



ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO FINO NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO POR AGRUPAMENTO DE DADOS

Angela Rosa Locateli de Godoy¹
Ana Estela Antunes da Silva²

Poluição Atmosférica

Resumo

As novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG) divulgadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendou limites menores de concentração dos poluentes, especialmente das partículas inaláveis finas que facilmente penetram o trato respiratório, causando maiores danos à saúde. No entanto, no interior do estado de São Paulo, apenas um número limitado de cidades de pequeno e médio porte possuem monitoramento para o poluente. Esta pesquisa utiliza a técnica de mineração de dados por agrupamento, na identificação de padrões de material particulado fino (MP_{2,5}) em todas as estações de monitoramento automático da Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB), no ano de 2020. Mesmo em anos pandêmicos, período em que a economia mundial reduziu as emissões, a geolocalização do grupo de estações com maiores concentrações de MP_{2,5} aponta uma expansão para o interior do estado, principalmente na região de Santa Gertrudes e Rio Claro, consideradas na relação das cidades mais poluídas do estado. Neste mesmo grupo outras estações do interior apresentaram comportamento semelhante, entre elas, Piracicaba, Campinas, Jundiaí e São José do Rio Preto, assim como as estações da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no litoral paulista a estação de Santos. A sazonalidade do poluente foi semelhante entre os grupos, com elevação da poluição no inverno, a partir de maio e um pico no mês de setembro, seguido de baixa até dezembro. Os resultados são úteis na investigação do padrão de MP_{2,5} em todo estado, que contribui para o conhecimento de regiões e períodos críticos em que há riscos de exposição da população ao poluente.

Palavras-chave: Agrupamento de dados; Material Particulado fino; Qualidade do ar.

¹Aluna de Doutorado em Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), angelarl@unicamp.br.

²Profª. Dra. Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), aasilva@unicamp.br.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é uma ameaça à saúde global e conforme relatado pela OMS, pesquisas comprovaram os efeitos da poluição na saúde. A exposição de curto prazo inclui o agravamento de doenças respiratórias e doença cardiovascular pré-existente, aumento de internações e atendimentos de emergências. A exposição a longo prazo está associada a problemas respiratórios crônicos, câncer e até mesmo mortes prematuras (POLEZER et al., 2018; MACHIN, 2018; SEINFELD; PANDIS, 2016; GONÇALVES et al., 2022). De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2018) a poluição do ar ainda é um grande desafio para cidades e estados em todo o Brasil, sendo responsável por elevados índices de óbitos anualmente.

No Estado de São Paulo, a CETESB emite, diariamente, um boletim da qualidade do ar das estações de monitoramento de várias cidades, com as condições da poluição atmosférica. Apesar do governo implantar iniciativas e definir metas para conter episódios críticos de poluição, os níveis de concentração ainda excedem frequentemente os limites nacionais (CONAMA, 2018; SÃO PAULO, 2013) e constantemente os internacionais (WHO, 2021). Em setembro de 2021, a OMS divulgou novas diretrizes e recomenda valores de concentração de poluentes ainda menores, um marco importante, considerando que a atualização anterior ocorreu em 2005 (WHO, 2021; POLEZER; POTGIETER-VERMAAK, 2022).

Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), São Paulo tem poluição do ar acima do recomendado pela OMS nos últimos 22 anos, principalmente os particulados ($MP_{2,5}$ e MP_{10}), O_3 e NO_2 (IEMA, 2022). A literatura relata que 92% das estações de monitoramento indicam concentrações acima das médias anuais para as partículas de $MP_{2,5}$ (CETESB, 2020; CORÁ; LEIRIÃO; MIRAGLIA, 2020). Andrade et al. (2017) apresentaram a evolução dos poluentes na RMSP nos últimos trinta anos e indicou que houve uma pequena redução dos poluentes primários, como CO , NO , SO_2 e MP_{10} , porém aumento dos poluentes secundários O_3 e $MP_{2,5}$.

