

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JANAINA CASADO RODRIGUES DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AR INTERNO DE
PIZZARIAS COM FORNOS À LENHA**

LONDRINA

2023

JANAINA CASADO RODRIGUES DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AR INTERNO DE
PIZZARIAS COM FORNOS À LENHA**

**CHARACTERIZATION OF INDOOR AIRBONE PARTICULATE MATTER IN
PIZZERIAS WITH WOOD OVENS**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Leila Droprinchinski Martins.

Coorientador(a): Kátia Valéria Marques Cardoso Prates.

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



JANAINA CASADO RODRIGUES DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AR INTERNO DE PIZZARIAS COM FORNOS À LENHA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 20 de Abril de 2023

Dra. Leila Droprinchinski Martins, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Daniela Sanches De Almeida, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Thiago Nogueira, Doutorado - Usp-Universidade de São Paulo

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/04/2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela graça da vida, por todo o amor e cuidado durante toda minha vida.

A Virgem Maria, mãe de Deus, por tua intercessão junto a Deus. A minha mãe e a minha família, que sempre estiveram ao meu lado.

À minha orientadora Profa. Dra. Leila Droprinchinski Martins, por toda a dedicação e o conhecimento compartilhado, pela paciência e auxílio durante esta trajetória.

A minha coorientadora Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates, por toda a dedicação, sempre disponível em compartilhar todo seu conhecimento.

Aos meus amigos de todas as horas Isabele, Flávia, Maria Cristina e Johvanny, com quem convivi durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências, e em especial a Maria Clara, pelo auxílio no laboratório, a Lara e ao Julio pelo apoio e auxílio na realização dessa dissertação.

Agradeço aos professores da banca avaliadora pelas valiosas contribuições dedicada a este trabalho.

À UTFPR e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pelo suporte, estrutura e equipamentos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Enfim, a todos que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram durante o mestrado.

Que a tua vida não seja uma vida estéril. Sê útil.
Deixa rasto. (SÃO JOSEMARIA ESCRIVÁ)

RESUMO

A qualidade do ar de ambientes internos pode ser comprometida pela presença de poluentes atmosféricos, dentre eles destacam-se as partículas como o material particulado atmosférico (MP), *black carbon* (BC), *brown carbon* (BrC) e os bioaerossóis. Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar a concentração destes poluentes em ambientes internos de pizzarias que utilizam forno à lenha para cocção de alimentos na cidade de Londrina, Paraná. Os equipamentos operaram nos ambientes internos das cozinhas, medindo as concentrações de partículas em número e massa durante o preparo das pizzas. Cada equipamento foi utilizado, em média, por 3 horas, registrando as concentrações a cada 1 minuto. A coleta dos bioaerossóis (bactéria e fungos) foi realizada em um período de 5 minutos para cada grupo de microrganismos e a coletas foram feitas em triplicata. Foram realizadas coletas em 3 dias distintos para as Pizzarias 1 (P1) e 3 (P3) e 2 dias para a Pizzaria 2 (P2). Após o tempo de incubação foram realizadas as contagens das unidades formadoras de colônias (UFC) e a caracterização cultural. Para as colônias bacterianas também foi realizada a caracterização morfotintorial e para as colônias fúngicas o microcultivo. A partir dos dados coletados foi realizada a análise de diversidade das colônias pela construção de dendrogramas. As concentrações em número para partículas NP_{0,3}, NP_{0,5} e NP_{1,0} foram maiores na P2, enquanto para as partículas NP_{2,5} foram na P3. A P2 apresentou uma maior concentração de MP_{1,0} e MP_{2,5}, enquanto para MP₁₀ foi na P3, com concentração média de $212,8 \pm 190,1 \mu\text{g m}^{-3}$. Para BC e BrC as concentrações nas pizzarias variaram de 0,09 a $42,6 \mu\text{g m}^{-3}$ e 0,48 a $29,4 \mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, com as maiores concentrações de ambos na P3, local que permaneceu fechado a maior parte do tempo durante a amostragem. A dose potencial inalada foi para MP_{2,5} e BC, $1,29 \mu\text{g/ Kg.h}$ e $0,15 \mu\text{g/ Kg. h}$, respectivamente. Em relação aos bioaerossóis constatou-se que a P1 apresentou a maior diversidade de bactérias, enquanto a P3 a menor diversidade, entretanto com as maiores concentrações médias ($1540 \pm 554 \text{ UFC m}^{-3}$). Para os fungos a P3 apresentou a maior diversidade, enquanto a P2 a menor. Os gêneros semelhantes de fungos foram identificados, na P1, sendo o *Aspergillus* spp., sendo o gênero predominante, seguido pelo *Penicillium* spp. e *Cladosphialophora* spp. Em síntese, a P3 apresentou as maiores concentrações de partículas grossas, BC, BrC e a maior concentração de fungos podendo ser devido ao fato da existência da única abertura (porta) no ambiente de preparo das pizzas permanecer a maior parte do tempo fechada. Em termos médios as concentrações de MP_{2,5}, BC, BrC, bactérias e fungos nas cozinhas foram de 29,6; 3,0; $2,8 \mu\text{g m}^{-3}$, 876 e 1261 UFC m^{-3} , com uma razão média de 0,20 para BC/MP_{2,5}, já a razão para BrC/MP_{2,5} foi de 0,06 razão essa podendo ser considerada como traçadora dessa fonte para BrC. Por fim, as concentrações de MP e fungos encontradas nas cozinhas indicam um ambiente poluído, com níveis acima dos recomendados pelos guias nacionais e internacionais e que um design adequado das cozinhas que considere também esse aspecto é importante para minimizar esse problema.

Palavras-chave: *black carbon*; *brown carbon*; poluentes atmosféricos; qualidade do ar interno.

ABSTRACT

Indoor air quality can be affected by the presence of atmospheric pollutants, among them highlights the particles such as atmospheric particulate matter (PM), black carbon (BC), brown carbon (BrC) and bioaerosols. Thus, this work aimed to characterize the concentration of these pollutants in indoor environments of pizzerias that have wood oven as fuel for cooking food in the city of Londrina, Paraná. The measure the concentration of particles in number and mass, the equipment operated in the internal environments of the kitchens during the preparation of the pizzas and recorded the concentrations every 1 minute. For the bioaerosols sampling (bacteria and fungi), the was performed in a period of 5 minutes for each group of microorganisms and the collections were made in triplicate. The sampling were carried out on 3 different days for Pizzerias 1 (P1) and 3 (P3) and 2 days for Pizzeria 2 (P2). After the incubation time, it was made the counts of the Colony Forming Units (CFU) and a cultural characterization. For bacterial colonies, morphotinctorial characterization was also performed and for fungal colonies the. Based on the data collected, the analysis of colonies diversity was carried out through the construction of dendrograms. The number concentrations of particles (NP0.3 – NP1.0) were higher in P2, while for coarse particles (NP2.5 – NP12) were in P3. P2 showed a higher concentration of PM_{1.0} and PM_{2.5}, while for PM₁₀ it was in P3, with average concentration of $212.8 \pm 190.1 \mu\text{g m}^{-3}$. For BC and BrC the concentrations in the pizzerias ranged from 0.09 - 42.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ and 0.48 – 29.4 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectively, with the higher concentrations for both in P3, place that remained closed for great time of the sampling. The potential inhaled doses were for MP_{2.5} and BC, 1.29 $\mu\text{g/Kg.h}$ and 0.15 $\mu\text{g/Kg. h}$. For bioaerosols, it was found that P1 presented the highest diversity of bacteria, while P3 the lowest, however with the highest average concentration ($1540 \pm 554 \text{ CFU m}^{-3}$). In relation to fungi, P3 presented a greater diversity, while P2 presented a smaller one. Similar genera of fungi were identified, with *Aspergillus* spp. the predominant genus in P1, followed by *Penicillium* spp., and *Cladosphialophora* spp.. In summary, P3 presented the highest concentrations of coarse particles, BC, BrC and the highest concentration of fungi, which could be because the only opening (door) in the pizza preparation environment remains closed the greater part of the time. On average, the concentrations of PM_{2.5}, BC, BrC, bacteria and fungi in kitchens were 29.6, 3.0, 2.8 $\mu\text{g m}^{-3}$, 876, and 1261 CFU m^{-3} , with a mean ratio BrC/MP_{2.5} of 0.06; ratio it that can be considered a tracer of this source for BrC. Finally, the concentrations of PM and fungi found in kitchens indicate a polluted environment, with levels above of those recommended by national and international guidelines and that an adequate kitchen design that also considers this aspect is important to minimize this problem.

Keywords: *black carbon*; *brown carbon*; atmospheric pollutants; indoor air quality, bioaerosol.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Deposição das partículas no sistema respiratório.....	18
Figura 2 - Escala dos tamanhos característicos de partículas atmosféricas: proteína (A), vírus (B), bactérias (C), esporos fúngicos(D) e grãos de pólen (E) e não biológicos (fuligem) e partículas constituintes de nuvens e precipitação.	22
Figura 3 - Consumo final por fonte energética no Brasil de 1970 a 2020.	25
Figura 4 - Consumo de lenha no Brasil em diversos setores de 1970 a 2020.	26
Figura 5 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	28
Figura 6- Desenho Esquemático de um Forno de pizzaria.	29
Figura 7 - Abertura do forno da (a) Pizzaria 1, (b) Pizzaria 2 e (c) Pizzaria 3..	30
Figura 8 – Croqui das P1 (a), P2 (b) e P3(c).....	33
Figura 9 – Equipamentos utilizados nas amostragens: (a) Medidor MicroAeth MA200 para monitoramento de BC no ambiente interno, (b) Met One 804 e Met One 831e (c) Sensor de temperatura e umidade relativa, Onset HOBO UX100-023.....	35
Figura 10 – Impactador SKC biostage em um dos locais de estudo.....	36
Figura 11 – Gráfico das concentrações em número (P1, P2 e P3).	40
Figura 12 – Gráfico das concentrações médias em massa (MP) e desvios padrão na P1, P2 e P3.	41
Figura 13 - Gráfico das concentrações de MP _{2,5} das P1, P2 e P3.	43
Figura 14 - Gráfico das concentrações médias e desvios padrão de BrC e BC das P1, P2 e P3.	45
Figura 15 - Gráfico da evolução temporal da concentração média de BC e BrC na P1(a), P2 (b) e P3 (c).....	47
Figura 16 - Gráfico das frações percentuais de BC no MP _{2,5} nas P1, P2 e P3.	48
Figura 17 - Gráfico das frações percentuais de BrC no MP _{2,5} nas P1, P2 e P3.....	49
Figura 18- Análise da correlação de Pearson das concentrações de BrC, BrC, T e UR para (a) P1, (b) P2 e (c) P3.....	51
Figura 19 - Dose inalada de MP _{2,5} nas três pizzarias.	52
Figura 20 - Dose potencial inalada de BC nas três pizzarias.	53
Figura 21 - Gráfico das concentrações médias de bactérias (a) e fungos (b) em UFC m ⁻³ nas três pizzarias.....	54
Figura 22 - Placa com crescimento bacteriano e dendrograma da pizzaria 1 (a,b), 2 (c,d) e 3 (e,f)	57
Figura 23 - Placa com crescimento fúngico e o dendrograma da pizzaria 1 (a,b), 2 (c,d) e 3 (e,f)	59
Figura 24 - Gêneros semelhantes dos fungos identificados como resultado da microscopia para a P1, P2 e P3.	61
Figura 25 - Análise de correlação da concentração em número, temperatura e umidade da (a) P1, (b) P2 e (c) P3	69
Figura 26 - Análise de correlação da concentração em massa, temperatura e umidade da (a) P1, (b)P2 e (c) P3	70
Figura 27 - Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a), segundo dia (b) e terceiro dia (c) de BC e BrC na P1	75
Figura 28 - Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a) e segundo dia (b) de BC e BrC na P2.....	76
Figura 29 - Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a), segundo dia (b) e terceiro dia (c) de BC e BrC na P3	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características das três pizzarias (P1, P2 e P3).....	31
Tabela 2 - Caracterização dos dias das amostragens	32
Tabela 3 – Estatística descritiva para black carbon e brown carbon nos ambientes das três pizzarias (P1, P2 e P3).	44
Tabela 4 - Estatística descritiva para temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes das três pizzarias (P1, P2 e P3)	49
Tabela 5 - Resultados da caracterização morfológica	58
Tabela 6 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para número de partículas.....	71
Tabela 7 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para massa.....	71
Tabela 8 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para BC/BrC.	71
Tabela 9 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias para número de partículas.....	72
Tabela 10 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias em massa.....	72
Tabela 11 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias para BC e BrC.	72
Tabela 12 - Resultados do teste de semelhança para a P1.....	73
Tabela 13 - Resultados do teste de semelhança para a P2.....	73
Tabela 14 - Resultados do teste de semelhança para a P3.....	73
Tabela 15 - Concentrações médias e desvios padrão de NP0,3, NP0,5, NP1,0 e NP2,5 para as três pizzarias.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC	<i>Black Carbon</i>
BrC	<i>Brown Carbon</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Material Particulado 10 µm
MP _{2,5}	Material Particulado 2,5 µm
NP _{0,3}	Número de Partículas de até 0,3 µm
NP _{0,5}	Número de Partículas de até 0,5 µm
NP _{1,0}	Número de Partículas de até 1,0 µm
NP _{2,5}	Número de Partículas de até 2,5 µm
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
UFC	Unidade Formadora de Colônias
UR	Umidade Relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Material Particulado Atmosférico e Saúde	18
3.1.1	Black Carbon e Brown Carbon	19
3.1.2	Bioaerossóis	21
3.2	Qualidade do ar interno e a queima de biomassa para cozimento de alimentos	23
4	METODOLOGIA	28
4.1	Caracterização da área de estudo	28
4.2	Amostragem e análise de material particulado (MP) e massa e número (NP), <i>Black carbon</i> (BC) e <i>Brown Carbon</i> (BrC)	33
4.3	Amostragem e análise dos bioaerossóis	35
4.4	Dose potencial inalada	37
4.5	Análise estatística	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	MATERIAL PARTICULADO EM NÚMERO	39
5.2	MATERIAL PARTICULADO EM MASSA	40
5.3	BLACK CARBON E BROWN CARBON	43
5.4	DOSE POTENCIAL INALADA	52
5.5	BIOAEROSSÓIS	54
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A – CORRELAÇÃO DE SPEARMAN	69
	APÊNDICE B - TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO WILK	71
	APÊNDICE C – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS E DESVIO DO NÚMERO DE PARTÍCULAS	74
	APÊNDICE D – CONCENTRAÇÕES DE BC E BrC EM CADA DIA DE AMOSTRAGEM	75

1 INTRODUÇÃO

Os aerossóis referem-se a um sistema de partículas sólidas e/ou líquidas, em suspensão no meio gasoso atmosférico (SEINFELD e PANDIS, 2016). Os aerossóis exercem um papel fundamental no balanço radiativo da Terra por sua interação com a radiação solar, podendo espalhar e absorver radiação de onda curta, modificando a radiação incidente na superfície e, em situações específicas, também o perfil termodinâmico da atmosfera (COSTA et al., 2015).

O aerossol também denominado na literatura de material particulado atmosférico (MP) é proveniente de fontes naturais (vulcões, ambiente marinho, solo, vegetação, incêndios florestais, componentes biológicos) e antrópicas (veículos automotores, indústrias, queima de biomassa, agricultura). Pode ser emitido como partícula diretamente (aerossol primário) ou formado na atmosfera por processos de conversão gás-partícula (aerossol secundário) e modulado por processos de condensação, evaporação, coagulação, reações químicas e deposição seca e úmida. Dessa forma, quimicamente é constituído por uma variedade de espécies inorgânicas e orgânicas com ampla variabilidade espaço-temporal de sua composição química tamanho e concentração (SEINFELD e PANDIS, 2016; COLBECK; LAZARIDS, 2008; KUMAR et al., 2016),

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 pizzarias (KUMAR et al., 2016a). Grandes quantidades de componentes químicos e biológicos são emitidas em áreas com aglomerados de restaurantes, originando-se em boa parte de atividades relacionadas à culinária, bem como tráfego pesado, atividades comerciais e industriais (AGARWAL et al., 2016). A queima de biomassa em fornos à lenha pode ser uma importante fonte de material particulado fino (MP_{2,5}) e de *Brown Carbon* (BrC) e *Black Carbon* (BC) que são constituintes relevantes do MP_{2,5}. 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). Wei et al. (2019), por exemplo, observaram elevadas concentrações de bactérias e fungos, em cozinhas, durante a queima de biomassa.

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).

O $MP_{2,5}$ além de seu potencial de interferir no equilíbrio radiativo global, representa um dos poluentes mais agressivos à saúde humana (WHO, 2021; IPCC, 2021; LIMA et al., 2020). O $MP_{2,5}$ está associado a diversas doenças como a pulmonar obstrutiva crônica, respiratória aguda inferior, cerebrovascular, cardíaca isquêmica e câncer de pulmão (LELIEVELD et al., 2015).

Bandowe et al., 2021, por exemplo, demonstraram em seu estudo que a inalação de $MP_{2,5}$ emitido da cocção de alimentos pode resultar em efeitos adversos à saúde humana. Lima et al., 2020 em um estudo realizado em pizzarias na cidade de São Paulo concluíram que a queima de lenha representa uma fonte potencial de poluição do ar, principalmente em grandes centros urbanos.

A poluição do ar é um dos principais fatores de risco para doenças não transmissíveis e contribui para milhões de mortes prematuras em todo mundo. O problema é maior nos países em desenvolvimento, como China e Índia, que possui grandes populações que ainda dependem de combustíveis de carvão e biomassa em suas vidas diariamente (LELIEVELD et al., 2015).

Assim, a análise de poluentes em ambientes internos com fornos à lenha é importante, já que pelo exposto representam um local com potencial para altas concentrações de poluentes atmosféricos e riscos à saúde, sobretudo dos funcionários que estão diretamente expostos e permanecem por tempo elevado nas cozinhas (VICENTE et al., 2020).

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; HARRISON, 2013). Em ambientes onde combustíveis sólidos são usados em fogões de baixa eficiência, ocorre a emissão de altos níveis de MP₁₀, MP_{2,5} e BC, resultando em uma significativa deterioração da qualidade do ar interno e gerando impactos à saúde humana (XU et al., 2022). A ONU, propõe metas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 7 sobre o acesso a energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos.

No mundo existem vários estudos de qualidade do ar em microambientes como restaurantes e pizzarias (BRAUER et al., 2001; HUSSEIN et al., 2015; TANER; PEKEY; PEKEY, 2013b) demonstrando a influência da queima de biomassa nas concentrações de MP em ambientes internos. No entanto, o assunto ainda carece de estudos, principalmente envolvendo os aerossóis carbonáceos como o BC e BrC. Na mesma direção, o conhecimento sobre os bioaerossóis provenientes do uso de biomassa é escasso e sua composição e concentração tem implicações importantes no ciclo bioquímico atmosférico e à saúde humana (WEI et al., 2019).

No Brasil são raros os estudos sobre a qualidade do ar em ambientes internos de restaurantes que utilizam a queima de biomassa para cozinhar. Até onde se tem conhecimento existe publicado o trabalho de Lima et al., (2020) que caracterizou o material particulado e o BC provenientes da queima de biomassa em fornos de pizzarias da cidade de São Paulo. O estudo, realizado em três pizzarias, encontrou altas concentrações de MP_{2,5} no ar interior das cozinhas, ultrapassando os limites guia da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Assim a realização deste trabalho torna-se importante devido: i) a grande diversidade de características existentes na atividade de cocção de alimentos, decorrentes de aspectos culturais e socio-econômicos; ii) a necessidade de melhor compreender as fontes de emissão de BrC e BC; iii) ao reduzido número de estudos no Brasil, no que se refere à análise da qualidade do ar em estabelecimentos comerciais que utilizam a biomassa como combustível para a cocção de alimentos; iv) à falta de caracterização das concentrações de MP, BC, BrC e bioaerossóis nesses ambientes.

Portanto, a análise e caracterização de MP, BC, BrC e bioaerossóis (fungos e bactérias) 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.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a concentração de material particulado em massa e número de partículas, BC, BrC e bioaerossóis em ambiente interno de pizzarias com forno à lenha.

2.2 Objetivos específicos

Medir as concentrações em massa ($MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10}) e número de partículas ($NP_{0,3}$, $NP_{0,5}$, $NP_{1,0}$ e $NP_{2,5}$), BC e BrC em ar de ambiente interno de cozinhas com a atividade de queima de lenha.

Medir as concentrações dos bioaerossóis (fungos e bactérias) em ar de ambiente interno de cozinhas com a atividade de queima de lenha.

