

Tendências sazonais para material particulado e ozônio em estações de qualidade do ar do estado de São Paulo: análise entre os anos 2015 e 2019

Arthur Boari e Marcelo Vieira-Filho

Universidade Federal de Lavras
XXXI Congresso da Pós-Graduação
Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental
Mudanças Climáticas, Energia e Poluição Atmosférica

Introdução

OMS:

- Anualmente: 7 milhões de óbitos prematuros
- Redução da expectativa de vida
- Crianças: redução do crescimento e função pulmonar, infecções respiratórias e asma agravada
- Adultos: isquemia cardíaca e AVC, diabetes e condições neurodegenerativas

.: Legislação + monitoramento

Fonte: WHO (2021).

Histórico

- Portaria MINTER nº 231, de 27 de abril de 1976
- Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981: PNMA + CONAMA
- Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986: PROCONVE
- Resolução CONAMA nº 05, publicada em 15 de junho de 1989: PRONAR
- Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990: PQAr/1990
- Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018: PQAr/2018

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PI-2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PI-3 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PF $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	ppm
Material Particulado (MP ₁₀)	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado (MP _{2,5})	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo (Pb) ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

Média aritmética anual¹, média horária², máxima média móvel obtida no dia³, média geométrica anual⁴ e medido nas partículas totais em suspensão⁵.

Material Particulado

Definição:

Partículas, líquidas ou sólidas dispersas na atmosfera.

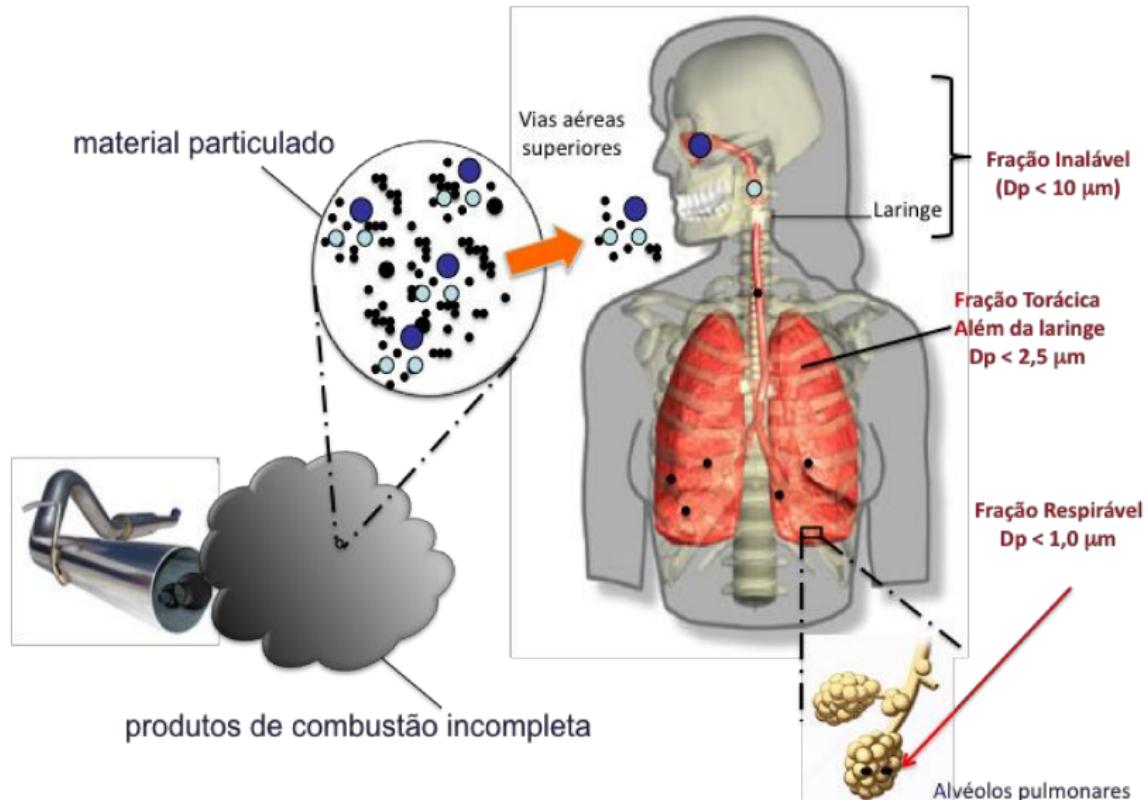
Caracterização:

Em relação ao diâmetro aerodinâmico (ϕ):

- MP₁₀ ($\phi < 10 \mu m$) — “inalável”
- MP_{2,5} ($\phi < 2,5 \mu m$) — “respirável”
- MP_{1,0} ($\phi < 1,0 \mu m$) — “ultrafinas”

Fonte: Beringui et al. (2021); Lenzi e Favero (2019); Seinfeld e Pandis (2006).

