



Poluição do ar interno e externo devido a partículas de fuligem (*black carbon*) em um campus universitário

Indoor and outdoor air pollution due to black carbon particles on a university campus

Vinicius Hirth Bastos¹, Admir Créso de Lima Targino², Patricia Krecl Abad³

RESUMO

A poluição do ar é um dos assuntos mais relevantes da atualidade. O material particulado (MP) é um dos principais poluentes atmosféricos, o qual está associado com problemas respiratórios, cardiovasculares e de sistemas neuropsiquiátricos. Um de seus componentes é a fuligem (*black carbon*, BC), resultado da queima incompleta de compostos que contenham carbono. O presente estudo quantificou as concentrações de BC no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Londrina (UTFPR-LD). Foram realizadas coletas em ambientes internos (fixas) e externos (móveis) do campus durante dias selecionados no período abril-maio de 2023. Os dias mais poluídos foram 09/05 (coleta fixa) e 12/05 (coleta móvel), com concentrações médias de BC de 2,02 e 5,70 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, sendo similares ou maiores que os encontrados em trabalhos prévios. Além disso, a análise da distribuição espacial revelou que o acesso aos estacionamentos foi a área mais poluída do campus.

PALAVRAS-CHAVE: *black carbon*; campus universitário; poluição do ar; qualidade do ar.

ABSTRACT

Air pollution remains one of the most pressing concerns of our time. Particulate matter (PM) stands out as a significant air pollutant, linked to various health issues affecting the respiratory, cardiovascular, and neuropsychiatric systems. One of its constituents is black carbon (BC), which results from the incomplete combustion of carbon-containing compounds. The aim of this study was to quantify BC concentrations on a university campus. Sampling was conducted both indoors (fixed) and outdoors (mobile) on selected days between April and May 2023. The highest BC concentrations were recorded on 05/09 (fixed sampling) and 05/12 (mobile sampling), with mean BC concentrations of 2.02 and 5.70 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectively. Furthermore, spatial distribution analysis identified the parking lots as the most polluted area.

KEYWORDS: black carbon; university campus; air pollution; air quality.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar causa efeitos deletérios a seres vivos e ao ambiente, podendo ser avaliada através da quantificação de uma série de poluentes. Dentre eles, o material particulado (MP) é um poluente relacionado a problemas respiratórios, cardiovasculares e de sistemas neuropsiquiátricos (SHEN et al., 2021).

Um dos componentes do MP fino é o *black carbon* (BC), produto da queima incompleta de compostos que contenham carbono (BECERRIL-VALLE et al., 2017). O tamanho nanométrico das partículas de BC permite a penetração no sistema respiratório, causando ou exacerbando diversos problemas de saúde.

¹Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, Brasil. E-mail: viniciushirth@alunos.utfpr.br. ID Lattes: 6884170569597511.

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, Brasil. E-mail: admirtargino@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7083070072533814.

³ Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, Brasil. E-mail: patriciak@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7010587657666224.



O trânsito veicular, a queima de resíduos sólidos urbanos e emissões industriais se destacam como fontes de BC em ambientes externos (RECHE et al., 2015). Aquecer o ambiente e cozinhar com queima de biomassa são as principais fontes em ambientes internos, além da infiltração de ar externo (AQUILINA; CAMILLERI, 2022).

Estudos realizados em diferentes partes do mundo revelam a presença de BC em instituições de ensino. Em um campus universitário na cidade de Cheonan-si (Coreia do Sul), foram encontradas concentrações de BC que, devido ao transporte das emissões de trânsito e indústrias pelo vento, se comparavam a áreas de subúrbio (LEE, 2018). Na China, foram encontradas relações entre a exposição a longo prazo de BC e a qualidade do sono em universitários (ZHANG et al., 2022).

Este trabalho objetiva quantificar as concentrações de BC no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Londrina (UTFPR-LD). Os dados obtidos nas coletas fixas (em ambientes internos) e móveis (em ambientes externos) foram utilizados para avaliar as concentrações de BC nas áreas do campus. A motivação deste estudo vem de evidências anteriores que indicam que o campus está localizado numa área afetada por eventos de queima de resíduos sólidos urbanos, além de trânsito veicular (TARGINO; KRECL, 2016).

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Londrina (PR) tem uma população de 555 mil habitantes (IBGE, 2023). A temperatura média anual é de 21,6 °C, precipitação média anual é de 1583 mm e o clima da região é temperado; úmido durante o ano com verões quentes.