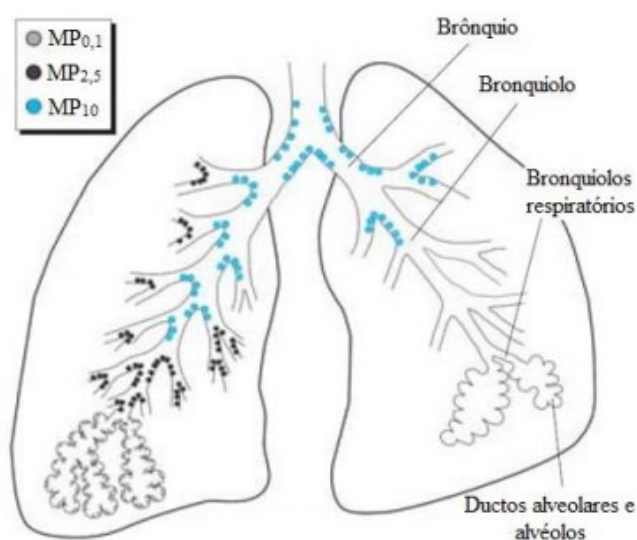
Avaliar a potencial dose inalada pelos trabalhadores de $MP_{2,5}$ e BC, durante a atividade de preparo e cocção de alimentos em fornos à lenha em pizzarias.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Material Particulado Atmosférico e Saúde

O MP é definido como uma mistura de partículas sólidas e gotículas de líquidos de vários tamanhos (variam de nanômetros a dezenas de micrometros) suspensos em um volume de ar, constituído de uma ampla gama de substâncias químicas. O MP (Figura 1) é classificado de acordo com seu tamanho. O MP_{10} é definido como o MP com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$, enquanto o $MP_{2,5}$ é definido como o MP que possui diâmetro aerodinâmico igual ou menor a $2,5\ \mu\text{m}$ e o $MP_{0,1}$ aquelas menores ou igual a $0,1\ \mu\text{m}$ (ABDULLAHI; DELGADO-SABORIT; HARRISON, 2013). Suas quantidades são expressas em concentração de massa, número e volume. Usualmente o MP é medido como a massa (μg) das partículas por volume de ar (m^3).

Figura 1 - Deposição das partículas no sistema respiratório.



Fonte: Cormier et al (2006); adaptado por (WIKUATS, 2020)

As partículas de MP também podem ser classificadas em relação ao tamanho como “moda fina” ou fração fina, que possuem diâmetro menor que $2,5\ \mu\text{m}$ e da “moda grossa”, aquelas entre $2,5\ \mu\text{m}$ e $10\ \mu\text{m}$. Esta divisão está relacionada ao potencial de causar doenças no trato respiratório, pois as partículas da moda grossa são barradas no trato respiratório superior. Já as da moda fina são capazes de penetrar até o nível de alvéolos pulmonares sendo, portanto, mais danosas à saúde. Caracteristicamente, os aerossóis gerados nos processos de combustão são predominantemente da moda fina (COSTA et al., 2015). Além das finas e grossas há também as partículas

classificadas como ultrafinas ($MP_{0,1}$) que são menores ou igual a $0,1 \mu\text{m}$ (100 nm). Salthammer *et al.*, (2014) em sua pesquisa apontou que lareiras e fornos à lenha são fontes potenciais de contaminantes do ar interior, especialmente de partículas ultrafinas.

O MP presente no ambiente pode causar efeitos adversos à saúde respiratória e cardiovascular, podendo levar até a morte. As possíveis vias são pela indução de estresse oxidativo, inflamação e dano celular via espécies reativas de oxigênio, compreendendo uma ampla gama de radicais livres, íon e moléculas relacionadas ao oxigênio (PÖSCHL; SHIRAIWA, 2015).

O material particulado ambiente foi classificado como carcinógeno do Grupo I pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (LOOMIS *et al.*, 2013). Os impactos adversos à saúde humana do $MP_{2,5}$ estão associados às concentrações de massa de partículas, mas também às propriedades físico-químicas, incluindo, tamanho de partícula e a presença de componentes tóxicos orgânicos e inorgânicos, como carbono orgânico, BC, metais e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) (LUO *et al.*, 2021).

3.1.1 *Black Carbon e Brown Carbon*

O BC é definido como a fração refratária e altamente absorviva de aerossóis carbonáceos, já o BrC é a fração absorvente de luz do aerossol orgânico (SALEH; CHENG; ATWI, 2018).

O BC é forte absorvedor de luz no espectro visível (BOND S. J. ZENDER, 2013), enquanto o BrC absorve luzes em ambas as bandas ultravioleta (UV) e visível, tendo uma eficiência de absorção de luz relativamente forte no UV próximo (300-400 nm) (ZHOU *et al.*, 2015).

Quimicamente, o BC é um tipo de material carbonáceo formado apenas em chamas durante a queima de combustíveis à base de carbono, é um dos principais componentes do $MP_{2,5}$ e suas fontes predominantes são antrópicas como a queima de combustíveis fósseis para transporte, combustíveis sólidos para indústrias, queima de madeira e carvão e queima a céu aberto de biomassa (agricultura, florestas e vegetação).

Dentre os diversos elementos que compõem a massa de $MP_{2,5}$ provenientes da queima de biomassa, o BC está presente em altas concentrações devido ao seu menor tamanho e sua natureza química (LIMA *et al.*, 2020). Na atmosfera é um agente

forçador do clima de curto tempo de vida (dias a semanas), apresentando assim, um forte efeito de aquecimento, tanto na atmosfera quanto depositado na neve ou gelo (GLOSSARY OF IPCC AR6 WGI, 2021).

Em função da vida curta dos aerossóis absorventes de luz, em comparação aos gases de efeito estufa de longa duração, os controles de emissão desses aerossóis podem proporcionar benefícios climáticos mais práticos e significativos. Contudo, entender a absorvidade de luz de diferentes componentes de aerossóis que absorvem luz, especialmente aerossóis carbonáceos de várias fontes, ainda é um desafio, e grandes incertezas existem na estimativa atual do forçamento radiativo dos aerossóis (YANG; HUANG; LI, 2017; GLOSSARY OF IPCC AR6 WGI, 2021).

Amplios estudos ambientais em níveis globais foram realizados para investigar as relações das partículas atmosféricas com as mudanças climáticas e a saúde humana (YAN et al., 2021). Em relação ao BC existem associações das variações diárias na concentração (curto prazo), assim como a médio e longo prazo, com hospitalizações por problemas cardiopulmonares e mortalidade por doenças cardiovasculares. Além disso, as partículas de BC podem ser alocadas no corpo, inclusive no cérebro, com efeitos adversos (LIMA et al., 2020; SONWANI; KULSHRESTHA, 2021). Estudos de efeitos à saúde humana em curto prazo mostram que as associações com BC são mais robustas do que as com $MP_{2,5}$, sugerindo que o BC é um melhor indicador de substâncias nocivas de material particulado originado de processos de combustão do que somente a concentração em massa do MP (JANSSEN et al., 2011).

O BrC que é fração absorvente de luz do aerossol orgânico, consiste em diversos grupos de moléculas orgânicas com diferentes propriedades físico-químicas. Acreditava-se inicialmente que fossem substâncias húmicas (HULIS) formadas a partir da degradação térmica da biomassa. Entretanto, estudos mostraram que o BrC poderia ser gerado por uma ampla gama de vias, o que resulta em estruturas que são substancialmente diferentes de HULIS (HETTIYADURA et al., 2021). A diversidade da composição química e a natureza dinâmica do BrC levam a uma grande variabilidade em suas propriedades físico-químicas, como tamanho molecular, solubilidade, volatilidade e, principalmente, propriedades ópticas (SALEH; CHENG; ATWI, 2018).

O BrC é sempre co-emitido com o BC na queima incompleta de combustíveis de biomassa. Portanto, a queima de biomassa e a combustão de combustíveis fósseis

são as principais fontes de BrC primário e dos precursores de BrC secundário que são formados na atmosfera (Yue *et al.*, 2022). O processo de combustão lenta em temperaturas relativamente baixas é mais favorável para a formação de BrC, em comparação com a queima de combustíveis fósseis para produção de energia (HETTIYADURA *et al.*, 2021).

Adicionalmente, SALEH, CHENG e ATWI (2018) acreditam que uma fração importante de BrC proveniente da combustão é composta por precursores orgânicos de BC cuja transformação em BC não é completa durante o processo de combustão. Dependendo das condições de combustão, esses precursores de BC apresentam diferentes níveis de maturidade, das quais ditam suas propriedades de absorção de luz. Quanto mais maduros forem os precursores, mais absorptivos (como o BC) eles se tornarão.

Os estudos sobre distribuição regional de propriedades ópticas e suas fontes para BC e BrC ainda são limitados, portanto, estudos das concentrações em diversas fontes dos componentes de absorção de luz como BC e BrC são essenciais para compreender a qualidade do ar (ZHANG *et al.*, 2021).

O BrC é conhecido como carcinógeno ambiental já que possui uma área de superfície que auxilia na fixação do Benzo(a)pireno, que foi analisada em termos de risco do aumento de câncer ao longo da vida em nível regional e global, relatada anteriormente no leste da Ásia e Rússia (SENGUPTA *et al.*, 2023; SONWANI; KULSHRESTHA, 2016)

3.1.2 Bioaerossóis

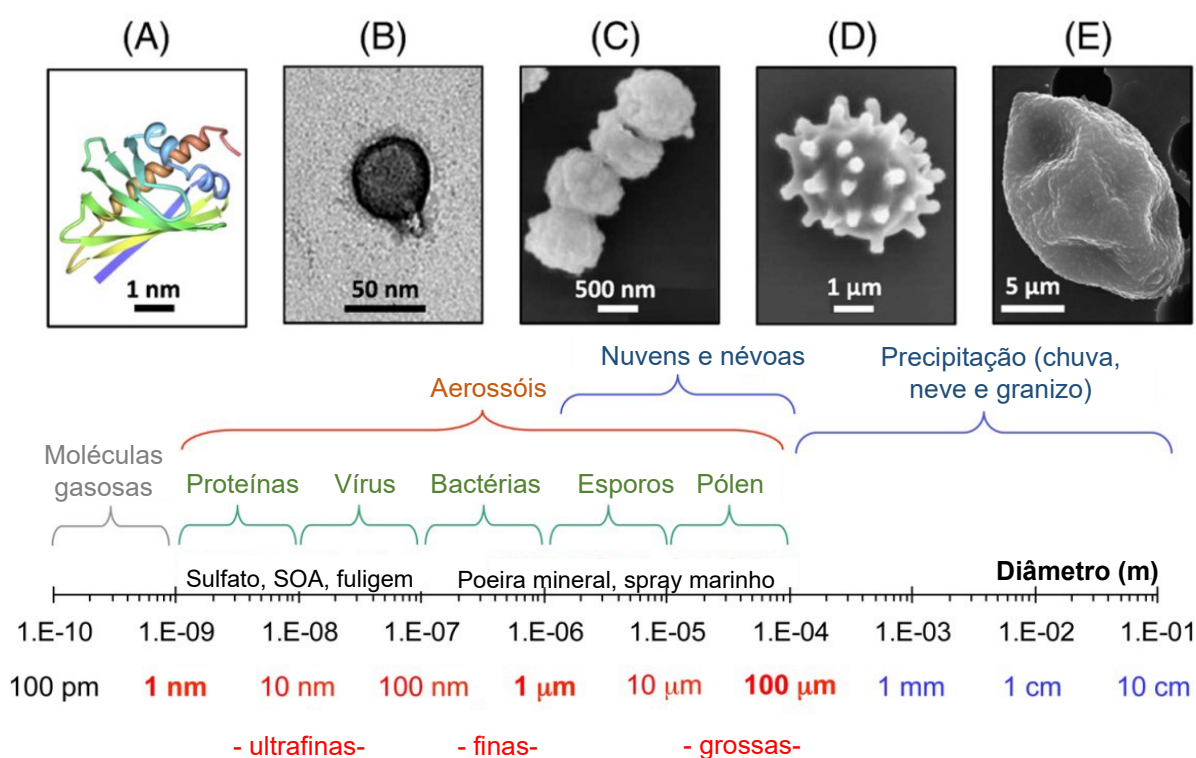
Os bioaerossóis são um conjunto heterogêneo de partículas atmosféricas que incluem bactérias, fungos, vírus, líquens, arqueias; vivos ou mortos; seus fragmentos e unidades de reprodução, como restos de plantas e unidades de dispersão como pólen e esporos de fungos (FRÖHLICH-NOWOISKY *et al.*, 2016).

Alguns estudos apresentam a potencial influência que os bioaerossóis exercem na atmosfera, biosfera e no clima, além da saúde humana (WEI *et al.*, 2019a ; XU *et al.*, 2019). Durante o inverno na China o impacto da queima de biomassa devido ao aquecimento gerou aumento significativo das concentrações de MP_{2,5} e bioaerossóis, com concentrações médias diárias de MP_{2,5} de 36,5 µg/m³, sendo que o aumento do

MP e bioaerossóis apresentou uma correlação positiva em dias em que ocorreu episódios da queima de madeira (WEI et al., 2020).

Na Figura 2 são mostrados exemplos de bioaerossóis e seus respectivos tamanhos, além disso, podem ser observados os tamanhos de partículas como moléculas gasosas, aerossóis biológicos (como bactérias e esporos fúngicos) e não biológicos (fuligem) e partículas constituintes de nuvens e precipitação.

Figura 2 - Escala dos tamanhos característicos de partículas atmosféricas: proteína (A), vírus (B), bactérias (C), esporos fúngicos(D) e grãos de pólen (E) e não biológicos (fuligem) e partículas constituintes de nuvens e precipitação.



Fonte Adaptado de Fröhlich-Nowoisky et al., 2016.

SOA = *Secondary Organic Aerosol* (aerossol orgânico secundário).

As bactérias estão presentes na atmosfera próxima à superfície, onde constituem importante componente dos aerossóis com potencial para afetar as mudanças climáticas, os ecossistemas, os processos atmosféricos e a saúde humana (WEI et al., 2019a). Os aerossóis bacterianos foram mais ricos e abundantes que os aerossóis fúngicos em residências que utilizam lenha como principal combustível para cocção (AKILA; EARAPPA; QURESHI, 2020).

3.2 Qualidade do ar interno e a queima de biomassa para cozimento de alimentos

A queima de biomassa está diretamente associada a um maior risco de morte, principalmente entre idosos pela maior fragilidade fisiológica associada ao envelhecimento (PORTNER, 2008; SILVA et al., 2022). Cozinhar é uma das principais fontes de poluição atmosférica, emitindo durante o cozimento oligoelementos potencialmente nocivos (incluindo cobalto e manganês) e moléculas orgânicas (incluindo aminas heterocíclicas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPAs) (XU et al., 2022).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2019), evidências científicas indicam que o ar interno de residências e edifícios apresentam um maior índice de poluentes e bioaerossóis, sendo assim a qualidade do ar interno é um fator importante a ser considerado, já que as pessoas passam aproximadamente 90% do tempo em ambientes internos. Por outro lado, a quantidade de pessoas e seu tempo de permanência interferem diretamente no ar dos ambientes internos.

No Brasil e no mundo a regulamentação da qualidade do ar em ambientes interno é escassa. Com isso, a referência usada muitas vezes tem sido as diretrizes da OMS. A OMS, em 2021, atualizou seus padrões de qualidade do ar: o MP_{10} com limite de $45 \mu\text{g m}^{-3}$ e o $MP_{2,5}$ de $15 \mu\text{g m}^{-3}$, ambos para um período de 24h.

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}) e aerossóis totais (PTS), (limite de $80 \mu\text{g m}^{-3}$) (ANVISA, 2003). Já a Resolução CONAMA n° 491/ 2018 estabelece os padrões de qualidade do ar, para o MP_{10} em $100 \mu\text{g m}^{-3}$ (24 h) e $MP_{2,5}$ em $50 \mu\text{g m}^{-3}$ (24 h) (CONAMA, 2018).

A qualidade do ar interna é influenciada pelas diversas fontes internas existentes (mobiliário, equipamentos, tipos de atividade realizada, quantidade de pessoas, características construtivas), presença de sistema de ventilação natural (janelas, portas etc) ou forçado e a qualidade do ar exterior que entra no ambiente (ARCHER-NICHOLLS et al., 2016; DU et al., 2017, LUO et al., 2021). Dentre as fontes internas a queima de biomassa em fogões à lenha é amplamente reconhecida como uma fonte significativa de poluentes, com impactos à saúde humana e à qualidade do

ar local e regional. Em todo o mundo, estima-se que três bilhões de pessoas usam biomassa para cozinhar e aquecer suas casas (ELEANNE D.S., 2013; GBD, 2017).

O processo de cozimento gera dois tipos de emissões, uma da combustão do combustível utilizada para cozinhar que inclui biomassa (carvão/lenha), gás liquefeito de petróleo (GLP) ou querosene e outra do próprio alimento (AGARWAL et al., 2016).

O ato de cozinhar pode contribuir para altas concentrações de aerossol em ambientes fechados, com a presença muitas vezes de substâncias químicas cancerígenas. Assim, o aerossol proveniente do cozimento de alimentos pode ser prejudicial à saúde (ABDULLAHI; DELGADO-SABORIT; HARRISON, 2013). A combustão de biomassa leva a uma série de emissões, como CO, CO₂, metano, BC e carbono orgânico, que são relevantes do ponto de vista climático e de qualidade do ar, bem como MP, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dioxinas e precursores de ozônio e aerossóis orgânicos secundários, que impactam na qualidade do ar e saúde (TOMLIN, 2021).

No processo de combustão a fase de ignição, seja para lareira ou para o fogão/forno à lenha, induz um aumento súbito nas concentrações de MP e poluentes gasosos. Vicente et al (2020) observaram picos de concentração de MP associados ao reabastecimento do uso dos aparelhos de combustão.

Embora, a queima de biomassa para cozinhar seja reconhecida como uma fonte significativa de emissão de poluentes, a emissão interna de produtos de combustão, em ambientes internos, é raramente considerada e não há disponível legislação específica. As regulamentações, como mencionado, para a qualidade do ar interno são escassas e poucas específicas para os diversos poluentes gerados em função do combustível e equipamento de combustão (SALTHAMMER et al., 2014).

A América do Norte e Europa possuem uma fonte interna de emissão de poluentes bastante específica, proveniente de lareiras e fogões à lenha, que são utilizados para aquecer e cozinhar. Já na África e Índia a queima de biomassa é principalmente voltada à finalidade do preparo de alimentos em ambiente doméstico e ocorre, tanto em ambientes interno, quanto em abertos e com o uso de diversos tipos de biomassa (GRAHAME; KLEMM; SCHLESINGER, 2014 . Du et al (2017 e 2020), por exemplo, encontraram níveis mais altos de BC em ambientes internos de residências rurais do que em áreas urbanas devido a extensa queima de combustíveis sólidos em fogões domésticos. As concentrações médias de MP_{2,5} e MP_{1,0} em aldeias do Norte da China que utilizam lenha para cozinhar e para o aquecimento foram de

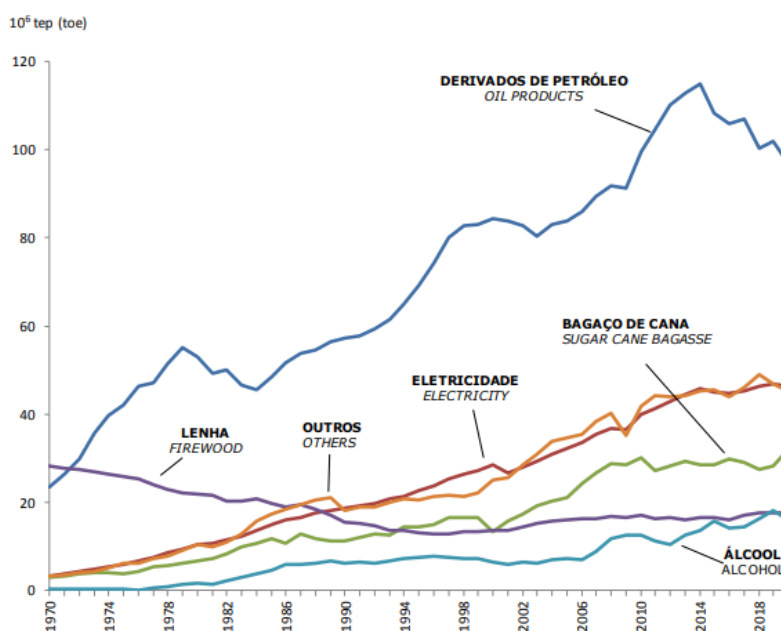
521 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 166 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente. Já em aldeias do Sul que utilizam a lenha somente para cozinhar foram de 428 e 521 $\mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$ e $\text{MP}_{1,0}$ respectivamente.

Um estudo realizado em residências, no Planalto do Tibete, na Ásia Oriental, também encontrou concentrações elevadas de $\text{MP}_{2,5}$ devido a queima de biomassa em fogões tradicionais e aberta. A concentração média encontrada no verão foi de 150 $\mu\text{g m}^{-3}$, chegando a 507 $\mu\text{g m}^{-3}$ no inverno, com os maiores picos de concentração observados nos horários em que as refeições eram preparadas (CARTER et al., 2016).

Em outro estudo, realizado em cozinhas de residências de diversos países, a concentração média de $\text{MP}_{2,5}$ encontrada em cozinhas na Índia foi de 45 $\mu\text{g m}^{-3}$, enquanto na Ásia a concentração atingiu 82 $\mu\text{g m}^{-3}$. As menores concentrações medidas foram na África (17 $\mu\text{g m}^{-3}$) e na América do Sul (10 $\mu\text{g m}^{-3}$) (KUMAR et al., 2022).

A Figura 3 apresenta o consumo de lenha nos últimos 50 anos, em relação a outras fontes utilizadas no Brasil durante esse período. O consumo de lenha tem se mantido relativamente constante desde 1990, indicando que mesmo com o crescimento da utilização de outras fontes como, por exemplo, derivados de petróleo e eletricidade, o uso dessa fonte ainda é muito importante no país.

