

## **X-018 - POLUIÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS: CONCENTRAÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL PARTICULADO FINO EM PIZZARIAS NA CIDADE DE SÃO PAULO**

**Francisco Daniel Mota Lima<sup>(1)</sup>**

Gestor Ambiental e Licenciado em Biologia pela Universidade de São Paulo (USP) e Centro Universitário Claretiano, respectivamente. Mestre em Ciências pela Escola de Artes Ciências e Humanidades (USP). Doutorando em Ciências Atmosféricas (IAG-USP). Professor efetivo do Curso Superior em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Pará-Campus Bragança.

**Francisca Socorro Peixoto<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestra em Engenharia Agrícola pela (UFC). Professora efetiva do Curso Superior em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Pará-Campus Bragança.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua da Escola Agrícola, s/nº. Bairro: Vila Sinhá Bragança – PA. CEP: 68600-000 Tel: (11) 98512-1689- e-mail: Francisco.lima@ifpa.edu.br

### **RESUMO**

A qualidade do ar é um dos principais problemas ambientais da atualidade, sendo objeto de muitos estudos. Por outro lado, a qualidade do ar em ambientes internos ainda é pouco estudo, especialmente no Brasil. A queima da lenha em pizzarias constitui-se como potencial efeito na degradação da qualidade do ar em ambientes internos, principalmente pela emissão de material particulado fino MP<sub>2,5</sub>. O objetivo deste estudo foi quantificar e caracterizar a composição química do MP<sub>2,5</sub> proveniente da queima de biomassa no ambiente interno de três pizzarias na cidade de São Paulo. As amostras foram coletadas utilizando-se o amostrador Minivol. A análise do material foi realizada por meio de técnicas complementares: gravimetria (para a concentração em massa), refletância (para a concentração de *black carbon*) e fluorescência de raios-X (para a concentração elementar). Os resultados revelaram que os elementos químicos, potássio, cloro e enxofre foram os mais representativos em termos de concentração. Elementos prejudiciais à saúde como o cromo e zinco se mostraram demasiadamente elevadas. Quando comparado com o padrão de exposição *indoor* da Alemanha, as concentrações obtidas nas três pizzarias são superiores e, portanto violaram o padrão de qualidade do ar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição do ar, qualidade do ar, poluição *indoor*, material particulado, pizzaria.

### **INTRODUÇÃO**

Passamos parte considerável dos nossos dias em ambientes fechados, seja em casa, no trabalho ou nos momentos de lazer. Esses diferentes ambientes estão relacionados ao ar que respiramos, sendo a qualidade do ar um fator importante para a boa qualidade de vida. No entanto, a preocupação com a qualidade do ar em ambientes internos é recente no mundo e especialmente no Brasil. No mundo, o interesse em estudar o tema surgiu na década de 70, no Brasil nos anos 90. A justificativa decorre da descoberta de que baixas trocas de ar entre o ambiente interno e externo ocasionam um aumento considerável na concentração de poluentes, dentre eles o material particulado (MP). Autores como Seinfeld e Pandis (1998) definem material particulado como uma mistura de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar.

Ambientes internos são objetos de muitos estudos, em virtude do potencial impacto na saúde que esse tipo de poluição pode causar. Relatórios da Organização Mundial de Saúde (OMS), pesquisas nacionais e internacionais, destacam a importância do tema. Inicialmente os ambientes residenciais foram os principais alvos de estudos, principalmente as residências que utilizam fogão a lenha. A fumaça emitida na combustão da lenha emite gases tóxicos, compostos orgânicos voláteis (COVs) e material particulado, especialmente partículas finas (MP<sub>2,5</sub>), dentre elas, partículas de *black carbon* (BC). O *black carbon* é uma partícula de coloração escura e pequeno tamanho, emitidas nos processos de combustão, como por exemplo na queima da lenha.

No ambiente interno os poluentes estão relacionados principalmente ao surgimento de doenças respiratórias, cardiovasculares e em casos mais graves, câncer (SALDIVA et al., 2017). Além disso, novos estudos têm destacado a importância de estudar outros ambientes internos, como bibliotecas, escolas, restaurantes e pizzarias. Os dois últimos, motivados pela queima da lenha como importante fonte de poluição.

