



## EMISSÕES VEICULARES E ÍNDICES SOCIOECONÔMICOS: UMA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Amanda Rocha Rodrigues<sup>1</sup>

Bruna Rafaela de Jesus<sup>2</sup>

Biatriz Felipe de Siqueira<sup>3</sup>

Heloísa Isabel Bernardi<sup>4</sup>

Victória Pedron<sup>5</sup>

Diego Samuel Rodrigues<sup>6</sup>

Felippe Benavente Canteras<sup>7</sup>

Simone Andréa Pozza<sup>8</sup>

### Poluição Atmosférica

#### Resumo

A emissão de poluentes por fontes móveis, como os veículos automotores, é um problema que assola as cidades. Os poluentes degradam a qualidade do ar, afetando a saúde dos seres humanos e causando outros problemas ambientais, como a chuva ácida e a inversão térmica. O PIB e o IDH são índices que podem ser utilizados para quantificar o desenvolvimento de certa região. Portanto, os dados de poluição atmosférica podem passar por uma análise de correlação com os dados de PIB e IDH. Dessa forma, o presente trabalho objetivou fazer uma análise de correlação entre poluição atmosférica causada por fontes móveis e os índices PIB e IDH, além de incluir dados sobre Área Territorial, População e Frota de veículos nesta correlação. A análise dos dados foi realizada com base no coeficiente de correlação de Pearson, e os resultados obtidos indicam que PIB, Área Territorial, População e Frota de Veículos possuem uma alta correlação com os poluentes analisados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Poluentes Atmosféricos, Fontes Móveis de Emissão, Qualidade do Ar.

---

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Tecnologia da Unicamp – FT, a230843@dac.unicamp.br

<sup>2</sup>Graduanda em Engenharia de Transportes pela Faculdade de Tecnologia da Unicamp – FT, b167392@dac.unicamp.br

<sup>3</sup>Aluna de Ensino Médio da Escola Técnica Estadual Trajano Camargo, Limeira, biatriz.siqueira2012@gmail.com

<sup>4</sup>Aluna de Ensino Médio da Escola Técnica Estadual Trajano Camargo, Limeira, heloisabernardi108@gmail.com

<sup>5</sup>Aluna de Ensino Médio da Escola Estadual Prof. Gabriel Pozzi, Limeira, vitoriavtap@gmail.com

<sup>6</sup>Prof. Dr. Universidade Estadual de Campinas – Campus 1 Limeira, Faculdade de Tecnologia – FT, diego.rodrigues@ft.unicamp.br

<sup>7</sup>Prof. Dr. Universidade Estadual de Campinas – Campus 1 Limeira, Faculdade de Tecnologia – FT, felippe.canteras@ft.unicamp.br

<sup>8</sup>Prof. Dr. Universidade Estadual de Campinas – Campus 1 Limeira, Faculdade de Tecnologia – FT, simone.pozza@ft.unicamp.br



## INTRODUÇÃO

Nas metrópoles, além de indústrias que contribuem para a poluição atmosférica, há também o setor de transportes, cuja demanda é crescente diante da urbanização. Os automóveis são classificados como fontes móveis de emissão de poluentes atmosféricos, os quais contribuem para degradação da qualidade do ar (ALONSO *et al.*, 2010).

As emissões veiculares contribuem, substancialmente, para o aumento da concentração de poluentes atmosféricos, sendo que os principais são os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxidos de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e o material particulado (MP). Os NO<sub>x</sub> são formados durante os processos de combustão e o CO é resultado da queima incompleta de combustíveis fósseis nos veículos. Assim como o CO, os HC são lançados na atmosfera como resultado da evaporação ou queima incompleta de combustíveis e outros produtos orgânicos voláteis (CETESB 2022a; CETESB, 2022b).

Os SO<sub>x</sub> são formados pela queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral e óleos combustíveis, sendo esses derivados do petróleo e preferencialmente usados pela indústria no Brasil (VERGHANINI FILHO, 2020). O MP é composto por partículas de material sólido ou líquido que ficam em suspensão no ar. Seu tamanho, baseado em seu diâmetro aerodinâmico, pode variar de 2,5 a 50 micrômetros, sendo que os menores diâmetros são os mais prejudiciais à saúde humana, já que podem adentrar os alvéolos pulmonares (CETESB 2022a; CETESB, 2022b).