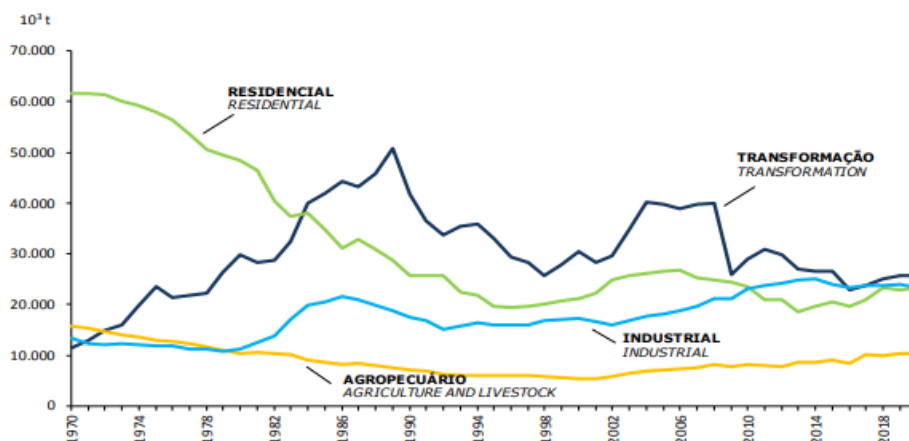
Figura 3 - Consumo final por fonte energética no Brasil de 1970 a 2020.



Fonte: BEN,2021

A Figura 4 apresenta o consumo de lenha no país em relação aos diversos setores econômicos, no ano de 2020 o consumo residencial ficou muito próximo ao setor industrial e de transformação.

Figura 4 - Consumo de lenha no Brasil em diversos setores de 1970 a 2020.



Fonte: BEN,2021

Transformação = Produção de carvão vegetal em geração elétrica.

Os fogões à lenha no Brasil foram gradativamente substituídos por fogões a gás. No entanto, fogões à lenha tradicionais são ainda muito comuns no semiárido brasileiro e, em partes dos estados do Sul do país e Minas Gerais. Uma alternativa aos fogões à lenha tradicionais são os denominados ecológicos, que são mais limpos e eficientes, porém ainda pouco utilizados no Brasil (MAZORRA et al., 2019)

A exceção ao uso feito em área rural, os fogões à lenha no Brasil são principalmente utilizados em restaurantes típicos para agregar sabor e valor aos alimentos. Na mesma direção, em pizzarias os fornos à lenha são utilizados para agregar valor às pizzas, uma vez que melhora o aroma e sabor. As pizzarias são os principais estabelecimentos de serviços comerciais de alimentação que utilizam a lenha para o preparo de alimentos. (BARROSO, 2008).

A pizza é uma das comidas mais populares do mundo, com as primeiras pizzarias abertas em Nápoles, na Itália, na primeira metade do século 10. A partir de 1700, muitas pizzarias comerciais foram abertas na Itália e no mundo (BUONANNO et al. 2010). Por exemplo, na cidade de São Paulo existe cerca de 8.000 pizzarias e aproximadamente 80% delas usam lenha, em sua maioria eucalipto para a cocção das pizzas. A quantidade média utilizada de lenha nas pizzarias de São Paulo é estimada em 48 toneladas/ano. Assim, a queima de biomassa na cidade é uma

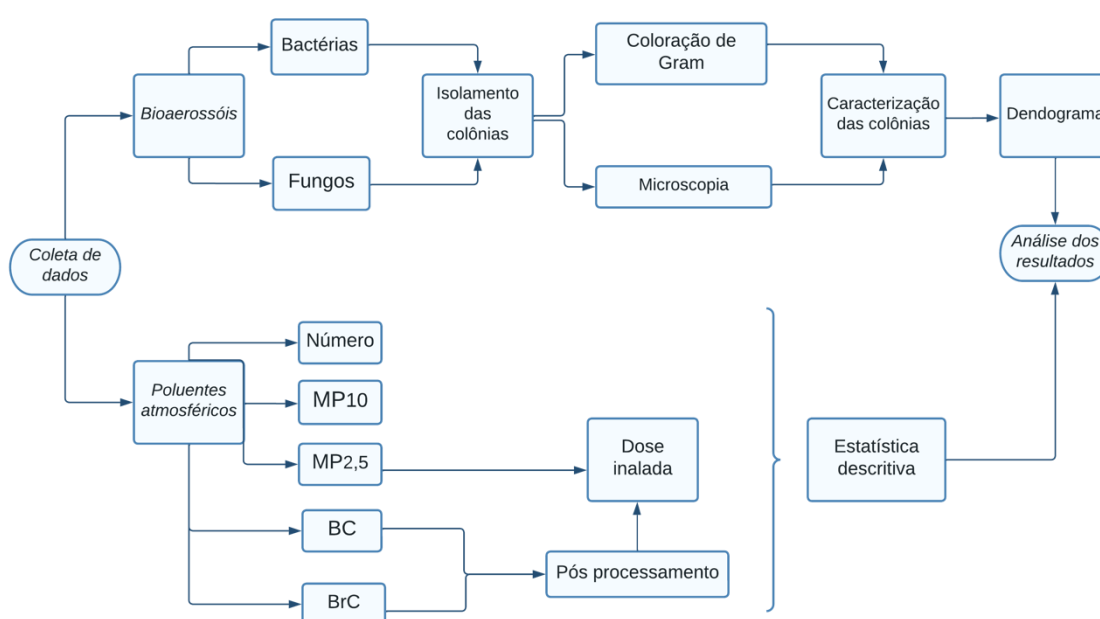
importante fonte local e contínua de poluição atmosférica (KUMAR et al., 2016b; LIMA et al., 2020).

4 METODOLOGIA

Inicialmente cabe destacar os requisitos considerados na escolha dos locais de amostragem que foram: i) o uso de lenha (e não o de briquete) nos fornos destinados ao preparo dos alimentos; ii) ser um estabelecimento de serviços de alimentação comercial; iii) a autorização por parte do proprietário ou responsável para realizar as medidas; iv) a capacidade produtiva do estabelecimento de forma a contemplar as mais diversas condições existentes.

O fluxograma das etapas utilizadas para a realização deste trabalho está apresentado na Figura 5 que sintetiza a metodologia utilizada.

Figura 5 - Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: Autoria própria (2022)

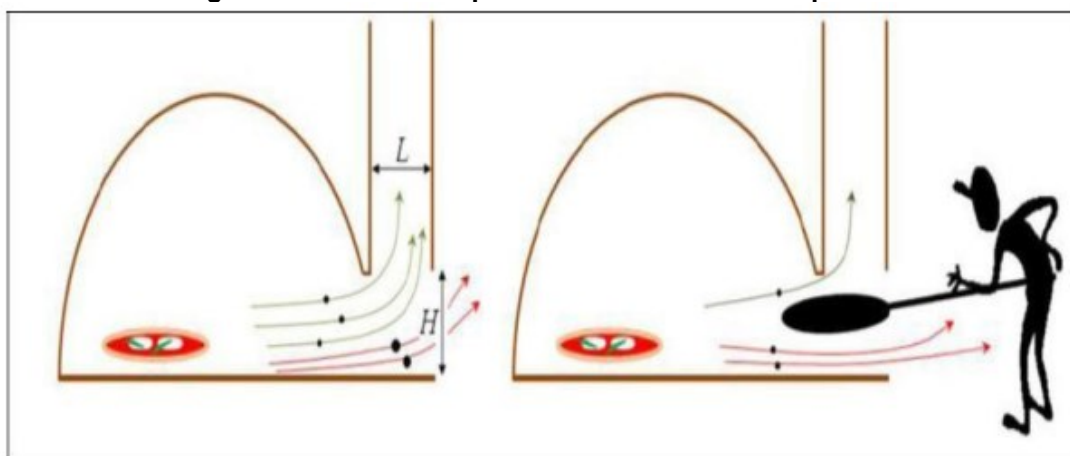
4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em três pizzarias, que realizam a atividade da cocção de alimentos em forno à lenha, localizadas na cidade de Londrina. Ambas estão localizadas em área urbana, próximas a residências e comércio, sem indústrias próximas e ausência de grandes aglomerados de vegetação no entorno. A Pizzaria 1 (P1) está localizada no Jardim São Vicente de Palotti, o local fica em uma via com um fluxo de veículos moderado, sendo uma pizzaria de bairro, possuindo uma cozinha aberta em relação a área dos clientes. As Pizzarias 2 (P2) e 3 (P3) estão localizadas

no centro da cidade, próximo a vias com um grande fluxo de veículos. A Pizzaria 2 tem cozinha em estilo americana com um ambiente aberto em relação ao caixa e a Pizzaria 3 tem uma cozinha fechada que não apresenta saída para a área dos clientes, e sim para uma área semiaberta.

A Figura 6 ilustra um típico forno à lenha de pizzaria, com os parâmetros L : largura da chaminé e H : altura da abertura da face do forno. Na Figura estão representadas as aberturas dos fornos das três pizzarias estudadas.

Figura 6 - Desenho Esquemático de um Forno de pizzaria.



Legenda: L: largura da chaminé e H: altura da abertura da face do forno.

Fonte: BUONANNO et al. (2010)

Figura 7 - Abertura do forno da (a) Pizzaria 1, (b) Pizzaria 2 e (c) Pizzaria 3.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 1 apresenta as principais características das três pizzarias onde foram realizadas as medidas.

Tabela 1 – Principais características das três pizzarias (P1, P2 e P3)

Pizzaria	Localização	Altura da chaminé (m)	Produção pizza/semana	Lenha utilizada (m ³ /semana)	Sistema de ventilação	Tipo de lenha
(P1)	Avenida	5	220	3	Natural	Eucalipto
(P2)	Avenida	5	800	2	Natural	Eucalipto
(P3)	Rua	4	375	4	Natural	Eucalipto

Fonte: Estabelecimento comercial, Autoria própria (2023)

A P2 mesmo intitulada pizzaria também comercializa outros produtos, como pratos feitos durante o dia, já as P1 e P3 trabalham somente com pizzas. Na Tabela 2 características da amostragem como os horários em que o forno foi aceso, início/fim da amostragem, além das condições de tempo observadas e sistema de atendimento aos clientes e capacidade dos locais.

Tabela 2 - Caracterização dos dias das amostragens

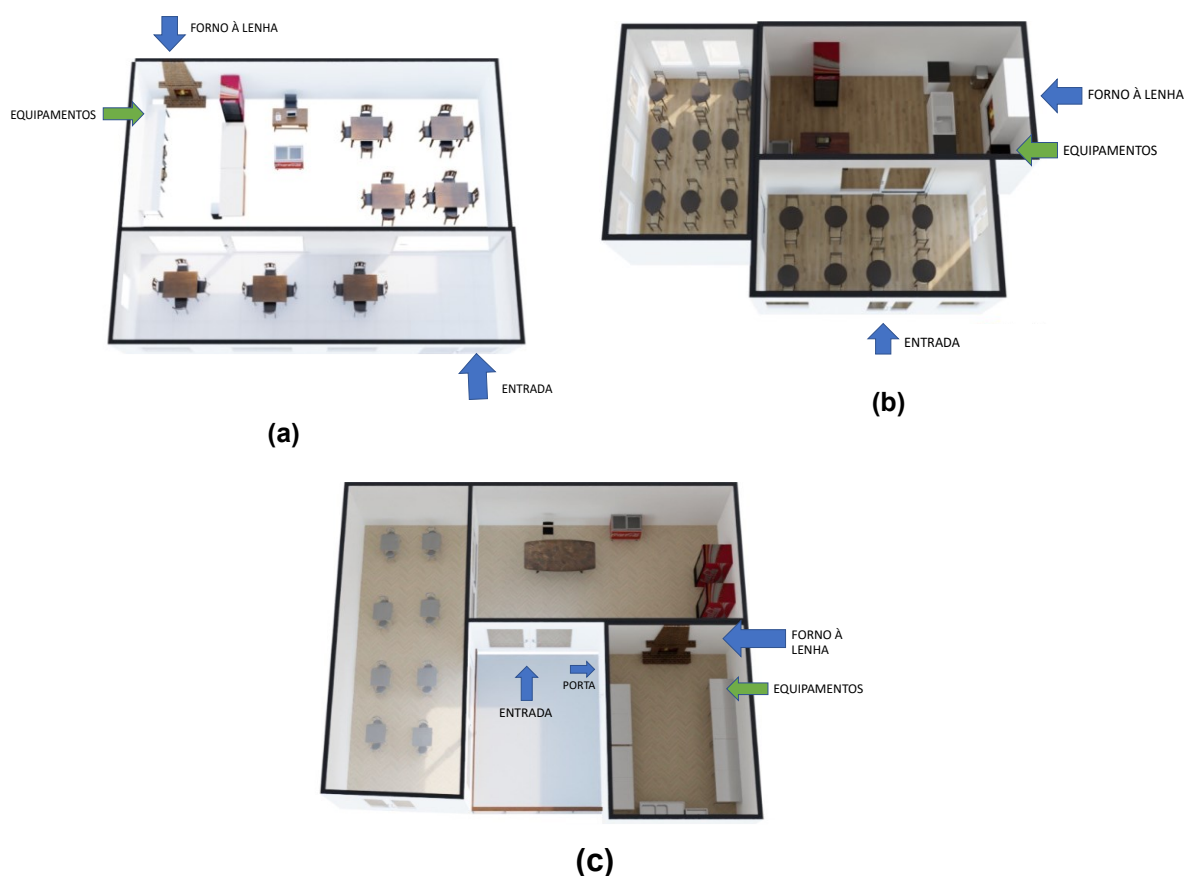
		Horário que o forno foi aceso	Início da amostragem (MP, BC e BrC)	Fim da amostragem (MP, BC e BrC)	Início da amostragem (bioaerossóis)	Fim da amostragem (bioaerossóis)	Tempo	Sistema/capacidade do local
P1	DIA 1	17:45	18:00	21:15	18:10	19:00	Tempo limpo	Somente delivery
	DIA2	17:49	17:45	21:10	18:00	18:50	Chovendo	Somente delivery
	DIA 3	17:30	17:45	21:17	17:40	18:30	Parcialmente nublado	Somente delivery
P2	DIA 1	16:55	16:40	20:10	17:10	18:00	Parcialmente nublado	80% das mesas ocupadas
	DIA 2	16:45	16:30	20:15	17:00	17:50	Tempo limpo	90% das mesas ocupadas
P3	DIA 1	16:30	16:40	20:20	16:40	17:30	Tempo limpo	Delivery e pessoas indo buscar no local
	DIA 2	16:30	16:40	20:15	16:40	17:30	Tempo limpo	Delivery e pessoas indo buscar no local
	DIA 3	16:40	16:45	20:25	16:50	17:40	Parcialmente nublado	Delivery e pessoas indo buscar no local

Fonte: Estabelecimento comercial, Autoria própria (2022)

4.2 Amostragem e análise de material particulado (MP) e massa e número (NP), *Black carbon* (BC) e *Brown Carbon* (BrC)

As amostragens dos poluentes estudados (MP, NP, BC e BrC) foram realizadas nas três pizzarias no ano de 2022, no período do inverno, às terças e quartas-feiras. As medidas de concentração das partículas foram realizadas no ambiente interno das pizzarias próximo ao local dos fornos (no interior das cozinhas, próximos ao preparo dos alimentos) e, em geral, desde o início de funcionamento dos fornos, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Croqui das P1 (a), P2 (b) e P3(c).



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a medida da concentração em número de partículas (partículas por litro ou partículas por cm^3 de ar) foi utilizado o contador de partículas, modelo 804 da marca Met One Instruments. Esse equipamento tem como princípio de funcionamento a contagem de partículas usando o método de espalhamento da luz. O contador mede o número de partículas no ar, na faixa de tamanho selecionada pelo usuário. O

equipamento funciona em quatro canais de contagem, que podem ser selecionados pelo usuário. Os tamanhos de interesse foram os de menor tamanho, ou seja, de 0,3 (NP0,3); 0,5 (NP0,5); 1,0 (NP1,0) e 2,5 μm (NP2,5) pelas características da atividade e relevância da medida em número para tamanhos menores. Os valores de NP representam o número total de partículas entre a faixa de tamanho selecionada até aproximadamente 15 μm de tamanho. O diâmetro de 0,3 μm é o menor tamanho possível para medida no equipamento utilizado.

Para a medida de concentração de MP foi utilizado um monitor de massa de aerossol, modelo Aerocet 831 da marca Met One. 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.

As concentrações de BrC e BC foram obtidas com o equipamento microAeth® MA200 (AETHLABS, 2018) que opera medindo o material carbonáceo absorvedor de luz em 5 comprimentos de onda (880 nm, 625 nm, 528 nm, 470 nm, 375 nm). A medição é realizada de forma automática em tempo real da taxa de atenuação da luz transmitida através do filtro de amostra, devido à deposição contínua de partículas, em um cartucho de fita de quartzo que é convertida em concentração expressa em nanogramas por metro cúbico (ng m^{-3}) usando a absorbância óptica conhecida por unidade de massa do material absorvedor (BC). Neste estudo, a vazão de ar utilizada foi de 75 mL min^{-1} com registro a cada 1 minuto, com operação contínua.

Para esse estudo foi dada ênfase ao comprimento de onda de 880 nm, referente ao BC e ao comprimento de 375 nm, que foi denominado de BrC, pois é interpretado como material particulado ultravioleta (do inglês Ultraviolet Particulate Matter) proveniente de queima de madeira, tabaco e de biomassa. 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 (AETHLABS, 2018).

Os valores foram pós – processados após a coleta tendo em vista que é necessário fazer esse procedimento já que o aparelho é bastante sensível (resolução de 0,001 $\mu\text{g BC m}^{-3}$) e as interferências devem ser corrigidas. Foi necessário realizar o pós processamento nas medidas da P1 e P3 já que apresentaram grande parte dos

valores negativos. Os dados foram processados no site do fabricante do microAeth® MA200, utilizando o algoritmo *Optimized Noise-reduction Averaging* (ONA), sendo um algoritmo de suavização de janela variável que usa a alteração na atenuação óptica (ATN) para determinar o tamanho da janela de suavização para os dados de Black Carbon (BC) (AETHLABS, 2018).

Os equipamentos utilizados foram colocados em uma mochila com os *inlets* para a fora da mochila, fixados próximos a entrada do forno, a altura aproximada de 1,20 m do chão. A mochila foi equipada com os seguintes equipamentos: medidor de temperatura e umidade Onset HOBO UX100-023 (Figura 9), contador de partículas, monitor de concentração de massa e o medidor de BC.

Figura 9 – Equipamentos utilizados nas amostragens: (a) Medidor MicroAeth MA200 para monitoramento de BC no ambiente interno, (b) Met One 804 e Met One 831e (c) Sensor de temperatura e umidade relativa, Onset HOBO UX100-023



Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 Amostragem e análise dos bioaerossóis

A amostragem foi realizada de modo ativo, por meio de um impactador SKC biostage (Figura 10) que coleta os bioaerossóis 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. Os meios de cultura utilizados foram:

Plate Count Agar (PCA), para cultivo de bactérias, e *Sabouraud* (SAB), para cultivo de fungos.

A coleta foi realizada com a vazão de ar do equipamento em $28,3 \text{ L min}^{-1}$. Cada placa de Petri permaneceu no equipamento durante 5 minutos, sendo realizada no ambiente da cozinha, a aproximadamente 1,20 m do chão (Figura 10), em triplicata para cada tipo de meio. Uma placa de cada tipo de meio foi levada fechada na caixa de térmica, para verificação de possível contaminação no meio de cultura durante o transporte (placa controle).

Após as coletas, as placas contendo meio de cultura PCA foram incubadas em estufa bacteriológica (Fanem, Brasil) por um período de 24 horas em temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. As placas com meio de cultura SAB foram incubadas por um período de 96 horas à temperatura de 25°C em incubadora BOD (Eletrolab). Após o período de incubação foi realizada a contagem de todas as Unidades Formadoras de Colônia (UFC) presentes nas placas de Petri e, na sequência, realizou-se a análise das características culturais macroscópicas (cor, forma, margem, densidade, aspecto/textura, superfície, tamanho).

Figura 10 – Impactador SKC biostage em um dos locais de estudo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Após a contagem das colônias presentes no meio PCA, foi realizado o isolamento das colônias de acordo com as características macroscópicas, utilizando a técnica do esgotamento por estrias em novas placas de Petri com 20 mL de meio de cultura PCA, que foram incubadas por 24h a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Após o crescimento, realizou-se a

caracterização morfotintorial, pela técnica de coloração de Gram seguindo a metodologia de Ana, Vieira, 2012.

No caso das placas com meio SAB, foi realizado o isolamento dos fungos filamentosos, utilizando a técnica da colônia gigante em novas placas de Petri com 20 mL de meio de cultura SAB que foram incubadas por 72h a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Após o desenvolvimento das colônias foram observados o verso e anverso do meio e confirmar a caracterização cultural macroscópica e, posteriormente foi feita a técnica do microcultivo para análise microscópica para observação das hifas e estruturas de reprodução. Não foi realizada a caracterização das colônias de leveduras.

