

MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DA CHUVA EM AMBIENTES URBANO E NÃO URBANO E A CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NO ESTADO DE SÃO PAULO/BR

Aline Nunes da Silva ¹
João Paulo Assis Gobo ²
Cássio Arthur Wollmann ³

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental causada pelo plástico tem se tornado uma realidade alarmante a nível global. Estimativas apontam que entre 1950 e 2015, cerca de 6,3 bilhões de toneladas de resíduos plásticos foram produzidos, dos quais apenas 9% foram reciclados e 12% incinerados, deixando aproximadamente 79% depositados no ambiente. A durabilidade do plástico permite que o material permaneça indefinidamente no ambiente, quebrando-se em inúmeras partículas de tamanho variado, indo de micrométrico a milimétrico (GEYER et al., 2017; DING, et al., 2022).

Os microplásticos são considerados partículas sólidas de plástico insolúveis em água com dimensões entre 1µm e 1000µm (1mm), até 5000µm (5mm), podendo ser classificados como primários ou secundários, dependendo de sua origem (BROWNE et al., 2017; HARTMANN et al., 2015; ISO/TR 219630, 2020). Estudos recentes indicam a presença de microplásticos em diversos ambientes, como marinhos, rios, lagos, atmosfera e ambientes terrestres, além de encontrarem-se em organismos de animais e seres humanos (LI et al., 2021; LIU et al., 2021; RABARI et al., 2022; YIN et al., 2022; BERTOLDI et al., 2023; LI et al., 2022; HU et al., 2022; ABBASI et al., 2023; NAJI et al., 2019; WANG et al., 2021; LI et al., 2023; CODRINGTON et al., 2024). Mesmo que haja reconhecimento do problema, a poluição por microplásticos continua aumentando.

A suscetibilidade dos microplásticos ao transporte atmosférico por longas distâncias é um indicativo preocupante (ALLEN et al., 2019). Dris et al. (2016) evidenciaram a presença de microplásticos e fibras sintéticas na precipitação

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, silva.aline@acad.ufsm.br;

²Prof. Dr. em Geografia, Universidade Federal de Rondônia – UNIR, joao.gobo@unir.br;

³Prof. Dr em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, cassio@ufsm.br;

atmosférica em áreas urbanas e suburbanas de Paris. Estudos mais recentes detectaram microplásticos em amostras de água em nuvens em regiões montanhosas do Japão, incluindo o Monte Fuji (WANG et al., 2023). Brahney et al. (2020) relataram a presença de microplásticos em áreas de conservação ambiental nos Estados Unidos, sendo transportados pelo vento e pela chuva. Ademais, Ryan et al. (2023) propõem que furacões atuam como vetores para o transporte de altas concentrações de microplásticos em sua trajetória oceano-continente.

No contexto da investigação do transporte atmosférico de microplásticos, este estudo tem como objetivo analisar a presença de microplásticos aerotransportados na água da chuva em áreas urbanas, especificamente em São Paulo/SP, e em áreas não urbanas, representada por Iguape/SP. Além disso, a pesquisa busca discutir a circulação atmosférica regional de forma a entender o transporte e dispersão de partículas.