O campus da UTFPR-LD tem uma população de 2690 alunos, e está localizado na zona leste da cidade, a 8 km do centro. A maior fonte de poluição é oriunda de veículos que circulam pela Avenida dos Pioneiros, que dá acesso à entrada principal do campus. Durante o período mais seco do ano, queimas de resíduos sólidos são frequentemente reportadas nos arredores do campus (TARGINO; KRECL, 2016).

INSTRUMENTOS UTILIZADOS

As concentrações de BC foram medidas em tempo real utilizando um microaetalômetro, modelo AE51 (AethLabs, EUA). O princípio de funcionamento do AE51 está baseado na atenuação de um feixe de radiação devido à interação com partículas de BC. O AE51 suga o ar carregado de partículas através de um tubo com uma vazão volumétrica constante (Q) (entre 25 e 200 ml min⁻¹). As partículas se acumulam em um filtro dentro do equipamento, formando uma mancha de área A. A mancha é iluminada por um feixe de radiação (I_0), que é atenuado pelas partículas depositadas no filtro. A atenuação (ATN) do feixe de radiação incidente é calculada através da equação:

$$ATN = 100 * \ln\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (1)$$

em que I é a intensidade da radiação detectada depois de atravessar o filtro.

O coeficiente de absorção do aerossol (b_{abs}) é calculado através da seguinte relação:

$$b_{abs} = \frac{A * \Delta ATN}{Q * \Delta t} [m^{-1}], \quad (2)$$

em que ΔATN é a variação de ATN entre em um intervalo de tempo amostral Δt .



A concentração em massa de BC é calculada assumindo uma relação linear entre b_{abs} e a seção transversal de absorção do aerossol ($\sigma_\lambda [m^2 g^{-1}]$), e que nenhum outro material absorvente esteja presente na mostra:

$$BC(\lambda) = \frac{b_{abs}}{\sigma_\lambda} [\mu g m^{-3}] \quad (3)$$

O georreferenciamento dos dados móveis foi feito com um receptor de GPS (DG-100, GlobalSat, Taiwan), que mede latitude, longitude, altitude e velocidade. A frequência de amostragem do GPS foi de 1 s.

COLETA DE DADOS

As coletas fixas foram realizadas na sala A102 do bloco A da UTFPR-LD, nas terças-feiras entre 10:20 e 12:00, no período de 25/04 a 23/05/2023. O AE51 foi posicionado dentro de uma mochila com seu tubo saindo pelo zíper apontando para cima. Utilizou-se $Q=100 \text{ ml min}^{-1}$ e frequência de aquisição de 30 s.

As coletas móveis iniciaram sempre às 10:20 nas sextas-feiras, entre 28/04 e 26/05/2023. Utilizou-se $Q=150 \text{ ml min}^{-1}$ e frequência de aquisição de 10 s. O AE51 foi colocado dentro de uma mochila com seu tubo saindo pelo zíper apontando para cima, e o receptor de GPS foi preso em um compartimento externo da mochila.

A repetida utilização do equipamento pode desajustar a vazão volumétrica programada. Além disso, a mancha sobre a área A escurece e I diminui à medida que as partículas se depositam no filtro, o que aumenta a ATN . Por tanto, a vazão do AE51 foi calibrada antes da realização de cada coleta, e um filtro novo foi exposto cada vez para evitar que ATN atingisse 100%, evitando assim a saturação do filtro.

Informações meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento) foram obtidas para o Aeroporto de Londrina todos os dias de coleta a partir das mensagens METAR disponibilizadas no sítio da *Iowa State University* (<https://mesonet.agron.iastate.edu/>).

PROCESSAMENTO DOS DADOS

A linguagem de programação científica MATLAB, da MathWorks, foi utilizada para processar e organizar os dados. Um código foi criado para ler os dados de BC e realizar os diagramas de caixa por dia de coleta. Para cada rota percorrida, utilizou-se um código que escaneia os arquivos de dados de GPS e AE51 e identifica os horários coincidentes entre os arquivos, assegurando-se que todas as medidas de BC tinham dados de localização geográfica, criando matrizes de dados georreferenciados.

A espacialização dos dados das coletas móveis foi realizada com o sistema de informação geográfica QGIS, desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation*. O percurso foi dividido em segmentos de 20 m de comprimento, e todos os dados coletados foram inseridos em cada segmento para calcular estatísticas descritivas agrupadas.