No Brasil não existem pesquisas para avaliar a qualidade do ar em ambientes internos. Estudos conduzidos pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) revelaram que a poluição do ar em ambientes internos pode ser de 2 a 5 e eventualmente 100 vezes superiores as concentrações obtidas no ambiente externo para determinados poluentes. Dada a preocupação com a exposição à poluição em ambientes internos, diversos países criaram agências para lidar com a questão (no Brasil ainda não existe) com especial destaque para *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), agência ambiental norte americana que lida exclusivamente com a qualidade do ar em ambientes de trabalho e seus efeitos na saúde do trabalhador (VALLERO, 2008).

De acordo com Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) na cidade de São Paulo existem mais de 8.000 pizzarias, destas, aproximadamente 80% utiliza a lenha como fonte de energia na cocção das mais de 1,5 milhões de pizzas comercializadas diariamente. Depois de Nova York, São Paulo é a cidade que mais comercializa pizza no mundo. Partindo dessa afirmação, pizzarias representam um local com potencial para altas concentrações de poluentes em ambientes internos e efeitos na saúde, sobretudo para aqueles que estão diretamente expostos, clientes e principalmente funcionários, já que permanecem no estabelecimento por longa jornada de trabalho, estando suscetíveis às emissões de dioxinas, gases, COVs e material particulado, provenientes da combustão da lenha (SALAM et al., 2012; TANER et al., 2013).

## OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo, quantificar as concentrações de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) no ambiente interno de três pizzarias na cidade de São Paulo. Como objetivo específico decorrente, avaliar a composição química do material particulado.

## METODOLOGIA

As etapas realizadas para atingir os objetivos propostos são apresentadas a seguir.

### Área de estudo

As amostragens foram realizadas em três pizzarias (P1, P2 e P3), durante três dias em cada pizzaria, das 17:30 às 01:00. As pizzarias estão localizadas na região central de São Paulo. A P1 está localizada no tradicional bairro do Bixiga. A P2 encontra-se no bairro da Liberdade, Rua do Glicério. P3 está situada na Avenida São João no bairro de Santa Cecília. Ambas estão localizadas em áreas urbanas, predomínio residencial, próximas do comércio, sem proximidades de indústrias e ausência de grandes manchas de vegetação no entorno. As três pizzarias não fazem uso de ar-condicionado (ar-condicionado são potenciais fontes de poluentes biológico). A P1 e P2 fazem uso da lenha de eucalipto, enquanto a P3 utiliza briquete. O briquete, ou lenha ecológica é formado pela compactação de resíduos da madeira (GENTIL, 2008). A tabela 1 apresenta as características das três pizzarias.

**Tabela 1: Características das 3 pizzarias.**

Pizzaria	Localização	Altura da chaminé (m)	Vendas pizza/dia	Lenha/briquete utilizado(kg)	Sistema de ventilação	Tipo de Biomassa
(P1)	Rua	8	30	163.4	Natural	Eucalipto
(P2)	Rua	25	26	94.2	Natural	Eucalipto
(P3)	Avenida	8	38	20.4	Natural	Briquete

### Equipamento de coleta

O Minivol, figura 2, fabricado pela Airmetrics foi o equipamento utilizado para realizar a parte experimental do estudo. O aparelho pode ser configurado para coletar  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$  ou PTS, mas não simultaneamente as três frações. Opera com uma vazão de 5 L/min (em condição padrão, pressão atmosférica de 760 mmHg e temperatura de 298K) e faz uso de filtro. Para este estudo foram utilizados filtros de polycarbonato com diâmetro de 47 mm e poros de 0,4  $\mu m$ . A separação de 10 ou 2,5  $\mu m$  é conseguida por impactação. A fração total é amostrada quando se remove o impactador. Para o estudo, o amostrador foi configurado para coletar a fração  $MP_{2,5}$ , figura. O Minivol tem sido utilizado no Brasil, Miranda (2001) e no mundo, Weinstein et al. (2010) em pesquisas para determinar a concentração e realizar a caracterização do material particulado.

Para a amostragem, cada filtro foi colocado no suporte de coleta do amostrador, ligou-se a bomba de vácuo e regulou-se a vazão do sistema para 5 L/min. O equipamento foi deixado em operação sendo então verificada a leitura de vazão final, visto a possibilidade de sua redução devido à sujidade do filtro.

