

IMPACTO DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE PÚBLICA EM MUNICÍPIOS COM ELEVADA INDUSTRIALIZAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO

IMPACT OF AIR POLLUTION ON PUBLIC HEALTH IN HIGH INDUSTRIALIZED MUNICIPALITIES IN THE STATE OF SÃO PAULO

Bianca Corá 

Mestre em Ciências Ambientais,
Universidade Federal de São Paulo
(Unifesp) – Diadema (SP), Brasil.

Luciana Ferreira

Leite Leirião 

Mestre em Ciências Ambientais,
Unifesp – Diadema (SP), Brasil.

Simone Georges

El Khouri Miraglia 

Professora doutora,
Unifesp – Diadema (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Simone Georges El Khouri Miraglia –
Laboratório de Economia, Saúde
e Poluição Ambiental, Rua São
Nicolau, 210 – Centro – CEP: 09961-
400 – Diadema (SP), Brasil –
E-mail: simone.miraglia@unifesp.br

Recebido em: 14/01/2020

Aceito em: 08/05/2020

RESUMO

O estado de São Paulo apresenta a maior produção industrial do Brasil, formando o maior Produto Interno Bruto (PIB) do país. Como consequência da atividade industrial, diversos municípios têm apresentado elevados índices de poluição atmosférica. O objetivo desta pesquisa foi estimar a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias atribuíveis à poluição do ar em municípios com elevada industrialização do estado de São Paulo entre os anos 2008 e 2016. Selecionaram-se 11 municípios para análise com base no consumo de energia elétrica pelo setor industrial e pela existência de estação de monitoramento da qualidade do ar. Com base em modelo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), estimou-se o número de óbitos por problemas cardiorrespiratórios que puderam ser atribuídos à concentração de material particulado ($MP_{2,5}$) em cada município ao longo dos anos. Baseando-se no valor estatístico de uma vida, realizou-se valoração econômica do impacto em saúde. Cinco dos 11 municípios analisados pertencem à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). O município cuja população é mais afetada pela poluição é Cubatão. No entanto, em razão do grande número de habitantes, São Paulo é o município cujo maior número de óbitos pode ser atribuído à exposição ao poluente $MP_{2,5}$. Considerando os resultados encontrados para os 11 municípios, 43.512 óbitos puderam ser atribuídos à poluição atmosférica no período, o que representa prejuízo superior a US\$ 48,3 bi. Esses resultados embasam a necessidade de pesquisas e de implementação de tecnologias mais limpas no parque industrial do estado de São Paulo.

Palavras-chave: poluição industrial; poluição atmosférica; impacto em saúde; valoração econômica.

ABSTRACT

The State of Sao Paulo presents the highest industrialized area of Brazil, having the biggest GNP in the country. As a result of industrial activities, many municipalities have been presenting high levels of air pollution. The aim of this research was to estimate the cardiorespiratory mortality caused by air pollution in some high-industrialized cities of São Paulo State between 2008 and 2016. Eleven municipalities were selected based on the industrial electricity consumption and on the existence of at least one air pollution monitoring station. We used a World Health Organization model to estimate the number of deaths that could be attributed to $PM_{2,5}$ in each municipality through the years. Based on the statistical value of a life, we performed an economic evaluation of health impacts. Five of the 11 municipalities belong to the São Paulo Metropolitan Region. The municipality most affected by air pollution was Cubatão. However, due to the large number of inhabitants, São Paulo is the municipality whose largest number of deaths can be attributed to exposure to PM pollutants. Considering the results found for the 11 municipalities, 43,512 deaths could be attributed to air pollution in the period, which represents a loss of more than US\$ 48.3 billion. These results justify the need for additional research and the implementation of cleaner technologies in the industrial park of the state of São Paulo.

Keywords: industrial pollution; air pollution; health impact, economic valuation.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 1970, o crescimento econômico do Brasil foi resultado do desenvolvimento industrial com consequente aumento no consumo de energia elétrica (CARMINATI; SCALCO, 2013). Ao longo das décadas, tanto essa atividade industrial quanto a produção de energia se deram em detrimento da preocupação com o meio ambiente (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008). Além de contribuir por si só para a degradação ambiental, a industrialização impulsionou o fenômeno de urbanização, no qual as atividades da população (consumo, deslocamento, geração de resíduos etc.) também interagem de forma negativa com o meio (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

Em razão da sua posição geográfica e vias de escoamento, o estado de São Paulo se destacou como polo industrial do Brasil (GÓIS SOBRINHO; AZZONI, 2014). Na década de 1970, chegou a deter 58% das indústrias de transformação do país e, ainda hoje, possui sua maior produção industrial, respondendo por 31,5% do total de riquezas produzidas (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE, 2019; SEVERIAN, 2018). Associado ao crescimento industrial, o estado teve aumento da sua população e o surgimento de problemas ambientais, especialmente aqueles relacionados à poluição atmosférica.

A qualidade do ar no estado de São Paulo é monitorada por 88 pontos de monitoramento e, em relação às partículas inaláveis com menos de 10 µm de diâmetro (MP_{10}), 92% deles indicam concentrações do poluente acima das médias anuais recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (CETESB, 2018). Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), descrevem-se consequências da poluição atmosférica em vários aspectos da saúde, tais quais efeitos cardiopulmona-

res, baixo peso ao nascer, atendimentos hospitalares, internações, incidência de vários tipos de câncer e mortalidade entre crianças e idosos (BARBOSA *et al.*, 2015; BRAVO *et al.*, 2016; CHIARELLI *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2017; DE BRITO *et al.*, 2014; GOMES; LUCIO; SPYRIDES, 2013; GOUVEIA *et al.*, 2017; GOUVEIA; JUNGER, 2018; ROMÃO *et al.*, 2013; YANAGI; DE ASSUNÇÃO; BARROZO, 2012). Com o avanço das áreas industriais para o interior do estado, a partir da década de 1990, efeitos deletérios à saúde associados à poluição atmosférica também passaram a ser descritos em municípios como Cubatão, São José dos Campos, Sorocaba, Campinas, Paulínia e Taubaté (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; 2014; ANDREÃO; ALBUQUERQUE; KUMAR, 2018; CÉSAR *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2013; JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011; NARDOCCI *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2015).

