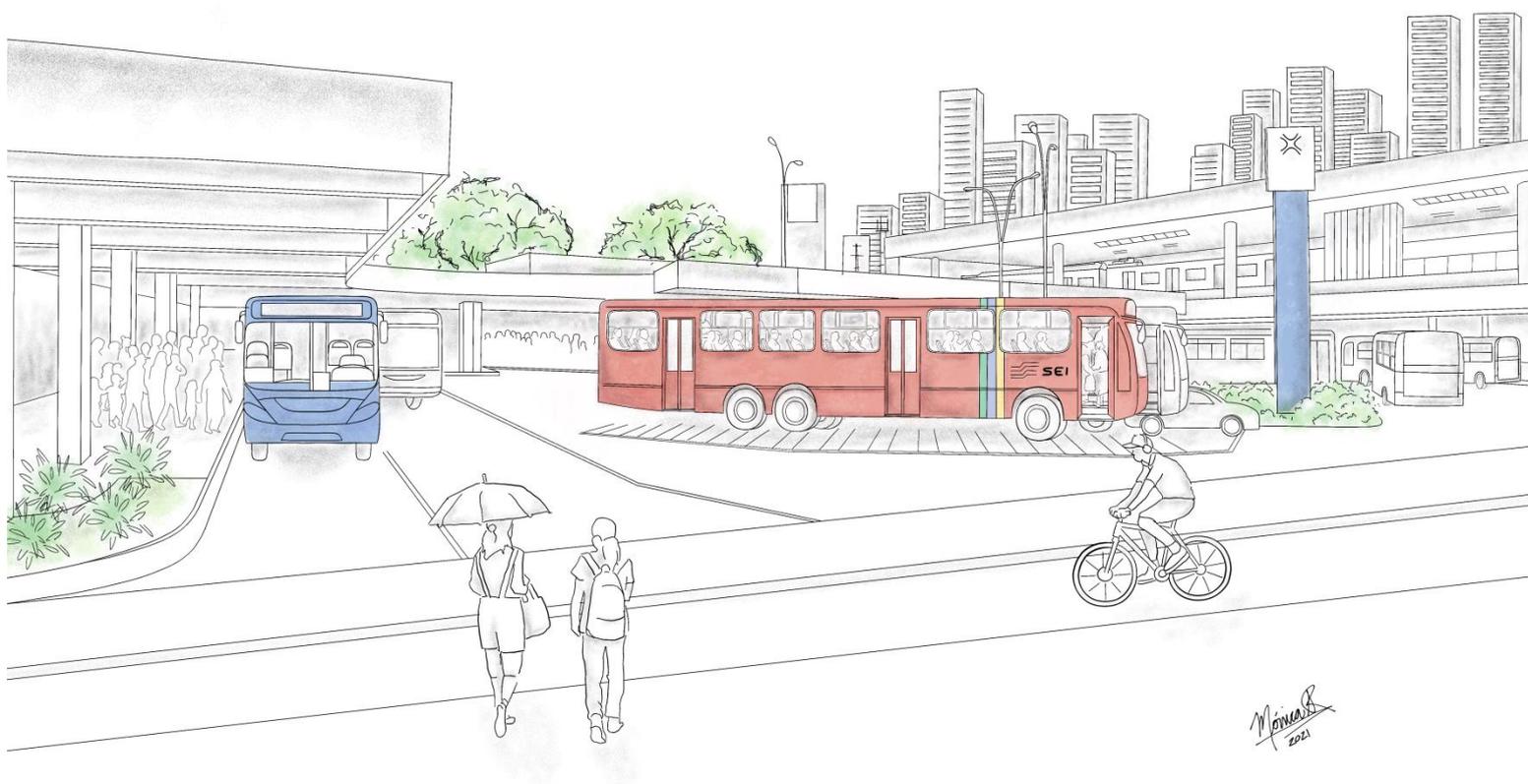




**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

TAMIRES GABRYELE DE LIMA MENDES

**QUALIDADE DO AR E A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS NOS TERMINAIS DE
PASSAGEIROS DO RECIFE-PE**



RECIFE

2021

TAMIRES GABRYELE DE LIMA MENDES

**QUALIDADE DO AR E A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS NOS TERMINAIS DE
PASSAGEIROS DO RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestra em geografia.

Área de concentração: Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas.

Orientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega

Coorientadora: Profa. Dra. Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni

RECIFE

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

M538q Mendes, Tamires Gabryele de Lima.

Qualidade do ar e a percepção dos usuários nos terminais de passageiros do Recife-PE / Tamires Gabryele de Lima Mendes. – 2021.

179 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.

Coorientadora: Profª. Drª. Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamporini.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2021.

Inclui referências e apêndice.

1. Geografia. 2. Planejamento urbano – Fatores climáticos. 3. Ar – Poluição. 4. Ar – Controle de qualidade. 5. Terminais rodoviários – Recife (PE). I. Nóbrega, Ranyére Silva (Orientador). II. Zamporini, Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira (Coorientadora). III. Título.

910 CDD (22. ed.)

(BCFCH2022-063)

TAMIRES GABRYELE DE LIMA MENDES

**QUALIDADE DO AR E A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS NOS TERMINAIS DE
PASSAGEIROS DO RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestra em geografia. Área de concentração: regionalização e análise regional.

Aprovada em: 23/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

*Dedico este trabalho
Aos meus pais
por toda dedicação e incentivo;
pelo amor e dedicação;
e ao meu irmão,
pela união em nossa caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Ranyére Nóbrega, pela confiança e pelas oportunidades que me foram dadas durante a minha caminhada acadêmica, na qual ele sempre esteve presente, apoiando-me e deixando-me livre em minhas escolhas. Aqui, eu deixo o meu respeito e a minha admiração.

Aos meus pais, que vivenciaram esse momento, apoiando-me e dando-me palavras de conforto quando eu já estava cansada. Agradeço ao meu pai pela paciência e pelo carinho de ter ido comigo coletar os dados e à minha mãe por sempre me aconselhar. Aqui deixo meu amor e carinho por vocês.

Ao meu amado irmão, Thiago Mendes, e à minha cunhada, Talita, pelo apoio durante a realização deste trabalho e por entenderem as ausências e estresses em alguns momentos. Aos meus sobrinhos, que foram meus refúgios para acalmar os ânimos em dias improdutivos.

Aos meus amigos do mestrado Nivaldo Lemos, Camilla Monte, Diego Santos e John Kennedy. A vida acadêmica é solitária, mas a companhia de vocês tornou essa jornada incrível. Obrigada por partilharem risos, comidas, estudos e histórias. Além disso, aprendi muito com vocês.

Ao meu amigo Jaelson Mello só tenho que agradecer por sempre me apoiar e me escutar, tanto sobre as histórias acadêmicas como as da vida por 7 anos. Gratidão e amor.

À minha amiga Uiliana por sua amizade tão dedicada, por sempre me ouvir mesmo sem entender do assunto e por acreditar no meu potencial. Dentro das crises, as amizades florescem.

Ao meu amigo Stephano por ter me ajudado com a conversão do MP e em alguns pontos sobre química. Muito obrigada!

À minha Coorientadora, Cleuza Zamparoni, obrigada! Pelo incentivo, pelo auxílio e por todo o carinho. Desde a elaboração do projeto, sua contribuição foi essencial.

À minha querida Ayobami Badiru, um ser tão maravilhoso e com tanta bondade. Obrigada por me incentivar a alçar voos maiores na vida acadêmica e pela sua contribuição.

Aos membros do Tropoclima, Ayobami Badiru, Lillian dos Anjos, Rafael dos Anjos, Pedro Santos e Tanelly Santos, pessoas maravilhosas que acompanharam e ajudaram no processo de construção desse trabalho desde o começo. Minha gratidão!

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa que permitiu minha dedicação exclusiva ao mestrado.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

(KING, 2020, p. 65)

RESUMO

Esta pesquisa objetivou avaliar a qualidade do ar nos Terminais Integrados (TIS) de passageiros do Recife e do seu entorno. Buscou-se, também, verificar a influência das variáveis climáticas como temperatura, umidade do ar e direção/velocidade dos ventos nas concentrações de Material particulado (MP). Foram coletadas amostras de espessuras 0,3 μ m, 0,5 μ m, 1,0 μ m, 2,5 μ m, 5,0 μ m, e 10 μ m através do contador de partículas. As coletas do MP ocorreram das 07h30 às 18h, no período seco, compreendido nas estações primavera-verão de 2018-2019. O trabalho foi realizado em seis terminais com estrutura semiaberta, contabilizando uma coleta por período, sendo eles TI Macaxeira, TI Barro, TI Aeroporto, TI Tancredo Neves e TI Caxangá, os quais apresentaram características ambientais e dinâmicas urbanas diferenciadas. Após a quantificação do MP nos locais, foram elaboradas fichas com as condições meteorológicas e feita a verificação da qualidade do ar por MP em três etapas: análise do local por contagem das partículas; conversão em micrograma por metro cúbico, examinando a concentração por período de amostragem do local; e análise em escala meso (Recife) a partir do aplicativo *Nullscholl*. E, por fim, a classificação de acordo com a tabela de Índice Geral de Qualidade do Ar (IQA). Além da mensuração dos materiais particulados, verificou-se a morfologia urbana e a percepção dos usuários sobre a temática da poluição do ar. Os resultados apontaram para uma concentração e uma dispersão do MP dependentes das variáveis climáticas e dos obstáculos fixos (morfologia urbana). Com isso, classificou-se o TI Caxangá, TI Joana Bezerra, TI Barro, TI Aeroporto e TI Tancredo Neves como terminais de dispersão, assim como os bairros em seu entorno (Caxangá, Ilha de Joana Bezerra, Jardim São Paulo, Boa viagem e Imbiribeira) e o TI Macaxeira como de concentração, e o bairro mais próximo também como Córrego do Jenipapo. Esse resultado é baseado nos pontos de coletas, que são influenciados por essas localidades. Nos resultados, a partir do indicador de qualidade do ar do MP, concluiu-se que nos dias das coletas, todos os TIS estavam com a qualidade do ar boa, não ultrapassando o valor permitido pela legislação federal. Ainda, as percepções dos usuários, por meio dos questionários, evidenciaram uma insuficiência de entendimento sobre questões ambientais, precisamente sobre a poluição do ar.

Palavras-chave: Clima urbano; Poluição do ar; Qualidade do ar; Material particulado; Morfologia urbana; Terminal integrado; Terminal de passageiros; Recife.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the air quality in the Integrated Terminals (ITS) of passengers in Recife and its surroundings. It was also sought to verify the influence of climatic variables such as temperature, air humidity and wind direction/speed on the concentrations of particulate matter (PM). Samples of 0.3 μ m, 0.5 μ m, 1.0 μ m, 2.5 μ m, 5.0 μ m, and 10 μ m thickness were collected through the particle counter. PM collections took place from 7:30 am to 6 pm in the dry period, comprised in the spring-summer seasons of 2018-2019. The work was carried out in six terminals with semi-open structure, accounting for a collection per period, which were Macaxeira IT, Barro IT, Aeroporto IT, Tancredo Neves IT and Caxangá IT, which presented different environmental characteristics and urban dynamics. After quantifying the PM at the sites, sheets were prepared with meteorological conditions and the air quality was verified by PM in three steps: site analysis by particle counting; conversion into microgram per cubic meter, examining the concentration by site sampling period; and analysis in a meso scale (Recife) from the Nullscholl application. And finally, the classification according to the General Air Quality Index (IQA) table. In addition to the measurement of particulate materials, the urban morphology and the perception of users on the theme of air pollution were verified. The results pointed to a concentration and dispersion of PM dependent on climatic variables and fixed obstacles (urban morphology). Thus, Caxangá IT, Joana Bezerra IT, Barro IT, Aeroporto IT and Tancredo Neves IT were classified as dispersion terminals, as well as the surrounding neighborhoods (Caxangá, Joana Bezerra Island, Jardim São Paulo, Boa Viagem and Imbiribeira) and Macaxeira IT as a concentration, and also the nearest neighborhood as Córrego do Jenipapo. This result is based on collection points, which are influenced by these locations. In the results, based on the MP air quality indicator, it was concluded that on the days of collections, all ITs had good air quality, not exceeding the value of allowed by federal legislation. Still, the users' perceptions through the questionnaires showed a lack of understanding about environmental issues, precisely about air pollution.