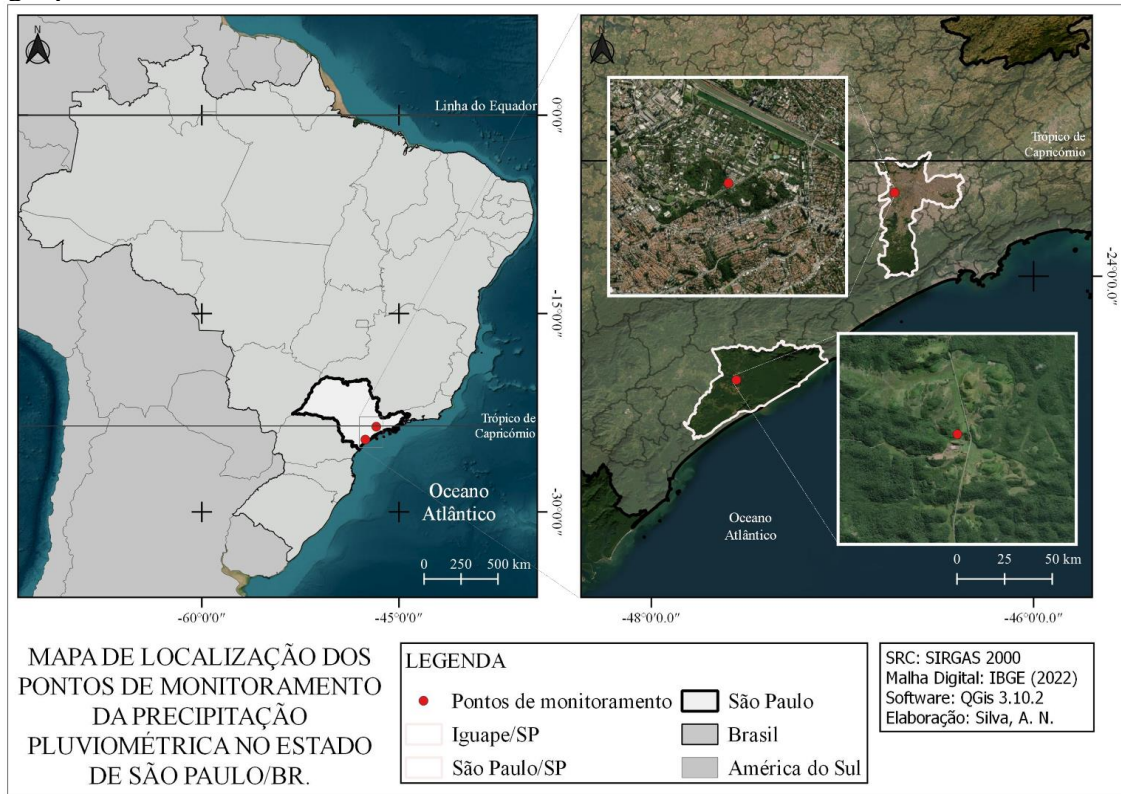
MATERIAIS E MÉTODOS

São Paulo, capital do estado de São Paulo, é a maior metrópole do Brasil, apresentando uma população de aproximadamente 11,45 milhões de habitantes e uma densidade populacional de 7.528,26 habitantes/km² (IBGE, 2020). O clima da cidade, segundo a classificação de Köppen, é definido como Cwa, caracterizado por um clima subtropical úmido com invernos secos (junho a agosto) e verões quentes (dezembro a fevereiro), com precipitação anual média de 1.400mm (ALVARES, 2013).

Em contraste, Iguape, situada no litoral sul do mesmo estado, abriga uma população de 29.115 mil habitantes e possui uma densidade demográfica significativamente menor, de 14,71 habitantes/km² (IBGE, 2020). O clima de Iguape é classificado como Af, de acordo com Köppen, indicando um clima tropical sem estação seca, com precipitação média anual superior a 1.600mm (GALVANI et al., 2023).

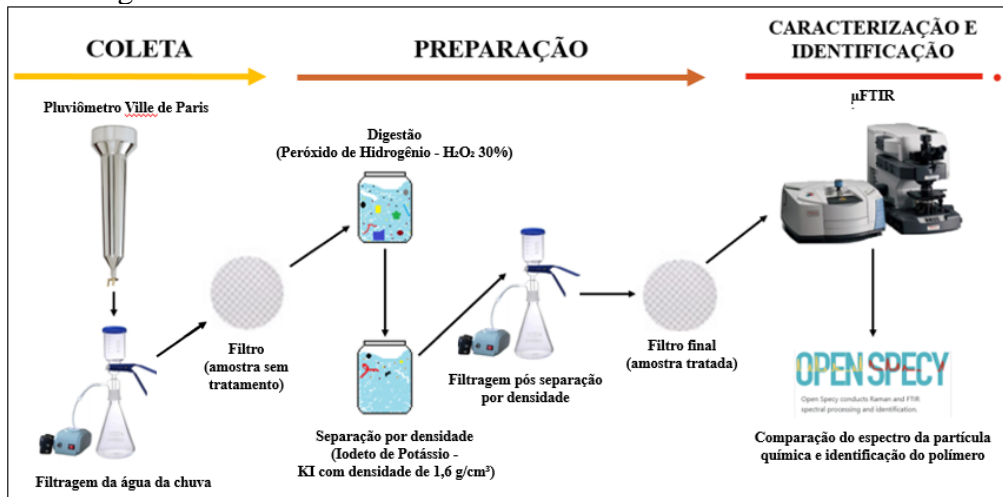
A coleta do material utilizado nesta pesquisa ocorreu em dois pontos de monitoramento na porção leste do estado de São Paulo. O ponto representativo ao meio urbano, está localizado no interior da Universidade de São Paulo (USP), campus Butantã. O segundo ponto refere-se ao meio não-urbano, localizando-se no litoral Sul de São Paulo, no município de Iguape. A localização dos dois pontos de coleta está apresentada na Figura 01.