Os efeitos que a poluição atmosférica pode causar à saúde humana são dependentes do tipo de poluente e sua concentração na atmosfera e o tempo de exposição ao composto. A exposição a curto prazo pode ser associada a efeitos agudos na saúde, enquanto a exposição a longo prazo é associada a efeitos crônicos na saúde. Os efeitos mais comuns que os poluentes atmosféricos causam à saúde humana são problemas respiratórios e cardiovasculares (CETESB, 2022c).

O IDH é um índice utilizado para identificar a ampliação de uma sociedade em diversas áreas: na economia, na educação e na saúde (MARQUES *et al.*, 2013). Ele é um valor numérico entre 0 e 1. Sendo assim, quanto mais próximo de 0, menor será o indicativo

### Realização



de saúde, renda e educação. Quanto mais próximo de 1, melhores são as circunstâncias dessas áreas de análise. O PIB é o indicador de fluxo de novos bens e serviços em determinado país, estado ou cidade, produzidos durante um período para estabelecer atividade econômica, geralmente ao longo de um ano (IBGE, 2022).

O objetivo deste trabalho foi analisar e quantificar a correlação de índices socioeconômicos (PIB e IDH), Área Territorial, População e Frota de veículos rodoviários – como automóveis, ônibus, caminhões e motocicletas – com valores de emissão de poluentes atmosféricos (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>), considerando-se um inventário atual de emissões urbanas para o Estado de São Paulo (CETESB, 2021). O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio (PIBIC – EM) da Universidade Estadual de Campinas.

## METODOLOGIA

Para investigar a correlação entre as variáveis explicativas (PIB, IDH, População, Frota e Área Territorial) com os poluentes atmosféricos (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e SO<sub>x</sub>), foram calculados os respectivos coeficientes de correlação de Pearson. O coeficiente de Pearson indica o grau de correlação linear entre duas variações contínuas de proporção métrica, identificado pelos valores de -1 e 1. Porém, se duas variáveis estão correlacionadas, isso não significa que há uma relação de causalidade entre elas (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). Esse coeficiente foi calculado por meio de planilhas de cálculo feitas no software *Libre Office*.

Os dados referentes a Área territorial (2020), PIB (2019) e IDH (2000 e 2010) que foram utilizados são oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sabendo que o último censo foi realizado há 10 anos, não existem dados recentes para o IDH. Com isso, foi necessário utilizar o método de extrapolação linear para determinar os valores de IDH para 2019. Para tanto, utilizaram-se os dados de IDH do ano 2000 e do ano 2010 disponibilizados pelo IBGE. Entretanto, para os valores de IDH indicados na Região Metropolitana de Campinas (RMC) e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), foi feita a média ponderada dos valores de IDH de cada município integrante na região, que

Realização





resultou em um valor médio de IDH das Regiões Metropolitanas. Esse método também foi aplicado para as cidades de Sorocaba e Votorantim.

Na Tabela 1 são apresentadas estimativas de População, Frota Veicular e emissões móveis (em 1000 toneladas/ano) tendo como base dados do Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo de 2020, com a inclusão de dados da Área Territorial, PIB e o IDH. A frota veicular diz respeito a todas as categorias de veículos em cada região, ou seja, abrange automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus e motocicletas.

**Tabela 1.** População, frota veicular, emissões móveis, área territorial, PIB e IDH de um aglomerado de municípios do estado de São Paulo.