Realização



Apoio



Embora seja de conhecimento que a qualidade do ar na RMSP apresenta altos índices de poluição, influenciada não apenas, mas principalmente pelas emissões veiculares, a CETESB tem destacado que o interior busca medidas urgentes de contenção dos níveis de poluição. Um exemplo é o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes que se destaca pela concentração da atividade ceramista a partir da argila, sendo responsável por uma parcela considerável da produção nacional de piso cerâmico. Os municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Rio Claro e Ipeúna, incluindo empresas nos municípios de Limeira e Piracicaba, tem atuado no setor. A extração, beneficiamento e transporte de matéria prima constituem-se nas principais fontes de emissão de material particulado da região (CETESB, 2020; SOUZA; SCUR; HILSDORF, 2018).

Portanto, o estudo do poluente $MP_{2,5}$ ainda é indispensável, com partículas menores ou iguais a $2,5\mu m$, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares. São capazes de permanecer em suspensão por longos períodos e por isto podem ser transportadas para longe do seu ponto de origem, propriedade que garante sua rápida propagação e resistência, expondo a população que estiver mais distante da fonte de emissão (WANG et al., 2013; CETESB, 2020; POLEZER; POTGIETER-VERMAAK, 2022).

Para este fim, técnicas de mineração tem explorado dados na descoberta de padrões e comportamentos dos poluentes, que compreende a utilização de um ou mais algoritmos aplicados a uma massa de dados, são capazes de apontar informações até então desconhecidas. A tarefa de agrupamento de dados (*cluster*) é um método de mineração exploratório e não supervisionado, quando não há modelos ou hipóteses pré-definidos, mas busca entender as características gerais ou estrutura dos dados. É amplamente utilizada para descobrir semelhanças entre amostras e identificar padrões (HAN; KAMBER; PEI, 2011; AGGARWAL; REDDY, 2013; KWEDLO, 2011).

No Brasil e em outros países a técnica de agrupamento já é utilizada. Austin et al. (2013) agrupou nos EUA locais de acordo com níveis de $MP_{2,5}$ e obteve grupos por regiões com atividade industrial semelhantes. Huang et al. (2015) realizou agrupamento de 13 regiões na China por similaridade de dados de concentração de $MP_{2,5}$ que resultou

Realização

Apoio

na descoberta de dois grupos industriais e outro agrícola. No Brasil, Souza e Rabelo (2016) estudaram por agrupamento, a relação entre dados climáticos, poluição do ar, morbidade total e interações por doenças respiratórias.

Pretende-se com este estudo, obter grupos de estações do estado de São Paulo a partir das concentrações de $MP_{2,5}$ no ano de 2020, proveniente do monitoramento da qualidade do ar e conhecer a sazonalidade do poluente e sua geolocalização em todo o estado.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado para estações com monitoramento automático de $MP_{2,5}$ no estado de São Paulo, com dados disponíveis para o ano de 2020. Ao todo foram 25 estações selecionadas das 31 disponíveis e a escolha priorizou as estações com menos dados faltantes, que não ultrapassou a média de 3% de valores ausentes na base total.

Distribuídas na RMSP, interior e litoral do estado, as estações selecionadas foram: Campinas, Guarulhos-Paço, Guarulhos-Pimentas, Itaim Paulista, Jundiaí, Mooca, Marg. Tietê-Pte, Osasco, Perus, Piracicaba, Rio Claro – Jd. Guanabara, Santa Gertrudes, São Paulo – Santana, São Paulo – Parque D. Pedro II, São Paulo – Congonhas, São Paulo-Grajaú-Parelheiros, São Paulo – Cid. Universitária – USP, São Paulo – Ibirapuera, São Paulo – Pico do Jaraguá, São Bernardo-Centro, São Caetano do Sul, São José do Rio Preto, São José dos Campos, Santos-Ponta da Praia e Taubaté.

Os dados das concentrações mensais de $MP_{2,5}$ referentes ao período de 01/01/2020 a 31/12/2020 foram coletados no sistema QUALAR (QUALAR, 2021), disponíveis no site da CETESB. Para o agrupamento foi utilizado o algoritmo de agrupamento particional *K-medoids* que usa objetos da base como centro dos grupos, os quais têm a menor dissimilaridade média a todos os outros objetos do grupo (HAN; KAMBER; PEI, 2011). A implementação foi na linguagem *Python*, com uso das bibliotecas “*Scikit-learn*” e “*Pyclustering*”, de código aberto, específicas para o aprendizado de máquina.

