

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
CÂMPUS APUCARANA/LONDRINA

CAROLINE FERNANDA HEI WIKUATS

**ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AO MATERIAL  
PARTICULADO E BIOAEROSSÓIS EM COOPERATIVA DE  
PROCESSAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

DISSERTAÇÃO

LONDRINA

2020

CAROLINE FERNANDA HEI WIKUATS

**ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AO MATERIAL  
PARTICULADO E BIOAEROSSÓIS EM COOPERATIVA DE  
PROCESSAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana e Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Engenharias I. Linha de Pesquisa: Poluição do Ar e Processos Atmosféricos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Droprinchinski Martins  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

LONDRINA

2020

## TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

W663e Wikuats, Caroline Fernanda Hei

Estudo da exposição de trabalhadores ao material particulado e bioaerossóis em cooperativa de processamento de materiais recicláveis / Caroline Fernanda Hei

Wikuats. – Londrina: [s.n.], 2020

135 f. : il.; 30 cm.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leila Droprinchinski Martins

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Londrina, 2020.

Bibliografia: f. 105-124

1. Poluentes. 2. Material Particulado. 3. Cooperativas de Reciclagem. I. Martins, Leila Droprinchinski, orient. II. Prates, Kátia Valéria Marques Cardoso, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Câmpus Apucarana e Londrina



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AO MATERIAL PARTICULADO E BIOAEROSSÓIS EM COOPERATIVA DE PROCESSAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

por

**CAROLINE FERNANDA HEI WIKUATS**

Dissertação de Mestrado apresentada no dia 28 de fevereiro de 2020, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana e Londrina, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A mestranda foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após avaliação, a Banca Examinadora considerou a Dissertação APROVADA.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Droprinchinski Martins – Orientadora  
(UTFPR – Câmpus Londrina)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria de Fatima Andrade – Membro Titular  
(Universidade de São Paulo)

---

Prof. Dr. Jorge Alberto Martins – Membro Titular  
(UTFPR – Câmpus Londrina)

---

Prof. Dr. Alesandro Bail  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por conceder-me sabedoria e coragem durante toda a realização do mestrado. Aos meus pais, Luiz e Márcia, por todo o amor e o apoio.

Agradeço imensamente às minhas orientadoras, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Droprinchinski Martins e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates. Obrigada pelo conhecimento transmitido, pela dedicação, confiança e sabedoria com que me guiaram nessa trajetória.

Aos diretores e funcionários da cooperativa de catadores de materiais recicláveis que sempre foram solícitos e permitiram mais uma vez a realização das amostragens. A todos os voluntários que aceitaram participar deste trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Análises em Poluição do Ar (LAPAR) e do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos (EAE), pela ajuda e companheirismo. Especialmente à Daniela Sanches, Iara da Silva, Eduardo Duarte e Rafaela Alves pela assistência durante as amostragens dos poluentes e aplicação dos questionários e à Iara também pelo auxílio na análise estatística. Ao Anderson Rudke pela elaboração do mapa dos locais de estudo.

À Janaína Casado, que me ajudou em todas as análises microbiológicas no Laboratório de Microbiologia. À pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Dulcilena de Matos Castro e Silva, do Instituto Adolfo Lutz, pela realização das amostragens dos bioaerossóis com equipamento específico e pelo auxílio na identificação dos gêneros dos fungos filamentosos.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea Name Colado Simão por disponibilizar os materiais e os equipamentos necessários para as coletas e análises do sangue. Ao Hemocentro Regional de Londrina por ceder o ônibus para a realização da coleta de sangue na cooperativa. Aos alunos atuantes no Departamento de Patologia, Análises Clínicas e Toxicológicas (PAC) no Hospital Universitário da Universidade Estadual de Londrina (UEL), pela coleta das amostras de sangue e realização das análises. Ao Prof. Dr. Marcos Ribeiro pelo auxílio durante as coletas de sangue.

Agradeço aos professores da banca avaliadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria de Fatima Andrade e Prof. Dr. Jorge Alberto Martins, pelas valiosas contribuições e pela atenção dedicada a este trabalho.

Agradeço ao Igor Shiraishi pela revisão da dissertação e amizade, e também às amigas Lílian Costa, Bruna Sacramento, Fernanda Nonaka e Jéssica Araújo.

À UTFPR e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela estrutura, suporte e equipamentos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

E a todos que de alguma forma colaboraram para a concretização deste trabalho, muito obrigada!

## RESUMO

WIKUATS, C. F. H. **Estudo da exposição de trabalhadores ao material particulado e bioaerossóis em cooperativa de processamento de materiais recicláveis**. 2020. 135 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

A qualidade ambiental de cooperativas de materiais recicláveis pode ser comprometida pela presença de material particulado atmosférico (MP) e bioaerossóis em suspensão no ar. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a exposição a esses poluentes em trabalhadores de uma cooperativa em Londrina, Paraná. E, ainda, inferir sobre a existência de associação dessa exposição com níveis de marcadores inflamatórios sanguíneos desses trabalhadores em comparação a uma população controle da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A aplicação de questionário e a coleta de amostras de sangue foram feitas em novembro de 2018 com a participação de 64 voluntários, sendo 40 trabalhadores da cooperativa (grupo exposto) e 24 alunos e funcionários da UTFPR (grupo controle). As amostragens do MP e dos bioaerossóis ocorreram nos períodos da manhã e da tarde de 18 a 22 de fevereiro de 2019 em quatro pontos: em uma sala de aula (P1) e no ambiente externo (P2) da UTFPR, em um dos barracões de processamento de resíduos (P3) e no ambiente exterior (P4) da cooperativa. A amostragem de MP foi feita com o equipamento *Met One* 831 ao fluxo de  $2,83 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e por 60 minutos em cada ponto. Para a coleta dos bioaerossóis foi utilizada a técnica passiva de sedimentação espontânea (primeira etapa) com tempo de exposição das placas de Petri (em triplicata) de 10 minutos em cada ponto. O cálculo da sua concentração em Unidades Formadoras de Colônias por metro cúbico de ar ( $\text{UFC}\cdot\text{m}^{-3}$ ) deu-se por meio das razões entre as amostragens ativa e passiva (segunda etapa). Em seguida, a caracterização morfolotintorial e o microcultivo foram efetuados para as colônias isoladas de bactérias e fungos, respectivamente. Constatou-se que o P3 é o local com a maior contaminação do ar com valores médios mais elevados de  $699,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para  $\text{MP}_{10}$ ,  $29,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para  $\text{MP}_{2,5}$  e  $1.838,5 \text{ UFC}\cdot\text{m}^{-3}$  para as bactérias no período da manhã. Para os fungos, o P2 foi o local com a concentração média mais alta de  $4.285,0 \text{ UFC}\cdot\text{m}^{-3}$  à tarde. As relações das concentrações do ambiente interno pelo externo (I/E) indicaram a grande influência de fontes internas nos resultados de  $\text{MP}_{2,5}$ ,  $\text{MP}_{4,0}$ ,  $\text{MP}_{10}$  e bactérias no P3. As bactérias Gram-positivas e os fungos *Aspergillus* spp. foram predominantes dentre as colônias isoladas. Os resultados dos questionários mostraram que o grupo exposto é o mais afetado por diversos sintomas e problemas de saúde, entretanto, não foram encontrados riscos à saúde entre as variáveis do sangue e a exposição significativa aos poluentes dos trabalhadores da cooperativa. Duas suposições para esses resultados são a hipótese da higiene e a liberação de receptores solúveis, contudo análises futuras são necessárias para resultados mais conclusivos.

**Palavras-chave:** Poluentes atmosféricos. Saúde ocupacional. Reciclagem. Marcadores inflamatórios sanguíneos. Qualidade do ar interno.

## ABSTRACT

WIKUATS, C. F. H. **Study of workers' exposure to particulate matter and bioaerosols in a materials recycling facility**. 2020. 135 p. Dissertation (Master's Degree). Environmental Engineering Master's Program (PPGEA), Campus Apucarana/Londrina, Federal University of Technology – Paraná. Londrina, 2020.

The environmental quality of materials recycling facilities (MRF) may be compromised by the presence of atmospheric particulate matter (PM) and airborne bioaerosols. Thus, this study aimed to analyze the exposure to these pollutants of workers of a MRF in Londrina, Paraná. In addition, to infer about the existence of association of this exposure with levels of blood inflammatory markers of these workers compared to a control population of the Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Questionnaires and blood samples were collected in November 2018 with the participation of 64 volunteers, 40 MRF workers (exposed group) and 24 UTFPR students and employees (control group). PM and bioaerosol samplings occurred in the morning and afternoon from February 18 to 22, 2019 at four sampling sites: in a classroom (P1) and outdoors (P2) at UTFPR, in one of the waste processing sheds (P3) and in the outdoor environment (P4) of the MRF. PM sampling was performed with the Met One 831 mass monitor at a flow rate of  $2.83 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  and for 60 minutes at each site. For the collection of bioaerosols the passive settle plate method (first stage) was used with an exposure time of the agar Petri dishes (in triplicate) of 10 minutes at each sampling site. Its concentration in Colony Forming Units per cubic meter of air ( $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ ) was calculated by the ratios between active and passive sampling (second stage). Then, Gram staining and slide culture techniques were performed for the isolated colonies of bacteria and fungi, respectively. P3 is the site with the highest air contamination with the highest average values of  $699.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  for  $\text{PM}_{10}$ ,  $29.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  for  $\text{PM}_{2.5}$  and  $1,838.5 \text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$  for bacteria in the morning. For fungi P2 was the place with the highest average concentration of  $4,285.0 \text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$  in the afternoon. The ratios of indoor to outdoor (I/O) concentrations indicated the large influence of indoor sources on the results of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{4.0}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , and bacteria in P3. Gram-positive bacteria and *Aspergillus* spp. fungi were predominant among the isolated colonies. The results of the questionnaires showed that the exposed group is the most affected by several symptoms and health problems, however, no health risks were found among blood variables and the significant exposure to pollutants of the MRF workers. Two assumptions for these results are the hygiene hypothesis and the release of soluble receptors, nevertheless further analyses are necessary for more conclusive results.

**Keywords:** Air pollutants. Occupational health. Recycling. Blood inflammatory markers. Indoor air quality.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Deposição das partículas no sistema respiratório de acordo com seus diâmetros.....	22
Figura 2 – Escalas de tamanhos característicos de partículas atmosféricas com ilustrações exemplares: proteína (A), vírus (B), bactérias (C), esporos fúngicos (D) e grãos de pólen (E).....	24
Figura 3 – Etapas para a realização de um estudo transversal e identificação das quatro possíveis situações para os indivíduos da população avaliada. ....	33
Figura 4 – Fluxograma das etapas realizadas no trabalho.....	38
Figura 5 – Localização dos locais de estudo no município de Londrina, Paraná. ....	39
Figura 6 – Ambientes interno (A) e externo (B) da UTFPR. ....	40
Figura 7 – Ambientes interno ((A) e (B)) e externo ((C) e (D)) da cooperativa. ....	42
Figura 8 – Princípio da metodologia Luminex®.....	44
Figura 9 – Croqui do entorno dos pontos de amostragem na UTFPR (A) e na cooperativa (B). ....	46
Figura 10 – Equipamento utilizado na amostragem de MP, <i>Met One 831</i> (A), e sensor de temperatura e umidade relativa, <i>Onset HOBO UX100-023</i> (B). ....	47
Figura 11 – Amostragem passiva de bioaerossóis por meio da técnica de sedimentação espontânea. ....	48
Figura 12 – Equipamento utilizado na amostragem ativa de bioaerossóis, MAS-100 NT. ....	51
Figura 13 – Concentrações médias de MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> e MP <sub>10</sub> ao longo da semana de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	55
Figura 14 – Concentrações médias de MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> e MP <sub>10</sub> em cada período de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B). ....	57
Figura 15 – Análise de correlação para MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> , MP <sub>10</sub> , temperatura e umidade relativa nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	59
Figura 16 – Concentrações médias de MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> e MP <sub>10</sub> no inverno (I), na primavera (P) e no verão (V) nos ambientes interno e externo na cooperativa.....	61

Figura 17 – Números de UFC para bactérias e fungos amostrados por meio das amostragens passiva e ativa. ....	64
Figura 18 – Placas com crescimento bacteriano nos ambientes interno e externo na cooperativa por meio dos métodos passivo ((A) e (B)) e ativo ((C) e (D)). ....	65
Figura 19 – Aparência microscópica dos isolados classificados como Gram-positivos (A) e Gram-negativos (B). ....	67
Figura 20 – Resultado da coloração de Gram quanto à forma (A) e ao arranjo (B) das bactérias para os ambientes da cooperativa. ....	68
Figura 21 – Placas com crescimento fúngico nos ambientes interno e externo na cooperativa por meio dos métodos passivo ((A) e (B)) e ativo ((C) e (D)). ....	69
Figura 22 – Gêneros dos fungos identificados como resultado do microcultivo para os ambientes da cooperativa. ....	71
Figura 23 – Concentrações médias de bactérias e fungos ao longo da semana de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	72
Figura 24 – Concentrações médias de bactérias e fungos em cada período de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B). ....	73
Figura 25 – Análise de correlação para bactérias, fungos, temperatura e umidade relativa nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	77
Figura 26 – Placas com crescimento bacteriano nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	79
Figura 27 – Resultado da coloração de Gram quanto à forma (A) e ao arranjo (B) das bactérias para os ambientes internos estudados. ....	81
Figura 28 – Placas com crescimento fúngico nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)). ....	83
Figura 29 – Gêneros dos fungos identificados como resultado do microcultivo para os ambientes internos estudados. ....	85
Figura 30 – Exemplo de placas com crescimento de <i>Rhizopus</i> sp. (A) e <i>Neurospora</i> sp. (B) por toda a superfície do meio de cultura. ....	86
Figura 31 – Concentrações médias de bactérias e fungos no inverno (I), na primavera (P) e no verão (V) nos ambientes interno e externo na cooperativa. ....	88

Figura 32 – Análise de correlação para TGF- $\beta$ 1, IL-4, IL-10, IL-17A e IFN- $\gamma$  para o grupo controle (A) e o grupo exposto (B). .....99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Interpretação dos resultados da correlação de Spearman. ....	52
Quadro 2 – Características macroscópicas das colônias de bactérias isoladas da coleta de setembro de 2019. ....	66
Quadro 3 – Características macroscópicas das colônias de fungos isoladas da coleta de setembro de 2019. ....	70
Quadro 4 – Características macroscópicas das colônias de bactérias isoladas da coleta de fevereiro de 2019. ....	80
Quadro 5 – Características macroscópicas das colônias de fungos isoladas da coleta de fevereiro de 2019. ....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência para bioaerossóis e material particulado no Brasil, nos EUA, em Portugal, na Dinamarca e em escala global estabelecidos pela OMS. ....	28
Tabela 2 – Estatística descritiva para temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa. ....	58
Tabela 3 – Resultados da relação I/E para MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> , MP <sub>10</sub> . ....	60
Tabela 4 – Resultados da relação I/E para MP <sub>1,0</sub> , MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>4,0</sub> e MP <sub>10</sub> no inverno, na primavera e no verão. ....	63
Tabela 5 – Dados de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e reciclagem em países selecionados. ....	75
Tabela 6 – Resultados da relação I/E para bactérias e fungos. ....	78
Tabela 7 – Resultados da relação I/E para bactérias e fungos no inverno, na primavera e no verão. ....	89
Tabela 8 – Percentual (%) de gênero e faixa etária dos grupos controle (UTFPR) e exposto (cooperativa). ....	90
Tabela 9 – Percentual (%) de tempo de trabalho/estudo, atividade exercida e tempo de permanência diária na UTFPR. ....	90
Tabela 10 – Percentual (%) de tempo de trabalho, atividade exercida e tempo de permanência diária na cooperativa. ....	91
Tabela 11 – Estatística descritiva para TGF- $\beta$ 1, IL-4, IL-10, IL-17A e IFN- $\gamma$ dos grupos controle e exposto. ....	98
Tabela 12 – Risco relativo (RR) e intervalo de confiança (IC) para as variáveis resposta e explicativas. ....	100

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
3.1	POLUIÇÃO DO AR .....	19
3.1.1	Características e Efeitos à Saúde do Material Particulado .....	21
3.1.2	Características e Efeitos à Saúde dos Bioaerossóis .....	23
3.1.3	Limites de Exposição Ocupacional para Poluentes Atmosféricos em Ambientes Internos .....	26
3.2	RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	29
3.2.1	Exposição a Contaminantes em Cooperativas de Materiais Recicláveis .....	31
3.3	ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS .....	32
3.3.1	Relação entre Marcadores Inflamatórios Sanguíneos e Poluentes Atmosféricos .....	33
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
4.1	DESENHO DO ESTUDO .....	38
4.2	CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS DE ESTUDO .....	39
4.3	APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO .....	42
4.4	COLETA E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SANGUE .....	43
4.5	AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO .....	45
4.6	AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE BIOAERROSSÓIS .....	47
4.6.1	Amostragem e Análise por Sedimentação Espontânea .....	48
4.6.2	Comparação entre Amostragem Passiva e Ativa .....	50
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	52
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
5.1	MATERIAL PARTICULADO .....	54
5.1.1	Concentrações do Verão .....	54
5.1.2	Comparação entre Estações do Ano .....	61
5.2	BIOAERROSSÓIS .....	63
5.2.1	Comparação entre Amostragem Passiva e Ativa .....	63
5.2.2	Concentrações do Verão .....	71

5.2.3	Comparação entre Estações do Ano.....	87
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS DE ESTUDO.....	89
5.3.1	Características Gerais e Situações Potenciais de Exposição à Poluentes Atmosféricos.....	89
5.3.2	Equipamentos de Proteção Individual.....	92
5.3.3	Aspectos Relacionados à Saúde.....	93
5.4	ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SANGUE.....	95
5.4.1	Hemograma Completo, Ferritina e Proteína C Reativa.....	96
5.4.2	Citocinas.....	98
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>104</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE A – INFORMAÇÕES DAS ETAPAS DO ESTUDO.....</b>	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA OS VOLUNTÁRIOS DA COOPERATIVA.....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE C – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS.....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE D – RESULTADOS DO HEMOGRAMA COMPLETO, FERRITINA E PROTEÍNA C REATIVA.....</b>	<b>136</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões de produção e consumo da sociedade, juntamente com a urbanização e o adensamento populacional têm acarretado no crescimento tanto da geração quanto da disposição inadequada de resíduos sólidos, o que tem causado problemas econômicos, ambientais e sociais em todo o mundo (GIUSTI, 2009; PEDROSA; NISHIWAKI, 2014; RODRIGUES; FEITOSA; SILVA, 2015; LINO; ISMAIL, 2018). Dessa forma, o gerenciamento desses resíduos nos municípios tem sido estruturado devido a questões ambientais e a necessidade de promover a segurança sanitária da população, pois os resíduos sólidos podem causar poluição do ar, do solo e da água e oferecer riscos à saúde humana (PORTA et al., 2009; JACOBI; BESEN, 2011; PEDROSA; NISHIWAKI, 2014).

Assim, o setor de reciclagem representa uma parte crescente da indústria e possui vantagens relacionadas à redução do volume de resíduos incinerados ou descartados em lixões ou aterros sanitários e ao reaproveitamento de materiais nas indústrias (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; SONG; LI; ZENG, 2015; POOLE; BASU, 2017). A reciclagem ocorre geralmente por meio de um setor informal, principalmente em países em desenvolvimento, composto por catadores que se organizam em cooperativas para receber os resíduos recicláveis de cada município e, então, fazer a triagem, a seleção, o acondicionamento e, por fim, o encaminhamento dos materiais para a reinserção nas indústrias (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006; JACOBI; BESEN, 2011; RODRIGUES; FEITOSA; SILVA, 2015).

Entretanto, a qualidade ambiental de cooperativas pode ser comprometida com o acúmulo de microrganismos em suspensão no ar, chamados de bioaerossóis, e diversas outras partículas que, em conjunto, constituem o material particulado atmosférico (MP). O MP é composto por partículas sólidas e líquidas ou a mistura dessas fases encontradas em suspensão no ar, conforme descrito pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2013, 2018). Os bioaerossóis, por sua vez, são organismos vivos e mortos em suspensão no ar como bactérias e vírus, unidades de dispersão como esporos de fungos e pólen de plantas, entre outros (SRIKANTH; SUDHARSANAM; STEINBERG, 2008; BREZA-BORUTA, 2016; FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016).

A exposição da população ao MP pode causar problemas de saúde relacionados à redução da função pulmonar, aumento na ocorrência de irritação das



vias aéreas, batimentos cardíacos irregulares, agravamento da asma, tosse ou dificuldade respiratória, câncer, entre outros (OMS, 2013; KIM; KABIR; KABIR, 2015; LANDRIGAN et al., 2018). Além disso, a exposição às partículas respiráveis (menores que 10 µm) pode interferir nos níveis de marcadores inflamatórios pelo organismo humano (como as citocinas pró-inflamatórias, que promovem a inflamação do pulmão) e aumentar a ocorrência de efeitos sistêmicos subsequentes (DINARELLO, 2000; HAMPEL et al., 2015). Já a exposição aos bioaerossóis pode causar doenças cardiovasculares, asma, bronquite, tuberculose, pneumonia, reações alérgicas (como conjuntivite e sinusite), entre outros (OMS, 2009; DI FILIPPO et al., 2013; GALÈS et al., 2015; BREZA-BORUTA, 2016).

Segundo Lavoie et al. (2006) grande parte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (isto é, resíduos domiciliares e de limpeza urbana) está sujeita a decomposição e pode ser facilmente colonizada por bactérias e fungos. Esses microrganismos podem passar pelo processo de formação de bioaerossóis quando esses resíduos são manipulados, apresentando diversos riscos à saúde humana (BYEON et al., 2008; PARK et al., 2011). Reporta-se que os catadores podem estar sujeitos a um risco considerável de apresentarem problemas gastrointestinais, respiratórios (como bronquite crônica e asma), osteomusculares e irritação da pele, dos olhos e da garganta (LAVOIE; GUERTIN, 2001; MADSEN, 2006; PAHARI et al., 2016).

No entanto, o número de estudos referentes a exposição ao MP e aos bioaerossóis de origem bacteriana e fúngica em cooperativas de materiais recicláveis é reduzido, principalmente nos países em desenvolvimento, e as implicações na saúde dos trabalhadores com a ocorrência de possíveis respostas inflamatórias não são bem conhecidas. Dessa forma, é importante avaliar a presença desses poluentes nesses locais e investigar a possível relação existente entre marcadores inflamatórios sanguíneos e as concentrações de MP e bioaerossóis. Espera-se, então, que os resultados deste trabalho possam fornecer subsídios para o controle da poluição do ar em cooperativas de reciclagem de resíduos e para a redução dos efeitos nocivos à saúde dos catadores.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo geral analisar a exposição ao MP e aos bioaerossóis, de origem bacteriana e fúngica, em trabalhadores de uma cooperativa de processamento de materiais recicláveis em Londrina, Paraná. E, ainda, inferir sobre a existência de associação dessa exposição com níveis de marcadores inflamatórios sanguíneos desses trabalhadores em comparação a uma população controle da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir a concentração de MP no ar interno e externo da cooperativa e da UTFPR;
- Quantificar a concentração de bioaerossóis, de origem bacteriana e fúngica, no ar interno e externo da cooperativa e da UTFPR;
- Isolar e identificar fenotipicamente o gênero de fungos filamentosos amostrados no ar da cooperativa e da UTFPR;
- Mensurar e comparar a concentração de marcadores inflamatórios no sangue dos trabalhadores da cooperativa (grupo exposto) e dos alunos e funcionários da UTFPR (grupo controle).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 POLUIÇÃO DO AR

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 491, de 19 de novembro de 2018, poluente atmosférico pode ser definido como:

Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade (BRASIL, 2018).

Dessa forma, a poluição do ar ocorre com a presença de poluentes emitidos por fontes naturais, como erupções vulcânicas e ressuspensão da poeira do solo, e por fontes antrópicas, como combustão de combustíveis fósseis e atividades industriais (KAMPA; CASTANAS, 2008; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; SANTOS; CARVALHO; REBOITA, 2016; ZHANG et al., 2017). As propriedades físico-químicas dos poluentes, as reações químicas que ocorrem entre eles na atmosfera, a localização e o porte das fontes de emissão, além das condições meteorológicas e das características topográficas, também influenciam na degradação da qualidade do ar (GUTTIKUNDA; GURJAR, 2012; SANTANA et al., 2012; WHITEMAN et al., 2014; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

A poluição do ar pode causar diversos efeitos ao meio ambiente, à vegetação e à fauna, à saúde humana e, ainda, sobre os materiais e as propriedades da atmosfera (MILLS et al., 2009; SANTANA et al., 2012; ZHAO et al., 2013). Alguns exemplos desses efeitos incluem a redução da visibilidade, as mudanças climáticas com a intensificação do efeito estufa e o aumento da incidência de radiação ultravioleta sobre a Terra causado pela redução da camada de ozônio (HASENFRATZ et al., 2012; KAN; CHEN; TONG, 2012). Ainda, a acidificação da água da chuva pode contaminar o solo, os rios e os lagos e a fotossíntese pode ocorrer com menor frequência em decorrência da deposição de poluentes nas folhas ou até mesmo ser inativada quando a poluição se encontra acima da faixa fisiologicamente aceitável pelas plantas (SANTANA et al., 2012; GIRI et al., 2013; ZHAO et al., 2013).

Com relação a saúde humana, os sintomas de enfermidades cardiovasculares, respiratórias e neurológicas podem ser intensificados devido à poluição atmosférica (POPE III et al., 2002; BERNSTEIN et al., 2004; KAMPA; CASTANAS, 2008; KIM; KABIR; KABIR, 2015; LANDRIGAN et al., 2018). De acordo com a OMS (2006) a boa qualidade do ar que se respira é fundamental para o bem-estar da população. Entretanto, em um estudo realizado pelo *Global Burden of Disease* foi estimado que um total de 6,5 milhões de mortes foram registradas em todo o mundo em 2015 em função da poluição do ar (LANDRIGAN et al., 2018).

Os poluentes emitidos por fontes externas podem entrar em ambientes internos e causar diversos efeitos nocivos à saúde da população, que pode permanecer por cerca de 90% de seu tempo em ambientes fechados (KLEPEIS et al., 2001; HIGASKINO; FIGEL; YAMADA, 2007; MENETREZ et al., 2009; OMS, 2009). De acordo com o mesmo estudo do *Global Burden of Disease*, 2,9 milhões de mortes estavam associadas à poluição do ar de ambientes internos (LANDRIGAN et al., 2018).

Stetzenbach et al. (2004) relatam que a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (*Environmental Protection Agency – EPA*) classificou os poluentes do ar em ambientes internos (com exceção do radônio) como o terceiro maior dentre 30 riscos ambientais. Esses poluentes são provenientes do ar externo, da combustão de materiais sólidos (madeira, por exemplo), da falta de manutenção nos sistemas de ventilação e ar condicionado, do tabagismo, dos próprios ocupantes desses ambientes e das emissões provenientes de materiais de construção e do mobiliário (OMS, 2006).

Os efeitos causados pela exposição à poluição do ar, tanto externo como interno, são dependentes de vários fatores como: a existência de barreiras físicas entre o meio e o receptor da poluição; a proximidade das fontes de emissão; e a realização de atividades físicas, pois quanto maior o esforço, maior a taxa de respiração e a dose de poluentes inalada pela pessoa (BATESON; SCHWARTZ, 2008; DONS et al., 2012; BIGAZZI; FIGLIOZZI, 2014). As características físico-químicas, o tamanho, o tipo e a toxicidade do poluente, além da frequência e da magnitude da exposição também exercem influência sobre os efeitos observados à saúde (BROOK, 2008; KAMPA; CASTANAS, 2008).

### 3.1.1 Características e Efeitos à Saúde do Material Particulado

O MP é constituído por partículas sólidas e líquidas encontradas em suspensão no ar ou, ainda, pela mistura dessas duas fases (BROOK, 2008; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; SEINFELD; PANDIS, 2016). É um poluente que apresenta alta variabilidade de concentração, tamanho e constituição química no espaço e no tempo, sendo influenciado pelas condições meteorológicas, pelas fontes de origem e processos físico-químicos que ocorrem na atmosfera (BROOK, 2008; ARBEX et al., 2012; WHITEMAN et al., 2014; RAASCHOU-NIELSEN et al., 2016).

O MP é resultante tanto de emissões diretas de partículas, sendo assim um aerossol primário, quanto por meio de reações químicas, sendo considerado um aerossol secundário (SANTOS; CARVALHO; REBOITA, 2016; SEINFELD; PANDIS, 2016). A classificação desse poluente é feita em relação ao seu tamanho aerodinâmico, isto é, “o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão” (BRAGA et al., 2001; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012).

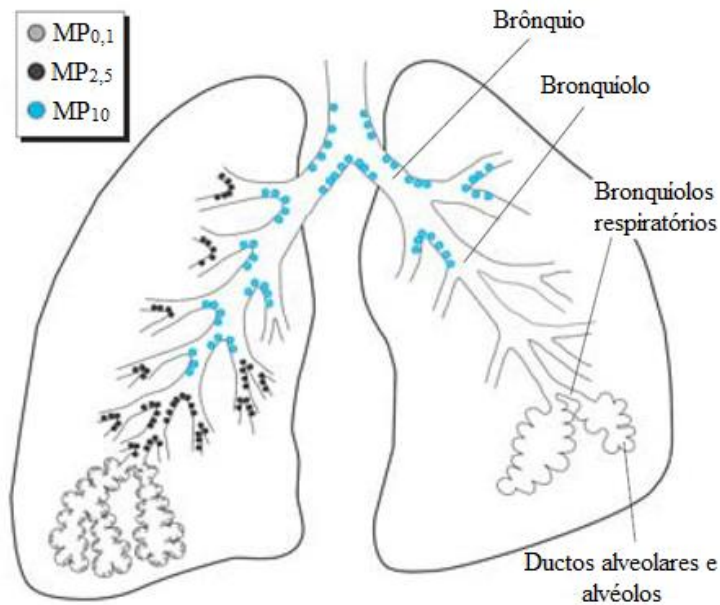
Assim, o MP pode ser dividido em: partículas ultrafinas, com diâmetro aerodinâmico menor que  $0,1 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{0,1}$ ); partículas finas, com diâmetro menor que  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ); e partículas grossas ou respiráveis, com diâmetro aerodinâmico entre  $2,5$  e  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) (OMS, 2006; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; TAIWO et al., 2014). Ainda se tem as partículas totais em suspensão (PTS), que possuem diâmetro igual ou menor que  $50 \mu\text{m}$  (BRASIL, 2018).

Geralmente, as partículas finas e ultrafinas são formadas por meio de processos de alta temperatura, tais como exaustão de veículos, processos industriais, queima de biomassa e reações químicas na atmosfera. As partículas grossas, por sua vez, são comumente originadas a partir de processos de atrito, incluindo abrasão mecânica de material da crosta terrestre e ressuspensão de solo, erupções vulcânicas, spray marinho e desgaste de freios e pneus de veículos (ALLEN et al., 2001; HARRISON et al., 2003; MILLS et al., 2009; TAIWO et al., 2014).

Os componentes químicos do MP incluem: carbono elementar ou orgânico; sais solúveis; metais (cádmio, cobre, níquel, zinco, ferro, alumínio, etc.); materiais biológicos (esporos fúngicos, bactérias, pólen); compostos inorgânicos (nitratos, sulfatos, sódio, potássio, cálcio); e compostos orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, etc.) (COLBECK, 2008; ARBEX et al., 2012; KIM; KABIR; KABIR, 2015).

Além disso, o MP é considerado como um dos poluentes mais danosos à saúde humana (LANDRIGAN et al., 2018; OMS, 2018) devido à deposição das partículas no sistema respiratório humano. As partículas maiores (MP<sub>10</sub>) geralmente se depositam na parte superior das vias respiratórias e pulmonares, enquanto a deposição das partículas menores (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>0,1</sub>) ocorre nos ductos alveolares e alvéolos pulmonares (CORMIER et al., 2006), conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Deposição das partículas no sistema respiratório de acordo com seus diâmetros.



Fonte: Adaptada de Cormier et al. (2006).

De acordo com a OMS (2013) os efeitos causados à saúde humana devido a exposição ao MP, tanto em curto prazo (horas ou dias) quanto em longo prazo (meses ou anos), incluem: morbidade respiratória e cardiovascular, como agravamento da asma, sintomas respiratórios e aumento de internações hospitalares; e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias e por câncer de pulmão. Evidências ainda sugerem associações entre a poluição por MP<sub>2,5</sub> e diversas doenças como diabetes, limitação da função cognitiva, distúrbio de déficit de atenção ou hiperatividade e autismo em crianças e doenças neurodegenerativas, incluindo demência, em adultos, além de exacerbação de insuficiência cardíaca congestiva, redução da expectativa de vida e aumento da ocorrência de partos prematuros (KIM; KABIR; KABIR, 2015; ROUX et al., 2017; LANDRIGAN et al., 2018). Entretanto, esses efeitos dependem de fatores como a concentração do poluente, o tempo de exposição

e a suscetibilidade de cada pessoa sujeita à poluição do ar (KAMPA; CASTANAS, 2008).

A poluição do ar por  $MP_{2,5}$  foi considerada, em 2016, a causa de 4,2 milhões de mortes prematuras em todo o mundo, tanto em áreas urbanas como em rurais (OMS, 2018). Assim, medidas de mitigação precisam ser tomadas a fim de impedir que esse número dobre em 2050 (LANDRIGAN et al., 2018).

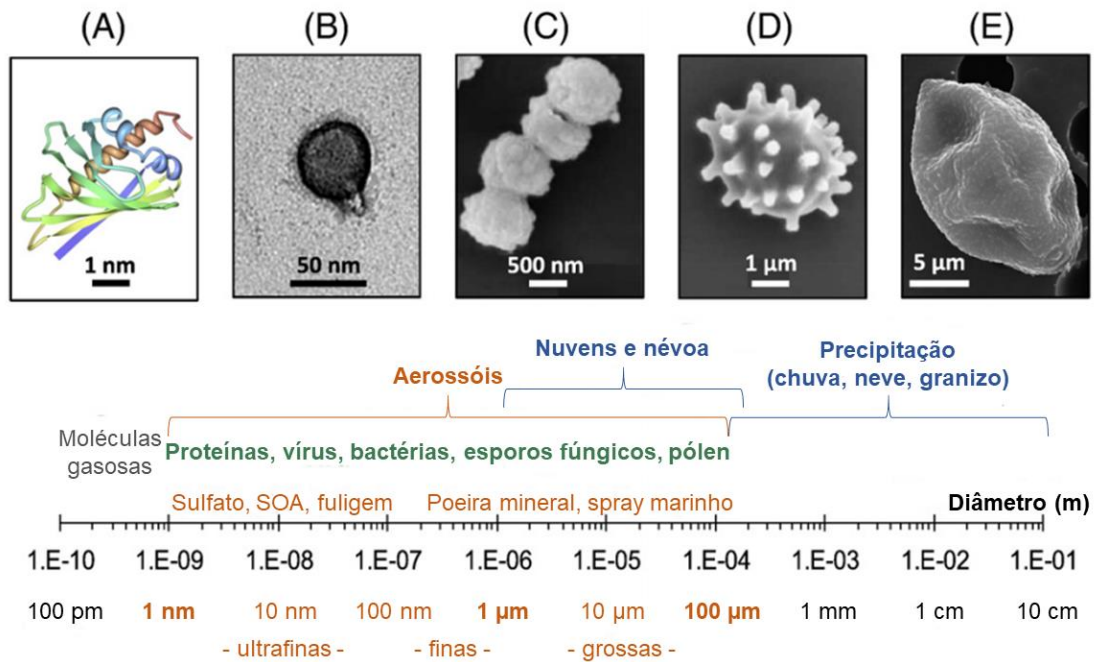
### 3.1.2 Características e Efeitos à Saúde dos Bioaerossóis

Os bioaerossóis são partículas muito pequenas, de 0,001 a 100  $\mu m$ , que podem conter organismos vivos e mortos como bactérias, esporos de fungos, vírus, cistos de protozoários, pólen de plantas, arqueas, algas, entre outros (SRIKANTH; SUDHARSANAM; STEINBERG, 2008; BREZA-BORUTA, 2016; FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016; KIM; KABIR; JAHAN, 2018).

Os bioaerossóis constituem uma fração dos aerossóis presentes na atmosfera (Figura 2), ou seja, eles representam cerca de 30% das partículas em suspensão tanto no ar urbano quanto no rural e até 80% no ar de uma floresta tropical intocada, levando-se em consideração o número e a concentração em massa de partículas com diâmetros superiores a 1  $\mu m$  (GRAHAM et al., 2003; MARTIN et al., 2010; DESPRÉS et al., 2012; FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016). Além disso, os bioaerossóis podem contribuir com cerca de 24% da contagem total de partículas transportadas pelo ar e entre 5% e 10% da massa total de partículas em suspensão (ADHIKARI et al., 2006; PAHARI et al., 2016).

Na Figura 2 são mostrados os tamanhos característicos de partículas em suspensão no ar, como moléculas gasosas, aerossóis biológicos (como bactérias e esporos fúngicos) e não biológicos (como fuligem e spray marinho) e partículas constituintes de nuvens, névoa e precipitação. Além disso, podem ser observados exemplos de bioaerossóis e seus respectivos tamanhos.

Figura 2 – Escalas de tamanhos característicos de partículas atmosféricas com ilustrações exemplares: proteína (A), vírus (B), bactérias (C), esporos fúngicos (D) e grãos de pólen (E).



Fonte: Adaptada de Fröhlich-Nowoisky et al. (2016).

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

Os agentes biológicos em suspensão no ar são importantes fatores na qualidade do ar interior, pois relata-se que eles sejam responsáveis por 5 a 34% da poluição de ambientes internos (SRIKANTH; SUDHARSANAM; STEINBERG, 2008; OMS, 2009). A exposição a esses poluentes, tanto no ambiente interno ocupacional como no residencial, está associada a múltiplos efeitos adversos à saúde, com grande impacto na saúde pública (DOUWES et al., 2003; EDUARD et al., 2012; WALSER et al., 2015; KIM; KABIR; JAHAN, 2018).