Keywords: Urban climate; Air pollution; Air quality; Particulate matter; Urban morphology; Integrated terminal; Passenger terminal; Recife.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema Clima Urbano	25
Figura 2- Camadas a partir da superfície urbana.	27
Figura 3- Características das escalas de movimento do ar	29
Figura 4- Ilustração da Camada limite Planetária.	30
Figura 5- Atributos de diferença de escala atmosférica superior para inferior.	31
Figura 6- Níveis de escala na dimensão da morfologia urbana.	33
Figura 7- Relação entre forma urbana, edificação e ventilação natural	34
Figura 8- A influência da construção no fluxo de ar na dispersão de poluentes	36
Figura 9- Troca de turbulência de vento em ruas estreitas e largas.	37
Figura 10- Classificação de poluentes	40
Figura 11- Fontes dos principais poluentes.	41
Figura 12- Classificação de partículas de acordo com suas origens	45
Figura 13- Comparação do MP e como essa exposição de inalação age nos seres humanos	57
Figura 14- Localização da área de estudo no estado de Pernambuco destacando a cidade do Recife e a distribuição dos TIS.	63
Figura 15- Mapa do Relevo do Recife-PE	64
Figura 16- Distribuição total pluviométrica média mensal na cidade do Recife no período de 1962 a 2017.	65
Figura 17- Distribuição dos TIS selecionados para coleta de dados.	67
Figura 18- Localização e descrição do TI Macaxeira e sua estrutura interna	68
Figura 19- Terminal Integrado Macaxeira e suas elevações de terreno	69
Figura 20- TI Macaxeira e elevação sentido oceano.	70
Figura 21- Localização e descrição do TI Barro e sua estrutura interna	71
Figura 22- TI Barro e elevação sentido oceano	72
Figura 23- Localização e descrição do TI Aeroporto e sua estrutura interna	73
Figura 24- TI Aeroporto e elevação sentido oceano	74
Figura 25- Localização e descrição do TI Joana Bezerra e sua estrutura interna	75
Figura 26- TI Joana Bezerra e elevação sentido oceano.	76
Figura 27- Localização e descrição do TI Tancredo Neves e sua estrutura interna	77
Figura 28- TI Tancredo Neves e elevação sentido oceano	78
Figura 29- Localização e descrição do TI Caxangá e sua estrutura interna	79
Figura 30- TI Caxangá e elevação sentido oceano	80
Figura 31- Representação esquemática da metodologia para elaboração da dissertação	82
Figura 32- Atributos observacionais de um lugar para análise de poluentes.	87

Figura 33- Esquema de conversão de dados com Software Excel 2010.	91
Figura 34- <i>Software</i> WRPLOT View 8.0.2.	94
Figura 35- Condições do entorno TI Macaxeira 2018.	97
Figura 36- Condições sinóticas TI Macaxeira 2018.	97
Figura 37- Temperatura e umidade TI Macaxeira 2018.	97
Figura 38- Direção e velocidade do vento TI Macaxeira 2018.	97
Figura 39- Representação esquemática da distribuição do vento.	98
Figura 40- MP no local TI Macaxeira 2018.	99
Figura 41- Conversão do MP TI Macaxeira 2018.	99
Figura 42- Dados do <i>Nullscholl</i> TI Macaxeira 2018.	99
Figura 43- Condições do entorno TI Macaxeira 2019.	101
Figura 44- Condições sinóticas TI Macaxeira 2019.	101
Figura 45- Temperatura e umidade TI Macaxeira 2019.	101
Figura 46- Direção e velocidade TI Macaxeira 2019.	101
Figura 47- Representação esquemática da distribuição do vento.	102
Figura 48- MP do local TI Macaxeira 2019.	103
Figura 49- Conversão do MP TI Macaxeira 2019.	103
Figura 50- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	103
Figura 51- Condições do entorno TI Barro 2018.	105
Figura 52- Condições sinóticas TI Barro 2018.	105
Figura 53- Temperatura e umidade TI Barro 2018.	105
Figura 54- Direção e velocidade do vento TI Barro 2018.	105
Figura 55- Representação esquemática.	106
Figura 56- MP do local TI Barro 2018.	107
Figura 57- Conversão do MP TI Barro 2018.	107
Figura 58- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	107
Figura 59- Condição do entorno TI Barro 2019.	109
Figura 60- Condições sinóticas TI Barro 2019.	109
Figura 61- Temperatura e umidade TI Barro 2019.	109
Figura 62- Direção e velocidade do vento TI Barro 2019.	109
Figura 63- Representação esquemática.	110
Figura 64- MP do local TI Barro 2019.	111
Figura 65- Conversão do MP TI Barro 2019.	111
Figura 66- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	111
Figura 67- Condições do entorno TI Aeroporto 2018.	113
Figura 68- Condições sinóticas TI Aeroporto 2018.	113
Figura 69- Temperatura e umidade TI Aeroporto 2018.	113

Figura 70- Direção e velocidade do vento TI Aeroporto 2018.	113
Figura 71- Representação esquemática.	114
Figura 72- MP do local TI Aeroporto 2018.....	115
Figura 73- Conversão do MP TI Aeroporto 2018.....	115
Figura 74- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.....	115
Figura 75- Condições do entorno TI Aeroporto 2019.....	117
Figura 76- Condições sinóticas TI Aeroporto 2019.....	117
Figura 77- Temperatura e umidade TI Aeroporto 2019.....	117
Figura 78- Direção e velocidade do vento TI Aeroporto 2019.	117
Figura 79- Representação esquemática.	118
Figura 80- MP do local TI Aeroporto 2019.....	119
Figura 81- Conversão do MP TI Aeroporto 2019.....	119
Figura 82- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia	119
Figura 83- Condições do entorno TI Joana Bezerra 2018.....	121
Figura 84- Condições sinóticas TI Joana Bezerra 2018.....	121
Figura 85- Temperatura e Umidade TI Joana Bezerra 2018.....	121
Figura 86- Direção e velocidade do vento TI Joana Bezerra 2018.	121
Figura 87- Representação esquemática.	122
Figura 88- MP do Local TI Joana Bezerra 2018.....	123
Figura 89- Conversão do MP no TI Joana Bezerra 2018.....	123
Figura 90- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.....	123
Figura 91- Condições do entorno TI Joana Bezerra 2019.....	125
Figura 92- Condições sinóticas TI Joana Bezerra 2019.....	125
Figura 93- Temperatura e umidade TI Joana Bezerra 2019.....	125
Figura 94- Direção e velocidade do vento TI Joana Bezerra 2019.	125
Figura 95- Representação esquemática.	126
Figura 96- MP do local TI Joana Bezerra 2019.....	127
Figura 97- Conversão do MP TIB 2019.	127
Figura 98- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.....	127
Figura 99- Condições do entorno TI Tancredo Neves 2018.	129
Figura 100- Condições sinóticas TI Tancredo Neves 2018.	129
Figura 101- Temperatura e umidade TI Tancredo Neves 2018	129
Figura 102- Direção e velocidade do vento TI Tancredo Neves 2018.....	129
Figura 103- Representação esquemática	130
Figura 104- MP do local TI Tancredo Neves 2018.	131
Figura 105- Conversão do MP no TI Tancredo Neves 2018	131
Figura 106- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.....	131

Figura 107- Condições do entorno TI Tancredo Neves 2019.	133
Figura 108- Condições sinóticas TI Tancredo Neves 2019.	133
Figura 109- Temperatura e umidade TI Tancredo Neves 2019.	133
Figura 110- Direção e velocidade do Vento TI Tancredo Neves 2019.	133
Figura 111- Representação esquemática.	134
Figura 112- MP do local TI Tancredo Neves 2019.	135
Figura 113- Conversão do MP no TI Tancredo Neves 2019.	135
Figura 114- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	135
Figura 115- Condições do entorno TI Caxangá 2018.	137
Figura 116- Condições sinóticas TI Caxangá 2018.	137
Figura 117- Temperatura e umidade TI Caxangá 2018.	137
Figura 118- Direção e velocidade do Vento TI Caxangá 2018.	137
Figura 119- Representação esquemática.	138
Figura 120- MP do local TI Caxangá 2018.	139
Figura 121- Conversão do MP TI Caxangá 2018.	139
Figura 122- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	139
Figura 123- Condições do entorno TI Caxangá 2019.	141
Figura 124- Condições sinóticas TI Caxangá 2019.	141
Figura 125- Temperatura e umidade TI Caxangá 2019.	141
Figura 126- Direção e velocidade do vento TI Caxangá 2019.	141
Figura 127- Representação esquemática.	142
Figura 128- MP do local TI Caxangá 2019.	143
Figura 129- Conversão do MP TI Caxangá 2019.	143
Figura 130- Dados do <i>Nullscholl</i> do dia.	143
Figura 131- Distribuição da concentração do material particulado por dia nos TIS.	145
Figura 132- Modelagem espacial do fluxo horizontal dos ventos de acordo com a topografia.	147
Figura 133- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Joana Bezerra e seu entorno.	148
Figura 134- Modelo digital de superfície do TI Joana Bezerra destacando o corte Horizontal e Vertical	148
Figura 135- Perfil Horizontal e Vertical do TI Joana Bezerra.	149
Figura 136- Modelo de elevação digital de superfície do TI Joana Bezerra.	149
Figura 137- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Tancredo Neves e seu entorno.	150
Figura 138- Modelo digital de superfície do TI Tancredo Neves destacando o corte Horizontal e Vertical	151
Figura 139- Perfil Horizontal e Vertical do TI Tancredo Neves.	151
Figura 140- Modelo de elevação digital de superfície do TI Tancredo Neves.	152
Figura 141- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Aeroporto e seu entorno.	153

Figura 142- Modelo digital de superfície do TI Aeroporto destacando o corte Horizontal e Vertical.	153
Figura 143- Perfil Horizontal e Vertical do TI Aeroporto	154
Figura 144- Modelo de elevação digital de superfície do TI Aeroporto	155
Figura 145- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Barro e seu entorno	155
Figura 146- Modelo digital de superfície do TI Barro destacando o corte Horizontal e Vertical	156
Figura 147- Perfil Horizontal e Vertical do TI Barro.	156
Figura 148- Modelo de elevação digital de superfície do TI Barro	157
Figura 149- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Macaxeira e seu entorno.....	158
Figura 150- Modelo digital de superfície do TI Macaxeira destacando o corte Horizontal e Vertical.	159
Figura 151- Perfil Horizontal e Vertical do TI Macaxeira.....	159
Figura 152- Modelo de elevação digital de superfície do TI Macaxeira.....	160
Figura 153- Imagens do <i>Google Earth</i> em 3D do TI Caxangá e seu entorno	161
Figura 154- Modelo digital de superfície do TI Caxangá destacando o corte Horizontal e Vertical..	161
Figura 155- Perfil Horizontal e Vertical do TI Caxangá.....	162
Figura 156- Modelo de elevação digital de superfície do TI Caxangá.....	162
Figura 157- Classificação de zonas urbanas e elementos significativos dos locais.	163
Figura 158- Faixa etária dos participantes do questionário.....	164
Figura 159- Pergunta sobre motivação para utilizar o T.I.....	165
Figura 160- Pergunta sobre quanto tempo demora no T.I.....	165
Figura 161- Pergunta referente se houve transição em outro T.I.	166
Figura 162- Pergunta sobre o conceito de poluição do ar.	167
Figura 163- Perguntas referente à existência de poluição do ar em Recife e sobre MP.	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Elementos da morfologia urbana.....	33
Quadro 2- Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil resolução antiga.....	48
Quadro 3- Índice Geral de Qualidade do ar.....	50
Quadro 4- Índice geral de classificação de qualidade do ar.	52
Quadro 5- Qualidade do ar e os efeitos da saúde.	52
Quadro 6- Novo padrão de qualidade do ar.....	55
Quadro 7- Monitoramento da qualidade do ar nas diferentes regiões do Brasil.	59
Quadro 8- Qualidade do ar na Região Metropolitana do Recife.....	60
Quadro 9- Características dos equipamentos de medições utilizados no <i>in loco</i>	84
Quadro 10- Classificação da velocidade dos ventos - Escala <i>Beaufort</i>	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais fontes de Poluentes do ar.....	41
Tabela 2- Aspectos dos poluentes do ar.	43
Tabela 3- Divisão classificatória de MP.....	47
Tabela 4- Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90).	51
Tabela 5- Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações.	53
Tabela 6- Linhas do Terminal Integrado da Macaxeira.	68
Tabela 7- Linhas do Terminal Integrado do Barro.	71
Tabela 8- Linhas do Terminal Integrado do Aeroporto.....	73
Tabela 9- Linhas do Terminal Integrado de Joana Bezerra.	75
Tabela 10- Linhas do Terminal Integrado de Tancredo Neves	77
Tabela 11- Linhas do Terminal Integrado da Caxangá.	79
Tabela 12- Resumo das características dos Terminais integrados do Recife.	81
Tabela 13- Índice Geral de Qualidade do Ar – CETESB	95
Tabela 14- Perguntas referentes ao questionário aplicado nos terminais.	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRT	Bus Rapid Transit
CD	Ciclo diesel
CETESB	Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico
CICPAA	Controle da poluição das águas e do ar
CLP	Camada limite planetária
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
CVO _s	Composto orgânico volátil
CPRH	Agência pernambucana de meio ambiente e recursos hídricos
CPTEC	Centro de previsão de tempo e estudos climáticos
EPA	Proteção ambiental dos Estados Unidos
EUA	Estados Unidos da América
FMC	Fumaça
HC	Hidrocarbonetos
IBAMA	Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQ	Índice de qualidade
IQA	Índice de Qualidade do Ar
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Partículas Inaláveis