Diante da magnitude dos efeitos da poluição atmosférica na saúde, diversos estudos têm sido conduzidos com o propósito de se estimar o custo em saúde dessa externalidade ambiental, explicitando o benefício das reduções das concentrações de poluentes. Abe e Miraglia (2016) estimaram o custo em saúde decorrente do excesso de poluição no município de São Paulo. As autoras consideraram um cenário no qual o município estivesse nos padrões preconizados pela OMS e evidenciaram que, nesse cenário, os custos evitados em saúde seriam de US\$ 15,1 bilhões anuais.

A fim de contribuir para o entendimento das dimensões do impacto da poluição atmosférica de origem industrial na saúde pública, o presente trabalho estimou a mortalidade por doenças cardiopulmonares atribuíveis à poluição do ar nos municípios mais industrializados do estado de São Paulo, entre os anos 2008 e 2016.

MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Carminati e Scalco (2013), no Brasil, a intensidade da atividade industrial é intrinsecamente relacionada ao consumo de energia elétrica. Portanto, realizou-se a identificação dos municípios mais industrializados do estado de São Paulo por meio do levantamento do consumo de energia elétrica pelo setor industrial de acordo os Anuários Estatísticos Energéticos de anos-base de 2008 a 2016. Identifica-

ram-se os 15 municípios que mais consumiram energia elétrica pelo setor industrial em cada ano. A partir dessa identificação, verificou-se quais dos municípios detinham pelo menos uma estação de monitoramento da qualidade do ar operada pelo órgão ambiental do estado (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo — CETESB), com funcionamento entre os anos de 2008 e 2016.

Para a avaliação do impacto da poluição atmosférica no número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias em cada um dos municípios, utilizou-se modelo recomendado pela OMS, que adota como parâmetro de modelagem o poluente material particulado de diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}). Nesse modelo, primeiramente, calcula-se o risco relativo (RR; Tabela 1), que indica a probabilidade de determinado desfecho em saúde em população exposta a certa concentração do poluente. Com base no risco relativo, calcula-se a fração de impacto (FI; Tabela 1), que representa o percentual do total de óbitos que pode ser considerado consequência da exposição ao poluente (OSTRO, 2004).

O poluente utilizado no modelo é o MP_{2,5}, pois, segundo a OMS, ele é aquele que se acumula no trato respiratório inferior e causa prejuízos à saúde em longo prazo. O recorte da população analisado, sugerido pelo modelo (adultos com idade superior a 30 anos), também é decorrente do fato de o modelo estimar os óbitos na população que vem sendo exposta ao poluente há um longo período de tempo.

O número anual de óbitos por doenças cardiorrespiratórias na população com mais de 30 anos em cada município foi consultado na plataforma do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Esse número, multiplicado pelo FI de cada ano e muni-

cípio, indicou o montante de óbitos atribuíveis à poluição atmosférica.

Embora o modelo da OMS utilize o poluente MP_{2,5} como referência, a rede de monitoramento desse poluente é recente e ainda escassa no estado de São Paulo. Seguindo também orientação da OMS, nos casos de ausência de monitoramento do poluente MP_{2,5}, utilizou-se fator de conversão para se estimar a concentração média anual de MP_{2,5} com base na concentração média anual de MP₁₀. Esse fator de conversão foi de 0,5 (OSTRO, 2004).

No caso de municípios com mais de uma estação de monitoramento da qualidade do ar, determinou-se a média anual de MP_{2,5} como a média das médias anuais das estações.

Após a determinação do número de óbitos atribuíveis à poluição atmosférica por MP_{2,5}, fez-se uma valoração econômica considerando o valor estatístico de uma vida (*value of a statistical life*, em inglês — VSL). Dessa forma, a cada óbito, atribuiu-se o valor de € 1.000.000 (BICKEL; FRIEDRICH, 2005). O valor total de perdas em saúde relacionadas à poluição atmosférica foi dado pelo produto entre o número de óbitos relacionados ao MP_{2,5} e o VSL (Equação 1).

$$\text{Custos em saúde} = \text{Óbitos associados à poluição} \times \text{VSL} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dezoito municípios figuraram entre os 15 com maior consumo de energia elétrica pelo setor industrial no estado de São Paulo entre os anos de 2008 e 2016. Considerando a existência de pelo menos uma estação de monitoramento da qualidade do ar, selecionaram-se 11 municípios para análise (Tabela 2). Os municípios

excluídos por não possuírem estação de monitoramento foram: Alumínio, Americana, Jacareí, Limeira, Mogi das Cruzes, Pindamonhangaba e Suzano. Entre os 11 municípios incluídos no estudo, todos apresentaram concentrações médias anuais acima das recomendadas pela OMS, tanto para o poluente MP₁₀ quanto

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a avaliação do impacto da poluição do ar na saúde pública dos municípios, recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), com base em Ostro (2004).