Figura 01 – Mapa de localização dos pontos de monitoramento em São Paulo/SP e Iguape/SP.



As amostras examinadas nesta pesquisa correspondem à precipitação pluviométrica registrada no intervalo de 15 a 30 de agosto de 2022. A coleta foi conduzida por meio de um pluviômetro modelo Ville de Paris ao final da quinzena e o tratamento das amostras foi realizado conforme o fluxograma disposto na Figura 02.

Figura 02 – Fluxograma de etapas de preparação e caracterização e identificação das amostras de água da chuva.



A análise da circulação atmosférica durante o período em questão foi conduzida a partir da observação dos tipos climáticos predominantes na região de estudo e da modelagem da trajetória retroativa dos fluxos atmosféricos. A fim de compreender a trajetória percorrida por tais massas de ar, empregou-se o HYSPLIT⁴, um sistema que utiliza o conceito de trajetória reversa para determinar a origem das massas de ar e estabelecer correlações entre suas fontes e áreas receptoras, permitindo simular o transporte, dispersão e deposição de poluentes na atmosfera. Os tipos climáticos diários foram identificados utilizando o Spatial Synoptic Classification (SSC), versão 3.0, o qual se fundamenta em dados meteorológicos observados na superfície para classificar os diferentes padrões climáticos diários possibilitando a identificação da massa de ar atuante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

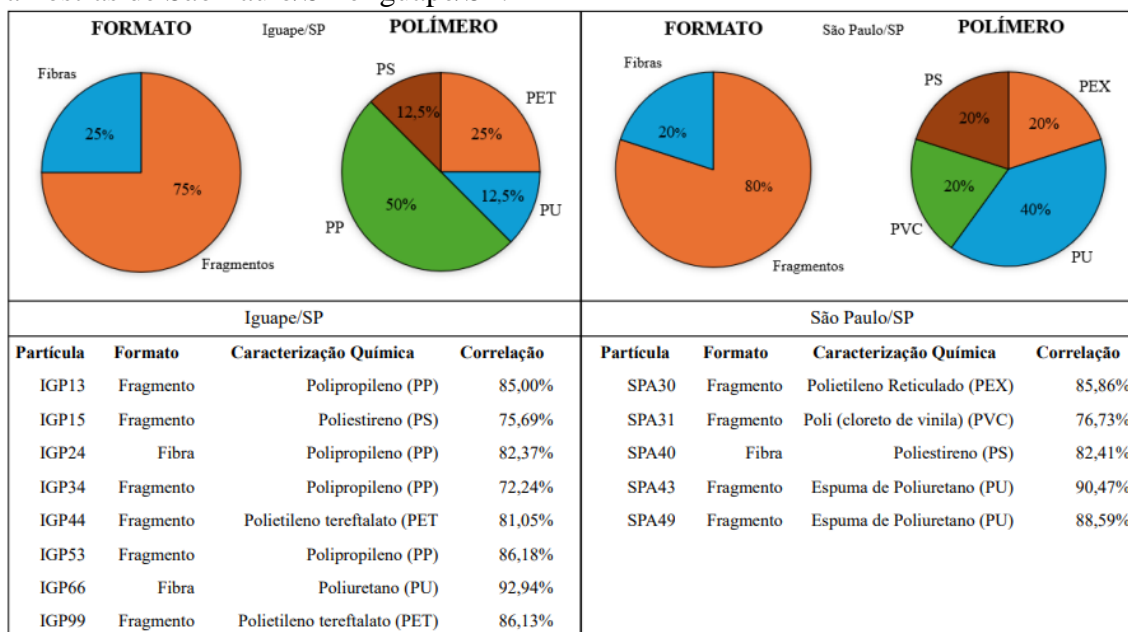
Na amostra coletada em São Paulo/SP, foram encontradas 61 partículas, enquanto em Iguape/SP, foram identificadas 96 partículas. Essa diferença entre o número de partículas encontradas no meio urbano e no meio não-urbano contrasta com resultados de estudos anteriores realizados em ambientes urbanos e suburbanos, os quais geralmente indicam uma maior concentração de partículas poluentes na atmosfera de áreas urbanas em comparação a áreas não urbanas. Allen et al., (2019) destacam que a deposição em locais remotos e urbanos depende muito da morfologia das partículas e das condições ambientais locais. Na amostra de São Paulo, 49,1 % das partículas eram fragmentos, 40,9% eram fibras e 10% foram classificadas como filmes. Em Iguape, 61% das partículas foram classificadas como fragmentos, 26,5% como fibras e 12,5% como filmes.