Com os dados provenientes das caracterizações das colônias foram construídos dendrogramas para analisar as diferenças de diversidade colonial nas pizzarias. O dendrograma é uma árvore que exhibe os grupos formados por agrupamento de observações em seus níveis de similaridade. Os critérios utilizados para a construção do dendrograma foram cor, forma, margem, densidade, superfície a classificação em Gram-positiva ou Gram-negativa, para bactérias e para os fungos foram a cor, tamanho e o aspecto/textura. O dendrograma foi feito no software R.

4.4 Dose potencial inalada

A dose média de deposição respiratória foi calculada seguindo a metodologia utilizada no trabalho de Moreira et al., (2018) que seguiu a USEPA (US EPA, 2011). Para a análise de exposição aos poluentes foi utilizado o cálculo da dose potencial inalada (Equação 1) pelas pessoas, em ambos os locais de medida, e que fornece uma estimativa da dose ingerida por via aérea e de risco à saúde humana (LIU et al., 2015).

$$\text{Dose potencial inalada} = \frac{(Ca \times Ti \times De)}{(Pc \times Tm)} \quad (1)$$

Onde, Ca é a concentração no ar de $\text{MP}_{2.5}$ ou BC ou BrC ($\mu\text{g m}^3$), Ti é a taxa de inalação ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), De, duração da exposição (h), Pc é a massa corporal do indivíduo (kg) e Tm é o tempo médio (h) ou período médio em que ocorreram as medidas. Para a Ti foi considerada a média dos valores das atividades leve e moderada (assumida como similar à atividade realizada nas cozinhas), de acordo com EPA (2011), sendo $1,86 \text{ L h}^{-1}$, a De foi de 3h (considerado o tempo médio diário da atividade), Pc foi 70kg

(peso médio de um homem) e T_m de 3h, tempo médio de realização das medidas em cada amostragem.

4.5 Análise estatística

Após a coleta, foram feitas análises estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, mínimo e máximo), teste de normalidade e semelhança, além da correlação entre as variáveis. A média aritmética (\bar{x}) é uma medida de centralidade encontrada por meio da soma dos valores e dividido pelo número total desses valores, como mostrado na equação 2. O desvio padrão (S), indica o grau de variação de um conjunto de elementos, foi calculado pela equação 3 (MONTGOMERY, 2021).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) foi calculado, sendo que o coeficiente varia de -1 (quando apresenta maior correlação negativa) à 1 (quando apresenta maior correlação positiva). Para $\rho = -1$, à medida que x cresce, y decresce e para $\rho = 1$ conforme x cresce, y também aumenta (MONTGOMERY, 2021).

Também foi realizado o teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk, quando $p > 0,05$ a hipótese nula é aceita e os dados são considerados distribuídos normalmente, porém se o valor for menor ou igual ao nível de significância, $p < 0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula e considerar que os dados não seguem distribuição normal.

Se normal foi aplicado a análise T-student (paramétrico) e se não normal foi aplicado a análise Mann-Whitney (não paramétrico), sendo que o p valor determina se a diferença entre as medianas da amostra é estatisticamente significativa. O p valor mostra a significância. Se o valor de p for menor ou igual ao nível de significância (0,05), pode-se afirmar que a diferença entre as medianas da amostra é estatisticamente significativa.

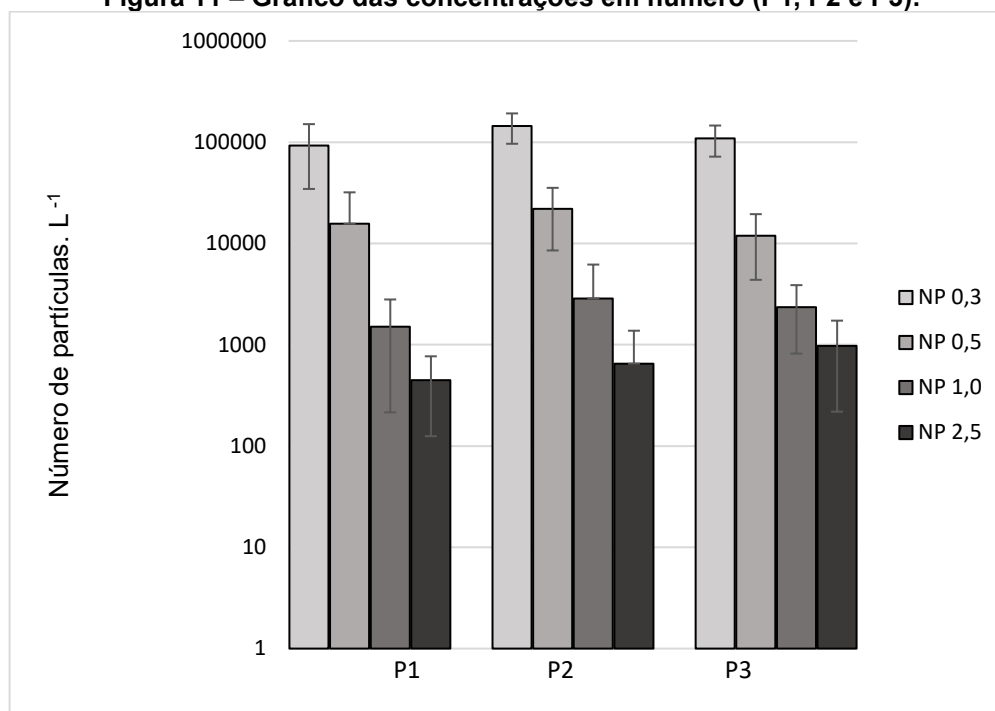
O software R versão 4.2.2 (The R Foundation, EUA) foi utilizado para a realização das análises estatísticas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MATERIAL PARTICULADO EM NÚMERO

A Figura 11 mostra as concentrações médias e o desvio padrão do número de partículas L^{-1} , representadas em uma escala logarítmica na base 10 para P1, P2 e P3. As concentrações em número das partículas incluindo as mais finas (NP0,3 - NP1,0), que em geral, estão em maior número foram maiores na P2, seguido da P3 e P1. Apenas para as partículas grossas (acima de $2,5 \mu m$ - NP2,5) a ordem foi das maiores concentrações na P3, seguida da P2 e P1. As concentrações das partículas finas na P2 foram superiores a P3 em 24,5%, 45,7% e 21,9% para NP0,3, NP0,5 e NP1,0, respectivamente. As maiores concentrações foram de NP0,3 uma vez que a medida corresponde a todas as partículas com tamanho igual ou superior a $0,3 \mu m$ até aproximadamente $15 \mu m$.

A P3 apresentou uma concentração média de NP2,5 54,1% maior que a P1 e 33,3% maior que a P2, enquanto a P2 obteve concentrações superiores a P1 para os tamanhos NP0,3 de 35,8%, NP0,5 de 28,6 % e NP1,0 de 47,3%.

Figura 11 – Gráfico das concentrações em número (P1, P2 e P3).

Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3, Concentração em número, Unidade: Número de partículas L⁻¹

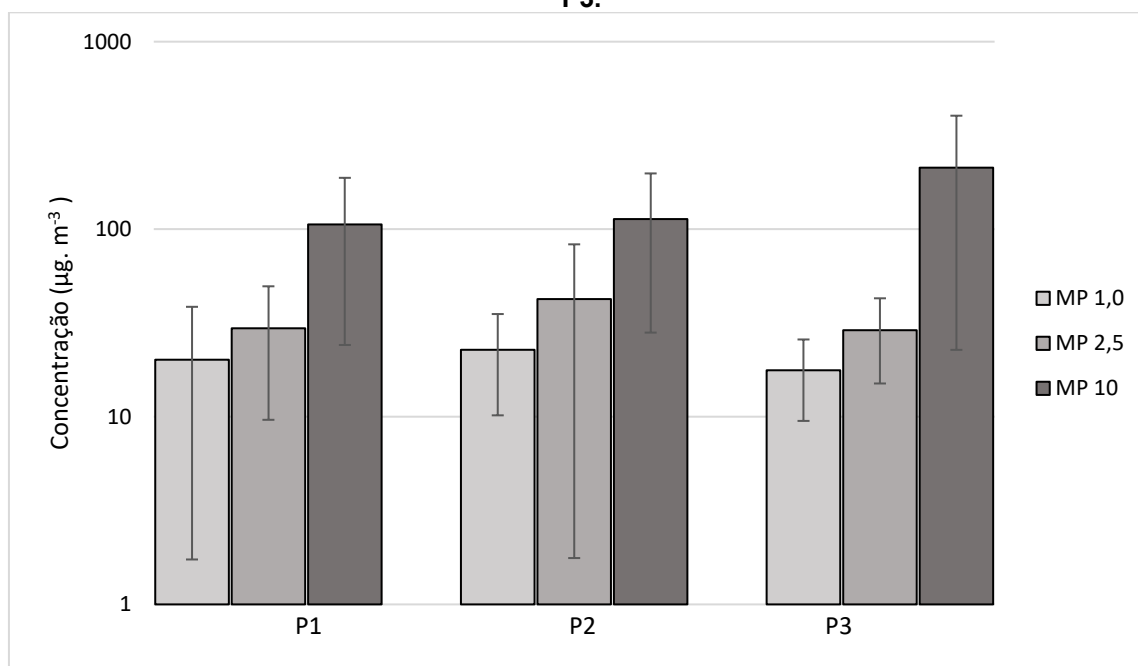
As P1 e P3 não tiveram grande fluxo de pessoas no local nos dias de amostragem, enquanto a P2, que possui rodízio, registrou uma grande quantidade de pessoas nos dois dias de coleta. Além dessa característica, que justifica em parte os maiores valores encontrados das partículas finas na P2 em relação as demais, a P2 apresenta maior produção de pizzas e está localizada em avenida com intenso fluxo veicular. Devido o material particulado permanecer suspenso no ar, especialmente as partículas menores e poder ser transportado, é possível que as partículas emitidas pelas fontes veiculares tenham contribuído com as concentrações observadas, corroborando com outros trabalhos (DE ALMEIDA et al., 2018; LIMA et al., 2020; MOREIRA et al., 2018b).

5.2 MATERIAL PARTICULADO EM MASSA

Na Figura 12 pode-se observar as concentrações médias em massa nos locais. A P2 apresentou uma maior concentração de MP_{1,0} e MP_{2,5}, enquanto para MP₁₀ foi na P3 que apresentou uma concentração ($212,8 \pm 190,1 \mu\text{g m}^{-3}$) bem superior em comparação com as demais pizzarias (P1 apresentou uma concentração de $106,1 \pm 81,9 \mu\text{g m}^{-3}$ e a P2 de $113,3 \pm 85,2 \mu\text{g m}^{-3}$), todas as pizzarias apresentaram as

concentrações médias de MP_{10} acima dos valores guia da OMS de $45 \mu\text{g m}^{-3}$, valores que são considerados para um período de 24 h que difere do tempo medido, mas é uma referência para as concentrações encontradas. A estatística descritiva dos dados de concentração em número está apresentada na Tabela 15 do Apêndice C.

Figura 12 – Gráfico das concentrações médias em massa (MP) e desvios padrão na P1, P2 e P3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3, Gráfico em massa de MP, unidade: Concentração ($\mu\text{g m}^{-3}$).

O comportamento encontrado explicitado acima é coerente com as características dos locais (Tabela 1). A P2, assim como para o número apresentou as maiores concentrações em massa para as partículas finas, pois dentre as pizzarias é a que apresenta maior produção, maior circulação de pessoas e, possivelmente maior influência do ar externo. Já a P3 o local de preparo das pizzas é fechado (Figura 7 c) com troca de ar apenas pela porta existente, que permaneceu a maior parte do tempo fechada. O manuseio dos alimentos e da lenha, somado a baixa circulação de ar, contribuíram para a maior concentração de MP_{10} na P3. A ventilação pode ser um importante fator para o aumento nas concentrações de MP, BC e BrC em ambientes que não possuem ou tem pouca ventilação (CARTER et al., 2016).

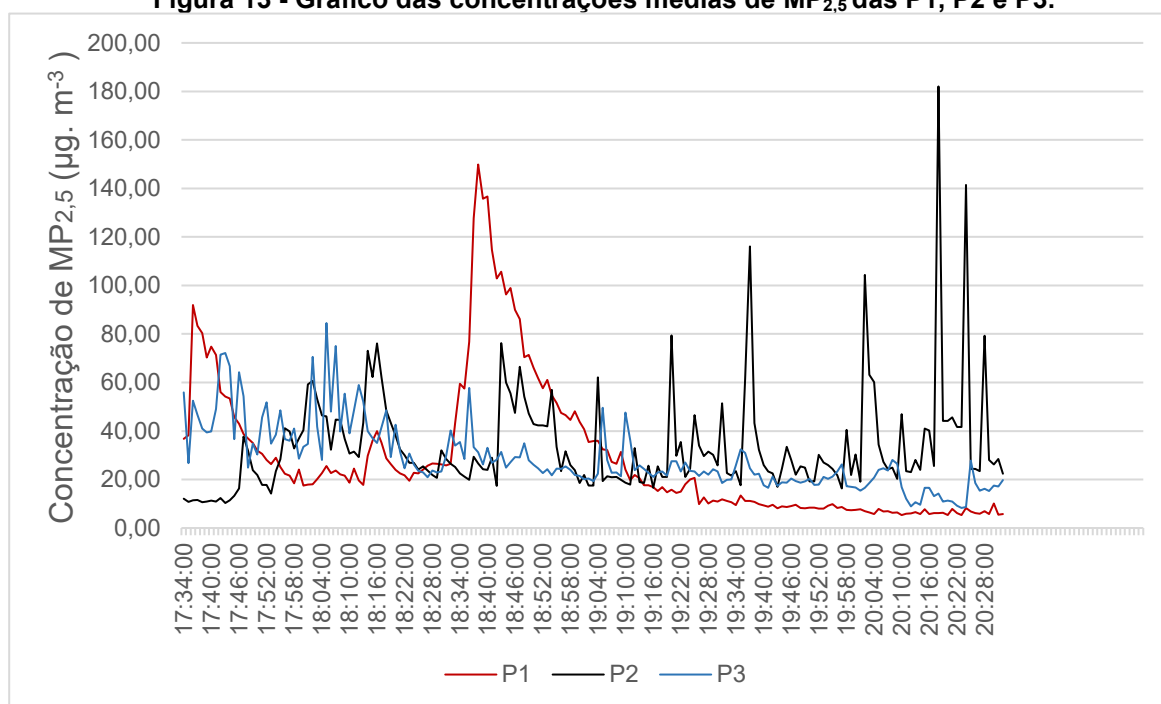
A análise estatística realizada confirma que as concentrações de MP apresentam uma distribuição não normal (Apêndice B), em ambas P1, P2 e P3. Assim, o teste de Mann Whitney foi aplicado e confirmou que as concentrações de MP observadas não são estatisticamente semelhantes nos locais ($p = 0,05$).

Em um estudo em residências da área rural no sudoeste da china que utilizam a lenha como único combustível para cozinhar, aquecer água e o ar ambiente encontrou uma concentração média diária de $MP_{2,5}$ de $150 \pm 244 \mu\text{g m}^{-3}$ no verão e de $577 \pm 851 \mu\text{g m}^{-3}$, no inverno com concentrações atingindo $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ (CARTER et al., 2016). Enquanto nesse trabalho as concentrações médias de $MP_{2,5}$ variaram de $28,9 \mu\text{g m}^{-3}$ na P3 a $42,4 \mu\text{g m}^{-3}$ na P2, valores que estão acima do recomendado pela OMS ($MP_{2,5}$ de $15 \mu\text{g m}^{-3}$ para um período de 24h). Em outro estudo, realizado em residências na Índia, que utilizam biomassa para cocção de alimentos, encontrou concentrações médias de $77 \mu\text{g m}^{-3}$, $95 \mu\text{g m}^{-3}$ e $123 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_1 , $MP_{2,5}$ e MP_{10} , respectivamente (BUONANNO et al. 2010). As características dos locais e do processo de queima influenciam significativamente nas concentrações observadas no ambiente e que diferem entre os estudos, principalmente nos estudos realizados em áreas rurais, onde a queima é realizada, em geral, de forma arcaica.

Bond S. J. Zender (2013) também avaliou a exposição pessoal de funcionários, em cozinhas que utilizam a lenha como principal combustível para cocção de alimentos. No estudo, realizado na África, as concentrações de $MP_{2,5}$ apresentaram picos nos momentos em que os voluntários estavam cozinhando, em cozinhas fechadas, semifechadas e ao ar livre.

Na Figura 13 pode-se observar as concentrações de $MP_{2,5}$ nas três pizzarias durante o período de amostragem. As pizzarias apresentam uma semelhança em relação as diversas oscilações demonstrando assim que a queima da biomassa gera picos de emissões em muitos momentos. Em todas as pizzarias os funcionários reabasteceram o forno durante a amostragem, ficando evidente na P1 um aumento na concentração próximo ao horário das 18:40, horário em que se inicia uma maior movimentação na pizzaria. A P2 pela característica da oferta do serviço de rodízio a partir das 19:00 apresenta diversos picos de concentração associados a maior demanda.

Figura 13 - Gráfico das concentrações médias de MP_{2,5} das P1, P2 e P3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

5.3 BLACK CARBON E BROWN CARBON

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da estatística descritiva das concentrações de BrC e BC nas três pizzarias. Os dados de BC e BrC apresentaram uma distribuição normal (Apêndice B) apenas na P1 para o primeiro e segundo dia. Para os demais dias e locais os valores de BrC e BC apresentaram uma distribuição não normal (Apêndice B).

Pode-se observar na Tabela 3 que a maior faixa de concentração foi na P3, onde atingiu um valor de 42,5 µg m⁻³ de BC, pizzaria que permaneceu com o ambiente fechado durante grande parte da medida. De acordo com as informações obtidas com os responsáveis dos estabelecimentos ambas as pizzarias possuem um consumo de lenha muito parecido, a P1 de 3 m³/semana e a P3 de 4 m³/semana.

A SEMA - PR nº 54/ 2006 estabelece uma altura mínima de 10 metros acima do solo ou altura superior a 3 metros da edificação onde a fonte poluidora está

instalada (SEMA, 2006). As três pizzarias apresentam uma altura da chaminé inferior a legislação.

Tabela 3 – Estatística descritiva para black carbon e brown carbon nos ambientes das três pizzarias (P1, P2 e P3).

Variável ($\mu\text{g. m}^{-3}$)	P1		P2		P3	
	BrC	BC	BrC	BC	BrC	BC
Faixa de concentração	0,03 – 5,8	0,41 – 4,9	0,5– 14,8	0,1 – 15,0	0,3 – 29,3	0,1 – 42,5
Média	2,0	3,0	2,9	2,8	4,8	6,7
Desvio padrão	1,2	1,3	2,6	1,8	3,2	5,3
Mediana	0,7	2,4	2,0	1,8	3,4	2,8

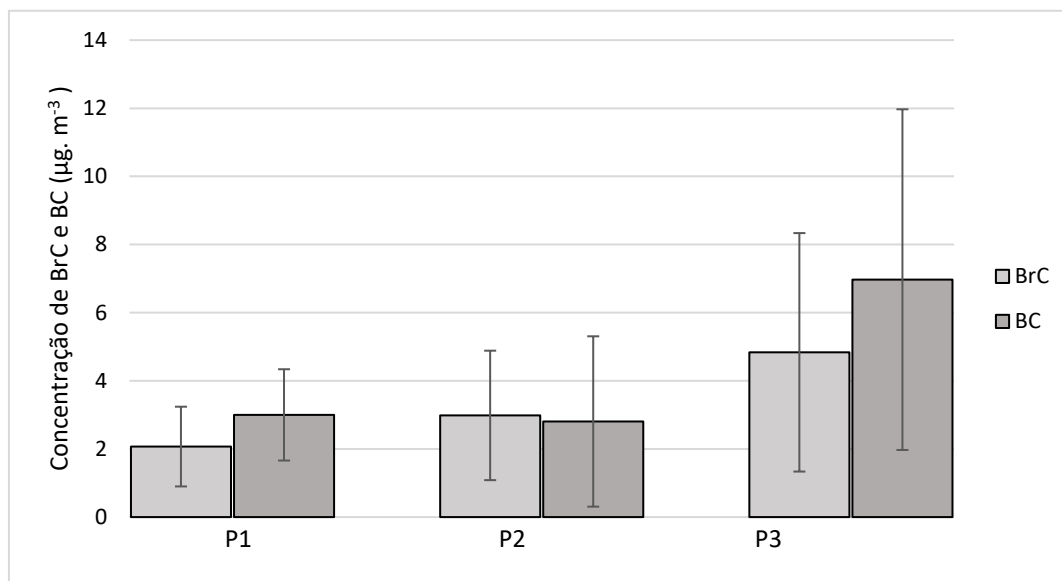
Fonte: Autoria própria (2022)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

As maiores concentrações de BrC e BC foram notadas na P3, pizzaria que permaneceu com o ambiente fechado durante a maior parte da coleta e possui o maior consumo de lenha entre as três pizzarias. A P3 também teve o maior desvio padrão dos valores entre as pizzarias estudadas. Por outro lado, nas P1 e P2 é possível observar (Figura 14) que as concentrações médias de BC foram próximas. No entanto, com medianas distintas, indicando a maior ocorrência de picos na P2 (maior desvio) e menor variabilidade ao longo do tempo das concentrações na P1, tanto para BC como para BrC. Na P2 o BrC apresentou uma concentração superior a de BC, possivelmente pela temperatura de operação ter sido menor, dada a maior demanda (rodízio) e produção em relação as demais pizzarias, que possivelmente reduziu a temperatura do forno.