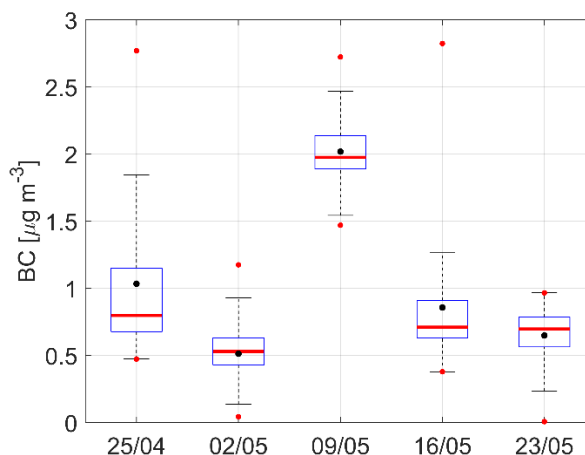
RESULTADOS E DISCUSSÕES

COLETAS FIXAS



As médias de temperatura, umidade e velocidade do vento durante as coletas fixas foram de 18,5 °C, 80,4% e 0,8 m s⁻¹, respectivamente, e não ocorreu precipitação em nenhum dia. Todos os dias de coleta a porta da sala permaneceu aberta, facilitando a entrada de poluentes atmosféricos externos.

Figura 1 – Resumo estatístico das concentrações de BC nas coletas fixas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O dia 09/05 foi o mais poluído, com média de 2,02 µg m⁻³ (Figura 1). As caixas indicam os percentis 25 e 75, os bigodes os percentis 5 e 95, as linhas vermelhas a mediana, os pontos vermelhos indicam os mínimos e máximos, e os pontos pretos as médias. Embora não foram observadas queimadas neste dia, houve reformas no bloco A durante a coleta. Sugere-se que a reforma tenha ressuspensionado partículas de BC já presentes no local, possivelmente derivadas de queimadas ocorridas em outras ocasiões, como no dia 25/04.

O valor médio de BC no dia 09/05 é comparável aos observados em ambientes próximos a vias de trânsito. Por exemplo, KRECL et al. (2018) relataram uma concentração média de 2,55 µg m⁻³ em uma rua altamente transitada no centro de Londrina.

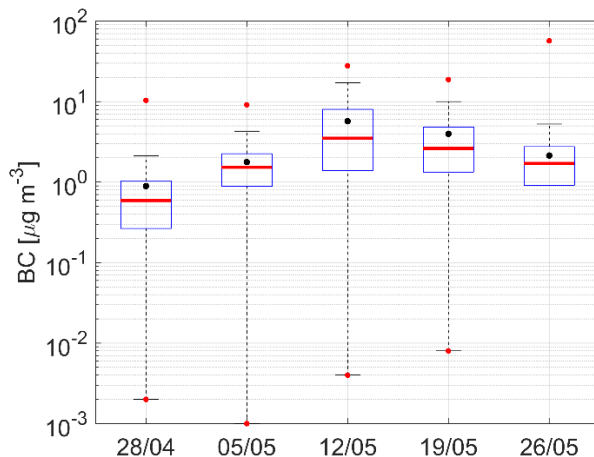
COLETAS MÓVEIS

As médias de temperatura, umidade e velocidade do vento durante as coletas móveis foram de 20,7 °C, 76,1% e 0,7 m s⁻¹, respectivamente, e não houve chuva em nenhum dia. A Figura 2 apresenta o resumo estatístico das concentrações de BC das coletas móveis, onde as caixas indicam os percentis 25 e 75, os bigodes os percentis 5 e 95, as linhas vermelhas a mediana, os pontos vermelhos indicam os mínimos e máximos, e os pontos pretos as médias. O dia 12/05 foi o mais poluído, com média de 5,70 µg m⁻³, sendo relacionado com o fato de ter sido o mais seco (umidade relativa de 68%) e com ventos calmos (média de 3,0 m s⁻¹). Além disso, as reformas descritas anteriormente estiveram em execução.

O estudo de LEE (2018) revelou concentrações de BC de até 4,45 µg m⁻³ em um campus universitário na cidade de Cheonan-si, sendo menores que as encontradas no presente trabalho.



Figura 2 – Resumo estatístico das concentrações de BC nas coletas móveis.