Os bioaerossóis são gerados por uma série de processos, incluindo dispersão ativa, erosão e interação mecânica entre as superfícies (LÖNDAHL, 2014). Além disso, as principais fontes de microrganismos no ar, de maneira geral, são o solo, a vegetação, as atividades humanas (como em edifícios e parques) e as superfícies com água (GONÇALVES et al., 2010a; EMYGDIO et al., 2018a). No caso de ambientes internos, eles podem ser gerados pelos ocupantes dos ambientes (pelo próprio corpo humano), pelo mobiliário e seu uso, pelos sistemas de construção, pela comida e advindos do ar externo (BRANDL; MANDAL, 2011; MIRHOSEINI et al., 2016).

Os bioaerossóis também podem estar presentes em nuvens e na neblina, onde essas partículas biológicas atuam como núcleos de gotículas de água, cristais de gelo



e precipitação, influenciando o ciclo hidrológico, o clima e o balanço de energia da Terra (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2009, 2016).

As pessoas expostas a poluentes microbiológicos em suspensão no ar ambiente podem estar sujeitas a diversos efeitos negativos à saúde. As doenças incluem asma, febre, pneumonia, tuberculose, bronquite, reações alérgicas (tais como sinusite, rinite e conjuntivite) e doenças cardiovasculares (BREZA-BORUTA, 2016; KIM; KABIR; JAHAN, 2018). Os bioaerossóis ainda podem induzir irritação das membranas mucosas, síndrome tóxica causada por poeira orgânica e reações inflamatórias (LAVOIE; GUERTIN, 2001; OMS, 2009; EDUARD et al., 2012; BREZA-BORUTA, 2016).

De acordo com Löndahl (2014) doenças infecciosas ligadas aos bioaerossóis são essencialmente causadas por vírus (como gripe e sarampo), bactérias (tuberculose, doença dos legionários ou legionelose, por exemplo) ou esporos fúngicos (como aspergilose e blastomicose). Além disso, muitas toxinas com efeitos de saúde conhecidos são produzidas a partir de bactérias e fungos. As endotoxinas bacterianas podem ser pró-inflamatórias causando sintomas como febre, inflamação das vias aéreas neutrofílicas, tosse e comprometimento da função pulmonar (DOUWES et al., 2003; LÖNDAHL, 2014). A exposição a toxinas fúngicas, chamadas de micotoxinas, em humanos e animais afeta as respostas imunes do hospedeiro a agentes infecciosos, alterando a suscetibilidade aos patógenos (PARK et al., 2015).

As bactérias são microrganismos encontrados em quase todos os ambientes da Terra que, quando dispersas pelo ar, podem ser transportadas como células únicas, mas tipicamente são ligadas a outras partículas, como fragmentos de folhas, solo ou pele (LÖNDAHL, 2014). Os fungos filamentosos são compostos de micélios vegetativos que consistem em um grande número de hifas ramificadas e crescem em praticamente todos os ecossistemas da Terra (DESPRÉS et al., 2012). Também são capazes de se aerossolizar eficientemente, isto é, formar bioaerossóis, sendo considerados um dos grupos mais comuns de aerossóis biológicos dispersos no ar em diversos ambientes (ADHIKARI et al., 2006; DESPRÉS et al., 2012; EMYGDIO et al., 2018a, 2018b).

O perigo potencial à saúde humana causado pelos bioaerossóis está relacionado à patogenicidade de microrganismos específicos, à via de exposição, à resposta imunológica do hospedeiro e às condições ambientais (NADAL et al., 2009; BREZA-BORUTA, 2016). Além disso, a presença de bioaerossóis na atmosfera é

influenciada por diversos fatores, tais como umidade relativa do ar, radiação solar, temperatura, velocidade do vento, precipitação e pressão atmosférica (TANG, 2009; EMYGDIO et al., 2018a). Entretanto, a diversidade, a identidade, a variabilidade temporal e espacial e a abundância dos diferentes tipos de partículas de bioaerossóis ainda não estão bem caracterizadas (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016).

### 3.1.3 Limites de Exposição Ocupacional para Poluentes Atmosféricos em Ambientes Internos

Diversas agências estabeleceram valores máximos de exposição ocupacional para poluentes atmosféricos em ambientes internos, entretanto, não existe consenso quanto a isso uma vez que, em ambientes ocupacionais, os bioaerossóis são geralmente misturas complexas de muitas partículas microbianas, animais e vegetais diferentes (QUADROS et al., 2009; BRANDL; MANDAL, 2011; CALDEIRA et al., 2012). Além disso, não há um método padronizado para a coleta e a análise de bioaerossóis bacterianos e fúngicos, o que dificulta o estabelecimento de limites de exposição (QUADROS et al., 2009; BRANDL; MANDAL, 2011).

No Brasil, a Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) nº 09, de 16 de janeiro de 2003, é utilizada como referência por ter determinado valores máximos recomendáveis (VMR) para fungos totais e aerossóis totais (PTS). Também foram estabelecidos valores para a relação I/E, isto é, a quantidade de fungos no ar interno (I) e a quantidade de fungos no ar externo (E) (BRASIL, 2003).

Nos EUA, o comitê sobre bioaerossóis da Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH*) estabeleceu um limite de exposição ocupacional para fungos em ambientes internos. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (*National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*), por sua vez, determinou um valor para microrganismos totais (CALDEIRA et al., 2012).

Para bactérias, a concentração máxima de referência foi determinada na Nota Técnica NT-SCE-02 do Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios de Portugal (AGÊNCIA PARA A ENERGIA, 2009). Na Dinamarca, foram estabelecidas diretrizes para bactérias totais e bactérias Gram-negativas (LAVOIE; GUERTIN, 2001).

Com relação a poluição do ar externo em nível global, a OMS atualizou seus padrões de qualidade do ar em 2005. No Brasil tem-se a Resolução CONAMA nº 491/2018, a partir da qual foram colocados em vigor os padrões de qualidade do ar intermediários 1 (PI-1) como valores temporários até atingir os padrões de qualidade do ar finais (PF), que são os valores definidos pela OMS (OMS, 2006; BRASIL, 2018).

Os valores para bioaerossóis são expressos em Unidades Formadoras de Colônias por metro cúbico de ar (UFC.m<sup>-3</sup>) e para PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> em microgramas por metro cúbico de ar (µg.m<sup>-3</sup>), sendo para os dois últimos os valores médios de 24 horas. Todos esses dados são apresentados na Tabela 1.

Com relação aos valores estabelecidos na Dinamarca para as bactérias, que são maiores que os dos outros países, destaca-se que esses devem ser considerados como concentrações médias aceitáveis para períodos de 8 horas. Assim, níveis mais baixos de exposição não garantem a ausência de efeitos à saúde (POULSEN et al., 1995; LAVOIE; GUERTIN, 2001; SCHLOSSER et al., 2009).

Tabela 1 – Valores de referência para bioaerossóis e material particulado no Brasil, nos EUA, em Portugal, na Dinamarca e em escala global estabelecidos pela OMS.

Poluentes	Brasil		EUA		Portugal	Dinamarca	OMS <sup>(7)</sup>
	ANVISA <sup>(3)</sup>	I/E	CONAMA <sup>(4)</sup>	NIOSH <sup>(5)</sup> ACGIH <sup>(6)</sup>			
Fungos totais (UFC <sup>(1)</sup> .m <sup>-3</sup> )	≤ 750	≤ 1,5	-	-	250	-	-
Microrganismos totais (UFC.m <sup>-3</sup> )	-	-	-	1.000	-	-	-
Bactérias totais (UFC.m <sup>-3</sup> )	-	-	-	-	-	500	10.000
Bactérias Gram-negativas (UFC.m <sup>-3</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.000
PTS <sup>(2)</sup> (µg.m <sup>-3</sup> )	≤ 80	-	240*	-	-	-	-
MP <sub>10</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	-	-	120*	-	-	-	50
MP <sub>2,5</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	-	-	60*	-	-	-	25

Fonte: Lavoie; Guertin (2001); Brasil (2003, 2018); OMS (2006); Agência para a Energia (2009); Caldeira et al. (2012).

<sup>(1)</sup> UFC = Unidades Formadoras de Colônias; <sup>(2)</sup> PTS = Partículas Totais em Suspensão; <sup>(3)</sup> ANVISA = Agência Nacional de Vigilância Sanitária; <sup>(4)</sup> CONAMA = Conselho Nacional de Meio Ambiente; <sup>(5)</sup> NIOSH = *National Institute for Occupational Safety and Health* (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional); <sup>(6)</sup> ACGIH = *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais); <sup>(7)</sup> OMS = Organização Mundial da Saúde; \* padrões de qualidade do ar intermediários 1 (PI-1) da Resolução CONAMA nº 491/2018.

### 3.2 RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A gestão de resíduos sólidos é uma questão de preocupação social devido aos efeitos na saúde pública e ao seu impacto ambiental, podendo contaminar o ar, o solo e os recursos hídricos (GIUSTI, 2009; PORTA et al., 2009; JACOBI; BESEN, 2011; VIMERCATI et al., 2016; MARINO; CHAVES; SANTOS JUNIOR, 2018). As atividades de gerenciamento de resíduos podem apresentar riscos resultantes da emissão ou liberação de agentes químicos perigosos e agentes biológicos, dos tipos de exposição a esses poluentes e da suscetibilidade das populações expostas a eles (DOUWES et al., 2003; VIMERCATI et al., 2016).

Segundo Silva, Goes e Alvarez (2013) o setor de reciclagem surgiu devido ao aumento significativo do consumo nos centros urbanos nas últimas décadas, de forma que houve acréscimo tanto na quantidade de resíduos sólidos a serem descartados quanto no custo de matérias-primas utilizadas na produção de produtos de consumo. Assim, adveio a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias a fim de transformar os resíduos em matérias-primas que possam ser reutilizadas no processo produtivo (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013; POOLE; BASU, 2017; SILVA, 2017).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, reciclagem é definida como:

Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes [...] (BRASIL, 2010a).

Apesar de recente, a reciclagem tem se consolidado como um setor produtivo que possui amplo potencial de benefícios econômicos (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013; POOLE; BASU, 2017). Esse processo ocorre, basicamente, com o gerenciamento dos resíduos sólidos desde o descarte, incluindo também a coleta, a triagem, o processamento, a logística de transporte, a comercialização do material, a reutilização pela indústria e o desenvolvimento do mercado para receber o novo produto (VIMERCATI et al., 2016).

Com relação a triagem, os resíduos são separados levando-se em consideração as suas características físicas em: plástico, vidro, papel, papelão,

alumínio e metais ferrosos, de maneira geral (SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013; BRINA et al., 2018; LINO; ISMAIL, 2018). Após os processos de separação e enfardamento, os resíduos são reutilizados nas indústrias como matéria-prima, ocasionando a diminuição da extração de matéria-prima virgem, dos custos no processo produtivo, da poluição do solo, do ar e da água e do consumo de energia (RAMAYAH; LEE; LIM, 2012; PAULO; SANTOS; SILVA, 2013; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013; SONG; LI; ZENG, 2015).

Além disso, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) e Turner, Williams e Kemp (2015) a reciclagem promove o aumento da eficiência energética de diversos setores da indústria e colabora para a redução da emissão de gases de efeito estufa, que estão diretamente relacionados com a geração de energia por meio da queima de combustíveis fósseis.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), anualmente são gerados no Brasil cerca de 79 milhões de toneladas de RSU. Desse montante, de 30 a 40% poderiam ser reciclados e reaproveitados (excluindo a compostagem dos resíduos orgânicos), entretanto, somente 13% do total de RSU gerados são encaminhados para a reciclagem (SILVA, 2017). Já Kaza et al. (2018) reportam que a taxa de reciclagem no Brasil é de apenas 1,4%.

De acordo com o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a PNRS, a coleta seletiva de resíduos deve contar com a participação de cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis compostas por pessoas físicas de baixa renda (BRASIL, 2010b). Com isso, grandes avanços na organização do trabalho dos catadores foram observados, à medida que essa mão de obra tem aumentado nos últimos anos (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006; JACOBI; BESEN, 2011; HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; DIAS; PRAGANA; SANTOS, 2014).

A organização de catadores em cooperativas propicia melhores condições de trabalho e renda, maior valorização e profissionalização e possibilita que eles tenham consciência da importância do seu trabalho consolidando, assim, um perfil de inclusão social (MEDINA, 2008; DIAS; PRAGANA; SANTOS, 2014; COELHO et al., 2016). Além disso, os catadores realizam um papel significativo na sociedade atual, pois ao atuar na coleta e na triagem de materiais passíveis de reciclagem tem-se um mecanismo de logística reversa, uma vez que grande quantidade de resíduos que

seria encaminhada para lixões ou aterros sanitários, passa a ser reaproveitada (MEDINA, 2008; HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013; RODRIGUES; FEITOSA; SILVA, 2015; POOLE; BASU, 2017). Dessa forma, a atividade realizada por eles representa a base da indústria da reciclagem (DIAS; PRAGANA; SANTOS, 2014).

### 3.2.1 Exposição a Contaminantes em Cooperativas de Materiais Recicláveis

Nos últimos anos houve o surgimento de novas atividades industriais nas quais a exposição aos bioaerossóis pode ser abundante, como no setor de resíduos sólidos (na triagem de resíduos recicláveis, na coleta de resíduos orgânicos e na compostagem, por exemplo) (DOUWES et al., 2003; WALSER et al., 2015). Os trabalhadores dessa indústria estão frequentemente expostos a concentrações muito elevadas de microrganismos, principalmente bactérias e fungos, com alta prevalência de sintomas e inflamação das vias aéreas (POULSEN et al., 1995; WOUTERS et al., 2002; DOUWES et al., 2003; WALSER et al., 2015). Nesse caso, quando os materiais biodegradáveis são manuseados, os microrganismos podem se aerossolizar e os trabalhadores podem ser expostos a diversos agentes biológicos podendo apresentar, assim, riscos à saúde (LAVOIE et al., 2006; PARK et al., 2011).

Além de bactérias e fungos, os processos de coleta, triagem e reciclagem de resíduos também levam à formação de endotoxinas, que são os componentes da parede celular das bactérias Gram-negativas (VIMERCATI et al., 2016). As endotoxinas são consideradas o principal componente pró-inflamatório presente nos bioaerossóis e a exposição a baixas concentrações desse poluente pode induzir uma resposta inflamatória das vias aéreas superiores por meio da ativação de neutrófilos e da liberação de citocinas, como as interleucinas 6 e 8 (IL-6 e IL-8) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) (VIMERCATI et al., 2016). Essas citocinas são consideradas como os principais fatores desencadeantes dos processos inflamatórios (VIMERCATI et al., 2016).

Quando se avalia o risco à saúde respiratória de catadores de resíduos sólidos, também é importante levar em consideração o esforço físico e o trabalho muscular que essas atividades implicam durante a elevação e o manuseio de grandes sacos (*big bags*), onde geralmente são colocados os resíduos após a segregação (VIMERCATI et al., 2016). Isso pode causar uma resposta que consiste em aumento

no fluxo e na frequência respiratória o que, conseqüentemente, aumenta a quantidade inalada de bioaerossóis, gases da exaustão de veículos e partículas de poeira (YANG et al., 2001; RAY et al., 2005; VIMERCATI et al., 2016).

A exposição aos bioaerossóis pode ocorrer por meio da ingestão, do contato dérmico e da inalação (FONTANA et al., 2015; PEARSON et al., 2015). A última rota de exposição é a mais preocupante, pois quando dispersos no ar, esses poluentes podem percorrer distâncias consideráveis e ser potencialmente inalados pelos catadores, bem como pelas pessoas que residem próximo aos locais de processamento de resíduos sólidos (PEARSON et al., 2015).

Além dos riscos biológicos, os catadores de cooperativas de materiais recicláveis estão frequentemente expostos a riscos: químicos (substâncias químicas líquidas, gasosas ou de partículas); físicos (temperatura, ruídos e radiação); ergonômicos e psicossociais (falhas no treinamento dos trabalhadores, ritmo de trabalho excessivo); e mecânicos e de acidentes (ausência de limpeza e sinalização, espaço físico inadequado) (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2001; JERIE, 2016; PEREIRA-DE-PAIVA et al., 2017).

Portanto, essa atividade é considerada como insalubre em grau máximo de acordo com o estabelecido na Norma Regulamentadora nº 15, do Ministério do Trabalho, aprovada pela Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Essa classificação exige maiores cuidados no que diz respeito a equipamentos de proteção individual (EPIs) e à disponibilidade de locais apropriados para a realização do trabalho (BRASIL, 1978; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013).

### 3.3 ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS

A Epidemiologia pode ser definida como o estudo da distribuição de doenças e outras condições relacionadas à saúde, aplicando-a para controlar problemas de saúde em populações específicas. Assim, estudos epidemiológicos podem ser usados para estimar a frequência de uma doença e encontrar associações que possam sugerir as suas causas potenciais (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012).

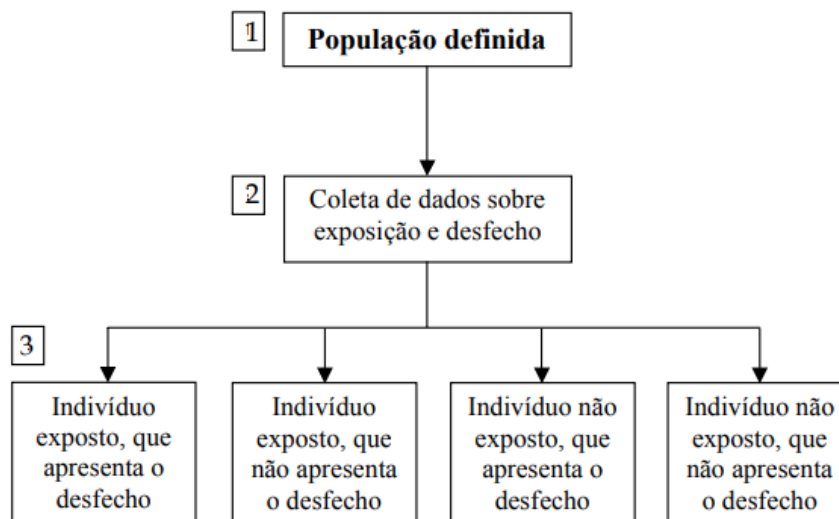
Neste trabalho foi feito um estudo transversal, em que a determinação da exposição e da condição de saúde dos indivíduos (ou desfecho) ocorre simultaneamente. De maneira geral, nesse tipo de estudo é avaliada a prevalência de



uma doença ou condição relacionada à saúde de uma determinada população, ou seja, é estimada a frequência com que ocorre um evento específico na saúde dos indivíduos e são avaliados os fatores relacionados a isso em um determinado tempo (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003; LEVIN, 2006; BASTOS; DUQUIA, 2007; PEARCE, 2012).

As etapas para a condução de um estudo transversal são: determinação de uma população para análise; realização da amostragem; e avaliação da presença ou ausência da exposição e do desfecho para a população em questão (Figura 3) (GORDIS, 2004; BASTOS; DUQUIA, 2007; SETIA, 2016).

Figura 3 – Etapas para a realização de um estudo transversal e identificação das quatro possíveis situações para os indivíduos da população avaliada.



Fonte: Bastos; Duquia (2007).

Posteriormente, as particularidades das pessoas ditas expostas à uma condição específica de poluição, por exemplo, ou já classificadas como doentes são comparadas às dos sujeitos considerados como não expostos à condição estabelecida ou que não estejam doentes (BASTOS; DUQUIA, 2007).

### 3.3.1 Relação entre Marcadores Inflamatórios Sanguíneos e Poluentes Atmosféricos

Recentemente, diversos estudos epidemiológicos têm utilizado a análise de marcadores inflamatórios sanguíneos (como as citocinas) a fim de aferir sobre a exposição e/ou os efeitos de poluentes atmosféricos à saúde (RÜCKERL et al., 2006; TSAI et al., 2012; ELVIDGE et al., 2013; HAMPEL et al., 2015; WATANABE et al.,

2017). Também existem estudos referentes à inflamação das vias aéreas em pessoas que manipulam resíduos sólidos (HELDAL et al., 2003a, 2003b; CHANG et al., 2014).

A inflamação local é descrita como um processo em que ocorre aumento da permeabilidade capilar e vascular e do fluxo sanguíneo, além da atração de neutrófilos e leucócitos. Em seguida, macrófagos e/ou monócitos e outras células linfocitárias, em especial as células T e B, seguem em direção da lesão em questão. Nesse processo, são liberados mediadores bioquímicos, dentre eles as citocinas, que podem acelerar o processo de reação inflamatória, reparando-o ou mantendo-o e acarretando efeitos danosos para o pulmão (LUKACS; WARD, 1996; CASTRO, 2001; CHEN et al., 2018).

As citocinas são proteínas reguladoras de baixo peso molecular produzidas por células imunes e não imunes em resposta a um estímulo externo e desempenham um papel fundamental na regulação das respostas do hospedeiro a agentes infecciosos, inflamação e hematopoese (SACHDEVA; ASTHANA, 2007; ZHANG; AN, 2007; MAYER et al., 2010). Elas geralmente atuam em curtas distâncias, breves períodos de tempo e em concentrações muito baixas, ligando-se a receptores específicos de membrana (receptores de citocinas) que sinalizam a célula por meio de mensageiros para alterar seu comportamento (SACHDEVA; ASTHANA, 2007). Assim, infecções estão geralmente associadas com o aumento da produção de citocinas, pois existem as chamadas citocinas pró-inflamatórias que promovem a inflamação enquanto outras, as citocinas anti-inflamatórias, suprimem a atividade das pró-inflamatórias (VAN DER POLL; MARCHANT; VAN DEVENTER, 1997; DINARELLO, 2000).

A exposição às partículas ultrafinas pode provocar uma resposta inflamatória nos pulmões, o que causa aumento no nível de coagulação sanguínea, desencadeia o acúmulo de macrófagos no pulmão e leva à liberação de citocinas pró-inflamatórias, elevando o risco de ocorrência de eventos isquêmicos em pessoas suscetíveis (SEATON et al., 1995, 1999; BROOK, 2008; LING; VAN EEDEN, 2009; HAMPEL et al., 2015; MARCHINI et al., 2016).

Estudos indicam que os macrófagos alveolares são a fonte predominante de citocinas pró-inflamatórias no pulmão após a exposição ao MP ambiental, resultando em um aumento na produção de TNF- $\alpha$  e que partículas com composição e tamanho diferentes produzem uma resposta similar (VAN EEDEN et al., 2001; MARCHINI et al., 2016). Além disso, a exposição ao MP aumenta os níveis de citocinas pró-inflamatórias circulantes, que são necessárias para o recrutamento inflamatório de

leucócitos e células endoteliais após a inalação desse poluente (BROOK, 2008; MARCHINI et al., 2016).

As citocinas estudadas neste trabalho são: fator de crescimento transformador beta 1 (TGF- $\beta$ 1), interleucinas 4, 10 e 17A (IL-4, IL-10 e IL-17A) e interferon gama (IFN- $\gamma$ ). O TGF- $\beta$  é considerado uma citocina anti-inflamatória, podendo promover a reparação cardíaca por meio da supressão da inflamação, a diminuição da degradação do tecido conjuntivo, além de ocasionar a deposição de matriz extracelular e o remodelamento nas vias aéreas (BARTRAM; SPEER, 2004; LLOYD; HAWRYLOWICZ, 2009; CHEN et al., 2018). Assim, o TGF- $\beta$  age para regular as respostas imunes no pulmão e reporta-se que perturbações no grau de expressão da citocina, seu receptor, ou mesmo moléculas dentro de sua via de sinalização, têm consequências para a manutenção da homeostase pulmonar (LLOYD; HAWRYLOWICZ, 2009).

Segundo Bartram e Speer (2004), pequenas quantidades de TGF- $\beta$  estão presentes no pulmão adulto e essa citocina está envolvida no reparo normal dos tecidos após a ocorrência de uma lesão pulmonar. Contudo, em diversas doenças pulmonares a sua expressão encontra-se com valores mais altos, incluindo a doença pulmonar crônica neonatal e a doença pulmonar aguda e crônica em adultos. O aumento do TGF- $\beta$  precede as anormalidades na função pulmonar e em patologias pulmonares detectáveis, mas correlaciona-se com a gravidade da doença (BARTRAM; SPEER, 2004). Além disso, a administração endotraqueal de TGF- $\beta$  suprimiu a inflamação induzida por alérgenos (LLOYD; HAWRYLOWICZ, 2009).

Com relação a IL-4, Chen et al. (2018) e Melo et al. (2015) afirmam que ela possui potencial anti-inflamatório e Akdis et al. (2011) relatam que ela regula condições alérgicas e também a resposta imune protetora contra helmintos e outros parasitas extracelulares. As células Th2, que produzem especificamente a IL-4, são particularmente eficazes na indução de respostas de anticorpos e também são importantes no controle de infestação de parasitas multicelulares e doenças alérgicas (MELO et al., 2015). A IL-4 poderia ser considerada uma ferramenta potencial para o tratamento de doenças autoimunes, mas um alvo para o tratamento de doenças alérgicas (ZAMORANO; RIVAS; PÉREZ-G, 2003).

A asma é caracterizada como uma inflamação crônica das vias aéreas mediada por células Th2 e relacionada às citocinas, como as interleucinas 4, 5 e 13, que podem iniciar e manter as principais características fisiopatológicas da doença (LLOYD;

HESSEL, 2010; SHADIE; HERBERT; KUMAR, 2014). Reporta-se que houve um aumento substancial nas células T de IL-10 no sangue periférico de indivíduos saudáveis em comparação com pacientes alérgicos, que demonstraram redução no número dessas células relacionadas a IL-10 e aumento nos níveis das pertinentes a IL-4, responsivas a alérgenos (AKDIS et al., 2004; LLOYD; HAWRYLOWICZ, 2009).

Em voluntários asmáticos observou-se um aumento substancial dos sintomas respiratórios e do comprometimento da função pulmonar em comparação aos indivíduos saudáveis. Esses resultados foram relacionados à valores baixos de IFN- $\gamma$  e IL-10 e níveis altos de IL-4, IL-5 e IL-13. Assim, os valores elevados de células Th2 relacionadas a essas três interleucinas sugere um possível fator de risco entre a sensibilização alérgica e a suscetibilidade à infecção pelo rinovírus humano (MESSAGE et al., 2008; BUSSE; LEMANSKE; GERN, 2010).

A IL-10 possui potentes propriedades anti-inflamatórias, reprimindo a expressão de citocinas pró-inflamatórias, como TNF- $\alpha$ , IL-6 e IL-1, por macrófagos ativados, podendo também regular positivamente (aumentando) as citocinas anti-inflamatórias endógenas e regular negativamente (diminuindo) os receptores de citocinas pró-inflamatórias (ZHANG; AN, 2007; AKDIS et al., 2011; LEVAN et al., 2018). A administração aguda de IL-10 suprimiu o desenvolvimento de dor na coluna vertebral, como lesão do nervo periférico, em estudos com animais (WIESELER-FRANK; MAIER; WATKINS, 2004; ZHANG; AN, 2007). No pulmão, a IL-10 reduziu a fibrose subepitelial associada à endotoxinas inaladas cronicamente e diminuiu a imunopatologia pulmonar induzida por vírus e bactérias (LOEBBERMANN et al., 2012; WILLIAMS et al., 2015). Além disso, LeVan et al. (2018) confirmam o papel da IL-10 na modulação da resposta inflamatória e na função pulmonar em pessoas expostas as atividades agrícolas.

A IL-17A desempenha um papel importante nas respostas alérgicas, como hipersensibilidade de contato e inflamação alérgica das vias aéreas (IWAKURA et al., 2008). Ela promove a inflamação, sendo pró-inflamatória, e a liberação de outras citocinas pró-inflamatórias, recrutando neutrófilos, aumentando a produção de anticorpos e ativando as células T, além de participar na patogênese de várias doenças autoimunes (CHANG; DONG, 2007; IWAKURA et al., 2008; AKDIS et al., 2011; JIANG et al., 2018).

A IL-17A foi diretamente associada com a progressão da doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), que possui sintomas como tosse crônica, catarro e

dispneia progressiva, enquanto a IL-10 e a IL-35 apresentaram efeitos inibitórios sobre o desenvolvimento inflamatório dessa doença (JIANG et al., 2018). Além disso, a IL-17A e as células Th17 estão envolvidas em vários distúrbios inflamatórios, incluindo artrite reumatoide e esclerose múltipla. Níveis elevados de IL-17A também foram encontrados em pacientes com psoríase, doença inflamatória intestinal e doenças alérgicas como asma alérgica e dermatite atópica (AKDIS et al., 2011).

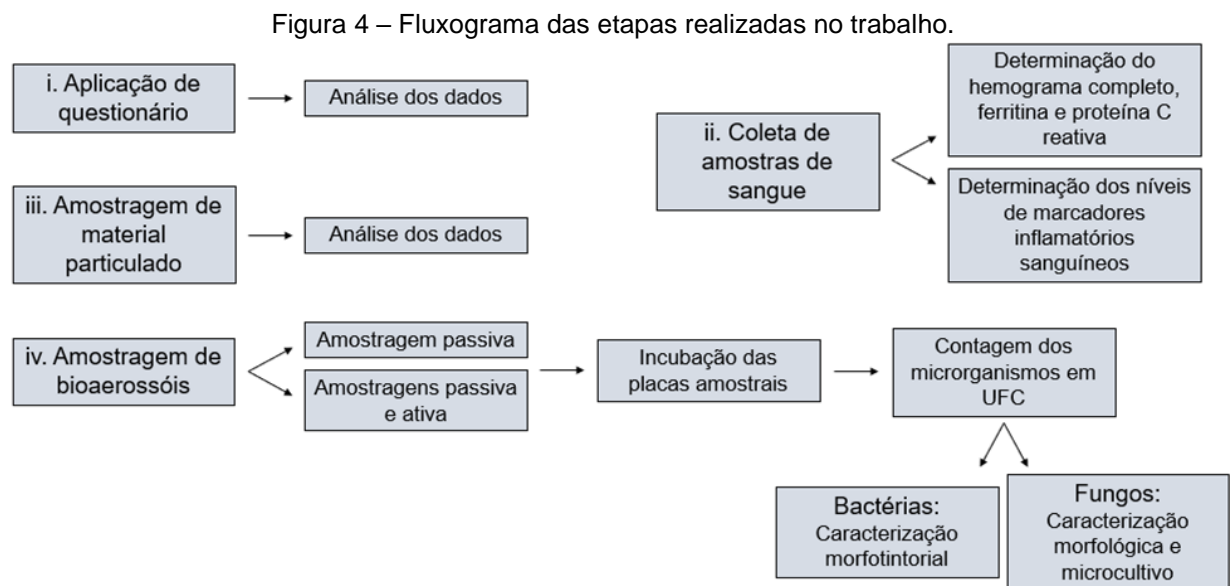
O IFN- $\gamma$  é uma citocina que tem função anti-inflamatória e é considerada relevante para o aumento da eficiência do sistema imunológico, sendo capaz de orquestrar inúmeras funções de proteção, mediando as atividades antimicrobianas e antivirais e aumentando as respostas imunes em infecções e cânceres (MILLER; MAHER; YOUNG, 2009; ZAIDI; MERLINO, 2011; KAK; RAZA; TIWARI, 2018). No entanto, a atividade excessiva do IFN- $\gamma$  parece ser capaz de conduzir novos mecanismos inflamatórios celulares e moleculares, causando danos excessivos nos tecidos e podendo contribuir para a patologia da doença (ZAIDI; MERLINO, 2011; KAK; RAZA; TIWARI, 2018).

Chen et al. (2018) relatam que o IFN- $\gamma$  é uma citocina com funções pró-inflamatórias e Zaidi e Merlino (2011) afirmam que o IFN- $\gamma$  potencializou mais significativamente a colonização do pulmão por células de melanoma B16 com inoculação intravenosa do que o IFN- $\alpha$  ou o IFN- $\beta$ . Altos níveis de IFN- $\gamma$  são expressos por células Th1, ativando macrófagos para eliminar microrganismos, promovendo atividades citotóxicas de outras células e induzindo apoptose (ou morte celular programada) de células epiteliais na pele e na mucosa (AKDIS et al., 2011). Assim, ao mesmo tempo em que o IFN- $\gamma$  vem sendo apresentado como um promissor agente antitumoral, o oposto também tem sido relatado (AKDIS et al., 2011; ZAIDI; MERLINO, 2011).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DESENHO DO ESTUDO

As etapas utilizadas para a realização deste trabalho são apresentadas na Figura 4.



Fonte: Autoria própria (2019).

UFC = Unidades Formadoras de Colônias.

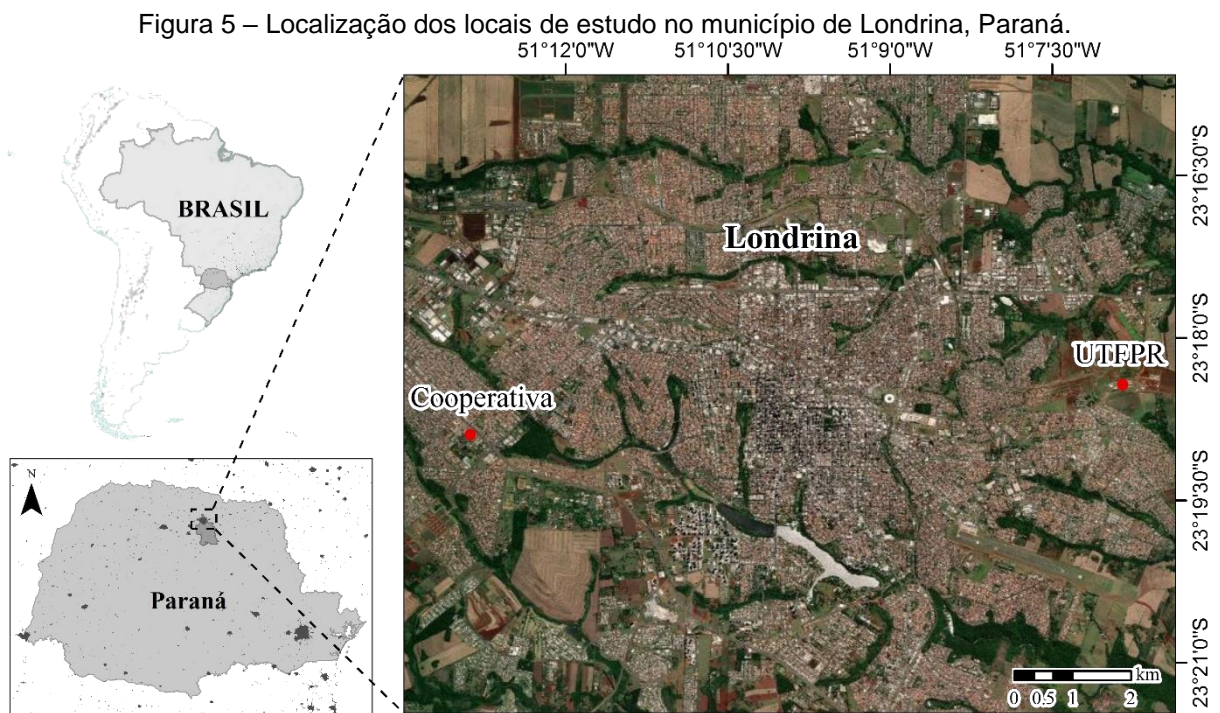
As etapas i e ii correspondem a um estudo transversal realizado com um grupo de 64 voluntários adultos, de ambos os sexos, para os quais foi aplicado um questionário e foi feita a coleta de amostras de sangue, considerando que todos têm a mesma chance de apresentar sintomas de doenças respiratórias, cardíacas, entre outras, e níveis baixos ou elevados dos marcadores sanguíneos. O grupo exposto consistiu em 40 trabalhadores de uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis e o grupo controle (pessoas não expostas) consistiu em 24 voluntários que não trabalham em atividades similares aos dos trabalhadores da cooperativa ou, ainda, não realizam atividades com exposição potencialmente alta ao MP e aos bioaerossóis, no caso, os funcionários e alunos da UTFPR.

A realização desta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da UTFPR sob o nº 97755618.0.0000.5547. Além disso, um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi assinado por cada um dos voluntários concordando com a participação neste trabalho.

Foram realizadas, ainda, amostragens de MP e bioaerossóis para quantificar as suas concentrações no ar dos locais de estudo e avaliar a exposição dos voluntários a esses poluentes (etapas iii e iv). No Quadro A1 do Apêndice A estão sintetizadas as informações de datas de realização das etapas e número de amostras.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS DE ESTUDO

Na Figura 5 é mostrada a localização dos dois locais de estudo, o câmpus da UTFPR e a cooperativa de processamento de materiais recicláveis, no município de Londrina, Paraná.



O câmpus da UTFPR (referente ao grupo controle) foi implantado em 2007 em Londrina e oferta cursos de graduação, mestrado, formação pedagógica, qualificação profissional e especialização. Atualmente, a instituição conta com cerca de 160 professores, 75 servidores técnico-administrativos e aproximadamente 2.000 alunos e possui uma área construída de, aproximadamente, 24.000 m<sup>2</sup>, que ainda se encontra em expansão.

A instituição está localizada na região leste, em uma área semi-urbanizada com presença predominante de áreas agrícolas no entorno. A expansão da cidade está

ocorrendo de maneira gradativa e, atualmente, dois condomínios residenciais estão sendo construídos próximo à universidade. Pequenas atividades industriais também são observadas, estando localizadas em um ponto mais afastado do local em questão. Observa-se, ainda, a presença da única via de acesso a instituição, sendo predominante o fluxo de veículos leves, e de uma linha férrea ao fundo do câmpus.

As amostragens de MP e bioaerossóis foram realizadas no interior de uma sala de aula, que se encontrava vazia, uma vez que o período correspondeu às férias dos discentes, e no ambiente externo próximo ao estacionamento dos professores. Na Figura 6 são mostradas imagens desses locais.

Figura 6 – Ambientes interno (A) e externo (B) da UTFPR.  
(A) (B)



Fonte: Autoria própria (2019).

O outro local do estudo (pertencente ao grupo de pessoas expostas) é uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis atuante no município de Londrina. A cooperativa foi criada em 2009, devido à orientação jurídica da Promotoria do Meio Ambiente e do Conselho Municipal do Meio Ambiente de forma a aplicar o gerenciamento de resíduos sólidos na cidade. Esse modelo de gerenciamento dos resíduos tem sido também empregado em outras cidades do Paraná e do Brasil, visando em parte o cumprimento da Lei nº 12.305/2010 que instituiu a PNRS.

