

ESTUDO DAS CONCENTRAÇÕES DE MATERIAL PARTICULADO E BIOAROSSÓIS EM AMBIENTE COM FORNO À LENHA

Janaina Casado Rodrigues da Silva⁽¹⁾;

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Londrina/Paraná). Doutoranda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina.

Kátia Valéria Marques Cardoso Prates⁽²⁾;

Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Londrina - Paraná.

Maria Elisa Magri⁽¹⁾;

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora na Universidade Federal de Santa Catarina.

Leila Droprinchinski Martins⁽²⁾.

Química pela Universidade Estadual de Londrina e doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo. Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Londrina - Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, R. Delfino Conti, s/n - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900

Endereço⁽²⁾: Av. dos Pioneiros, 3131 - Jardim Morumbi, Londrina - PR, 86036-370

RESUMO

A queima de biomassa em estabelecimentos comerciais que utilizam forno à lenha como principal combustível para a cocção de alimentos, se constitui como importante fonte de poluição do ar, sobretudo de material particulado (MP), sendo ainda pouco estudada no Brasil. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar a concentração de material particulado em massa, *Black Carbon* (BC) e a determinação de bioaerossóis (fungos) em ambiente interno de uma padaria que utiliza forno à lenha para a cocção de alimentos. Foi utilizado para a medida do MP o equipamento *Met One 831* ao fluxo de $2,83 \text{ L min}^{-1}$ e para a medida de BC o equipamento utilizado foi o *microAeth® MA200*. Os fungos foram coletados pelo Impactador SKC biostage. A coleta de MP e BC foi realizada no ambiente do forno, durante todo o período de funcionamento dele. O ambiente com forno à lenha apresentou valores de $\text{MP}_{2,5}$ variando $8,0$ a $102,9 \mu\text{g m}^{-3}$, já para o material particulado respirável (MP_{10}) no ambiente com o forno à lenha as concentrações variaram $8,9$ a $852,3 \mu\text{g m}^{-3}$. A padaria apresentou um valor médio de fungos no ambiente de 880 UFC m^{-3} .

PALAVRAS-CHAVE: Black carbono, Pizzarias, Aerossóis.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar em áreas urbanas é influenciada por diversas fontes, como veículos rodoviários e atividades industriais, além de inúmeras fontes não regulamentadas, como postos de gasolina, restaurantes e padarias (KUMAR et al., 2016).

A queima de biomassa em fornos à lenha pode ser uma importante fonte de material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$) e do *Black Carbon* (BC), que é um constituinte relevante do $\text{MP}_{2,5}$. O $\text{MP}_{2,5}$ representa um dos poluentes mais agressivos à saúde humana, além de seu potencial de interferir no equilíbrio radiativo global (LIMA et al., 2020).



Dentre os componentes biológicos, as bactérias e os fungos estão sempre presentes no material particulado em suspensão no ar, que tem como fonte importante o cozimento e manipulação de alimentos em ambientes internos (LUO et al., 2021).

Assim, a combustão incompleta da biomassa em aparelhos operados de modo descontínuo, é uma fonte de geração de poluentes atmosféricos, principalmente de material particulado. As fases da combustão que ocorrem durante o processo de cozimento influenciam nas características das partículas emitidas encontradas no ar ambiente e as pessoas, funcionários e clientes, próximos a essa fonte estão expostos diretamente a essa emissão (TANER; PEKEY; PEKEY, 2013a). Dados epidemiológicos sugerem que a fumaça da queima da biomassa contribui para pelo menos 40.000 mortes prematuras por ano na Europa, além de afetar negativamente a saúde respiratória e cardiovascular das pessoas (TOMLIN, 2021).

Portanto, a análise e caracterização de MP, BC e bioaerossóis (fungos) presentes no ar dos ambientes comerciais com forno à lenha se mostram necessárias para o desenvolvimento de estudos de qualidade do ar em um contexto multidisciplinar. Também permite o planejamento de ações de controle e minimização de poluição do ar nesses ambientes, principalmente nas pizzarias, que são os principais estabelecimentos de serviços de alimentação que utilizam fornos à lenha para a cocção de alimentos no Brasil.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar a concentração de material particulado em massa, BC e bioaerossóis (fungos) em ambiente interno de padarias com forno à lenha.