É importante lembrar que a queima de biomassa é um processo complexo, resultando em muitos produtos intermediários, dentre esses produtos ocorre a formação de aerossóis orgânicos com propriedades ópticas como BC e BrC que possuem mecanismos diferentes de geração. Enquanto o BC está associado a processos realizados em altas temperaturas, o BrC é característico de processos ocorridos em temperaturas mais brandas, o chamado *flaming* (ADLER et al., 2019; LIMA et al., 2020).

Figura 14 - Gráfico das concentrações médias e desvios padrão de BrC e BC das P1, P2 e P3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

O estudo realizado por Lima e al (2020) em pizzarias na cidade de São Paulo encontrou concentrações internas de BC variando de 7,76 a 55,48 ($\mu\text{g m}^{-3}$) (Lima *et al.*, 2020). Já as concentrações médias de BC nesse estudo variaram de 0,03 a 42,5 $\mu\text{g m}^{-3}$.

O comportamento temporal das concentrações médias de BC e BrC, medidas ao longo do funcionamento de ambas as pizzarias, pode ser observado na Figura 15. Observa-se que para P1 (Figura 15 (a)) os dois poluentes apresentam comportamentos parecidos, com o BC apresentando maiores concentrações. As 18h o forno já estava aceso há pelo menos 1h, podendo observar relativamente maiores valores de BC e BrC próximo ao início da operação do forno. Além disso, pode ser observado a ocorrência de picos de concentração ao longo da medida realizada durante o uso do forno.

A Figura 15 (b) apresenta as concentrações médias de BC e BrC na P2. Na P2 os valores de BC diminuíram a partir das 18:00, após também registro de maiores valores, possivelmente devido ao início da operação do forno que gera mais emissões de partículas. Posteriormente, aproximadamente após as 18:40 observa-se que o BC diminuiu expressivamente, enquanto o BrC apresentou diversos picos e valores muito maiores. Esse comportamento está associado a maior produção de pizzas, decorrente do início da modalidade do serviço de rodízio de pizzas, requerendo uma maior produção e uso do forno. O maior uso resultou, possivelmente, na diminuição da

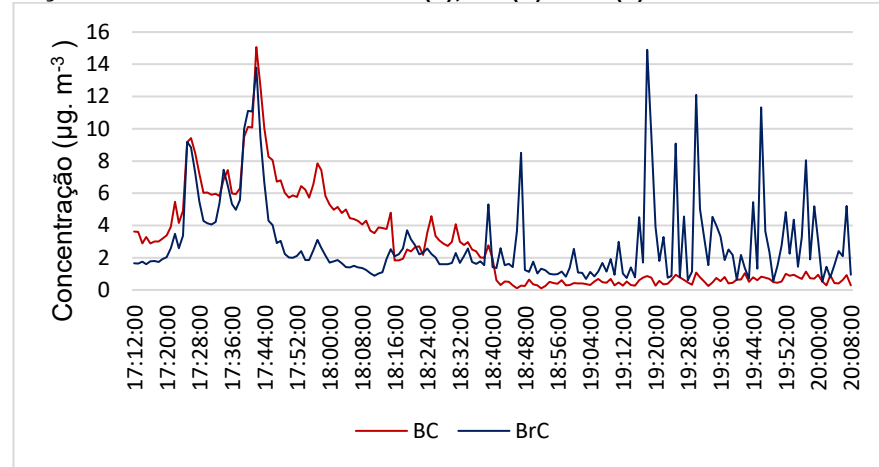
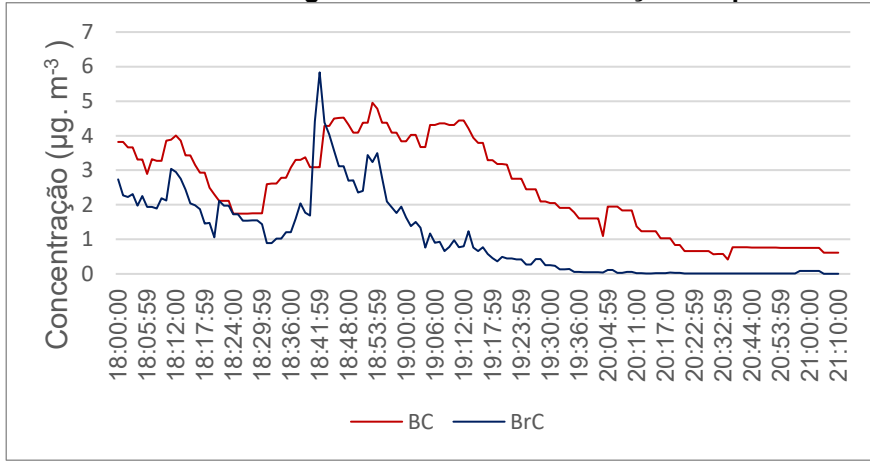
temperatura do processo (forno) e, conseqüentemente, na maior geração de BrC. Embora o comportamento observado de BC e BrC parece ser típico do processo de preparo de pizzas em fornos à lenha, a influência do ar externo com BC de fonte veicular, principalmente, no período anterior as 18:40 não pode ser descartado. Após as 18:40 foi observada uma grande redução na quantidade de carros em circulação na região.

A Figura 15 (c) apresenta as concentrações médias de BC e BrC na P3. Esses valores foram pós processados, como citado na metodologia. De modo geral, as concentrações se mostraram mais elevadas no início da amostragem, período em que o forno é aceso e requer maior quantidade de energia para atingir a temperatura ideal para a cocção da pizza.

É possível observar nos gráficos da Figura 15 as significativas diferenças entre os valores máximos médios atingidos em cada pizzaria. Na P3a concentração de BC atingiu $42,5 \mu\text{g m}^{-3}$. A P3 apresenta uma maior produção de pizzas que a P1 e uma chaminé com uma altura menor, diminuindo a capacidade de exaustão por parte desta.

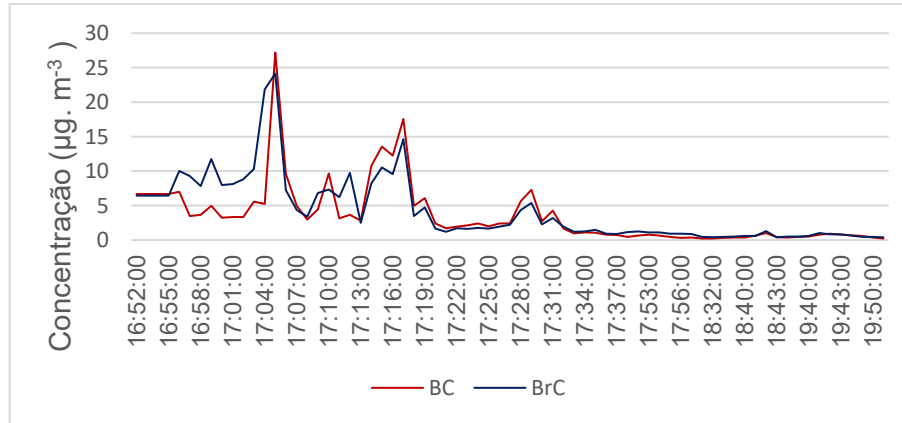
A P3 possui a menor chaminé, apresentando uma menor capacidade de exaustão no ambiente, além disso é a pizzaria que consome a maior quantidade de lenha entre as três, porém produz uma quantidade inferior (53%) a P2. A eficiência do forno pelas suas dimensões e o procedimento adotado na pizzaria para produção das pizzas pode justificar essa diferença, mas um viés na informação do consumo de lenha (P2) não pode ser descartado.

Figura 15 - Gráfico da evolução temporal da concentração média de BC e BrC na P1(a), P2 (b) e P3 (c).



(a)

(b)

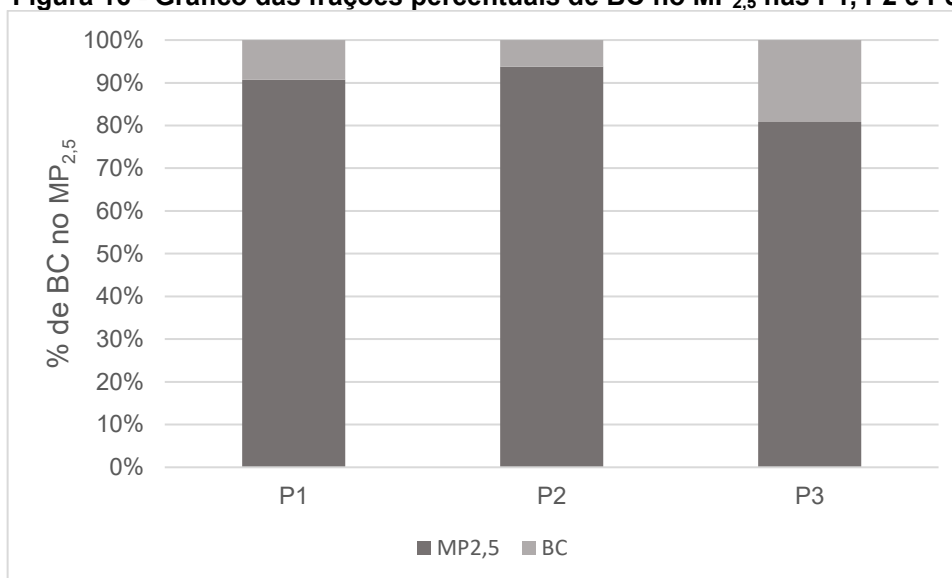


(c)

Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 16 apresenta a fração estimada de BC no $MP_{2,5}$ para ambas as pizzarias. Pode-se verificar a maior fração de BC (20%) no $MP_{2,5}$ na P3 em relação a P1 e P2. A P3 apresentou menor valor médio de concentração de $MP_{2,5}$ e maior de BC em relação a P2, que apresentou comportamento oposto. As diferenças das características dos locais e operação explicam esses resultados. Na P3 o forno, além de abertura diferente, está localizado em local fechado e a produção é relativamente menor que a P2, que tem a modalidade de serviço de rodízio que concentra a demanda, tem maior produção e maior circulação de pessoas. Lima et al., (2020) relataram que a porcentagem de BC no $MP_{2,5}$ foi de aproximadamente 20%, valor próximo ao encontrado na P3.

Figura 16 - Gráfico das frações percentuais de BC no $MP_{2,5}$ nas P1, P2 e P3.

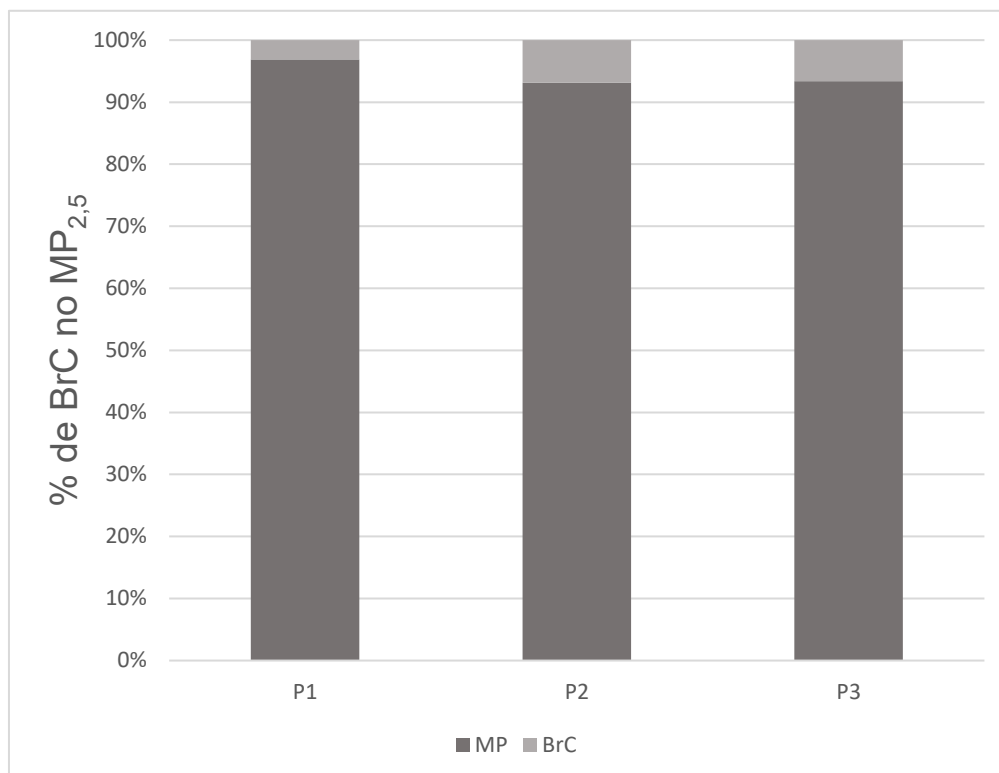


Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

Em termos médios 20% da massa de $MP_{2,5}$ correspondem a BC. Nenhuma das pizzarias faz uso de sistema artificial de climatização, a troca de ar ocorre exclusivamente através das portas e janelas. Com a proibição do ato de fumar em ambientes fechados no Brasil a queima de cigarro não desempenha influência diretamente na caracterização do ambiente interno. A Figura 17 apresenta a fração em massa de $MP_{2,5}$ correspondendo ao BrC. A média, considerando as três pizzarias foi de 6%, podendo a fração de BrC ser considerada como um valor típico da atividade em estudo.

Figura 17 - Gráfico das frações percentuais de BrC no MP_{2,5} nas P1, P2 e P3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

A Tabela 4 mostra as estatísticas descritivas dos valores medidos de temperatura e umidade relativa na P1, P2 e P3. As temperaturas médias na P1 e P2 foram próximas, com menor valor médio e variabilidade na P3. Já a umidade relativa média variou de 47,1% na P1 a 56,7% na P3. Young et al., (2022) afirmam que quanto maior a umidade relativa, maior poderá ser a emissão de poluentes da queima de lenha no ambiente. No estudo, a P3 foi a que apresentou a maior umidade média das três pizzarias e também as maiores concentrações de BC e BrC.

Tabela 4 - Estatística descritiva para temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes das três pizzarias (P1, P2 e P3)

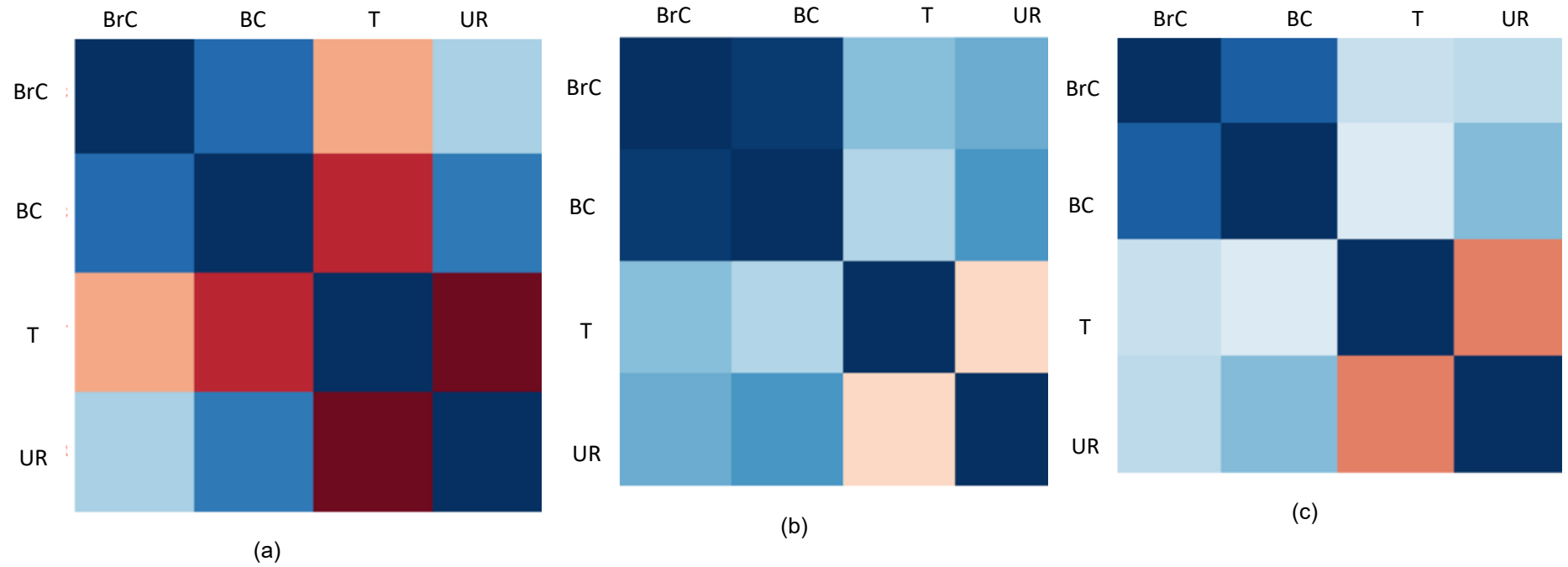
	P1		P2		P3	
	T(°C)	UR (%)	T(°C)	UR (%)	T(°C)	UR (%)
Mínimo	22,1	41,6	27,7	45,4	25,9	54,6
Máximo	31,4	63,4	30,5	54,6	27,2	59,2
Média	28,3	47,1	29,2	50,9	26,4	56,7
Desvio padrão	2,7	5,6	0,81	2,0	0,3	1,4
Mediana	29,6	44,5	29,2	50,9	26,3	56,1

Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

A Figura 18 apresenta as correlações do BC, BrC, T e UR para as três pizzarias. A correlação entre o BrC e BC foi positiva e de forte a bem forte (> 0.8 , forte de 0,70-0.89, moderada de 0.40 – 0.69 e 0,20-0,39 fraca, Hashimoto, 2018), indicando que a fonte predominante de ambos é a mesma, como esperado. Mesmo na P2, localizada em via com alto tráfego veicular, a correlação foi bem forte (0.9). Apenas a P1 apresentou correlação negativa do BC e BrC com a temperatura (forte com o BC), diferentemente da P2 e P3 onde as correlações foram positivas de BC e BrC com a T e UR, variando de fraca a forte. A correlação positiva e de moderada a forte do BC com a UR obtida neste trabalho corrobora a afirmação de Yong et al. (2022) de que a maior umidade relativa do ar leva a um aumento das concentrações de BC e BrC. O ar com mais água que fornece oxigênio à combustão da lenha interfere no processo com a maior geração de fumaça contendo vapor de água e aerossóis. No Apêndice A as Figuras 23 e 24 apresentam a correlação de concentração em número em relação a temperatura e umidade do ar nas três pizzarias.

Figura 18- Análise da correlação de Pearson das concentrações de BrC, BrC, T e UR para (a) P1, (b) P2 e (c) P3.

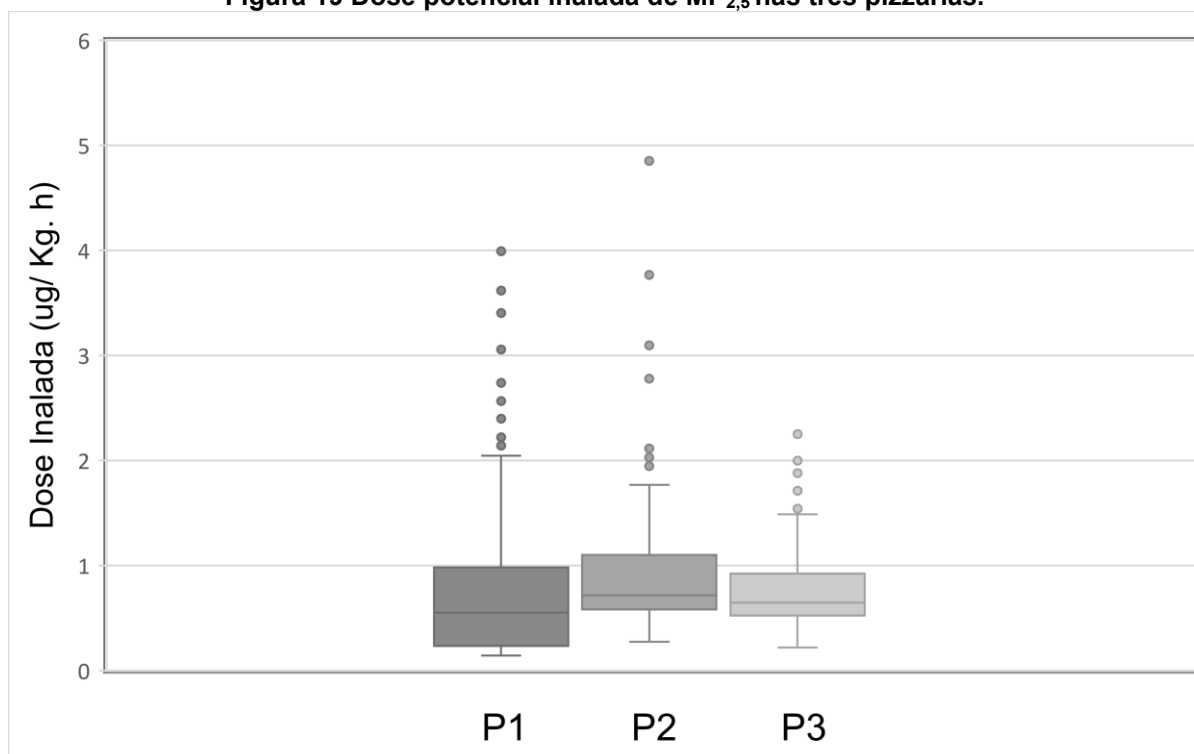


Fonte: Autoria própria (2023)

5.4 DOSE POTENCIAL INALADA

A Figura 19 apresenta a provável dose potencial inalada de $MP_{2,5}$ pelos ocupantes das cozinhas nas três pizzarias. As maiores doses, tanto com base na média como na mediana, foram na P2 e com diversos outliers.