A cooperativa está localizada na região oeste, em uma área urbanizada que conta com a presença de residências, pequenas atividades industriais e um fluxo intenso de veículos leves e pesados, devido à proximidade com a Rodovia Estadual PR-445. Além disso, na própria cooperativa há circulação dos caminhões que são utilizados na coleta.



A cooperativa realiza coletas de segunda à sexta-feira em regiões determinadas pela Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização (CMTU), com a utilização de caminhões do tipo baú. Cerca de 90.000 domicílios de todas as regiões da cidade são atendidos pela cooperativa em questão, representando 39% do total de habitações existentes em Londrina (CMTU, 2019). Após a coleta, os resíduos recicláveis são levados à cooperativa para que seja feita a sua triagem por 66 catadores e, então, são encaminhados para comercialização.

A área total construída da cooperativa é de aproximadamente 2.300 m<sup>2</sup>, representada por dois barracões e um escritório. Nos barracões são desenvolvidas atividades de triagem, que ocorre em esteiras; compactação, por meio da utilização de prensas; e armazenamento dos resíduos recicláveis em fardos. Ao serem colocados manualmente na esteira, os materiais são separados e alocados em sacos grandes que são, então, arrastados pelo chão no interior do barracão e enviados para o processamento, que consiste na compactação dos resíduos que são posteriormente armazenados no ambiente externo até a comercialização. Os materiais são separados em: latas de alumínio, metal, ferro, papel branco e colorido, papelão, garrafas PET, sacolas, isopor, embalagens Tetra Pak®, vidro, tampinhas de garrafas, sucata de latas e rejeitos. Por mês são processados e comercializados, em média, 81.714 kg de resíduos em cada barracão.

É importante ressaltar que o barracão onde foram realizadas as coletas de MP e bioaerossóis possui 26 cooperados trabalhando diretamente com os resíduos, que estavam presentes durante todo o processo de amostragem executando normalmente suas funções. Além disso, esse local possui cinco ventiladores (que permaneceram ligados durante as amostragens) e é um ambiente sem janelas, mas com duas portas grandes o suficiente para os caminhões entrarem e descarregarem os resíduos coletados pelo município.

No ambiente externo há um intenso movimento de caminhões que levam os materiais coletados para a cooperativa. Observa-se, eventualmente, a movimentação de outros veículos, como carros e motos, principalmente de visitantes. Também ocorre a transferência, com o uso de empilhadeiras, dos resíduos recicláveis processados do barracão para o ambiente externo, que se torna um local de armazenamento a céu aberto e uma fonte de emissão de partículas. Na Figura 7 podem ser observadas imagens dos ambientes interno e externo da cooperativa.

Figura 7 – Ambientes interno ((A) e (B)) e externo ((C) e (D)) da cooperativa.



Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO

O questionário utilizado neste estudo teve por base o elaborado pelo *Medical Research Council*, do Reino Unido, já validado e que aborda questões sobre sintomas respiratórios como tosse e expectoração (frequência e intensidade), chiado no peito e falta de ar (COTES; CHINN, 2007; MAÇÃIRA et al., 2007).

O questionário foi aplicado em novembro de 2018 para o grupo de trabalhadores expostos da cooperativa e o grupo controle, a fim de avaliar os possíveis sintomas da exposição ao MP e aos bioaerossóis. Além disso, para conhecer as características dos grupos e potenciais fatores de confusão na análise das amostras de sangue, foram investigadas características como idade, escolaridade, hábitos (etilismo, tabagismo), moradia, tempo de trabalho, atividades realizadas e uso de

equipamentos de proteção individual (EPIs). Os voluntários também foram questionados com relação a sintomas de doenças e informações sobre a existência de mal-estar durante o trabalho ou estudo, cansaço, dor de cabeça, febre, coceira nos olhos e/ou na pele, alergia ou alteração na pele, tosse, expectoração, falta de ar, chiado no peito e irritação no nariz.

O questionário foi composto por questões abertas, de múltipla escolha e sim ou não. Questões referentes ao uso de EPIs não foram feitas para as pessoas do grupo controle. Assim, o questionário conteve 55 questões (apresentado no Apêndice B), no caso dos trabalhadores da cooperativa, e 46 questões, no caso dos alunos e funcionários da universidade.

#### 4.4 COLETA E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SANGUE

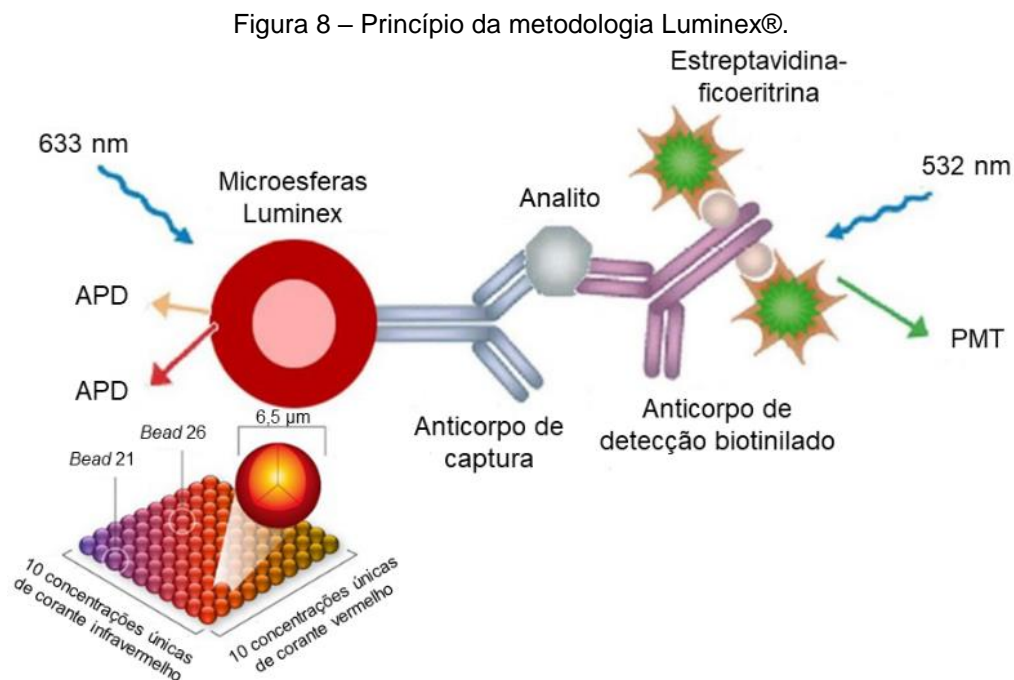
As coletas das amostras de sangue foram realizadas no período da manhã em ambos os locais. Na UTFPR, no dia 22 de novembro de 2018, local de trabalho/estudo dos voluntários do grupo controle, e na cooperativa, local de trabalho do grupo exposto, no dia 23 de novembro de 2018. Ambas as coletas foram realizadas por profissionais devidamente capacitados utilizando os materiais apropriados. O local específico da coleta na UTFPR foi uma sala de aula previamente limpa e organizada para essa finalidade. Na cooperativa, ocorreu dentro do ônibus do Hemocentro Regional de Londrina, que está vinculado ao Hospital Universitário (HU) da Universidade Estadual de Londrina (UEL). O ônibus foi estacionado no pátio da cooperativa e possui toda a estrutura e o suporte para a realização de coletas de sangue.

As amostras de sangue foram coletadas de 40 trabalhadores da cooperativa e de 24 alunos e funcionários da UTFPR, de ambos os sexos e com faixa etária superior a 18 anos. Foram coletados 15 mL de sangue (dois tubos) de cada voluntário para determinação, em uma primeira etapa de análise (realizada logo após a coleta), dos seguintes parâmetros: hemograma completo, ferritina e proteína C reativa, a fim de obter informações referentes à condição de saúde dos voluntários, pois podem ser indicadores de processos inflamatórios e são parâmetros frequentemente solicitados pelos médicos em exames de rotina (WENNERBERG et al., 2012; HAMPEL et al., 2015).

Em uma segunda etapa de análise do sangue foram utilizados os *kits* TGF- $\beta$ 1 *Human ProcartaPlex™ Simplex*, *ProcartaPlex™ Human Basic*, e o de alta

sensibilidade *Custom ProcartaPlex™ Multiplex Panel* (Thermo Fisher Scientific, Áustria). Com esses *kits* foi possível avaliar os seguintes marcadores inflamatórios: fator de crescimento transformador beta 1 (TGF- $\beta$ 1), interferon gama (IFN- $\gamma$ ), interleucinas 4, 10 e 17A (IL-4, IL-10 e IL-17A, essa última também referenciada como CTLA-8). Esses marcadores são usualmente analisados em pesquisas sobre a exposição à poluição do ar (CASTRO, 2001; VAN EEDEN et al., 2001; RÜCKERL et al., 2006; SU et al., 2006; BROOK, 2008; WENBERG et al., 2012; MARCHINI et al., 2016) e em estudos relacionados a doenças respiratórias (LLOYD; HAWRYLOWICZ, 2009; LLOYD; HESSEL, 2010; JIANG et al., 2018).

Para a realização dessa etapa da análise foi utilizada a metodologia Luminex®, considerada uma combinação única de citometria de fluxo e imunoenaios em formato de “sanduíche” (ADAMCOVA; ŠIMKO, 2018). Essa técnica baseia-se em microesferas ou *beads* que são internamente tingidas com fluoróforos vermelho e infravermelho de diferentes intensidades. Os conjuntos de microesferas são então revestidos com um anticorpo de captura qualificado para um analito específico e, para a sua quantificação, um anticorpo de detecção emite fluorescência após a ligação com o analito (Figura 8) (ADAMCOVA; ŠIMKO, 2018).



Fonte: Adaptada de Adamcova e Šimko (2018).

APD = *Avalanche Photodiodes* (fotodiodos avalanche); PMT = *Photomultiplier Tube* (tubo fotomultiplicador).

Primeiramente, os reagentes, as soluções padrão, a solução de lavagem e as amostras foram preparadas de acordo com as instruções do fabricante. A solução de microesferas ou *beads* foi homogeneizada por 30 segundos e adicionada aos poços (uma placa magnética com 96 poços é fornecida em cada *kit*), que foram lavados com a solução de lavagem uma única vez e, então, o *universal buffer* foi pipetado nos mesmos poços. Em seguida, o branco, as soluções padrão e as amostras coletadas (plasma sanguíneo) foram adicionadas em seus respectivos poços; a placa foi selada, agitada por 30 minutos e incubada por uma noite em geladeira a 4°C. No dia seguinte, a placa foi colocada sob agitação por 30 minutos, os poços foram lavados duas vezes e foi adicionado o anticorpo de detecção. Após a selagem e a agitação a temperatura ambiente por 30 minutos, a placa foi lavada novamente e adicionou-se aos poços a solução de avidina. Repetiu-se o processo de selagem e incubação por 30 minutos sob agitação em temperatura ambiente. Então, os poços foram lavados duas vezes, adicionou-se o primeiro reagente de amplificação e mais uma vez foi feito o processo de selagem e agitação a temperatura ambiente por 30 minutos. Adicionou-se o segundo reagente de amplificação, a placa foi selada e agitada novamente por 30 minutos em temperatura ambiente. Procedeu-se a lavagem da placa por duas vezes, adicionou-se o *reading buffer* em todos os poços e a placa foi selada e agitada por 30 minutos. Por fim, o selo foi removido e foi feita a leitura no equipamento *Luminex MAGPIX* (*Luminex Corporation*, EUA).

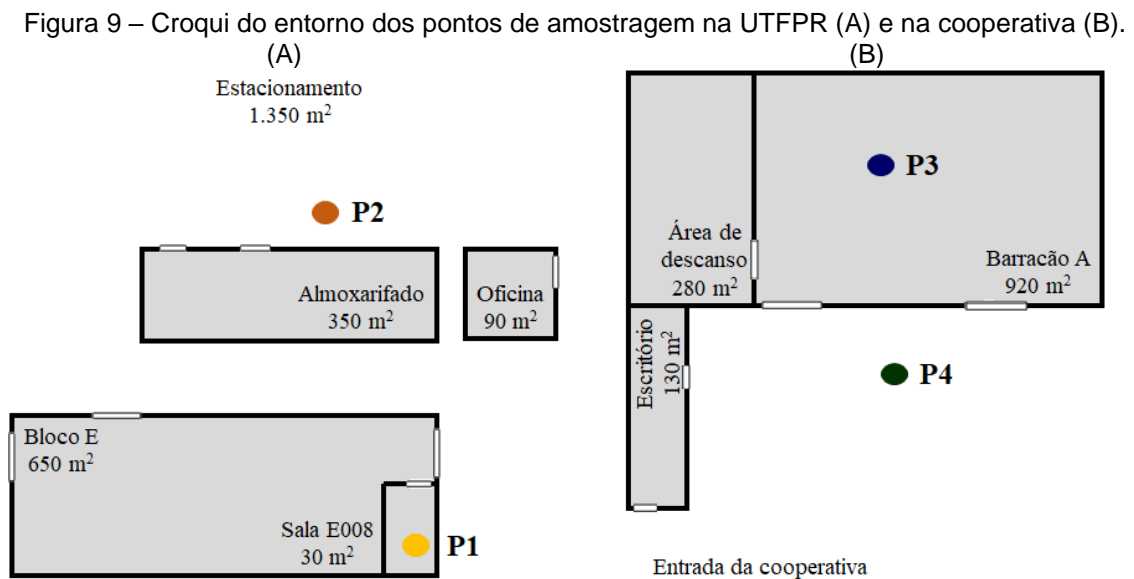
As coletas das amostras de sangue, assim como as análises da primeira e segunda etapa foram realizadas pelos alunos atuantes no Departamento de Patologia, Análises Clínicas e Toxicológicas (PAC) no HU da UEL, que tem como docente responsável a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea Name Colado Simão.

#### 4.5 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO

A amostragem do MP foi feita no verão entre os dias 18 e 22 de fevereiro de 2019 nos ambientes interno (no interior de um dos barracões de triagem e processamento de resíduos recicláveis) e externo da cooperativa, assim como na UTFPR. As medidas nesses ambientes foram realizadas com intervalo de 1 minuto ao fluxo de 2,83 L.min<sup>-1</sup>, por ser similar ao fluxo respiratório humano, por 60 minutos em cada coleta e a aproximadamente 1,20 m do chão. Além disso, as coletas foram feitas nos períodos da manhã e da tarde a fim de observar a influência da temperatura e da

umidade relativa do ar nas concentrações dos poluentes e para melhor caracterizar a exposição dos trabalhadores.

De maneira geral, as medidas foram realizadas concomitantemente no ambiente interno (P1), em uma sala de aula, e no ambiente externo (P2) da UTFPR. Em seguida, a amostragem ocorreu simultaneamente dentro do barracão de processamento de resíduos (P3) e no ponto exterior (P4) da cooperativa. Na Figura 9 pode-se observar o croqui do entorno dos locais de amostragem.



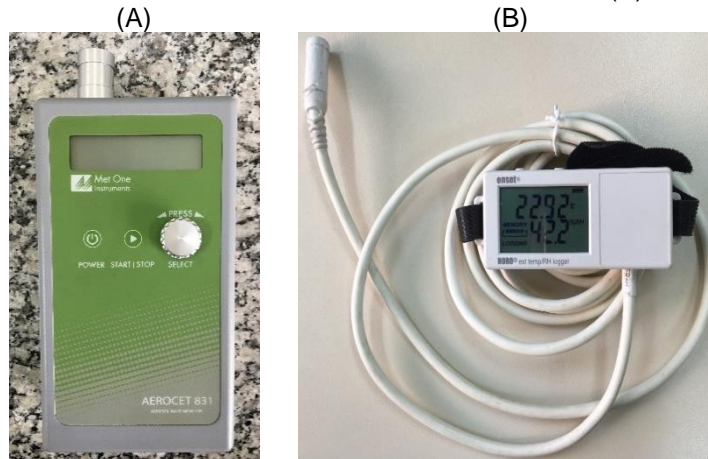
Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Para a medida das concentrações de MP foi utilizado o equipamento *Met One* 831 (*Met One Instruments*, EUA) (Figura 10, (A)), que faz leituras por meio da contagem e do dimensionamento das partículas individuais de MP com um laser de luz dispersa e, então, apresenta os dados em microgramas por metro cúbico. A concentração de MP é medida em quatro tamanhos simultaneamente: 1,0; 2,5; 4,0 e 10,0  $\mu\text{m}$  (MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub>, respectivamente).

Os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram medidos simultaneamente e durante todo o período de amostragem nos ambientes internos. Para isso, foi utilizado o sensor externo *Onset HOBO UX100-023* (*Onset Computer Corporation*, EUA) (Figura 10, (B)) que registra os dados em um ambiente a cada 1 minuto.

Figura 10 – Equipamento utilizado na amostragem de MP, *Met One 831* (A), e sensor de temperatura e umidade relativa, *Onset HOBO UX100-023* (B).



Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.6 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE BIOAEROSSÓIS

A amostragem dos bioaerossóis consistiu em duas etapas: a primeira, realizada em fevereiro de 2019, foi a coleta por meio da técnica de sedimentação espontânea (amostragem passiva), na qual as partículas e microrganismos presentes no ar são sedimentados pela força da gravidade sobre as placas de Petri com os meios de cultura. Essa técnica apresenta limitações, porém possui menor custo e ampla utilização, uma vez que não requer o uso de equipamento. A segunda etapa, realizada em setembro de 2019, foi de validação dos dados obtidos pela técnica de sedimentação espontânea, empregando-se a coleta concomitante dos bioaerossóis por meio das amostragens passiva e ativa. É importante salientar que não foi possível realizar todas as amostragens por meio da técnica ativa pelo custo envolvido na aquisição de equipamento específico para a coleta dos bioaerossóis, como impactadores para a coleta de microrganismos em placas com meio de cultivo ou bombas de amostragem de ar para coletar os bioaerossóis em filtros de polícarbonato ou fibra de vidro, por exemplo. A comparação e validação foi realizada com o objetivo de calcular as concentrações em  $\text{UFC} \cdot \text{m}^{-3}$ , uma vez que os métodos encontrados na literatura para o cálculo a partir do número de UFC, obtido pela técnica de sedimentação espontânea, apresentam resultados distintos entre si (PARKER, 1978; PASQUARELLA; PITZURRA; SAVINO, 2000; HAYLEEYESUS; EJESO; DERSEH, 2016).

#### 4.6.1 Amostragem e Análise por Sedimentação Espontânea

A coleta de bioaerossóis na primeira etapa, como mencionado, foi realizada por meio da técnica de sedimentação espontânea (Figura 11), utilizando placas de Petri de 90 x 15 mm com 20 mL dos meios de cultura *Plate Count Agar* (PCA), para o cultivo de bactérias, e *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA), para o cultivo de fungos. O tempo de exposição das placas foi de 10 minutos (BRASIL, 2003; TSHOKEY; SOMARATNE; AGAMPODI, 2016) em cada um dos pontos de coleta indicados na Figura 9, a aproximadamente 1,20 m de altura em relação ao chão, em triplicata e concomitantemente com a medida de MP, ou seja, entre os dias 18 e 22 de fevereiro de 2019.

Figura 11 – Amostragem passiva de bioaerossóis por meio da técnica de sedimentação espontânea.



Fonte: Autoria própria (2019).

As placas com meio PCA foram incubadas em estufa de cultura bacteriológica (*Fanem*, Brasil) por um período de 24 horas com temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  para o crescimento das bactérias. As placas com meio SDA foram incubadas durante o período de 96 horas para o crescimento dos fungos à temperatura ambiente.

Primeiramente, foi feita a contagem de UFC com o auxílio de um contador de colônias (*Marconi*, Brasil), por meio da observação visual do crescimento de microrganismos em cada placa de Petri. Assim, pôde-se calcular a concentração de bioaerossóis em UFC por metro cúbico de ar amostrado nas coletas utilizando



relações entre a amostragem ativa e a passiva encontradas por meio do experimento descrito no tópico 4.6.2.

Em seguida, o isolamento das bactérias foi realizado de acordo com as características macroscópicas das colônias, utilizando a técnica de esgotamento por estrias em novas placas de Petri com 20 mL de meio de cultura PCA que foram, então, incubadas por 24 horas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . As colônias isoladas em cada uma das placas foram transferidas para tubos contendo 10 mL de PCA sólido inclinado e, após o crescimento, realizou-se a caracterização morfotintorial. Para isso, utilizou-se a técnica de coloração de Gram seguindo a metodologia descrita por Vieira e Fernandes (2012) e a análise morfológica microscópica foi feita observando o formato das células (cocos, bacilos e espiralados) e seus possíveis arranjos (diplococos, estafilococos, estreptobacilos, diplobacilos, entre outros) (VIEIRA; FERNANDES, 2012). Posteriormente, para as colônias isoladas de bactérias também foi feita a análise morfológica macroscópica, isto é, as características das colônias foram observadas por meio da cor, forma, margem, elevação, densidade e superfície de cada uma segundo Rodina (1972) e Hungria e Silva (2011).

Por sua vez, as colônias de fungos foram isoladas em placas de Petri com 20 mL de meio de cultura SDA e incubadas por 96 horas à temperatura ambiente com o intuito de observar o verso e anverso após a colonização do meio. As colônias foram, então, transferidas para tubos de 10 mL contendo SDA sólido inclinado e, posteriormente ao crescimento, foi aplicada a técnica de microcultivo, que consiste na utilização de lâminas de microscopia, colocadas em placas de Petri estéreis, como apoio para o emprego de um bloco de, aproximadamente, 2 cm de lado de SDA. A inoculação dos fungos ocorreu nas laterais desse meio de cultura que foi recoberto por uma lamínula e, então, as placas foram incubadas novamente por 96 horas à temperatura ambiente.

Os fungos foram classificados em leveduras e fungos filamentosos por meio da observação das lâminas de microscopia com a adição de uma gota do corante azul de metileno a fim de facilitar a observação das estruturas de reprodução fixadas à lamínula. A indicação do gênero provável dos fungos filamentosos pôde ser feita por meio de comparações entre o material resultante do microcultivo e os dados presentes na literatura quanto às estruturas características de cada um (ELLIS et al., 2007; OLIVEIRA, 2013; WALSH; HAYDEN; LARONE, 2018). Posteriormente, foi feita a

caracterização morfológica macroscópica, observando a cor e o aspecto/textura de cada colônia isolada.

#### 4.6.2 Comparação entre Amostragem Passiva e Ativa

A fim de comparar e validar o método de coleta passivo (sedimentação espontânea), utilizado na primeira etapa deste trabalho, com a técnica de amostragem ativa (com o emprego de equipamento específico), foi realizada uma nova coleta dos bioaerossóis em setembro de 2019 (transição entre inverno e primavera) utilizando ambas as técnicas simultaneamente.

A amostragem por sedimentação espontânea ocorreu por 10 minutos (BRASIL, 2003; TSHOKEY; SOMARATNE; AGAMPODI, 2016) no interior do barracão (P3) e no ambiente externo (P4) na cooperativa, a aproximadamente 1,20 m do chão, em duplicata e utilizando as placas de Petri com 20 mL dos mesmos meios de cultura da campanha de amostragem anterior: *Plate Count Agar* (PCA), para o cultivo de bactérias, e *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA), para o cultivo de fungos.

A amostragem pelo método ativo foi realizada com o equipamento MAS-100 NT (MBV AG, Suíça) (Figura 12) em que a coleta dos bioaerossóis ocorre por meio do processo de impactação, ou seja, os microrganismos impactam diretamente no meio de cultura em uma placa de Petri colocada no interior do equipamento. Os meios de cultura utilizados foram: *Tryptic Soy Broth* (TSB), para o cultivo de bactérias, e *Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol* (DRBC), para o cultivo de fungos.

A coleta foi de 250 L de ar com o fluxo do equipamento de 100 L.min<sup>-1</sup>, sendo realizada em 2 minutos e 30 segundos no interior do barracão (P3) e no ambiente externo (P4) na cooperativa, a aproximadamente 1,20 m do chão. Placas com meio DRBC também foram utilizadas para amostragem por sedimentação espontânea para posterior avaliação de eventual interferência do meio de cultura utilizado na contagem de UFC.

Figura 12 – Equipamento utilizado na amostragem ativa de bioaerossóis, MAS-100 NT.



Fonte: A autoria própria (2019).

Após as coletas, as placas amostrais com meio PCA e TSB foram incubadas em estufa de cultura bacteriológica (*Fanem*, Brasil) por um período de 24 horas com temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  para o crescimento das bactérias. As placas com meio SDA e DRBC foram incubadas durante o período de 96 horas para o crescimento dos fungos à temperatura ambiente. Então, foi feita a contagem de UFC nas placas para ambos os microrganismos estudados.

Os resultados do número de UFC das placas da amostragem ativa foram corrigidos de acordo com a tabela de correção estatística de Feller contida no manual do equipamento. Essa correção se baseia no princípio de que, à medida que o número de microrganismos por amostragem aumenta, também aumenta a chance de vários deles entrarem no mesmo orifício na tampa perfurada do equipamento (MBV AG, 2009). Então, os valores corrigidos foram convertidos em  $\text{UFC.m}^{-3}$  considerando o volume de ar coletado.

Tomando como referência as concentrações obtidas pela amostragem ativa em  $\text{UFC.m}^{-3}$  foram calculadas as relações (uma para bactérias e outra para fungos) entre estes e os valores de UFC da sedimentação espontânea. A partir dessas razões foram calculadas as concentrações em  $\text{UFC.m}^{-3}$  da amostragem passiva, representando uma correção ao considerar que o crescimento de microrganismos nas placas é menor ao utilizar a amostragem por sedimentação espontânea.

Procedeu-se para a caracterização macroscópica das colônias de microrganismos e os mesmos procedimentos, descritos no item 4.6.1, foram aplicados

para o isolamento e a coloração de Gram para as bactérias e o microcultivo para os fungos.

#### 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com os dados obtidos nas amostragens de MP e bioaerossóis foram realizadas análises estatísticas como a descritiva, correlação, teste de normalidade e semelhança. Para a estatística descritiva foram calculadas as médias, medianas e desvios padrão. Então, foi aplicado o teste de correlação de Spearman considerando a interpretação dos resultados conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Interpretação dos resultados da correlação de Spearman.

<b>Valor de r (+ ou -)</b>	<b>Interpretação da correlação</b>
0,00 a 0,19	Bem fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,69	Moderada
0,70 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Bem forte

Fonte: Hashimoto (2018).

A normalidade foi verificada aplicando o teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). Para os dados que apresentaram distribuição não normal foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney, enquanto o teste paramétrico de Student foi aplicado caso os dados apresentassem distribuição normal, com o intuito de comparar duas populações. Para os dados que apresentaram distribuição não normal ainda foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a fim de comparar três ou mais populações.

A análise de regressão foi utilizada a fim de estudar a relação entre uma variável dependente (ou resposta) e uma ou mais variáveis independentes (ou explicativas) (CHATTERJEE; HADI, 2012). Neste estudo, a variável resposta corresponde a cada uma das cinco citocinas avaliadas e as variáveis explicativas são as concentrações dos poluentes MP<sub>2,5</sub>, bactérias e fungos, além da temperatura. Também foram utilizados fatores, isto é, informações relativas aos voluntários fumantes (os que fumam atualmente ou que pararam de fumar há menos de um ano) e a idade de cada um para verificar a possível interferência desses dados sobre os resultados do modelo.

Para isso utilizou-se o Modelo Linear Generalizado (MLG) envolvendo as variáveis resposta e explicativas univariadas, além de uma amostra aleatória de  $n$  observações independentes. Esse modelo permite diversas alternativas para a distribuição da variável resposta que, nesse caso, pertence à família exponencial de distribuições (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2011; PAULA, 2013).

Em estudos sobre poluição do ar e seus efeitos à saúde existe a possibilidade de ocorrência de subdispersão ou superdispersão dos dados, isto é, quando a variância é menor ou maior do que a média, respectivamente (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2011). Assim, para corrigir a variabilidade dos dados observados neste trabalho utilizou-se o modelo de distribuição de probabilidade Quase-Poisson (Quase-verossimilhança), em que a variância é uma função linear da média (HOEF; BOVENG, 2007). Esse modelo de distribuição foi escolhido por meio da análise dos resíduos com o gráfico seminormal de probabilidades (*half normal plot*), no qual os pontos ficam inseridos no envelope simulado com o comportamento de aproximadamente uma reta (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2011).

O software R versão 3.4.2 (*The R Foundation*, EUA) foi utilizado para a realização de todas as análises estatísticas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 MATERIAL PARTICULADO

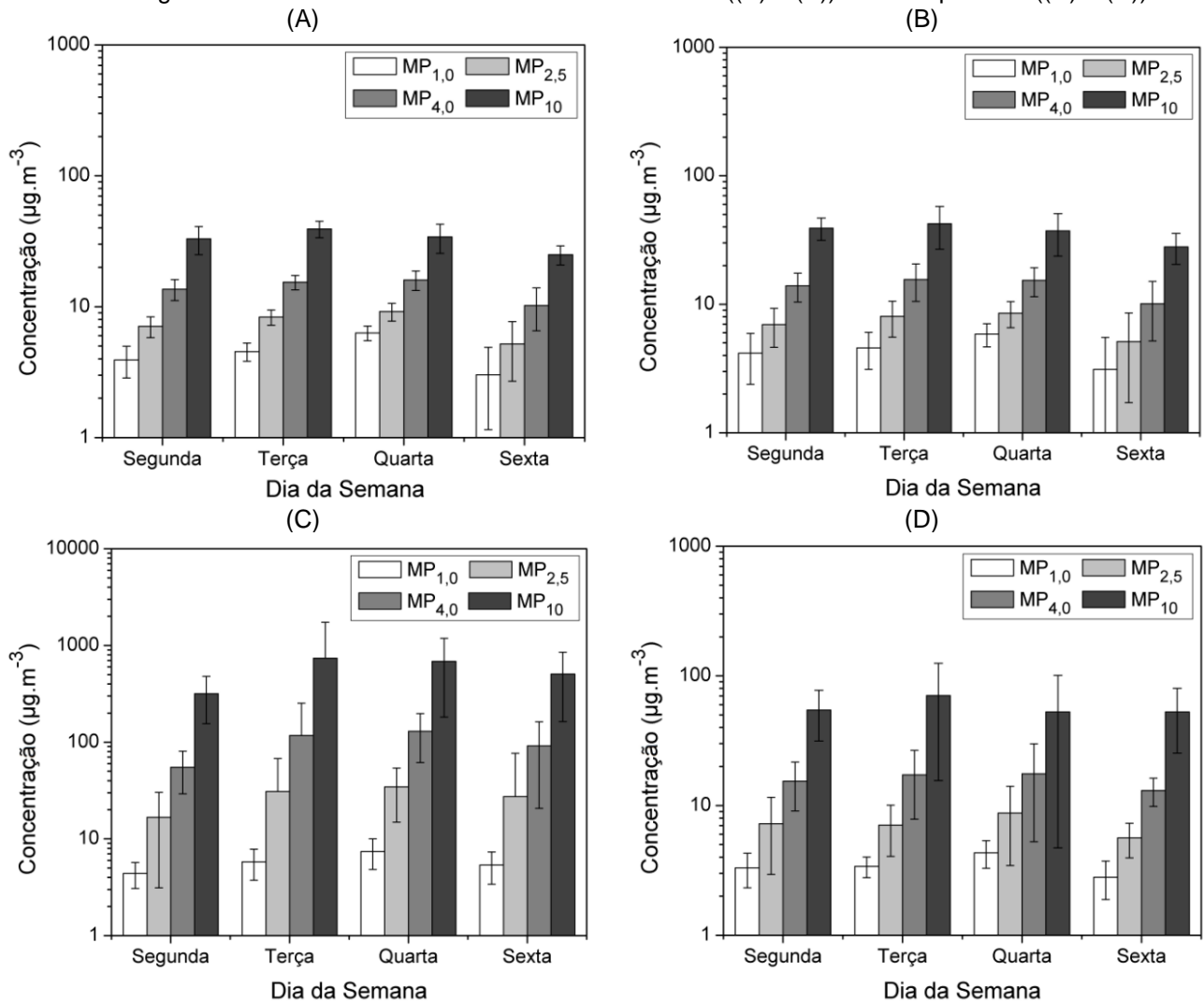
#### 5.1.1 Concentrações do Verão

Na Figura 13 podem-se observar as concentrações médias de material particulado nos diferentes diâmetros de corte coletados em cada dia da semana de amostragem, nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa. Para o MP<sub>10</sub>, os maiores valores foram observados na terça-feira nos quatro locais de amostragem, com as maiores concentrações médias diárias de 39,3, 42,3, 737,1 e 70,4  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  no P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

Na UTFPR, a sala de aula (P1) (Figura 13, (A)) encontrava-se vazia, mas pode ter ocorrido o acúmulo de poluentes provenientes do exterior uma vez que a concentração nesse local (P2) também foi elevada. Assim, as concentrações internas refletiram a variabilidade ocorrida no ambiente externo para todos os intervalos de tamanho e dias da semana, evidenciando a influência do ar exterior nas concentrações de MP do ambiente interno. No ambiente externo (Figura 13, (B)), observou-se a movimentação de carros chegando no estacionamento próximo ao local de amostragem, que foram as fontes predominantes de MP nesse local.

Na cooperativa, as concentrações de MP foram muito superiores as medidas na UTFPR, mesmo para o ambiente externo (P4). No ambiente interno da cooperativa (P3) (Figura 13, (C)), as concentrações foram até 29 vezes maiores que na UTFPR e até 14 vezes maiores que no ambiente externo da própria cooperativa. A intensa movimentação de caminhões para descarregar os resíduos no interior do barracão, as atividades de segregação dos resíduos, varrição e arraste das *big bags* nesse local promovem a geração e ressuspensão de MP e, associada à baixa troca de ar pela ausência de janelas, justificam as elevadas concentrações registradas desse poluente. No ambiente externo (Figura 13, (D)), a movimentação de caminhões, seja da cooperativa ou dos outros estabelecimentos e da rodovia, e a ressuspensão de poeira devido a ocorrência de ventos moderados, juntamente com os resíduos que são dispostos do lado externo, também explicam as maiores concentrações de MP no exterior da cooperativa quando comparadas com as da UTFPR.

Figura 13 – Concentrações médias de MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub> ao longo da semana de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

Ressalta-se que os caminhões utilizados na coleta dos resíduos fazem parte de uma frota mais antiga, que apresentam maiores taxas de emissão de poluentes atmosféricos comparados a caminhões provenientes de frotas mais novas com melhor desenvolvimento da tecnologia utilizada (IWATA, 2011; WANG et al., 2018; PAN et al., 2019). Dessa forma, esses caminhões constituíram fontes significativas de MP nos ambientes da cooperativa.

Na quarta-feira observou-se a redução nos valores de concentração (Figura 13), provavelmente devido à ocorrência de 56,6 mm de precipitação segundo o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2019), o que pode ter favorecido a deposição do poluente por via úmida (DAWSON; ADAMS; PANDIS, 2007; GONÇALVES et al., 2010b; SANTOS; CARVALHO; REBOITA, 2016; BEAL et al., 2017).

Além disso, comparando os quatro tamanhos de MP amostrados, observou-se que os bioaerossóis podem representar uma fração significativa das partículas respiráveis ( $MP_{2,5-10}$ ) no barracão devido às concentrações elevadas registradas nesse local em comparação à universidade. Por outro lado, as partículas de  $MP_{1,0}$  apresentaram resultados similares em todos os ambientes estudados (Figura 13).

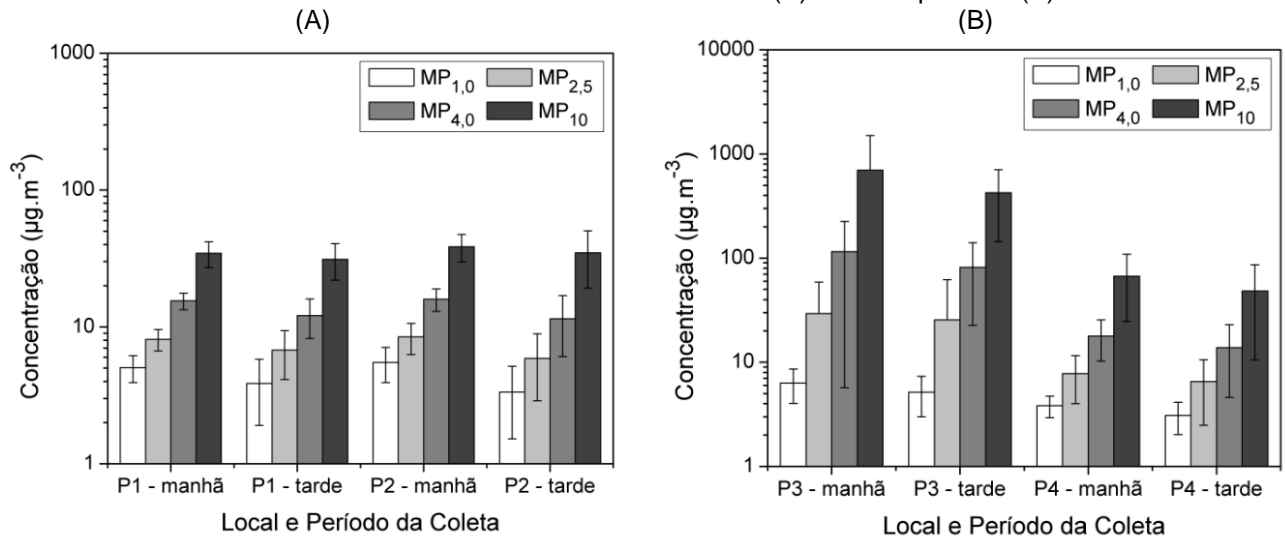
Na Figura 14 são apresentadas as concentrações médias de material particulado em cada local e período de amostragem, isto é, para os ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B) pela manhã e à tarde, considerando os dados da semana toda. Na UTFPR, os valores são muito similares no ambiente interno e externo, variando de 3,3 a 38,6  $\mu\text{g.m}^{-3}$  considerando os quatro diâmetros analisados sendo que, para  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , nenhum dos resultados ultrapassou os padrões de 50 e 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$  estabelecidos pela OMS (2006), respectivamente.