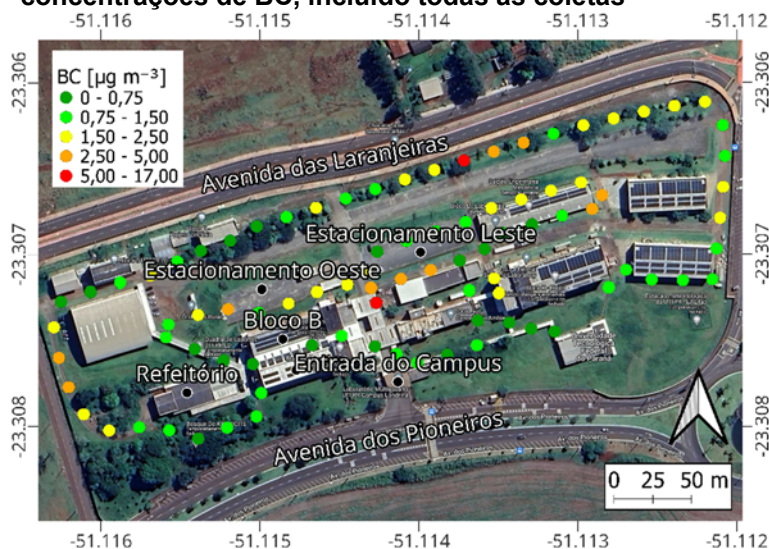


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE BC

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial mediana ao longo do trajeto percorrido. O lado norte do campus e um segmento central registraram valores medianos majoritariamente entre 1,50 e 5,00 $\mu\text{g m}^{-3}$. O setor norte está adjacente ao estacionamento e à Avenida das Laranjeiras, sendo afetado diretamente pelas emissões de tráfego veicular. Ocasionais queimadas urbanas em áreas fora do campus, mas próximas ao refeitório foram observadas, e dependendo das condições meteorológicas poderiam ter afetado a qualidade do ar dentro do campus. As maiores concentrações foram observadas no centro do campus, após no portão da entrada principal, que dá acesso aos estacionamentos.

Figura 3 – Distribuição espacial das medianas das concentrações de BC, incluído todas as coletas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)



CONCLUSÃO

A análise das medições de BC no campus universitário revelou uma notável variabilidade ao longo dos dias, com valores semelhantes ou maiores àqueles encontrados em regiões urbanas centrais, indicando que as atividades locais podem ter um impacto significativo sobre as concentrações de BC. Portanto, a gestão eficaz dos resíduos sólidos e a conscientização sobre as implicações da queima de biomassa tornam-se aspectos cruciais para reduzir as concentrações de BC no campus universitário.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, e ao Eng. Ambiental Gabriel Oukawa pela ajuda com os programas computacionais para processamento de dados.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

AQUILINA, N. J.; CAMILLERI, S. F. Impact of daily household activities on indoor PM_{2.5} and black carbon concentrations in Malta. **Building and Environment**, v. 207, 2022.

BECERRIL-VALLE, M.; COZ, E.; PRÉVÔT, A. S. H.; et al. Characterization of atmospheric black carbon and co-pollutants in urban and rural areas of Spain. **Atmospheric Environment**, v. 169, p. 36–53, 2017.

IBGE | Cidades@ | Paraná | Londrina | Panorama. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>>. Acesso em: 23/10/2023.

KRECL, P.; TARGINO, A. C.; LANDI, T. P.; KETZEL, M. Determination of black carbon, PM_{2.5}, particle number and NO_x emission factors from roadside measurements and their implications for emission inventory development. **Atmospheric Environment**, v. 186, p. 229–240, 2018.

LEE, J. Black Carbon Measurement using a Drone. **Journal of Korean Society for Atmospheric Environment**, v. 34, n. 3, p. 486–492, 2018.

RECHE, C.; RIVAS, I.; PANDOLFI, M.; et al. Real-time indoor and outdoor measurements of black carbon at primary schools. **Atmospheric Environment**, v. 120, p. 417–426, 2015.

SHEN, M.; GU, X.; LI, S.; et al. Exposure to black carbon is associated with symptoms of depression: A retrospective cohort study in college students. **Environment International**, v. 157, 2021.

TARGINO, A. C.; KRECL, P. Local and regional contributions to black carbon aerosols in a mid-sized city in southern Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 16, n. 1, p. 125–137, 2016.

ZHANG, C.; ZHANG, B.; LING, Z.; et al. Long-term exposure to ambient black carbon is associated with sleep disturbance in college students. **Science of the Total Environment**, v. 838, 2022.