Em relação às partículas contabilizadas em São Paulo/SP e Iguape/SP, 8,1% e 8,3%, respectivamente, foram identificadas como polímeros sintéticos. Nas amostras foram encontrados seis tipos distintos de polímeros: polietileno (PET), polietileno reticulado (PEX), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliuretano (PU) e cloreto de polivinila (PVC). Observou-se que, em ambos os locais de monitoramento, havia mais

⁴ HYSPLIT é um produto do Air Resources Laboratory do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e está disponível em www.arl.noaa.gov/hysplit/.

fragmentos identificados como polímeros sintéticos do que fibras, conforme ilustrado a Figura 03. Nenhuma partícula classificada como filme foi identificada como polímero.

Figura 03 – Caracterização e identificação dos polímeros sintéticos encontrados nas amostras de São Paulo/SP e Iguape/SP.

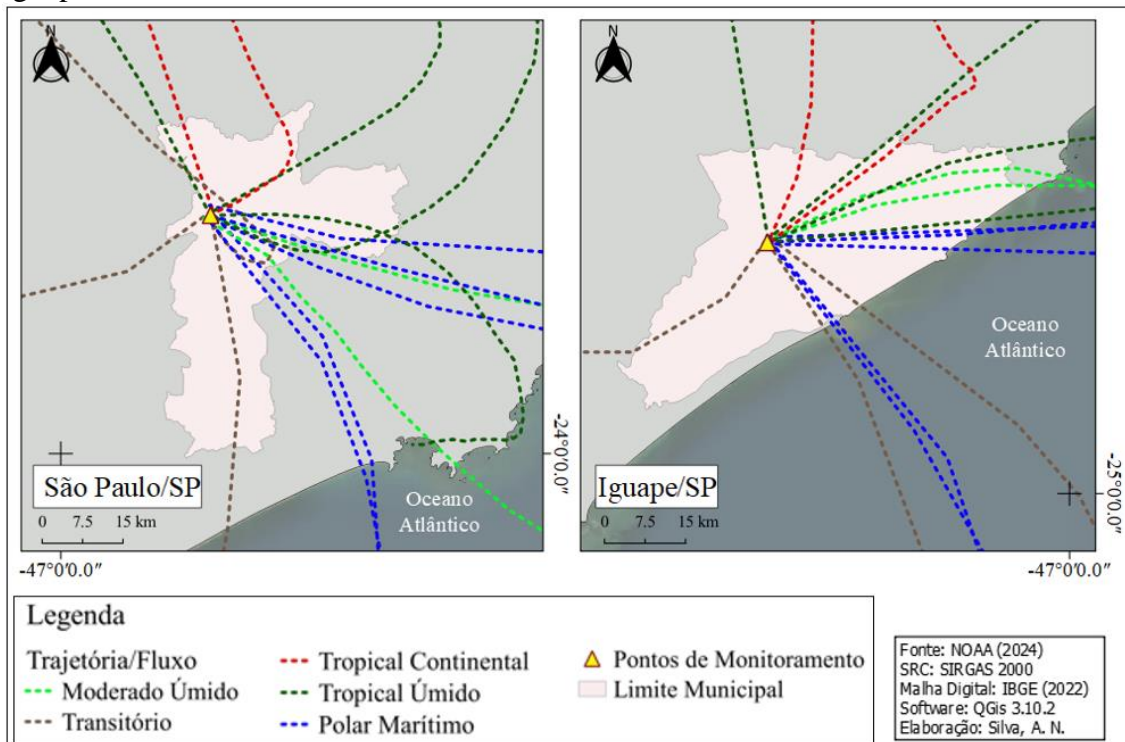


O polietireno (PET) é empregado em embalagens de alimentos e bebidas. O polietileno reticulado (PEX) é predominantemente utilizado na fabricação de tubos para sistemas hidráulicos e de aquecimento por causa de sua flexibilidade e resistência à corrosão. O polipropileno (PP) encontra uso em embalagens flexíveis e utensílios doméstico. O poliestireno (PS) é comumente utilizado em copos descartáveis, bandejas e produtos isolantes térmicos por conta de seu custo acessível. O poliuretano (PU) é empregado em espumas, selantes e revestimentos. Por último, o cloreto de polivinila (PVC) é empregado em tubulações, perfis, revestimentos e produtos médicos devido à sua durabilidade e versatilidade.