Na cooperativa, o barracão foi o local com as maiores concentrações de poluentes, alcançando 699,3  $\mu\text{g.m}^{-3}$  de  $MP_{10}$  na média no período da manhã, valor quase 14 vezes superior ao padrão da OMS (2006). O valor médio mais alto de  $MP_{2,5}$  foi de 29,3  $\mu\text{g.m}^{-3}$  também no barracão no período da manhã, sendo ligeiramente superior ao padrão de 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$  estabelecido pela OMS (2006). Considerando ambos os locais de amostragem da cooperativa, a variação na concentração dos quatro tamanhos de MP foi de 3,3 a 699,3  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Além disso, para a concentração em massa os maiores valores foram observados para os maiores diâmetros de partícula, como também relatado por outros autores (MAÎTRE et al., 2003; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; VIEGAS et al., 2014).

De maneira geral, o período da manhã apresentou as maiores concentrações (Figura 14, (B)) provavelmente devido ao acúmulo de poluentes durante as horas não trabalhadas em que o barracão se encontrava fechado e não ocorria nenhuma troca de ar. Também pela maior frequência de atividades sendo realizadas, inclusive o maior número de caminhões que chegavam na cooperativa para descarregar os resíduos pela manhã em comparação à tarde.



Figura 14 – Concentrações médias de MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub> em cada período de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B).



Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Os dados de MP apresentaram distribuição não normal e, ao aplicar o teste de Mann-Whitney para comparar as concentrações dos locais de estudo, observou-se que os valores de MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>4,0</sub> são estatisticamente semelhantes ( $p = 0,05$ ) nos dois ambientes da universidade (P1 e P2). Por outro lado, os valores dos quatro diâmetros analisados são estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) ao comparar os dois ambientes da cooperativa (P3 e P4).

Os valores encontrados neste trabalho são superiores aos resultados relatados por Park et al. (2013a) que foram, para o MP<sub>10</sub>, de  $300,2 \mu\text{g.m}^{-3}$  durante a coleta e de  $458,1 \mu\text{g.m}^{-3}$  durante a triagem em uma instalação municipal de gerenciamento de resíduos sólidos na Coreia do Sul. Chalvatzaki e Lazaridis (2015) reportaram uma concentração de MP<sub>10</sub> de  $209,0 \mu\text{g.m}^{-3}$  para o período de trabalho em comparação a  $48,0 \mu\text{g.m}^{-3}$  durante as horas não trabalhadas, na área de separação manual dos resíduos em um aterro sanitário de RSU na Grécia.

A ausência de ventilação mecânica em uma estação de triagem de resíduos em Portugal contribuiu para as concentrações de MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub> que foram, respectivamente, de  $27,5$  e  $149,0 \mu\text{g.m}^{-3}$  com ventilação e  $108,0$  e  $1.390,0 \mu\text{g.m}^{-3}$  sem ventilação (VIEGAS; ALMEIDA-SILVA; VIEGAS, 2014). No presente trabalho as partículas estão sendo acumuladas dentro do barracão analisado, devido à falta de um sistema de ventilação apropriado (como exaustores) e à troca de ar inadequada, pois os ventiladores instalados são insuficientes devido ao tamanho do barracão.

Todos os valores observados na Figura 14 são superiores no período da manhã em comparação com a tarde, mostrando uma possível correlação negativa com a temperatura e positiva com a umidade relativa, ao contrário do registrado por Pateraki et al. (2010), Jayamurugan et al. (2013) e Beal et al. (2017). Na Tabela 2 são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa medidos durante as amostragens. Conforme o esperado, verificou-se que a temperatura aumentou, enquanto a umidade relativa diminuiu da manhã para o período da tarde. Além disso, os maiores valores médios de temperatura e os menores de umidade relativa foram registrados na cooperativa (P3 e P4).

Tabela 2 – Estatística descritiva para temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa.

Local	Período	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)		
		Média	Mediana	Desvio Padrão	Média	Mediana	Desvio Padrão
P1	Manhã	26,5	26,6	0,7	66,7	66,0	3,5
	Tarde	29,6	29,0	2,0	59,7	62,0	6,5
P2	Manhã	26,3	26,2	0,6	71,7	71,0	2,7
	Tarde	31,0	31,3	1,8	57,7	58,0	5,4
P3	Manhã	29,0	29,0	1,2	61,0	62,0	5,4
	Tarde	30,9	29,8	2,7	53,8	55,0	7,2
P4	Manhã	30,4	30,2	2,1	59,0	60,0	7,0
	Tarde	32,2	31,8	2,1	52,7	52,0	5,6

Fonte: Autoria própria (2019).

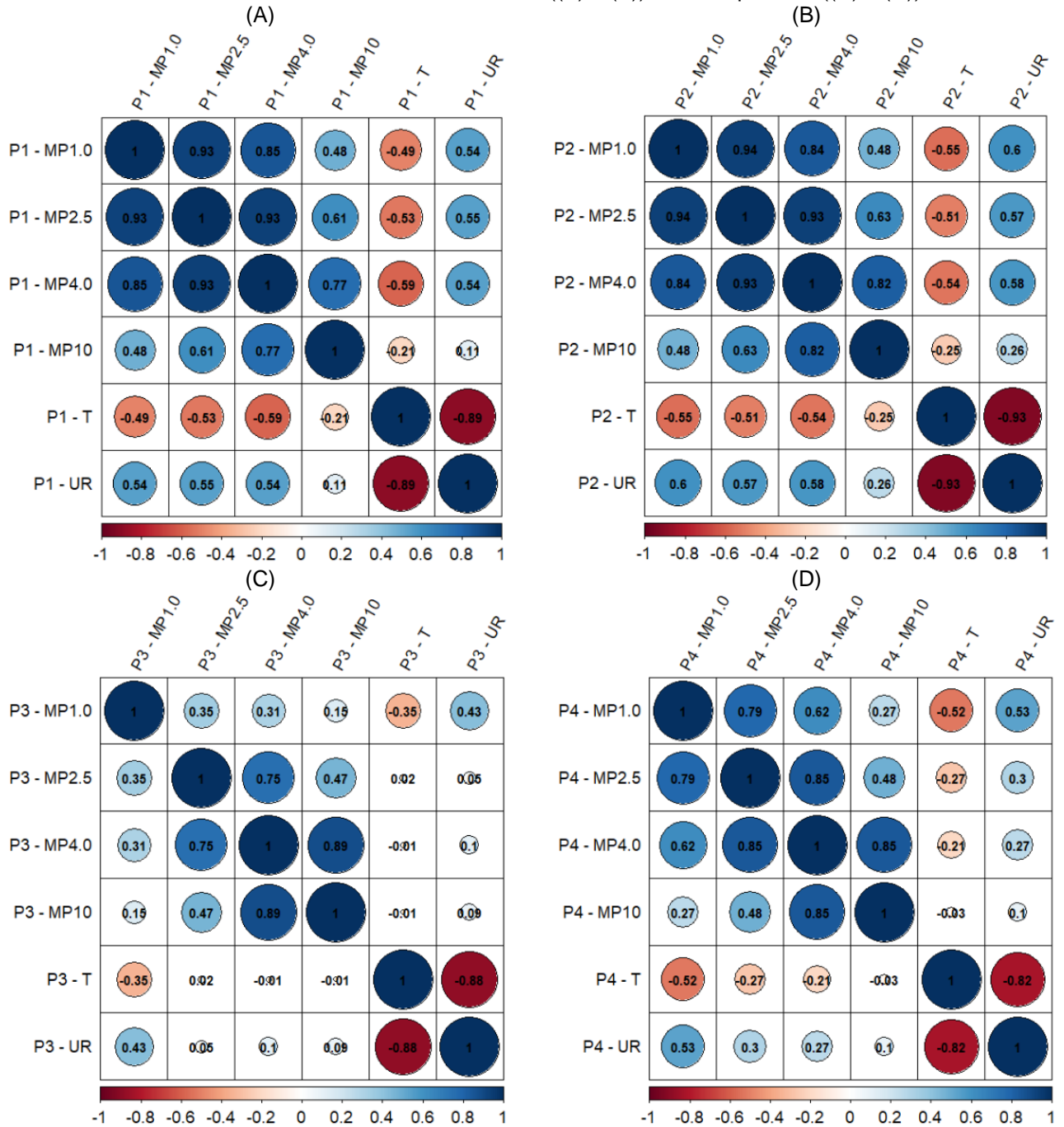
P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Ao aplicar o teste de correlação de Spearman (Figura 15) para os valores de MP, temperatura e umidade relativa observou-se, para ambos os ambientes da UTFPR, correlações fortes e bem fortes entre os MP, exceto para o MP<sub>10</sub> que a correlação foi moderada com os demais tamanhos de MP. As correlações de MP com temperatura e umidade também foram similares no P1 e P2, com correlações moderadas negativas com a temperatura e positivas com a umidade relativa para as frações de MP<sub>1,0</sub> à MP<sub>4,0</sub> (Figura 15, (A) e (B)).

Por outro lado, na cooperativa as correlações foram diferentes quando comparados os coeficientes dos ambientes interno e externo (Figura 15, (C) e (D)). Para o ambiente externo, o padrão de correlação obtido foi similar ao da UTFPR, embora com coeficientes menores, indicando uma certa influência de outras fontes de MP, quando comparado com os ambientes da universidade. No ambiente interno, as correlações entre os MP foram fracas e bem fracas, exceto do MP<sub>4,0</sub> com MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub> que foram fortes. Foi observada uma correlação fraca para o MP<sub>1,0</sub> com a temperatura

(negativa) e moderada com a umidade relativa (positiva). Esses resultados indicam a presença de fontes variadas de MP e a pouca influência da temperatura e umidade relativa na variabilidade das concentrações de MP nesses ambientes.

Figura 15 – Análise de correlação para MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub>, MP<sub>10</sub>, temperatura e umidade relativa nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da relação entre as concentrações dos ambientes internos e externos (I/E), que foi calculada para o MP considerando as amostragens de manhã e à tarde. A Resolução nº 09/2003 da ANVISA estabelece um valor menor ou igual a 1,5 apenas para fungos, porém na ausência de um valor específico para MP, esse será considerado para todos os poluentes analisados neste trabalho. Quando a relação I/E é maior que 1,5, um diagnóstico de fontes poluidoras precisa ser feito para uma intervenção corretiva (BRASIL, 2003). Observa-se que na UTFPR (P1/P2) todos os valores foram menores que 1,5, enquanto na cooperativa (P3/P4) todos foram superiores, com resultados expressivos para MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub>, sendo até três, quatro e sete vezes superior ao estabelecido pela ANVISA, respectivamente. Isso possivelmente se deve a geração de MP por fontes internas ser mais intensa do que no ambiente exterior, ainda que a infiltração de partículas externas também possa ocorrer.

Tabela 3 – Resultados da relação I/E para MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub>, MP<sub>10</sub>.

Local	Período	MP <sub>1,0</sub>	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>4,0</sub>	MP <sub>10</sub>
P1/P2	Manhã	0,9	1,0	1,0	0,9
	Tarde	1,2	1,1	1,1	0,9
P3/P4	Manhã	1,6	3,8	6,5	10,5
	Tarde	1,7	3,9	5,9	8,8
P3/P2	Manhã	1,1	3,5	7,2	18,1
	Tarde	1,5	4,3	7,1	12,2

Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

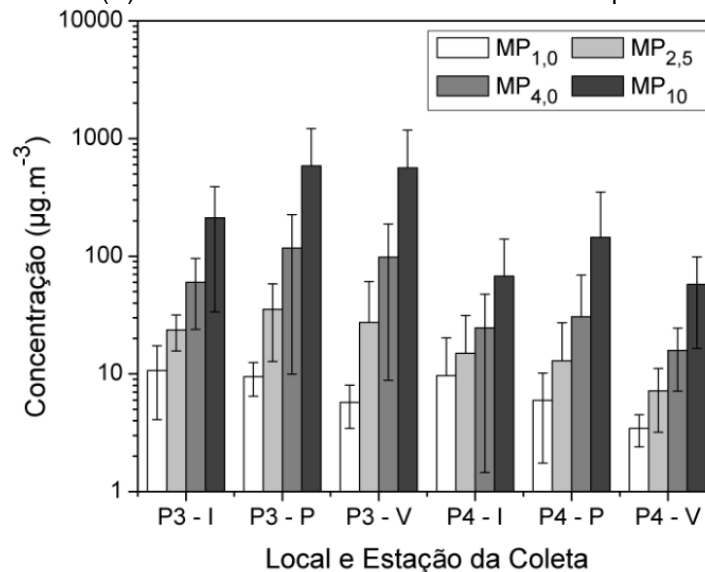
Utilizando outra perspectiva de análise, calculou-se essa relação considerando as concentrações do ambiente interno na cooperativa e do ambiente externo na UTFPR (P3/P2) e observou-se resultados superiores a 1,5 para os poluentes analisados, exceto o MP<sub>1,0</sub>. Os valores foram ainda mais expressivos do que na razão entre P3 e P4, o que indica a existência de contaminação no ar do próprio ambiente externo da cooperativa devido às atividades que são realizadas nesse local, como a movimentação de empilhadeiras utilizadas para carregar os resíduos processados do barracão para o ambiente externo, que acaba se tornando um local de armazenamento a céu aberto (Figura 7, (C) e (D)). Além disso, os caminhões que descarregam os resíduos no barracão utilizam esse espaço exterior para a realização de manobras e a ressuspensão de solo também pode ocorrer.

### 5.1.2 Comparação entre Estações do Ano

Nos meses de agosto e outubro de 2017 (final do inverno e início da primavera, respectivamente) foram realizadas coletas de MP utilizando os mesmos equipamentos, condições de coleta e nos mesmos locais de amostragem (P3 e P4), com exceção dos pontos da UTFPR (WIKUATS, 2017). Dessa forma, foi realizada uma comparação dos resultados observados no verão com os obtidos no inverno e na primavera.

Na Figura 16 podem ser observados os gráficos com os resultados médios para inverno (I), primavera (P) e verão (V) nos dois pontos de amostragem da cooperativa. De maneira geral, comparando as estações estudadas, as concentrações médias foram maiores no inverno para MP<sub>1,0</sub> (10,7  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) e na primavera para MP<sub>2,5</sub> (35,5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), MP<sub>4,0</sub> (117,5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) e MP<sub>10</sub> (584,5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), provavelmente devido à geração mais intensa de MP por fontes internas e também à infiltração de partículas externas, uma vez que essa foi a estação com a menor contribuição na remoção de MP por deposição úmida. Observou-se a ocorrência de 36,0 mm de chuva durante a semana de amostragem na primavera, em comparação com 57,0 mm no inverno e 65,4 mm no verão (IAPAR, 2019).

Figura 16 – Concentrações médias de MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub> no inverno (I), na primavera (P) e no verão (V) nos ambientes interno e externo na cooperativa.



Fonte: Autoria própria (2019).

P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Os resultados deste trabalho divergem dos obtidos por Lavoie e Guertin (2001), que encontraram valores mais altos no verão em relação ao inverno, enquanto Park et al. (2013a) apresentaram maiores concentrações no outono quando comparadas ao verão em seus estudos no Canadá e na Coreia do Sul, respectivamente. Angaye e Abowei (2018) reportaram valores mais altos de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  na estação seca (de novembro a março) em comparação a estação chuvosa (de abril a outubro) em lixões de RSU na Nigéria.

Na região de Londrina o inverno é caracterizado como ameno (com temperatura média inferior a  $18^{\circ}C$ ), seco e com volumes de chuva mais baixos do que durante o verão (ALVARES et al., 2013). Entretanto, a semana de amostragem do inverno pode ser considerada atípica devido ao grande volume de precipitação e ao maior valor médio de umidade relativa registrado em comparação com a primavera e o verão (62,8, 51,3 e 57,6%, respectivamente). A temperatura média mais alta foi registrada no verão conforme o esperado, seguido pela primavera e inverno (29,9, 25,4 e  $21,9^{\circ}C$ , respectivamente).

Os resultados para MP apresentaram distribuição não normal e aplicando o teste de Kruskal-Wallis com o intuito de comparar as concentrações entre as três estações estudadas, verificou-se que os dados são estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) no inverno, primavera e verão. Esse comportamento reflete a grande variabilidade nas fontes e atividades internas e a influência das condições atmosféricas externas no ambiente interno.

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados da relação entre as concentrações de MP dos ambientes internos e as concentrações dos ambientes externos (I/E) em cada estação. Para os quatro tamanhos de material particulado estudados, os valores da relação I/E foram superiores a 1,5, com exceção do  $MP_{1,0}$  no inverno. Isso ocorreu provavelmente devido à geração mais intensa de MP por fontes internas, embora a infiltração de partículas externas também possa ocorrer. As concentrações médias no P4 foram maiores na primavera do que no verão, provavelmente devido à ocorrência de 65,4 mm de chuva durante a semana de amostragem na última estação. Assim, as razões são mais altas no verão, embora as concentrações médias sejam mais altas na primavera no P3.

Tabela 4 – Resultados da relação I/E para MP<sub>1,0</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub> e MP<sub>10</sub> no inverno, na primavera e no verão.

Local	Estação	MP <sub>1,0</sub>	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>4,0</sub>	MP <sub>10</sub>
P3/P4	Inverno	1,1	1,6	2,4	3,1
	Primavera	1,6	2,7	3,8	4,0
	Verão	1,7	3,8	6,2	9,8

Fonte: Autoria própria (2019).

P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

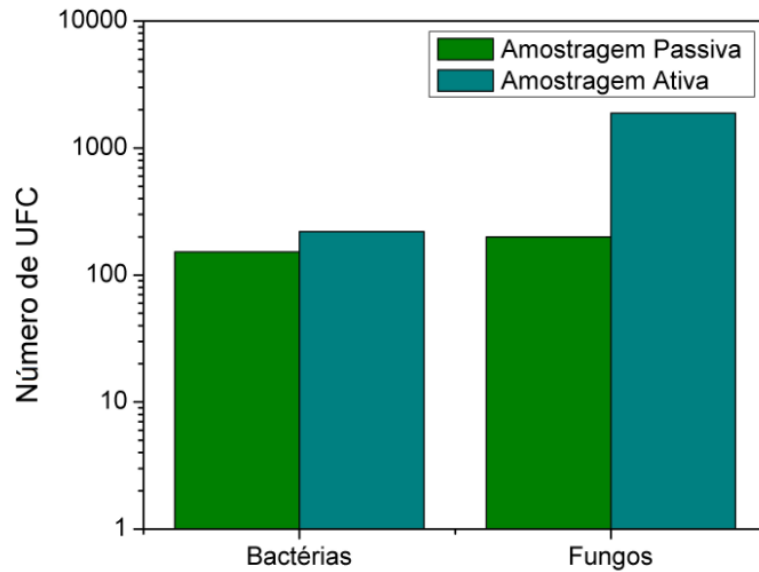
## 5.2 BIOAEROSSÓIS

Primeiramente foram estabelecidas as razões, ou fatores de correção, para bactérias e fungos a partir das amostragens ativa e passiva para, então, aplicá-las no cálculo da concentração de UFC.m<sup>-3</sup> dos resultados provenientes da sedimentação espontânea.

### 5.2.1 Comparação entre Amostragem Passiva e Ativa

Na Figura 17 pode ser observado o gráfico de comparação do número de UFC dos microrganismos amostrados no interior do barracão por meio das técnicas de coleta passiva e ativa (esta última com os valores corrigidos de acordo com a tabela do manual do equipamento). Conforme o esperado, a contagem de UFC resultou em números maiores para a amostragem feita com o equipamento em comparação com a sedimentação espontânea, uma vez que este é um método de amostragem passiva usado para permitir a coleta de partículas pela força gravitacional em placas com meio de cultura (KIM; KABIR; JAHAN, 2018). Assim, a coleta é predominantemente de partículas maiores que são muito pesadas para permanecerem no ar por longos períodos de tempo (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016). Apesar disso, os resultados são reprodutíveis, confiáveis e retratam condições reais do local estudado (PASQUARELLA; PITZURRA; SAVINO, 2000; GHOSH; LAL; SRIVASTAVA, 2015).

Figura 17 – Números de UFC para bactérias e fungos amostrados por meio das amostragens passiva e ativa.



Fonte: Autoria própria (2019).

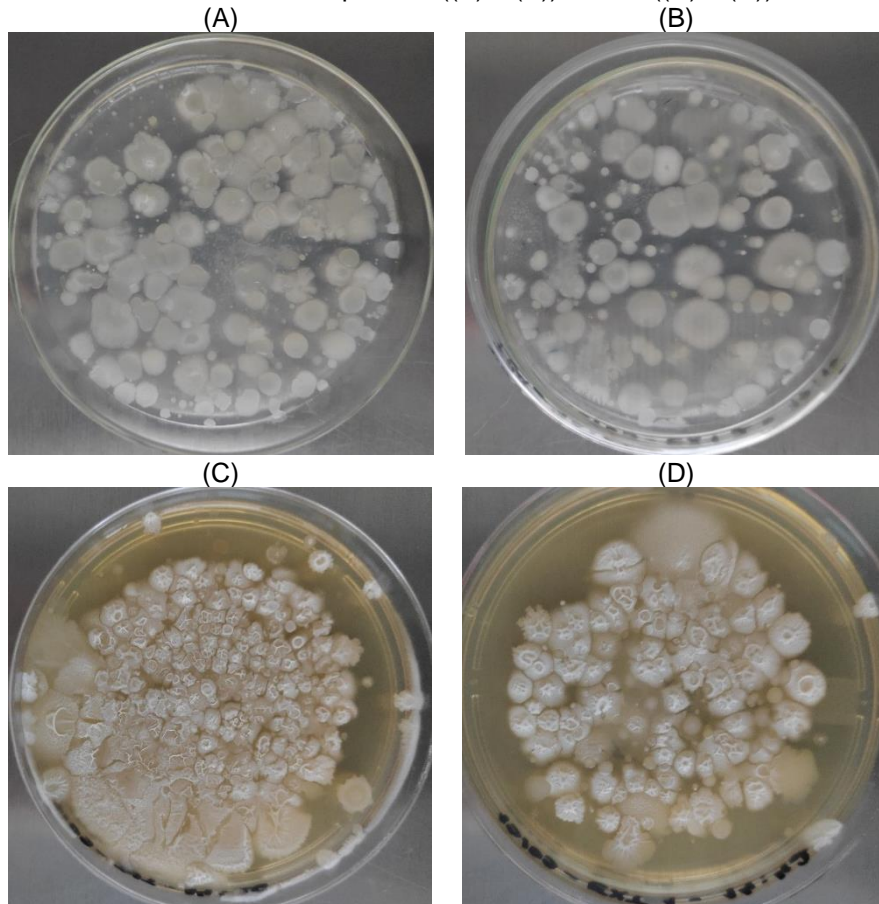
Como não é possível saber o volume de ar que entrou em contato com as placas de Petri, o cálculo das concentrações em  $\text{UFC.m}^{-3}$  apresenta grandes incertezas, como já mencionado. Por exemplo, na coleta realizada no interior do barracão o resultado médio para os fungos foi de 1.885,0 UFC (valor já corrigido de acordo com a tabela que consta no manual do equipamento) para a amostragem ativa, resultando em  $7.540,0 \text{ UFC.m}^{-3}$ , e de 199,5 UFC para a amostragem passiva, obtendo  $15.679,7 \text{ UFC.m}^{-3}$  usando a equação sugerida por Omelyansky (1940), para a conversão de UFC para  $\text{UFC.m}^{-3}$ , e utilizada por outros autores recentemente (BOGOMOLOVA; KIRTSIDELI, 2009; HAYLEEYESUS; EJESO; DERSEH, 2016; LIPSA; ULEA; CHIRIAC, 2016; KALYONCU, 2019). Para outras relações de conversão citadas por diferentes autores, os resultados foram  $10.453,1 \text{ UFC.m}^{-3}$  e  $11.362,1 \text{ UFC.m}^{-3}$  (PARKER, 1978; PASQUARELLA; PIZURRA; SAVINO, 2000; TSHOKEY; SOMARATNE; AGAMPODI, 2016), demonstrando incertezas na aplicação dessas relações a partir da quantidade de UFC obtida pela amostragem passiva.

O número de microrganismos que cresceu nas placas de Petri foi superior para a amostragem com o equipamento, entretanto, para as três relações encontradas na literatura para o cálculo de  $\text{UFC.m}^{-3}$  dos dados obtidos por meio da sedimentação espontânea, todos os resultados foram superiores ao valor calculado para a amostragem ativa. Assim, foram utilizadas as razões entre as amostragens ativa e passiva de 7,4 para bactérias e 31,1 para fungos para obter os resultados de concentração da sedimentação, conforme explicitado no tópico 4.6.2.



Na Figura 18 são apresentadas fotos de algumas placas com meio PCA (amostragem passiva) e TSB (amostragem ativa) e os respectivos crescimentos bacterianos após as amostragens realizadas nos ambientes interno ((A) e (C)) e externo ((B) e (D)) na cooperativa. As placas amostrais observadas na figura a seguir apresentaram crescimento significativo de bactérias para ambos os métodos analisados.

Figura 18 – Placas com crescimento bacteriano nos ambientes interno e externo na cooperativa por meio dos métodos passivo ((A) e (B)) e ativo ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a determinação dos resultados quantitativos foi feita a seleção de 20 colônias de bactérias com características macroscópicas diferentes, entre todas as placas amostrais contendo meio PCA e TSB, para serem isoladas. No Quadro 2 podem ser observados os resultados qualitativos dessas colônias, o que mostra a diversidade de bactérias amostradas em alguns dos ambientes estudados.

Quadro 2 – Características macroscópicas das colônias de bactérias isoladas da coleta de setembro de 2019.

Nº do Isolado	Local	Cor	Forma	Margem	Elevação	Densidade	Superfície
1	P3	Amarela	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Brilhante
2	P3	Branca	Circular	Regular	Elevada	Transparente	Brilhante
3	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Translúcida	Granular
4	P4	Branca	Filamentosa	Filamentosa	Centro elevado	Transparente	Cremosa
5	P3	Branca	Irregular	Irregular	Convexa	Opaca	Brilhante
6	P4	Alaranjada	Irregular	Irregular	Elevada	Opaca	Cremosa
7	P3	Bege	Irregular	Irregular	Convexa	Transparente	Brilhante
8	P3	Amarela	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Brilhante
9	P3	Alaranjada	Circular	Regular	Achatada	Transparente	Embaçada
10	P3	Branca	Circular	Regular	Achatada	Translúcida	Granular
11	P3	Bege	Rizoide	Lobular	Achatada	Opaca	Cremosa
12	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Brilhante
13	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Cremosa
14	P3	Branca	Irregular	Irregular	Elevada	Translúcida	Embaçada
15	P4	Alaranjada	Circular	Regular	Convexa	Translúcida	Brilhante
16	P4	Salmão	Circular	Regular	Achatada	Opaca	Cremosa
17	P3	Branca	Irregular	Irregular	Centro elevado	Translúcida	Granular
18	P4	Bege	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Brilhante
19	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Opaca	Granular
20	P4	Bege	Filamentosa	Filamentosa	Centro elevado	Translúcida	Cremosa

Fonte: Autoria própria (2019).

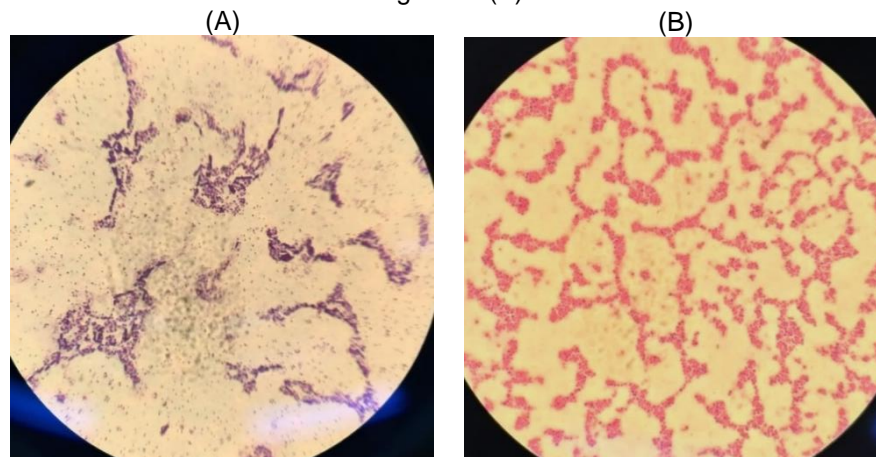
P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Das 20 colônias de bactérias isoladas, 20% sofreram contaminação ou não cresceram adequadamente durante o processo de isolamento. Assim, 80% das colônias foram submetidas à técnica de coloração de Gram para serem classificadas em Gram-positivas ou Gram-negativas (Figura 19), dependendo da estrutura da parede celular que possibilita a retenção de cores diferentes durante o processo. As bactérias Gram-negativas são cercadas por uma fina parede celular de peptidoglicano (polímero composto por aminoácidos e açúcares), que é ainda cercada por uma membrana externa contendo lipopolissacarídeos (lipídeos e polissacarídeos) (TORTORA; FUNKE; CASE, 2005; SILHAVY; KAHNE; WALKER, 2010). Já as bactérias Gram-positivas não possuem uma membrana externa, mas são cercadas por camadas de peptidoglicano muito mais espessas do que as Gram-negativas (TORTORA; FUNKE; CASE, 2005; SILHAVY; KAHNE; WALKER, 2010).

Durante o processo de coloração, o cristal violeta (corante) e o iodo (mordente) penetram nas células e formam complexos violeta-iodo (CV-I) que, durante a lavagem com álcool, não são removidos da camada de peptidoglicano das células Gram-positivas devido a sua ação desidratante, o que torna essa camada menos permeável. Assim, essas células retêm a cor roxa do corante conforme pode ser observado na Figura 19, (A). Nas células Gram-negativas, os complexos CV-I são removidos devido

ao rompimento da camada externa de lipopolissacarídeos durante o processo de descoloração (lavagem com álcool) e as células permanecem incolores até a aplicação de safranina (contracorante) adquirindo, então, a cor rosa ou vermelha (TORTORA; FUNKE; CASE, 2005; SILHAVY; KAHNE; WALKER, 2010) (Figura 19, (B)).

Figura 19 – Aparência microscópica dos isolados classificados como Gram-positivos (A) e Gram-negativos (B).



Fonte: Autoria própria (2019).

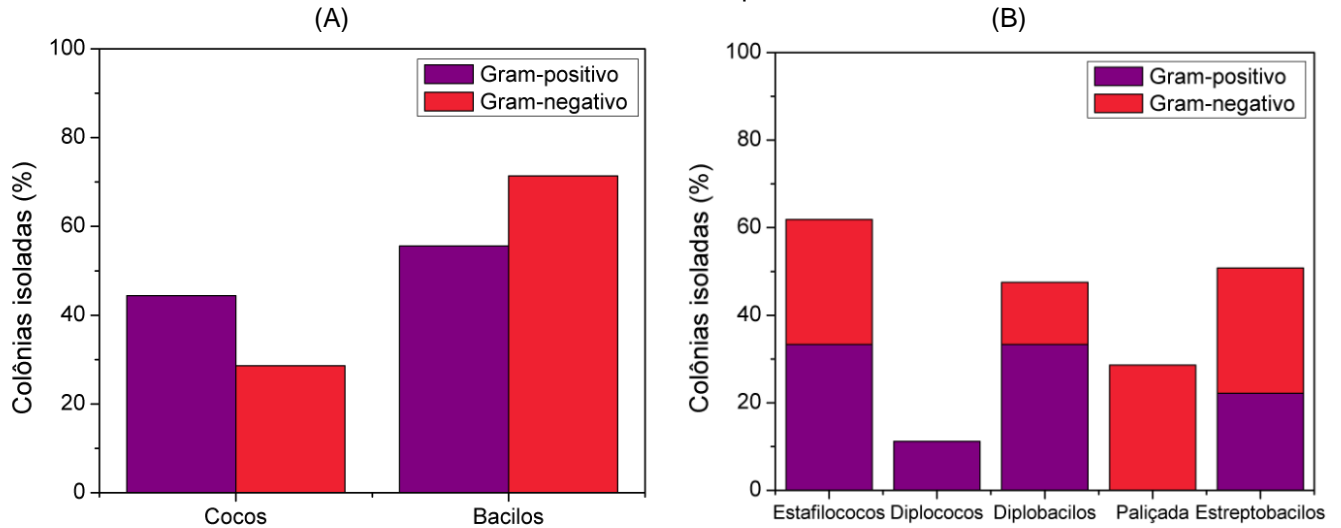
Verificou-se que 56,3% das colônias apresentaram-se como Gram-positivas e 43,7% como Gram-negativas. Małecka-Adamowicz, Kaczanowska e Donderski (2007) e Breza-Boruta (2016) obtiveram resultados semelhantes em aterros sanitários na Polônia no que diz respeito à predominância de bactérias Gram-positivas na microflora de bioaerossóis bacterianos. As bactérias Gram-positivas também foram encontradas como as mais abundantes na análise de amostras de ar interno em diversos estudos (ZHU et al., 2003; AYDOGDU; ASAN; TATMAN OTKUN, 2010; CABO VERDE et al., 2015; MIRHOSEINI et al., 2016).

Com relação à morfologia quanto à forma das bactérias observou-se, para as Gram-positivas, que 55,6% possuem forma de bacilos e 44,4% de cocos, enquanto para as Gram-negativas foram 71,4% de bacilos e 28,6% de cocos (Figura 20, (A)). Mirhoseini et al. (2016) também obteve resultados maiores de bacilos em comparação aos cocos, enquanto Breza-Boruta (2016) encontrou resultados diferentes deste estudo, pois os cocos Gram-positivos foram a forma dominante das bactérias, correspondendo a aproximadamente 40,0%.

Ainda, foi feita a classificação levando-se em consideração a morfologia quanto ao arranjo das bactérias e o resultado foi de 33,3% de estafilococos e diplobacilos,

22,2% de estreptobacilos e 11,2% de diplococos dentre as Gram-positivas. Já dentre as Gram-negativas houve a presença de 28,6% de estafilococos, estreptobacilos e bacilos em paliçada, e 14,2% de diplobacilos (Figura 20, (B)).

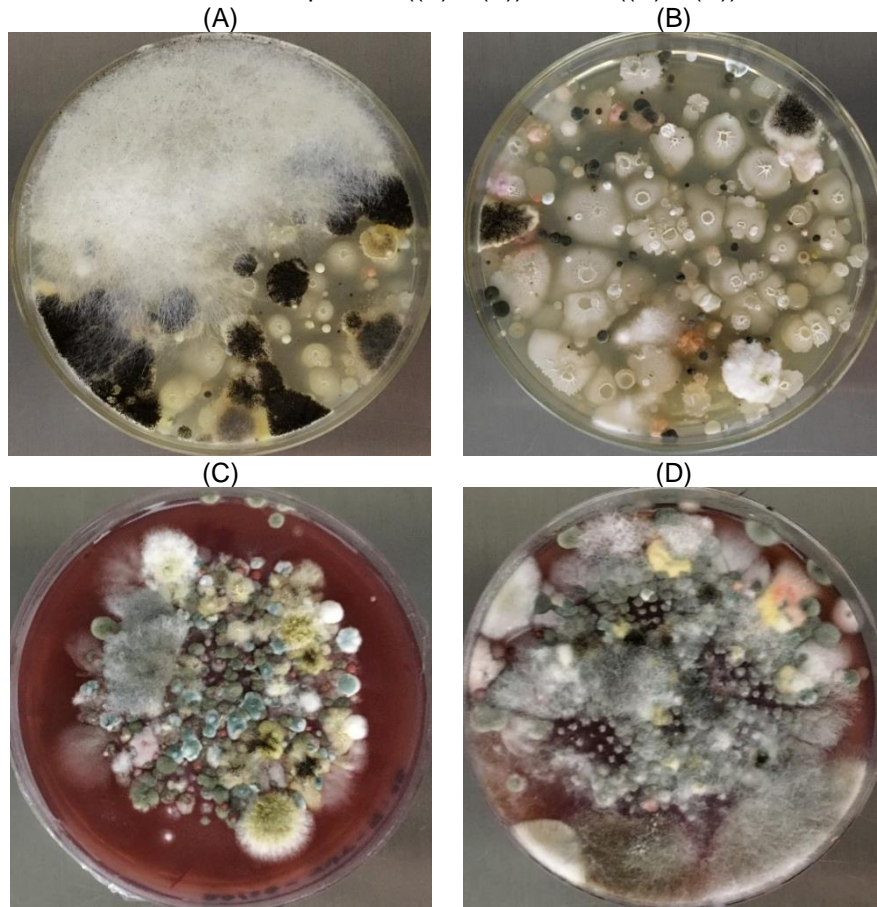
Figura 20 – Resultado da coloração de Gram quanto à forma (A) e ao arranjo (B) das bactérias para os ambientes da cooperativa.



Fonte: Autoria própria (2019).

Na Figura 21 pode ser observado o crescimento fúngico em algumas placas com meio SDA (amostragem passiva) e DRBC (amostragem ativa) após serem amostradas nos ambientes interno ((A) e (C)) e externo ((B) e (D)) na cooperativa. As placas observadas na figura a seguir apresentaram crescimento maior nas placas amostradas com o equipamento do que por sedimentação espontânea.

Figura 21 – Placas com crescimento fúngico nos ambientes interno e externo na cooperativa por meio dos métodos passivo ((A) e (B)) e ativo ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

As características macroscópicas foram observadas em todas as placas amostrais de ambos os métodos de amostragem e, a partir disso, foi feita a seleção de 33 colônias de fungos para serem isoladas (Quadro 3). Nota-se a diversidade das colônias de fungos isoladas dos ambientes da cooperativa.

Quadro 3 – Características macroscópicas das colônias de fungos isoladas da coleta de setembro de 2019.

N° do Isolado	Local	Cor	Aspecto/Textura
1	P3	Preta + branca	Pulverulenta + cotonosa
2	P3	Bege	Cotonosa com protuberância
3	P3	Marrom	Cotonosa com protuberância
4	P3	Bege	Lisa
5	P4	Bege	Cotonosa com protuberância
6	P4	Branca + salmão	Aveludada com sulcos
7	P4	Cinza	Aveludada + algodonosa
8	P4	Verde	Rugosa com sulcos
9	P3	Verde + branca	Pulverulenta
10	P3	Branca + salmão	Aveludada com sulcos
11	P3	Bege	Cotonosa com protuberância
12	P4	Branca	Lisa
13	P3	Laranja + branca	Algodonosa
14	P4	Branca	Cotonosa com protuberância
15	P3	Preta + branca	Pulverulenta
16	P4	Cinza	Penugenta
17	P4	Branca	Cotonosa
18	P3	Preta + amarela	Pulverulenta
19	P3	Bege	Cotonosa
20	P3	Verde + branca	Aveludada
21	P4	Verde + branca	Aveludada + cotonosa
22	P4	Rosa + branca	Algodonosa
23	P4	Cinza	Rugosa com sulcos
24	P4	Preta + branca	Pulverulenta + algodonosa
25	P4	Verde + branca	Aveludada
26	P4	Salmão	Aveludada
27	P4	Alaranjada + marrom	Aveludada
28	P3	Verde + branca	Pulverulenta + algodonosa
29	P3	Cinza + branca	Algodonosa
30	P4	Rosa	Lisa
31	P4	Bege	Rugosa com sulcos
32	P4	Branca	Lisa + filamentosa
33	P3	Verde	Rugosa com sulcos

Fonte: Autoria própria (2019).

