III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

EVIDÊNCIAS DAS CONSEQUÊNCIAS DA TEMPORADA PROLONGADA DE QUEIMADAS NA QUALIDADE DO AR E NA SAÚDE PÚBLICA NO MUNICIPIO DE SÃO PAULO. 2004-2024.

Gregori de A. Moreira[1], Samara Carbone[1], Juan Luis Guerrero-Rascado[1], Izabel da S. Andrade[1], Alexandre Cacheffo[1], Andrés M. Vélez-Pereira[1], Ezequiel Zamora-Ledezma[1], Dirk Thielen[1], Antonio A. Gomes[1], Ediclê de S. F. Duarte[1], Eduardo Landulfo[1], Fábio J. da S. Lopes[1], Henrique M. P. Aveiro[1], Jonatan J. da Silva[1], Juan Pallotta[1], Laura S. Pelicer[1], Luiz G. E. Souza[1], Maria F. Tames[1], Maria J. Costa[1], Marlon M. C. Puig[1], Mary Luz Puche Cárdenas[1], Náiade R. Rosa[1], Paloma Cariñanos[1], Thiago P. Diaz[1]

[1]Caipora Research Group: Climate Change and Health Effects. São Paulo.
E-mail: gregori.moreira@ifsp.edu.br ; marlonsamba83@yahoo.es

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a frequência e a extensão dos incêndios florestais aumentaram drasticamente em todo o mundo (LI et al., 2020). Incêndios de grande escala foram observados na Califórnia (EUA) em 2008 (REID et al., 2016), no Colorado (EUA) (ALMAN et al., 2016) e em Valência (Espanha) (VICEDO-CABRERA et al., 2016) em 2012, no Canadá (BAARS et al., 2019) e em Portugal (BRUNI et al., 2024) em 2017, e no sudeste da Austrália em 2019–20 (ABRAM et al., 2021).

Atividades antropogênicas, como o desmatamento e a renovação ou limpeza de pastagens, combinadas com condições meteorológicas extremas, como secas e altas temperaturas do ar, têm contribuído para a ocorrência e rápida propagação de incêndios florestais em escala e duração sem precedentes (CHERGUI et al., 2018; CULLEN; AXE; PODSCHWIT, 2021). Durante a última década, o Brasil atraiu atenção significativa devido ao grande número e extensão de incêndios florestais, ocupando o primeiro lugar em número de queimadas na América do Sul (LIU et al., 2020). Entre os vários biomas do país, a Amazônia e a Mata Atlântica (bioma predominante no estado de São Paulo) merecem atenção especial, pois ambos podem ser classificados como sensíveis ao fogo, uma vez que este prejudica sua biodiversidade (PIVELLO et al., 2021). Os incêndios florestais prejudicam a fauna e a flora locais e impactam diretamente a saúde pública por meio da poluição atmosférica. O presente trabalho analisa os efeitos das variáveis meteorológicas e de poluição na temporada de fogo sobre a saúde humana a partir das internações por doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias no município de São Paulo.

2. OBJETIVO

Verificar o efeito das variáveis meteorológicas e de poluição nas internações por doenças respiratórias, cardiovasculares e cerebrovasculares no município de São Paulo durante a temporada de incêndios florestais no período 2004-2023 em comparação com 2024.

3. MÉTODO

Eventos de Incêndio: O número diário de incidentes de fogo é proveniente da plataforma TerraBrasilis, desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este estudo utilizou dados abrangendo o período de janeiro de 2004 a setembro de 2024.

Concentração de Poluentes e Variáveis Atmosféricas: Os dados foram disponibilizados por meio da plataforma Qualar da CETESB. Dados de concentração de MP2,5, MP10, NO_2, O_3 e SO_2, bem como valores de Temperatura do Ar (T) e Umidade Relativa (UR), foram extraídos da referida plataforma, referentes ao período janeiro de 2004 - setembro de 2024 para determinar os valores semanais médios, máximos e medianos.