Município	População (2020)	Frota (2019)	Área Territorial (2020) (km <sup>2</sup> )	PIB (2019) (milhares de R\$)	IDH (2019)	Emissão Fontes Móveis (1000 toneladas/ano)				
						CO	HC	NOx	MP	SOx
Guaratinguetá	122505	38922	752,636	6488615	0,870	1,30	0,24	0,83	0,02	0,01
Jacareí	235416	69947	464,272	13361648	0,846	1,60	0,33	0,83	0,02	0,01
São José dos Campos	729737	236456	1099,409	43457370	0,868	5,29	1,10	2,07	0,05	0,04
Taubaté	317915	112002	625,003	18357172	0,859	2,96	0,57	0,64	0,01	0,01
São Sebastião	90328	21741	402,395	3575340	0,870	0,55	0,10	0,19	0,01	0,00
Ribeirão Preto	711825	292317	650,916	35355227	0,824	5,79	1,19	2,52	0,06	0,04
RMC	3304338	1241164	3791,129	217471386	0,863	25,52	5,35	13,15	0,31	0,21



Jundiaí	423006	185511	431,207	46952323	0,892	4,33	0,89	1,83	0,04	0,03
Limeira	308482	112801	580,711	13785897	0,843	2,60	0,53	1,70	0,04	0,03
Piracicaba	407252	160466	1378,069	27822630	0,853	3,84	0,78	1,73	0,04	0,03
Rio Claro	208008	84605	498,422	10511811	0,865	1,66	0,32	0,72	0,02	0,01
Santa Gertrudes	27381	8416	98,291	2015669	0,821	0,18	0,04	0,22	0,005	0,00
RMSP	21893842	7324690	7946,956	1255655815	0,791	112,97	24,89	48,27	1,22	0,72
Cubatão	131626	28322	142,879	15046347	0,830	-	-	-	-	-
Santos	433656	153261	281,033	22753121	0,890	2,43	0,49	1,39	0,04	0,02
Tatuí	122967	43104	523,749	4160032	0,824	1,09	0,21	0,50	0,01	0,01
Sorocaba e Votorantim	810956	299713	634,058	40690368	0,863	6,39	1,33	1,78	0,04	0,03
Araraquara	238339	92041	1003,625	10026981	0,881	2,09	0,42	0,88	0,02	0,01
Bauru	276982	152114	667,684	15324591	0,860	3,08	0,65	1,27	0,03	0,02
Jaú	151881	51738	687,103	4903684	0,844	1,16	0,23	0,39	0,01	0,01
Catanduva	122497	49971	290,596	4339528	0,857	1,09	0,22	0,95	0,02	0,02

Realização



São José do Rio Preto	464983	206455	431,944	18776621	0,844	4,29	0,87	2,33	0,05	0,04
Araçatuba	198129	85063	1167,126	7807916	0,828	1,88	0,36	1,00	0,02	0,02
Marília	240590	88512	1170,515	8384437	0,864	1,79	0,36	0,79	0,02	0,02
Presidente Prudente	230371	90339	560,637	8368439	0,860	1,92	0,39	1,16	0,03	0,02

Fonte: Adaptado de Cetesb (2021) com inclusão de Área Territorial, PIB e IDH.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 2), é possível perceber que População, Frota, Área Territorial e PIB estão fortemente correlacionados aos poluentes, já que os valores ficaram muito próximos de 1. Já para o IDH não existe essa correlação, pois os valores do coeficiente de Pearson ficaram entre 0,068 e 0,074.

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis explicativas e emissões de poluentes do ar oriundos de fontes móveis.

	CO	HC	NOx	MP	SOx
<b>População</b>	0,997	0,998	0,993	0,955	0,990
<b>Frota</b>	0,998	0,999	0,995	0,996	0,993
<b>Área Territorial</b>	0,962	0,960	0,968	0,965	0,971
<b>PIB</b>	0,998	0,999	0,995	0,997	0,993
<b>IDH</b>	0,072	0,071	0,071	0,074	0,068

Fonte: De autoria própria.

No presente trabalho, é possível afirmar que variáveis explicativas estão correlacionadas com os poluentes atmosféricos, porém não é possível afirmar que existe relação causal entre elas. Borck e Schrauth (2021) previram que um aumento da população poderia estar associado a maiores concentrações de poluentes e testaram a relação entre o

Realização



aumento da população e a concentração de poluentes na Alemanha. O resultado obtido demonstra que há uma forte correlação entre essas duas variáveis. Entretanto, os autores alertam que existem artigos que estudam a correlação entre a concentração de poluentes atmosféricos e a densidade populacional e área territorial e que seus resultados são divergentes. Existem estudos apontando uma correlação positiva e outros que apontam uma correlação negativa. Isso pode acontecer por conta dos dados considerados pelos estudos ou se estes omitem variáveis que podem afetar os resultados (BORCK; SCHRAUTH, 2021).