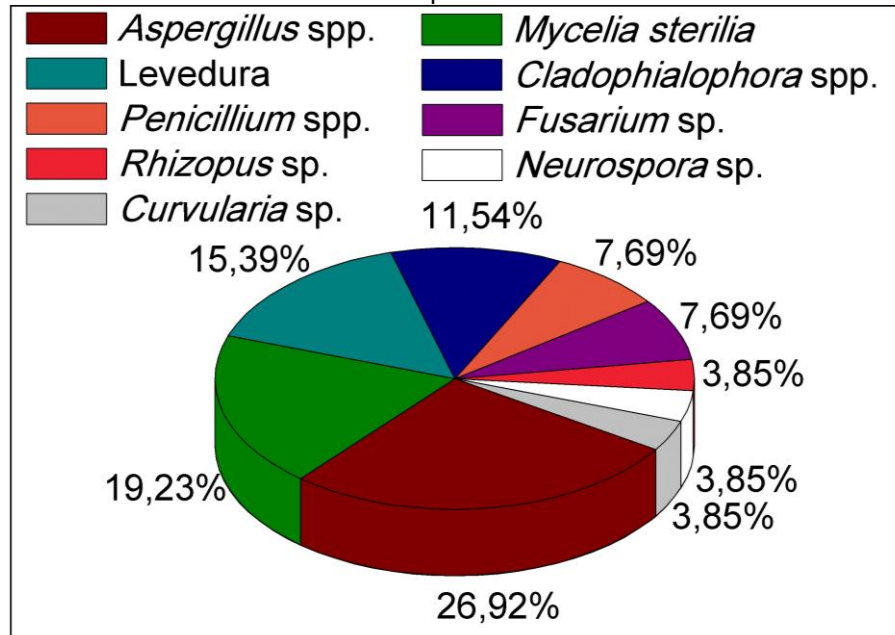
P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

A fim de identificar o gênero provável dos fungos isolados, cada colônia foi cultivada por meio da técnica de microcultivo. Das 33 colônias isoladas, 78,8% foram identificadas, 9,1% não foram passíveis de identificação e 12,1% não cresceram ou sofreram contaminação durante o processo de isolamento.

Os gêneros identificados são mostrados na Figura 22, sendo o *Aspergillus* spp. o gênero predominante nos ambientes estudados da cooperativa. Fungos com micélio estéril (*Mycelia sterilia*, isto é, que não se reproduzem assexuadamente e não formam esporos assexuados), levedura (formada por organismos unicelulares e diferente dos fungos filamentosos, que são multicelulares), *Cladophialophora* spp. e *Penicillium* spp.

foram identificados em diversas amostras, enquanto *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp., *Neurospora* sp. e *Curvularia* sp. foram observados em menor quantidade.

Figura 22 – Gêneros dos fungos identificados como resultado do microcultivo para os ambientes da cooperativa.



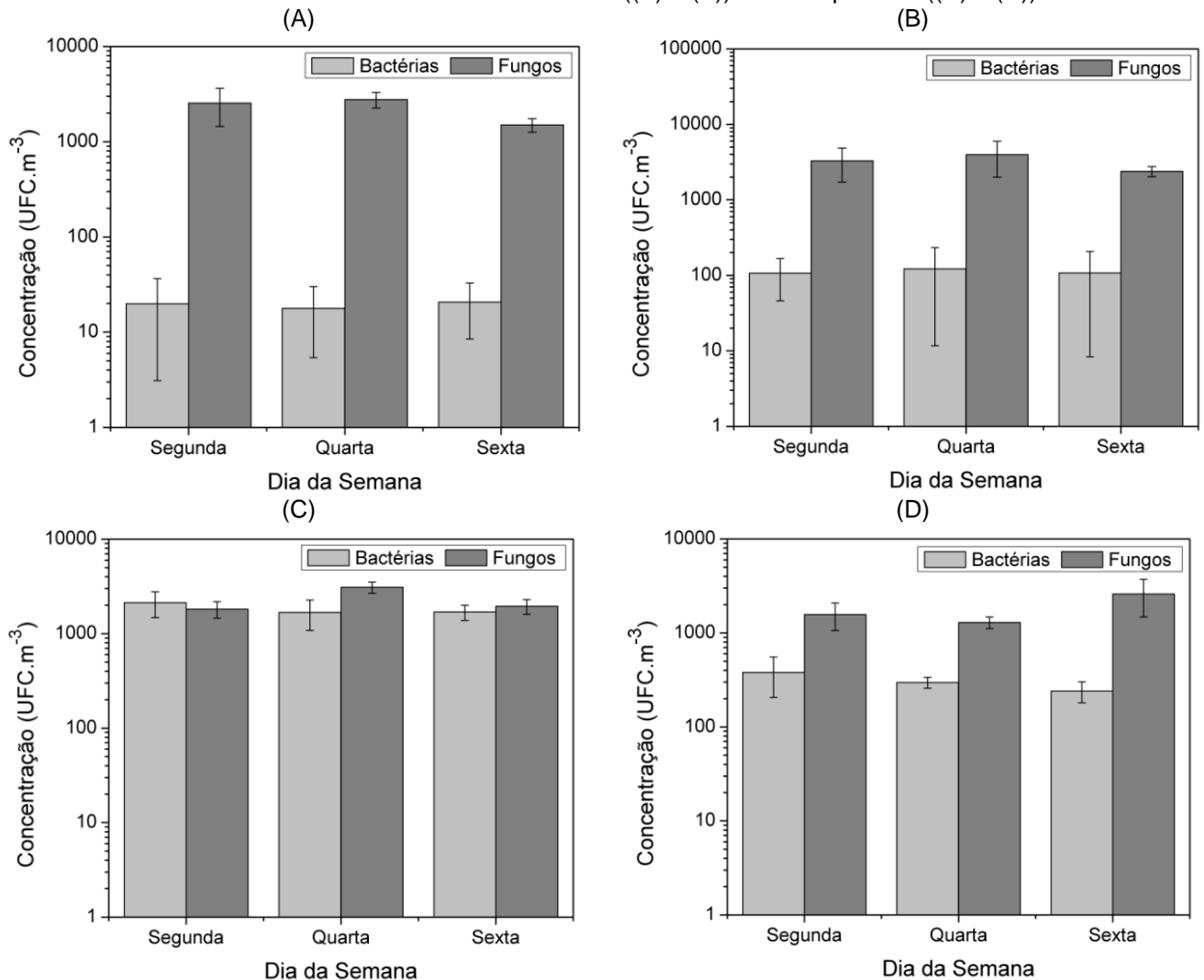
Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados desse trabalho são semelhantes aos observados por Agarwal, Mandal e Srivastava (2016), que identificaram o *Aspergillus* spp. como o gênero mais comum durante o período de estudo em um lixão de RSU na Índia. *Penicillium* spp., *Fusarium* spp. e leveduras também foram identificados pelos autores. Breza-Boruta (2016) relatou a presença de *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Rhizopus* spp. como os predominantes nas amostragens em um aterro municipal na Polônia, gêneros também observados no presente estudo. Por outro lado, Kalwasińska, Burkowska e Brzezinska (2014) observaram o *Penicillium* spp. com presença de 38,9% nas amostras de ar em outro aterro sanitário municipal na Polônia, seguido por *Cladosporium* spp. e *Alternaria* spp. com 15,1 e 12,8%, respectivamente.

### 5.2.2 Concentrações do Verão

Na Figura 23 são mostrados os gráficos das concentrações médias de bioaerossóis ao longo da semana de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa.

Figura 23 – Concentrações médias de bactérias e fungos ao longo da semana de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

Para as bactérias, as maiores concentrações foram notadas na segunda-feira em três dos quatro locais de amostragem (P1 – UTFPR, P3 e P4 – cooperativa). No P2 (UTFPR), essa característica foi observada na quarta-feira. Na UTFPR, os maiores valores médios diários foram de 19,8 UFC.m<sup>-3</sup> no ambiente interno (Figura 23, (A)) e de 122,3 UFC.m<sup>-3</sup> no ambiente externo (Figura 23, (B)). Na cooperativa, as maiores médias diárias foram de 2.126,7 UFC.m<sup>-3</sup> no barracão (Figura 23, (C)) e de 380,4 UFC.m<sup>-3</sup> no ambiente externo (Figura 23, (D)). As concentrações de bactérias foram significativamente maiores nos ambientes da cooperativa em comparação aos da UTFPR, sendo em média 94 vezes maior, considerando o ambiente interno.

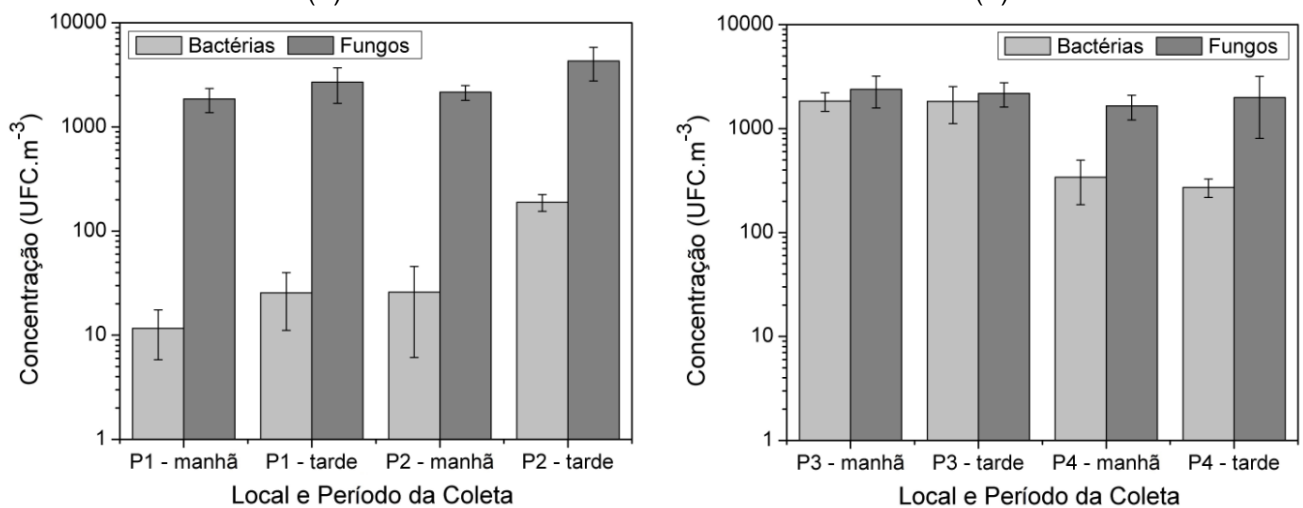
Para os fungos (Figura 23), as maiores concentrações foram observadas na quarta-feira para o P1, P2 e P3, enquanto para o P4 foi na sexta-feira, com os maiores valores médios diários de 2.775,4, 3.978,9, 3.091,8 e 2.593,8 UFC.m<sup>-3</sup>,



respectivamente. Os valores das concentrações de fungos foram superiores na UTFPR em comparação aos da cooperativa, provavelmente devido à presença de vegetação e campos agrícolas ao redor da universidade, que se encontra em uma parte ainda semi-urbanizada da cidade, uma vez que áreas cultivadas, vegetação natural e solo constituem fontes primordiais de esporos fúngicos e grãos de pólen em dispersão no ar (AWAD, 2005; DI FILIPPO et al., 2013).

Na Figura 24 podem ser observados os resultados médios para os bioaerossóis em cada local e período de amostragem, ou seja, para os ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B) pela manhã e à tarde, considerando todos os dados amostrados durante a semana.

Figura 24 – Concentrações médias de bactérias e fungos em cada período de amostragem nos ambientes internos e externos na UTFPR (A) e na cooperativa (B).



Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Na UTFPR, as concentrações de fungos foram até 160 vezes superiores às de bactérias, com valores variando, respectivamente, de 1.853,7 a 4.285,0 UFC.m<sup>-3</sup> e de 11,6 a 189,4 UFC.m<sup>-3</sup>, sendo os maiores valores observados no ambiente externo no período da tarde. Para as bactérias, nenhum dos valores obtidos foi superior a concentração máxima de referência de 500 UFC.m<sup>-3</sup> recomendado para esses microrganismos em Portugal. Para os fungos, a concentração mais elevada foi quase seis vezes superior ao valor máximo recomendável de 750 UFC.m<sup>-3</sup> da ANVISA e 17 vezes superior ao valor de 250 UFC.m<sup>-3</sup> estabelecido pela ACGIH. As concentrações

de bactérias e fungos foram estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) nos dois ambientes da universidade (P1 e P2) pelo teste de Mann-Whitney.

Na cooperativa, as concentrações de fungos foram até sete vezes superiores às de bactérias e os valores variaram de 1.649,7 a 2.386,3 UFC.m<sup>-3</sup> e de 271,7 a 1.838,5 UFC.m<sup>-3</sup>, respectivamente. Os maiores valores foram observados no ambiente interno (barracão) no período da manhã, onde ocorrem os processos com maior liberação desses poluentes. Relata-se na literatura que a qualidade dos materiais recicláveis é reduzida quando os RSU são separados incorretamente pela população em seus domicílios e, conseqüentemente, a qualidade do ar é deteriorada quando os resíduos são manuseados (principalmente durante a triagem e a prensagem), pois os microrganismos ali presentes podem formar bioaerossóis (LAVOIE et al., 2006; PARK et al., 2011; VIMERCATI et al., 2016).

Para as bactérias na cooperativa, o valor médio mais elevado foi quase quatro vezes superior ao limite recomendado em Portugal. Para os fungos, observou-se que a concentração supracitada do barracão é três vezes superior ao valor máximo recomendável da ANVISA e 9,5 vezes superior ao valor estabelecido pela ACGIH. Assim como observado para os dados da UTFPR ao aplicar o teste de Mann-Whitney, as concentrações de bactérias e fungos foram estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) comparando-se os dois ambientes da cooperativa (P3 e P4).

Outros autores obtiveram valores superiores de concentração de bioaerossóis, como Lehtinen et al. (2013) que relataram 2.960 e 6.100 UFC.m<sup>-3</sup> para bactérias e fungos, respectivamente, no ar de uma sala de separação óptica de resíduos na Finlândia. Park et al. (2013b) obtiveram concentrações de 11.000 e 31.000 UFC.m<sup>-3</sup> para as bactérias e 3.700 e 43.000 UFC.m<sup>-3</sup> para os fungos na coleta e na triagem, respectivamente, em instalações municipais de gerenciamento de resíduos sólidos na Coreia do Sul. Lavoie e Guertin (2001) relataram 21.900 UFC.m<sup>-3</sup> para as bactérias e 19.200 UFC.m<sup>-3</sup> para os fungos em amostragens realizadas no verão em uma instalação municipal de reciclagem no Canadá administrada pela associação dos municípios envolvidos. A exposição pessoal de trabalhadores que fazem a separação dos resíduos recicláveis a bactérias e fungos foi de 65.000 e 102.000 UFC.m<sup>-3</sup>, respectivamente, e de 220.000 UFC.m<sup>-3</sup> para bactérias e 24.000 UFC.m<sup>-3</sup> para fungos em diferentes locais de gerenciamento de RSU na Polônia e na Coreia do Sul (KRAJEWSKI et al., 2002; PARK et al., 2011).

Na Tabela 5 são apresentados os dados de geração de RSU e reciclagem nos anos de 2014 e 2015 nos países citados neste trabalho, nos quais foram avaliadas as concentrações de bioaerossóis em locais de gerenciamento de resíduos (LAVOIE; GUERTIN, 2001; KRAJEWSKI et al., 2002; PARK et al., 2011, 2013b; LEHTINEN et al., 2013). Apesar da quantidade de resíduos gerados ser maior no Brasil, a taxa de reciclagem é menor em comparação aos outros países. De tal modo, a quantidade de resíduos recicláveis processados nesses países é maior em comparação ao Brasil e, ao serem manuseados (seja manualmente ou mecanicamente), esses resíduos podem ser fontes diretas de bioaerossóis em suspensão no ar das instalações, resultando em concentrações elevadas desses poluentes. Além disso, todos os estudos mencionados fizeram amostragens em mais de uma cidade ou em mais de um local de processamento de RSU, diferentemente deste trabalho que foi realizado em somente uma cooperativa. Assim, a grande variabilidade observada nos resultados obtidos em outros estudos e neste trabalho se deve as características próprias de cada local em relação aos resíduos recebidos, às variáveis meteorológicas da localidade e também aos diferentes métodos de amostragem e equipamentos de coleta utilizados.

Tabela 5 – Dados de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e reciclagem em países selecionados.

<b>País</b>	<b>Geração de RSU (10<sup>6</sup> t.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Taxa de reciclagem (%)</b>
Brasil	79,8	1,4
Canadá	25,1	20,6
Coreia do Sul	18,2	58,0
Finlândia	2,7	28,1
Polônia	10,8	26,4

Fonte: Kaza et al. (2018).

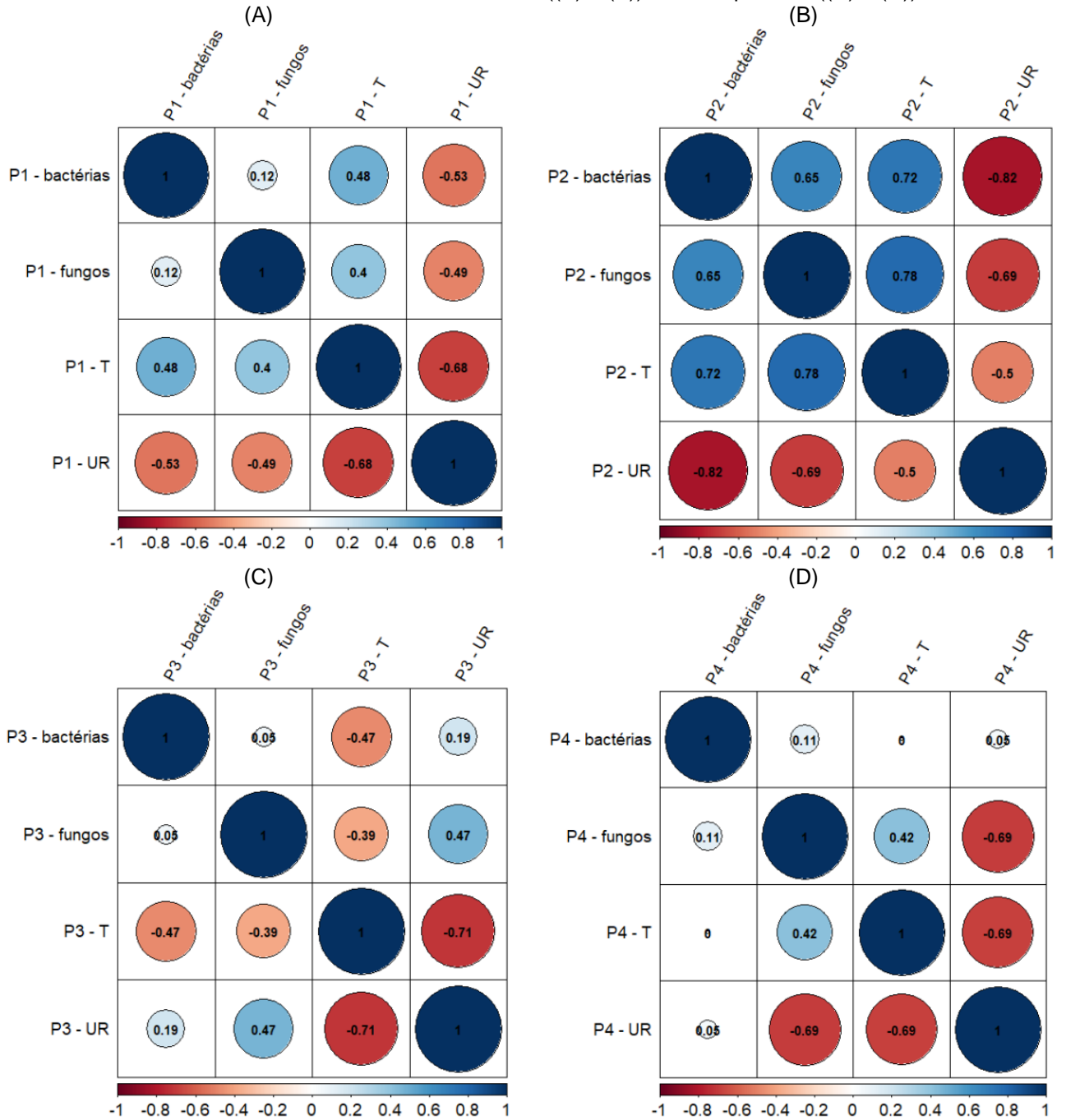
Na UTFPR, todos os valores são superiores no período da tarde em comparação com a manhã (Figura 24, (A)), indicando uma possível correlação com as variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade relativa, que podem afetar a presença de bioaerossóis no ar (DUNGAN, 2010). Dungan (2010) também relatou que a viabilidade dos microrganismos no ar diminui quando a temperatura aumenta e a umidade relativa diminui. Frankel et al. (2012) encontraram correlações significativas entre temperatura, umidade relativa e concentrações de bactérias e fungos, assim como Ren et al. (2001) para fungos no ar interno e Gamero et al. (2018) para fungos em aterros sanitários. A temperatura e a umidade relativa, respectivamente, foram

negativamente e positivamente correlacionadas com as concentrações de bactérias e fungos (GREEN; SCARPINO; GIBBS, 2003).

Por outro lado, Goh et al. (2000) relataram que a temperatura interna e a umidade relativa eram constantes durante as amostragens, portanto, essas variáveis não apresentaram impacto substancial nas concentrações de fungos e bactérias em ambientes internos. Embora os resultados na literatura sejam diferentes, ao aplicar o teste de correlação de Spearman para os valores de bactérias, fungos e as variáveis meteorológicas observou-se que os valores de correlação foram de moderados a fortes em ambos os ambientes da UTFPR (Figura 25, (A) e (B)), positivamente com a temperatura e negativamente com a umidade relativa. Foi observada uma correlação moderada entre bactérias e fungos somente no ambiente externo na UTFPR.

No barracão as correlações foram mais fracas e observou-se o contrário, ou seja, as correlações de bactérias e fungos foram negativas com a temperatura e positivas com a umidade (Figura 25, (C)), assim como relatado por Green, Scarpino e Gibbs (2003) e Dungan (2010). Esse comportamento observado provavelmente está relacionado as diferenças nas fontes dos bioaerossóis nos dois ambientes, ou seja, na cooperativa as fontes são principalmente as atividades envolvendo os materiais recicláveis, enquanto na UTFPR as fontes são majoritariamente naturais, como solo e vegetação. No ambiente externo da cooperativa observaram-se correlações significativas somente entre os fungos e as variáveis meteorológicas (Figura 25, (D)). Assim, temperatura e umidade apresentaram maior influência na variabilidade das concentrações de bactérias e fungos nesses ambientes em comparação com o MP.

Figura 25 – Análise de correlação para bactérias, fungos, temperatura e umidade relativa nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Na Tabela 6 podem ser observados os resultados da relação entre as concentrações dos ambientes internos e as concentrações dos ambientes externos (I/E), considerando as amostragens de manhã e à tarde. Na UTFPR (P1/P2), todos os valores foram menores que 1,5, enquanto na cooperativa (P3/P4) somente os valores para bactérias foram superiores a 1,5, sendo quase quatro e cinco vezes superior ao

estabelecido pela ANVISA, respectivamente, nos períodos da manhã e da tarde. Isso pode ser explicado pela variedade de atividades que ocorrem no interior do barracão que constituíram fontes predominantes de bactérias. No entanto, a infiltração de bioaerossóis do ambiente externo também pode acontecer.

Tabela 6 – Resultados da relação I/E para bactérias e fungos.

<b>Local</b>	<b>Período</b>	<b>Bactérias</b>	<b>Fungos</b>
P1/P2	Manhã	0,3	0,9
	Tarde	0,1	0,6
P3/P4	Manhã	5,4	1,4
	Tarde	6,7	1,1
P3/P2	Manhã	50,8	1,1
	Tarde	9,6	0,5

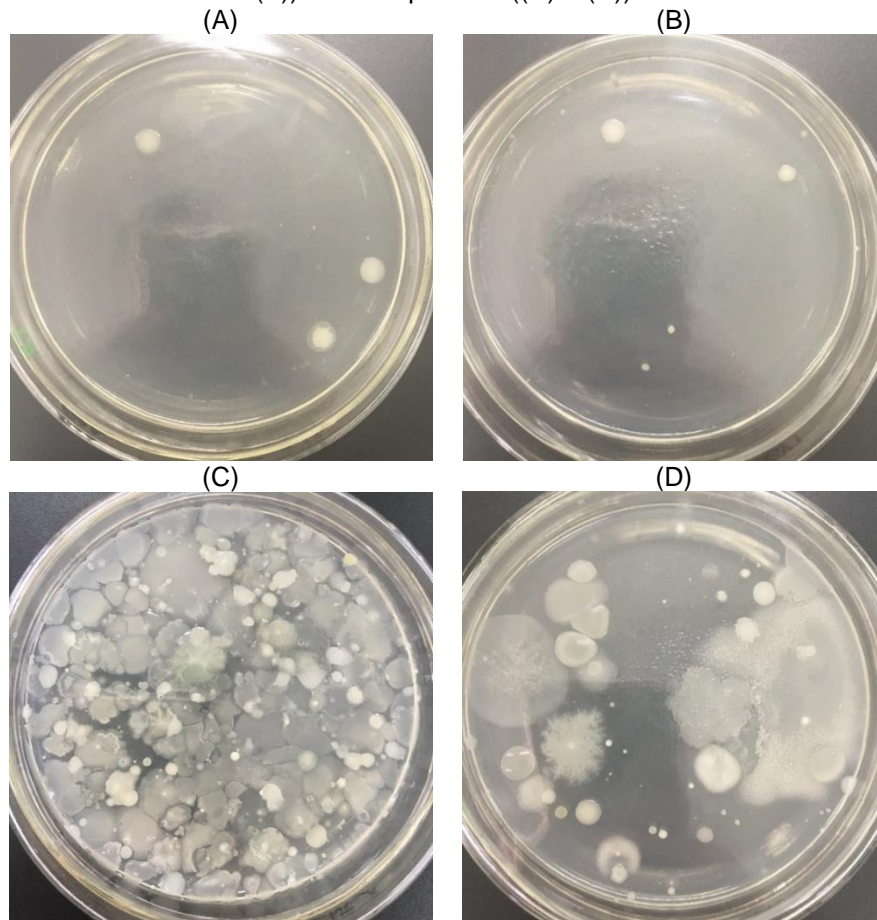
Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P2 = ambiente externo na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

Ao calcular essa relação considerando as concentrações do ambiente interno na cooperativa e do ambiente externo na UTFPR (P3/P2), observou-se resultados superiores somente para as bactérias, com valores até 34 vezes maiores que 1,5. Novamente, há a indicação da existência de contaminação no ar do ambiente externo da cooperativa devido às atividades que são realizadas nesse local, pois essas concentrações são elevadas comparadas com os valores de um local com características diferentes da cooperativa, no caso, uma universidade. A UTFPR possui vegetação e áreas agrícolas no seu entorno e que, provavelmente, constituíram as principais fontes de fungos no ar desse local, visto os seus valores elevados de concentração e os baixos resultados da razão I/E.

Na Figura 26 podem ser observadas algumas colônias de bactérias que cresceram nas placas com meio PCA, após serem amostradas nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa. As placas amostrais da cooperativa apresentaram um crescimento de bactérias muito maior quando comparadas as da UTFPR, o que corrobora a existência de contaminação do ar por esses microrganismos, devido às atividades que são desenvolvidas durante a triagem e o processamento dos resíduos recicláveis.

Figura 26 – Placas com crescimento bacteriano nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

Os mesmos procedimentos realizados para as amostras de setembro foram aplicados para as amostras da coleta de fevereiro, assim, foi feita a seleção de 32 colônias de bactérias com características macroscópicas diferentes para serem isoladas e seus resultados qualitativos são apresentados no Quadro 4. É possível observar a diversidade das bactérias isoladas, principalmente no barracão da cooperativa em comparação ao ambiente interno da UTFPR.

Quadro 4 – Características macroscópicas das colônias de bactérias isoladas da coleta de fevereiro de 2019.

Nº do Isolado	Local	Cor	Forma	Margem	Elevação	Densidade	Superfície
1	P3	Amarela	Irregular	Ondulada	Convexa	Opaca	Cremosa
2	P3	Bege	Irregular	Irregular	Centro elevado	Translúcida	Granular
3	P3	Branca	Circular	Regular	Achatada	Transparente	Embaçada
4	P3	Amarela	Rizoide	Lobular	Achatada	Transparente	Granular
5	P1	Amarela	Filamentosa	Filamentosa	Centro elevado	Transparente	Cremosa
6	P3	Bege	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Cremosa
7	P1	Branca	Circular	Regular	Elevada	Opaca	Brilhante
8	P3	Branca	Circular	Regular	Achatada	Transparente	Embaçada
9	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Granular
10	P1	Bege	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Brilhante
11	P1	Salmão	Circular	Regular	Convexa	Opaca	Brilhante
12	P3	Bege	Rizoide	Lobular	Achatada	Transparente	Brilhante
13	P3	Bege	Irregular	Irregular	Convexa	Opaca	Cremosa
14	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Granular
15	P3	Bege	Irregular	Irregular	Elevada	Opaca	Cremosa
16	P3	Amarela	Circular	Regular	Centro elevado	Translúcida	Brilhante
17	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Granular
18	P3	Branca	Circular	Regular	Centro elevado	Translúcida	Granular
19	P3	Branca	Irregular	Irregular	Elevada	Translúcida	Granular
20	P3	Branca	Circular	Regular	Achatada	Transparente	Cremosa
21	P3	Bege	Circular	Regular	Elevada	Opaca	Embaçada
22	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Embaçada
23	P3	Branca	Filamentosa	Filamentosa	Centro elevado	Translúcida	Brilhante
24	P3	Bege	Rizoide	Lobular	Achatada	Transparente	Brilhante
25	P3	Branca	Circular	Regular	Achatada	Transparente	Embaçada
26	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Translúcida	Embaçada
27	P1	Alaranjada	Circular	Regular	Elevada	Translúcida	Embaçada
28	P1	Amarela	Filamentosa	Filamentosa	Elevada	Translúcida	Brilhante
29	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Granular
30	P3	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Granular
31	P1	Amarela	Circular	Regular	Elevada	Opaca	Brilhante
32	P1	Branca	Irregular	Irregular	Achatada	Transparente	Embaçada

Fonte: Autoria própria (2019).

P1 = sala de aula na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa.

Das 32 colônias isoladas, 12,5% não cresceram ou sofreram contaminação durante os procedimentos do isolamento. Portanto, 87,5% das colônias foram, então, submetidas à técnica de coloração de Gram, com 53,6% das colônias apresentando-se como Gram-positivas e 46,4% como Gram-negativas. Novamente, a porcentagem de bactérias Gram-negativas foi inferior às Gram-positivas como também relatado por diversos outros autores (MAŁECKA-ADAMOWICZ; KACZANOWSKA; DONDESKI, 2007; KALWASIŃSKA; BURKOWSKA; BRZEZINSKA, 2014; CABO VERDE et al., 2015; MIRHOSEINI et al., 2016).

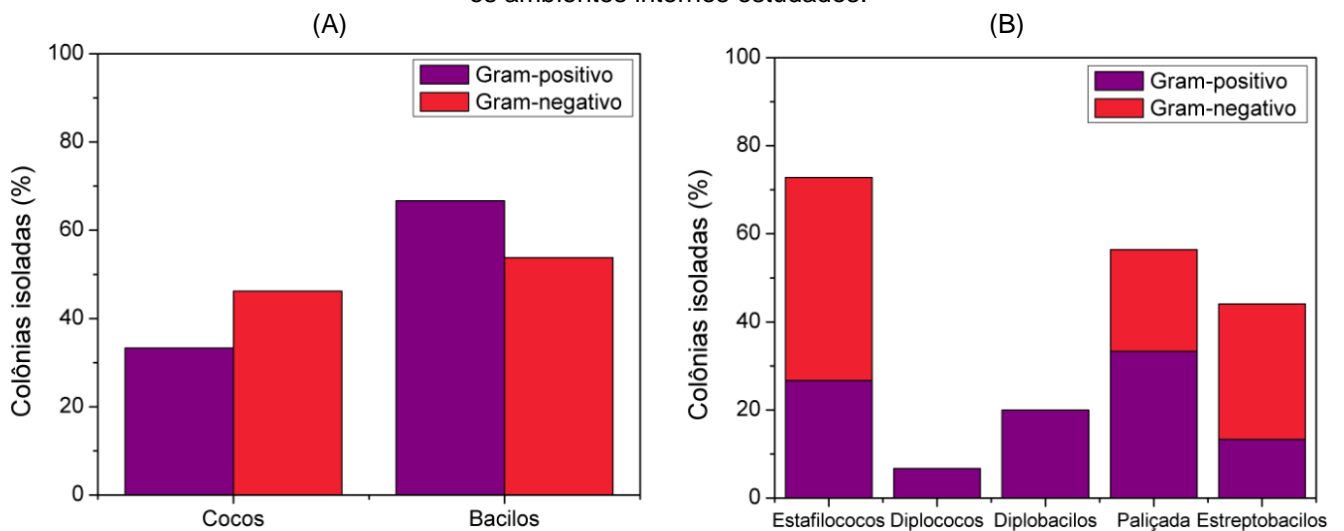
Com relação à morfologia quanto à forma, 66,7% das Gram-positivas tem forma de bacilos e 33,3% de cocos, enquanto para as Gram-negativas foram observados 53,8% de bacilos e 46,2% de cocos (Figura 27, (A)). Kalwasińska, Burkowska e



Brzezinska (2014) também observaram a predominância de bacilos em relação aos cocos em um aterro sanitário na Polônia.

Quanto ao arranjo das bactérias observou-se, dentre as Gram-positivas, a presença de 33,3% de bacilos em paliçada, seguidos de 26,7% de estafilococos, 20,0% de diplobacilos, 13,3% de estreptobacilos e 6,7% de diplococos. Dentre as Gram-negativas foram 46,1% de estafilococos, 30,8% de estreptobacilos e 23,1% de bacilos em paliçada (Figura 27, (B)).

Figura 27 – Resultado da coloração de Gram quanto à forma (A) e ao arranjo (B) das bactérias para os ambientes internos estudados.



Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os ambientes internos, observaram-se 50,0% de bactérias Gram-positivas e 50,0% de Gram-negativas no P1, sendo 66,7% na forma de cocos e 33,3% de bacilos para ambos os tipos de bactérias. No P3, as Gram-positivas foram predominantes com 54,5%, das quais 75,0% tem forma de bacilos e 25,0% de cocos, enquanto 45,5% foram observadas como Gram-negativas, com 60,0% de bacilos e 40,0% de cocos.

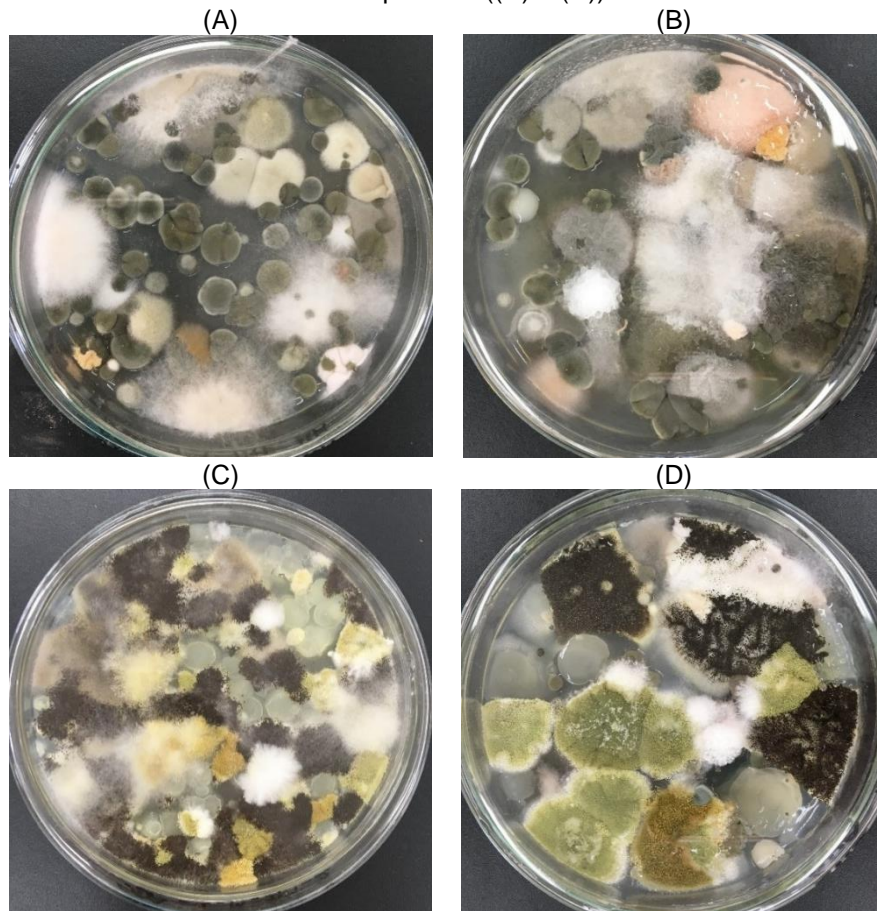
As bactérias Gram-negativas são fontes de endotoxinas (devido aos lipopolissacarídeos componentes de suas paredes celulares) que podem levar a pneumonite tóxica e a síndrome do desconforto respiratório em adultos (KRAJEWSKI et al., 2002; KALWASIŃSKA; BURKOWSKA; BRZEZINSKA, 2014). Além disso, essas bactérias podem estar relacionadas com a síndrome tóxica da poeira orgânica e com a ocorrência de diversos efeitos adversos à saúde como doenças infecciosas,

sintomas e respostas inflamatórias nas vias respiratórias (BECHER; LICHTNECKER, 2002; CHEN; HILDEMANN, 2009; LOPES et al., 2015).