N ₂	Gás Nitrogênio
NO	Óxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	A soma do óxido nitrogênio e dióxido nitrogênio
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAN	Gases foto oxidantes - nitrato de peroxiacelito
PB	Chumbo
PF	Padrão Final
PI	Padrão Intermediário
PQAR	Padrão de Qualidade do ar
PROCONVE	Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PSI	Pollutant Standard Index
PTS	Partículas Totais em Suspensão
REMDI	Reserva Ecológica da mata de Dois Irmãos
RMQAR	Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para o Complexo Industrial e Portuário de Suape
RMR	Região Metropolitana do Recife
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RNEST	Refinaria Abreu e Lima
SCU	Sistema Clima Urbano
SEI	Sistema Estrutural Integrado
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TI	Terminal Integrado

TIS	Terminais Integrados
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	The Urban Boundary Layer
UFRPE	Universidade Rural Federal de Pernambuco
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
ZCAS	Zona de Convergencia do Atlantico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	Objetivo geral.....	23
1.1.2	Objetivos específicos.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	CLIMA URBANO.....	24
2.2	A POLUIÇÃO DO AR.....	38
2.3	MATERIAL PARTICULADO E SUA CLASSIFICAÇÃO.....	44
2.4	PADRÃO DE QUALIDADE DO AR COM BASE NA RESOLUÇÃO DO CONAMA.....	48
2.5	POLUIÇÃO DO AR E OS SEUS EFEITOS À SAÚDE	55
2.6	ESTUDOS DE POLUIÇÃO.....	57
3	ÁREA DE ESTUDO	63
3.1	LOCALIZAÇÃO	63
3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	63
3.2.1	Relevo.....	63
3.2.2	Clima.....	64
3.3	CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS	66
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS TERMINAIS INTEGRADOS.....	66
4	MATERIAIS E MÉTODOS	82
4.1	PREPARAÇÃO	83
4.1.1	Mapeamento da área	83
4.1.2	Ponto fixo.....	83
4.1.3	Instrumentação	83
4.2	OBTENÇÃO DE DADOS	85
4.3	MÉTODO	86
4.3.1	Fichas dos terminais	86
4.3.2	Morfologia urbana.....	87
4.3.3	Questionários	87
4.4	TRATAMENTO DOS DADOS	88
4.4.1	Procedimento de conversão de contagem de MP.....	88
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96

5.1	ANÁLISE FICHA 01 – TI MACAXEIRA 2018	98
5.2	ANÁLISE FICHA 02 – TI MACAXEIRA 2019	102
5.3	ANÁLISE FICHA 03 – TI BARRO 2018.....	106
5.4	ANÁLISE FICHA 04 – TI BARRO 2019.....	110
5.5	ANÁLISE FICHA 05- TI AEROPORTO 2018	114
5.6	ANÁLISE FICHA 06 – TI AEROPORTO 2019	118
5.7	ANÁLISE FICHA 07 – TI JOANA BEZERRA 2018	122
5.8	ANÁLISE FICHA 08- TI JOANA BEZERRA 2019.....	126
5.9	ANÁLISE FICHA 09- TI TANCREDO NEVES 2018	130
5.10	ANÁLISE FICHA 10 – TI TANCREDO NEVES 2019.....	134
5.11	ANÁLISE FICHA 11 – TI CAXANGÁ 2018	138
5.12	ANÁLISE FICHA 12 – TI CAXANGÁ 2019	142
5.13	MORFOLOGIA URBANA E VENTILAÇÃO.....	146
5.13.1	Morfologia urbana do TI Joana Bezerra	147
5.13.2	Morfologia urbana do TI Tancredo Neves.....	150
5.13.3	Morfologia urbana do TI Aeroporto	152
5.13.4	Morfologia urbana do TI Barro	155
5.13.5	Morfologia urbana do TI Macaxeira	157
5.13.6	Morfologia urbana do TI Caxangá	160
5.14	PERCEPÇÃO DOS PASSAGEIROS NOS TERMINAIS INTEGRADOS	164
6	CONCLUSÕES.....	168
	REFERÊNCIAS.....	171
	APÊNDICE A - MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NOS TERMINAIS NAS DUAS COLETAS DE 2018 E 2019, NO QUAL FORAM RETIRADAS AS PRINCIPAIS PERGUNTAS PARA SER ANALISADAS NO TRABALHO.....	179

1 INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade do século, o crescimento das cidades e os modos de deslocamento ocasionaram alguns impactos em questões sociais, econômicas e ambientais. Os espaços urbanos começaram a ter importância a partir do momento em que o ser humano percebeu a responsabilidade de suas ações e os danos causados ao ambiente. Dessa maneira, podemos destacar que alguns processos antropogênicos podem contribuir na degradação ambiental, na perspectiva, por exemplo, da concentração de poluentes em áreas urbanas.

Os altos índices de poluição do ar, em geral, acontecem nos centros urbanos, onde estão localizadas as fontes poluidoras, afetando diretamente a qualidade do ar, transformando-se numa ameaça à qualidade de vida da população (TEIXEIRA, 2008). De fato, as intensificações urbanas e industriais acabam aumentando as concentrações de poluentes na atmosfera, como consequências direta e indireta de suas atividades. Por exemplo, em algumas áreas ocorrem níveis de tráfego intenso e aumento crescente de poluição com grande concentração de pessoas, causando maior dano à saúde da população. A ampliação da frota de veículos relacionados a fatores meteorológicos, como a temperatura do ar, pressão e umidade, tem cooperado para a concentração de poluentes em suspensão na atmosfera, gerando um aumento no nível de poluentes no ar, o que pode causar diversos tipos de doenças aos habitantes.

Atualmente, pouco mais de 84% da população brasileira vive em área urbana (IBGE, 2010), exigindo maior utilização de veículos automotores como meio de transporte. O setor de transportes é o que mais consome combustíveis fósseis e o maior emissor de gases de poluentes, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, ozônio, compostos fotoquímicos, compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, assim como material particulado em forma sedimentável, em suspensão, inalável e respirável (VASCONCELLOS, 2006).

Um dos principais agentes que atuam na qualidade do ar são os materiais particulados (MP), também chamados aerossóis atmosféricos sólidos que ficam suspensos no ar emitidos por fontes móveis e fixas, via processo de combustão, fuligem, produção de energia, emissões de veículos e na indústria da construção. Eles são classificados pelo seu tamanho e por sua espessura fina e a classificação pode ser associada a problemas de saúde (DEMARINI, 2013). Diversos estudos sobre MP foram realizados em algumas cidades do Brasil, como São Paulo (YNOUE; ANDRADE, 2004; OYAMA, 2010; CHIQUETTO, 2016), Natal (ALBURQUERQUE, 2013; DUARTE, 2016) e Londrina, no Paraná (TARGINO et al., 2018) e em algumas cidades

latino-americanas, como Bogotá, Santiago do Chile e Cidade do México (BETANCOURT et al. 2017; SUÁREZ et al.2014). Até o momento, poucos estudos foram desenvolvidos para a Região Nordeste do Brasil, o que pode ser justificado pela ausência de dados para a realização de novos estudos.

No estado de Pernambuco, existem projetos, estudos de caso e simulações de dispersão na Região Metropolitana do Recife (RMR), entretanto não há estudo voltado para a relação da dinâmica da cidade com os poluentes. O número de veículos automotivos aumentou consideravelmente nos últimos anos na região Nordeste, sendo o maior aumento observado no município do Recife (DENATRAN, 2015). O crescimento da frota de veículos tem influência direta na qualidade do ar urbano devido ao incremento de elementos químicos na atmosfera urbana proporcionada pelo intenso tráfego de veículos.

A RMR apresenta um Sistema Estrutural Integrado (SEI), que é voltado para o transporte coletivo, e apresenta uma configuração espacial constituída por eixos Radiais e Perimetrais. No cruzamento destes dois eixos, ficam situados os Terminais de Integração (TI), que permitem ao usuário a troca de linha. Esse sistema começou a ser implantado no ano de 1985 e, atualmente, já em pleno funcionamento, dispõe de 24 Terminais Integrados (TIS) que viabilizam a passagem única, permitindo ao usuário se deslocar de um lado a outro da cidade pagando uma só passagem (SEABRA, 2015). De acordo com o Consórcio Grande Recife (2012), esse sistema é uma forma de facilitar a mobilidade e diminuir o custo com transportes, porém acaba trazendo alguns transtornos para a população, como: terminais congestionados, um crescente aumento nos tempos de viagem e de espera do ônibus nos terminais, ocasionados pelos congestionamentos de carros no tráfego, e estrutura desconfortável para população. Todos esses fatores acabam provocando nas integrações acúmulo de pessoas, estresse diário, problemas respiratórios causados por poluentes e desconforto térmico que podem comprometer o desempenho dos usuários, sendo estes por fatores do indivíduo e/ou do ambiente.

Para um melhor entendimento dos supracitados problemas nos TIS, uma análise acerca da poluição do ar por MP foi realizada nesses locais. Ademais, foi confrontada com os usuários a questão da percepção sobre a temática. Assim, com a determinação de um lugar fixo, também pôde-se viabilizar uma análise no entorno da área e no bairro, verificando fatores que possam impactar no acúmulo e na dispersão de MP nos obstáculos urbanos.

Nas cidades de grande e médio porte, os poluentes se relacionam de acordo com a dinâmica urbana. Distintos estudos sobre a poluição do ar têm como principal objetivo sua quantificação, demonstração de alguns modelos de série temporal e identificação de tipos de poluente. Por outro lado, as variáveis climáticas permanecem em segundo plano ou até mesmo não são citadas. No entanto, estas variáveis devem ser analisadas, pois estão correlacionadas com a morfologia urbana, de modo que as características urbanas, como tamanho da cidade, topografia e vegetação, e a proporção entre espaços abertos e áreas edificadas evidenciam não só alterações na temperatura como também o acúmulo e a dispersão de poluentes. Deste modo, as variáveis climáticas são essenciais ao entendimento do comportamento dos poluentes do ar nas cidades.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar, a influência das variáveis climáticas na concentração de Material Particulado (MP) em suspensão e a percepção quanto à poluição do ar por parte dos usuários nos TIS de passageiros do Recife e seu entorno.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a qualidade do ar através do Índice Geral de Qualidade do Ar (IQA).
- Avaliar a concentração de Materiais Particulados e a sua relação com as variáveis climáticas (temperatura, direção do vento e umidade do ar) nos horários de picos dos terminais.
- Diagnosticar possíveis impactos de aspectos da forma urbana nas concentrações de material particulado no entorno dos TIS.
- Comparar a relação entre os poluentes verificados e a percepção ambiental dos passageiros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

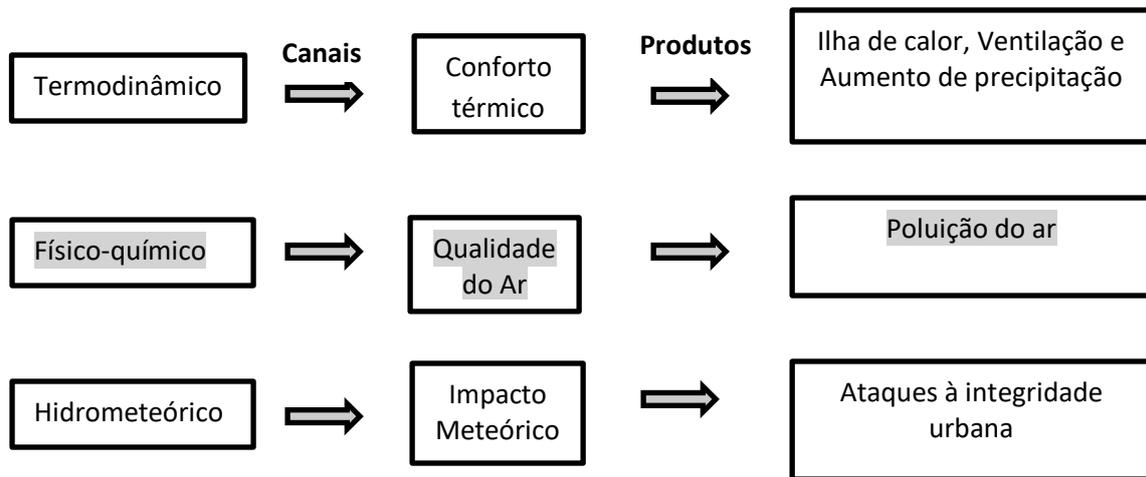
2.1 CLIMA URBANO

Os problemas ambientais, principalmente a poluição do ar, são bastante comuns em áreas urbanas, devido ao intenso processo de desenvolvimento econômico que agrava as questões socioambientais. As atividades antrópicas geradas por esse desenvolvimento resultam em efeitos negativos, que interferem na qualidade de vida em diferentes aspectos, como no clima urbano. Conforme Neto (2015), os estudos sobre o clima urbano, em cidades tropicais são importantes para a compreensão dos diversos fenômenos que alteram a qualidade ambiental urbana. Os estudos de clima urbano são fundamentados em duas categorias: na Climatologia e na Meteorologia, com abordagens diferentes, sendo elas a geográfica e a meteorológica (GONÇALVES *et al.*, 2015). A temática geográfica compreende o estudo do clima urbano na linha da climatologia, relacionando-se com a questão ambiental e com a abordagem do meio urbano, trazendo uma visão geral do que acontece dentro do sistema. Já a abordagem meteorológica apresenta uma perspectiva física e estatística das variáveis do clima e de sua interação na atmosfera com a superfície. Portanto, saber identificar a área, técnica, meios e métodos são indispensáveis para identificar as bases de dados necessários.