Realização



Apoio





RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi utilizado o coeficiente de silhueta (KAUFMAN; ROUSSEEUW, 2005) para auxiliar na decisão do número ideal de grupos e avaliar a qualidade do agrupamento, representado pelo maior valor de silhueta entre -1 e 1. Para isso, foram testados 24 diferentes grupos relacionados ao número de estações, envolvendo todos os elementos da amostra (25 estações selecionadas). Com o algoritmo *k-medoids* aplicado à base de dados, o melhor coeficiente de silhueta foi 0,34 para formação de dois grupos. Sendo assim, as estações foram divididas nos grupos 1 e 2, que considerou a similaridade da variação de concentração do MP_{2,5}, entre as estações (Tabela 1).

Tabela 01: Estações de monitoramento por grupos 1 e 2 (mais e menos poluídos) e suas respectivas médias anuais de concentração de MP_{2,5} por grupos e desvio padrão

GRUPO 1 (+ POLUÍDO)	GRUPO 2 (- POLUÍDO)
CAMPINAS	SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – JD.
JUNDIAÍ	SÃO PAULO – IBIRAPUERA
PIRACICABA	SÃO PAULO – PICO DO JARAGUÁ
SANTA GERTRUDES	TAUBATÉ
RIO CLARO-JD. GUANABARA	
SÃO PAULO - SANTANA	
SÃO PAULO - PARQUE D. PEDRO II	
SÃO PAULO - CONGONHAS	
SÃO PAULO - GRAJAÚ-PARELHEIROS	
SÃO CAETANO DO SUL	
SÃO PAULO - CID.UNIVERSITÁRIA-USP	
MOOCA	
OSASCO	
GUARULHOS-PAÇO	
ITAIM PAULISTA	
MARG.TIETÊ-PTE	
S. BERNARDO-CENTRO	
GUARULHOS-PIMENTAS	
PERUS	
SANTOS-PONTA DA PRAIA	
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	
MÉDIA DE CONCENTRAÇÃO / DESVIO PADRÃO	
15,56 µg/m³ / 4,87µg/m³	11,86 µg/m³ / 3,61 µg/m³

Realização



Apoio



De um modo geral, é possível notar que das 25 estações selecionadas com monitoramento para MP_{2,5} para este estudo, 84% apresentaram um comportamento semelhante, com altos níveis de concentração em todo estado, tanto na RMSP, litoral e interior (CIRQUEIRA et al., 2022). Com as novas diretrizes da OMS, a Média Anual de concentração recomendada para o MP_{2,5} foi reduzida de 10µg/m³ para 5µg/m³, bastante inferior às médias anuais obtidas em ambos os grupos (WHO, 2021; POLEZER; POTGIETER-VERMAAK, 2022). Cesar et al. (2016) e Machin (2018) afirmam que os níveis de concentração elevada de material particulado podem aumentar em até 15% riscos de mortalidade associados às partículas na atmosfera, muitas vezes em decorrência de pequenas variações.

Os grupos foram bastante característicos, sendo o grupo 1 mais poluído, com uma média anual global de 15,56µg/m³ e desvio padrão 4,87µg/m³, formado em sua maioria por estações da RMSP e do interior, como Santa Gertrudes, Rio Claro, Piracicaba, Jundiaí, Campinas e São José do Rio Preto que apresentaram o mesmo padrão para as concentrações de MP_{2,5}. Fato que também ocorreu no litoral paulista, para a cidade de Santos. O grupo 2, considerado mesmo poluído, apresentou um média anual global de 11,86µg/m³ e desvio padrão 3,61µg/m³ representado pelas estações de São Paulo – Ibirapuera, São Paulo – Pico do Jaraguá, São José dos Campos e Taubaté.