Desfecho em saúde	Grupo populacional analisado	Função de risco relativo	β sugerido pela OMS	Equação para estimativa da FI
Óbitos por doenças cardiorrespiratórias	Idade > 30 anos	$RR = [(X + 1)/(X_0 + 1)]^\beta$	0,15515	$FI = (RR-1)/RR$

RR: risco relativo; X: concentração anual de MP_{2,5}; X₀: concentração de MP_{2,5} na qual o risco relativo seria mínimo (7,5 µg/m³, segundo Ostro, 2014); β: coeficiente de dose resposta; FI: fração de impacto.

para o $MP_{2,5}$ (recomendações: 20 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). A localização geográfica dos 11 municípios pode ser visualizada na Figura 1.

Entre os 11 municípios analisados, cinco encontram-se na RMSP, o que evidencia a distribuição desigual da indústria no estado. Estima-se que só essa região detenha 16% do Valor Adicionado Bruto da Indústria nacional (GÓIS SOBRINHO; AZZONI, 2014). Além da influência das emissões industriais, a poluição atmosférica na RMSP é afetada pelas emissões oriundas de automóveis. Para o material particulado especificamente, automóveis são responsáveis por 40% da concentração atmosférica (CETESB, 2017). Entre os veículos, destaca-se a alta contribuição dos pesados, especialmente os mais antigos e em desacordo com a legislação atual (LEIRIÃO; MIRAGLIA, 2019). Em municípios do oeste do estado, como Piracicaba e Sorocaba, a poluição industrial também se soma à poluição oriun-

da de outras fontes, especialmente da queima ilegal de biomassa (CÉSAR; CARVALHO; NASCIMENTO, 2012; CETESB, 2017).

Pode-se notar que há tendência de diminuição da concentração de MP_{10} na atmosfera nos municípios da RMSP. No entanto, esse efeito deve-se majoritariamente a políticas de redução de emissões veiculares (ABE; MIRAGLIA, 2018; ANDRADE *et al.*, 2017). Nos municípios do interior, não foi possível identificar melhora na qualidade do ar durante o período analisado, mesmo com a legislação que, desde 2002, impõe limites com restrição gradual da queima da cana-de-açúcar (ROSSETTO, 2019). Em alguns anos, como 2011, é possível notar ligeiro aumento na concentração de material particulado em alguns municípios, o que provavelmente pode se associar a períodos de baixa umidade característicos do fenômeno La Niña (ANDREÃO; ALBUQUERQUE; KUMAR, 2018).

Tabela 2 – Municípios selecionados para análise do impacto da poluição atmosférica na saúde pública. Também são apresentadas informações relacionadas ao consumo de energia elétrica pelo setor industrial no ano de 2016 e a concentração média anual de material particulado (MP_{10}) no município entre 2008 e 2016. Os municípios que figuraram entre os 15 que mais consumiram energia elétrica pelo setor industrial em 2016, mas que não possuem estação de monitoramento da qualidade do ar, são: Alumínio (1ª), Suzano (9ª), Limeira (10ª), Pindamonhangaba (11ª) e Jacareí (15ª).

Município	Consumo de Energia Elétrica (posição no anuário de 2016)	Concentração média anual de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cubatão	3ª	61,6	48,3	59,6	66	62	63,3	68,6	61	49
Guarulhos	5ª	50	42	36	36	33	29	31	30	29,5
Jundiaí	8ª	24	24	31	31	29	26	30	26	25
Mauá	13ª	38	32	37	37	35	35	37	30	30
Paulínia	14ª	42,5	31,5	41	41	35,5	35	39,5	32,5	35
Piracicaba	6ª	40	33	46	46	41,5	32	42,5	34,5	33,5
Santo André	4ª	30	34	35	35	35,5	33	36	31	30
São Bernardo do Campo	7ª	44	38	40	40	35	37	36	26	25
São José dos Campos	*	23	21	26	26	23	22	30	22	23
São Paulo	2ª	38,5	33,4	34,6	36,4	35,6	32,1	34,3	29,4	28,5
Sorocaba	12ª	36	28	32	34	32	36	39	28	25

*O município não figura entre os 15 municípios que mais consumiram energia elétrica pelo setor industrial no ano de 2016, no entanto apareceu entre os 15 municípios em anos anteriores.

Por não possuírem monitoramento para o poluente $MP_{2,5}$, os municípios de Cubatão, Jundiá, Mauá, Paulínia, Santo André e Sorocaba tiveram a concentração média anual desse poluente estimada com base na concentração do MP_{10} . Embora os testes realizados nas estações que possuem monitoramento dos poluentes MP_{10} e $MP_{2,5}$ revelem que o fator de conversão de 0,5 resulta em concentrações de $MP_{2,5}$ próximas àquelas mensuradas, deve-se destacar a necessidade de monitoramento do poluente $MP_{2,5}$ em todos os municípios. Também é importante ressaltar a necessidade de monitoramento nos sete municípios excluídos da análise, pois, por figurarem entre os mais industrializados, potencialmente possuem altos índices de poluição e grande parte da população afetada.

O cálculo do risco relativo apresentou maior valor para o município de Cubatão em todos os anos (variação de 1,18 a 1,24), evidenciando que esse é o município cuja população mais sofre os efeitos da poluição atmosférica. Os menores valores de risco relativo foram encontrados para São José dos Campos, também em todos os anos (variação de 1,04 a 1,10).