O conceito de clima urbano está intimamente relacionado com as modificações dos elementos climáticos por condições meteorológicas, como também pela morfologia urbana e propriedades dos materiais de revestimento do solo (GONÇALVES *et al.*, 2015). É essencial levar em consideração, entre outros fatores, padrões de edifícios, espaços abertos, configuração vertical e intensidade de veículos automotores para uma melhor caracterização da cidade.

Alguns autores (OKE, 1978; MENDONÇA, 1994; LANDSBERG, 2006; BARBIRATO *et al.*, 2007; SILVA, 2011; GARTLAND, 2010) discutem sobre o clima urbano, e sua relação homem *versus* ambiente construído, a partir das condições do meio externo. O clima urbano, segundo metodologia desenvolvida por Monteiro (1976), pode ser entendido como um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de autorregulação, denominado como Sistema Clima Urbano (SCU). Esse sistema tem uma perspectiva humanista e se baseia nos canais de percepção humana do clima, classificando-se em três subsistema (Figura 01):

Figura 1- Sistema Clima Urbano.



Fonte: adaptado de Monteiro (1976).

Esses produtos gerados podem influenciar o clima, dependendo da configuração da cidade, interferindo no clima local de áreas centrais ou em seu entorno (GEORGE, 1983). Conforme sua topografia, pode-se ocasionar condições micro, meso ou macroclimas produzidos por parâmetros meteorológicos, tais como vento (direção e velocidade), temperatura, pressão, umidade, insolação, precipitação, visibilidade e composição da atmosfera. As variáveis causadas pelo avanço urbano intervêm no balanço de energia (reflete ou absorve calor). Todas as observações sobre poluentes também devem levar em consideração esses parâmetros, individualmente ou reunidos.

Assim, muitos estudiosos relacionam a qualidade do ar ao elemento clima, mais especificamente aos condicionantes meteorológicos que estão diretamente relacionados à dinâmica dos poluentes na atmosfera. Além deles, temos a topografia do lugar, as condições meteorológicas da hora e do dia, os tipos de poluentes emitidos na atmosfera, as diferenças regionais, o clima local e o urbano. Assim, tudo influenciará na dispersão ou concentração dos poluentes na atmosfera que afeta diretamente a qualidade ambiental e a saúde dos indivíduos (VIEIRA, 2009; MENDONÇA e MONTEIRO, 2015).

Diante do exposto e a partir desse ponto, procurar-se-á examinar alguns parâmetros relacionados à topografia e algumas variáveis, como a velocidade e direção dos ventos, temperatura e balanço de energia.

Topografia

A topografia é a exposição de todas as elevações e depressões do terreno alcançado através de curvas de nível. Na dispersão atmosférica, a topografia interfere na circulação normal dos ventos, assumindo direções aleatórias (MENEZES, 2006). As estruturas do ambiente construído alteram toda a dinâmica de um local, então a topografia ajuda na dispersão dos poluentes, atuando no aumento ou na redução por meio das variáveis. Segundo Guerra e Miranda (2011), as características locais relacionadas à topografia, com existência ou não de edifícios, o tipo de solo e espécies de vegetação, possuem capacidade de mudar o microclima de determinada região, tornando-a mais ou menos favorável a dispersão dos poluentes.

A autora Vieira (2009) afirma que a atuação da topografia influencia o transporte e a dispersão na área central urbana:

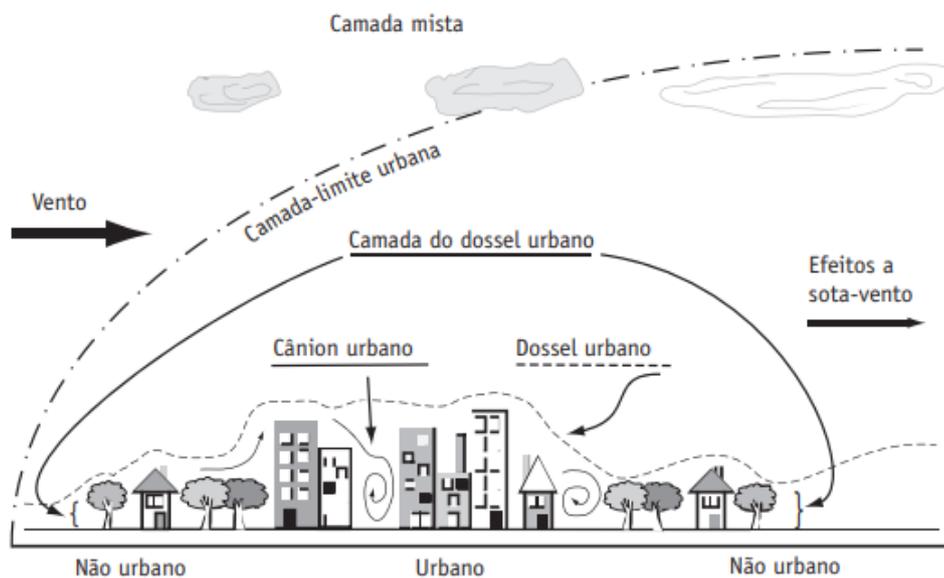
A topografia local é mais um parâmetro que influencia o transporte e a dispersão dos poluentes do ar. Nos centros urbanos localizados na costa, normalmente tem condições de vento que promovem maior dispersão dos poluentes do que aqueles cercados de montanhas e morros. No interior das áreas urbanas, os edifícios altos e outras estruturas que alteram a direção e a velocidade dos ventos e podem modificar a dispersão das emissões de poluentes do ar (p.51).

As superfícies impermeáveis modificam o movimento dos raios de luz, assim como as edificações que predominam na parte central urbana, com paredes que podem ter área vertical tão grande quanto a horizontal. As características dos materiais também ajudam nesse movimento térmico urbano quanto ao seu formato físico. Essas superfícies verticais recebem luz solar em horas diferentes do dia e em ângulos diferentes do que a topografia das áreas não urbanas, que é um pouco mais regular (HARDMAN; BELCHER, 2006).

Deste modo, as áreas urbanas concentram insolação ou radiação solar cotidianamente durante um período mais longo. A radiação solar incidente que se reflete pode ricochetear (voltar) entre edificações até ser, por fim, armazenada pelos materiais sob a forma de calor (TRAN *et al.*, 2006). A topografia urbana possui elementos como *canyon* urbano, dossel urbano, camada dossel urbano e a camada-limite urbana, que interagem entre si (Figura 02). Os diversos níveis da urbanização que abordam as cidades tornam difícil precisar seu grau de comportamento no desenvolvimento de uma camada limite ou clima local (LANDSBERG, 2006). A camada limite urbana (Urban Boundary Layer - UBL) se apresenta no nível de grandeza e de fenômeno de mesoescala (Figura 02), na qual o ar está diretamente acima das coberturas, ou seja, do dossel urbano (ADLER, 2015). Inferiormente a essa camada, constitui-se a camada dossel urbano (The Urban Canopy Layer - UCL), que é a camada de ar até o nível

das coberturas, no qual existe a interferência do ambiente construído sobre o clima urbano em função das alturas dos edifícios e da velocidade do vento. As condições climáticas nessa camada dependem do entorno imediato, da sua geometria e dos materiais (Barbugli, 2004).

Figura 2- Camadas a partir da superfície urbana.



Fonte: Adler e Tanner (2015).

O dossel urbano (Figura 02) é composto por elementos como geometria das ruas, edifícios e paredes que formam os *canyons*, que impedem a circulação dos ventos por serem um abismo profundo entre edifícios altos que podem canalizar o vento ou concentrar e prender o calor (OKE, 1987). Em cada cidade que se adentra, dispõe-se de um microclima diferenciado que pode ter o acúmulo e dispersão de poluentes e a formação de ilhas de calor ou ilhas de frescor.

A maneira como a cidade se desenvolve, sobre uma área específica, pode evidenciar ou diminuir diferenças climáticas. Na perspectiva de Landsberg *et al.* (2006, p.95), “a topografia na qual as cidades estão localizadas causa frequentemente condições micro e macroclimáticas que muito contribuem para a acumulação de poluente e fumaça nos baixos níveis da atmosfera”. A estrutura do ambiente construído interfere no cenário dos poluentes de uma cidade ou até mesmo em microambientes, podendo haver configuração de *canyon*, menos ou mais obstruções e ventilação induzindo na concentração de poluentes.

Os *canyons* urbanos e os edifícios são elementos que têm papel importante na grande movimentação térmica. Segundo Gonçalves *et al.* (2015), em *canyons* urbanos de proporções compactas os pavimentos superiores dos edifícios altos são favorecidos em relação aos pavimentos mais baixos, nos quais a ventilação natural é prejudicada pelo efeito de barreira causado pelas paredes do *canyon*. Além disso, em centros urbanos, com grandes concentrações de população, atividades e veículos automotores, altura significa distância de poluição atmosférica, que se concentra nos primeiros pavimentos do ambiente urbano. Na modelagem de dispersão atmosférica, a topografia interfere na circulação normal dos ventos, assumindo direções aleatórias (MENEZES, 2006).

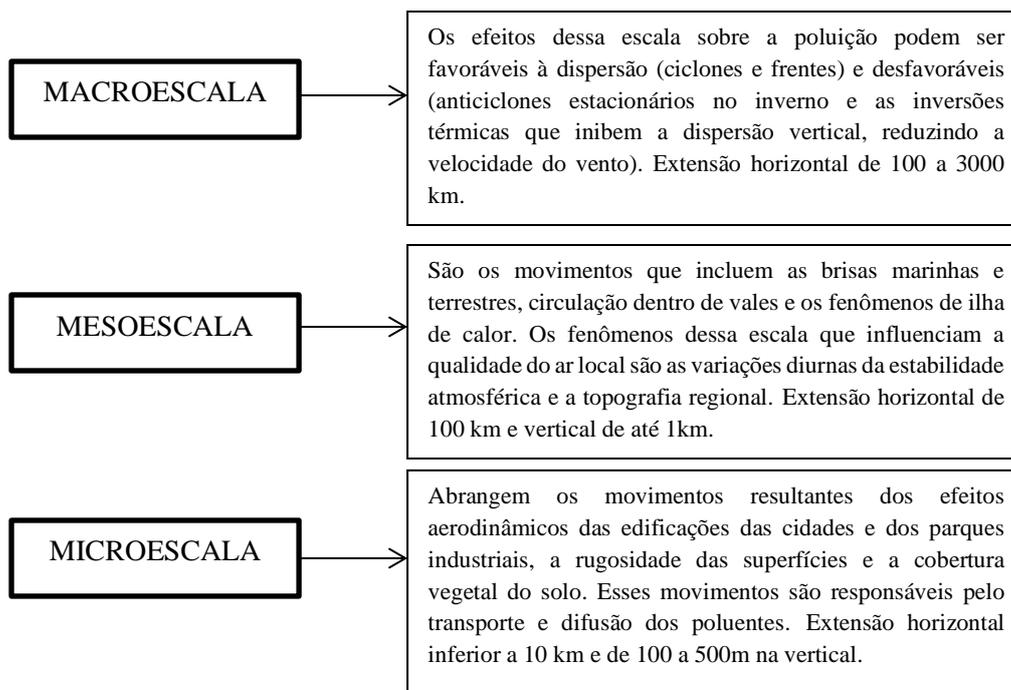
Vento

O vento é o principal mecanismo atmosférico de transporte de poluentes. A transferência de poluentes atmosféricos e as suas reações são consequências dos processos de difusão atmosférica ou dispersão de poluentes, que depende da condição meteorológica, podendo ser atribuídos a esse elemento climático (DERISIO, 2017). Por causa do aquecimento diferenciado na Terra, a energia tem absorção desigual, fazendo com que a pressão atmosférica varie de um lugar para o outro. Essa alteração produz um fluxo de ar da região de pressão mais alta para a região de pressão mais baixa. A força que produz esse fluxo recebe o nome de gradiente de pressão. Segundo Silva (2003), outras forças entram em ação quando o ar está em movimento, como a Força de Coriolis. A junção dessas forças estabelece as direções dos ventos em determinadas regiões do globo. Na região tropical, temos os ventos alísios que se deslocam de regiões subtropicais para o Equador e de leste para oeste.