### Técnicas de análises

As técnicas de análises utilizadas na realização deste estudo, foram: gravimetria, refletância e fluorescência de raios-X. A gravimetria consiste na pesagem dos filtros antes e depois da amostragem a fim de se obter a concentração em massa do material depositado. Antes de qualquer pesagem, os filtros permaneceram por um período de 24 horas em um ambiente com controle de temperatura e umidade relativa do ar ( $T \sim 22^\circ C$  e  $UR \sim 48\%$ ), evitando interferência desses fatores nos resultados. Para a pesagem dos filtros foi utilizada uma micro balança de precisão de 6 casas decimais *mettler* todelo modelo MX5. Um eliminador de cargas eletrostáticas foi utilizado com o intuito de diminuir a eletricidade estática presente nos filtros. A vazão final e o volume total amostrado foram registrados. Depois das amostragens, o filtro com o material particulado coletado foi novamente pesado e o resultado da diferença de peso entre o filtro sujo e o filtro limpo (dado em microgramas) foi dividido pelo volume de ar total amostrado (em  $m^3$ ), estimando-se assim a concentração média de material particulado disperso no ar no período, expresso em  $\mu g/m^3$ .

A análise de refletância foi utilizada para determinar a concentração de BC presente nos filtros amostrados. O filtro é iluminado por uma lâmpada de tungstênio, a luz refletida é detectada por um sensor. Quanto menor a intensidade dessa luz, maior é a quantidade de BC presente na amostra, pois este estaria absorvendo uma parcela da luz incidente. A fluorescência de raios-X (FRX) é uma técnica analítica instrumental de grande importância na análise multi-elementar, pois pode determinar tanto macro elementos como cálcio e potássio e elementos traços, como cobre e chumbo, ou também elementos não-metálicos, como o enxofre. Na análise de FRX têm-se três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios. A figura 1 ilustra os três equipamentos utilizados na análises dos filtros amostrados.



Figura 1: Equipamentos utilizados para quantificar e caracterizar a composição química do  $MP_{2,5}$ .

## RESULTADOS

As concentrações de MP<sub>2,5</sub> e BC quantificadas no ambiente interno das três pizzarias estão apresentadas na tabela 2. As concentrações médias e o desvio padrão estão expressos em (µg/m<sup>3</sup>) e corresponde às médias da massa depositada sobre o filtro e os desvios padrões do material particulado e BC quantificado na área interna das três pizzarias.

**Tabela 2: Concentrações *indoor* de MP<sub>2,5</sub> e BC**

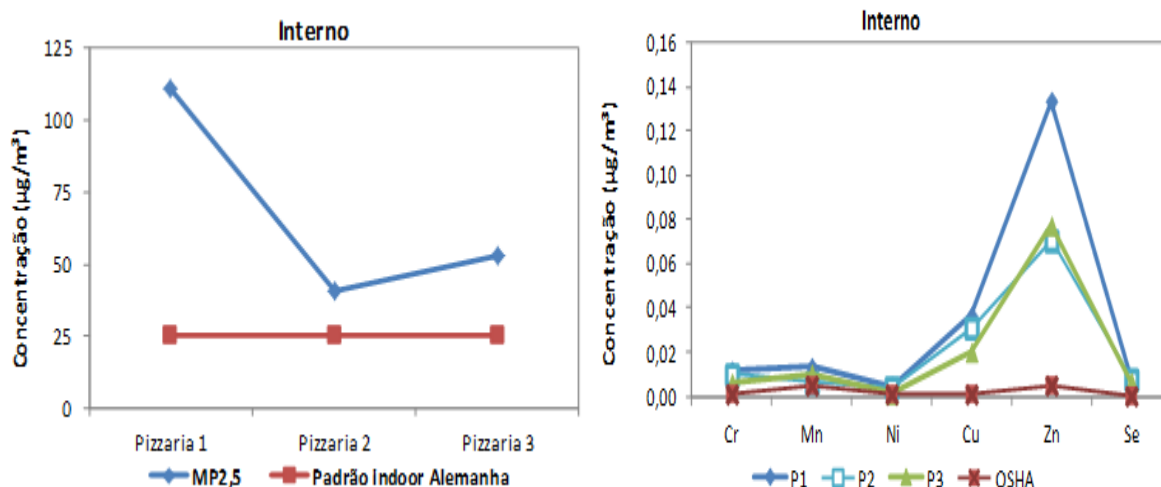
Ambiente Interno Concentrações (µg/m <sup>3</sup> )						
	MP <sub>2,5</sub>			BC		
(P1)	111,14	±	46,94	55,48	±	72,63
(P2)	40,89	±	4,00	7,76	±	1,93
(P3)	52,71	±	21,11	12,51	±	3,94

A tabela 3 apresenta o resultado para a fluorescência de raios-X. Elementos metálicos, não metálicos, e metais pesados estão presentes em diferentes concentrações na composição química do material particulado. As concentrações médias e o desvio padrão estão expressos em (µg/m<sup>3</sup>).