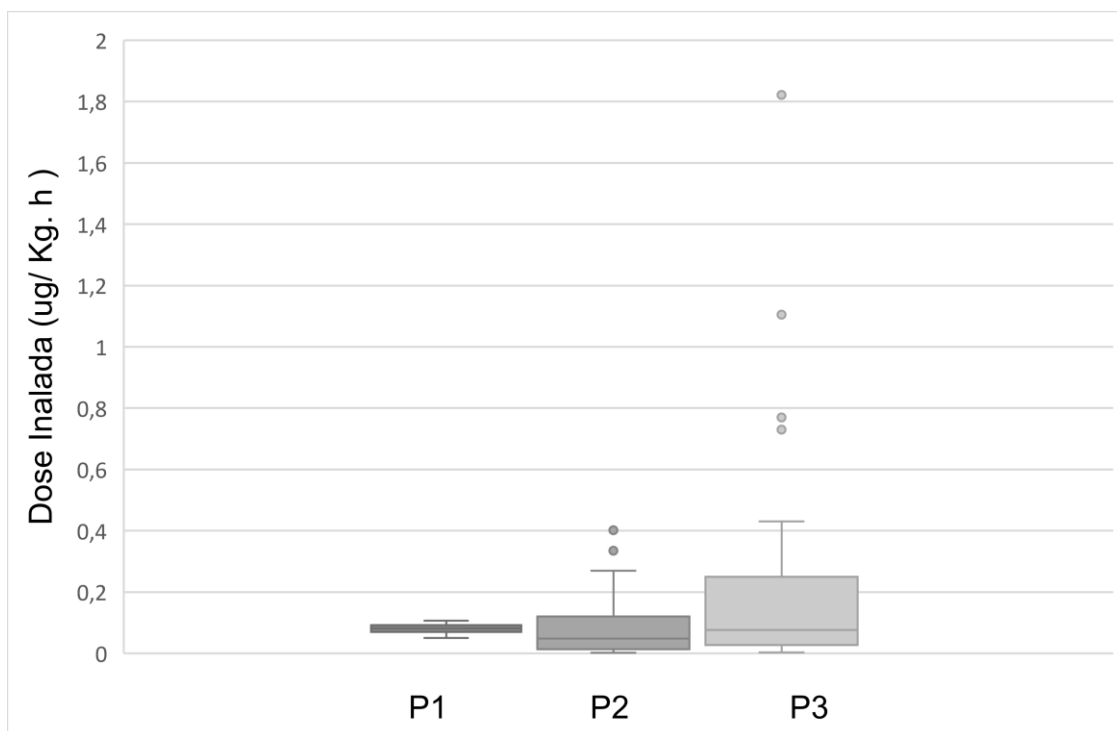
Figura 19 Dose potencial inalada de $MP_{2,5}$ nas três pizzarias.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

A Figura 20 apresenta a dose inalada de BC nas três pizzarias, a P3 obteve as maiores doses ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{h}$) em relação as demais. A P3 que possui uma cozinha fechada gera um aumento das concentrações inaladas pelos funcionários, além disso possui uma chaminé menor que as demais pizzarias e consome a maior quantidade de lenha. A P2 apresentou as menores concentrações de dose inalada de BC. As P1 e P2 possuem uma cozinha aberta, integrando o forno, cozinha e área dos clientes, aumentando a capacidade de dispersão dos poluentes. As reduções nas emissões de combustíveis sólidos residências por meio de combustíveis e fogões menos poluentes, gera uma melhora a qualidade do ar e à saúde da população (CARTER et al., 2016).

Figura 20 - Dose potencial inalada de BC nas três pizzarias.

Fonte: Autoria própria (2023)

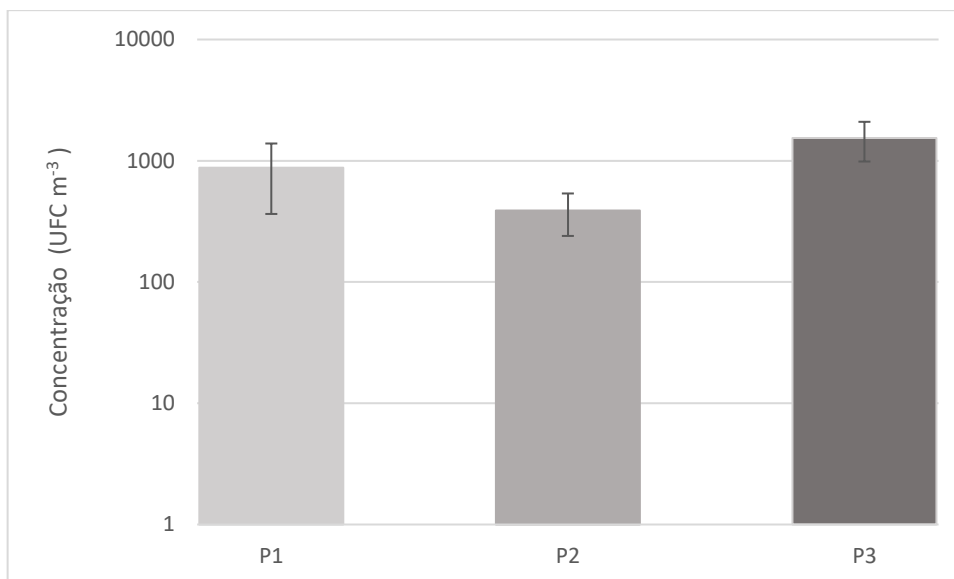
Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

A dose foi calculada considerando somente a inalação por via área considerando efeitos não carcinogênicos (ED = AT). Em termos médios os trabalhadores das cozinhas das pizzarias provavelmente inalam por via aérea 1,29 $\mu\text{g}/\text{Kg.h}$ de $\text{MP}_{2,5}$ e 0,15 $\mu\text{g}/\text{Kg.h}$ de BC, correspondendo a inalação de aproximadamente 53 μg de BC por dia de trabalho (considerado o tempo de 5 horas) que é um particulado fino e que pelo seu tamanho chega até os bronquíolos respiratórios podendo causar diversos efeitos adversos à saúde. É importante destacar que os trabalhadores em nenhuma das pizzarias utilizou máscara facial, mesmo nesse período sob influência da pandemia da COVID-19.

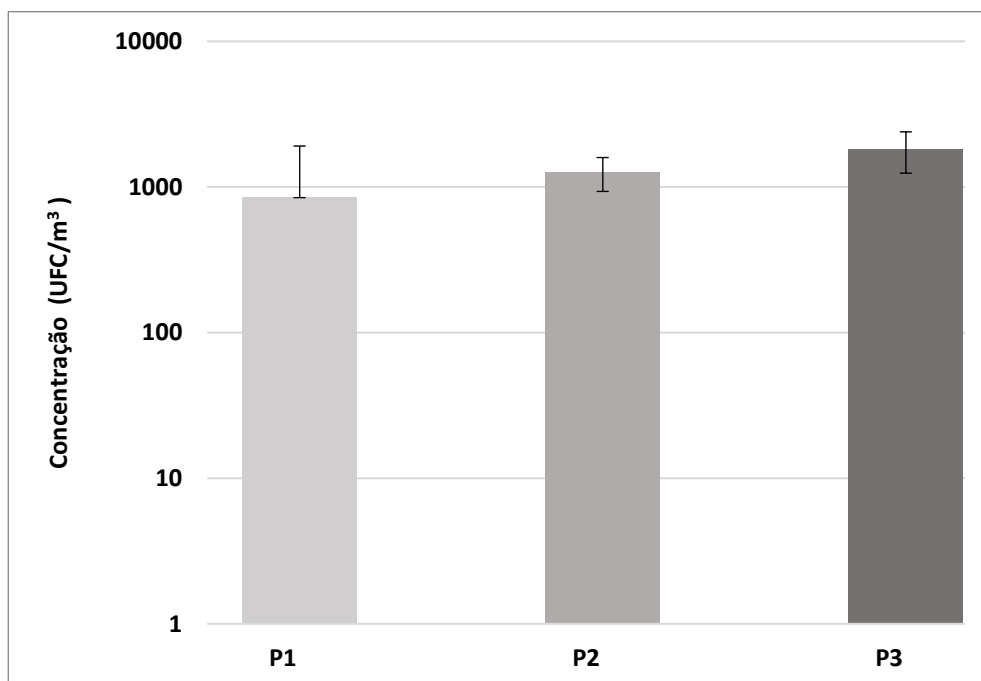
5.5 BIOAEROSSÓIS

Na Figura 21 pode-se observar as concentrações médias de UFC m^{-3} de bactérias (a) e fungos (b) obtidas nas três pizzarias.

Figura 21 - Gráfico das concentrações médias de bactérias (a) e fungos (b) em UFC m^{-3} nas três pizzarias.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2022)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

Pode-se notar, na Figura 21a que a P3 (1540 ± 554 UFC m^{-3}) apresentou as maiores concentrações de bactérias em relação a P1 (876 ± 512 UFC m^{-3}) e P2 (388 ± 148 UFC m^{-3}). Em um estudo realizado em residências que utilizavam a queima de lenha como principal meio para cocção de alimentos as concentrações médias de bactérias foram de 1031 UFC m^{-3} , variando de 578 a 1708 UFC m^{-3} , valores similares aos encontrados no presente trabalho (AKILA; EARAPPA; QURESHI, 2020).

Adicionalmente, em um estudo realizado por Mirskaya e Agranovski (2020) foi avaliado a sobrevivência de microrganismos durante o período de queima de biomassa. Os resultados, desse interessante trabalho, indicaram uma alta taxa de sobrevivência de bactérias nos produtos da combustão, indicando que esses microrganismos podem ser aerossolizados no ar ambiente quando presentes na biomassa (lenha especificamente no trabalho). Além disso, o estudo também identificou um aumento na concentração de bioaerossóis no ar ambiente do local após a combustão da biomassa (MIRSKAYA; AGRANOVSKI, 2020)..

Na Figura 21b visualiza-se o gráfico das concentrações médias UFC m^{-3} dos fungos encontrados nas três pizzarias. A P3 (1816 ± 582 UFC m^{-3}) apresentou as maiores concentrações em relação a P1 (844 ± 834 UFC m^{-3}) e a P2 (1261 ± 330 UFC m^{-3}). Comparativamente, os resultados encontrados para fungos neste trabalho foram relativamente elevados em ambas as pizzarias (inclusive na P1, que é uma pizzaria pequena e de bairro). Por exemplo, Akila et al., 2020 encontraram a concentração média de 580 UFC m^{-3} .

Adicionalmente, segundo a Resolução n 09/2013 da Anvisa a concentração de fungos máxima permitida em ambiente interno é de 750 UFC m^{-3} , sendo que nesse estudo a menor concentração foi de 844 UFC m^{-3} na P1, enquanto na P3 as concentrações máximas atingiram 1816 UFC m^{-3} .

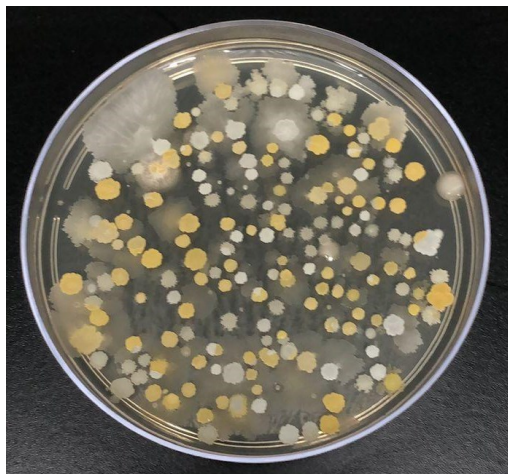
As bactérias e os fungos são provenientes de diversas fontes, em cozinhas de pizzarias o manuseio de alimentos e a presença dos funcionários são uma importante fonte desses microrganismos, além disso o manuseio e a queima da lenha são um importante fator a ser observado como uma potencial fonte de emissão. A P3 apresentou as maiores concentrações de bactérias e fungos sendo a pizzaria com a menor circulação de ar em relação as demais, devido ao ambiente fechado onde se encontra o forno, além de possuir a menor chaminé apresentando assim uma menor capacidade de exaustão do ar.

As concentrações de bactérias e fungos seguiram o padrão do material particulado grosso, sendo a P3 a pizzaria de maior concentração seguido da P1 e P2.

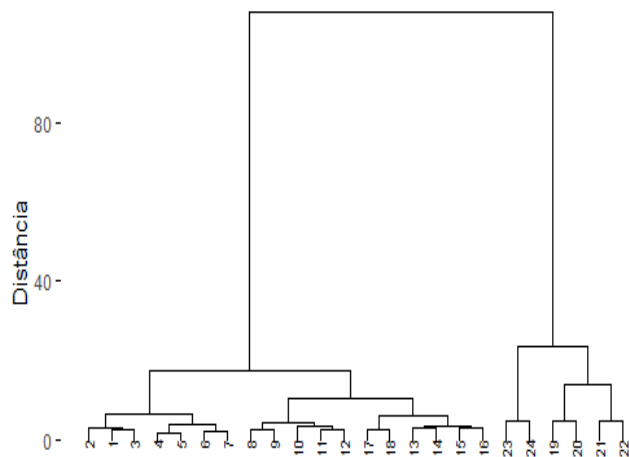
Na Figura 22 pode-se visualizar o padrão de crescimento das colônias bacterianas nas placas de Petri para P1, P2 e P3 e seus respectivos dendrogramas. Nenhum crescimento foi identificado nas placas controle.

A partir da análise dos dendrogramas é possível comparar a diversidade das colônias em cada local de estudo. Cada número apresentado no dendrograma representa um tipo de colônia, com características distintas entre si. A P1 (Figura 21 a e b) apresenta a maior diversidade de bactérias em relação as demais. Enquanto a P3 apresentou uma diversidade menor.

Figura 22 - Placa com crescimento bacteriano e dendrograma da pizzaria 1 (a,b), 2 (c,d) e 3 (e,f)



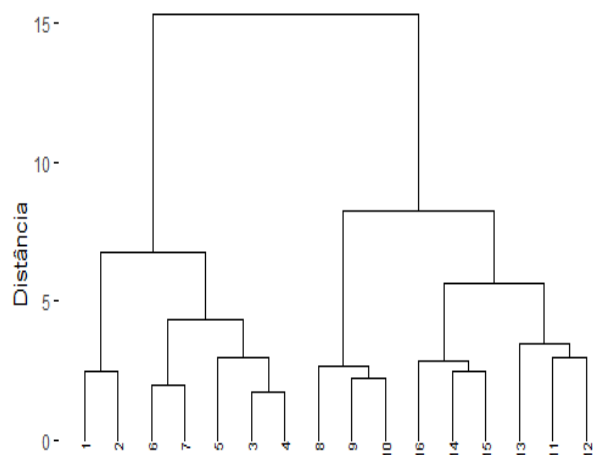
(a)



(b)



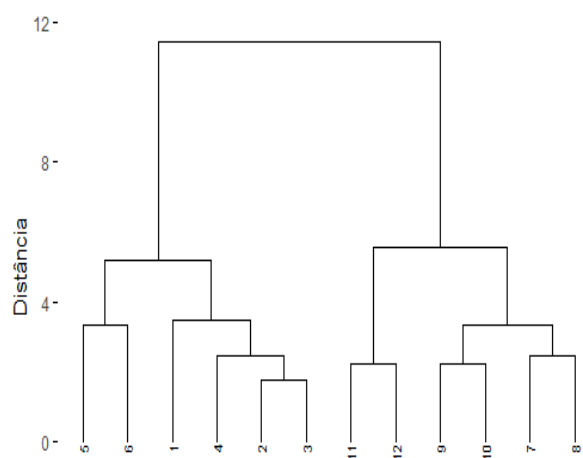
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da caracterização morfotintorial. A P3 apresentou a maior porcentagem de Gram Positivo e Bacilos. Já a P1 apresentou uma maior concentração de bactérias Gram negativas, como no estudo de WEI et al., 2019a.

Tabela 5 - Resultados da caracterização morfotintorial

	Gram Positivo	Gram Negativo	Cocos (%)	Bacilos	Não cresceram
P1	39	61	44,4	55,6	18
P2	52,2	47,8	36,4	63,6	8,3
P3	60,0	40,0	20,0	80,0	20,0

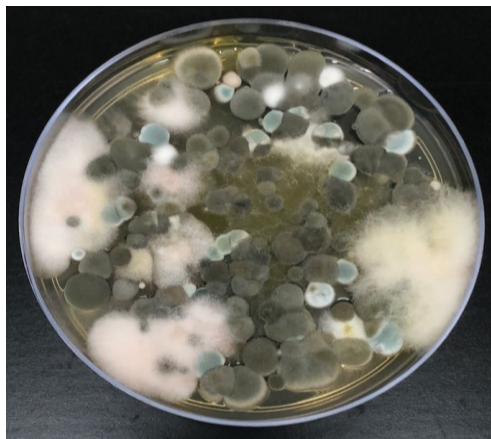
Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

Fonte: Autoria própria (2023)

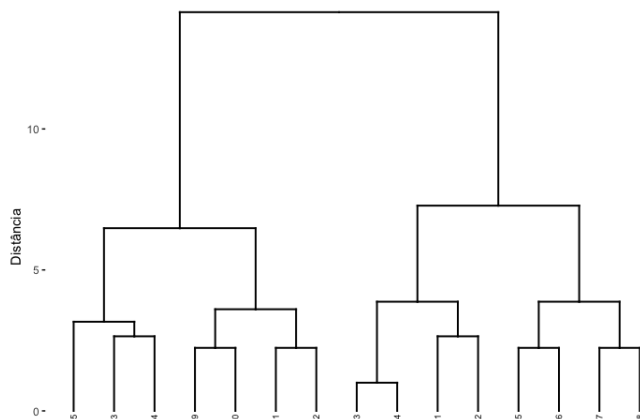
Na Figura 23 pode-se observar o padrão de crescimento fúngico e os dendrogramas de fungos filamentosos. As P1 e P2 apresentaram diversidade de número de colônias mais próximas. Na Figura 22 (c,d) são mostradas a placa e o dendrograma com crescimento fúngico na P2, podendo observar uma diversidade inferior em relação a P1 e a P3.

Na Figura 23e é possível observar colônias com aspecto brilhante e pequenas. Estas foram identificadas como sendo de leveduras depois da realização da microscopia. A P3 (Figura 23 e, f) possui uma menor diversidade de fungos filamentosos quando comparada as outras pizzarias, ao observar a placa nota-se uma quantidade de colônias mais diversa, porém parte desses foi identificado como levedura, como pode-se observar na Figura 24.