Material Particulado



Material Particulado

	Partículas Finas	Partículas Grossas
Vias de formação	Reações químicas Nucleação Condensação Coagulação	Ruptura mecânica Suspensão de poeira
Composição	Sulfato Nitrato Amônio Íon hidrogênio Carbono elementar	Ressuspensão de poeiras Cinzas de carvão e óleo Óxidos de elementos crustais (Si, Al, Ti, Fe) CaCO_3 , NaCl
Solubilidade	Amplamente solúvel e higroscópico	Amplamente insolúvel e não-higroscópico
Fontes	Combustão (carvão, óleo, gasolina, diesel, madeira) Conversão gás-partícula de NO_x , SO_3 e COVs Fundações, moinhos, etc.	Ressuspensão de poeira industrial e solo Suspensão de solo (agricultura, mineração, estradas não pavimentadas) Fontes biológicas Construção/demolição
Residência na Atmosfera	Dias a semanas	Minutos a dias
Transporte	De centenas a milhares de km	Menos do que dezenas de km

Fonte: Seinfeld e Pandis (2016), traduzido pelo autor.

Ozônio

Na atmosfera:

- Estratosfera: Ciclo de Chapman
- Troposfera: poluente

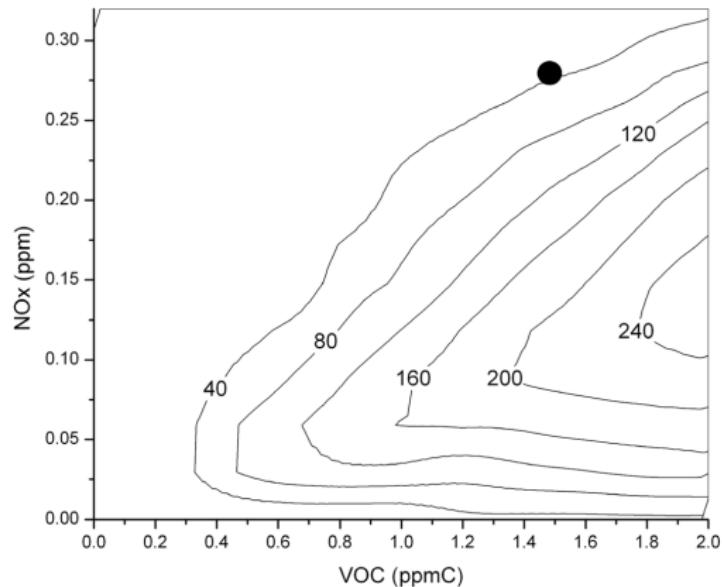
Formação

- Precursors: COVs e NOx
- Reações fotoquímicas não-lineares

Fonte: Lenzi e Favero (2019).

Ozônio Troposférico

Fig.: Isopleths of ozone (ppbv) for different VOCs (ppmC) and NOx (ppmv) concentrations, in the campaign performed in 2008 (Cerqueira César)



Fonte: Alvim et al. (2017).

Objetivos

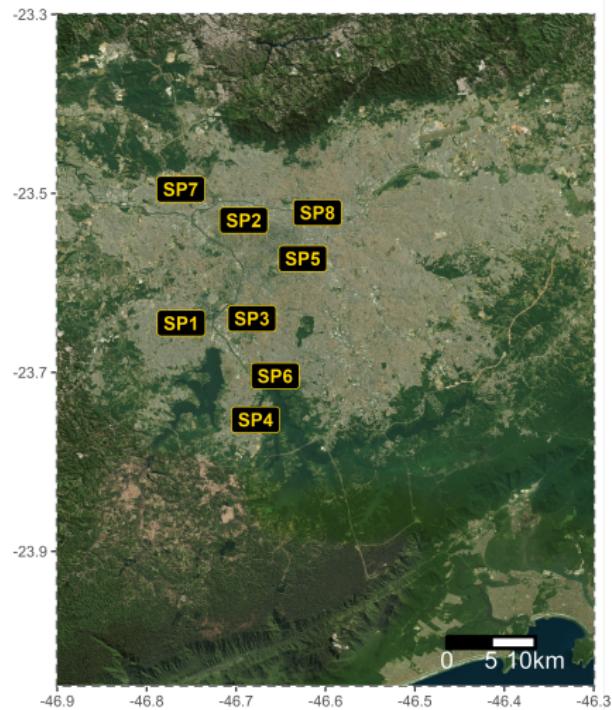
Investigar o comportamento sazonal da tendência de concentração de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e ozônio (O_3) para oito estações de qualidade do ar de São Paulo/SP entre os anos de 2015 e 2019.