A porcentagem de bactérias Gram-negativas encontrada neste trabalho foi inferior às Gram-positivas, pois aquelas apresentam breves períodos de sobrevivência sendo pouco adaptadas à vida fora do ambiente natural, enquanto as Gram-positivas têm um envelope celular bastante rígido e protetor (BREZA-BORUTA, 2016; MIRHOSEINI et al., 2016). No entanto, tanto as bactérias Gram-positivas quanto as Gram-negativas apresentam componentes da parede celular que possuem agentes pró-inflamatórios, que podem causar problemas de saúde como sintomas respiratórios (DOUWES et al., 2003).

Na Figura 28 são apresentadas algumas fotos de placas com meio SDA com crescimento fúngico após serem amostradas nos ambientes internos e externos na UTFPR e na cooperativa. Diferentemente do que ocorreu com as bactérias, o crescimento dos fungos foi significativo nas placas da cooperativa e da UTFPR com várias placas desta apresentando números maiores de UFC comparadas àquelas da cooperativa. Conforme citado anteriormente, isso ocorreu devido à presença de vegetação e áreas agrícolas no entorno da UTFPR.

Figura 28 – Placas com crescimento fúngico nos ambientes internos e externos na UTFPR ((A) e (B)) e na cooperativa ((C) e (D)).



Fonte: Autoria própria (2019).

Similarmente aos procedimentos realizados com as bactérias, foi feita a seleção de 38 colônias de fungos com características macroscópicas diferentes, entre todas as placas amostrais contendo meio SDA, para serem isoladas. No Quadro 5 são apresentados os resultados qualitativos dessas colônias, mostrando a grande diversidade de fungos amostrados quanto à cor e à textura das colônias nos ambientes internos estudados.

Quadro 5 – Características macroscópicas das colônias de fungos isoladas da coleta de fevereiro de 2019.

Nº do Isolado	Local	Cor	Aspecto/Textura
1	P3	Verde + branca	Pulverulenta
2	P1	Alaranjada	Lisa
3	P1	Cinza	Aveludada
4	P1	Vermelha + branca	Aveludada
5	P1	Salmão	Lisa
6	P1	Salmão	Algodonosa
7	P1	Verde	Rugosa com sulcos
8	P1	Branca	Algodonosa
9	P3	Branca	Algodonosa
10	P3	Branca	Lisa
11	P1	Branca	Lisa
12	P1	Branca	Aveludada
13	P3	Verde + branca	Pulverulenta
14	P3	Cinza	Penugenta
15	P3	Verde + branca	Pulverulenta
16	P3	Cinza	Penugenta
17	P3	Marrom	Pulverulenta
18	P3	Branca	Algodonosa
19	P1	Cinza	Aveludada + algodonosa
20	P1	Cinza + branca	Aveludada + algodonosa
21	P1	Verde	Aveludada
22	P1	Verde + branca	Pulverulenta
23	P1	Verde	Cotonosa
24	P3	Cinza	Penugenta
25	P1	Preta + amarela	Pulverulenta
26	P1	Cinza	Penugenta
27	P1	Cinza	Penugenta
28	P3	Preta + branca	Pulverulenta
29	P3	Alaranjada	Algodonosa + pulverulenta
30	P3	Preta + amarela	Pulverulenta
31	P1	Bege	Lisa
32	P3	Preta + branca	Pulverulenta
33	P3	Verde + branca	Aveludada
34	P3	Verde + branca	Aveludada
35	P3	Branca	Lisa + filamentosa
36	P3	Verde	Rugosa com sulcos
37	P3	Verde + branca	Pulverulenta
38	P1	Vermelha + branca	Aveludada

Fonte: Autoria própria (2019).

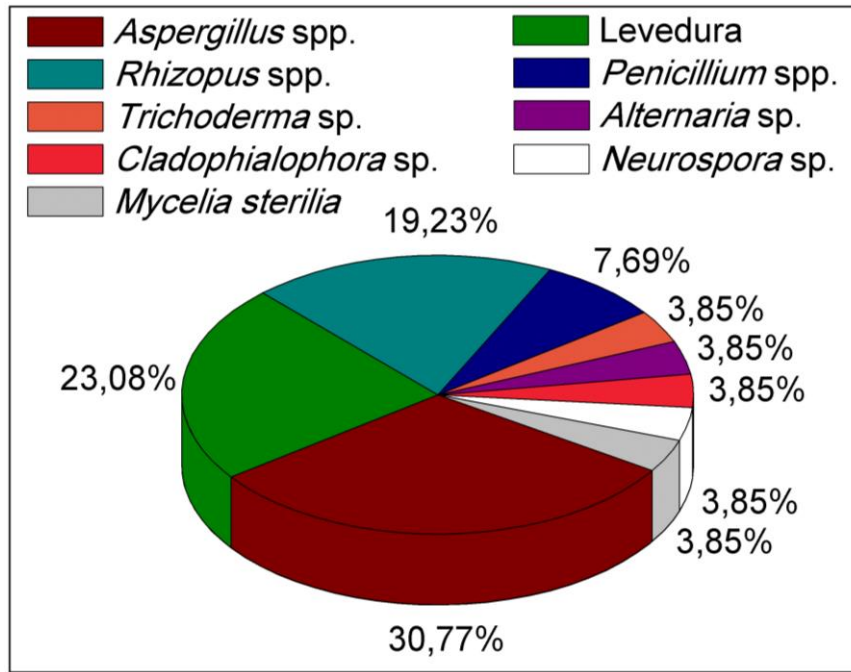
P1 = sala de aula na UTFPR; P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa.

As 38 colônias isoladas foram submetidas à técnica de microcultivo para serem identificadas quanto ao gênero provável dos fungos filamentosos. Desse número, 68,4% foram passíveis de identificação, 21,1% não foram identificadas e 10,5% não cresceram ou sofreram contaminação ao serem isoladas.

Das 68,4% colônias identificadas, observou-se que o gênero predominante nos ambientes estudados foi o *Aspergillus* spp., seguido por levedura, *Rhizopus* spp. e *Penicillium* spp., enquanto *Trichoderma* sp., *Alternaria* sp., *Cladophialophora* sp.,

*Neurospora* sp. e fungos com micélio estéril (*Mycelia sterilia*) foram encontrados em quantidades menores, conforme pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 – Gêneros dos fungos identificados como resultado do microcultivo para os ambientes internos estudados.

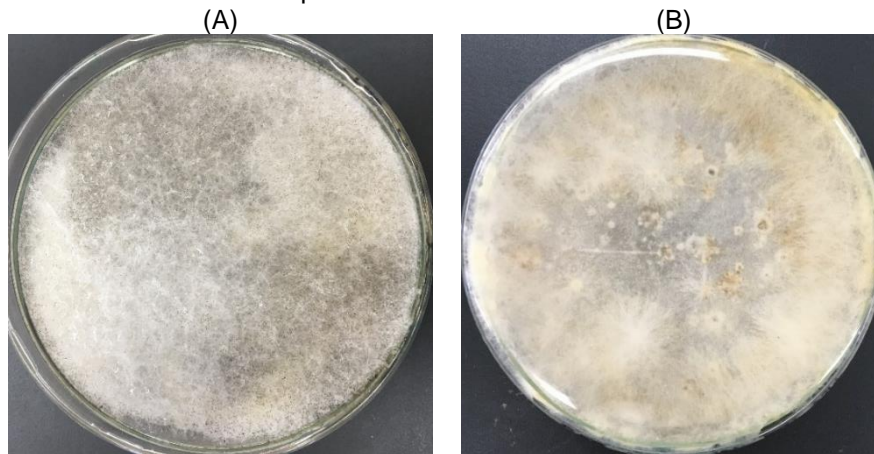


Fonte: Autoria própria (2019).

Ao fazer uma comparação entre os ambientes internos estudados, observou-se que as leveduras foram predominantes no P1 com 44,4%, seguidas por *Aspergillus* spp. e *Rhizopus* spp., com 22,2% cada. O gênero *Aspergillus* spp. esteve presente em 35,3% das amostras do P3, seguido por *Rhizopus* spp. (17,7%), *Penicillium* spp. (11,8%) e levedura (11,8%). A diversidade de gêneros identificados também foi maior no ambiente interno da cooperativa em comparação com a UTFPR. Embora os valores de concentração sejam maiores no P1 do que no P3, este apresenta um ambiente contaminado com diversos gêneros de fungos, que podem competir entre si e dificultar a proliferação de um número maior desse tipo de microrganismos no ar da cooperativa.

Os fungos *Rhizopus* sp. e *Neurospora* sp. apresentaram crescimento rápido (por volta de 48 horas) e se espalharam por toda a superfície do meio de cultura em diversas placas amostrais, como pode ser visto no exemplo da Figura 30. Assim, as placas que se encontravam nessa situação não foram consideradas para a seleção dos fungos a serem isolados.

Figura 30 – Exemplo de placas com crescimento de *Rhizopus* sp. (A) e *Neurospora* sp. (B) por toda a superfície do meio de cultura.



Fonte: Autoria própria (2019).

Um dos objetivos do trabalho foi identificar somente o gênero de fungos filamentosos. Portanto, as leveduras foram classificadas apenas como um único grupo e não foram caracterizadas com mais detalhes, pois a sua identificação ao nível de gênero é difícil (quando cultivadas em apenas um meio de cultura) (BEHBOD et al., 2015).

Lehtinen et al. (2013) também observaram os gêneros *Aspergillus* sp. e *Rhizopus* sp., leveduras e fungos com micélio estéril em seu estudo, mas em quantidades muito pequenas uma vez que o gênero predominante foi o *Penicillium* sp., presente em 93,0%, 89,3% e 47,0% das amostras coletadas no corredor de processamento de triagem óptica, na sala de controle de triagem óptica e na instalação receptora de resíduos sólidos, respectivamente. Breza-Boruta (2016), ao estudar a contaminação bacteriana e fúngica no ar de um aterro municipal no norte da Polônia, encontrou os gêneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. e *Trichoderma* sp., também identificados neste trabalho. Além desses, a autora identificou ainda *Absidia* spp., *Mucor* spp., *Fusarium* spp., *Cladosporium* sp. e *Sclerotinia* sp. (BREZA-BORUTA, 2016).

A identificação de fungos dispersos pelo ar é de grande importância, pois eles são considerados o grupo predominante de bioaerossóis e representam cerca de 70% de todos os microrganismos (BREZA-BORUTA, 2016). Os fungos podem causar alergias, asma, micoses bronco-pulmonares e doenças infecciosas (KIM; JAHAN; KABIR, 2013; KALWASIŃSKA; BURKOWSKA; BRZEZINSKA, 2014). Relata-se que algumas espécies toxinogênicas dos gêneros *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. podem induzir ações citotóxicas, neurotóxicas, teratogênicas e cancerígenas para outros

organismos (BURGE, 2001; O’GORMAN; FULLER, 2008). Os fungos do gênero *Aspergillus* sp. ainda são responsáveis por uma infecção chamada aspergilose, que pode ocorrer em hospedeiros imunocomprometidos ou como infecção secundária, causada pela inalação de esporos fúngicos ou pelas toxinas produzidas por eles (GHOSH; LAL; SRIVASTAVA, 2015).

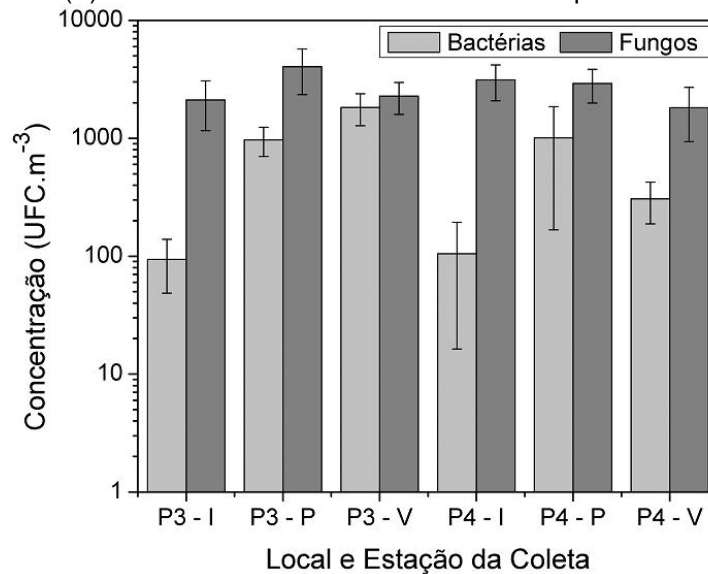
Além disso, a espécie *Aspergillus fumigatus*, por exemplo, é responsável por mais de 90% das micoses pulmonares no ser humano (BREZA-BORUTA, 2016). A exposição a fungos comuns em ambientes internos, como *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp., pode exacerbar os sintomas de asma e rinite alérgica em indivíduos suscetíveis (GHOSH; LAL; SRIVASTAVA, 2015; MIRHOSEINI et al., 2016).

### 5.2.3 Comparação entre Estações do Ano

Além do MP, nos meses de agosto e outubro de 2017 também foram realizadas coletas de bioaerossóis utilizando a mesma técnica de sedimentação espontânea e nos mesmos locais de amostragem (P3 e P4), com exceção dos pontos da UTFPR (WIKUATS, 2017). Na Figura 31 são mostrados os resultados para inverno (I), primavera (P) e verão (V) nos dois pontos de amostragem da cooperativa. Os dados do inverno e da primavera também foram corrigidos de acordo com as razões para bactérias e fungos entre as amostragens ativa e passiva, conforme explicitado no tópico 4.6.2.

Em relação à estação do ano estudada, Lavoie e Guertin (2001) afirmam que os valores de concentração dos microrganismos medidos durante o inverno são sempre mais baixos que no verão. No presente estudo foi observado um resultado semelhante, pois as concentrações de bactérias e fungos foram menores no inverno em comparação ao verão. No entanto, a maior média de concentração foi registrada no verão para as bactérias (1.830,7 UFC.m<sup>-3</sup>), enquanto para os fungos isso ocorreu na primavera (4.041,2 UFC.m<sup>-3</sup>).

Figura 31 – Concentrações médias de bactérias e fungos no inverno (I), na primavera (P) e no verão (V) nos ambientes interno e externo na cooperativa.



Fonte: Autoria própria (2019).

P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

As concentrações de fungos geralmente aumentam na primavera e apresentam pico no verão (HAAS et al., 2014; PATEL et al., 2018). Nadal et al. (2009) apresentaram maiores valores de bioaerossóis no verão, assim como Breza-Boruta (2016), que relatou maiores concentrações de ambos os tipos de microrganismos no verão em comparação a primavera e outono em um aterro sanitário de RSU. Já Černá et al. (2016) encontraram maiores concentrações de fungos na primavera em comparação ao inverno em locais de processamento de resíduos sólidos. Ao analisar ambientes diferentes dos estudados nesta pesquisa, Gonçalves et al. (2010a) encontraram valores mais altos no início da primavera em São Paulo, enquanto Emygdio et al. (2018a) apresentaram maior número de esporos totais na primavera, mas diferentes gêneros apresentaram grande variabilidade quanto à caracterização sazonal.

Os resultados para os bioaerossóis apresentaram distribuição não normal e aplicando o teste de Kruskal-Wallis, verificou-se que as concentrações são estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) ao comparar os dados do inverno, primavera e verão.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da relação entre as concentrações dos bioaerossóis dos ambientes internos e as concentrações dos ambientes externos (I/E) em cada estação. Observa-se que no verão o valor da relação I/E foi quatro vezes



superior a 1,5 para bactérias, indicando a presença de uma fonte de contaminação predominante para esse tipo de microrganismo no ambiente interno da cooperativa durante as amostragens realizadas nessa estação.

Tabela 7 – Resultados da relação I/E para bactérias e fungos no inverno, na primavera e no verão.

<b>Local</b>	<b>Estação</b>	<b>Bactérias</b>	<b>Fungos</b>
P3/P4	Inverno	0,9	0,7
	Primavera	1,0	1,4
	Verão	6,0	1,3

Fonte: Autoria própria (2019).

P3 = barracão de processamento de resíduos na cooperativa; P4 = ambiente externo na cooperativa.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS DE ESTUDO

Em novembro de 2018 foi aplicado um questionário aos 64 voluntários com o intuito de conhecer as principais características dos grupos de estudo e os possíveis sintomas à exposição ao MP e aos bioaerossóis.

#### 5.3.1 Características Gerais e Situações Potenciais de Exposição à Poluentes Atmosféricos

A participação das mulheres na pesquisa foi predominante, representando 79,2% para o grupo controle e 65,0% para o grupo exposto. As faixas etárias com maior representação foram de 41 a 50 anos, com 37,5% do total de voluntários na UTFPR e de 18 a 30 anos, com 30,0% na cooperativa. Entretanto, 10,0% dos voluntários do grupo exposto possuem mais de 60 anos, fazendo parte de uma parcela da população mais suscetível a doenças, enquanto não foi observado nenhum indivíduo nessa faixa de idade na universidade. Esses resultados podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Percentual (%) de gênero e faixa etária dos grupos controle (UTFPR) e exposto (cooperativa).

	<b>Grupo controle (%)</b>	<b>Grupo exposto (%)</b>
<b>Gênero</b>		
Feminino	79,2	65,0
Masculino	20,8	35,0
<b>Faixa etária</b>		
18 a 30 anos	25,0	30,0
31 a 40 anos	29,2	12,5
41 a 50 anos	37,5	27,5
51 a 60 anos	8,3	20,0
Mais de 60 anos	0,0	10,0

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Tabela 9 são apresentados os dados referentes ao tempo de trabalho, as atividades exercidas e o tempo de permanência diária na universidade. Observou-se que 41,7% dos voluntários do grupo controle trabalham ou estudam há um tempo correspondente entre 1 e 5 anos na UTFPR, com 91,6% permanecendo entre 6 e 10 horas diárias no local. As atividades com mais representantes nesse caso foram as categorias de servidor(a) terceirizado(a) e professor(a), com 41,7 e 33,3%, respectivamente.

Tabela 9 – Percentual (%) de tempo de trabalho/estudo, atividade exercida e tempo de permanência diária na UTFPR.

<b>Tempo de trabalho/estudo na UTFPR</b>	<b>%</b>
Menos de 1 ano	33,3
Entre 1 e 5 anos	41,7
Entre 6 e 10 anos	12,5
Mais de 10 anos	12,5
<b>Atividade exercida</b>	
Aluno(a) de graduação	4,2
Aluno(a) de pós-graduação	12,5
Professor(a)	33,3
Técnico(a) administrativo(a)	8,3
Servidor(a) terceirizado(a)	41,7
<b>Tempo de permanência diária na UTFPR</b>	
0-5 horas	4,2
6-10 horas	91,6
11-15 horas	4,2

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Tabela 10 são apresentados esses resultados para os voluntários da cooperativa. É possível notar que 67,5% dos voluntários do grupo exposto trabalham na cooperativa há mais de 6 anos, o que mostra que a exposição dessas pessoas aos poluentes dispersos no ar do seu local de trabalho acontece há um período razoável de tempo.

Com relação a atividade exercida, ressalta-se que vários trabalhadores desempenham mais de uma atividade (descarregamento dos resíduos dos caminhões e a sua separação, por exemplo), por isso o percentual foi maior que 100%. A separação dos resíduos é a atividade que possui a maior quantidade de trabalhadores envolvidos, com 40,0%, seguida pela categoria outra, com 32,5%, que inclui as funções de motorista, moedor de vidro, abastecimento da esteira com resíduos, auxiliar financeiro etc. Todos os funcionários possuem uma jornada diária de trabalho de 7 horas e 45 minutos de segunda a sexta-feira.

Tabela 10 – Percentual (%) de tempo de trabalho, atividade exercida e tempo de permanência diária na cooperativa.

<b>Tempo de trabalho na cooperativa</b>	<b>%</b>
Menos de 1 ano	7,5
Entre 1 e 5 anos	25,0
Entre 6 e 10 anos	67,5
<b>Atividade exercida</b>	
Coleta dos resíduos	12,5
Descarregamento dos resíduos dos caminhões	17,5
Separação dos resíduos	40,0
Carregamento das <i>big bags</i>	12,5
Compactação dos resíduos	10,0
Transferência dos resíduos com empilhadeira	2,5
Outra	32,5
<b>Tempo de permanência diária na cooperativa</b>	
0-5 horas	0,0
6-10 horas	100,0
11-15 horas	0,0

Fonte: Autoria própria (2019).

Assim, a exposição ao MP e aos bioaerossóis é alta para todas as atividades desempenhadas na cooperativa, principalmente para os trabalhadores do barracão, pois são tarefas que promovem a geração e ressuspensão desses poluentes. Os funcionários que realizam a coleta dos resíduos estão expostos aos poluentes emitidos pelos próprios caminhões usados para tal e, ainda, por outros veículos presentes no trânsito. Além disso, o trabalho dessas pessoas requer atividade física pesada e repetida, o que pode causar aumento na frequência respiratória e no fluxo de ar inspirado, o que também aumenta a inalação de poluentes em suspensão no ar (YANG et al., 2001; VIMERCATI et al., 2016).

Os voluntários do grupo controle possuem maior grau de escolaridade, sendo 54,2% deles com graduação completa, seguido por 16,7% com ensino fundamental incompleto. Para o grupo exposto, 51,3% dos voluntários afirmaram que possuem

ensino fundamental incompleto e 28,2% tem ensino médio completo. Os dados detalhados são apresentados na Tabela C1 do Apêndice C.

O meio de transporte mais utilizado pelos voluntários do grupo controle é o carro, com 50,0%, enquanto para o grupo exposto é o ônibus, com 66,7%. Assim, o tempo despendido no trânsito é de 11 a 20 minutos para 50,0% do grupo da universidade e de mais de 40 minutos para 39,5% dos entrevistados da cooperativa, e de 31 a 40 minutos para outros 21,1% (Tabela C1 do Apêndice C). Dessa forma, a exposição a poluentes emitidos pelos veículos no trânsito é provavelmente mais alta para o grupo de voluntários da cooperativa, que demoram mais tempo para chegar até o local de trabalho.

Com o intuito de tomar conhecimento sobre a potencial exposição a poluentes durante o tempo em que permanecem em suas residências foram feitas perguntas relativas ao tipo de construção e o tempo de moradia no local, além da utilização de fogão a lenha e da presença de fábricas, indústrias ou grandes construções próximas das residências. Notou-se que 100% do grupo controle mora em construções de alvenaria, com 54,2% residindo no mesmo local há 5 anos ou mais. Para o grupo exposto isso foi observado para 87,2 e 61,5%, respectivamente. Somente 4,2 e 15,8% utilizam fogão a lenha, carvão ou madeira, e 16,7 e 30,8% moram próximo a fábricas, indústrias ou grandes construções que liberam muita fumaça ou poeira para o grupo controle e exposto, respectivamente (Tabela C1 do Apêndice C), caracterizando situações de exposição fora do ambiente de trabalho.

### 5.3.2 Equipamentos de Proteção Individual

Para o grupo de trabalhadores da cooperativa foram feitas perguntas sobre os EPIs, como luva, máscara e óculos de proteção que são utilizados por 87,2, 71,8 e 71,8%, respectivamente, dos entrevistados (Tabela C2 do Apêndice C). Todos os 12,8% dos voluntários que não usam luva trabalham no escritório. Dos 28,2% que não utilizam máscara e óculos, 45,5% trabalham com a coleta dos resíduos pelo município de Londrina e posterior descarregamento na cooperativa, utilizando somente luvas, e 54,5% trabalham no escritório. Os entrevistados do escritório afirmaram que usam os EPIs necessários quando fazem visitas aos barracões da cooperativa.

Também foi relatado por 53,8% dos trabalhadores a utilização de camisetas da cooperativa, botas, protetores auriculares, aventais e protetores para as pernas, esse último no caso de quem é responsável por moer as garrafas de vidro.

Observou-se que 48,7% já sofreram algum tipo de acidente no trabalho, como cortes causados por recipientes de vidro quebrados, tesouras e outros materiais perfurocortantes descartados incorretamente. Desse total, 73,7% utilizavam os EPIs no momento do acidente e, mesmo assim, sequelas foram relatadas por 21,4% (Tabela C2 do Apêndice C). Ferimentos dessa natureza também foram relatados por outros autores, com valores de 37,0 e 35,4% dentre os trabalhadores de locais de gerenciamento de RSU (YANG et al., 2001; RAY et al., 2005).

Os EPIs são fornecidos pela cooperativa, que fiscaliza e estimula a sua utilização pelos funcionários que trabalham nos barracões e fazem a coleta dos resíduos, e ainda os advertem quando não usam de forma adequada. Relatou-se que a CMTU é responsável por essa fiscalização em âmbito municipal, passando por todas as cooperativas operantes em Londrina com certa frequência.

Por fim, 94,9% dos entrevistados reconhece a importância dos EPIs (Tabela C2 do Apêndice C), que são utilizados cinco dias por semana (de segunda à sexta-feira) durante todo o turno de trabalho nos barracões e também durante a coleta dos resíduos e subsequente descarregamento na cooperativa. Os EPIs são importantes para os trabalhadores desse local visto que muitos resíduos ainda são descartados incorretamente pela população, o que acarreta na deterioração da qualidade do ar quando eles são manuseados (principalmente durante a triagem e a prensagem), pois os microrganismos ali presentes podem formar bioaerossóis (LAVOIE et al., 2006; VIMERCATI et al., 2016). Além do risco de acidentes com materiais perfurocortantes, conforme já mencionado.

### 5.3.3 Aspectos Relacionados à Saúde

Nenhum dos voluntários do grupo controle fuma atualmente, mas 12,5% já fumaram por, pelo menos, nove anos e 66,7% desse valor fumou mais de um cigarro por dia por mais de um ano. Na cooperativa, 23,1% fumam atualmente e 26,7% já fumaram por, no mínimo, dois anos com 87,5% desse número fumando mais de um cigarro por dia por mais de um ano.

Com relação ao consumo de bebidas alcoólicas, 45,8% dos voluntários do grupo controle nunca bebem e 41,7% bebem somente no final de semana. Para o grupo exposto, esses números foram de 64,1 e 25,6%, respectivamente. Ressalta-se, ainda, que 41,7 e 64,1% não praticam nenhum tipo de atividade física rotineiramente nos grupos controle e exposto, respectivamente.

A presença de algum problema de saúde foi relatada por 17,4% dos voluntários da universidade, como colesterol alto, distímia, hipotireoidismo e problemas cardíacos, e 41,7% tomam algum tipo de medicamento regularmente. Na cooperativa, isso foi observado para 23,1%, incluindo ainda relatos de hipertensão, pedras nos rins e enxaqueca, e 38,5% consomem remédios com frequência.

Para o grupo controle, 66,7% relataram pelo menos um dos sintomas relacionados ao sistema circulatório, como dor de cabeça, febre, mal-estar, dor no corpo e/ou cansaço, enquanto para o grupo exposto isso ocorreu para 76,9% dos entrevistados. Notou-se que 12,5% dos voluntários da universidade e 53,8% da cooperativa citaram coceira nos olhos e/ou pele e alergia ou alteração na pele. Além disso, 12,5% do grupo controle e 25,6% do grupo exposto disseram ter dor de estômago.

Com relação aos sintomas pertinentes ao sistema respiratório, observou-se que 8,3 e 43,6% dos voluntários dos grupos controle e exposto, respectivamente, apresentaram ao menos um dos seguintes sintomas: tosse, expectoração, falta de ar e/ou chiado no peito por, pelo menos, 3 meses não consecutivos ao ano e/ou falta de ar ao andar no plano. Esses sintomas foram relatados por Yang et al. (2001) como sintomas respiratórios crônicos devido a sua ocorrência por, no mínimo, 3 meses por ano. Os autores ainda afirmam que a coleta de RSU aumenta o risco de desenvolvimento de sintomas respiratórios crônicos (como tosse, catarro, chiado no peito e bronquite crônica), além de sintomas osteomusculares (como lombalgia e dor no cotovelo/punho) e lesões causadas por objetos pontiagudos (YANG et al., 2001).

Outros sintomas respiratórios, como crises de falta de ar; escorrimento ou irritação no nariz; tosse, expectoração e/ou chiado no peito ao acordar ou na maioria dos dias e/ou das noites; crises de falta de ar e/ou chiado mais frequentes em meses frios, foram relatados por 25,0 e 38,5% dos voluntários dos grupos controle e exposto, respectivamente.

Os sintomas respiratórios também foram mais prevalentes nos grupos expostos (pessoas que trabalham na coleta, separação ou manuseio, de maneira geral, de

RSU) do que nos grupos controles em estudos de outros autores (RAY et al., 2005; ATHANASIOU; MAKRYNOS; DOUNIAS, 2010; VIMERCATI et al., 2016).

Notou-se que 70,8 e 51,3% dos entrevistados da universidade e da cooperativa, respectivamente, relataram sentir falta de ar ao subir alguma ladeira ou durante exercício físico intenso. Os trabalhadores do grupo exposto desempenham atividades de maior esforço físico e trabalho muscular e pode-se inferir que possuem um condicionamento físico melhor que as pessoas do grupo controle, apesar de 64,1% deles não praticarem atividade física com frequência, como correr, andar de bicicleta, academia, entre outras.

Nenhum dos voluntários do grupo controle teve nos últimos anos alguma doença que o obrigou a se afastar do trabalho/estudo por mais de uma semana, enquanto no grupo exposto isso foi observado para 30,8% com relatos de dengue, pedras nos rins, apendicite e conjuntivite, por exemplo. Para doenças respiratórias, 10,3% se afastaram por mais de uma semana devido a problemas como bronquite, pneumonia, embolia pulmonar e bronquite asmática.

Todos esses dados podem ser observados na Tabela C3 do Apêndice C. A partir dessas informações verificou-se prováveis sintomas da exposição ao MP e aos bioaerossóis e a possibilidade de interferência nos resultados dos marcadores inflamatórios para um grupo ou outro. De maneira geral, o grupo exposto é o mais afetado por diversos sintomas e problemas de saúde, correspondendo ao que é relatado por vários autores de que a incidência de problemas respiratórios, gastrointestinais, osteomusculares e cutâneos é maior em pessoas que trabalham no manuseio de RSU do que em outros empregos (LAVOIE; GUERTIN, 2001; YANG et al., 2001; MADSEN, 2006; SCHLOSSER et al., 2015; PAHARI et al., 2016).

#### 5.4 ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SANGUE

Em novembro de 2018 também foi realizada a coleta das amostras de sangue dos grupos exposto e controle, a fim de verificar possíveis associações entre a exposição aos poluentes com efeitos à saúde dos voluntários.

#### 5.4.1 Hemograma Completo, Ferritina e Proteína C Reativa

A primeira etapa de análise realizada com as amostras de sangue coletadas foi para a determinação dos seguintes parâmetros: hemograma completo, ferritina e proteína C reativa (PCR). O hemograma completo é o exame mais usualmente solicitado pelos médicos, pois fornece algumas evidências sobre as condições de saúde e de vários sistemas do corpo (GROTTO, 2009; LOKWANI, 2013). Além disso, é formado por uma série de testes utilizados para avaliar a composição e a concentração dos vários componentes celulares do sangue, especificamente sobre os eritrócitos (série vermelha), os leucócitos (série branca) e as plaquetas (série plaquetária) (LOKWANI, 2013). A ferritina é uma proteína que armazena ferro nas células humanas e a PCR, por sua vez, faz parte de um conjunto complexo de proteínas que podem indicar uma situação de inflamação no organismo quando presente em altas quantidades no sangue, sendo um componente importante do sistema imunológico e o marcador inflamatório mais estabelecido para avaliação e previsão de doenças cardiovasculares (RIDKER, 2003; GROTTO, 2010; NUNES et al., 2010; HAMPEL et al., 2015).

Na Tabela D1 do Apêndice D são apresentados os resultados do hemograma completo, ferritina 5 e PCR 32 dos grupos de voluntários expostos e não expostos. Em termos médios, os parâmetros contagem de glóbulos vermelhos (RBC), hemoglobina (HGB), hematócrito (HCT), volume corpuscular médio (MCV), hemoglobina corpuscular média (MCH), concentração média de hemoglobina corpuscular (MCHC), linfócitos e monócitos apresentaram valores maiores para o grupo controle, enquanto a amplitude da distribuição dos glóbulos vermelhos medido pelo coeficiente de variação (RDW-CV), contagem de glóbulos brancos (WBC), neutrófilos, eosinófilos, imunoglobulina M (IMG), plaquetas (PLT), ferritina e PCR tiveram valores superiores para o grupo exposto. Os resultados médios foram iguais para ambos os grupos para basófilos e a amplitude da distribuição dos glóbulos vermelhos medido pelo desvio padrão (RDW-SD). Ray et al. (2005) obtiveram os mesmos resultados deste trabalho para HGB, WBC, neutrófilos e eosinófilos ao comparar os seus grupos controle e exposto no estudo realizado em um aterro sanitário a céu aberto na Índia.

Observou-se, ainda, que os resultados médios dos parâmetros analisados nas amostras de sangue de ambos os grupos se encontram dentro dos respectivos



intervalos de referência. Entretanto, os valores mínimos e máximos de alguns indivíduos situaram-se fora dos intervalos de referência para determinados parâmetros, como neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfócitos, entre outros, representando 7,5% do total dos resultados do hemograma. Em termos de indivíduos, 50,0% dos voluntários do grupo controle e 60,0% do grupo exposto apresentaram ao menos um valor fora do intervalo de referência para algum dos parâmetros analisados.

Com relação a ferritina e a PCR, não foram relatados intervalos de referência pelo Laboratório de Análises Clínicas do HU, dessa forma, foram utilizados os valores do Laboratório Hermes Pardini (2018, 2019). Para a ferritina, somente 8,3% dos voluntários do grupo exposto apresentaram resultados inferiores ao intervalo de referência, indicando possível deficiência de ferro no organismo. Para a PCR, 8,3 e 20,0% dos voluntários dos grupos controle e exposto, respectivamente, apresentaram resultados superiores ao valor de referência, o que representa resultado positivo para a possível ocorrência de doenças inflamatórias na fase aguda. Para confirmação, é necessário a repetição do teste em cerca de 2 a 3 semanas (RIDKER, 2003), o que não foi feito neste trabalho. Além disso, a elevação dos valores da PCR pode ocorrer em variadas situações clínicas, sendo indispensável a realização de outros exames para a definição do diagnóstico (CLYNE; OLSHAKER, 1999; COLLARES; PAULINO, 2006).

Os dados apresentaram variabilidade na sua distribuição, pois os valores de RBC, HGB e WBC, por exemplo, apresentaram distribuição normal, enquanto outros parâmetros, como linfócitos, basófilos e PCR, apresentaram distribuição não normal. Aplicando os testes de Student e Mann-Whitney, de acordo com a distribuição dos resultados de cada parâmetro, observou-se que somente WBC, neutrófilos, linfócitos e monócitos são estatisticamente diferentes ( $p = 0,05$ ) comparando os dois grupos estudados. Essas variáveis são algumas das células do sistema imunológico envolvidas na defesa do corpo contra doenças infecciosas e materiais estranhos (LOKWANI, 2013), indicando que indivíduos com valores fora dos intervalos de referência para esses parâmetros influenciaram na análise de comparação dos grupos. Contudo, é importante ressaltar que isso nem sempre significa que há algum problema de saúde e os voluntários devem ser avaliados por um médico, que também considera os potenciais sintomas apresentados e pode solicitar outros exames mais conclusivos. Assim, é difícil inferir sobre possíveis associações entre essas variáveis do sangue com a exposição aos poluentes.

### 5.4.2 Citocinas

A segunda etapa de análise do sangue foi feita para avaliar os seguintes marcadores inflamatórios: TGF- $\beta$ 1, IFN- $\gamma$ , IL-4, IL-10 e IL-17A. Ressalta-se que não existem intervalos de referência para as citocinas, assim, foi feita a comparação entre os grupos estudados, com os dados apresentados na Tabela 11.

Os resultados para as cinco citocinas analisadas neste trabalho foram, em média, maiores para o grupo controle do que para o grupo de indivíduos expostos na cooperativa, correspondendo ao contrário do esperado, uma vez que a ocorrência de processos inflamatórios no organismo está geralmente relacionada com o aumento na concentração de citocinas em análises sanguíneas. Em diversos estudos foram encontrados resultados elevados nos níveis de marcadores inflamatórios após exposição ao MP<sub>10</sub>, MP<sub>2,5</sub>, bactérias e fungos (VAN EEDEN et al., 2001; TSAI et al., 2012; HAMPEL et al., 2015; FARIDI et al., 2017). Porém, em outros estudos não foram encontradas associações entre a exposição aos poluentes e os valores dos marcadores inflamatórios (SEATON et al., 1999; SU et al., 2006; ZUURBIER et al., 2011).

Tabela 11 – Estatística descritiva para TGF- $\beta$ 1, IL-4, IL-10, IL-17A e IFN- $\gamma$  dos grupos controle e exposto.

Citocinas	Grupo de estudo	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Desvio Padrão
TGF- $\beta$ 1	Controle	19,0	377,6	412,2	1386,5	309,3
	Exposto	70,1	231,6	341,2	1593,0	329,8
IL-4	Controle	0,3	3,1	3,5	9,6	2,6
	Exposto	0,6	1,9	2,6	10,0	1,8
IL-10	Controle	0,2	0,4	0,5	1,4	0,3
	Exposto	0,1	0,3	0,4	1,5	0,3
IL-17A	Controle	0,3	1,2	1,6	4,6	0,8
	Exposto	0,2	1,0	1,3	3,5	0,8
IFN- $\gamma$	Controle	0,3	1,2	1,2	3,0	0,8
	Exposto	0,01	0,5	0,7	3,4	0,7

Fonte: Autoria própria (2019).