Figura 23 - Placa com crescimento fúngico e o dendrograma da pizzaria 1 (a,b), 2 (c,d) e 3 (e,f)



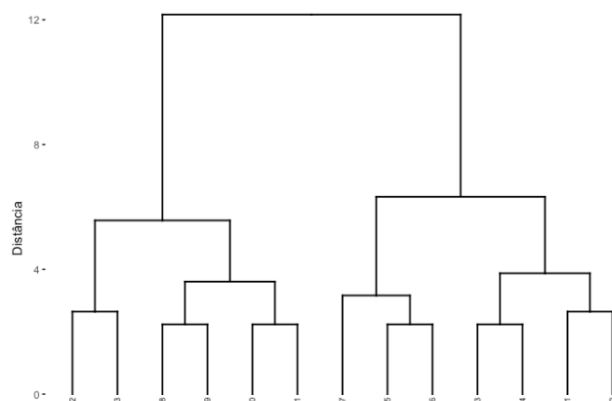
(a)



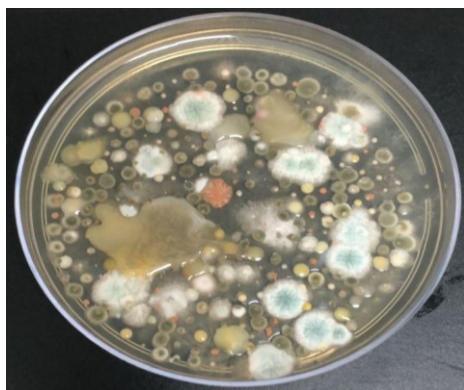
(b)



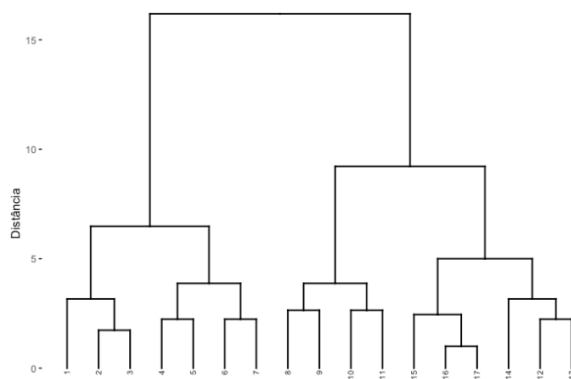
(c)



(d)



(e)

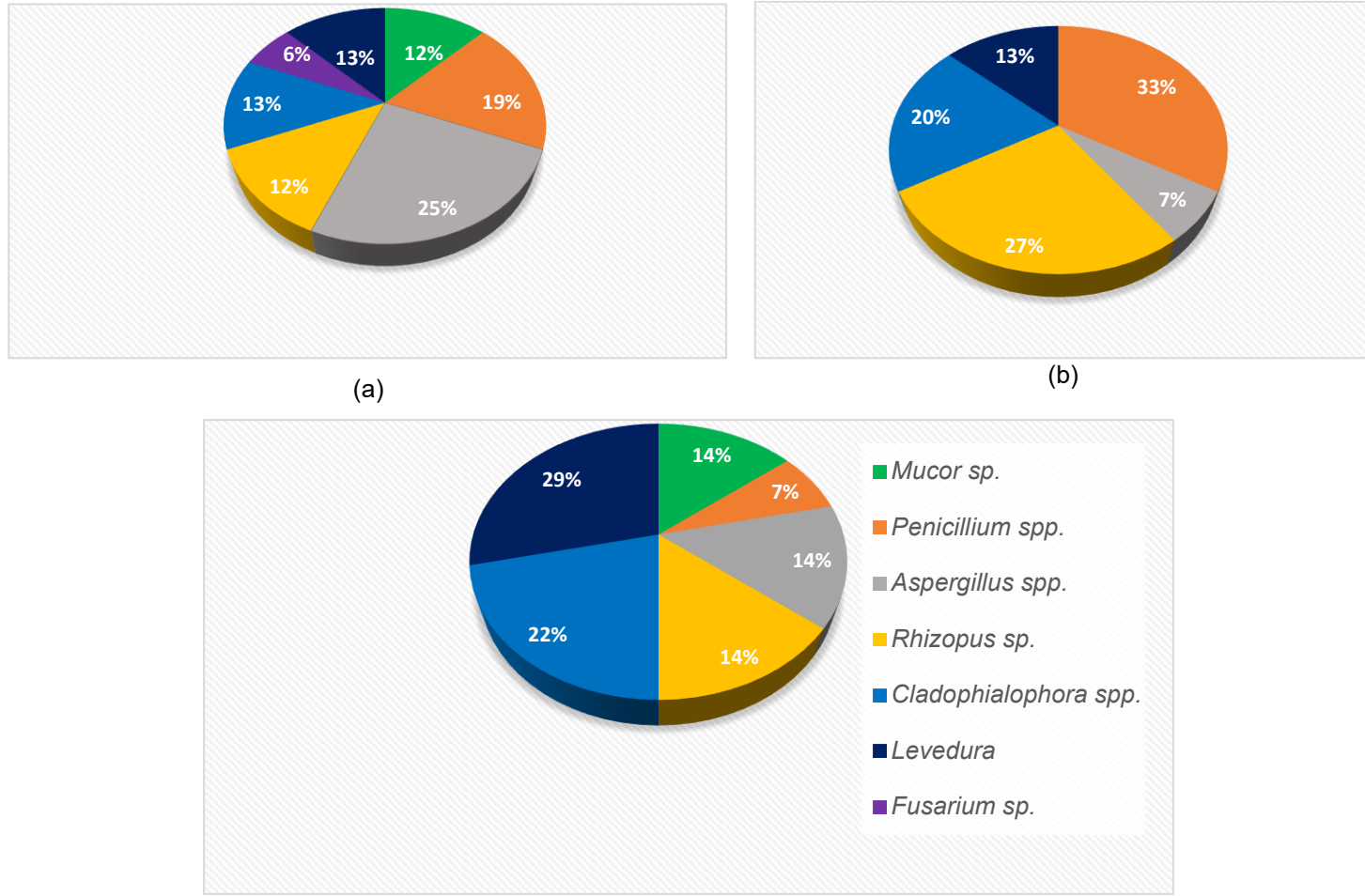


(f)

Fonte: Autoria própria (2023)

Os gêneros semelhantes de fungos foram identificados na P1 e são mostrados na Figura 24, sendo o *Aspergillus* spp. o gênero predominante, seguido pelo *Penicillium* spp. e *Cladosphialophora* spp. e Levedura (formada por organismos unicelulares, diferentes dos fungos filamentosos, que são multicelulares). No trabalho desenvolvido por Akila, Earappa, Qureshi, 2020 o gênero dominante foi *Aspergillus*. A P3 apresentou a menor diversidade entre as três, como pode ser observado na Figura 24a. Para a P2 os gêneros dos fungos identificados são mostrados na Figura 24 b, com o *Penicillium* spp. Sendo o gênero predominante, seguidos pelo *Rhizopus* sp. e *Cladophialophora* spp. A Figura 24c mostra os gêneros dos fungos identificados na P3, sendo que a maior porcentagem encontrada foi de Levedura. O *Cladophialophora* spp., *Mucor* sp. e *Rhizopus* sp. e *Aspergillus* foram os gêneros encontrados na P3.

Figura 24 - Gêneros semelhantes dos fungos identificados como resultado da microscopia para a P1, P2 e P3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Legenda: P1 – Pizzaria 1, P2 – Pizzaria 2 e P3 – Pizzaria 3

6 CONCLUSÃO

A poluição do ar no interior de ambientes causada por biomassa relacionada à cocção de alimentos por meio de combustão é um dos principais fatores de risco para a saúde global, principalmente em países de menor renda e em desenvolvimento.

Comparativamente, a P3 apresentou as maiores concentrações de material particulado grosso, BC, BrC, bactérias e fungos, tendo em vista que foi o único ambiente fechado em que forno estava localizado, além de possuir a menor chaminé, possuindo assim uma menor capacidade de exaustão dos produtos da combustão. As concentrações médias encontradas nas cozinhas das pizzarias foram de $29,6 \mu\text{g m}^{-3}$, $3,0 \mu\text{g m}^{-3}$ e 1261 UFC m^{-3} , para $\text{MP}_{2,5}$, BC e fungos, respectivamente, indicando um ambiente poluído, com níveis acima dos recomendados pelos guias nacionais e internacionais para MP e fungos.

Considerando que a Resolução nº 09/2013 da Anvisa determina que a concentração de fungos deve ser de no máximo 750 UFC m^{-3} , as concentrações obtidas neste trabalho ficaram acima do valor máximo permitido, sendo de 844 UFC m^{-3} na P1 e 1816 UFC m^{-3} na P3.

Os resultados deste trabalho evidenciam que as características dos locais e do processo de queima realizado são fatores importantes para as concentrações dos poluentes analisados no ar de ambiente interno de cozinhas com queima de lenha. Embora o uso da lenha adicione sabor e aroma às pizzas, os locais deveriam ser estruturados para proporcionar melhor ventilação, com chaminés adequadas para melhor exaustão e que os funcionários utilizassem máscaras, tanto em razão de aspectos de segurança alimentar, como para a proteção individual em relação as partículas e gases gerados nessa atividade. Adicionalmente, os resultados deste trabalho mostram que a atividade de queima de lenha em fornos tradicionais de cocção de pizza emite valores de BrC de mesma grandeza que o BC, podendo ser considerado os resultados para BrC como típico e traçador dessa fonte.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O tema deste estudo ainda carece de muitas investigações adicionais tanto em relação a qualidade do ar em ambientes internos como as emissões atmosféricas decorrentes da queima de biomassa pela atividade de cocção de alimentos. Sugere-se realizar estudos em mais locais (diferentes designs de cozinha e sistema de ventilação), com maior duração de amostragem e registro das diferentes fases de queima. Além disso, realizar também a coleta de $MP_{2,5}$ para posterior análise da composição química elementar. Adicionalmente, sugere-se a realização de estudos que visem a quantificação das emissões de partículas carbonáceas absorvedoras de luz (BC, BrC) que são essenciais para estudos climáticos. Estudos em ambientes de laboratório com queima controlada pode ser uma alternativa para o cálculo de fatores de emissões e, posterior estimativa das emissões de BC e BrC por este tipo de fonte.

REFERÊNCIAS

- ADLER, G. et al. Evidence in biomass burning smoke for a light-absorbing aerosol with properties intermediate between brown and black carbon. **Aerosol Science and Technology**, v. 53, n. 9, p. 976–989, 2019.
- AETHLABS. microAeth® MA Series MA200, MA300, MA350 Operating Manual. n. December, p. 9–21, 2018.
- AGARWAL, S. et al. Characterization of bioaerosols and their relation with OC, EC and carbonyl VOCs at a busy roadside restaurants-cluster in New Delhi. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 16, n. 12, p. 3198–3211, 2016.
- AKILA, M.; EARAPPA, R.; QURESHI, A. Ambient concentration of airborne microbes and endotoxins in rural households of southern India. **Building and Environment**, v. 179, 15 jul. 2020.
- ANA, D.; VIEIRA, P. **Microbiologia Geral**. [s.l.: s.n.].
- ARCHER-NICHOLLS, S. et al. The regional impacts of cooking and heating emissions on ambient air quality and disease burden in China. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 17, p. 9416–9423, 6 set. 2016.
- BARROSO, R. A. Consumo De Lenha E Produção De Resíduos De Madeira No Setor Comercial E Industrial Do Distrito Federal. p. 65, 2008.
- BOND S. J.. ZENDER, T. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. v. 118, n. 11, 2013.
- BRAUER, M. et al. **Exposure of chronic obstructive pulmonary disease patients to particles: Respiratory and cardiovascular health effects**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.nature.com/jea>.
- BUONANNO, G. et al. Exposure to particlenumber, surface area and PM concentrations in pizzerias. p. 3963–3969, 2010.
- CARTER, E. et al. Seasonal and Diurnal Air Pollution from Residential Cooking and Space Heating in the Eastern Tibetan Plateau. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 15, p. 8353–8361, 2 ago. 2016.
- CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. p. 1–6, 2018.
- COSTA, A. A. et al. Aerossóis Atmosféricos e Nuvens. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional - Vol1**, p. 209–236, 2015.
- COLBECK, I.; LAZARIDS, M. **Aerosol science**. 2008.
- DE ALMEIDA, D. S. et al. Genotoxic effects of daily personal exposure to particle mass and number concentrations on buccal cells. **Atmospheric Environment**, v. 176, p. 148–157, 1 mar. 2018.

DU, W. et al. Wintertime pollution level, size distribution and personal daily exposure to particulate matters in the northern and southern rural Chinese homes and variation in different household fuels. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 497–508, 1 dez. 2017.

DU, W. et al. Variation of indoor and outdoor carbonaceous aerosols in rural homes with strong internal solid fuel combustion sources. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11, n. 5, p. 992–999, 1 maio 2020.

ELEANNE D.S. VAN VLIET, KWAKUPOKU ASANTE, DARBY W. JACK, PATRICK L. KINNEY, ROBIN M. WHYATT, STEVEN N. CHILLRUD, LIVESY ABOKYI, CHARLES ZANDOH, AND S. O.-A. Personal exposures to fine particulate matter and black carbon in households cooking with biomass fuels in rural Ghana. **Servir (Lisbon, Portugal)**, v. 42, n. 4, p. 174–175, 2013.

EPA. Conceptos básicos sobre el material particulado. 2019. Disponível em: <<https://espanol.epa.gov/espanol/conceptosbasicos>>.

FENG, R. et al. Deposition effect of inhaled particles in the human: Accurate health risks of personal exposure to PAHs and their derivatives from residential solid fuel combustion. **Atmospheric Environment**, v. 294, 1 fev. 2023.

FRÖHLICH-NOWOISKY, J. et al. **Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions**. **Atmospheric Research** Elsevier Ltd, , 15 dez. 2016.

GLOSSARY OF IPCC AR6 WGI. P54/WGI-14 - Changes to the underlying scientific-technical assessment to ensure consistency with the approved SPM These trickle backs will be implemented in the Chapter during copy-editing. n. August, p. 73, 2021.

GRAHAME, T. J.; KLEMM, R.; SCHLESINGER, R. B. Public health and components of particulate matter: The changing assessment of black carbon. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 64, n. 6, p. 620–660, 2014.

HETTIYADURA, A. P. S. et al. Chemical composition and molecular-specific optical properties of atmospheric brown carbon associated with biomass burning. **Environmental Science and Technology**, v. 55, n. 4, p. 2511–2521, 2021.

HUSSEIN, T. et al. Characterization, Fate, and Re-Suspension of Aerosol Particles (0.3-10 μm): The Effects of Occupancy and Carpet Use Measurement and Characterization of Fine Aerosol Particle Number Size Distributions in Amman City View project 17th Plinius Conference on Mediterranean Risks (<https://meetings.copernicus.org/plinius17/home.html>) View project. **Article in Aerosol and Air Quality Research**, 2015.

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.

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, 2016a.

KUMAR, P. et al. In-kitchen aerosol exposure in twelve cities across the globe. **Environment International**, v. 162, 1 abr. 2022.

LELIEVELD, J. et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. **Nature**, v. 525, n. 7569, p. 367–371, 16 set. 2015.

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.

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.

LOOMIS, D. et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. **The Lancet Oncology**, v. 14, n. 13, p. 1262–1263, dez. 2013.

LUO, Z. et al. Evaluating co-emissions into indoor and outdoor air of EC, OC, and BC from in-home biomass burning. **Atmospheric Research**, v. 248, 15 jan. 2021.

MAZORRA, J. et al. Overview of the use of clean cookstoves in the Brazilian semiarid region. **Sustentabilidade em Debate**, v. 10, n. 2, p. 54–84, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. v. 2003, 2003.

MIRSKAYA, E.; AGRANOVSKI, I. E. Generation of viable bacterial and fungal aerosols during biomass combustion. **Atmosphere**, v. 11, n. 3, 1 mar. 2020.

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.

MONTGOMERY, DC. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro. 2021.

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.

Pörtner, H.O.; Farrell, A.P. Ecology: Physiology and climate change. *Science* 2008, 322, 690–692

PÖSCHL, U.; SHIRAIWA, M. Multiphase Chemistry at the Atmosphere-Biosphere Interface Influencing Climate and Public Health in the Anthropocene. **Chemical Reviews**, v. 115, n. 10, p. 4440–4475, 2015.

SALEH, R.; CHENG, Z.; ATWI, K. The Brown-Black Continuum of Light-Absorbing Combustion Aerosols. **Environmental Science and Technology Letters**, v. 5, n. 8, p. 508–513, 2018.

SALTHAMMER, T. et al. Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality. **Chemosphere**, v. 103, p. 205–211, 2014.

SEMA, S. DE E. DO M. A. E R. H. **RESOLUÇÃO SEMA No 54, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006.** , 2006.

SENGUPTA, D. et al. Emission factors for polycyclic aromatic hydrocarbons from laboratory biomass-burning and their chemical transformations during aging in an oxidation flow reactor. **Science of The Total Environment**, v. 870, p. 161857, abr. 2023.

SILVA, I. DA et al. Effects of Environmental and Socioeconomic Inequalities on Health Outcomes: A Multi-Region Time-Series Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 24, 1 dez. 2022.

SONWANI, S.; KULSHRESTHA, U. C. **Characterization of aerosol particle in Delhi, NCR region View project Air Pollution Mitigation View project.** 2021. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/329108471>>.

SQUIZZATO, R. Avaliação de curto prazo nos sintomas respiratórios em indivíduos expostos ao material particulado em ar ambiente. p. 0–99, 2017.

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. 454–455, p. 79–87, 2013.

TOMLIN, A. S. Air Quality and Climate Impacts of Biomass Use as an Energy Source: A Review. **Energy and Fuels**, v. 35, n. 18, p. 14213–14240, 2021.

VICENTE, E. D. et al. Impact of wood combustion on indoor air quality. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 135769, 2020.

WEI, M. et al. Characteristics of atmospheric bacterial and fungal communities in PM_{2.5} following biomass burning disturbance in a rural area of North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2727–2739, 15 fev. 2019.

WEI, M. et al. Pollution characteristics of bioaerosols in PM_{2.5} during the winter heating season in a coastal city of northern China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 22, p. 27750–27761, 1 ago. 2020.

XU, C. et al. Profile of inhalable bacteria in PM_{2.5} at Mt. Tai, China: Abundance, community, and influence of air mass trajectories. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 168, p. 110–119, 30 jan. 2019.

XU, M. et al. Cooking with biomass fuels and mortality among Chinese elderly people: A prospective cohort study. **Indoor Air**, v. 32, n. 1, 1 jan. 2022.

YAN, C. et al. Identification of PM_{2.5} sources contributing to both Brown carbon and reactive oxygen species generation in winter in Beijing, China. **Atmospheric Environment**, v. 246, n. May 2020, p. 118069, 2021.

YANG, Q.; HUANG, X.; LI, J. Assessing the relationship between surface urban heat islands and landscape patterns across climatic zones in China. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017.

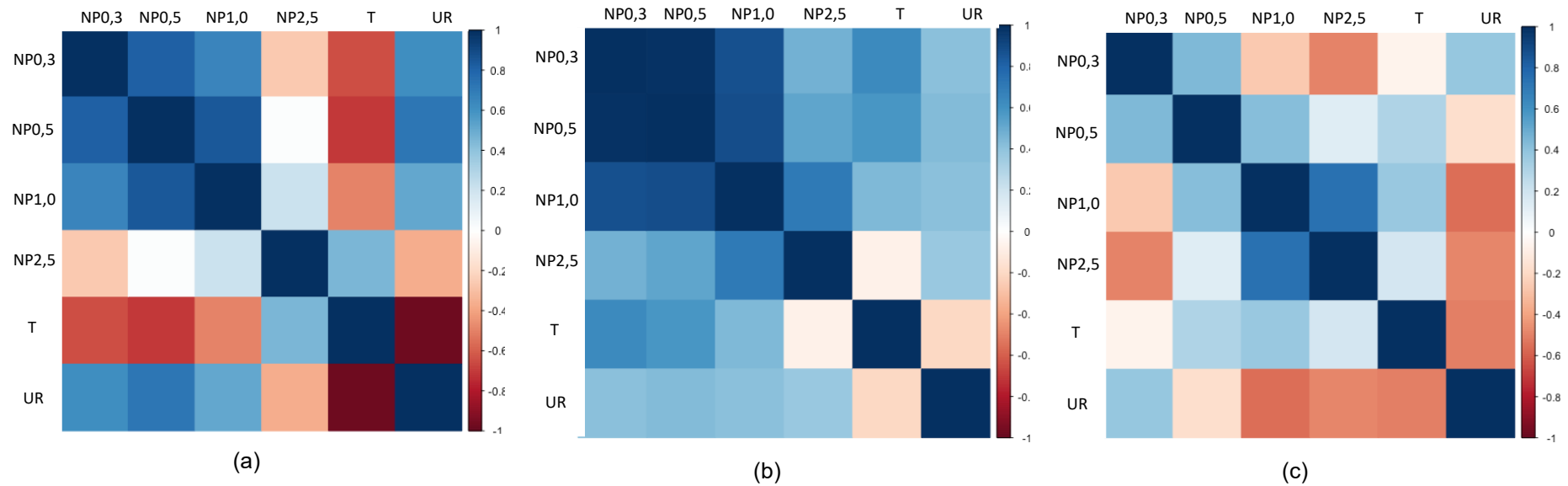
YOUNG, B. N. et al. Reduced Black Carbon Concentrations following a Three-Year Stepped-Wedge Randomized Trial of the Wood-Burning Justa Cookstove in Rural Honduras. **Environmental Science and Technology Letters**, v. 9, n. 6, p. 538–542, 14 jun. 2022.

ZHANG, Q. et al. Spatial distribution and sources of winter black carbon and brown carbon in six Chinese megacities. **Science of the Total Environment**, v. 762, p. 143075, 2021.

ZHOU, D. et al. The footprint of urban heat island effect in China. **Scientific Reports**, v. 5, p. 2–12, 2015.

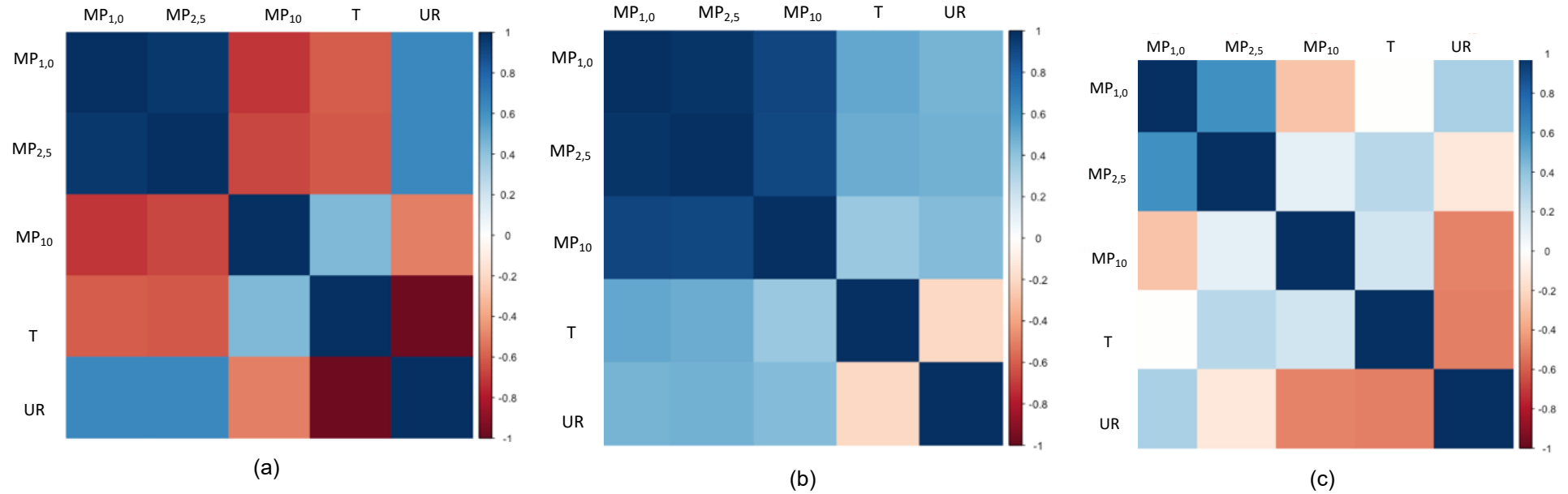
APÊNDICE A – CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

Figura 25 - Análise de correlação da concentração em número, temperatura e umidade da (a) P1, (b) P2 e (c) P3



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26- Análise de correlação da concentração em massa, temperatura e umidade da (a) P1, (b)P2 e (c) P3



Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE B - TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO WILK

Tabela 6 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para número de partículas.