Desde a década de 1970, o município de Cubatão é reconhecido internacionalmente pelos altos índices de po-

luição (ALONSO; GODINHO, 1992). Dada a sua topografia acidentada, condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes e elevada emissão industrial, que se concentra especialmente na região denominada Vila Parisi, o município sistematicamente apresenta ultrapassagens dos níveis de qualidade do ar estipulados pela legislação estadual (CETESB, 2019; VIEIRA-FILHO; LEHMANN; FORNARO, 2015). Em 2008, o programa de recuperação ambiental de Cubatão completou 25 anos e, em relação a 1983, ocorreu redução de 98,9% da poluição, mesmo com aumento da produção industrial (CIESP, 2008). Ainda assim, as altas concentrações de MP_{10} evidenciam o potencial poluidor das indústrias do município, que concentram atividades nos setores de petroquímica, siderurgia e fertilizantes (CIESP, 2014). Desde a década de 1990, diversos estudos já associaram a poluição do ar em Cubatão com desfechos em saúde relacionados a problemas cardiorrespiratórios (JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011; NARDOCCI *et al.*, 2013; TAYRA; RIBEIRO; NARDOCCI, 2012).

Em São José dos Campos, os valores de risco relativo inferiores em relação aos demais municípios são consequência de concentrações anuais médias de material

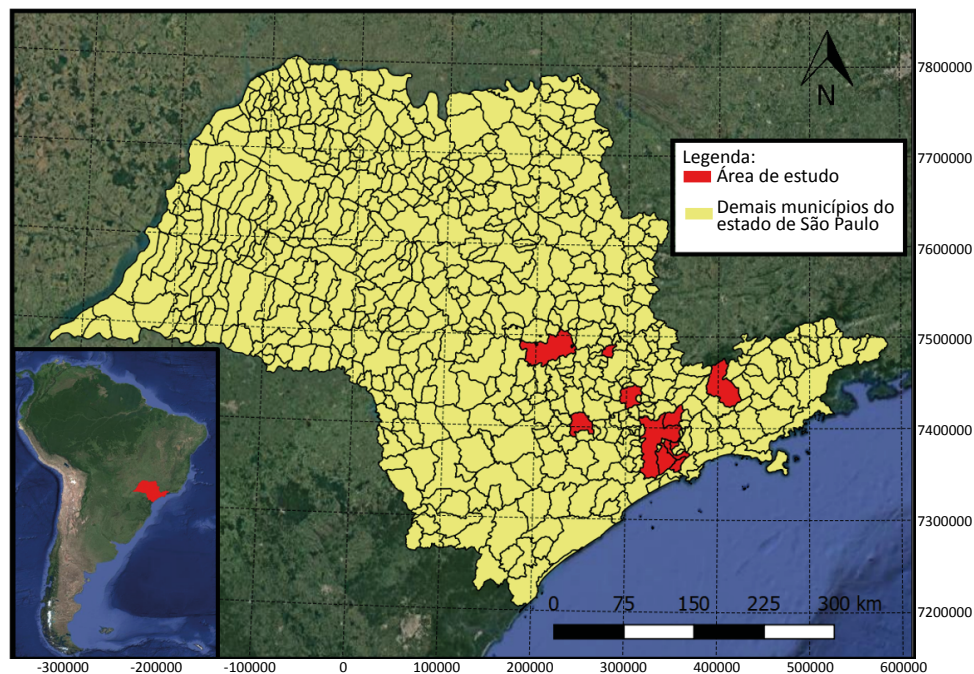


Figura 1 – Mapa do estado de São Paulo com destaque em vermelho nos 11 municípios analisados no presente estudo. No canto inferior esquerdo, mapa da América do Sul com destaque para o estado de São Paulo. Imagem elaborada pelas autoras no software QGIS 2.18.20.

particulado próximas às recomendadas pela OMS. Ainda assim, estudos anteriores já relacionaram as concentrações desse poluente no município com a ocorrência de acidente vascular cerebral e com internações em decorrência de asma em crianças (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; 2014). Neste trabalho, a presença de $MP_{2,5}$ na atmosfera de São José dos Campos pode ser relacionada a 627 óbitos por problemas cardiovasculares na população com mais de 30 anos (Tabela 3).

A aplicação da fração de impacto aos óbitos por causas cardiorrespiratórias na população com mais de 30 anos indicou que, entre 2008 e 2016, 43.512 pessoas faleceram em decorrência da exposição ao $MP_{2,5}$ (Tabela 3). O município de São Paulo concentrou 70,8% dessas mortes. O ano com maior número de óbitos foi 2011 e o com menor, 2015.

O elevado número de óbitos associados à poluição no município de São Paulo é consequência de sua grande população. Mesmo que a cidade tenha apresentado valores de risco relativo intermediários em relação às demais, o elevado número de habitantes maximiza

o impacto da poluição atmosférica na saúde pública. Em contrapartida, o município de Paulínia, em nove dos 10 anos analisados, apresentou valores de risco relativo entre os cinco maiores, mas, por ter população inferior aos demais (82.146 habitantes), revelou impacto em saúde pequeno em números absolutos. Na Figura 2, é possível visualizar o número de óbitos relacionados à poluição atmosférica de forma relativa à população total do município. Ainda analisando-se a figura, nota-se clara relação positiva entre o número de óbitos decorrentes da poluição e a concentração de $MP_{2,5}$ no município.

Os resultados da valoração econômica indicam que os óbitos em decorrência da poluição atmosférica nos 11 municípios analisados resultaram em perdas superiores a € 40 bi (Tabela 4). Apesar das diversas críticas à atribuição de valor monetário à vida humana, técnicas de valoração econômica costumam ser utilizadas em estudos epidemiológicos a fim de justificar investimentos na mitigação da poluição. Neste estudo, optou-se por utilizar um valor definido com base em

Tabela 3 – Número de óbitos por causas cardiorrespiratórias na população com mais de 30 anos em decorrência da exposição ao material particulado ($MP_{2,5}$).