A região do Nordeste no Brasil está incluída entre a linha do equador e o trópico de capricórnio. Nesta área, a circulação geral atmosférica está compreendida entre as latitudes de 30° N e 30° S e se direciona para a linha do Equador, originando-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Os ventos de superfície desta região são os ventos alísios. Esses ventos provêm das latitudes subtropicais e se movem em direção à região de menor pressão da faixa equatorial (SILVA, 2003). Sua formação tem características como extensão vertical de aproximadamente 2 Km da superfície, valores máximos de altitude entre 500 e 1000 m, forte ciclo sazonal e assimetria próxima da linha do Equador, devido à parcela de cobertura por água no hemisfério sul ser maior que no hemisfério norte. No hemisfério norte, os ventos alísios se originam da direção Nordeste e no hemisfério sul da direção Sudeste.

Os movimentos de ar são essenciais para analisar as condições meteorológicas no transporte e na dispersão dos poluentes (Figura 03) a partir de parâmetros meteorológicos locais, podendo influir na contaminação de movimentos verticais, horizontais e na turbulência atmosférica. Os fenômenos meteorológicos agem no processo de dispersão e obedecem a uma sequência de escalas de movimento em função da dinâmica da atmosfera desde a macroescala até a microescala.

Figura 3- Características das escalas de movimento do ar.

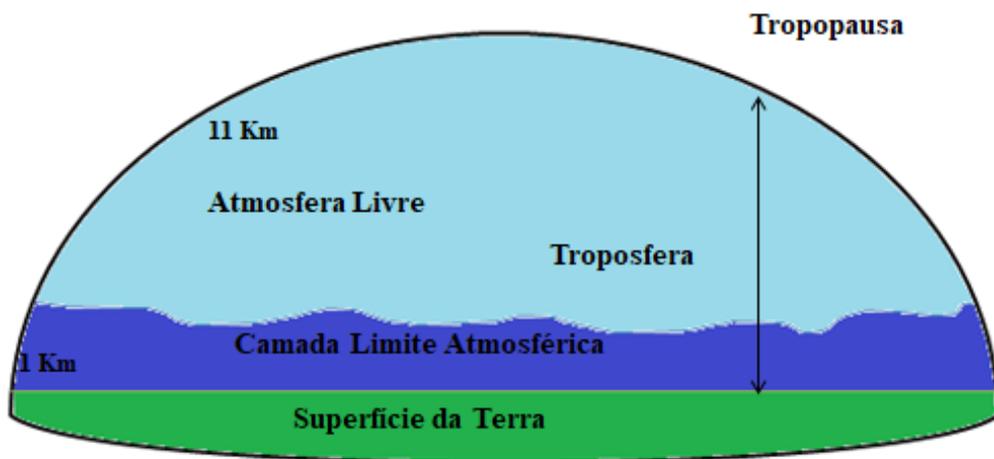


Fonte: Moreira *et al.* (2008) adaptado pela autora.

As características dessas escalas demonstram a importância das dimensões dos movimentos de ar verticais e horizontais, assim como das turbulências nas condições de dispersão de poluentes. Na escala regional, os ventos alísios são influenciados pelas brisas marítimas, que têm sua formação pelo gradiente de temperatura proveniente das variações de aquecimento, contribuindo para o aumento na intensidade e na variação da direção dos ventos no litoral da região Nordeste do Brasil. No decorrer do dia, a brisa marítima transporta os poluentes para a costa, mas à noite esse fenômeno se inverte, uma vez que o solo esfria mais rápido do que o mar. A poluição é transportada para o mar. Assim, uma das vantagens de morar próximo ao litoral são as brisas marítimas, porém dependendo da velocidade, direção e rugosidade da cidade os poluentes ficam aprisionados (DERISIO, 2004). Para o MP, as escalas de meso e micro podem variar as partículas locais principalmente em lugares mais urbanizados.

A maioria dos fenômenos de poluição ambiental do ar ocorre na parte mais baixa da atmosfera, ou na camada limite planetária (Boundary Layer ou CLP) (Figura 04). Essa camada é definida como a região na qual a atmosfera sofre os efeitos oriundos da superfície através de trocas verticais, como calor e mistura de massas de ar. Segundo os autores (SEIDEL, *et al.*, 2010), as pesquisas voltadas pra essa camada são importantes tanto para os estudos de clima como para estudos de qualidade do ar, servindo também para modelar as trocas entre a superfície e a atmosfera, de quantidade de movimento, de energia, de umidade, de carbono e de poluentes.

Figura 4- Ilustração da Camada limite Planetária.



Fonte: Elaborado pela autora.

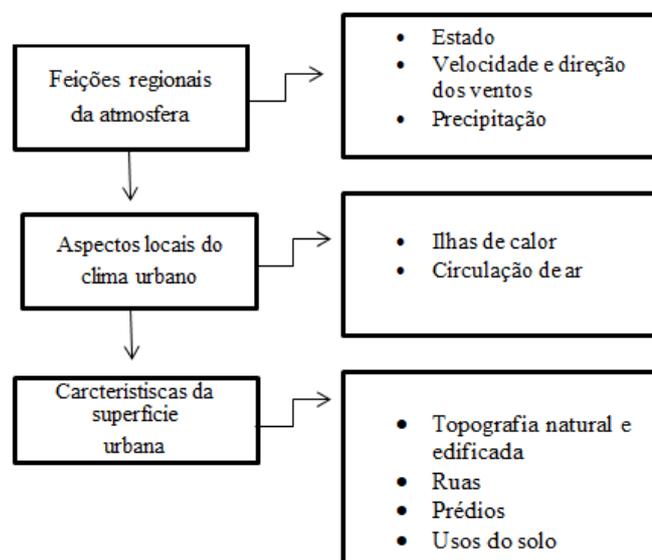
A difusão e o transporte dos poluentes na escala micrometeorológica e a mesoescala se produzem ao nível dessa camada limite. Os poluentes atmosféricos estão concentrados nas camadas mais próximas à superfície da terra, a baixa troposfera, que recebem a interferência das atividades urbanas, à medida que a camada de ozônio se encontra na estratosfera.

Os estudos da CLP em regiões próximas às regiões tropicais têm crescido. No Brasil, particularmente, destaca-se a costa Norte da região Nordeste (SOUZA *et al.*, 2019). A Zona Litorânea Nordeste-Sudeste compreende o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte (RN), até aproximadamente o Estado do Rio de Janeiro. Existe uma diminuição gradual das velocidades médias anuais de 8-9 m/s na porção norte (RN) até 3,5m/s a 6m/s sobre a maioria da costa que se estende até o Sudeste (AMARANTE *et al.*, 2001).

As causas dessa redução de vento na parte costeira do Nordeste têm associação com os seguintes fatores: com os ventos alísios, pelo afastamento da linha do equador; com as brisas marítimas, pela interação com o oceano e o continente; e as frentes frias remanescentes, que se difundem na costa sul. Dessa forma, uma cidade próxima do litoral é exposta a diferentes interações de vento. A média de vento nos bairros próximos ao mar apresenta uma intensidade maior, devido ao gradiente de temperatura entre o continente e o oceano. O vento diminui a intensidade na medida em que se desloca da costa para o interior, por causa do aumento de atrito e rugosidade de superfície, contribuindo assim para o enfraquecimento das brisas marinhas (AMARANTE *et al.*, 2001). Dessa maneira, nas áreas centrais há uma correlação com os aspectos da morfologia urbana (porosidade, rugosidade e densidade) que alteram a direção e a velocidade dos ventos, os quais terão, assim, uma dinâmica desigual.

Os processos climáticos possuem níveis de escala que vão do superior para o inferior (MARTINS, 1996). Com isso alguns atributos podem ser relacionados à dispersão e à remoção dos poluentes nessa troca de escala (Figura 05). Os aspectos da forma urbana e suas influências no clima urbano são condicionados pela rugosidade e porosidade, densidade construída, tamanho (horizontal e vertical), ocupação do solo e orientação (SOUSA, 2014). O atributo da superfície urbana condiciona mais no MP por estar mais próximo ao homem, mas não significa que os outros atributos (Figura 05) tenham um nível de interferência menor, pois tudo depende das condições atmosféricas do dia, como estável ou instável.

Figura 5- Atributos de diferença de escala atmosférica superior para inferior.



Fonte: Elaborado pela autora.

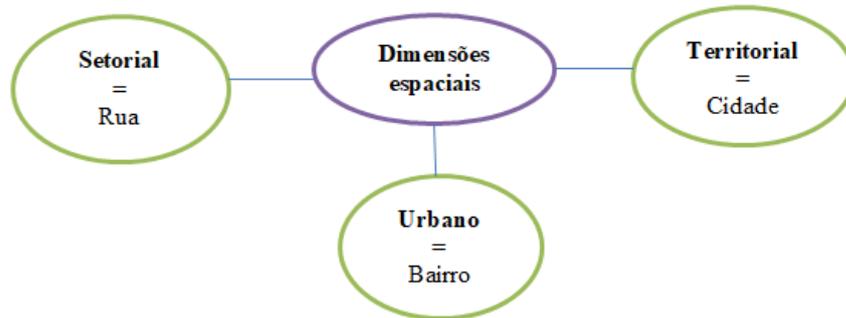
A estrutura global de ventos (ou a circulação geral) determina os movimentos de larga escala da atmosfera. Para alguns autores, os ventos de superfície são os movimentos de ar horizontal em relação à superfície terrestre (YNOUE *et al.*, 2017; OLIVEIRA, BRUNI e SAGULA, 1984). No ponto de vista físico, é uma grandeza vetorial com direção, intensidade e sentido. O vento causa a dispersão horizontal da poluição atmosférica e está diretamente ligado ao processo de dispersão de poluentes, que abrange como característica dois parâmetros: a direção e a velocidade. Os ventos, além de terem influência do movimento de rotação da terra, também têm da topografia da superfície terrestre.

Na baixa atmosfera, o vento (direção e velocidade) é o principal atuante da movimentação horizontal do ar próximo à superfície, responsável pelo transporte e pelo processo de difusão dos poluentes. Os ventos leves a moderados que ocorrem em áreas poluídas a sotavento das cidades apresentam os contaminantes lá produzidos, intensificando a concentração de poluentes nas cidades e amenizando a poluição do ar em outros locais (DANNI-OLIVEIRA, 2004).

Morfologia urbana

Alguns autores, como Lamas (2004), afirmam que o estudo da morfologia está centralizado em perspectivas externas ao meio urbano. O modo como se organiza e se articula é o que define e caracteriza esse espaço. A morfologia urbana possui formas construídas, partes destinadas à edificação e aos espaços públicos. Quando se explora a forma urbana, é primordial discutir as dimensões e as escalas. Segundo Lamas (2004), as formas urbanas possuem diversificados níveis por unidades de observação. No meio urbano, é possível de serem analisados os elementos morfológicos, sua organização, sua estrutura, através da sua topografia e outros atributos. Nas dimensões consideradas por Lamas (2004) existem três dimensões espaciais na morfologia urbana (Figura 06).

Figura 6- Níveis de escala na dimensão da morfologia urbana



Fonte: Lamas, 2014, adaptado pela autora.

Essa divisão de Lamas (2004) é baseada nas classificações de Tricart que em seus estudos considerava essas três escalas. Para identificar os elementos de cada unidade dessas escalas, é necessário entender quais as formas e o modo como dispõem as variadas escalas detectadas. Os elementos morfológicos são relevantes em suas análises por interferirem nos três níveis de dimensões de acordo com o objetivo de cada estudo. Baseados nas classificações dos elementos morfológicos, foram selecionados alguns elementos primordiais para a análise da dispersão e da concentração de material particulado (Quadro 01).

Quadro 1- Elementos da morfologia urbana

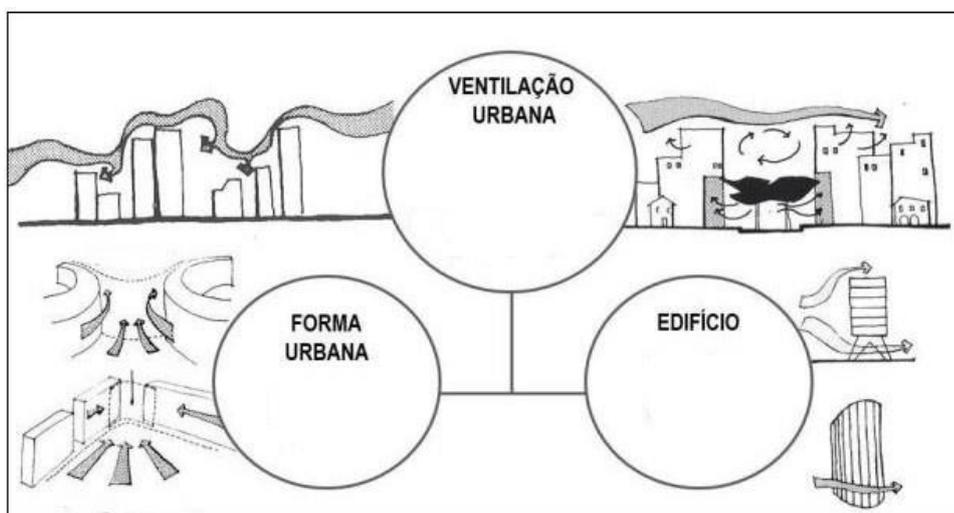
ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Solo	Território existente e sua topografia que se desenha ou constrói a cidade
Edifícios	Agrupam-se em diversos tipos, decorrentes da sua função e forma. São organizados nos diferentes espaços urbanos: as ruas, as praças, os becos, as avenidas.
Quarteirão	É um contínuo de edifícios agrupados entre si com formatos: em anel, sistema fechado e separado. Pode ser delimitado por cruzamento de três ou mais vias. Elemento relacionado a outros como lote, edifício e o traçado das ruas.
Fachada	Exprimem características como tipo de edificação, as características e linguagem de arquitetura. Um conjunto de elementos que irão moldar a imagem da cidade.
Traçado da rua	O traçado estabelece a relação mais direta de assentamento entre a cidade e o território. É o traçado que define o plano, intervindo na organização da forma urbana a diferentes níveis de dimensão. Liga os vários espaços e partes da cidade.
Árvore e a vegetação	Caracterizam a imagem da cidade, têm individualidade própria, desempenham funções precisas como organizar, definir e conter espaços.