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem dos poluentes e de fungo foi realizada em uma padaria localizada na cidade de Rolândia – PR. O estabelecimento realiza a atividade da cocção dos alimentos em forno à lenha. A amostragem dos poluentes estudados (MP e BC) foi realizada durante todo o período de funcionamento do forno (5h até as 14h), no ano de 2022. As medidas de concentração de MP e BC foram realizadas no ambiente interno próximo ao forno (no interior da cozinha, próximo ao preparo dos alimentos). O ambiente era equipado com exaustor e ventiladores, que estiveram ligados durante boa parte do funcionamento do forno. A cozinha era um local fechado sem janelas e apenas uma porta para acesso a área dos clientes.

A medida de BC foi realizada com o equipamento microAeth® MA200 (AethaLabs, USA), que é um monitor de BC com 5 comprimentos de onda (880 nm, 625 nm, 528 nm, 470 nm, 375 nm) (Figura 1). A medição é realizada em tempo real com um sistema de fita de quartzo de filtro de forma automática, permitindo medições contínuas com registro temporal de 1 minuto. A medição do espectro nos vários comprimentos de onda fornece uma visão sobre a origem das partículas de carbono que absorvem a luz e ajuda a distinguir entre as diferentes assinaturas óticas de várias fontes de combustão, como diesel, fumaça de lenha, biomassa e tabaco, todas fontes de BC.



Figura 1 - Medidor MicroAeth MA200 para monitoramento de BC

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a medida de MP foi utilizado um monitor de massa de aerossol, modelo Aerocet 831 da marca Met One (Figura 2). O equipamento utiliza um algoritmo para converter os dados de contagem em medição de massa ($\mu\text{g. m}^{-3}$) calculando o volume para cada partícula amostrada, assim atribuindo uma densidade padrão para sua conversão (Squizzato, 2017). O monitor de massa quantifica simultaneamente as concentrações de MP de interesse.



Figura 2 - Equipamento utilizado na amostragem de MP, Met One 831.
Fonte: Autoria própria (2022).

Os equipamentos utilizados foram colocados em uma mochila com os *inlets* para a fora da mochila, fixados próximos a entrada do forno e no ambiente próximos aos clientes, a altura aproximada de 1,20 m do chão. A mochila foi equipada com os seguintes equipamentos: medidor de temperatura e umidade (Figura 3), monitor de concentração de massa e o medidor de BC.



Figura 3 – Sensor de temperatura e umidade relativa, Onset HOB0 UX100-023.
Fonte: Autoria própria (2022).

A amostragem dos fungos foi realizada de modo ativo, utilizando um impactador SKC biostage (Figura 4) por meio do processo de impactação, ou seja, os microrganismos impactam o meio de cultura contido na placa de Petri (90 x 15 mm) colocada no interior do equipamento. O meio de cultura utilizado foi o *Sabouraud* (SAB).

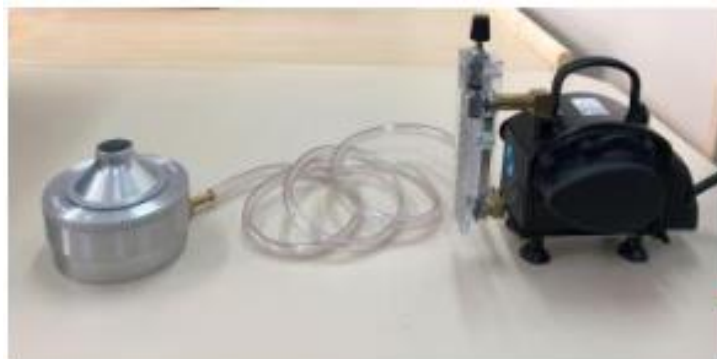


Figura 4 – Impactador SKC biostage em no local de estudo.
Fonte: Autoria própria (2022).