Doenças internações e outros dados de doenças: utilizados neste trabalho foram coletados no sítio eletrônico DataSUS, do Ministério da Saúde do Brasil, referentes ao município de São Paulo. Os dados foram categorizados em três grupos de idade: crianças (0–14 anos), adultos (15–59 anos) e idosos (60 anos ou mais). Os três grupos de doenças analisados compreendem os seguintes códigos da CID: respiratórias (J00-J06, J11, J18, J20-J22, J23, J30, J32, J40, J44-J47), cerebrovasculares (I62-I64, G45) e cardiovasculares

(I10, I11, I15, I20, I21, I24, I26, I45, I47-I50). Os dados cobriram o período de janeiro de 2000 a setembro de 2024 e, para fins de análise, foram agrupados em semanas epidemiológicas.

Razão de Taxa de Incidência (IRR): A razão de taxa de incidência (IRR) foi estimada por meio de uma regressão binomial negativa univariada. A variável de desfecho foi o número de hospitalizações semanais para cada grupo de idade, enquanto as variáveis independentes incluíram os valores médios, medianos e máximos de Temperatura do Ar (T), Umidade Relativa (UR) e concentrações de MP2,5, MP10, NO_2, SO_2 e O_3. O modelo inicial de regressão binomial negativa incluiu todas as variáveis. Variáveis com valor-p superior a 0,01 foram removidas por meio de eliminação manual *backward-stepwise*. O modelo final foi criado com base nas variáveis mais relevantes. Essa abordagem permite avaliar como diferentes variáveis afetam cada grupo de idade.

4. RESULTADOS

Incêndios Florestais e Concentrações de Poluentes

A Figura 1 apresenta o histórico do número de incêndios e focos de calor observados no estado de São Paulo de janeiro a setembro de 2024 (estrelas cinzas), comparados aos valores médios registrados de 2004 a 2023 (linhas vermelhas). Desde janeiro, os valores observados excederam consistentemente a média histórica por diversas vezes, tendência que se tornou ainda mais preocupante durante a temporada de queimadas. Em certos dias, foram registrados até 2.000 incêndios ou focos.

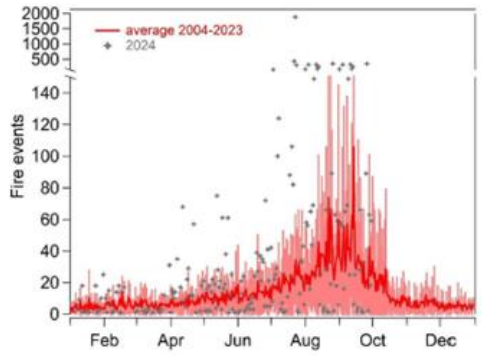

Fig. 1. Number of Fire Events/Fire Forci from 2003 to 2024 in São Paulo state. The red line represents the daily average from 2004 to 2023, and the red shade depicts the standard deviation. The grey markers indicate the daily number of fire events in 2024. Note the change in the scale of fire events to reflect the elevated number in 2024 accurately. Source: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/.

A Fig. 2, mostra a concentração média diária de MP2,5, MP10, O_3, SO_2 e NO_2. Como indicado na Fig. 1, as estrelas representam os valores registrados de janeiro a setembro de 2024, enquanto a linha vermelha mostra o valor médio histórico. Historicamente, concentrações mais elevadas de poluentes são observadas em São Paulo durante os meses de inverno (junho, julho e agosto) devido a condições desfavoráveis para a dispersão (ex: baixa altura da camada limite convectiva, velocidade do vento reduzida e ausência de chuva).

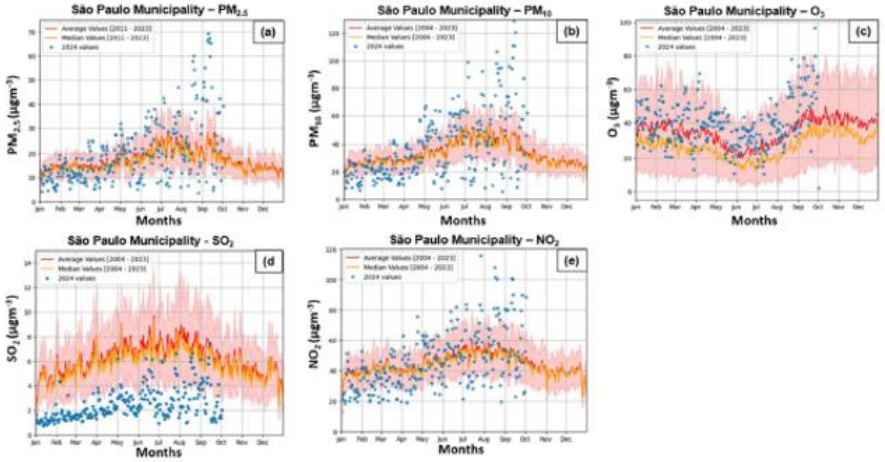

Fig. 2 Average daily concentration of $PM_{2.5}$ **(a)**, PM_{10} **(b)**, O_3 **(c)**, SO_2 **(d)**, NO_2 **(e)** at São Paulo municipality.