Fonte: Adaptado a partir de Lamas, 2004.

No tecido construído na atuação do material particulado, temos que considerar que alguns fatores são mais atuantes que outros, como o grau de verticalização (áreas multifamiliares) e casas (unifamiliares), a configuração urbana para o escoamento do vento, a topografia, as áreas verdes e a densidade urbana. Dessa forma, é esperado que os diferentes elementos morfológicos tenham uma análise constante e os fatores meteorológicos uma análise de resultados inconstante. De acordo com a expressividade das modificações na forma urbana, a poluição do ar e o conforto térmico têm efeitos sobre o homem e, além disso, está subordinada aos aspectos da forma urbana, que são condicionantes do clima urbano.

Elementos como solo (topografia), edificação (rugosidade, porosidade e densidade), fachada, traçado da rua e vegetação alteram a ventilação urbana. A forma urbana para a investigação da poluição do ar depende do comportamento do vento como centralidade influenciando por seus obstáculos (Figura 07). Desse modo, alguns aspectos compõem a forma urbana, como a rugosidade, que está correlacionada a diversas alturas das edificações e outras alturas encontradas, a porosidade, que se refere ao espaçamento entre as edificações ou arranjos morfológicos que interferem pontualmente nos ventos dominantes e na sua continuidade, e a densidade da área construída, que depende da estrutura urbana como tamanho e forma das edificações (SOUSA, 2014).

Figura 7- Relação entre forma urbana, edificação e ventilação natural.



Fonte: Romero, 2013.

O tamanho da cidade influi na quantidade de fontes poluentes, isto é, no aumento de veículos e indústrias. A altura das edificações e a largura das ruas permitem a penetração das brisas para dispersarem e diluírem os poluentes.

Recife é um exemplo de arranjos de morfologias distintas classificada por Barros e Lombardo (2012) numa totalidade de sete unidades, são elas: 1) as áreas verdes de tabuleiros costeiros e mares de morro; 2) unidades de conservação municipal; 3) áreas verdes de planície; 4) áreas edificadas de tabuleiros costeiros e mares de morro; 5) cinturão de prédios, 6) centro da cidade; e 7) áreas edificadas de planície. Com isso, cada local em Recife possui características próprias de acordo com sua organização e variáveis, tanto para microclimas como para atuação da poluição do ar por MP. Alguns TIS e seu entorno estarão inseridos nessas unidades, que serão analisadas mais adiante nesse estudo.

Morfologia urbana e sua relação com a circulação dos ventos

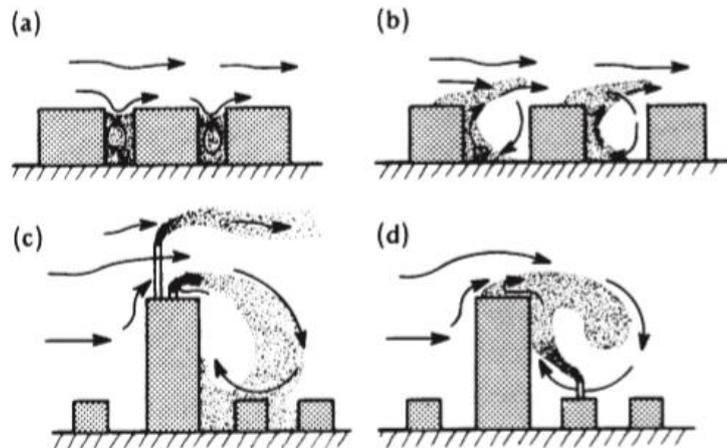
A morfologia urbana tem relação direta com (porosidade, rugosidade e densidade), esses aspectos facilitam ou impedem a dispersão e o acúmulo de material particulado. Esses aspectos só podem ser analisados a partir de episódios de estagnação, de recirculação e de ventilação natural, uma vez que são os efeitos que mais afetam os valores das concentrações de poluente na baixa atmosfera. As concentrações máximas de MP são observadas nas condições atmosféricas estagnadas (PEREIRA *et al.*, 2015) e os processos de remoção das partículas suspensas na atmosfera ocorrem basicamente por deposição seca e úmida (DA SILVA, 2016).

A deposição seca ocorre devido à ação da gravidade sobre as partículas, sendo mais eficiente na fração grossa e afetada pela ação dos ventos. A deposição úmida ocorre por remoção de partículas dentro e abaixo das nuvens, normalmente devido à precipitação. Assim, a dinâmica dos poluentes é diretamente ligada a esses parâmetros e uma avaliação mais completa do fenômeno estudado possibilita inferir tendências futuras ao mesmo, bem como o desenvolvimento de medidas para o monitoramento e controle desses poluentes no meio urbano.

No planejamento da urbanização, a disposição e a geometria das edificações devem ser delineadas em interação com o clima, uma vez que detalhes como espaçamento e altura podem funcionar como um bloqueio para a passagem dos ventos. As modificações nas áreas urbanas têm aumentado, aparentemente e de modo fundamental, a poluição do ar que afeta a transferência de radiação e os densos materiais de construção urbana tornam o sistema uma

melhor reserva de calor, impermeabilizam a superfície e a geometria tipo bloco cria a possibilidade de captura de radiação e estagnação do ar (Figura 08).

Figura 8- A influência da construção no fluxo de ar na dispersão de poluentes.

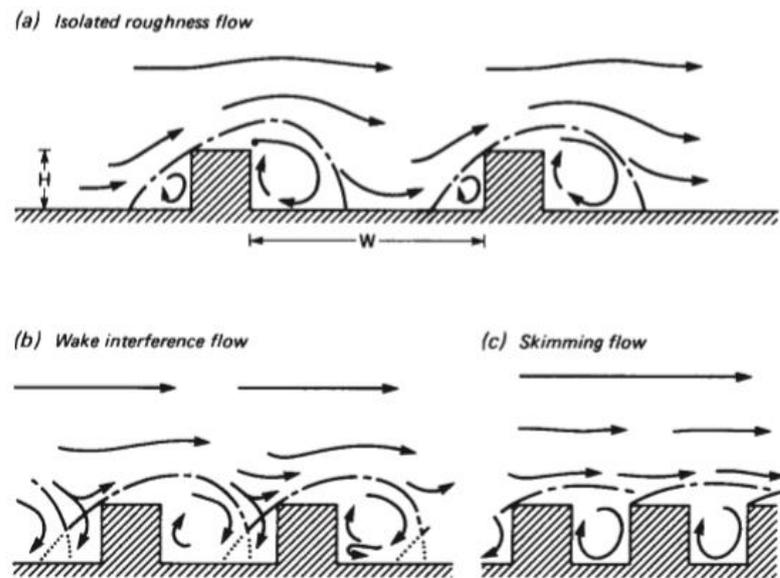


Fonte: OKE, 1987.

Na Figura 08, a dinâmica do vento junto à distribuição da geometria local caracterizada por edifícios baixos representa que o nível da rua no qual são emitidos os poluentes dependem da relação altura/largura. Se as ruas forem estreitas, a troca de ar será restrita (Figura 08.a), contrapondo com uma geometria mais aberta que facilita uma maior circulação do vento (Figura 08.b). Os problemas maiores podem surgir com um prédio mais alto em relação a outros em seu entorno, fazendo uma barreira artificial para os poluentes, como demonstrado na (Figura 08.c) e na (Figura 08.d) (OKE, 1987). Portanto, os edifícios mais elevados podem canalizar o vento ou concentrar e prender o calor. Essa Figura 8 gera simulações necessárias para o entendimento do comportamento de poluentes, mesmo que não haja um emissor no topo de um prédio.

De acordo com Oke (1987), o vento e a turbulência são fundamentais para dispersar poluentes atmosféricos, pois as rugosidades da superfície diminuem o fluxo de vento. O autor relata que em situações com ruas estreitas a troca de ar é mais restrita que em ruas mais largas e a dispersão de poluentes é menor, conforme esquematizado na (Figura 09). Essa circunstância é agravada com a formação de *canyons* urbanos.

Figura 9-Troca de turbulência de vento em ruas estreitas e largas.



Fonte: OKE, 1987.

O padrão de fluxo depende da geometria da relação altura/largura (H/W), no qual H é a altura média do edifício e W é espaçamento ao longo do vento. Na figura 09.a, ocorre um fluxo de rugosidade isolado quando os edifícios são espaçados. Em um espaçamento mais próximo, um edifício interfere com o que está próximo, levando a um padrão complicado (fluxo de interferência) como na Figura 09.b, e em espaçamentos mais próximos ainda, como na Figura 09.c, o fluxo principal começa a deslizar sobre os topos dos edifícios e aciona um vórtice na cavidade (OKE,1987).

A situação é diferente se um edifício particularmente alto se projeta acima do nível geral dos outros prédios. O vento que se aproxima impacta a face de barlavento do edifício alto e produz um ponto de estagnação no centro. Em espaços densamente construídos, as posições dos edifícios altos entre edifícios baixos beneficiam a ventilação. Enquanto isso, quando todos os edifícios possuem a mesma altura, forma-se uma barreira para a circulação do ar.

Radiação solar

Ayoade (2004), Landsberg (2006) e Barry e Chorley (2013) acreditam que através da poluição a cidade modifica a composição da atmosfera. Oke (1987) cita alguns efeitos da poluição no balanço de radiação sobre as superfícies urbanas:

The process of urbanization produces radical changes in the nature of the surface and atmospheric properties of a region. It involves the transformation of the radiative, thermal, moisture and aerodynamic characteristics and thereby dislocates the natural solar and hydrologic balances. For example the seemingly inevitable increase of air

pollution affects the transfer of radiation, and supplies extra nuclei around which cloud droplets may form; the dense urban construction materials make the system a better heat store and waterproof the surface; the block-like geometry creates the possibility of radiation trapping and air stagnation, and gives a very rough surface; and the heat and water released as 'waste' products of human activities supplements the natural sources of heat and water in the urban system (p.272 e 273).

As consequências das concentrações de poluentes na atmosfera são variáveis, sendo uma delas o balanço da radiação, que depende da densidade do material da construção das geometrias urbanas e que, nesse processo, facilita o sistema de armazenamento de calor e impermeabiliza a superfície. Existem tipos de ambientes com mais tendência à acumulação de poluentes que outros. De acordo com a geometria formada pelos prédios, o ar fica circulando nessa área, ficando aprisionado por radiação e estagnação do ar.

A alteração da atmosfera por calor residual, queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis sólidos gera aerossóis, que são pequenas partículas na atmosfera. Essa poluição pode reduzir a incidência de energia solar ao refletir parte dessa radiação de volta à estratosfera (Denman *et al.*, 2007). Nesse balanço, essa energia também pode ser alterada quando parte da radiação emitida pelo sol é refletida pela atmosfera sem atingir a superfície do planeta. Neste caso, pode ocorrer uma diminuição da temperatura. Os aerossóis aprisionam e refletem a radiação de ondas longas emitida, mantendo o calor na área urbana. O equilíbrio entre esses dois efeitos depende de cada cidade, mas, normalmente, o resultado tende a aumentar o armazenamento de calor. Os gases e partículas presentes na atmosfera possuem capacidade de alterar o fluxo natural da radiação. Ou seja, suas concentrações podem interferir tanto na quantidade de radiação que chega ao planeta quanto naquela que é devolvida ao espaço, alterando o balanço de energia radiativa e provocando condições que levam às mudanças do clima do planeta.

Ayoade (1998) destaca que a poluição do ar prejudica o clima dos espaços urbanos de diferentes maneiras. O balanço energético das urbes sofre interferência, pois os poluentes refletem, dispersam e absorvem radiação solar. Os acúmulos de poluentes do ar são influenciados pela diluição (difusão e dispersão); pela remoção por chuva; e por reações fotoquímicas que ocorrem em presença da luz solar. Contudo, os efeitos mais preocupantes da poluição atmosférica acontecem na saúde da população urbana. Assim, é necessário entender sobre a qualidade do ar e sua dinâmica nas cidades, sendo fundamental para qualidade da vida urbana.