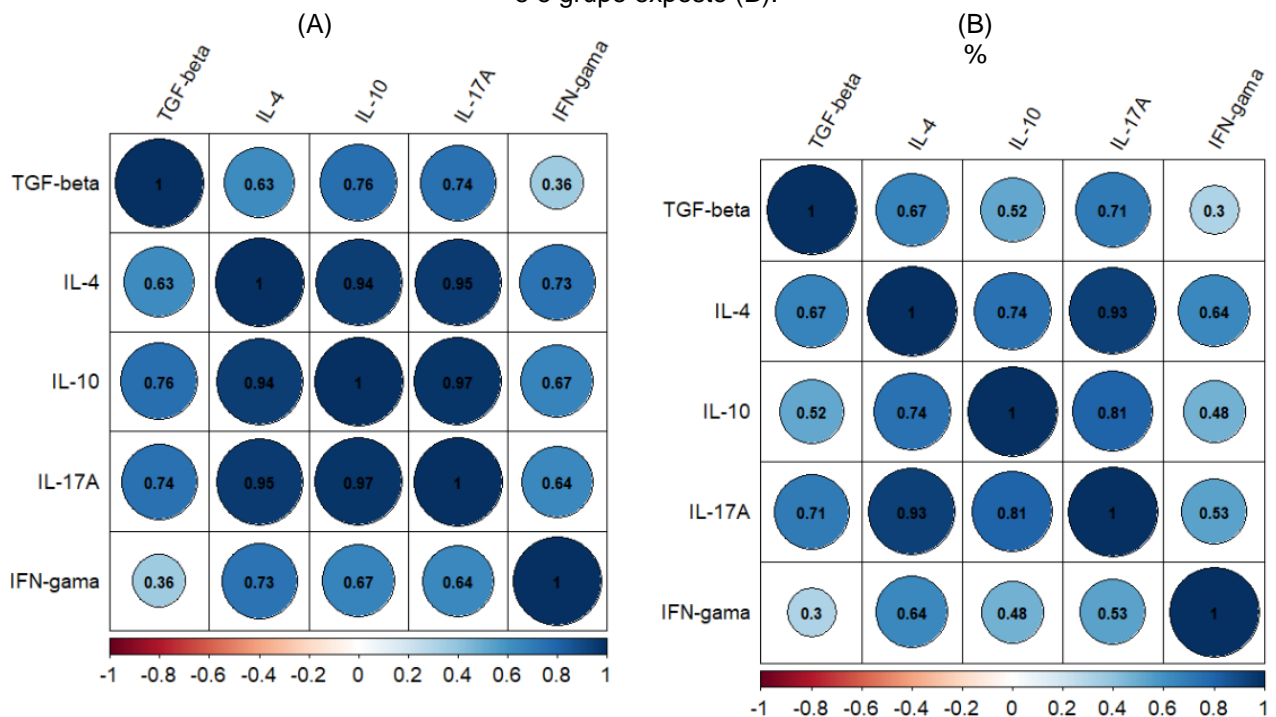
Além disso, resultados baixos para algumas citocinas em indivíduos comprovadamente doentes são relatados na literatura, como Guimarães et al. (2017) que apresentaram resultados maiores de IL-4 para o grupo controle do que para o grupo de voluntários com Lúpus Eritematoso Sistêmico. Zhang et al. (2013) demonstraram que os níveis séricos e de saliva de IL-10 foram maiores em controles saudáveis e não fumantes, em comparação com pacientes com a Doença Pulmonar

Obstrutiva Crônica e fumantes saudáveis. Kallaur et al. (2016) também relataram maiores níveis de IL-10 para o grupo controle do que para pacientes com Esclerose Múltipla.

Entretanto, ao aplicar o teste de Mann-Whitney para comparar os resultados entre os grupos controle e exposto observou-se que somente o IFN- $\gamma$  apresentou diferença estatística, ou seja, os valores das demais citocinas são estatisticamente semelhantes ( $p = 0,05$ ) entre os dois grupos estudados. Dessa forma, com base nesses resultados pode-se inferir que a exposição pela atividade realizada não altera os níveis das citocinas analisadas, exceto o IFN- $\gamma$  que é diferente, sendo em termos médios menor para o grupo exposto.

Na Figura 32 podem ser observados os gráficos de correlação de Spearman para as citocinas estudadas. Para o grupo controle, as correlações foram fortes entre TGF- $\beta$ 1, IL-10 e IL-17A e bem fortes entre IL-4, IL-10 e IL-17A. Já para o grupo exposto foram observadas correlações moderadas entre TGF- $\beta$ 1 e IL-17A, e IL-4 e IL-10 e bem forte entre IL-4 e IL-17A. O IFN- $\gamma$  apresentou correlações moderadas com as interleucinas analisadas em ambos os grupos.

Figura 32 – Análise de correlação para TGF- $\beta$ 1, IL-4, IL-10, IL-17A e IFN- $\gamma$  para o grupo controle (A) e o grupo exposto (B).



Fonte: Autoria própria (2019).

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da análise de regressão para as variáveis resposta e explicativas usadas no modelo. Observou-se que todas as variáveis explicativas, ou seja, MP<sub>2,5</sub>, bactérias, fungos e temperatura apresentaram risco relativo (RR) maior que 1 para IL-4 e IL-10, entretanto, os valores do limite inferior do intervalo de confiança (IC) de 95% foram menores que 1. Portanto, não foram estabelecidos riscos à saúde devido a exposição aos poluentes por meio das citocinas estudadas.

As informações referentes aos voluntários fumantes e a idade, utilizados como fatores no modelo de regressão, apresentaram certa interferência nos resultados, ou seja, sem a utilização destes os valores do risco relativo e do intervalo de confiança seriam diferentes.

Tabela 12 – Risco relativo (RR) e intervalo de confiança (IC) para as variáveis resposta e explicativas.

Citocinas	RR (IC 95%)			
	MP <sub>2,5</sub>	Bactérias	Fungos	Temperatura
TGF-β1	0,9911 (0,9579 - 1,0256)	0,9999 (0,9995 - 1,0003)	0,9854 (0,9315 - 1,0424)	0,9085 (0,6288 - 1,3125)
IL-4	1,0007 (0,9710 - 1,0313)	1,0000 (0,9997 - 1,0003)	1,0011 (0,9526 - 1,0521)	1,0073 (0,7280 - 1,3936)
IL-10	1,0059 (0,9836 - 1,0287)	1,0001 (0,9998 - 1,0003)	1,0098 (0,9732 - 1,0478)	1,0659 (0,8372 - 1,3570)
IL-17A	0,9980 (0,9715 - 1,0252)	0,9999 (0,9997 - 1,0003)	0,9967 (0,9535 - 1,0419)	0,9789 (0,7325 - 1,3082)
IFN-γ	0,9798 (0,9516 - 1,0088)	0,9998 (0,9995 - 1,00009)	0,9669 (0,9215 - 1,0145)	0,8025 (0,5860 - 1,0989)

Fonte: Autoria própria (2019).

O desenvolvimento de alergias pode ser influenciado por infecções na infância de acordo com a chamada hipótese da higiene. Relata-se que a exposição a agentes microbianos na infância é fundamental no desenvolvimento do sistema imunológico e pode diminuir o risco de surgimento de doenças alérgicas e asma atópica (STRACHAN, 1989; LIU; LEUNG, 2006; BERNASCONI et al., 2010; LÖNDAHL, 2014).

As citocinas são agrupadas em células T auxiliares (Th1, Th2 e Th17) e reguladoras (Treg) com base em seus efeitos funcionais (GUIMARÃES et al., 2017), fornecendo uma base imunológica para a hipótese da higiene. As células Th1 produzem IFN-γ, IL-2, IL-12 e TNF-α, desempenhando um papel central na eliminação de infecções intracelulares e na modulação de doenças autoimunes. O grupo Th2 inclui as citocinas IL-3, IL-4, IL-5 e IL-13, sendo importantes para as respostas imunes a parasitas e alérgenos. As células Th17 são caracterizadas pela produção de IL-17

e podem ter evoluído para a proteção do hospedeiro contra micróbios para os quais a imunidade Th1 ou Th2 não é adequada, como bactérias extracelulares e alguns fungos. A classe de citocinas Th3 inclui mediadores reguladores (Treg), como IL-10 e TGF- $\beta$ , responsáveis por manter um equilíbrio no microambiente hospedeiro, além de estarem relacionadas à prevenção de doenças autoimunes por imunomodulação induzida (SACHDEVA; ASTHANA, 2007; TESMER et al., 2008; STIEMSMA et al., 2015; ALEXANDRE-SILVA et al., 2018).

Segundo a hipótese de higiene a exposição reduzida a agentes microbianos durante a infância pode resultar na ativação do sistema imunológico adaptativo desencadeado pela resposta mediada por células Th2 contra antígenos inócuos (alérgenos) e por células Th1 contra autoantígenos (ROMAGNANI, 2004; ALEXANDRE-SILVA et al., 2018). Um dos mecanismos imunológicos dessa hipótese diz respeito à redução de infecções microbianas durante a infância devido aos hábitos de higiene que podem resultar na baixa estimulação de células imunes inatas, como células dendríticas e, conseqüentemente, baixos níveis de IL-12, uma citocina que regula a atividade das células Th1. Assim, a resposta das células Th2 é aprimorada, resultando em doenças alérgicas. O segundo mecanismo está relacionado à redução da regulação imune, ou seja, o estilo de vida com boas práticas de higiene também pode reduzir a estimulação das células Treg, resultando na ativação da resposta Th1 ou Th2, que estão relacionadas à autoimunidade e alergias, respectivamente (ROMAGNANI, 2004; ALEXANDRE-SILVA et al., 2018).

No entanto, a hipótese da higiene tem sido contestada por dados epidemiológicos conflitantes, como a ocorrência frequente de asma alérgica grave nas cidades americanas com baixos padrões de higiene pessoal e doméstica, entre outros (MATRICARDI, 2010). Além disso, o termo “hipótese da higiene” tem sido visto como um equívoco para um conceito com conseqüências de longo alcance para a saúde pública, sendo um problema que precisa ser resolvido (BLOOMFIELD et al., 2016). Assim, essa teoria tem se ramificado em diversas variáveis com o intuito de entender outros mecanismos, como o papel de vários parasitas (como helmintos intestinais) e as mudanças composicionais da microbiota (causadas por fatores como uso de antibióticos, infecção ou dieta) para fornecer uma visão de como as exposições ambientais no início da vida moldam o sistema imunológico humano (STIEMSMA et al., 2015; BLOOMFIELD et al., 2016).

Além disso, existe um amplo consenso de que pessoas de menor nível socioeconômico são menos propensas a ter acesso ao saneamento básico, induzindo a um aumento na exposição aos agentes microbianos (WORLD BANK, 2017). Levando em consideração as características dos voluntários, o grupo exposto é composto por pessoas com baixo nível socioeconômico em comparação ao grupo controle. Dessa forma, os trabalhadores da cooperativa possivelmente tiveram maior exposição aos microrganismos e seus componentes durante a infância, o que pode representar um sistema imunológico mais desenvolvido e pode ter influenciado os resultados dos níveis das citocinas desses voluntários.

A atividade das citocinas pode ser regulada por muitos mecanismos diferentes, dentre eles os receptores solúveis que desempenham papéis-chave na regulação de eventos biológicos mediados por citocinas, ligando e modulando a sua atividade (FERNANDEZ-BOTRAN, 1991; LEVINE, 2008). Os receptores de citocinas podem se apresentar, basicamente, de duas formas: na superfície celular (receptores de membrana), sendo uma unidade de transdução de sinal ao se ligar às citocinas para que ocorram os efeitos nas células-alvo; ou na forma solúvel (receptores solúveis) no fluido extracelular, possuindo a mesma capacidade de ligação com as citocinas. Assim, os receptores solúveis de citocinas podem ser gerados de diversas formas e causar interferência na formação do complexo de ligação entre citocina e receptor de membrana, inibindo assim a transdução de sinal subsequente (FERNANDEZ-BOTRAN, 1991; BIENVENU et al., 1998; LEVINE, 2004, 2008). Assim, é possível que tenha ocorrido a inibição das citocinas avaliadas neste trabalho pela liberação de altas quantidades de receptores solúveis no sangue dos voluntários.

As citocinas são amplamente utilizadas como biomarcadores para caracterizar a função imune, além de auxiliar no entendimento e prevenção de doenças e no monitoramento dos efeitos do tratamento (LIU et al., 2016). Entretanto, a regulação da inflamação por citocinas e inibidores de citocinas é complexa, devido ao sistema imunológico apresentar vias redundantes com múltiplos elementos com efeitos fisiológicos semelhantes (OPAL; DEPALO, 2000).

Além disso, as citocinas anti-inflamatórias possuem pelo menos algumas propriedades pró-inflamatórias e o efeito de qualquer citocina depende do tempo de liberação da mesma, o meio em que atua, a presença de elementos concorrentes ou sinérgicos, a densidade do seu receptor e a resposta do tecido aos seus efeitos (OPAL; DEPALO, 2000). A sensibilidade da medição também representa uma

dificuldade no estudo das citocinas, pois elas são liberadas no meio extracelular, tendo seus níveis circulantes muito baixos e resultando em uma faixa de concentração de pM ( $10^{-12}$  M), algumas vezes abaixo do limite de detecção dos testes (BIENVENU et al., 1998; LIU et al., 2016).

Portanto, a biologia das citocinas é considerada difícil devido aos fatores supracitados, além da existência de um grande número de citocinas diferentes, meia-vida curta (levando a breves picos no sangue), atuação em inúmeras células-alvo (atividade pleiotrópica), rápida dinâmica da sua expressão e variação em seus efeitos sistêmicos e locais (BIENVENU et al., 1998; SACHDEVA; ASTHANA, 2007; LIU et al., 2016).

## 6 CONCLUSÃO

A partir das amostragens dos poluentes realizadas na UTFPR e na cooperativa constatou-se que o barracão de processamento de resíduos (P3) é o local com a maior contaminação do ar com valores médios mais elevados de 699,3  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para MP<sub>10</sub>, 29,3  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para MP<sub>2,5</sub> e 1.838,5 UFC.m<sup>-3</sup> para bactérias no período da manhã. Essa característica já era esperada devido à variedade de atividades realizadas nesse local que promovem a geração e a ressuspensão de poluentes. Para os fungos o ambiente externo da UTFPR (P2) foi o local que apresentou a concentração média mais alta de 4.285,0 UFC.m<sup>-3</sup> à tarde, provavelmente em virtude da presença de vegetação e áreas agrícolas no entorno da universidade, fontes fundamentais de esporos fúngicos em dispersão no ar.

Comparando as estações do ano, as médias foram mais altas no inverno para MP<sub>1,0</sub>, na primavera para MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub>, MP<sub>10</sub> e fungos e no verão para bactérias. Além disso, as relações das concentrações do ambiente interno pelo externo (I/E) indicaram a grande influência de fontes internas nos resultados de MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>4,0</sub>, MP<sub>10</sub> e bactérias no P3 (ambiente interno da cooperativa).

As bactérias Gram-positivas foram predominantes dentre as colônias isoladas das coletas de setembro (amostragens passiva e ativa) e fevereiro (amostragem passiva) com 56,3 e 53,6%, respectivamente. Isso também foi observado para os fungos do gênero *Aspergillus* spp., que representaram 26,9 e 30,8% das colônias isoladas. Ao comparar os ambientes internos estudados, observou-se maior diversidade de bactérias e fungos no P3, com 54,5% de bactérias Gram-positivas e 35,3% de fungos *Aspergillus* spp. dentre as colônias isoladas das amostras desse local. Esses microrganismos podem causar diversos problemas de saúde como sintomas respiratórios, doenças alérgicas e infecciosas.

Os resultados do hemograma completo, ferritina e PCR foram variados, porém, em termos médios, ambos os grupos apresentaram valores dentro dos respectivos intervalos de referência. O grupo de voluntários da cooperativa é o que possui o menor nível socioeconômico, a maior vulnerabilidade a situações de exposição aos poluentes atmosféricos dentro e fora do ambiente de trabalho e o mais afetado por diversos sintomas respiratórios, circulatórios, de alergia e problemas de saúde preexistentes, no entanto, não foram encontrados riscos entre as citocinas e os poluentes estudados.



Duas suposições que poderiam explicar esses resultados contrários ao esperado são a hipótese da higiene e a liberação de receptores solúveis. Como o grupo exposto possui pessoas com menor nível socioeconômico e acesso ao saneamento básico, elas provavelmente foram mais expostas a microrganismos na infância e possuem um sistema imunológico mais desenvolvido, o que pode ter influenciado os resultados. Recomenda-se que perguntas relacionadas a doenças observadas durante a infância sejam adicionadas ao questionário em trabalhos futuros para estabelecer uma relação mais conclusiva com a hipótese da higiene.

A atividade das citocinas pode ser inibida por receptores solúveis, assim, é possível que isso tenha ocorrido neste trabalho, resultando em valores menores de citocinas circulantes detectadas pelos testes. Sugere-se examinar em trabalhos futuros os níveis desses receptores, além dos valores das citocinas, para avaliar o seu papel na atividade desses marcadores inflamatórios.

Ainda que não tenham sido encontrados riscos à saúde entre as variáveis do sangue e a exposição significativa aos poluentes dos trabalhadores da cooperativa, recomenda-se que os catadores continuem utilizando EPIs, principalmente luvas e máscaras, para mitigar essa exposição. Um sistema de ventilação, como a instalação de exaustores, também é recomendado para fornecer troca de ar apropriada no interior do barracão analisado.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2019.
- ADAMCOVA, M.; ŠIMKO, F. Multiplex biomarker approach to cardiovascular diseases. **Acta Pharmacologica Sinica**, p. 1–5, 2018.
- ADHIKARI, A. *et al.* Correlation of ambient inhalable bioaerosols with particulate matter and ozone: A two-year study. **Environmental Pollution**, v. 140, n. 1, p. 16–28, 2006.
- AGARWAL, S.; MANDAL, P.; SRIVASTAVA, A. Quantification and characterization of size-segregated bioaerosols at municipal solid waste dumping site in Delhi. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 400–407, 2016.
- AGÊNCIA PARA A ENERGIA. **Nota técnica NT-SCE-02: Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE**. Lisboa: Agência para a Energia, 2009.
- AKDIS, M. *et al.* Immune responses in healthy and allergic individuals are characterized by a fine balance between allergen-specific T regulatory 1 and T helper 2 cells. **Journal of Experimental Medicine**, v. 199, n. 11, p. 1567–1575, 2004.
- AKDIS, M. *et al.* Interleukins, from 1 to 37, and interferon- $\gamma$ : Receptors, functions, and roles in diseases. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 127, n. 3, p. 701- 721.e70, 2011.
- ALEXANDRE-SILVA, G. M. *et al.* The hygiene hypothesis at a glance: Early exposures, immune mechanism and novel therapies. **Acta Tropica**, v. 188, p. 16–26, 2018.
- ALLEN, A. G. *et al.* Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 4581–4591, 2001.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. Clearing the air: A review of the effects of particulate matter air pollution on human health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, n. 2, p. 166–175, 2012.
- ANGAYE, T. C.; ABOWEI, J. F. N. Evaluation of suspended particulate matter (SPM) around municipal solid waste dumpsites in yenagoa metropolis, Nigeria. **MOJ Toxicology**, v. 4, n. 2, p. 54–57, 2018.
- ARBEX, M. A. *et al.* Air pollution and the respiratory system. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643–655, 2012.
- ATHANASIOU, M.; MAKRYNOS, G.; DOUNIAS, G. Respiratory health of municipal

solid waste workers. **Occupational Medicine**, v. 60, p. 618–623, 2010.

AWAD, A. H. A. Vegetation: A source of air fungal bio-contaminant. **Aerobiologia**, v. 21, p. 53–61, 2005.

AYDOGDU, H.; ASAN, A.; TATMAN OTKUN, M. Indoor and outdoor airborne bacteria in child day-care centers in Edirne City (Turkey), seasonal distribution and influence of meteorological factors. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 164, n. 1–4, p. 53–66, 2010.

BARTRAM, U.; SPEER, C. P. The role of transforming growth factor  $\beta$  in lung development and disease. **Chest**, v. 125, n. 2, p. 754–765, 2004.

BASTOS, J. L. D.; DUQUIA, R. P. Um dos delineamentos mais empregados em epidemiologia: estudo transversal. **Scientia Medica**, v. 17, n. 4, p. 229–232, 2007.

BATESON, T. F.; SCHWARTZ, J. Children's response to air pollutants. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 71, n. 3, p. 238–243, 2008.

BEAL, A. *et al.* Inorganic chemical composition of fine particulates in medium-sized urban areas: A case study of Brazilian cities. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 17, n. 4, p. 920–932, 2017.

BECHER, S.; LICHTNECKER, H. Immunological aspects and affections of rubbish collectors caused by bioaerosols. **Journal of Occupational Health**, v. 44, n. 3, p. 125–130, 2002.

BEHBOD, B. *et al.* Asthma & allergy development: Contrasting influences of yeasts & other fungal exposures. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 45, n. 1, p. 154–163, 2015.

BERNASCONI, C. *et al.* Pyrogenic activity of air to characterize bioaerosol exposure in public buildings: A pilot study. **Letters in Applied Microbiology**, v. 50, n. 6, p. 571–577, 2010.

BERNSTEIN, J. A. *et al.* Health effects of air pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 114, n. 5, p. 1116–1123, 2004.

BIENVENU, J. A. D. *et al.* Cytokine assays in human sera and tissues. **Toxicology**, v. 129, n. 1998, p. 55–61, 1998.

BIGAZZI, A. Y.; FIGLIOZZI, M. A. Review of urban bicyclists' intake and uptake of traffic-related air pollution. **Transport Reviews**, v. 34, n. 2, p. 221–245, 2014.

BLOOMFIELD, S. F. *et al.* Time to abandon the hygiene hypothesis: New perspectives on allergic disease, the human microbiome, infectious disease prevention and the role of targeted hygiene. **Perspectives in Public Health**, v. 136, n. 4, p. 213–224, 2016.

BOGOMOLOVA, E.; KIRTSIDELI, I. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 63, n. 2, p. 156–160, 2009.

BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58–71, 2001.

BRANDL, H.; MANDAL, J. Bioaerosols in indoor environment - A review with special reference to residential and occupational locations. **The Open Environmental & Biological Monitoring Journal**, v. 4, n. 1, p. 83–96, 2011.

BRASIL. **Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978**. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Brasília, DF: Presidência da República, 1978.

BRASIL. **Resolução nº 09, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Brasília, DF: Presidência da República, 2003.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010a.

BRASIL. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010b.

BRASIL. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BREZA-BORUTA, B. The assessment of airborne bacterial and fungal contamination emitted by a municipal landfill site in Northern Poland. **Atmospheric Pollution Research**, v. 7, n. 6, p. 1043–1052, 2016.

BRINA, K. R. *et al.* Micronuclei and other nuclear anomalies in exfoliated buccal cells of urban solid waste collectors and recyclers in southern Brazil. **Chemosphere**, v. 193, p. 1058–1062, 2018.

BROOK, R. D. Cardiovascular effects of air pollution. **Clinical Science**, v. 115, p. 175–187, 2008.

BURGE, H. A. Fungi: toxic killers or unavoidable nuisances? **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, v. 87, n. 6, p. 52–56, 2001.

BUSSE, W. W.; LEMANSKE, R. F.; GERN, J. E. Role of viral respiratory infections in asthma and asthma exacerbations. **The Lancet**, v. 376, p. 826–834, 2010.

- BYEON, J. H. *et al.* Size distributions of total airborne particles and bioaerosols in a municipal composting facility. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 11, p. 5150–5154, 2008.
- CABO VERDE, S. *et al.* Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. **Research in Microbiology**, v. 166, n. 7, p. 557–563, 2015.
- CALDEIRA, C. *et al.* Avaliação microbiológica da qualidade do ar de interiores: aspectos legais e metodológicos. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 10, n. 1, p. 51–60, 2012.
- CASTRO, H. A. De. O pulmão e o ambiente: os poluentes do ar e seus efeitos no aparelho respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. Suplemento, p. S3–S9, 2001.
- ČERNÁ, K. *et al.* Methods of sampling airborne fungi in working environments of waste treatment facilities. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**, v. 29, n. 3, p. 493–502, 2016.
- CHALVATZAKI, E.; LAZARIDIS, M. Particulate matter characterization in an indoor workplace environment of a landfill. **Global Nest Journal**, v. 17, n. 2, p. 370–378, 2015.
- CHANG, M. W. *et al.* Bioaerosols from a food waste composting plant affect human airway epithelial cell remodeling genes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, p. 337–354, 2014.
- CHANG, S. H.; DONG, C. A novel heterodimeric cytokine consisting of IL-17 and IL-17F regulates inflammatory responses. **Cell Research**, v. 17, n. 5, p. 435–440, 2007.
- CHATTERJEE, S.; HADI, A. S. **Regression analysis by example**. 5th. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- CHEN, L. *et al.* Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. **Oncotarget**, v. 9, n. 6, p. 7204–7218, 2018.
- CHEN, Q.; HILDEMANN, L. M. Size-resolved concentrations of particulate matter and bioaerosols inside versus outside of homes. **Aerosol Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 699–713, 2009.
- CLYNE, B.; OLSHAKER, J. S. The C-reactive protein. **The Journal of Emergency Medicine**, v. 17, n. 6, p. 1019–1025, 1999.
- CMTU. **Coleta de resíduos recicláveis**. 2019. Disponível em: <https://cmtu.londrina.pr.gov.br/index.php/coleta-reciclavel.html>. Acesso em: 26 nov. 2019.
- COELHO, A. P. F. *et al.* Mulheres catadoras de materiais recicláveis: condições de vida, trabalho e saúde. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 37, n. 3, 2016.

COLBECK, I. (ed.). **Environmental chemistry of aerosols**. 1st. ed. Singapore: Blackwell Publishing Ltd, 2008.

COLLARES, G. B.; PAULINO, U. H. M. Aplicações clínicas atuais da proteína C reativa. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 16, n. 4, p. 227–233, 2006.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados e extensões**. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Universidade de São Paulo, 2011.

CORMIER, S. A. *et al.* Origin and health impacts of emissions of toxic by-products and fine particles from combustion and thermal treatment of hazardous wastes and materials. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 6, p. 810–817, 2006.

COTES, J. E.; CHINN, D. J. MRC questionnaire (MRCQ) on respiratory symptoms. **Occupational Medicine**, v. 57, n. 5, p. 388, 2007.

DAWSON, J. P.; ADAMS, P. J.; PANDIS, S. N. Sensitivity of PM<sub>2.5</sub> to climate in the Eastern US: A modeling case study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 7, n. 16, p. 4295–4309, 2007.

DESPRÉS, V. R. *et al.* Primary biological aerosol particles in the atmosphere: A review. **Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 64, n. 1, 2012.

DI FILIPPO, P. *et al.* Fungal contribution to size-segregated aerosol measured through biomarkers. **Atmospheric Environment**, v. 64, p. 132–140, 2013.

DIAS, S. L. F. G.; PRAGANA, V. R.; SANTOS, M. C. L. dos. Catadores: uma reflexão sobre os aspectos socioambientais da gestão de Resíduos dos Equipamentos Eletroeletrônicos. *In*: XAVIER, L. H.; CARVALHO, T. C. (ed.). **Gestão de resíduos eletroeletrônicos**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier Ltd, 2014. p. 87–111.

DINARELLO, C. A. Proinflammatory cytokines. **Chest**, v. 118, n. 2, p. 503–508, 2000.

DONS, E. *et al.* Personal exposure to Black Carbon in transport microenvironments. **Atmospheric Environment**, v. 55, p. 392–398, 2012.

DOUWES, J. *et al.* Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 47, n. 3, p. 187–200, 2003.

DUNGAN, R. S. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 11, p. 3693–3706, 2010.

EDUARD, W. *et al.* Bioaerosol exposure assessment in the workplace: The past, present and recent advances. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 14, n. 2, p. 334–339, 2012.

ELLIS, D. *et al.* **Descriptions of medical fungi**. 2nd. ed. Adelaide, Australia: University of Adelaide, 2007.

ELVIDGE, T. *et al.* Feasibility of using biomarkers in blood serum as markers of effect following exposure of the lungs to particulate matter air pollution. **Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews**, v. 31, n. 1, p. 1–44, 2013.

EMYGDIO, A. P. M. *et al.* One year of temporal characterization of fungal spore concentration in São Paulo metropolitan area, Brazil. **Journal of Aerosol Science**, v. 115, p. 121–132, 2018a.

EMYGDIO, A. P. M. *et al.* Biomarkers as indicators of fungal biomass in the atmosphere of São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 612, p. 809–821, 2018b.

FARIDI, S. *et al.* Bioaerosol exposure and circulating biomarkers in a panel of elderly subjects and healthy young adults. **Science of the Total Environment**, v. 593–594, n. 2017, p. 380–389, 2017.

FERNANDEZ-BOTRAN, R. Soluble cytokine receptors: Their role in immunoregulation. **The FASEB Journal**, v. 5, p. 2567–2574, 1991.

FONTANA, R. T. *et al.* A saúde do trabalhador da reciclagem do resíduo urbano. **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 3, n. 2, p. 29–35, 2015.

FRANKEL, M. *et al.* Seasonal variations of indoor microbial exposures and their relation to temperature, relative humidity, and air exchange rate. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 23, p. 8289–8297, 2012.

FRÖHLICH-NOWOISKY, J. *et al.* High diversity of fungi in air particulate matter. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 31, p. 12814–12819, 2009.

FRÖHLICH-NOWOISKY, J. *et al.* Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. **Atmospheric Research**, v. 182, p. 346–376, 2016.

GALÈS, A. *et al.* Predominance of single bacterial cells in composting bioaerosols. **Atmospheric Environment**, v. 107, p. 225–232, 2015.

GAMERO, W. B. M. *et al.* Concentrations and size distributions of fungal bioaerosols in a municipal landfill. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING AND BIG DATA, 3., 2018, Shanghai. **Proceedings** [...]. Shanghai: Springer International Publishing, 2018.

GHOSH, B.; LAL, H.; SRIVASTAVA, A. Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. **Environment International**, v. 85, p. 254–272, 2015.

GIRI, S. *et al.* Effect of air pollution on chlorophyll content of leaves. **Current**

**Agriculture Research Journal**, v. 1, n. 2, p. 93–98, 2013.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2227–2239, 2009.

GOH, I. *et al.* Airborne bacteria and fungal spores in the indoor environment: A case study in Singapore. **Acta Biotechnologica**, v. 20, p. 67–73, 2000.

GONÇALVES, F. L. T. *et al.* Indoor and outdoor atmospheric fungal spores in the São Paulo metropolitan area (Brazil): Species and numeric concentrations. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 4, p. 347–355, 2010a.

GONÇALVES, F. L. T. *et al.* Scavenging processes of atmospheric particulate matter: a numerical modeling of case studies. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 4, p. 437–447, 2010b.

GORDIS, L. **Epidemiology**. 3rd. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2004.

GRAHAM, B. *et al.* Composition and diurnal variability of the natural Amazonian aerosol. **Journal of Geophysical Research D: Atmospheres**, v. 108, n. D24, p. 4765, 2003.

GREEN, C. F.; SCARPINO, P. V.; GIBBS, S. G. Assessment and modeling of indoor fungal and bacterial bioaerosol concentrations. **Aerobiologia**, v. 19, n. 3–4, p. 159–169, 2003.

GROTTO, H. Z. W. O hemograma: Importância para a interpretação da biópsia. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 31, n. 3, p. 178–182, 2009.

GROTTO, H. Z. W. Fisiologia e metabolismo do ferro. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, n. Supl. 2, p. 8–17, 2010.

GUIMARÃES, P. M. *et al.* Cytokines in systemic lupus erythematosus: Far beyond Th1/Th2 dualism lupus: Cytokine profiles. **Immunology and Cell Biology**, v. 95, p. 824–831, 2017.

GUTTIKUNDA, S. K.; GURJAR, B. R. Role of meteorology in seasonality of air pollution in megacity Delhi, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 5, p. 3199–3211, 2012.

HAAS, D. *et al.* Comparison of background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. **Atmospheric Environment**, v. 98, p. 640–647, 2014.

HAMPEL, R. *et al.* Long-term effects of elemental composition of particulate matter on inflammatory blood markers in European cohorts. **Environment International**, v. 82, p. 76–84, 2015.

HARRISON, R. M. *et al.* A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment. **Atmospheric Environment**, v. 37, p.



2391–2402, 2003.

HASENFRATZ, D. *et al.* Participatory air pollution monitoring using smartphones. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE SENSING, 2., 2012, Beijing. Proceedings [...]* Beijing: 2012.

HASHIMOTO, E. **Análise exploratória de dados**, 02-09 out. 2018. 5 p. Notas de aula.

HAYLEEYESUS, S. F.; EJESO, A.; DERSEH, F. A. Quantitative assessment of bio-aerosols contamination in indoor air of university dormitory rooms. **International Journal of Health Sciences**, v. 9, n. 3, p. 247–254, 2016.

HELDAL, K. K. *et al.* Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 60, p. 444–450, 2003a.

HELDAL, K. K. *et al.* Airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols assessed by induced sputum. **European Respiratory Journal**, v. 21, p. 641–645, 2003b.

HIGASKINO, C. E. K.; FIGEL, I. C.; YAMADA, M. P. A. **Qualidade microbiológica do ar de ambientes condicionados**. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

HOEF, J. M. Ver; BOVENG, P. L. Quasi-Poisson vs. negative binomial regression: How should we model overdispersed count data? **Ecology**, v. 88, n. 11, p. 2766–2772, 2007.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste**: A global review of solid waste management. Washington, DC: World Bank, 2012.

HUNGRIA, M.; SILVA, K. Da. **Manual de curadores de germoplasma – micro-organismos**: Rizóbios e bactérias promotoras do crescimento vegetal. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos, 2011.

IAPAR. **Dados diários de Londrina**. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1828>. Acesso em: 20 jun. 2019.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.

IWAKURA, Y. *et al.* The roles of IL-17A in inflammatory immune responses and host defense against pathogens. **Immunological Reviews**, v. 226, n. 1, p. 57–79, 2008.

IWATA, K. Cost-benefit analysis of enforcing installation of particulate matter elimination devices on diesel trucks in Japan. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 13, n. 1, p. 1–19, 2011.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Solid waste management in São Paulo: the challenges

of sustainability. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

JAYAMURUGAN, R. *et al.* Influence of temperature, relative humidity and seasonal variability on ambient air quality in a coastal urban area. **International Journal of Atmospheric Sciences**, v. 2013, p. 1–7, 2013.

JERIE, S. Occupational risks associated with solid waste management in the informal sector of Gweru, Zimbabwe. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2016, p. 1–14, 2016.

JIANG, S. *et al.* Increased serum IL-17 and decreased serum IL-10 and IL-35 levels correlate with the progression of COPD. **International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 13, p. 2483–2494, 2018.

KAK, G.; RAZA, M.; TIWARI, B. K. Interferon-gamma (IFN- $\gamma$ ): Exploring its implications in infectious diseases. **Biomolecular Concepts**, v. 9, n. 1, p. 64–79, 2018.

KALLAUR, A. P. *et al.* Immune-inflammatory and oxidative and nitrosative stress biomarkers of depression symptoms in subjects with multiple sclerosis: Increased peripheral inflammation but less acute neuroinflammation. **Molecular Neurobiology**, v. 53, p. 5191–5202, 2016.

KALWASIŃSKA, A.; BURKOWSKA, A.; BRZEZINSKA, M. S. Exposure of workers of municipal landfill site to bacterial and fungal aerosol. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 42, n. 10, p. 1337–1343, 2014.

KALYONCU, F. Viable airborne fungi of outdoor environments of Yunusemre District, Manisa, Turkey. **Celal Bayar University Journal of Science**, v. 15, n. 3, p. 261–264, 2019.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 362–367, 2008.

KAN, H.; CHEN, R.; TONG, S. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. **Environment International**, v. 42, n. 1, p. 10–19, 2012.

KAZA, S. *et al.* **What a waste 2.0**: A global snapshot of solid waste management to 2050. Washington, DC: World Bank, 2018.

KIM, K. H.; JAHAN, S. A.; KABIR, E. A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma. **Environment International**, v. 59, p. 41–52, 2013.

KIM, K. H.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment International**, v. 74, p. 136–143, 2015.

KIM, K. H.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. Airborne bioaerosols and their impact on human health. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 67, p. 23–35, 2018.

KLEPEIS, N. E. *et al.* The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 11, n. 3, p. 231–252, 2001.

KRAJEWSKI, J. A. *et al.* Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**, v. 15, n. 3, p. 289–301, 2002.

LABORATÓRIO HERMES PARDINI. **Proteína C reativa quantitativa alta sensibilidade**. 2018. Disponível em: <http://www.labhpardini.com.br/scripts/mgwms32.dll?MGWLPN=HPHOSTBS&App=HELPE&EXAME=S%7C%7CPC-RQ>. Acesso em: 6 jan. 2020.

LABORATÓRIO HERMES PARDINI. **Ferritina sérica**. 2019. Disponível em: <http://www.labhpardini.com.br/scripts/mgwms32.dll?MGWLPN=HPHOSTBS&App=HELPE&EXAME=S%7C%7CFERRI>. Acesso em: 6 jan. 2020.

LANDRIGAN, P. J. *et al.* The Lancet Commission on pollution and health. **The Lancet**, v. 391, n. 10119, p. 462–512, 2018.

LAVOIE, J. *et al.* Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. **Science of the Total Environment**, v. 370, n. 1, p. 23–28, 2006.

LAVOIE, J.; GUERTIN, S. Evaluation of health and safety risks in municipal solid waste recycling plants. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 51, n. 3, p. 352–360, 2001.

LEHTINEN, J. *et al.* Occupational hygiene in terms of volatile organic compounds (VOCs) and bioaerosols at two solid waste management plants in Finland. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 964–973, 2013.

LEVAN, T. D. *et al.* Relationship of systemic IL-10 levels with proinflammatory cytokine responsiveness and lung function in agriculture workers. **Respiratory Research**, v. 19, n. 1, p. 166, 2018.

LEVIN, K. A. Study design III: Cross-sectional studies. **Evidence-Based Dentistry**, v. 7, n. 1, p. 24–25, 2006.

LEVINE, S. J. Mechanisms of soluble cytokine receptor generation. **The Journal of Immunology**, v. 173, n. 9, p. 5343–5348, 2004.

LEVINE, S. J. Molecular mechanisms of soluble cytokine receptor generation. **Journal of Biological Chemistry**, v. 283, n. 21, p. 14177–14181, 2008.