	Óbitos em decorrência da poluição atmosférica									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
São Paulo	3.761,72	3.293,62	3.450,18	3.772,52	3.566,01	3.328,98	3.628,97	3.033,42	3.013,31	30.848,73
Guarulhos	471,72	415,93	365,24	376,85	339,7	289,87	325,35	321,08	331,62	3.237,36
Santo André	205,86	251,13	286,46	260,22	246,19	246,88	264,37	233,85	230,16	2.225,11
São Bernardo do Campo	229,76	217,99	242,37	231,14	203,85	221,01	203,38	141,58	141,39	1.832,48
Sorocaba	149,78	114,77	139,64	167,09	147,39	188,48	198,72	146,56	118,12	1.370,56
Mauá	111,86	101,01	133,41	122,17	107,38	112,72	124,1	94,29	101,58	1.008,51
Piracicaba	109,68	86,67	104,56	124,17	111,47	92,35	110,08	89,74	88,5	917,22
Jundiaí	68,05	67,86	101,09	116,04	104,01	91,38	114,19	90,04	89,73	842,38
São José dos Campos	58,53	47,77	66,26	81,1	61,02	59,06	102,51	67,23	83,73	627,22
Cubatão	46,45	35,77	50,5	53,4	49,44	53,12	57,86	56,81	47,94	451,3
Paulínia	15,11	11,98	16,96	19,3	16,86	15,57	21,2	16,84	17,27	151,1
Totais	5.228,5	4.644,5	4.956,7	5.324	4.953,3	4.699,4	5.150,7	4.291,4	4.363,4	43.512

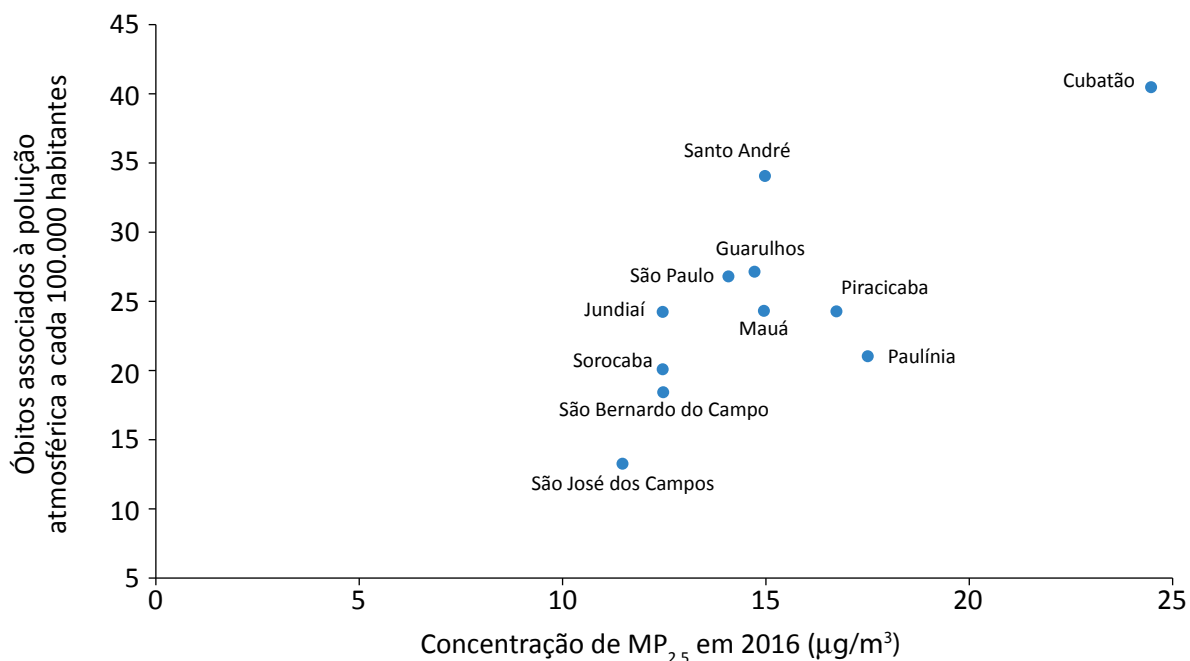


Figura 2 – Gráfico ilustrando a relação entre os óbitos decorrentes da poluição atmosférica a cada 100 mil habitantes e a concentração de material particulado (MP_{2,5}) no ano de 2016.

Tabela 4 – Resultados da valoração econômica dos efeitos da poluição atmosférica na saúde da população dos municípios analisados.

	Óbitos relacionados ao MP _{2,5} no período	Custos em saúde da poluição atmosférica (bilhões)
São Paulo	30.848,73	€ 30,84873
Guarulhos	3.237,36	€ 3,23736
Santo André	2.225,11	€ 2,22511
São Bernardo do Campo	1.832,48	€ 1,83248
Sorocaba	1.370,56	€ 1,37056
Mauá	1.008,51	€ 1,00851
Piracicaba	917,22	€ 0,91722
Jundiaí	842,38	€ 0,84238
São José dos Campos	627,22	€ 0,62722
Cubatão	451,3	€ 0,4513
Paulínia	151,1	€ 0,1511
Totais	43.512	€ 43,512

MP: material particulado.

estudo europeu, por não existir consenso sobre valor semelhante no Brasil. O resultado alcançado (€ 43,5 bi ou US\$ 48,3 bi) possui a mesma ordem de grandeza de resultados que utilizam técnicas semelhantes, como a do valor de um ano de vida (*value of a statistical year*, do inglês). Apenas na RMSP, por exemplo, a poluição oriunda de veículos em desacordo com os padrões atuais de emissões já foi relacionada com perdas de US\$ 4 bi em dois anos, e o custo da poluição no município de São Paulo já foi estimado em US\$ 15 bi (ABE; MIRAGLIA, 2016; LEIRIÃO; MIRAGLIA, 2019). Em Diadema, município vizinho a São Paulo com apenas 380 mil habitantes, esses custos chegam a US\$ 527 mi, e os efeitos da poluição são percebidos pela população (GUIMARÃES; ROSÁRIO; RIZZO, 2019; SILVA; ABE; MIRAGLIA, 2017).

