\_\_; MIRAGLIA, S. *Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil.* **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 7, p. 694, 2016.

ANGELICI, L. et al. *Effects of particulate matter exposure on multiple sclerosis hospital admission in Lombardy region, Italy.* **Environmental research**, v. 145, p. 68–73, 2016.

ARAÚJO, N. M. C.; ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. E. K. *Análise do Panorama da Poluição Atmosférica no Município de São Paulo e os Impactos na Saúde Cardiorrespiratória.* **REVISTA PLURI**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 263 - 274, jan. 2019. ISSN 2596-1098. Disponível em: <<http://revistapluri.cruzeirodosulvirtual.com.br/index.php/pluri/article/view/51>>. Acesso em: 09/05/2020.

ARDILES, L. G. et al. *Negative Binomial regression model for analysis of the relationship between hospitalization and air pollution.* **Atmospheric Pollution Research**, v. 9, n. 2, p. 333–341, 2018.

BAI, L. et al. *Air pollution forecasts: An overview.* **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 4, p. 780, 2018.

BRAVO, M. A. et al. *Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations.* **Journal of exposure science & environmental epidemiology**, v. 26, n. 2, p. 150–161, 2016.

BRUGHA, R.; GRIGG, J. *Urban air pollution and respiratory infections.* **Paediatric respiratory reviews**, v. 15, n. 2, p. 194–199, 2014.

CALDERÓN-GARCIDUEÑAS, L. et al. *Air pollution and your brain: what do you need to know right now.* **Primary health care research & development**, v. 16, n. 4, p. 329–345, 2015.

CARBAJAL-ARROYO, L. et al. *Effect of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> on infant mortality among residents in the Mexico City Metropolitan Area: a case-crossover analysis, 1997–2005.* **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 65, n. 8, p. 715–721, 2011.

CÉSAR, A. C. G.; CARVALHO JR., J. A.; NASCIMENTO, L. F. C. *Association between NO<sub>x</sub> exposure and deaths caused by respiratory diseases in a medium-sized Brazilian city.* **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 48, n. 12, p. 1130–1135, 2015.

CETESB. *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental. Informação Técnica nº 11/18.* 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/l7.pdf>>. Acesso em: 07/05/2020.

CHANG, C-C.; CHEN, P-S.; YANG, C-Y. *Short-term effects of fine particulate air pollution on hospital admissions for cardiovascular diseases: A case-crossover study in a tropical city.* **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 78, n. 4, p. 267–277, 2015.

CHOI, H. et al. *Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of intrauterine growth restriction.* **Environmental health perspectives**, v. 116, n. 5, p. 658–665, 2008.

COSTA, A. F. et al. *Air pollution and deaths among elderly residents of Sao Paulo, Brazil: an analysis of mortality displacement.* **Environmental health perspectives**, v. 125, n. 3, p. 349–354, 2016.

\_\_\_\_\_. et al. *Effects of NO<sub>2</sub> exposure on daily mortality in São Paulo, Brazil.* **Environmental research**, v. 159, p. 539–544, 2017.

DARROW, L. A. et al. *Ambient air pollution and preterm birth: a time-series analysis.* **Epidemiology** (Cambridge, Mass.), v. 20, n. 5, p. 689, 2009.

NERY, T. de C. dos S. et al. *Epidemiological evaluation of notifications of environmental events in the state of São Paulo, Brazil.* **International journal of environmental research and public health**, v. 11, n. 7, p. 7508–7523, 2014.



- FRANCK, U.; LEITTE, A. M.; SUPPAN, P. Multifactorial airborne exposures and respiratory hospital admissions—The example of Santiago de Chile. **Science of the Total Environment**, v. 502, p. 114–121, 2015.
- FREITAS, C. U. de et al. Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo. **Rev. Saúde Pública**, v. 50, p. –, 2016.
- GOUVEIA, N. et al. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. **Environmental Pollution**, v. 232, p. 385–391, 2018.
- GURJAR, B. R. et al. Human health risks in megacities due to air pollution. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 36, p. 4606–4613, 2010.
- HO, H. C. et al. Influences of socioeconomic vulnerability and intra-urban air pollution exposure on short-term mortality during extreme dust events. **Environmental pollution**, v. 235, p. 155–162, 2018.
- HOEK, G. et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. **Environmental health**, v. 12, n. 1, p. 43, 2013.
- HUEGLIN, C. et al. Chemical characterisation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 4, p. 637–651, 2005.
- IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 07/05/2020.
- IEMA. Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia. In: Santana E ed. São Paulo: **Instituto de Energia e Meio Ambiente**, 2012.
- JUNG, C-R.; LIN, Y-T.; HWANG, B-F. Ozone, particulate matter, and newly diagnosed Alzheimer's disease: a population-based cohort study in Taiwan. **Journal of Alzheimer's Disease**, v. 44, n. 2, p. 573–584, 2015.
- JUNG, S. Ji; MEHTA, J. S.; TONG, L. Effects of environment pollution on the ocular surface. **The ocular surface**, v. 16, n. 2, p. 198–205, 2018.
- KUROSAKI, Y.; MIKAMI, M. Recent frequent dust events and their relation to surface wind in East Asia. **Geophysical Research Letters**, v.30, n.14, 2003.
- LE BLOND, J. S. et al. Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing: A respiratory health hazard? **Atmospheric environment**, v. 149, p. 34–46, 2017.
- LI, M-H. et al. Short-term exposure to ambient fine particulate matter increases hospitalizations and mortality in COPD: a systematic review and meta-analysis. **Chest**, v. 149, n. 2, p. 447–458, 2016.
- MARTINS, M. C. H. et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 58, n. 1, p. 41–46, 2004.
- MEECHAM, J. G.; THOMSON, C. W.; BLAIR, G. S. A model for investigating the systemic effects of adrenaline in dental local anaesthetic solutions in patients under surgical stress. **SAAD digest**, v. 8, n. 1-2, p. 19–25, 1991.
- MORAES, S. L. et al. Meteorological variables and air pollution and their association with hospitalizations due to respiratory diseases in children: a case study in São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 7, p. e00101418–e00101418, 2019.
- NARDOCCI, A. C. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, n. 9, p. 1867–1876, 2013.
- \_\_\_\_\_. et al. Traffic related air pollution and population health: a review about São Paulo (SP), Brazil. **Brazilian journal of epidemiology**, v. 14, n. 3, p. 445–454, 2011.
- NASCIMENTO, A. P. et al. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, p. 3–3, 2017.
- LOUDIN, A. et al. Traffic-related air pollution and dementia incidence in Northern Sweden: a longitudinal study. **Environmental health perspectives**, v. 124, n. 3, p. 306–312, 2016.
- PARAISO, M. L. de S.; GOUVEIA, N. Riscos à saúde devido à queima prévia da palha de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 18, p. 691–701, 2015.
- PARKER, J. D.; MENDOLA, P.; WOODRUFF, T. J. Preterm birth after the Utah Valley Steel Mill