A mesma situação ocorre para a correlação entre crescimento econômico e emissão de poluentes atmosféricos. Evangelista *et al.* (2020) encontraram um efeito positivo entre o aumento do PIB e a emissão de CO<sub>2</sub>, para países sul-americanos, utilizando uma análise de Modelo de Vetores Auto-Regressivos para Dados em Pannel. Entretanto, Alonso *et al.* (2010) não encontraram um coeficiente de correlação de Pearson alto em relação à emissão de CO e NO<sub>x</sub>. Dessa forma, chega-se à mesma conclusão de Borck e Schrauth (2021): o tipo de dado utilizado e como ele é analisado pode influenciar na conclusão obtida. Portanto, os dados obtidos com esse trabalho são de extrema importância para salientar que mais estudos devem ser feitos buscando a análise de variáveis econômicas e geográficas e sua relação com a poluição atmosférica.

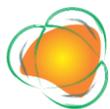
## CONCLUSÕES

Neste trabalho analisou-se e quantificou-se a correlação entre índices socioeconômicos (IDH e PIB), área territorial, população e frota de veículos leves com valores de emissão de poluentes atmosféricos de fontes móveis veiculares (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>). Isso foi desenvolvido por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre os índices socioeconômicos e os poluentes atmosféricos.

Conclui-se que há correlação entre as variáveis População, Frota, Área Territorial e PIB com os poluentes atmosféricos CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>, visto que o coeficiente de correlação de Pearson entre essas variáveis e a concentração de todos os poluentes considerados foi superior a 0,95. Em relação ao IDH, os valores do coeficiente de Pearson

Realização





indicaram que não há correlação entre esta variável e a emissão, por fontes móveis, dos poluentes estudados. Logo, PIB, Área Territorial, População e Frota têm uma alta correlação com a emissão dos poluentes atmosféricos analisados neste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica concedidas às alunas: Biatriz Felipe de Siqueira, Heloísa Isabel Bernardi e Victória Pedron junto ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio (PIBIC-EM). Ao Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPEX) da UNICAMP pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, Marcelo Felix *et al.* An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 44, n. 39, p. 5072-5083, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.013>.

BORCK, Rainald; SCHRAUTH, Philipp. Population density and urban air quality. **Regional Science And Urban Economics**, [S.L.], v. 86, p. 103596, jan. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166046220302817>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2020. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Cetesb, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Emissão Veicular. São Paulo: Cetesb, 2022a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes. São Paulo: Cetesb, 2022b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de

Realização



São Paulo 2021. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Cetesb, 2022c. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/10/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2021.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

EVANGELISTA, Isaac Ricarte *et al.* A relação entre emissão de CO<sub>2</sub> e PIB per capita: análise para os países Sul-americanos no período de 1980 a 2009. **Revista de Economia**, v. 41, n. 74, p. 1-22, 2020.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. **Desvendando os Mistérios do coeficiente de Correlação de Pearson**. 2009. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Política, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2009. Cap. 18. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/view/3852>. Acesso em: 29 jun. 2023.

MARQUES, Maria Luiza de Aguiar; PINTO, Daniela Gomes; COSTA, Marco Aurélio. **O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2013. 51 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2375>. Acesso em: 25 jun. 2023.

Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo. **Comitê de Mudanças do Clima e Ecoeconomia discute emissão de poluentes**. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nJb4upNQgeM>. Acesso em: 25 jun. 2023.

VERGHANINI FILHO, Renato. **Emissão de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) na combustão industrial**. São Paulo: Revista Ipt | Tecnologia e Inovação, 2020. 4 v. Disponível em: <https://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/119>. Acesso em: 29 jun. 2023.

PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB). Brasil: IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 26 jun. 2023.