Em 2024, embora o padrão observado seja similar à média histórica (Figs. 3a-b), é evidente que, desde maio, as concentrações médias diárias excederam amplamente os valores históricos, com grande parte superando o desvio padrão médio. A partir de agosto, as concentrações permaneceram predominantemente acima do desvio padrão. Para MP2,5 e MP10, em certos dias (23–25 de setembro), os valores medidos foram mais do que o dobro do desvio padrão médio. Este padrão de valores elevados em 2024 também é observado para o O_3 (Fig. 3c) e NO_2 (Fig. 3e), principalmente em setembro. Por outro lado, o SO_2 (Fig. 3d) apresentou predominância de valores abaixo da média, sendo setembro o mês com o maior número de dias com concentrações próximas à média histórica. Este comportamento resulta da redução do teor de enxofre nos combustíveis fósseis, tanto industriais quanto automotivos (CETESB, 2023).

A Tabela 1 apresenta a estimativa da Razão de Taxa de Incidência (IRR). Quanto às doenças respiratórias, as crianças são fortemente afetadas pela Temperatura Mediana (IRR = 1,07), enquanto o MP10 médio e o NO_2 médio também desempenham papéis significativos (IRR = 1,02 e 1,01, respectivamente). Estes resultados indicam que, por exemplo, um aumento de 10 μg/m³ na concentração média de MP10 pode levar a um aumento de 20% nas internações de crianças. Portanto, o aumento combinado de temperatura, MP10 e NO_2 observado na primeira semana de setembro explica o aumento de aproximadamente 77% nas internações infantis. Em contraste, adultos e idosos são impactados principalmente pelo MP2,5 mediano (IRR ≈ 1,01). Apenas os grupos de adultos e idosos foram analisados para doenças cerebrovasculares. Nos adultos, o fator principal é a Temperatura Máxima (TMax, IRR = 1,03), seguida pelo SO_2 médio (IRR = 1,02), Umidade Relativa média (IRR = 1,01) e O_3 médio (IRR = 1,01). Um aumento de 5 °C na TMax pode gerar um incremento de 15% nas internações. Para o grupo de idosos, os fatores de risco mais significativos são o SO_2 máximo (IRR = 1,02) e a Umidade Relativa média (IRR = 1,01).

Para as doenças cardiovasculares, em adultos e idosos, o principal fator de risco é a TMax (IRR = 1,02). Estes resultados indicam que um aumento de 5 °C na TMax pode elevar em 10% as doenças cardiovasculares em adultos. Para idosos, o fator primário também é a TMax, seguido pela Umidade Relativa e o SO_2 máximo (IRR = 1,01). Isso indica que um aumento de 10 μg/m³ na concentração máxima de SO_2 pode resultar em um aumento de cerca de 10% nas internações de idosos. Assim, a correlação entre SO_2 e doenças cardiovasculares justifica por que este foi o único grupo a apresentar redução frente à média histórica, visto que as concentrações de SO_2 em 2024 permaneceram consistentemente abaixo da média histórica (AMANCIO; NASCIMENTO, 2012; MA *et al.*, 2021; NOURI *et al.*, 2023).