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Na Tabela 1 são apresentados os valores de BC. Os valores de UV são referentes ao comprimento de onda de 375 nm, podendo ser interpretado como o material particulado ultravioleta (maior absorção da luz ultravioleta) e indicativa de fontes orgânicas como fumaça de madeira, tabaco e queima de biomassa. O IR é referente ao comprimento de onda de 880 nm e interpretado como a concentração clássica de BC oriundos de diversas fontes. A razão IR/UV indica preliminarmente a assinatura dessa fonte para a emissão de BC total em relação ao de biomassa (queima de lenha – eucalipto).

Tabela 1 - Estatística descritiva para os valores de BC no ambiente próximo ao forno à lenha.

	UV	IR	IR/UV
<i>Média</i>	1,67	2,82	0,84
<i>Mediana</i>	0,65	1,57	1,21
<i>Mínimo</i>	0,05	0,006	0,06
<i>Máximo</i>	69,26	73,01	0,53

Na Figura 5 são apresentados os valores de BC medidos durante a amostragem.

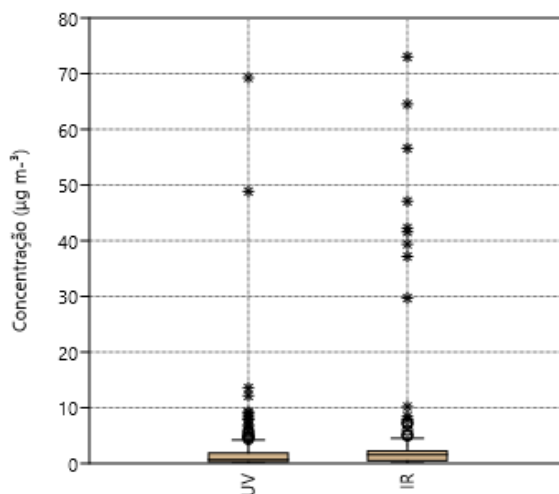


Figura 5 – Boxplot dos valores de BC medidos no ambiente próximo ao forno na padaria

Tabela 2 - Estatística descritiva para os valores de concentração do MP no ambiente próximo ao forno à lenha

	<i>MP_{2,5}</i>	<i>MP₁₀</i>
Média	20,6	70,2
Mediana	16,6	37,7
Mínimo	8,0	8,9
Máximo	102,9	852,3

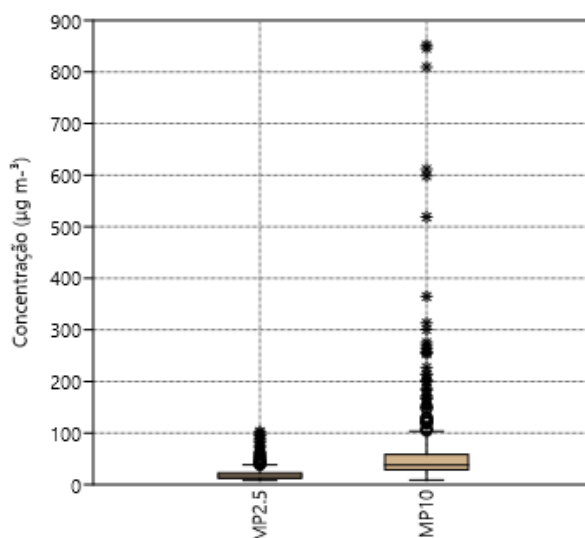


Figura 6 – Boxplot dos valores de MP medidos no ambiente próximo ao forno na padaria



ANÁLISE DOS RESULTADOS



No Brasil a Resolução CONAMA n° 491/ 2018 estabelece os padrões de qualidade do ar para o MP₁₀ de 100 µg/m³ (24 h) e o MP_{2,5} de 50 µg/m³ (24 h). A partir da análise dos valores obtidos na amostragem de MP apresentadas na Tabela 2 pode-se concluir que estes valores se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução.

Pela análise da Figura 6 nota-se que o MP₁₀ apresentou alguns *outliers* com valores muito altos, podendo indicar que apesar do exaustor, o forno e as atividades na cozinha influenciaram no aumento das concentrações do material particulado grosso no ambiente.