LIMA-COSTA, M. F.; BARRETO, S. M. Tipos de estudos epidemiológicos: Conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 12, n. 4, p. 189–201, 2003.

LING, S. H.; VAN EEDEN, S. F. Particulate matter air pollution exposure: role in the

development and exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. **International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 4, p. 233–243, 2009.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Evaluation of the treatment of municipal solid waste as renewable energy resource in Campinas, Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 29, p. 19–25, 2018.

LIPSA, F. D.; ULEA, E.; CHIRIAC, I. P. Monitoring of fungal aerosols in some educational buildings from Iasi, Romania. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 15, n. 4, p. 801–807, 2016.

LIU, A. H.; LEUNG, D. Y. M. Renaissance of the hygiene hypothesis. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 117, p. 1063–1066, 2006.

LIU, G. *et al.* Recent advances in cytokine detection by immunosensing. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 79, p. 810–821, 2016.

LLOYD, C. M.; HAWRYLOWICZ, C. M. Regulatory T cells in asthma. **Immunity**, v. 31, n. 3, p. 438–449, 2009.

LLOYD, C. M.; HESSEL, E. M. Functions of T cells in asthma: more than just TH2 cells. **Nature Reviews Immunology**, v. 10, n. 12, p. 1–26, 2010.

LOEBBERMANN, J. *et al.* IL-10 regulates viral lung immunopathology during acute respiratory syncytial virus infection in mice. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, p. e32371, 2012.

LOKWANI, D. P. **The ABC of CBC**: Interpretation of complete blood count and histograms. 1st. ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd., 2013.

LÖNDAHL, J. Physical and biological properties of bioaerosols. *In*: JONSSON, P.; OLOFSSON, G.; TJÄRNHAGE, T. (ed.). **Bioaerosol Detection Technologies**. New York: Springer-Verlag, 2014. p. 33–48.

LOPES, A. E. R. *et al.* Prevalência de bactérias gram- negativas em portadores de HIV internados em serviço especializado. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 28, n. 3, p. 281–286, 2015.

LUKACS, N. W.; WARD, P. A. Inflammatory mediators, cytokines, and adhesion molecules in pulmonary inflammation injury. **Advances in Immunology**, v. 62, p. 257–291, 1996.

MAÇÃIRA, E. D. F. *et al.* Rhinitis and asthma symptoms in non-domestic cleaners from the São Paulo metropolitan area, Brazil. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 64, n. 7, p. 446–453, 2007.

MADSEN, A. M. Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 50, n. 8, p. 821–831, 2006.

MAÎTRE, A. *et al.* Municipal waste incinerators: Air and biological monitoring of workers for exposure to particles, metals, and organic compounds. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 60, n. 8, p. 563–569, 2003.

MAŁECKA-ADAMOWICZ, M.; KACZANOWSKA, J.; DONDESKI, W. The impact of a landfill site in Żółwin - Wypaleniska on the microbiological quality of the air. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, n. 1, p. 101–107, 2007.

MARCHINI, T. *et al.* Acute exposure to air pollution particulate matter aggravates experimental myocardial infarction in mice by potentiating cytokine secretion from lung macrophages. **Basic Research in Cardiology**, v. 111, n. 44, p. 1–14, 2016.

MARINO, A. L.; CHAVES, G. de L. D.; SANTOS JUNIOR, J. L. Dos. Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 378–386, 2018.

MARTIN, S. T. *et al.* Sources and properties of Amazonian aerosol particles. **Reviews of Geophysics**, v. 48, p. 1–42, 2010.

MATRICARDI, P. M. 99th Dahlem Conference on Infection, Inflammation and Chronic Inflammatory Disorders: Controversial aspects of the “hygiene hypothesis”. **Clinical and Experimental Immunology**, v. 160, p. 98–105, 2010.

MAYER, L. E. *et al.* Perspectivas laboratoriais na avaliação da resposta inflamatória. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 91, n. 4, p. 149–161, 2010.

MBV AG. **User Manual Hardware**: MAS-100 NT™ Microbiological Air Sampler MAS-100. Stäfa, Switzerland: MBV AG Microbiology and Bioanalytic, 2009.

MEDINA, M. The informal recycling sector in developing countries: Organizing waste pickers to enhance their impact. **Gridlines**. n. 44, p. 1-4, 2008.

MELO, J. O. De *et al.* Inhalation of fine particulate matter during pregnancy increased IL-4 cytokine levels in the fetal portion of the placenta. **Toxicology Letters**, v. 232, n. 2, p. 475–480, 2015.

MENETREZ, M. Y. *et al.* An evaluation of indoor and outdoor biological particulate matter. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 34, p. 5476–5483, 2009.

MESSAGE, S. D. *et al.* Rhinovirus-induced lower respiratory illness is increased in asthma and related to virus load and Th1/2 cytokine and IL-10 production. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 36, p. 13562–13567, 2008.

MILLER, C. H. T.; MAHER, S. G.; YOUNG, H. A. Clinical use of interferon- $\gamma$ . **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1182, p. 69–79, 2009.

MILLS, N. L. *et al.* Adverse cardiovascular effects of air pollution. **Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine**, v. 6, n. 1, p. 36–44, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fontes fixas**. 2018. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>. Acesso em: 24 jul. 2018.

MIRHOSEINI, S. H. *et al.* Assessment of airborne particles in indoor environments: Applicability of particle counting for prediction of bioaerosol concentrations. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 16, n. 8, p. 1903–1910, 2016.

NADAL, M. *et al.* Health risks of the occupational exposure to microbiological and chemical pollutants in a municipal waste organic fraction treatment plant. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 212, n. 6, p. 661–669, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Analysis of cancer risks in populations near nuclear facilities**: Phase 1. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

NUNES, M. de F. P. *et al.* Erythrocyte indices and serum ferritin in newborns. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, n. 5, p. 365–370, 2010.

O'GORMAN, C. M.; FULLER, H. T. Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 18, p. 4355–4368, 2008.

OLIVEIRA, J. C. De. **Atlas de micologia médica**. Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional, 2013.

OMELYANSKY, V. L. **Manual in microbiology**. Leningrad: USSR Academy of Sciences Moscow, 1940.

OMS. **Air quality guidelines**: Global update 2005. Copenhagen: Organização Mundial da Saúde, 2006.

OMS. **WHO guidelines for indoor air quality**: Dampness and mold. Copenhagen: Organização Mundial da Saúde, 2009.

OMS. **Health effects of particulate matter**: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. Copenhagen: Organização Mundial da Saúde, 2013.

OMS. **Ambient (outdoor) air quality and health**. 2018. Disponível em: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 26 ago. 2018.

OPAL, S. M.; DEPALO, V. A. Anti-inflammatory cytokines. **Chest**, v. 117, n. 4, p. 1162–1172, 2000.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Doenças relacionadas ao trabalho**: Manual de procedimentos para os serviços de saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

PAHARI, A. K. *et al.* Emission of bacterial bioaerosols from a composting facility in Maharashtra, India. **Waste Management**, v. 53, p. 22–31, 2016.

PAN, S. *et al.* The air quality and health impacts of projected long-haul truck and rail freight transportation in the United States in 2050. **Environment International**, v. 130, p. 104922, 2019.

PARK, D. *et al.* Characteristics of particulate matter generated while handling municipal household waste. **Journal of Occupational Health**, v. 55, n. 6, p. 503–510, 2013a.

PARK, D. *et al.* Airborne bacteria and fungi associated with waste-handling work. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 19, n. 4, p. 311–318, 2013b.

PARK, D. U. *et al.* An assessment of dust, endotoxin, and microorganism exposure during waste collection and sorting. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 61, n. 4, p. 461–468, 2011.

PARK, S.-H. *et al.* Effects of mycotoxins on mucosal microbial infection and related pathogenesis. **Toxins**, v. 7, p. 4484–4502, 2015.

PARKER, M. T. **Hospital-acquired infections: Guidelines to laboratory methods**. Copenhagen: World Health Organization, 1978.

PASQUARELLA, C.; PITZURRA, O.; SAVINO, A. The index of microbial air contamination. **Journal of Hospital Infection**, v. 46, n. 4, p. 241–256, 2000.

PATEL, T. Y. *et al.* Variation in airborne fungal spore concentrations among five monitoring locations in a desert urban environment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, p. 634, 2018.

PATERAKI, S. *et al.* The role of wind, temperature and relative humidity on PM fractions in a suburban Mediterranean region. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 19, n. 9 B, p. 2013–2018, 2010.

PAULA, G. **Modelos de regressão com apoio computacional**. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 2013.

PAULO, F. L. L. De; SANTOS, C. F. Dos; SILVA, M. N. Da. A importância das cooperativas de materiais recicláveis: Um breve relato da experiência do município de Serra Talhada – PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 1, n. 5, p. 1–6, 2013.

PEARCE, N. Classification of epidemiological study designs. **International Journal of Epidemiology**, v. 41, p. 393–397, 2012.

PEARSON, C. *et al.* Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: A systematic review of occupational and community studies. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B:**

**Critical Reviews**, v. 18, n. 1, p. 43–69, 2015.

PEDROSA, D. S. F.; NISHIWAKI, A. A. M. Resíduos sólidos: uma visão prospectiva a partir da análise histórica da gestão. *In*: EL-DEIR, S. G. (ed.). **Resíduos sólidos: Perspectivas e desafios para a gestão integrada**. 1. ed. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014. p. 12–19.

PEREIRA-DE-PAIVA, M. H. *et al.* Occupational hazards of Brazilian solid waste workers: A systematic literature review. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 15, n. 4, p. 364–371, 2017.

POOLE, C. J. M.; BASU, S. Systematic review: Occupational illness in the waste and recycling sector. **Occupational Medicine**, v. 67, n. 8, p. 626–636, 2017.

POPE III, C. A. *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **The Journal of the American Medical Association**, v. 287, n. 9, p. 1132–1141, 2002.

PORTA, D. *et al.* Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. **Environmental Health**, v. 8, n. 1, p. 60, 2009.

POULSEN, O. M. *et al.* Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. **Science of the Total Environment**, v. 168, n. 1, p. 33–56, 1995.

QUADROS, M. E. *et al.* Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 42, n. 13, p. 431–438, 2009.

RAASCHOU-NIELSEN, O. *et al.* Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. **Environment International**, v. 87, p. 66–73, 2016.

RAMAYAH, T.; LEE, J. W. C.; LIM, S. Sustaining the environment through recycling: An empirical study. **Journal of Environmental Management**, v. 102, p. 141–147, 2012.

RAY, M. R. *et al.* Respiratory and general health impairments of workers employed in a municipal solid waste disposal at an open landfill site in Delhi. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 208, n. 4, p. 255–262, 2005.

REN, P. *et al.* The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics. **Allergy**, v. 56, n. 5, p. 419–424, 2001.

RIDKER, P. M. C-reactive protein: A simple test to help predict risk of heart attack and stroke. **Circulation**, v. 108, p. e81–e85, 2003.

RODINA, A. G. **Methods in aquatic microbiology**. Baltimore: University Park Press, 1972.



RODRIGUES, G.; FEITOSA, M.; SILVA, G. Da. Cooperativas de Reciclagem de Resíduos Sólidos e seus benefícios socioambientais: Um estudo na COOPECAMAREST em Serra Talhada - PE. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 5, n. 1, p. 18–38, 2015.

ROMAGNANI, S. The increased prevalence of allergy and the hygiene hypothesis: Missing immune deviation, reduced immune suppression, or both? **Immunology**, v. 112, p. 352–363, 2004.

ROUX, J. *et al.* Air pollution by particulate matter PM10 may trigger multiple sclerosis relapses. **Environmental Research**, v. 156, p. 404–410, 2017.

RÜCKERL, R. *et al.* Air pollution and markers of inflammation and coagulation in patients with coronary heart disease. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 173, p. 432–441, 2006.

SACHDEVA, N.; ASTHANA, D. Cytokine quantitation: Technologies and applications. **Frontiers in Bioscience**, v. 12, p. 4682–4695, 2007.

SANTANA, E. *et al.* **Padrões de qualidade do ar**: Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012.

SANTOS, T. C.; CARVALHO, V. S. B.; REBOITA, M. S. Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 307–313, 2016.

SCHLOSSER, O. *et al.* Bioaerosol in composting facilities: Occupational health risk assessment. **Water Environment Research**, v. 81, n. 9, p. 866–877, 2009.

SCHLOSSER, O. *et al.* Extension of the sorting instructions for household plastic packaging and changes in exposure to bioaerosols at materials recovery facilities. **Waste Management**, v. 46, p. 47–55, 2015.

SEATON, A. *et al.* Particulate air pollution and acute health effects. **The Lancet**, v. 345, p. 176–178, 1995.

SEATON, A. *et al.* Particulate air pollution and the blood. **Thorax**, v. 54, n. 11, p. 1027–1032, 1999.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics**: From air pollution to climate change. 3rd. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

SETIA, M. S. Methodology series module 3: Cross-sectional studies. **Indian Journal of Dermatology**, v. 61, n. 3, p. 261–264, 2016.

SHADIE, A. M.; HERBERT, C.; KUMAR, R. K. Ambient particulate matter induces an exacerbation of airway inflammation in experimental asthma: Role of interleukin-33. **Clinical and Experimental Immunology**, v. 177, p. 491–499, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, p. 591–611, 1965.

SILHAVY, T. J.; KAHNE, D.; WALKER, S. The bacterial cell envelope. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 2, p. 1–16, 2010.

SILVA, S. P. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil**: Dilemas e potencialidades sob a ótica da Economia Solidária. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017.

SILVA, S. P.; GOES, F. L.; ALVAREZ, A. R. **Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável e reutilizável**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2013.

SONG, Q.; LI, J.; ZENG, X. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 199–210, 2015.

SRIKANTH, P.; SUDHARSANAM, S.; STEINBERG, R. Bio-aerosols in indoor environment: Composition, health effects and analysis. **Indian Journal of Medical Microbiology**, v. 26, n. 4, p. 302–312, 2008.

STETZENBACH, L. D. *et al.* **Microorganisms, mold, and indoor air quality**. Washington, DC: American Society of Microbiology, 2004.

STIEMSMA, L. T. *et al.* The hygiene hypothesis: Current perspectives and future therapies. **ImmunoTargets and Therapy**, v. 4, p. 143–157, 2015.

STRACHAN, D. P. Hay fever, hygiene, and household size. **BMJ: British Medical Journal**, v. 299, n. 6710, p. 1259–1260, 1989.

SU, T. C. *et al.* Urban air pollution increases plasma fibrinogen and plasminogen activator inhibitor-1 levels in susceptible patients. **European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation**, v. 13, n. 5, p. 849–852, 2006.

TAIWO, A. M. *et al.* Mass and number size distributions of particulate matter components: Comparison of an industrial site and an urban background site. **Science of the Total Environment**, v. 475, p. 29–38, 2014.

TANG, J. W. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 6, n. SUPPL. 6, p. S737–S746, 2009.

TESMER, L. A. *et al.* Th17 cells in human disease. **Immunological Reviews**, v. 223, p. 87–113, 2008.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

TSAI, D.-H. *et al.* Effects of particulate matter on inflammatory markers in the general adult population. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 9, n. 1, p. 24, 2012.

TSHOKEY, T.; SOMARATNE, P.; AGAMPODI, S. Comparison of two air sampling methods to monitor operating room air quality and assessment of air quality in two operating rooms with different ventilation systems in the national hospital of Sri Lanka. **International Journal of Infection Control**, v. 12, n. 3, p. 1–8, 2016.

TURNER, D. A.; WILLIAMS, I. D.; KEMP, S. Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 186–197, 2015.

VAN DER POLL, T.; MARCHANT, A.; VAN DEVENTER, S. J. H. The role of interleukin-10 in the pathogenesis of bacterial infection. **Clinical Microbiology and Infection**, v. 3, n. 6, p. 605–607, 1997.

VAN EEDEN, S. F. *et al.* Cytokines involved in the systemic inflammatory response induced by exposure to particulate matter air pollutants (PM10). **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 164, p. 826–830, 2001.

VIEGAS, C. *et al.* Assessment of fungal contamination in waste sorting and incineration - Case study in Portugal. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 77, n. 1–3, p. 57–68, 2014.

VIEGAS, S.; ALMEIDA-SILVA, M.; VIEGAS, C. Occupational exposure to particulate matter in 2 Portuguese waste-sorting units. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**, v. 27, n. 5, p. 854–862, 2014.

VIEIRA, D. A. de P.; FERNANDES, N. C. de A. Q. **Microbiologia geral**. Inhumas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

VIMERCATI, L. *et al.* Respiratory health in waste collection and disposal workers. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 7, p. 1–8, 2016.

WALSER, S. M. *et al.* Evaluation of exposure-response relationships for health effects of microbial bioaerosols - A systematic review. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 218, n. 7, p. 577–589, 2015.

WALSH, T. J.; HAYDEN, R. T.; LARONE, D. H. **Larone's medically important fungi: A guide to identification**. 6th. ed. Washington, DC: ASM Press, 2018.

WANG, J. M. *et al.* Near-road air pollutant measurements: Accounting for inter-site variability using emission factors. **Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 16, p. 9495–9504, 2018.

WATANABE, M. *et al.* A panel study of airborne particulate matter composition versus concentration: Potential for inflammatory response and impaired pulmonary function in children. **Allergology International**, v. 66, p. 52–58, 2017.

WENNBERG, P. *et al.* Haemostatic and inflammatory markers are independently associated with myocardial infarction in men and women. **Thrombosis Research**, v.

129, n. 1, p. 68–73, 2012.

WHITEMAN, C. D. *et al.* Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley. **Atmospheric Environment**, v. 94, p. 742–753, 2014.

WIESELER-FRANK, J.; MAIER, S. F.; WATKINS, L. R. Glial activation and pathological pain. **Neurochemistry International**, v. 45, p. 389–395, 2004.

WIKUATS, C. F. H. **Análise da qualidade do ar ambiente de cooperativa de catadores de materiais recicláveis**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

WILLIAMS, A. E. *et al.* Enhanced inflammation in aged mice following infection with *Streptococcus pneumoniae* is associated with decreased IL-10 and augmented chemokine production. **American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology**, v. 308, n. 6, p. L539–L549, 2015.

WILSON, D. C.; VELIS, C.; CHEESEMAN, C. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat International**, v. 30, n. 4, p. 797–808, 2006.

WORLD BANK. **Reducing inequalities in water supply, sanitation, and hygiene in the era of the sustainable development goals**: Synthesis report of the WASH Poverty Diagnostic Initiative. Washington, DC: World Bank, 2017.

WOUTERS, I. M. *et al.* Upper airway inflammation and respiratory symptoms in domestic waste collectors. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 59, n. 2, p. 106–112, 2002.

YANG, C. Y. *et al.* Adverse health effects among household waste collectors in Taiwan. **Environmental Research**, v. 85, n. 3, p. 195–199, 2001.

ZAIDI, M. R.; MERLINO, G. The two faces of interferon- $\gamma$  in cancer. **Clinical Cancer Research**, v. 17, n. 19, p. 6118–6124, 2011.

ZAMORANO, J.; RIVAS, M. D.; PÉREZ-G, M. Interleukin-4: A multifunctional cytokine. **Inmunología**, v. 22, n. 2, p. 215–224, 2003.

ZHANG, J.-M.; AN, J. Cytokines, inflammation and pain. **International Anesthesiology Clinics**, v. 45, n. 2, p. 27–37, 2007.

ZHANG, L. *et al.* Expression of interleukin (IL)-10, IL-17A and IL-22 in serum and sputum of stable chronic obstructive pulmonary disease patients. **COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 10, p. 459–465, 2013.

ZHANG, Q. *et al.* Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. **Nature**, v. 543, n. 7647, p. 705–709, 2017.

ZHAO, B. *et al.* Environmental effects of the recent emission changes in China: Implications for particulate matter pollution and soil acidification. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 24–31, 2013.

ZHU, H. *et al.* Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona, USA. **Aerobiologia**, v. 19, n. 3–4, p. 201–211, 2003.

ZUURBIER, M. *et al.* In-traffic air pollution exposure and CC16, blood coagulation, and inflammation markers in healthy adults. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 10, p. 1384–1389, 2011.

## APÊNDICE A – INFORMAÇÕES DAS ETAPAS DO ESTUDO

Quadro A1 – Informações referentes às etapas realizadas no trabalho.

<b>Atividade</b>	<b>Data de realização</b>	<b>Número de amostras</b>
i. Aplicação de questionário	Novembro de 2018	64 entrevistas
ii. Coleta de amostras de sangue	Universidade: 22 de novembro de 2018 Cooperativa: 23 de novembro de 2018	64 amostras de 15 mL
iii. Amostragem de material particulado	18 a 22 de fevereiro de 2019	1.920 minutos
iv. Amostragem de bioaerossóis	1ª etapa: 18 a 22 de fevereiro de 2019 2ª etapa: 19 e 20 de setembro de 2019	144 amostras 28 amostras

Fonte: Autoria própria (2019).

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA OS VOLUNTÁRIOS DA COOPERATIVA

Data da Entrevista:

---

1. Data de Nascimento:

---

2. Massa corpórea: \_\_\_\_\_

3. Perímetro abdominal: \_\_\_\_\_

4. Sexo:

( ) Feminino ( ) Masculino

5. Nível de escolaridade:

( ) Fundamental Completo ( ) Fundamental Incompleto ( ) Ensino Médio Completo

( ) Ensino Médio Incompleto ( ) Graduação Incompleta ( ) Graduação Completa

6. Há quanto tempo trabalha na cooperativa?

( ) Menos de 1 ano ( ) 2 anos ( ) 3 anos ( ) 4 anos ( ) 5 ou mais anos

7. Qual atividade exerce na cooperativa? Você pode marcar mais de uma, se for o caso.

( ) Coleta dos resíduos ( ) Descarregamento dos resíduos dos caminhões

( ) Separação dos resíduos ( ) Carregamento das bags

( ) Compactação dos resíduos ( ) Transferência dos resíduos com empilhadeira

( ) Outro

Se outro, cite: \_\_\_\_\_

8. Há quanto tempo trabalha nessa atividade?

( ) Menos de 1 ano ( ) 2 anos ( ) 3 anos ( ) 4 anos ( ) 5 ou mais anos

8.1 Quantos dias na semana?

---

8.2 Quantas horas por dia?

---

9. Fuma atualmente?

( ) Sim ( ) Não

9.1 Se a resposta a questão 9 foi sim, quantos cigarros você fuma por dia?

---

9.2 Se a resposta a questão 9 foi não, já teve hábito de fumar?

Sim  Não

**10. Com que idade começou a fumar?**

---

**11. Com que idade parou de fumar?**

---

**12. Já fumou mais de um cigarro por dia por mais de 1 ano?**

Sim  Não

**13. Toma bebida alcoólica?**

Nunca bebe  Bebe no final de semana  Bebe algumas vezes na semana

Bebe todos os dias

**14. Faz algum tipo de atividade física rotineira? Como correr, andar de bicicleta, academia etc.**

Sim  Não

**14.1 Se a resposta acima foi sim, qual a frequência?**

1 vez na semana  2 ou mais vezes na semana

**15. Qual o meio de transporte que utiliza para chegar ao trabalho?**

Carro  Moto  Ônibus  Outro

**16. Em qual região de Londrina mora?**

Norte  Sul  Leste  Oeste  Central

**16.1 Quanto tempo demora para chegar na cooperativa?**

---

**17. Qual é o tipo de construção da sua residência?**

Alvenaria  Madeira  Outro

**18. Há quanto tempo mora nesse mesmo local?**

Menos de 1 ano  2 anos  3 anos  4 anos  5 ou mais anos

**19. Utiliza-se atualmente em sua residência de fogão a lenha, carvão ou madeira?**

Sim  Não

**20. Próximo a sua residência há fábricas, indústrias ou grandes construções que liberam muita fumaça ou poeira?**

Sim  Não

**21. São fornecidos pela cooperativa os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)?**

Sim  Não



**22. Quais EPIs você usa no seu trabalho?****22.1 Luvas Qual a frequência?**

( ) Sim ( ) Não ( ) 1 e/ou 2 dias por semana ( ) 3 dias por semana ( ) 4 dias por semana ( ) 5 dias por semana

**22.2 Máscara Qual a frequência?**

( ) Sim ( ) Não ( ) 1 e/ou 2 dias por semana ( ) 3 dias por semana ( ) 4 dias por semana ( ) 5 dias por semana

**22.3 Óculos Qual a frequência?**

( ) Sim ( ) Não ( ) 1 e/ou 2 dias por semana ( ) 3 dias por semana ( ) 4 dias por semana ( ) 5 dias por semana

Se outros, cite: \_\_\_\_\_

**23. Já foi vítima de acidentes no seu ambiente de trabalho?**

( ) Sim ( ) Não

**23.1 Se a resposta acima foi sim, estava usando os EPIs no momento do acidente?**

( ) Sim ( ) Não

**23.2 O acidente deixou sequelas?**

( ) Sim ( ) Não

**24. Existe fiscalização por parte da cooperativa quanto ao uso de EPIs?**

( ) Sim ( ) Não

**25. Por parte da cooperativa, há alguma punição por não usar os EPIs quando eles tomam conhecimento que os coletores não estão utilizando-os?**

( ) Sim ( ) Não

**26. Por parte da cooperativa, há algum estímulo para que adquiram o hábito de usar os EPIs, quando eles tomam conhecimento que os coletores não estão utilizando-os?**

( ) Sim ( ) Não

**27. Os EPIs são trocados quando os mesmos não se encontram em boas condições de uso?**

( ) Sim ( ) Não

**28. Adquire por conta própria os EPIs quando eles não são fornecidos pela cooperativa?**

( ) Sim ( ) Não

**29. Tem conhecimento sobre a importância do uso de EPIs?**

( ) Sim ( ) Não

**30. Tem algum problema de saúde? Faz tratamento contínuo?**

( ) Sim ( ) Não

**30.1 Se a resposta acima foi sim, qual o seu problema de saúde?**

---

**31. Toma algum medicamento regularmente?**

( ) Sim ( ) Não

**31.1 Se a resposta acima foi sim, qual medicamento?**

---

**32. Sente dor no corpo e cansaço durante e/ou após o trabalho?**

( ) Sim ( ) Não

**32.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**33. Sente dor de cabeça?**

( ) Sim ( ) Não

**33.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**34. Sente febre?**

( ) Sim ( ) Não

**34.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**35. Sente coceira nos olhos e/ou na pele?**

( ) Sim ( ) Não

**35.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**35.2 Sente alguma alergia ou alteração na pele?**

( ) Sim ( ) Não

**36. Sente dor de estômago?**

( ) Sim ( ) Não

**36.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**37. Tem algum mal-estar durante o trabalho?**

( ) Sim ( ) Não

**37.1 Se a resposta acima foi sim, com qual frequência?**

---

**38. Teve nos últimos anos alguma doença que o obrigou a se afastar do trabalho por mais de uma semana?**

( ) Sim ( ) Não

**38.1 Se a resposta acima foi sim, qual o diagnóstico dado pelo médico?**

---

**39. Costuma tossir por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

( ) Sim ( ) Não

**40. Costuma tossir logo ao acordar pela manhã por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

( ) Sim ( ) Não

**41. Costuma tossir durante o dia e/ou a noite por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

( ) Sim ( ) Não

**42. Há quanto tempo vem tendo essa tosse? (meses)**

---

**43. Costuma expectorar (catarro) por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

( ) Sim ( ) Não

**44. Costuma expectorar (catarro) ao acordar, e a expectoração (catarro) vem do peito?**

( ) Sim ( ) Não

**45. Costuma expectorar (catarro) durante o dia e/ou noite?**

( ) Sim ( ) Não

**46. Há quanto tempo vem tendo essa expectoração? (meses)**

---

**47. Sente falta de ar por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

( ) Sim ( ) Não

**48. Tem crises de falta de ar?**

( ) Sim ( ) Não

**48.1 Se a resposta acima foi sim, costuma ter falta de ar nos intervalos das crises?**

Sim  Não

**49. Já sentiu falta de ar quando subia alguma ladeira ou durante exercício intenso?**

Sim  Não

**50. Sente falta de ar quando está andando no plano?**

Sim  Não

**51. De 1 ano para cá, tem tido chiado no peito por um período de pelo menos 3 meses, que não precisam ser consecutivos, ao ano?**

Sim  Não

**51.1 Se a resposta a questão 51 foi sim, tem somente quando está resfriado?**

Sim  Não

**51.2 Se a resposta a questão 51 foi sim, tem chiado ocasionalmente, mesmo sem estar resfriado?**

Sim  Não

**52. Tem chiado na maioria dos dias e/ou das noites?**

Sim  Não

**53. Tem mais crises de falta de ar e chiado em meses frios?**

Sim  Não

**54. Tem escorrimento ou irritação no nariz frequentemente?**

Sim  Não

**55. Teve nos últimos anos alguma doença respiratória que o obrigou a se afastar do trabalho/estudo por mais de uma semana?**

Sim  Não

**55.1 Se a resposta acima foi sim, durante a doença teve mais catarro que normalmente apresenta?**

Sim  Não

**55.2 Qual o diagnóstico dado pelo médico?**

---

## APÊNDICE C – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

Tabela C1 – Percentuais (%) referentes as características gerais e situações potenciais de exposição dos grupos controle (UTFPR) e exposto (cooperativa) aos poluentes atmosféricos fora do ambiente de trabalho.

	<b>Grupo controle (%)</b>	<b>Grupo exposto (%)</b>		<b>Grupo controle (%)</b>	<b>Grupo exposto (%)</b>
<b>Escolaridade</b>			<b>Tipo de construção da residência</b>		
Fundamental completo	4,2	5,1	Alvenaria	100,0	87,2
Fundamental incompleto	16,7	51,3	Madeira	0,0	10,3
Ensino médio completo	8,3	28,2	Outro	0,0	2,6
Ensino médio incompleto	12,5	10,3	<b>Tempo de moradia</b>		
Graduação completa	54,2	5,1	Menos de 1 ano	20,8	10,3
Graduação incompleta	4,2	0,0	2 anos	12,5	15,4
<b>Meio de transporte</b>			3 anos	4,2	5,1
Carro	50,0	15,4	4 anos	8,3	7,7
Moto	4,2	7,7	5 ou mais anos	54,2	61,5
Ônibus	16,7	66,7	<b>Uso de fogão a lenha, carvão ou madeira</b>		
Outro	29,2	10,2	Sim	4,2	15,8
<b>Tempo no trânsito</b>			Não	95,8	84,2
0-10 minutos	16,7	10,5	<b>Presença de indústrias ou construções</b>		
11-20 minutos	50,0	21,1	Sim	16,7	30,8
21-30 minutos	12,5	7,9	Não	83,3	69,2
31-40 minutos	12,5	21,1			
Mais de 40 minutos	8,3	39,5			

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela C2 – Percentuais (%) referentes a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) do grupo exposto (cooperativa).

<b>Grupo exposto (%)</b>		<b>Grupo exposto (%)</b>	
<b>Uso de EPIs</b>		<b>Uso de EPIs no momento do acidente</b>	
Luva	87,2	Sim	73,7
Máscara	71,8	Não	26,3
Óculos de proteção	71,8	<b>Sequelas do acidente</b>	
Outro	53,8	Sim	21,4
<b>Acidente de trabalho</b>		Não	78,6
Sim	48,7	<b>Reconhece a importância dos EPIs</b>	
Não	51,3	Sim	94,9
		Não	5,1

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela C3 – Percentuais (%) referentes a aspectos relacionados a saúde dos grupos controle (UTFPR) e exposto (cooperativa).

	<b>Grupo controle (%)</b>	<b>Grupo exposto (%)</b>		<b>Grupo controle (%)</b>	<b>Grupo exposto (%)</b>
<b>Fumante</b>			<b>Sintomas do sistema circulatório</b>		
Sim	0,0	23,1	Sim	66,7	76,9
Não	100,0	76,9	Não	33,3	23,1
<b>Ex-fumante</b>			<b>Coceira nos olhos e/ou pele e alergia na pele</b>		
Sim	12,5	26,7	Sim	12,5	53,8
Não	87,5	73,3	Não	87,5	46,2
<b>Fumou mais de um cigarro por dia por mais de um ano</b>			<b>Dor de estômago</b>		
Sim	66,7	87,5	Sim	12,5	25,6
Não	33,3	12,5	Não	87,5	74,4
<b>Consumo de bebidas alcoólicas</b>			<b>Sintomas crônicos do sistema respiratório</b>		
Nunca	45,8	65,8	Sim	8,3	43,6
Somente no final de semana	41,7	26,3	Não	91,7	56,4
Algumas vezes na semana	12,5	5,3	<b>Outros sintomas do sistema respiratório</b>		
Todos os dias	0,0	2,6	Sim	25,0	38,5
<b>Atividade física rotineira</b>			Não	75,0	61,5
Sim	58,3	35,9	<b>Falta de ar ao subir ladeira ou durante exercício intenso</b>		
Não	41,7	64,1	Sim	70,8	51,3
<b>Problema de saúde</b>			Não	29,2	48,7
Sim	17,4	23,1	<b>Afastamento por mais de uma semana por doença</b>		
Não	82,6	76,9	Sim	0,0	30,8
<b>Consumo regular de medicamentos</b>			Não	100,0	69,2
Sim	41,7	38,5	<b>Afastamento por mais de uma semana por doença respiratória</b>		
Não	58,3	61,5	Sim	0,0	10,3
			Não	100,0	89,7

Fonte: Autoria própria (2019).

## APÊNDICE D – RESULTADOS DO HEMOGRAMA COMPLETO, FERRITINA E PROTEÍNA C REATIVA

Tabela D1 – Estatística descritiva para os parâmetros do hemograma completo, ferritina 5 e proteína C reativa 32.

Parâmetros	Intervalos de referência	Grupo de estudo	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
RBC <sup>(1)</sup> (10 <sup>6</sup> .µL <sup>-1</sup> )	3,5-5,5	Controle	4,1	4,6	4,7	5,4
		Exposto	3,7	4,5	4,6	5,9
HGB <sup>(2)</sup> (g.dL <sup>-1</sup> )	11,0-16,0	Controle	12,2	13,9	14,1	17,0
		Exposto	10,4	13,5	13,7	16,3
HCT <sup>(3)</sup> (%)	37,0-54,0	Controle	39,0	42,6	43,0	51,3
		Exposto	32,1	41,0	41,8	48,2
MCV <sup>(4)</sup> (fL) <sup>(5)</sup>	80,0-100,0	Controle	83,7	91,5	91,7	98,9
		Exposto	80,1	90,5	90,6	100,7
MCH <sup>(6)</sup> (pg) <sup>(7)</sup>	27,0-34,0	Controle	25,9	30,4	30,1	32,3
		Exposto	25,3	29,9	29,6	33,2
MCHC <sup>(8)</sup> (g.dL <sup>-1</sup> )	32,0-36,0	Controle	30,6	33,0	32,8	34,4
		Exposto	31,1	32,6	32,7	35,2
RDW-SD <sup>(9)</sup> (fL)	35,0-56,0	Controle	39,2	42,1	42,7	47,5
		Exposto	37,2	43,0	42,7	47,1
RDW-CV <sup>(10)</sup> (%)	11,0-16,0	Controle	12,2	13,0	13,1	15,6
		Exposto	12,3	13,3	13,3	14,9
WBC <sup>(11)</sup> (10 <sup>3</sup> .µL <sup>-1</sup> )	4,0-10,0	Controle	3,3	6,0	5,9	8,6
		Exposto	4,1	6,4	6,6	10,1
Neutrófilos (%)	50,0-70,0	Controle	28,4	55,9	53,4	67,8
		Exposto	30,2	60,4	58,8	74,8
Eosinófilos (%)	0,5-5,0	Controle	0,7	2,5	2,8	5,7
		Exposto	0,4	2,0	3,1	20,3
Basófilos (%)	0,0-1,0	Controle	0,2	0,4	0,5	1,4
		Exposto	0,2	0,4	0,5	1,2
Linfócitos (%)	20,0-40,0	Controle	25,7	34,9	36,4	59,3
		Exposto	16,2	29,4	31,6	62,6
Monócitos (%)	3,0-12,0	Controle	4,0	6,6	6,9	10,3
		Exposto	3,5	5,5	6,1	11,7
IMG <sup>(12)</sup> (%)	0,0-1,5	Controle	0,0	0,1	0,1	0,4
		Exposto	0,0	0,1	0,2	1,0
PLT <sup>(13)</sup> (10 <sup>3</sup> .µL <sup>-1</sup> )	150,0-400,0	Controle	159,0	249,0	250,5	404,0
		Exposto	168,0	256,5	258,7	444,0
Ferritina 5 (ng.mL <sup>-1</sup> )	10,0-291,0 <sup>(15)*</sup>	Controle	12,8	89,8	85,1	206,7
	22,0-322,0 <sup>(16)*</sup>	Exposto	8,1	90,4	108,0	309,5
PCR <sup>(14)</sup> 32 (mg.L <sup>-1</sup> )	< 10,0 <sup>(17)*</sup>	Controle	0,2	1,8	3,9	21,4
		Exposto	0,2	2,1	4,5	24,0

Fonte: Autoria própria (2019).

(<sup>1</sup>) RBC = Contagem de Glóbulos Vermelhos; (<sup>2</sup>) HGB = Hemoglobina; (<sup>3</sup>) HCT = Hematócrito; (<sup>4</sup>) MCV = Volume Corpuscular Médio; (<sup>5</sup>) fL = Femtolitros (10<sup>-15</sup> L); (<sup>6</sup>) MCH = Hemoglobina Corpuscular Média; (<sup>7</sup>) pg = Picogramas (10<sup>-15</sup> kg); (<sup>8</sup>) MCHC = Concentração Média de Hemoglobina Corpuscular; (<sup>9</sup>) RDW-SD = Amplitude da Distribuição dos Glóbulos Vermelhos Medido pelo Desvio Padrão; (<sup>10</sup>) RDW-CV = Amplitude da Distribuição dos Glóbulos Vermelhos Medido pelo Coeficiente de Variação; (<sup>11</sup>) WBC = Contagem de Glóbulos Brancos; (<sup>12</sup>) IMG = Imunoglobulina M; (<sup>13</sup>) PLT = Plaquetas; (<sup>14</sup>) PCR = Proteína C Reativa; (<sup>15</sup>) 10,0-291,0 = para mulheres; (<sup>16</sup>) 22,0-322,0 = para homens; (<sup>17</sup>) < 10,0 = negativo para doenças inflamatórias na fase aguda; \* valores de referência do Laboratório Hermes Pardini.