Respiratory disease			Cerebrovascular disease			Cardiovascular disease		
Children								
Variable	IRR	95%CI						
T^{Median}	1.07	1.05–1.09						
PM_{10}^{Mean}	1.02	1.00–1.04						
NO_2^{Mean}	1.01	1.00–1.01						
Adults			Adults			Adults		
Variable	IRR	95%CI	Variable	IRR	95%CI	Variable	IRR	95%CI
$PM_{2.5}^{Median}$	1.01	1.00–1.01	T^{Max}	1.03	1.02–1.04	T^{Max}	1.02	1.01–1.02
NO_2^{Mean}	1.01	1.00–1.01	SO_2^{Mean}	1.02	1.02–1.02	RH^{Mean}	1.02	1.01–1.02
			O_3^{Mean}	1.01	1.00–1.01			
			RH^{Mean}	1.01	1.00–1.01			
Older adults			Older adults			Older adults		
Variable	IRR	95%CI	Variable	IRR	95%CI	Variable	IRR	95%CI
$PM_{2.5}^{Median}$	1.01	1.00–1.01	SO_2^{Max}	1.02	1.01–1.04	T^{Max}	1.02	1.01–1.02
			RH^{Mean}	1.01	1.01–1.02	RH^{Mean}	1.01	1.01–1.02
						SO_2^{Max}	1.01	1.00–1.01

Table 1. Incidence rate ratio (IRR) [95%CI] of respiratory, cardiovascular, and cerebrovascular diseases in São Paulo municipality.

5. CONCLUSÕES

A concentração média diária de MP frequentemente excedeu os limites recomendados nacionais e internacionais entre julho e agosto, principalmente devido ao alto número de eventos de queima de biomassa que advectam plumas de fumaça para a capital, combinados às emissões locais. A combinação de condições atmosféricas desfavoráveis e o aumento no número de incêndios resultou em concentrações mais elevadas dos poluentes apresentados. A temperatura do ar, a umidade relativa, a concentração de material particulado, SO2, NO2 e O3 são as principais variáveis que afetam as internações por doenças respiratórias, cerebrovasculares ou cardiovasculares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAM, N. J. *et al.* Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. **Communications Earth & Environment**, [s. l.], v. 2, n. 8, 2021.

ALMAN, B. L. *et al.* The association of wildfire smoke with respiratory and cardiovascular emergency department visits in Colorado in 2012: A case crossover study. **Environmental Health**, [s. l.], v. 15, n. 64, 2016.

AMANCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Association of sulfur dioxide exposure with circulatory system deaths in a medium-sized city in Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, [s. l.], v. 45, n. 11, p. 1080–1085, 2012.

ANDRADE, M. F. *et al.* Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 159, p. 66–82, 2017.

BAARS, H. *et al.* The unprecedented 2017–2018 stratospheric smoke event: decay phase and aerosol properties observed with the EARLINET. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [s. l.], v. 19, p. 15183–15198, 2019.

BRUNI, C. *et al.* Wildfire exposure and risk in pulp paper companies' plantations under extreme weather conditions: A case study in North-Western Portugal. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 100, p. 104064, 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2023**. São Paulo: CETESB, 2023.

CHERGUI, B. *et al.* Socioeconomic factors drive fire regime variability in the Mediterranean basin. **Ecosystems**, [s. l.], v. 21, p. 619–628, 2018.

CULLEN, A. C.; AXE, T.; PODSCHWIT, H. High-severity wildfire potential associating meteorology, climate, resource demand, and wildfire activity with preparedness levels. **International Journal of Wildland Fire**, [s. l.], v. 30, p. 30–41, 2021.

LI, P. *et al.* Occurrence frequencies and regional variations in visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) global active fires. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 26, p. 2970–2987, 2020.

LIU, S. *et al.* A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. **European Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 104–112, 2020.

MA, Z. *et al.* Association between long-term exposure to sulfur dioxide pollution and incidence of coronary heart disease in northern China: A 12-year retrospective cohort study. **Atmospheric Pollution Research**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 60–65, 2021.

NOURI, F. *et al.* Effects of sulfur dioxide and particulate matter pollution on hospital admissions for hypertensive cardiovascular disease: A time series analysis. **Frontiers in Physiology**, [s. l.], v. 14, 1124967, 2023.

PIVELLO, V. R. *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences, and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 233–255, 2021.

REID, C. E. *et al.* Differential respiratory health effects from the 2008 northern California wildfires: A spatiotemporal approach. **Environmental Research**, [s. l.], v. 150, p. 227–235, 2016.

VICEDO-CABRERA, A. M. *et al.* Health effects of the 2012 Valencia (Spain) wildfires on children in a cohort study. **Environmental Geochemistry and Health**, [s. l.], v. 38, p. 703–712, 2016.