- closure: a natural experiment. **Epidemiology**, v. 19, n. 6, p. 820-823, 2008.
- PINHEIRO, S. de L. L. de et al. Isolated and synergistic effects of  $PM_{10}$  and average temperature on cardiovascular and respiratory mortality. **Revista de Saúde Pública**, v. 48, p. 881-888, 2014.
- POPE III, C. A.; DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. **Journal of the air & waste management association**, v. 56, n. 6, p. 709-742, 2006.
- PRISMA, 2015 – PRISMA. **PRISMA Flow Diagram**, 2015 disponível em: <<http://prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram.aspx>> 2015. Acessado em: 07/05/2020.
- RIBEIRO, A. G. et al. Incidence and mortality risk for respiratory tract cancer in the city of São Paulo, Brazil: Bayesian analysis of the association with traffic density. **Cancer epidemiology**, v. 56, p. 53-59, 2018.
- \_\_\_\_\_. et al. Influence of vehicular traffic density on hospital admissions due to respiratory tract cancer in the city of São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 1, 2019.
- RICH, D.Q. et al. Ambient air pollutant concentrations during pregnancy and the risk of fetal growth restriction. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 63, n. 6, p. 488-496, 2009.
- ROMIEU, I. et al. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). **Research report (Health Effects Institute)**, n. 171, p. 5-86, 2012.
- SALINAS, P. Effects on the Female Reproductive System of Air Pollution Produced by the Use of Wood Combustion for Residential Heating: Challenges and Perspectives of Morphological Studies. **International Journal of Morphology**, v. 36, n. 2, 2018.
- SANTOS, C. M. da C.; PIMENTA, C. A. de M.; NOBRE, M. R. C. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p. 508-511, 2007.
- SONG, X. et al.  $PM_{10}$  mass concentration, chemical composition, and sources in the typical coal-dominated industrial city of Pingdingshan, China. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 1155-1163, 2016.
- TO, T. et al. Progression from asthma to chronic obstructive pulmonary disease. Is air pollution a risk factor? **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 194, n. 4, p. 429-438, 2016.
- TOLEDO, G. I. F. M. de; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, p. 445-454, 2011.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide**. World Health Organization, 2006.
- \_\_\_\_\_. et al. Review of evidence on health aspects of air pollution—**REVIHAAP Project**. 2017.
- WU, R. et al. Economic impacts from  $PM_{2.5}$  pollution-related health effects: a case study in Shanghai. **Environmental science & technology**, v. 51, n. 9, p. 5035-5042, 2017.
- XIE, Y. et al. Economic impacts from  $PM_{2.5}$  pollution-related health effects in China: a provincial-level analysis. **Environmental science & technology**, v. 50, n. 9, p. 4836-4843, 2016.
- XIONG, Q. et al. Fine particulate matter pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Beijing, China. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 9, p. 11880-11892, 2015.
- YIN, H.; PIZZOL, M.; XU, L. **External costs of  $PM_{2.5}$  pollution in Beijing, China: Uncertainty analysis of multiple health impacts and costs**. *Environmental Pollution*, v. 226, p. 356-369, 2017.
- ZHENG, P-w. et al. Air pollution and hospital visits for acute upper and lower respiratory infections among children in Ningbo, China: a time-series analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 23, p. 18860-18869, 2017.
- ZÚÑIGA, J. et al. Assessment of the possible association of air pollutants  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$  with an increase in cardiovascular, respiratory, and diabetes mortality in Panama City: a 2003 to 2013 data analysis. **Medicine**, v. 95, n. 2, 2016.