**Tabela 3: Média e Desvio Padrão das concentrações elementares quantificadas no ambiente interno**

	Interno (P1)		Interno (P2)		Interno (P3)	
	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Na	0.650	0.107	0.230	0.205	0.270	0.126
Mg	0.060	0.027	0.060	0.046	0.180	0.235
Al	0.190	0.007	0.105	0.017	0.150	0.025
Si	0.370	0.309	0.190	0.579	0.250	0.820
P	0.040	1.521	0.020	1.461	0.040	0.018
S	1.210	3.118	0.810	1.461	1.550	0.314
Cl	1.080	0.054	0.940	1.461	0.010	0.067
K	3.320	0.016	1.890	1.461	0.740	0.017
Ca	0.130	0.080	0.090	1.461	0.110	0.139
Ti	0.009	0.002	0.008	1.461	0.030	0.002
V	0.001	0.008	0.001	1.461	0.001	0.017
Mn	0.010	0.097	0.006	1.461	0.010	0.246
Fe	0.400	0.097	0.250	0.079	0.470	0.099
Ni	0.004	0.002	0.004	0.002	0.001	0.001
Cu	0.030	0.012	0.030	0.031	0.020	0.013
Zn	0.130	0.031	0.070	0.044	0.070	0.051
Br	0.050	0.066	0.010	0.011	0.100	0.056
Cd	0.070	0.061	0.030	0.026	0.010	0.026
Pb	0.040	0.028	0.020	0.022	0.030	0.009

A figura 2 estabelece uma análise comparativa entre as concentrações quantificadas no ambiente interno da P1, P2 e P3 em relação ao padrão estabelecido pela Agência Ambiental da Alemanha e os padrões estabelecidos pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) agência norte americana que lida exclusivamente com a qualidade do ar em ambientes de trabalho. O Brasil ainda não possui padrão de qualidade do ar para ambientes internos.



**Figura 2: Análise comparativa entre as concentrações quantificadas nas três pizzarias, com os padrões estabelecidos pela OSHA e Agência Ambiental da Alemanha.**

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados gravimétricos apresentaram altas concentrações de material particulado e BC quando comparado com outros estudos que quantificaram a queima da lenha em ambientes internos. As concentrações médias de material particulado fino foram de: 111,14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 40,89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 52,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na P1, P2 e P3 e desvio padrão de 46,94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 4,00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 21,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. E média de 68,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para as três pizzarias. Na Alemanha, Salthammer et al. (2014) compararam as emissões de sete tipos de biomassa em fornos residenciais e consideraram elevadas as concentrações de 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Buonanno et al. (2010) quantificaram concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  que variaram de 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 368  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  no interior de 15 pizzarias na Itália e média de 95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dentre as 15 pizzarias, somente uma comercializava apenas pizzas e apresentou concentração média de 74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{MP}_{2,5}$ .

Proporcionalmente, a P2 e P3 (uso da lenha ecológica) apresentaram o mesmo percentual de BC na composição da massa do material particulado, 20%. Na P1 esse percentual é de quase 50% o que sugere que a combustão na P1 é menos eficiente. A P2 possui chaminé mais elevada (25 m), possibilitando maior sucção do ar interno e assim, menores concentrações são quantificadas no ambiente interior.

Em uma análise comparativa dos resultados aqui obtidos, com o padrão proposto pela agência ambiental da Alemanha para ambientes internos, as três pizzarias violaram os 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sugerido. Esse valor é indicado para um período de 8 horas diárias, sendo que as concentrações quantificadas neste estudo são para 7,5 horas o que indica que o ar dessas pizzarias seja ainda mais poluído e sinaliza para o potencial efeito nocivo que esse tipo de ambiente pode causar à saúde, sobretudo para os funcionários pois permanecem, normalmente, 8 horas do dia nesse tipo de ambiente.