A geolocalização dos grupos na Figura 1, demonstra que há focos de poluição no interior, representado por estações demarcadas em vermelho (grupo 1) e em azul (grupo 2). A RMSP é conhecida pela intensa indústria automotiva e polo industrial, porém o destaque foi o interior. Nas estações de Campinas e Jundiaí, a principal fonte é de queimadas, focos de incêndios florestais e emissões industriais em torno, que contribuem para poluição da região (BAINY et al.,2022) e o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, responsável por 92% da produção cerâmica do estado de São Paulo, que abrange os municípios de Santa Gertrudes, Rio Claro, Piracicaba, Limeira e outras cidades próximas, como Ipeúna, Cordeirópolis. A extração e manuseio de matérias-primas são as principais fontes de emissão de material particulado (SOUZA; SCUR; HILSDORF, 2018).

Realização



Apoio





Figura 01: Geolocalização do grupo 1 (+ poluído) em vermelho e grupo 2(- menos poluído) em azul, gerados pelo algoritmo *K-medoids*, para o $MP_{2,5}$ no ano de 2020.

Na China, Itália, Espanha e Estados Unidos houve relatos da queda nos níveis de poluição durante a pandemia (BERMAN; EBISU, 2020), com destaque à redução de emissão de poluentes pelo setor industrial e de transportes, associados à queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis. No Brasil, foi constatada uma pequena redução de poluentes, entre eles MP_{10} e $MP_{2,5}$ (BAINY et al., 2022; GONÇALVES et al., 2022; CIRQUEIRA et al., 2022).

De acordo com o relatório anual da CETESB, no ano de 2020 houve um ligeiro decréscimo na média anual da RMSP, quando comparada a 2019, associado à redução de circulação de veículos, principalmente nos primeiros meses da quarentena. Já no interior, houve aumento na maioria das estações, associado ao período de estiagem em setembro e início de outubro (CETESB, 2020). Portanto, podemos considerar pelo histórico de concentrações do poluente, que a média anual obtida no ano de 2020 possivelmente foi

Realização

Apoio

inferior ao que se obtém em períodos sem restrições.

Na Figura 2 é possível notar a variação do MP_{2,5} durante o ano de 2020. Há uma sazonalidade comum entre os grupos (1 e 2), iniciando os primeiros meses com valores menores de concentração e uma elevação que inicia no inverno, mais evidente a partir de maio e um pico no mês de setembro, seguido de baixa até dezembro.