2.2 A POLUIÇÃO DO AR

O conceito de poluição engloba características que afetam a saúde, o bem-estar e a biota. A poluição é a deterioração da qualidade ambiental decorrente de atividades que, direta ou indiretamente, afetem a saúde e o bem-estar da população; formem circunstâncias adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota (BRASIL, 1981). Dessa forma, a poluição do ar seria uma modificação das características do ar aptos de levarem a essas consequências. Segundo Silva (2006), o conceito de poluição do ar se divide em dois aspectos: a poluição natural e a poluição antropogênica. Os eventos naturais são aqueles que produzem poluentes a partir de emissões provenientes de fenômenos naturais como erupção dos vulcões, com a emissão de cinzas, gases, pó, pólen, esporos e óleos essenciais. As fontes antropogênicas são os veículos, atividades industriais, fumaça e poeira.

Nesse contexto, Mota (2003) define poluição do ar como o aparecimento, na atmosfera, de substâncias que ocasionem danos ao homem, aos animais e aos vegetais ou acarretem danos aos materiais; afetem na vida e no uso da propriedade. Essas substâncias, portanto, podem não ser adequadas à manutenção da vida em condições ideais. Um grande problema é a existência de substâncias estranhas à composição do meio, ou em grandes quantidades, o que pode causar impactos locais ou a nível global. A poluição atmosférica pode resultar em impactos de ordem local próximo a fontes de poluição, envolvendo desde os danos à saúde até às modificações na quantidade de precipitação em área urbana, e regional, com distâncias maiores das fontes, como exemplo as chuvas ácidas e globais que afetam o planeta, incluem o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio (VIEIRA, 2009).

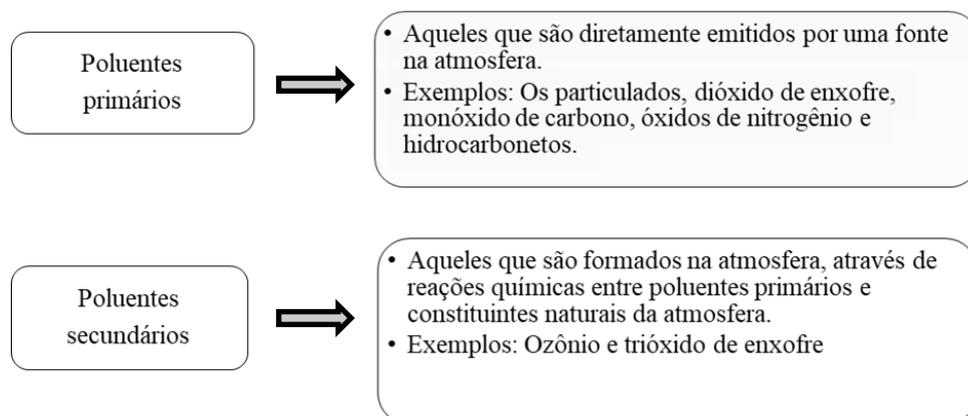
Oficialmente, o Conselho Ambiental da Europa em 1967 definiu a poluição do ar da seguinte maneira: “Existe poluição do ar quando a presença de uma substância estranha ou a variação significativa na proporção dos seus constituintes é suscetível de provocar efeitos prejudiciais ou originar doenças” (BRANCO; MURGEL, 1995, p.18). A preocupação com a poluição do ar passou a ser considerada um problema mais abrangente para a atmosfera a partir do período histórico da Revolução Industrial, quando teve início o processo de urbanização (VIEIRA, 2009). Tal fato aconteceu na intensificação da exploração dos recursos naturais e, como resultado, no aumento da produção de resíduos poluentes.

Na literatura, podemos ressaltar alguns conceitos sobre poluentes. De acordo com Assunção (1998), poluente atmosférico é qualquer forma de matéria sólida, líquida, ou gasosa e de energia presente na atmosfera. O conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) resolução n°03/90, define poluente atmosférico:

como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Art.1º).

O nível de poluição do ar é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A diversidade das substâncias encontradas na atmosfera é grande, os poluentes podem ser classificados de acordo com a função do seu estado físico, de sua origem e de sua classe química (ASSUNÇÃO, 1998). De acordo com Ynoue *et al.* (2017), em relação à sua origem, os poluentes atmosféricos podem ser classificados em dois grupos (Figura 10).

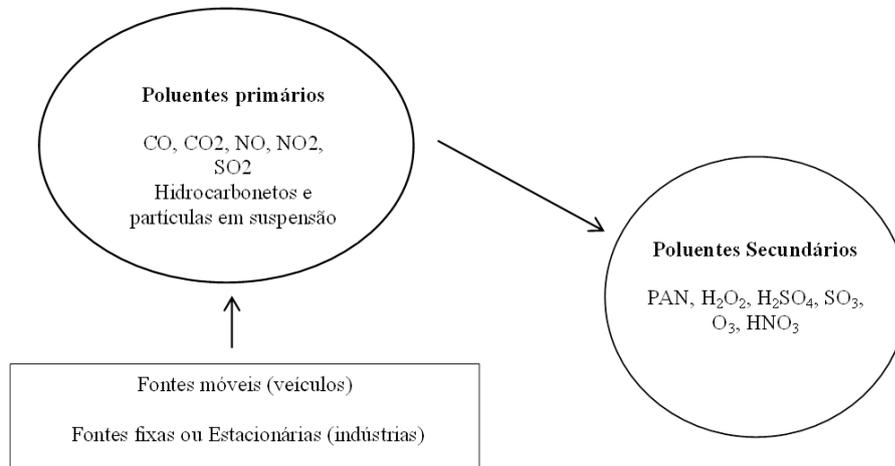
Figura 10- Classificação de poluentes.



Fonte: Ynoue *et al.*,2017.

Em função da sua classe química, os elementos podem ser classificados como poluentes orgânicos (aldeídos, ácidos orgânicos e partículas orgânicas) ou inorgânicos (monóxido de carbono, dióxido de carbono, poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas). Em função do estado físico, incluem-se dois grupos: materiais particulados (poeiras, fumos, fumaças e névoas) e gases e vapores (Amônia e cloro) (YNOUE *et al.*, 2017). O dióxido de nitrogênio e os hidrocarbonetos emitidos pelo veículo automotores formam gases foto oxidantes - nitrato de peroxiacelito (PAN), que são os constituintes dos nevoeiros fotoquímicos ou *smogs* (figura 11).

Figura 11- Fontes dos principais poluentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

As fontes fixas produzem cargas pontuais de poluentes, como a chaminé de uma atividade industrial, a mineração e a produção de energia através de usinas termelétricas. As fontes móveis produzem carga difusa, como veículos automotores (VIEIRA, 2009). As fontes fixas ocupam uma área parcialmente limitada, proporcionando uma avaliação direta na fonte. As fontes móveis se dispersam pela comunidade, impedindo uma possível avaliação na base de fonte por fonte (MMA, 2019). Por isso, existem dificuldades nas pesquisas voltadas para as fontes móveis. Em outros países, como nos Estados Unidos da América (EUA), essas fontes podem ter mais divisões. Na agência de *United States Environmental Protection Agency* (EPA), por exemplo, classifica-se como rodoviários (*onroad*) veículos de passageiros, caminhonetes, caminhões, micro-ônibus e motocicletas. Como não-rodoviários (*nonroad*), tem-se veículos e equipamentos empregados nos setores da construção civil, industrial, recreação, fazendas agrícolas, embarcações de recreações e aeroportuários. Essa divisão contém todos os tipos de veículos que contribuem para a emissão de poluentes do ar. A Tabela 1 mostra um resumo dos principais emissores de poluentes do ar junto aos poluentes emitidos.

Tabela 1- Principais fontes de Poluentes do ar

<i>Fontes</i>	<i>Poluentes</i>
---------------	------------------

Fontes estacionárias Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.
Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeira, névoas), gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H ₂ S, NO _x .
Queima Resíduo sólido	Material particulado, Gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x .
Outros	Hidrocarbonetos, material particulado.
Fontes móveis veículos Gasolina/Diesel Álcool, Avíões, Motocicletas, Barcos, Locomotivas, etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, dióxido de enxofre, ácido orgânicos.
Fontes naturais	Material particulado - poeiras Gases - SO ₂ , H ₂ S, CO, NO, NO ₂ , Hidrocarbonetos
Reações químicas na atmosfera Ex: hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)	Poluentes secundários - O ₃ , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímicos, etc.

Fonte: Adaptado de VIEIRA, 2009.

As principais fontes antropogênicas de emissão de poluentes do ar são as indústrias e os transportes. Para as atividades industriais, foram criadas normas de controle, criando-se, assim, uma obrigatoriedade com base em exigências legais. No setor de transportes, houve uma demora de ações. As emissões dos veículos automotores são provenientes da combustão incompleta e da evaporação do combustível (VIEIRA, 2009). As emissões de escapamentos de carros são formadas por uma mistura de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, partículas da exaustão de óleo diesel e outras, como óxidos de chumbo e chumbo tetraetil da gasolina aditiva. Os combustíveis mais usados para o transporte são a gasolina, para veículos de passeio, e o diesel, para veículos pesados (ônibus e caminhão).

Os veículos são divididos em dois grupos de acordo com o tipo de combustível utilizado, como o Ciclo Diesel, doravante (CD), e Ciclo Otto, doravante (CO). Respectivamente, um corresponde ao óleo diesel e o outro à gasolina ou ao álcool (FREITAS, 2016). Outros combustíveis podem ser utilizados em veículos leves e pesados, como o álcool, a mistura de álcool, a gasolina e o gás natural. No escape dos veículos a combustão, o concentrado de monóxido de carbono (CO) é maior (LACERDA, et al. 2005). De acordo com Carvalho (2011), o setor de transporte é um dos principais emissores de dióxido de carbono (CO₂), mas nem todos os gases poluentes são de efeito estufa. O CO₂ é um gás de efeito estufa, mas não é considerado um poluente atmosférico. Já o Ozônio pode ser tanto um poluente quanto um gás de efeito estufa (YNOUE *et al.*, 2017). Os veículos automotores emitem alguns poluentes, como o CO, o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o MP e o chumbo. Os poluentes do ar de uma determinada área são instáveis, quimicamente e fisicamente. Assim, as

reações podem acontecer dependendo das concentrações e de seus impactos, duração e abrangências diferentes (Tabela 2).

Tabela 2- Aspectos dos poluentes do ar.

Poluentes	Principais Fontes Antropogênicas	Impacto/Duração/Abrangência
Dióxido de enxofre - SO ₂	Combustão de carvão e derivados de petróleo	Tóxico e muito ácido/poucos dias/ de local a regional
Monóxido de carbono - CO	Queima incompleta de combustíveis fósseis e de biomassa	Tóxico e ácido/mês/ ocupacional e local
Óxidos de nitrogênio - NO _x (NO e NO ₂)	Queima de combustíveis sob altas temperaturas, especialmente os que contêm nitrogênio em sua composição	Tóxicos, ácidos e precursor de O ₃ / de horas a poucos dias/ de local a regional
Material particulado - MP	Queima incompleta de combustíveis fósseis e de biomassa, presença de enxofre no combustível formando sulfatos	Tóxico e irritativo/ de horas a poucos dias / de ocupacional a regional
Hidrocarbonetos - HCs	Emissões evaporativas de combustíveis	Tóxicos irritativos e precursores de O ₃ / de meses a anos/ de local a global (caso do metano – CH ₄)
Ozônio troposférico - O ₃	Poluente secundário, não emitido pelos processos, mas formado pela oxidação fotoquímica (luz solar) de NO _x e HCs	Tóxico e irritativo/mês/ de local a regional
Metais pesados, especialmente chumbo (Pb) e mercúrio (Hg)	Queima de carvão e derivados de petróleo com aditivos	Muito tóxico/ mês/ de local a regional

Fonte: Adaptado de Goldemberg *et al.* (2008).

As poluições nas cidades vão ocorrer de forma distinta dependendo da dinâmica dela. Portanto, se a predominância na cidade for mais industrial, apenas veículos ou mista, ocorrerão mudanças de estratégias de controle de emissão. Um estudo sobre 20 megacidades apresentou que países em desenvolvimento e subdesenvolvidos detectaram que o tráfego de veículos é a maior fonte de poluição, tanto os leves como os pesados (MAGE *et al.*,1996). O aumento da motorização individual e a circulação de transportes coletivos caracteriza o estilo de vida urbano atualmente.