A valoração dos prejuízos à saúde decorrentes da poluição atmosférica por meio da atribuição de um valor à vida pode ser considerada subestimada. Meira *et al.* (2020) estimaram os custos da poluição na cidade do Recife (PE) como parte dos gastos associados à velocidade desenvolvida por veículos. Segundo os autores, além dos custos relacionados à mortalidade, existem também aqueles relacionados a admissões hospitalares e à redução de produtividade em razão das faltas de funcionários decorrentes dos problemas de saúde (MEIRA *et al.*, 2020). Entre 2000 e 2007, estimou-se que só os custos do absenteísmo relacionado a problemas de saúde decorrentes da poluição atmosférica tenha ultrapassado os US\$ 6 bi no município de São Paulo (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2012).

Os resultados encontrados no presente trabalho incorporam evidências do caráter poluidor das indústrias e seus efeitos deletérios na saúde. Os quatro municípios que apresentam os maiores números de óbitos a cada 100 mil habitantes em decorrência da poluição atmosférica (Figura 2; Cubatão, Santo André, Guarulhos e São Paulo) são aqueles que mais consomem energia elétrica pelo setor industrial (Tabela 2). Isso indica possível relação positiva entre a instalação de indústrias e a mortalidade como consequência da poluição atmosférica. Nos Estados Unidos, pode-se constatar relação seme-

lhante ao se verificar que a instalação de indústrias do ramo da construção e da manufatura se relaciona positivamente com o número de internações (RHEE, 2018). A incorporação de aspectos geográficos nesse tipo de análise também levou à observação de que, na Espanha, a probabilidade de se desenvolverem diversos tipos de câncer é diretamente relacionada com a distância entre a residência do indivíduo e áreas industriais (FERNÁNDEZ-NAVARRO *et al.*, 2017; GARCÍA-PÉREZ *et al.*, 2015).

Para além da análise do impacto local, é necessário incorporar à discussão da poluição industrial a questão da poluição transfronteiriça, que se dá seja pelo transporte atmosférico de poluentes, seja pelas demandas de consumo de determinadas regiões do mundo que geram poluição atmosférica em outras regiões. Estudo recente demonstrou que 12% do total de óbitos prematuros relacionados à poluição por $MP_{2,5}$ no mundo ocorreram em decorrência do transporte de poluentes de regiões diferentes daquelas onde os óbitos ocorreram (ZHANG *et al.*, 2017). Outros 22% estariam associados à produção de bens em uma região, que são consumidos em outras (ZHANG *et al.*, 2017). No Brasil, pouco se sabe sobre a poluição transfronteiriça, embora já se tenha identificado que parte da poluição gerada no polo industrial de Cubatão seja transportada para a RMSP (SANCHEZ CCOYLLO; SILVA DIAS; ANDRADE, 2000). Em relação à demanda de bens, segundo a Confederação Nacional da Indústria (2018), o estado de São Paulo é responsável por 37,4% das exportações industriais do Brasil, o que revela que grande parte da poluição atmosférica gerada no estado é decorrente de demandas externas.

A visão globalizada da poluição atmosférica revela a necessidade de se tratar a poluição do ar oriunda das indústrias com cooperações regionais ou, até mesmo, leis ambientais de aspecto global (ABAS *et al.*, 2019). No âmbito local, destaca-se a necessidade de fiscalização e de legislações mais rigorosas para implementação e operação das indústrias, pois, mesmo quando estas estão de acordo com os padrões estabelecidos atualmente, ainda é possível que os índices de poluição sejam elevados (SILVA; VIEIRA, 2018).

CONCLUSÃO

Por meio de um modelo epidemiológico recomendado pela OMS e da ferramenta de valoração econômica

ambiental, neste trabalho, estimou-se o impacto em saúde decorrente da exposição ao $MP_{2,5}$ em municípios

com elevados níveis de industrialização no estado de São Paulo. Aquele cuja população é mais afetada pela poluição é Cubatão. No entanto, em razão do grande número de habitantes, São Paulo é a cidade cujo maior número de óbitos pode ser atribuído à exposição ao

poluente $MP_{2,5}$. As perdas econômicas atribuíveis ao impacto na saúde nos 11 municípios analisados em período de nove anos foi de US\$ 48,3 bi, o que justifica investimentos em pesquisa e implementação de tecnologias mais limpas no parque industrial do estado.