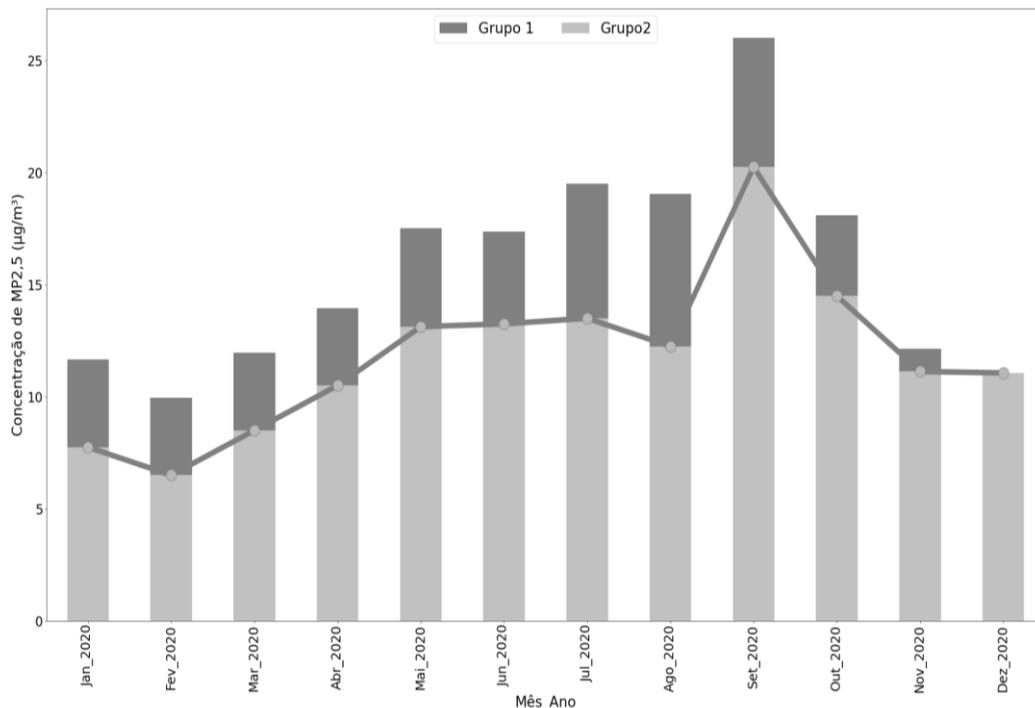


Figura 02: Sazonalidade mensal do poluente MP_{2,5} (µg/m³) durante o ano de 2020, para o grupo 1 (mais escuro) e grupo 2 (mais claro), formado por 25 estações.

A análise de concentração do MP_{2,5} por agrupamento gerou grupos com padrões distintos, que constatou alta poluição no interior do estado de São Paulo por material particulado relacionado a possíveis fontes locais predominantes nas regiões, representados por geolocalização e identificação dos meses críticos de altas concentrações.

Realização

Apoio

CONCLUSÕES

A análise dos dados por agrupamento formou dois grupos bastante representativos e os resultados foram úteis na análise por geolocalização, para reconhecer padrões entre estações. O estudo aponta um nível alto de poluição por material particulado fino em cidades do interior do estado de São Paulo e litoral paulista, que apresentaram comportamento semelhante às estações da RMSP, compondo o grupo das estações mais poluídas. As estações alocadas no grupo menos poluído, que possuem condições favoráveis estão localizadas na RMSP e interior, formado por apenas 4 estações.

Outro resultado foi a sazonalidade do poluente nos grupos. Por ser em grande parte de origem veicular ou processos de combustão industrial e veículos automotores, em decorrência das restrições na pandemia, houve uma pequena redução de concentração de $MP_{2,5}$ durante o ano de 2020. Porém, ambos os grupos apresentaram variação temporal similar, com elevação da poluição no início do inverno, a partir de maio e pico no mês de setembro que reduz até dezembro.

Apesar de ações de mitigação, a população desconhece o nível de poluição a que está sujeita diariamente. Ainda é necessária uma solução sustentável e constante, mesmo que gradativamente, para redução dos impactos à saúde e meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CETESB pela disponibilização dos dados neste estudo, por meio da base de dados QUALAR (2021).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Realização

Apoio

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, C. & REDDY, C. (2013). Data Clustering: algorithms and applications. CRC Press, (Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series).

ANDRADE, M. F.; KUMAR, P.; FREITAS, E.D.; YNOUE, R. Y.; MARTINS, J.; MARTINS, L.; NOGUEIRA, T.; MARTINEZ, P.P.; MIRANDA, R.M.; ALBUQUERQUE, T.; GONÇALVES, F.L.T.; OYAMA, B.; ZHANG, Y. (2017). Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. *Atmospheric Environment*, 159, 66–82. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.051>

AUSTIN, E.; COULL, B. A.; ZANOBETTI, A.; KOUTRAKIS, P. (2013). A framework to spatially cluster air pollution monitoring sites in US based on the PM2.5 composition. *Environment International*, 59, 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.003>

BAINY, B. K. et al. Air quality assessment in Southeast Brazil during COVID-19 pandemic and lockdown: report of increased air pollution (2022). *Cadernos de Saúde Pública* [online]. v. 37, n. 9, e00242320. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00242320>.