Durante o período de 15 a 30 de agosto, foi coletado um volume total de 13,3 mm de chuva em São Paulo/SP e 34,3 mm em Iguape. A Estação Meteorológica Automática do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CEGESP), no bairro Butantã, em São Paulo, e a Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em Iguape registraram valores aproximados ao encontrados nesta pesquisa, de 5,6mm e 34,3 mm, respectivamente. São Paulo registrou chuva em 5 dos 15 dias analisados, enquanto em Iguape houve

registro de precipitação em 8 dias no mesmo período. A Figura 04 apresenta uma visualização dinâmica da circulação atmosférica regional diária do período estudado.

Figura 04 – Modelagem da trajetória retroativa das massas de ar em São Paulo/SP e Iguape/SP.



As massas de ar que influenciam a porção leste do estado de São Paulo durante o período da pesquisa apresentam diferentes origens e características. A modelagem da trajetória retroativa mostra que o número de dias de domínio de massas de ar marítima é superior ao número de dias com domínio da massa continental. Os fluxos descritos como polar marítimo, bem como o moderado úmido e tropical úmido são resultantes do domínio da massa de ar polar e da massa tropical marítima. Os fluxos continentais são relativos ao predomínio da massa tropical continental ou de fluxos transicionais os quais ocorrem na troca de massas de ar com temperaturas opostas, como da tropical continental ou tropical úmido para a polar marítima.

Os dias com registro de precipitação em São Paulo/SP e Iguape/SP foram predominantemente influenciados por massas de ar marítimas (dias 17, 21, 22, 23, 24 e 30) ou pela passagem de sistema frontal (dias 19 e 29). Somente um registro de chuva foi realizado em situação pré-frontal (dia 28).

De forma geral, Novais e Galvani (2022) explicam que em São Paulo, no mês de agosto, durante o período invernal, a maior predominância atmosférica é da massa de ar polar, após a passagem da frente fria. Ainda, a influência da massa tropical marítima no inverno inibe a entrada de frentes causando inversão térmica, o que pode aumentar a concentração de poluentes nas camadas mais próximas da superfície.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo observou-se a presença de microplásticos na água da chuva em São Paulo/SP e Iguape/SP. Os resultados indicaram que a deposição de microplásticos em áreas não urbanas foi superior à observada em áreas urbanas, apresentando uma relação direta com o volume de chuva. As trajetórias encontradas neste estudo mostram como ocorrem, em escala regional, a dispersão horizontal dessas partículas a longa distância. Ainda indicam o fluxo atmosférico das massas de ar marítimas como predominantes na região.

Os resultados deste estudo evidenciam a necessidade de ampliar as pesquisas sobre a poluição por microplásticos, em particular no que diz respeito ao transporte atmosférico deste material. As próximas etapas desta pesquisa terão foco em aumentar o período temporal analisado, considerando também outros fatores passíveis de influenciar a relação entre trajetórias e fluxos atmosféricos e a dispersão de material polimérico na atmosfera como as fontes locais e a topografia.

Palavras-chave: Microplásticos; atmosfera; transporte atmosférico; chuva; São Paulo.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em 28 jul. 2023.

AMATO-LOURENÇO, et al. Atmospheric microplastic fallout in outdoor and indoor environments in São Paulo megacity. **Sci Total Environ.** 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153450>. Acesso em 08 jun. 2024.

ALLEN, S. et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. **Nat. Geosci.** 12, 339–344 (2019). Disponível em <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>. Acesso em 15 jun. 2024.

BRAHNEY, J. Plastic rain in protected areas of the United States. **Science.** 368, 1257–1260 (2020). Disponível em [10.1126/science.aaz5819](https://doi.org/10.1126/science.aaz5819). Acesso em 19 jun. 2024.

CODRINGTON J. Detection of microplastics in the human penis. **Int J Impot Res.** 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1038/s41443-024-00930-6>. Acesso em 19 jun. 2024.

DING, Y. et al. Distribution pattern and influencing factors for the microplastics in continental shelf, slope, and deep-sea surface sediments from the South China Sea. **Environ. Pollut.** 309, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122010387>. Acesso em 09 jun. 2024.

GEYER, R. et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Sci. Adv.** 3 (7), 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>. Acesso em 09 jun. 2024.

HEO, N. W. et al. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea. **Ocean Science Journal.** 48 (2), 255-233, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12601-013-0019-9>. Acesso em 09 jun. 2024.

LI H. et al. Detection of microplastic in domestic and fetal pigs' lung tissue I natural environment. A preliminary study. **Environ Res.** 2023. Disponível em [10.1016/j.envres.2022.114623](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114623). Acesso em 09 jun. 2024.

NOVAIS, G T.; GALVANI, E. Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 42, p. e184630, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/184630>. Acesso em 19 jun. 2024.

WANG, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. **21**, 3055–3062 (2023). Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>. Acesso em 19 jun. 2024.