REFERÊNCIAS

- ABAS, N.; SALEEM, M. S.; KALAIR, E.; KHAN, N. Cooperative control of regional transboundary air pollutants. *Environmental Systems Research*, v. 8, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0138-0>
- ABE, K.C.; MIRAGLIA, S.G.E.K. Avaliação de impacto à saúde do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores no município de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 47, p. 61-73, 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180310>
- ABE, K.C.; MIRAGLIA, S.G.E.K. 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. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph13070694>
- ALONSO, C.D.; GODINHO, R. A evolução da qualidade do ar em Cubatão. *Química Nova*, v. 15, n. 2, p. 125-136, 1992.
- AMÂNCIO, C.T.; NASCIMENTO, L.F.C. Asthma and air pollutants: A time series study. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 58, n. 3, p. 302-307, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-42302012000300009>
- AMÂNCIO, C.T.; NASCIMENTO, L.F.C. Poluição ambiental e óbitos devido a acidente vasculo-encefálico em uma cidade com baixos níveis de poluentes: Estudo ecológico de séries temporais. *Sao Paulo Medical Journal*, v. 132, n. 6, p. 353-358, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-3180.2014.1326733>
- ANDRADE, M. de F.; KUMAR, P.; FREITAS, E.D.; YNOUE, R.Y.; MARTINS, J.; MARTINS, L.D.; NOGUEIRA, T.; PEREZ-MARTINEZ, P.; MIRANDA, R.M.; ALBUQUERQUE, T.; GONÇALVES, F.L.T.; OYAMA, B.; ZHANG, Y. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. *Atmospheric Environment*, v. 159, p. 66-82, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.051>
- ANDREÃO, W.L.; ALBUQUERQUE, T.; KUMAR, P. Excess deaths associated with fine particulate matter in Brazilian cities. *Atmospheric Environment*, v. 194, p. 71-81, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.034>
- BARBOSA, S.M.M.; FARHAT, S.C.L.; MARTINS, L.C.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F. Air pollution and children's health: sickle cell disease. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 31, n. 2, p. 265-275, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00013214>
- BICKEL, P.; FRIEDRICH, R. *ExternE - Externalities of Energy - Methodology 2005 Update*. Luxemburgo, 2005. Disponível em: <<http://www.externe.info/>>. Acesso em: 18 dez. 2019.
- BRAVO, M.A.; SON, J.; FREITAS, C.U.; GOUVEIA, N.; BELL, M.L. Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: Effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, v. 26, n. 2, p. 150-161, 2016. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.90>
- CARMINATI, J.G.O.; SCALCO, P.R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 19, n. 2, p. 355-374, 2013.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CIESP). *Indústrias de Cubatão somam melhorias ambientais com aumento de produção*. CIESP, 2008. Disponível em: <<http://www.ciesp.com.br/noticias/industrias-de-cubatao-somam-melhorias-ambientais-com-aumento-de-producao/>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CIESP). *Polo industrial de Cubatão Relatório Anual 2014*. São Paulo: São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.ciesp.com.br/cubatao/arquivo-download/?id=1437>>. Acesso em: 22 maio 2020.

CÉSAR, A.; CARVALHO, J.; NASCIMENTO, L.F.C. Exposição a poluentes atmosféricos e as doenças respiratórias e cardiovasculares em Piracicaba, SP. *In: 4th International Congress University Industry Cooperation, 4., 2012. Anais...* Taubaté, 2012. Disponível em: <<http://www.unitau.br/unindu/artigos/pdf539.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

CÉSAR, A.C.G.; NASCIMENTO, L.F.C.; MANTOVANI, K.C.C.; VIEIRA, L.C.P. Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 34, n. 1, p. 18-23, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.005>

CHIARELLI, P.S.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N.; FERREIRA FILHO, C.; GARCIA, M.L.B.; BRAGA, A.L.F.; MARTINS, L.C. The association between air pollution and blood pressure in traffic controllers in Santo Andre, São Paulo, Brazil. *Environmental Research*, v. 111, n. 5, p. 650-655, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.04.007>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2016*. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2017*. São Paulo: CETESB, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade do ar no estado de São Paulo 2018*. São Paulo: CETESB, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Perfil da Indústria*. 2018. Disponível em: <<http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/sp>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

COSTA, A.F.; HOEK, G.; BRUNEKREEF, B.; LEON, A.C.M.P. Air pollution and deaths among elderly residents of São Paulo, Brazil: An analysis of mortality displacement. *Environmental Health Perspectives*, v. 125, n. 3, p. 349-354, 2017. <https://dx.doi.org/10.1289%2FEHP98>

DE BRITO, J.M.; MACCHIONE, M.; YOSHIZAKI, K.; TOLEDO-ARRUDA, A.C.; SARAIVA-ROMANHOLO, B.M.; ANDRADE, M.F.; MAUAD, T.; RIVERO, D.H.R.F.; SALDIVA, P.H.N. Acute cardiopulmonary effects induced by the inhalation of concentrated ambient particles during seasonal variation in the city of São Paulo. *Journal of Applied Physiology*, v. 117, n. 5, p. 492-499, 2014. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00156.2014>

FERNÁNDEZ-NAVARRO, P.; GARCÍA-PÉREZ, J.; RAMIS, R.; BOLDO, E.; LÓPEZ-ABENTE, G. Industrial pollution and cancer in Spain: An important public health issue. *Environmental Research*, v. 159, p. 555-563, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.049>

FREITAS, C.U.; JUNGER, W.; LEON, A.P.; GRIMALDI, R.; SILVA, M.A.F.R.; GOUVEIA, N. Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 22, n. 3, p. 445-454, 2013. <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742013000300009>

GARCÍA-PÉREZ, J.; LOPE, V.; LÓPEZ-ABENTE, G.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, M.; FERNÁNDEZ-NAVARRO, P. Ovarian cancer mortality and industrial pollution. *Environmental Pollution*, v. 205, p. 103-110, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.05.024>