Área de estudo

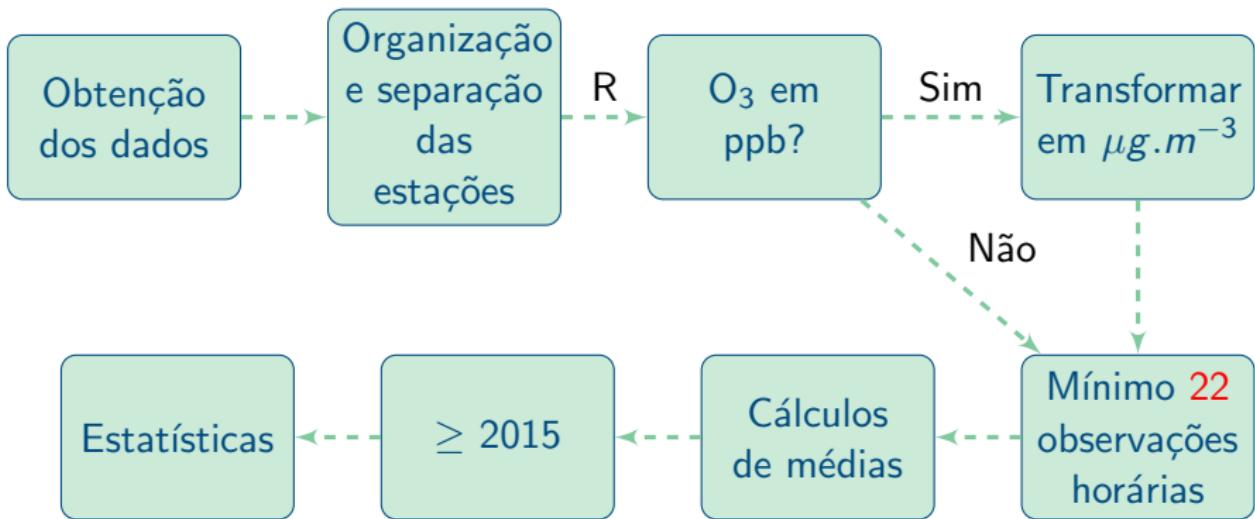
Estação	Coordenadas SIRGAS2000	Poluente	Comp. (%)		
			Lat.	Long.	
SP1	Capão Redondo	-MP ₁₀	-23.67	-46.78	93.67
SP2	Cerqueira César	-MP ₁₀	-23.55	-46.67	97.73
SP3	Congonhas	-MP ₁₀ -MP _{2,5}	-23.62	-46.66	95.03 92.04
SP4	Grajaú-Parelheiros	-MP ₁₀ -MP _{2,5}	-23.78	-46.70	92.08 91.91
SP5	Ibirapuera	-O ₃	-23.59	-46.66	92.15
SP6	Interlagos	-O ₃	-23.68	-46.68	90.67
SP7	Marginal Tietê	-MP ₁₀	-23.52	-46.74	96.26
	Ponte Remédios	-MP _{2,5}			95.97
SP8	Parque D. Pedro II	-MP ₁₀	-23.55	-46.63	90.74

Fontes: CETESB (2021), FEAM (2020), IEMA (2021) e INEA (2020).

Área de estudo



Série diária



Testes estatísticos

- *Anderson-Darling*
- *Mann-Kendall*
- *Sen's Slope*

Teste de *Anderson-Darling*

- Teste de normalidade

Hipóteses:

- H_0 : dados são oriundos de uma amostra aleatória e que seguem uma distribuição $N(\mu, \sigma^2)$
- H_a : dados não seguem uma distribuição normal

Fonte: Anderson e Darling (1952).

Teste de *Mann-Kendall*

- Teste não-paramétrico
- Não assume distribuição

Hipóteses:

- H_0 : amostra dos dados é independente e identicamente distribuída \therefore não há tendência
- H_a : amostra segue uma tendência monotônica condicional no tempo \therefore há tendência

Fonte: Alyousifi et al. (2021).