		Dia 1		Dia 2		Dia 3	
		teste	P valor	teste	P valor	teste	P valor
P1	0,3		3,55 E-19	0,8265	8,124e-14	0,871	2,9511e-11
	0,5	0,4829	2,414 E-22	0,8324	1,474e-13	0,721	4,766e-17
	1,0	0,5984	5,696 E-20	0,6947	2,086e-18	0,6757	2,467e-18
	2,5	0,4238	2,1E-23	0,6669	3,522e-19	0,666	1,363e-18
P2	0,3	0,9438	1,704e-06	0,9324	4,662e-08	-	-
	0,5	0,7531	4,855e-16	0,7589	6,853e-17	-	-
	1,0	0,4588	4,343e-23	0,513	2,506e-23	-	-
	2,5	0,4455	2,489e-23	0,511	2,181e-23	-	-
P3	0,3	0,8147	1,823e-26	0,7565	2,968e-16	0,7451	4,706e-18
	0,5	0,5346	6,454e-38	0,3895	7,165e-25	0,4556	2,457e-25
	1,0	0,6938	1,918e-32	0,482	4,549e-13	0,5684	5,717e-23
	2,5	0,6112	1,647e-35	0,6644	5,4e-19	0,5681	5,635e-23

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 7 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para massa.

		DIA 1		DIA 2		DIA 3	
		teste	P valor	teste	P valor	teste	P valor
P1	1	0,5629	9,485e-22	0,8072	2,354e-15	0,7951	1,431e-14
	2,5	0,5504	5,075e-22	0,8532	2,86e-13	0,7601	8,252e-16
	10	0,6946	8,457e-21	0,6415	9,806e-21	0,7326	1,079e-16
P2	1	0,7766	3,043e-15	0,7013	8,752e-19	-	-
	2,5	0,26	2,759e-26	0,3087	4,837e-27	-	-
	10	0,4689	6,644e-23	0,558	1,928e-22	-	-
P3	1	0,8058	2,054e-16	0,6102	2,37e-20	0,6914	9,155e-20
	2,5	0,8813	1,35e-12	0,6158	3,223e-20	0,5799	1,063e-22
	10	0,6309	3,142e-22	0,6218	4,501e-20	0,581	1,122e-22

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 8 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para BC/BrC.

		DIA 1		DIA 2		DIA 3	
		teste	P valor	teste	P valor	teste	P valor
P1	BrC	0,6481	0,966	0,9745	0,1527	0,8595	5,297e-09
	BC	3,83e-16	0,002592	0,9375	0,001557	0,9482	0,0002396
P2	BrC	0,5283	1,221e-21	0,69	7,663e-18	-	-
	BC	0,8599	9,848e-12	0,7521	5,59e-16	-	-
P3	BrC	0,5771	2,232e-17	0,4537	9,151e-17	0,5906	2,034e-13
	BC	0,6	6,492e-17	0,5153	8,01e-16	0,2922	1,441e-17

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 9 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias para número de partículas.

		TESTE	P VALOR
P1-P2	0,3	7803	5.441e-15
P2-P3	0,3	8286	2.845e-13
P1-P3	0,3	11973	0.0007453
P1-P2	0,5	9456	1.407e-09
P2-P3	0,5	6438	< 2.2e-16
P1-P3	0,5	13921	0.1948
P1-P2	1,0	9491.5	1.778e-09
P2-P3	1,0	16368	0.1903
P1-P3	1,0	8525	1.83e-12
P1-P2	2,5	11994	0.0008066
P2-P3	2,5	21317	4.569e-11
P1-P3	2,5	6907	< 2.2e-16

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 10 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias em massa.

		TESTE	P VALOR
P1-P2	1,0	869	0.04668
P2-P3	1,0	935	0.006877
P1-P3	1,0	542	0.1247
P1-P2	2,5	887	0.02898
P2-P3	2,5	1088	1.319e-05
P1-P3	2,5	412	0.003276
P1-P2	10	1138	9.715e-07
P2-P3	10	1369	1.418e-13
P1-P3	10	19	< 2.2e-16

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 11 - Resultados do teste de semelhança entre as pizzarias para BC e BrC.

		TESTE	P VALOR
P1-P2	BC	725	2.413e-13
P2-P3	BC	2007	0.03634
P1-P3	BC	2429	0.7104
P1-P2	BrC	1207	8.457e-08
P2-P3	BrC	2562	0.8671
P1-P3	BrC	1755	0.001801

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 12 - Resultados do teste de semelhança para a P1.
TESTE P VALOR

		TESTE	P VALOR
DIA 1 – DIA 2	BrC	2549	0.909
	BC	3920.5	1.13e-08
DIA 2 – DIA 3	BrC	2439	0.74
	BC	5012	2.2e-16
DIA 3 - DIA 1	BrC	2525	0.98
	BC	4849	2.2e-16

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 13 - Resultados do teste de semelhança para a P2.
TESTE P VALOR

		TESTE	P VALOR
DIA 1 – DIA 2	BrC	3867	3.98e-08
	BC	3525.5	4.16e-05

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 14 - Resultados do teste de semelhança para a P3.
TESTE P VALOR

		TESTE	P VALOR
DIA 1 – DIA 2	BrC	2270.5	0.3087
	BC	1845	0.0099
DIA 2 – DIA 3	BrC	2206.5	0.2008
	BC	2665	0.5568
DIA 3 – DIA 1	BrC	2508	0.9609
	BC	3124	0.091

Fonte: Aatoria própria (2023)

**APÊNDICE C – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS E DESVIO DO
NÚMERO DE PARTÍCULAS**

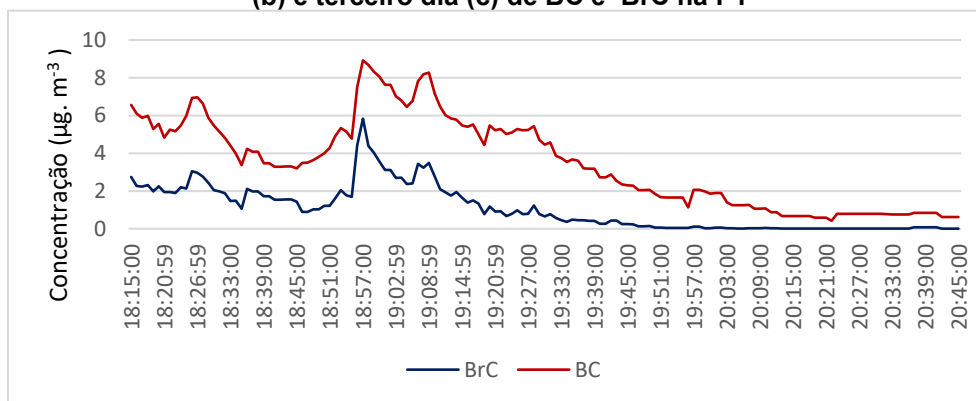
Tabela 15 - Concentrações médias e desvios padrão de NP0,3, NP0,5, NP1,0 e NP2,5 para as três pizzarias.

Variável (número de partículas L ⁻¹)	P1		P2		P3	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
NP0,3	92649,6	58114,0	144410,2	47926,9	109014,5	37068,4
NP0,5	15669,0	14310,9	21969,9	13438,3	11922,8	7548,0
NP1,0	1507,7	1292,7	2863,9	2325,7	2348,0	1530,4
NP2,5	446,9	321,9	649,7	526,1	974,2	755,9

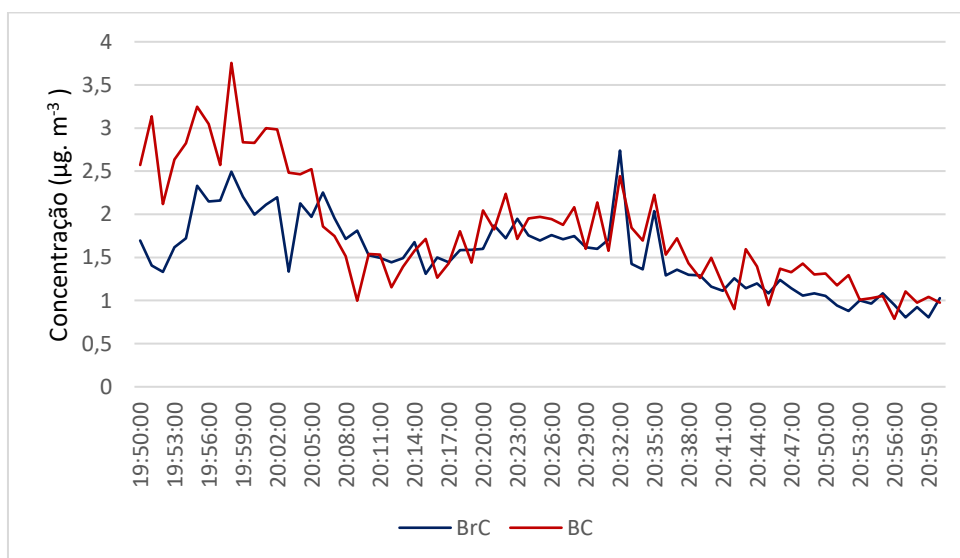
Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE D – CONCENTRAÇÕES DE BC E BrC EM CADA DIA DE AMOSTRAGEM

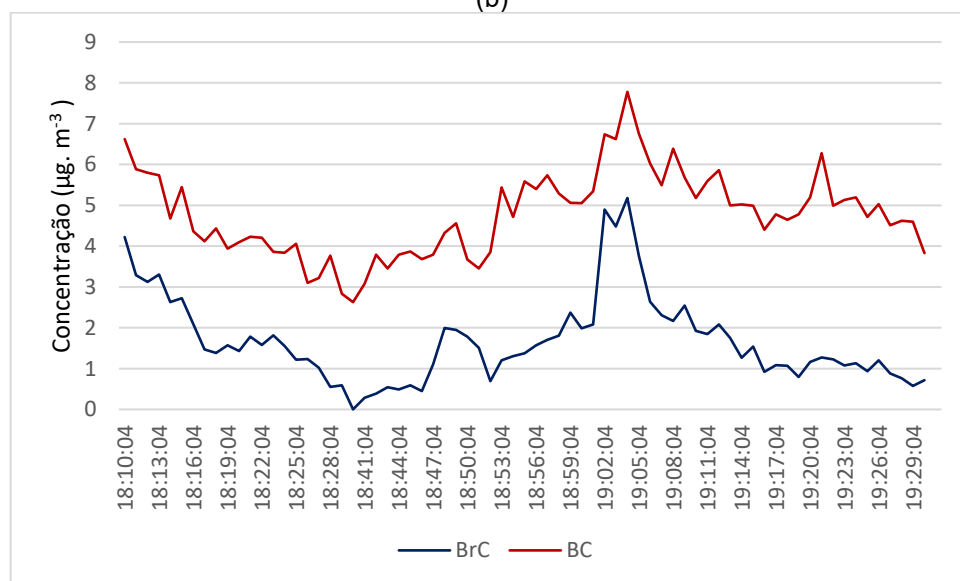
Figura 27 - Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a), segundo dia (b) e terceiro dia (c) de BC e BrC na P1



(a)

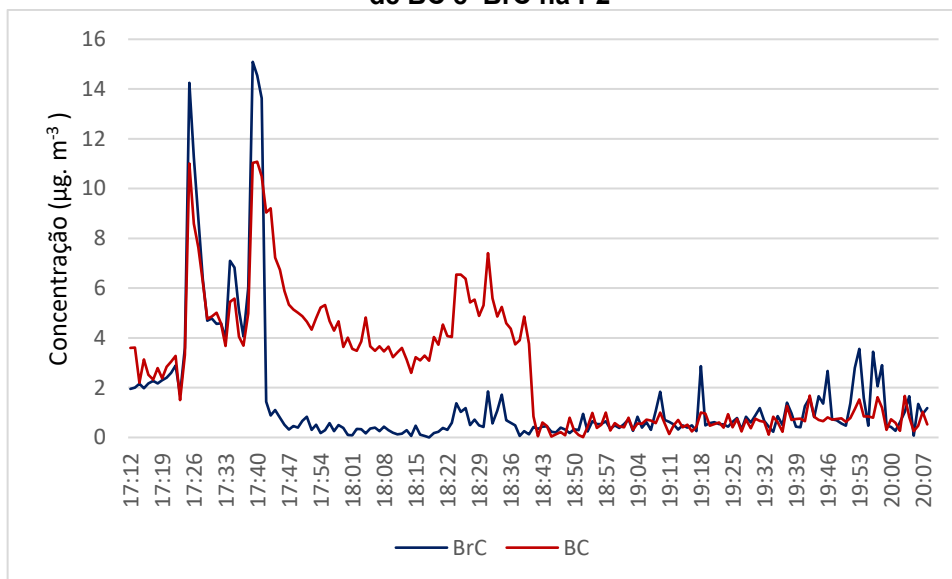


(b)

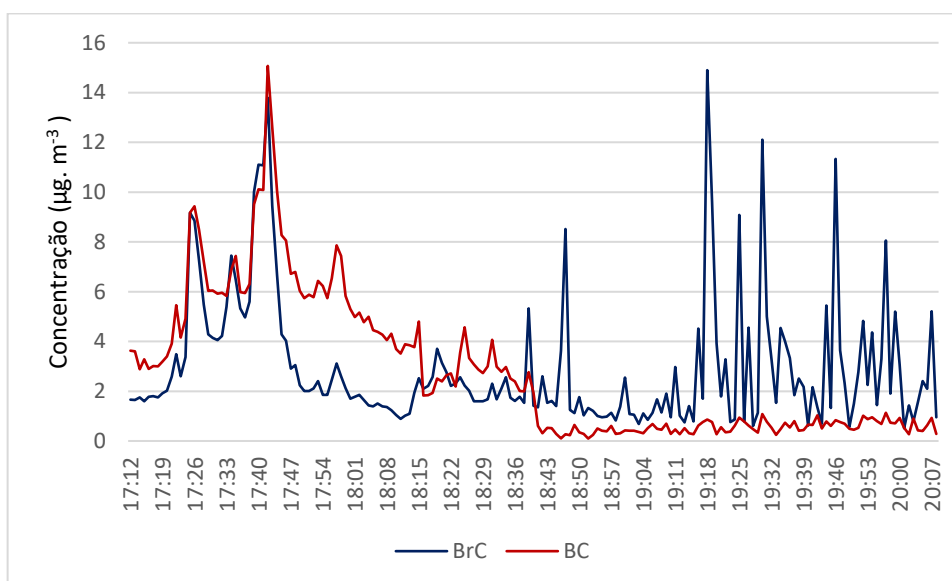


(c)

Figura 28- Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a) e segundo dia (b) de BC e BrC na P2

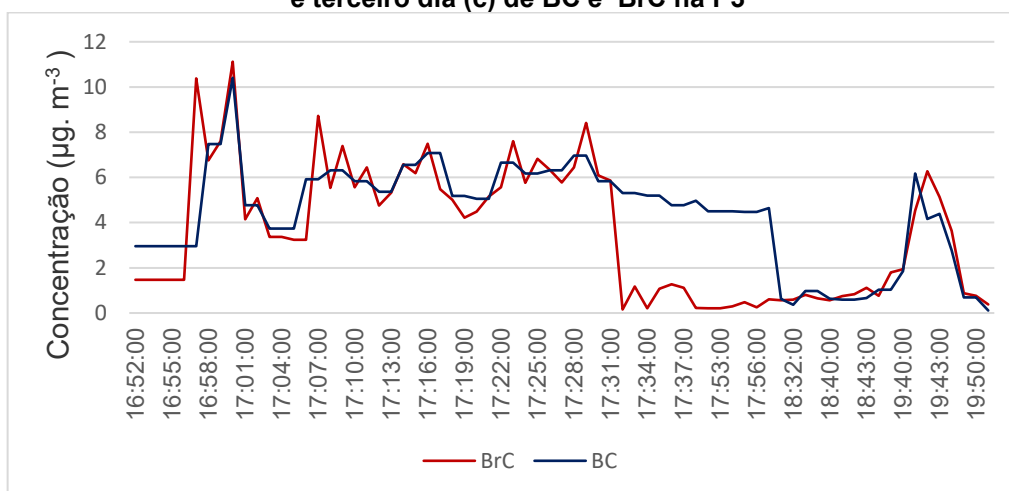


(a)

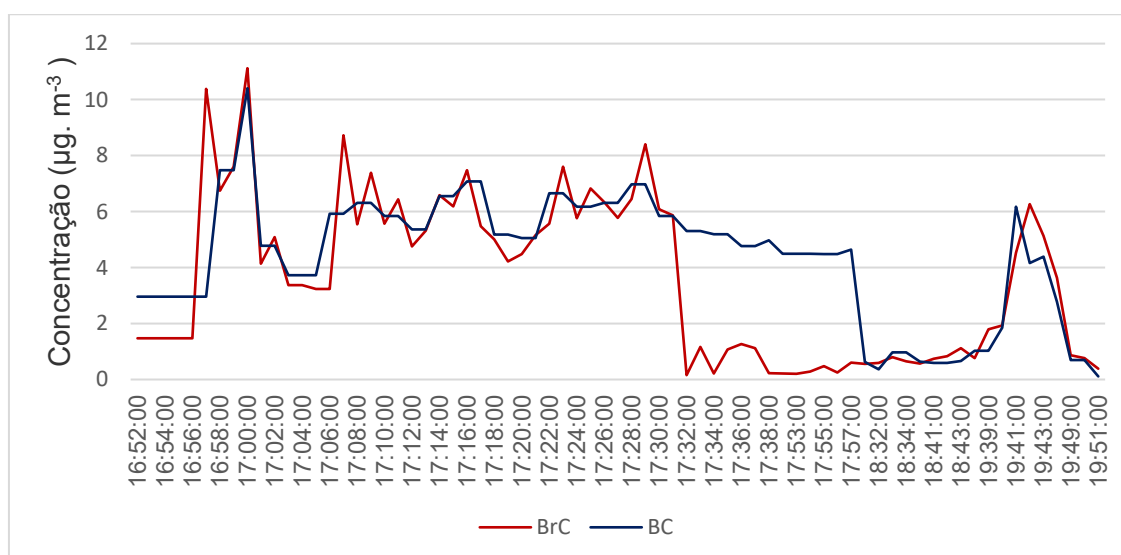


(b)

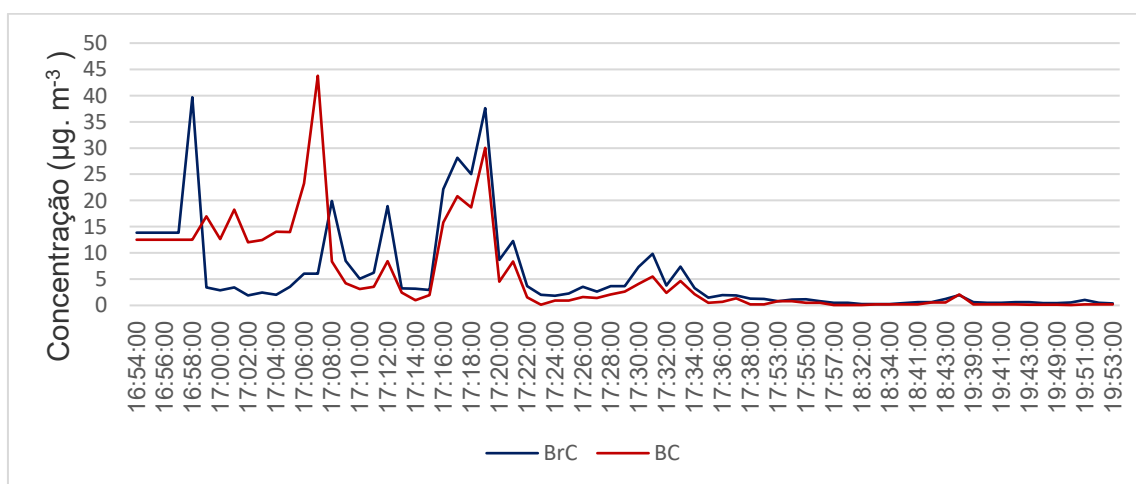
Figura 29 - Gráfico da evolução temporal da concentração no primeiro dia (a), segundo dia (b) e terceiro dia (c) de BC e BrC na P3



(a)



(b)



(c)