Os resultados sobre a composição química do  $\text{MP}_{2,5}$  são parecidos com outros estudos sobre queima de biomassa em que o potássio, cloro, enxofre, silício e sódio foram os elementos majoritários (FINE et al., 2004; SALAM et al., 2013; TANER et al., 2013). O potássio está associado à queima de biomassa (elemento marcador), sendo encontrado em altas concentrações em processos que envolvem a queima de biomassa, como a combustão da lenha em fornos de pizzeria. Já o enxofre é um dos componentes da lenha, o que justifica as altas concentrações, além de possível contribuição da queima de combustível como o diesel e gasolina que liberam enxofre nas suas emissões. O cloro e o sódio também apresentaram elevadas concentrações. O sódio geralmente está associado ao cloro para formar o cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), conhecido como “sal de cozinha”, ingrediente básico para muitos recheios usados em pizzarias como queijos e calabresa, salame e pepperone. O uso do briquete na pizzeria 3 apresenta diferenças quando comparado com as concentrações elementares obtidas nas pizzarias 1 e 2 que utilizam a lenha. Na pizzeria 3, as concentrações para o ambiente interno são muito inferiores para os elementos detectados, e diretamente associados a queima da biomassa, potássio e cloro.



## CONCLUSÕES

Este trabalho buscou quantificar e caracterizar o material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) proveniente da queima da biomassa em fornos de pizzaria no ambiente interno. As elevadas concentrações podem representar danos à saúde dos ocupantes, já que a mistura de elementos químicos que compõem o material particulado pode afetar de maneira diferente a saúde. As 3 pizzarias aqui estudadas violaram o padrão de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estabelecidos pela Agência Ambiental da Alemanha para exposição ao  $MP_{2,5}$  em ambientes internos. Além disso, as concentrações de elementos traços, como o cromo, manganês, níquel, selênio e principalmente o cobre e o zinco violaram os padrões estabelecidos pela OSHA, agência ambiental que legisla exclusivamente em ambientes de trabalho.

A utilização de chaminés mais elevadas e o uso do briquete surgem como importantes medidas para a melhora na qualidade do ar em pizzarias. Ou ainda a busca por novas tecnologias para a cocção da pizza. Tendo em vista que a utilização do forno a lenha é caracterizada pela baixa eficiência na geração de energia mas elevada emissão de poluentes, dentre eles o material particulado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUONANNO, G.; Morawska, L.; Stabile, L.; Viola, A., 2010. *Exposure to particlenumber, surface area and PM concentrations in pizzerias. Atmospheric Environment* 44, 3963–3969.
2. FINE, M.; CASS, R.; SIMONEIT, T. *Chemical characterization of fine particle emissions from the wood stove combustion of prevalent United States tree species. Environmental Engineering Science*, v. 21, p. 705-721, 2004.
3. GENTIL, L. V. B., 2008. Tecnologia e economia do briquete de madeira. Tese de Doutorado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília.
4. MIRANDA, R.M. Caracterização físico-química e propriedades ópticas do aerossol urbano na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2001. Tese de Doutorado- Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
5. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Guia de qualidade do ar para material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio e enxofre. Atualização global de 2005. Acesso em 09/02/2014. Disponível: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.2\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.2_eng.pdf).
6. SALAM, A.; BEGUM, A. B.; BEGUM, M.; BISWAS, K. S.; HASAM, M. *Chemical characterization of biomass burning deposits from cooking stoves in Bangladesh. Biomass and Bioenergy*, v.52, p. 122-130, 2012.
7. SALDIVA, P.; CAMARGO, C.; CAVALCANTE, J.; COSTA, R.; MIRANDA, M.; RODRIGUES, C.; VORMITTAG, E. Avaliação do impacto da poluição atmosférica no estado de São Paulo sob a visão da saúde. Instituto saúde e sustentabilidade, 2017.
8. SALTHAMER, T.; SCHRIPP, T.; WIENTZEK, S.; WENSING, M. *Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality. Chemosphere*, v. 103, p. 205-211, 2014.
9. SEBRAE. Ideias de Negócios – manual para pizzaria, São Paulo, 2009.
10. SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. New York :John Wiley and Sons, 1998.
11. TANER, S.; PEKEY, B.; PEKEY, H. *Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: elemental compositions, sources and health risks. Science of the Total Environment*, v. 454, n. 455, p. 79-87, 2013.
12. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Particulate Matter (PM) Standards - Review Completed in 2006, United States, 2006*. Disponível em: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s\\_pm\\_cr.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_cr.html). Aceso em 20 de novembro de 2013.
13. VALLERO, D. *Fundamentals of Air pollution*. 4, ed. London, Academic Press, 2008
14. WEINSTEIN, J. P.; HEDGES, S. R.; KIMBROUGH, S. *Characterization and aerosol mass balance of  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  collected in Conakry, Guinea during the 2004 Harmattan period. Chemosphere*, v. 78, p. 980-988, 2010.