Teste de *Mann-Kendall*

$$S_{mk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i)$$

Teste de *Mann-Kendall*

$$S_{mk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

Teste de *Mann-Kendall*

$$S_{mk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S_{mk} + 1}{\sqrt{Var(S_{mk})}} & \text{se } S_{mk} > 0 \\ 0 & \text{se } S_{mk} = 0 \\ -1 & \text{se } S_{mk} < 0 \end{cases}$$

Teste de *Mann-Kendall*

$$S_{mk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S_{mk} + 1}{\sqrt{Var(S_{mk})}} & \text{se } S_{mk} > 0 \\ 0 & \text{se } S_{mk} = 0 \\ -1 & \text{se } S_{mk} < 0 \end{cases}$$

$$Var(S_{mk}) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Sen's Slope

$$\beta = \text{Mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), 1 \leq i < j \leq n$$

Fonte: Sen (1968).

Estatística descritiva das médias

Estação	Poluente	Tendência				
		Geral	DJF	MAM	JJA	SON
SP1	MP ₁₀	-0,73**	-2,19	-1,46	-3,285	-3,285+
SP2	MP ₁₀	-0,73***	-2,555*	-2,92*	-4,38*	-5,84***
SP3	MP ₁₀	-0,073	-0,73	-1,46	3,285	-0,73
	MP _{2,5}	-0,365**	-0,365	-1,46	-0,365	-4,38***
SP4	MP ₁₀	-0,365	-5,11*	1,46	-4,015	0
	MP _{2,5}	-0,365*	-3,65**	0	-0,73	-2,555+
SP5	O ₃	1,095	0	2,92	16,79***	-0,73
SP6	O ₃	0,365	-8,76+	2,19	10,95***	-6,57
SP7	MP ₁₀	0	-1,095	0,73	-0,73	-3,65
	MP _{2,5}	-0,365*	-0,73	-0,365	-1,095	-2,19+
SP8	MP ₁₀	0,365	-2,19+	1,095	6,935*	-2,92

$p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$.

Referências

ALVIM, D. S. et al. Main ozone-forming VOCs in the city of São Paulo: observations, modelling and impacts. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 10, n. 4, p. 421–435, may 2017. ISSN 1873- 9318. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11869-016-0429-9>>.

ALYOUSIFI, Y. et al. Trend analysis and change point detection of air pollution index in Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Springer Berlin Heidelberg, n. 0123456789, nov 2021. ISSN 1735-1472. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03672-w>> <http://link.springer.com/10.1007/s13762-021-03672-w>

ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. Asymptotic Theory of Certain “Goodness of Fit” Criteria Based on Stochastic Processes. *The Annals of Mathematical Statistics*, Institute of Mathematical Statistics, v. 23, n. 2, p. 193 – 212, 1952. Disponível em: <<https://doi.org/10.1214/aoms/1177729437>>.

Referências

- BERINGUI, K. et al. Avaliação da concentração e composição inorgânica do material particulado coletado no estado do Rio de Janeiro. Química Nova, 2021. ISSN 01004042. Disponível em: <<http://quimicanova.sq.org.br/audiencia/pdf.asp?aid2=9275&nomeArquivo=RV2020-0459.pdf>>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil — 1, Brasília, DF, 2018. ISSN 1677-7042. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- LENZI, E.; FAVERO, L. O. B. Introdução à Química da Atmosfera: Ciência, vida e sobrevivência. 2. ed. Barueri, SP: Grupo Editorial Nacional (GEN), 2019. ISBN 9788521634843. Disponível em: <<https://www.grupogen.com.br/introducao-a-quimica-da-atmosfera-ciencia-vida-e-sobrevivencia>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

Referências

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Informações Complementares das Estações. 2020. Disponível em: <http://www.feam.br/im/DO_AR/Tabela_Informa%C3%A7%C3%A3o_B5es_Complementares_das_Esta%C3%A7%C3%A3o.html>. Acesso em: 01 mar. 2022.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade. Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Relatório da Qualidade do Ar do estado do Rio de Janeiro: Ano base 2018. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/qualidade-ar-2018.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo 2020. São Paulo, 2021. 10 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Apendice-2-Qualidade-do-Ar-2020.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

Referências

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória: 2020. Cariacica, 2021.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 2. ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2006. 1203 p. ISBN 978-0471720188.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. Journal of the American Statistical Association, v. 63, n. 324, p. 1379, dec 1968. ISSN 01621459. Disponível em: <<https://www.pacificclimate.org/werra/zyp/Sen%201968%20JASA.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). WHO global air quality guidelines: particulate matter (pm2.5 and pm10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2021. xxi, 273 p. p

Obrigado!

arthur.boari1@estudante.ufla.br