- GÓIS SOBRINHO, E.M.G.; AZZONI, C.R. Aglomerações industriais relevantes do Brasil. *TD Nereus*, v. 7, p. 1-32, 2014.
- GOMES, A.C.D.S.; LUCIO, P.S.; SPYRIDES, M.H.C. Influência da Poluição por Material Particulado nas Internações de Crianças Asmáticas na Região da Grande São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 4, p. 749, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.4.p749-763>
- GOUVEIA, N.; CORRALLO, F.P.; LEON, A.C.P.; JUNGER, W.; FREITAS, C.U. Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 117, 2017. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2017051000223>
- GOUVEIA, N.; JUNGER, W.L. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. *Environmental Pollution*, v. 232, p. 385-391, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.125>
- GUIMARÃES, P.; ROSÁRIO, N.É.; RIZZO, L.V. Percepção da poluição do ar por comerciantes no município de Diadema, na região metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 51, p. 112-127, 2019. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190440>
- JASINSKI, R.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. Air pollution and pediatric hospital admissions due to respiratory diseases in Cubatão, São Paulo State, Brazil, from 1997 to 2004. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 27, n. 11, p. 2242-2252, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100017>
- LEAL, G.C.S.G.; FARIAS, M.S.S.; ARAUJO, A.F. O Processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. *Qualit@s Revista Eletrônica*, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2008. <http://dx.doi.org/10.18391/qualitas.v7i1.128>
- LEIRIÃO, L.F.L.; MIRAGLIA, S.G.E.K. Environmental and health impacts due to the violation of Brazilian emissions control program standards in Sao Paulo Metropolitan Area. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 70, p. 70-76, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.03.006>
- MEIRA, L.H.; MELLO, C.A.; CASTRO, Y.M.; OLIVEIRA, L.K.; NASCIMENTO, C.O.L. Measuring social effective speed to improve sustainable mobility policies in developing countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 78, p. 102200, 2020.
- NARDOCCI, A.C.; FREITAS, C.U.; LEON, A.C.M.P.; JUNGER, W.L.; GOUVEIA, N.C. 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. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00150012>
- OSTRO, B. *Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. Geneva: World Health Organization, 2004. (Environmental Burden of Disease Series, n. 5.) Disponível em: <https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/ebd5/en/>. Acesso em: 18 dez. 2019.
- RHEE, J. *Associations of Air Pollution, Industries, and Socioeconomic Status With Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Among the Elderly in the U.S.* Dissertação (Mestrado) – Harvard, 2018. Disponível em: <<https://dash.harvard.edu/handle/1/37945657>>. Acesso em: 13 jan. 2020.
- RODRIGUES, C.G.; VORMITTAG, E.M.P.A.; CAVALCANTE, J.A.; SALDIVA, P.H.N. Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 32, n. 3, p. 489-509, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0102-3098201500000029>
- RODRIGUES-SILVA, F.; SANTOS, U.P.; SALDIVA, P.H.N.; AMATO-LOURENÇO, L.F.; MIRAGLIA, S.G.E.K. Health risks and economic costs of absenteeism due to air pollution in São Paulo, Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 12, n. 5, p. 826-833, 2012. <http://dx.doi.org/10.4209/aaqr.2011.12.0235>

ROMÃO, R.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N.; PINHEIRO, P.M.; BRAGA, A.L.F.; MARTINS, L.C. The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 29, n. 6, p. 1101-1108, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2013000600007>

ROSSETTO, R. *Cana-de-Açúcar*. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_92_22122006154841.html>. Acesso em: 19 dez. 2019.

SANCHEZ CCOYLLO, O.R.; SILVA DIAS, P.L.; ANDRADE, M.F. *O transporte de poluentes emitidos em Cubatão para a Região Metropolitana de São Paulo: estudo de caso de Agosto de 1999*. In: A METEOROLOGIA BRASILEIRA ALÉM DO ANO, 2000, Rio de Janeiro. *Resumos...*, 2000.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. *Anuário Estatístico de Energético por Município no Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2019.

SEVERIAN, D. *Dinâmica industrial na Região Metropolitana de São Paulo: Uma análise do período 2000-2015*. São Paulo, 2018.

SILVA, A.F.; VIEIRA, C.A. Levantamento das emissões de material particulado provenientes de fontes estacionárias de indústria siderúrgica, um estudo de caso. *Revista Brasileira de Gestão e Engenharia*, v. 2, n. 18, p. 23-35, 2018.

SILVA, L.T.; ABE, K.C.; MIRAGLIA, S.G.E.K. Avaliação de impacto à saúde da poluição do ar no município de Diadema, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 46, p. 117-129, 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170258>

TAYRA, F.; RIBEIRO, H.; NARDOCCI, A.C. Economic Cost of Air Pollution in Cubatão - SP Based on Health Expenses Related to Diseases of the Respiratory and Circulatory Systems Avaliação Econômica dos Custos da Poluição em Cubatão. *Saúde Social*, v. 21, n. 3, p. 760-775, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902012000300020>

VIEIRA-FILHO, M.S.; LEHMANN, C.; FORNARO, A. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 101, p. 200-208, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.025>

YANAGI, Y.; ASSUNÇÃO, J.V.; BARROZO, L.V. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 28, n. 9, p. 1737-1748, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000900012>

ZHANG, Q.; JIANG, X.; TONG, D.; DAVIS, S.J.; ZHAO, H.; GENG, G.; FENG, T.; ZHENG, B.; LU, Z.; STREETS, D.G.; NI, R.; BRAUER, M.; VAN DONKELAAR, A.; MARTIN, R. V.; HUO, H.; LIU, Z.; PAN, D.; KAN, H.; YAN, Y.; LIN, J.; HE, K.; GUAN, D. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. *Nature*, v. 543, p. 705-709, 2017. <https://doi.org/10.1038/nature21712>