BERMAN, J. D., EBISU, K.. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, volume 739, 2020.ISSN 0048-9697. <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139864>>

CÉSAR, A. C. G., NASCIMENTO, L. F. C., MANTOVANI, K. C. C., & VIEIRA, L. C. P. (2016). Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. *Revista Paulista de Pediatria*, 34(1), 18–23. <<https://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.005>>

CIRQUEIRA, S.S.R., RODRIGUES, P. F., BRANCO, P., VORMITTAG, E., NUNES, R., ANASTACIO, A.V. B., VERAS, M., SOUSA, S., HILÁRIO, SALDIVA, P. H. N. Heterogeneous impacts of mobility restrictions on air quality in the State of Sao Paulo during the COVID-19 pandemic (2022). *Environmental Pollution*, Volume 300, 118984, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118984>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2020). Relatório de Qualidade do Ar no estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo / Secretaria do Meio Ambiente / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 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: 08 Mai, 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2018). Resolução CONAMA no 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre qualidade do ar. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 nov. 2018. Seção 1, 155-156. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740> Acesso em: 10 Dez., 2019.

Realização

Apoio



CORÁ, B.; LEIRIÃO, L.; MIRAGLIA, S. (2020). Impacto da poluição do ar na saúde pública em municípios com elevada industrialização no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 1-12. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200671>

GONÇALVES, P., NOGAROTTO, D., CANTERAS, F., & POZZA, S. (2022). The relationship between the number of COVID-19 cases, meteorological variables, and particulate matter concentration in a medium-sized Brazilian city. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, 57(2), 167-178. <https://doi.org/10.5327/Z217694781300>

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3ª ed. Burlington: Morgan Kaufmann.

HUANG, P.; ZHANG, J.; TANG, Y.; LIU, L. (2015). Spatial and temporal distribution of PM2.5 pollution in Xi'an city, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, n. 6, 6608-6625. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606608>

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). *Qualidade do Ar*. Disponível em: http://energiameioambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/06/RelatorioAnual_IEMA_2022.pdf. Acesso em: 27 Mai., 2022

KAUFMAN, L. & ROUSSEEUW, P. J. (2005). *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. New York: Wiley Series in Probability and Statistics.

KWEDLO, W. (2011). A clustering method combining differential evolution with the K-means algorithm. *Pattern Recognition Letters*, 32, n. 12, 1613-1621. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2011.05.010>

MACHIN, A. B. & NASCIMENTO, L. F. C. (2018). Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 3, p. 1-9. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00006617>

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE (2018). Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49123>. Acesso em: 08 Abr., 2019.

POLEZER, G.; TADANO, Y. S.; SIQUEIRA, H. V.; GODOI, A. F. L.; YAMAMOTO, C. I.; ANDRÉ, P. A.; PAULIQUEVIS, T.; ANDRADE, M. F.; OLIVEIRA, A.; SALDIVA, P. H. N.; TAYLOR, P. E.; GODOI, R. H. M. (2018). Assessing the impact of PM2.5 on respiratory disease using artificial neural networks. *Environmental Pollution*, 235, 394-403. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.111>

POLEZER, G., POTGIETER-VERMAAK, S., Oliveira, A. et al. As novas diretrizes de qualidade do ar da OMS para PM 2.5: situação para cidades pequenas/médias. *Environ Geochem Health* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01307-8>

QUALAR (2021). *Qualidade do Ar. Dados de poluentes*. CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar>. Acesso em: 08 Mai., 2021

Realização

Apoio



SÃO PAULO. Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Com retificações posteriores. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>. Acesso em: 02 Dez., 2019.

SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change. 3rd ed. New York: Wiley, 2016.

SOUZA, F. T. & RABELO, W. S. (2016). A data mining approach to study the air pollution induced by urban phenomena and the association with respiratory diseases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL COMPUTATION, 2016. Proceedings... 1045-1050. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2015.7378136>

SOUZA, W.J.V., SCUR, G., HILSDORF, W.D.C. Eco-innovation practices in the brazilian ceramic tile industry: The case of the Santa Gertrudes and Criciúma clusters. (2018) Journal of Cleaner Production, 199, pp. 1007-1019. Cited 16 times. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.098

WANG, L., MENG, J., XU, P., PENG, K. (2018). Mining temporal association rules with frequent itemsets tree. Applied Soft Computing Journal, 62, 817–829. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.09.013>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2021). WHO global air quality guidelines. World Health Organization.

Realização



Apoio