Bandowe *et al.*, (2021) demonstraram em seu estudo que a inalação de MP_{2,5} emitido na cocção de alimentos pode resultar em efeitos adversos à saúde humana. A exposição ao MP no ar é um dos riscos ambientais mais importantes, assim é relevante dar uma atenção especial aos ambientes internos, dado que as pessoas passam a maior parte do tempo dentro desses ambientes (Vicente *et al.*, 2020).

A temperatura no ambiente foi de 22,0°C a 34,0°C, enquanto a umidade relativa do ar oscilou de 49,0% a 69,4%. Na cozinha o aumento de temperatura foi de 12,0°C após o forno ser aceso. A norma ISO 9241 estipula que a temperatura deve ser mantida entre 20°C e 24°C no verão, com umidade relativa entre 40% e 80%.

A padaria apresentou um valor médio de fungos no ambiente de 880 UFC m⁻³, sendo que no Brasil, a Resolução n° 09, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), de 16 de janeiro de 2003, é utilizada como referência por ter estabelecido valores máximos recomendáveis (VMR), em ar de ambiente interno climatizado, para fungos totais (limite de 750 UFC m⁻³) (ANVISA, 2003).

No mundo, existem vários estudos de microambientes como restaurantes, indicando a presença de poluentes provenientes de fontes internas (Brauer *et al.*, 2001; Hussein *et al.*, 2006; Taner, Pekey e Pekey, 2013b). Além disso, as evidências dos efeitos adversos à saúde do MP apresentadas em pesquisas realizadas no mundo todo possuem resultados concordantes e robustos.

CONCLUSÕES

Durante a amostragem foram constatados picos nos valores de MP₁₀, indicando que a presença do exaustor não foi suficiente para reduzir esses de maneira eficaz. A temperatura do ambiente ficou acima do recomendado pela ISO 9241 ainda que o ambiente possuía exaustor e ventilador. Os fungos apresentaram uma concentração média maior que o previsto pela legislação.

Os níveis de partículas nos ambientes internos em países desenvolvidos são muito menores do que aqueles em países em desenvolvimento, principalmente devido ao avanço, em geral, da tecnologia para uso doméstico e ao uso de combustíveis mais limpos para cozinhar e aquecer (Abdullahi, Delgado-Saborit e Harrison, 2013).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Flocação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
2. BOND S. J., ZENDER, T. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. v. 118, n. 11, 2013.
3. BUONANNO, G. et al. Exposure to particlenumber, surface area and PM concentrations in pizzerias. p. 3963–3969, 2010.
4. CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2014. *Série Relatórios / CETESB*, p. 120, 2014.



5. IBGE, I. B. DE G. E. E. **Londrina**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>>. Acesso em: 4 ago. 2021.
6. JANSSEN, N. A. H. et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with pm10 and pm2.5. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 12, p. 1691–1699, 2011.
7. KUMAR, P. et al. New directions: From biofuels to wood stoves: The modern and ancient air quality challenges in the megacity of São Paulo. **Atmospheric Environment**, v. 140, p. 364–369, 2016.
8. LIMA, F. D. M. et al. Characterization of particles emitted by pizzerias burning wood and briquettes: a case study at Sao Paulo, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 29, p. 35875–35888, 2020.
9. LIU, X. et al. Mass concentration and health risk assessment of heavy metals in size-segregated airborne particulate matter in Changsha. **Science of the Total Environment**, v. 517, p. 215–221, 2015.
10. LONDRINA, P. DE. **Dados Geográficos**.
11. MARTIN, M. C. S.; MARTIN, M. C. S. CONDIÇÕES ATUAIS DAS EMISSÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DURANTE A QUARENTENA DA COVID-19 E AS PERSPECTIVAS FUTURAS. v. 2, p. 75–86, 2020.
12. MOREIRA, C. A. B. et al. Natural variability in exposure to fine particles and their trace elements during typical workdays in an urban area. **Transportation Research Part D**, v. 63, p. 333–346, 2018.
13. SANCHES, D. et al. Biodegradable CA/CPB electrospun nanofibers for efficient retention of airborne nanoparticles. 2020.
14. WIKUATS, C. F. H. Estudo da exposição de trabalhadores ao material particulado e bioaerossóis em cooperativa de processamento de materiais recicláveis. 2020.