O setor de transportes é o que mais consome combustíveis fósseis e o maior emissor de gases de poluentes como óxidos de nitrogênio, MP, hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO) e CO₂ (VASCONCELLOS, 2006). Portanto, é fundamental analisar a influência das emissões desse setor para esquematizar estratégias de diminuição de poluentes locais e incentivar o uso de transportes menos poluidores. Suárez *et al.* (2014) afirma que o setor de transportes é a maior fonte de recursos antropogênicos de emissão de poluentes na América

latina enquanto que motores a diesel são os maiores contribuintes dentro deste setor. Os veículos, leves e pesados, trazem problemas adicionados a decorrentes reduções de velocidade nos deslocamentos e, por consequência, de aumento no tempo do percurso. Para Danni-Oliveira (2000), o teor de emissões de poluentes está condicionado a aspectos como a regulagem do motor, a maneira de o veículo ser conduzido e a calibragem dos pneus, o que, nesse conjunto, pode reduzir a taxa de emissões em até 40%. A presença de conversores catalíticos e ignição eletrônica e a qualidade do combustível.

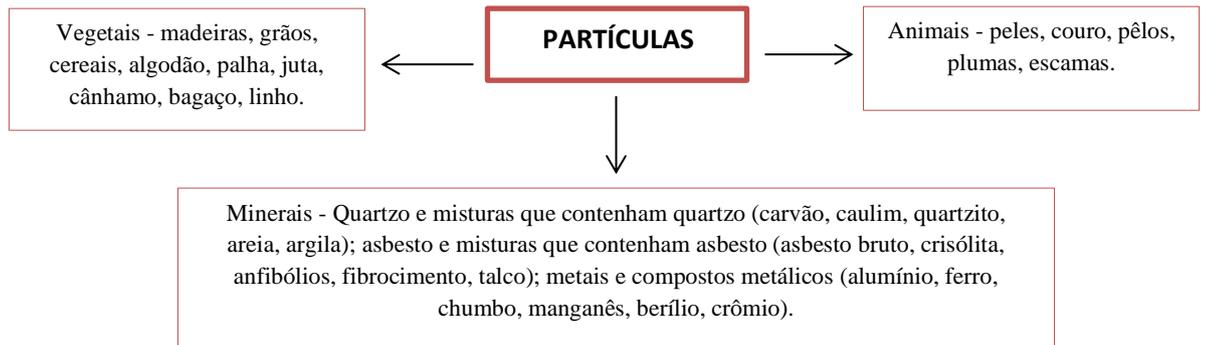
Os transportes movidos a diesel emitem cerca de 100 vezes mais material particulado que os demais. Algumas pesquisas têm mostrado que a exposição a diferentes métricas particuladas em ambientes de transporte urbano é altamente variável e influenciada pelo modo de alteração, na qual inclui atividades (pedestre e ciclista) e viagens motorizadas. Na América do Norte e Sudeste da Ásia, concluiu-se que os passageiros de carros e ônibus tiveram os mais altos níveis de exposição à poluição do ar (CEPEDA *et al.*, 2017). As ações ligadas ao transporte são importantes indutores de modificações urbanas que levam em conta estratégias definidas pelo planejamento urbano, dos transportes e da circulação. As estratégias urbanas não possuem uma eficácia garantida devido a problemas de gestão e a problemas sociais.

2.3 MATERIAL PARTICULADO E SUA CLASSIFICAÇÃO

De acordo com o CONAMA (2012, p.487), “MP é todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura no meio filtrante, estabelecido pelo método adotado”. A definição de MP conforme YNOUE *et. al.* (2017, p.122), “[...]é um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material na fase líquida ou sólida que se mantém suspenso na atmosfera por causa do seu tamanho pequeno” e, quando se dissipa no ar, compõem os chamados aerossóis atmosféricos. Podem ser chamadas de poeiras quando se referem a partículas urbanas com influência do solo e de areia, abrangendo as emissões de vias não pavimentadas. Quanto à sua ocorrência, pode ser de fonte antrópica ou natural. E, ainda, serem classificadas como poluentes secundários ou primários.

O MP pode ser primário quando lançado diretamente por fontes naturais e antrópicas. Os eventos naturais são partículas arrastadas pelos ventos, como incêndios florestais, cinzas vulcânicas e bioaerossóis, como partículas de sal marinho, pólen esporos e microrganismos (Figura 12).

Figura 12- Classificação de partículas de acordo com suas origens.



Fonte: adaptado de SANTOS, 2001.

Geralmente, alguns primários naturais têm diâmetro relativamente grande, ou seja, MP grossos, com diâmetro maior que 10 μm (micrômetro), são gerados por emissões diretamente de fontes antropogênicas, como indústrias, atividades comerciais, residenciais e veículos automotores que utilizam combustíveis fósseis (YNOUE, et al,2017). Esses podem emitir partículas menores, com diâmetro menor que 2,5 μm , provenientes de poluentes secundários, que dependem da reação química de outros compostos, ou mesmo da reação da radiação solar como poluente fotoquímico. O MP pode reduzir a visibilidade e causar impactos no clima e seus efeitos podem se dividir em efeitos diretos e indiretos. Os efeitos diretos são aqueles em que ocorre a difusão e a absorção da radiação solar, o mesmo processo da redução de visibilidade. Os efeitos indiretos são aqueles em que o MP atua como núcleo de condensação de nuvens (SANTOS, 2014). Essas partículas se diversificam a partir da sua forma, morfologia, espessura e composição química. Com impacto e deposição no sistema respiratório, suas formas são diversas, podendo ser esféricas, cúbicas, de flocos, de fibras e de escamas.

As partículas têm sua medida total expressa na unidade de medida $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que inclui poeiras, fumaças e aerossóis emitidos na atmosfera de diversas maneiras, as quais possuem o diâmetro menor que 100 μm (micrômetro). O tamanho das partículas varia de nanômetros a dezenas de micrômetros, o que, relacionado com o seu potencial, pode causar problemas à saúde: quanto menores elas forem, maiores os efeitos provocados (VIEIRA, 2009). A maioria das emissões de partículas fugitivas é maior que 2,5 μm e a maior parte das emissões de partículas das fontes de combustão são menores que 2,5 μm . As menores partículas sedimentam lentamente, podendo permanecer no ar por longos períodos de tempo e, por consequência, atingir longas distâncias, provocando danos ao meio ambiente e à saúde humana longe da fonte

de emissão (SANTOS, 2014). As partículas emitidas pelos caminhões a diesel são menores do que $1,0 \mu\text{m}$, o que as torna perigosas porque podem ser absorvidas pelas partes mais profundas dos pulmões. Para os autores Carvalho e Lacava (2003), a permanência do MP na atmosfera varia dependendo do seu tamanho.

Partículas muito pequenas movem-se aleatoriamente como moléculas de gás e, na prática, não se depositam no solo, permanecendo na atmosfera durante períodos indefinidos de tempo. Por sua vez, partículas maiores depositam-se rapidamente e permanecem por muito pouco tempo na atmosfera (p. 21).

As partículas grandes e pesadas, com diâmetro maior que $10 \mu\text{m}$, ficam suspensas por volta de um dia até se depositarem na superfície. Quando as partículas são menores do que $1 \mu\text{m}$, podem ficar suspensas por várias semanas (YNOUE *et al.*, 2017). As concentrações em áreas urbanas variam de 50 a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com pico entre 200 e $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2009). A autora Vieira (2009) explica como ocorre o processo de reação e deposição do MP.

Se forem emitidas diretamente para a atmosfera ou formadas por reações envolvendo outros poluentes, como as emissões gasosas de SO_2 e NO_2 que formam partículas de sulfatos e nitratos. O material particulado pode ser removido da atmosfera por deposição seca ou úmida (p.46).

O diâmetro e a precipitação, por serem fatores que determinam a presença de MP na atmosfera, têm uma ação diferente nos processos de deposição seca e úmida. No processo de deposição seca ocorre acumulação do MP, enquanto que no processo de deposição úmida há o auxílio de sua remoção. As partículas grossas ($>10 \mu\text{m}$) são retidas nas vias superiores do aparelho respiratório enquanto, as menores podem atingir os alvéolos pulmonares, podendo ocorrer de algumas se acumularem nos pulmões, ocasionando doenças pulmonares causadas pela inalação de poeiras (POPE; DOCKERY; SCHWARTZ, 1995). Os efeitos à saúde são diversos, como a capacidade do sistema respiratório de remover as partículas no ar inalado, restando nos pulmões e capacidade das partículas finas de aumentarem os efeitos fisiológicos. Além disso, apresentam riscos ao meio ambiente, aumentando as taxas de reação na atmosfera e, assim, reduzindo a visibilidade e variando os níveis de radiação solar. Para uma compreensão maior sobre as características do MP, o CONAMA (1990) classifica em três diferentes categorias, com definição da CETESB (2009):

- Partículas inaláveis (MP_{10}): diâmetro aerodinâmico menor que $10 \mu\text{m}$, podendo ser subdivididas em partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$), com diâmetro aerodinâmico menor do que $2,5 \mu\text{m}$, e partículas inaláveis grossas, com diâmetro aerodinâmico entre $2,5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$;

- Partículas totais em suspensão (PTS): diâmetro aerodinâmico menor do que 50 μm , incluindo as partículas inaláveis;
- Fumaça (FMC): está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão.

As partículas grossas são intituladas de inaláveis e as finas e ultrafinas de respiráveis. As inaláveis (MP_{10}) ocorrem próximas a rodovias e indústrias. Estes MPs não agridem tanto à saúde, pois são assentados de forma mais rápida. Quando inspiradas, são retidas na parte superior do sistema respiratório. As respiráveis ($\text{MP}_{2,5}$ e $\text{MP}_{0,1}$) são encontradas em fumaça e neblina. Essas partículas são mais agressivas à saúde, pois permanecerem em suspensão no ar por mais tempo (FREITAS, 2016). Quando inspiradas, podem atingir as porções mais inferiores do sistema respiratório. A partir dessas classificações, é possível uma divisão por classes na (Tabela 3).

Tabela 3- Divisão classificatória de MP.

<i>POEIRAS</i>	Partículas sólidas formadas geralmente por processos de desintegração mecânica. Tais partículas são usualmente não esféricas, com diâmetro equivalente, em geral, à faixa acima de 1 μm . As poeiras de cimento, de amianto e de algodão são alguns exemplos.
<i>FUMOS</i>	Partículas sólidas formadas por condensação ou sublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização / sublimação de sólidos. As partículas formadas são de pequeno tamanho, em geral de formato mais esférico. Fumos metálicos (chumbo, zinco, alumínio, etc.) e fumos de cloreto de amônia são alguns exemplos.
<i>FUMAÇAS</i>	Partículas principalmente sólidas, formadas na queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Contém fuligem (partículas líquidas) e, no caso de madeira e carvão, uma fração mineral (cinzas). São caracterizadas por partículas de diâmetro muito pequeno.
<i>NÉVOAS</i>	Partículas líquidas produzidas por condensação ou por dispersão de um líquido (atomização). Apresentam tamanho de partícula em geral maior que 5 μm . Névoas de óleo de operações de corte de metais, névoas de pulverização de pesticidas, névoas de tanques de tratamento superficial (galvanoplastia) e névoas de ácido sulfúrico são alguns exemplos.

Fonte: CETESB, 2012.

Dessa divisão, as fumaças e poeiras são as mais eminentes e preocupantes nas cidades. As partículas emitidas pelos veículos a gasolina acontecem pela combustão incompleta do óleo lubrificante e dos aditivos da gasolina. O veículo a diesel emite mais MP do que um automotivo a gasolina (SANTOS *et al.*, 2015). A fumaça preta, característica de veículos a diesel é relacionada à fuligem, que pode ser chamada de carbono negro (CN). Essa formação acontece durante a combustão com baixa concentração de oxigênio. Existem também a fumaça branca, cinza ou azulada proveniente dos hidrocarbonetos condensados no escapamento dos veículos a diesel.

2.4 PADRÃO DE QUALIDADE DO AR COM BASE NA RESOLUÇÃO DO CONAMA

No início dos anos 60, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), houve uma preocupação relacionada à qualidade do ar por iniciativa de alguns municípios dessa Região. O trabalho pioneiro sobre a poluição do ar em São Paulo foi através do convênio com a Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA) entre 1960 e 1970. Em seguida, transitou por vários órgãos como a Superintendência de Saneamento Ambiental (SUSAM), em 1970, a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico (CETESB), no qual assumiu o controle das atividades pautadas no controle da qualidade da água, do ar e do solo de São Paulo (BRAGA, 2003).

A legislação federal estabelece dois padrões para a qualidade do ar: o padrão primário e o secundário. O padrão primário acarreta danos à saúde da população, enquanto que o secundário apresenta baixa concentração de poluentes (Quadro 02). Essa definição foi proposta pelo Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente (IBAMA) em 1990 e se tornou uma resolução do CONAMA com definições de curto e médio prazo.

Quadro 2- Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil de acordo com a resolução de 1990.

Poluente	Tempo Médio de Amostragem	Concentração (violações aceitas por ano)	
		Padrão Primário	Padrão Secundário
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	240	150
	Anual (MGA*)	80	60
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	150	100
	anual	60	40
Partículas inaláveis - MP10 - ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	150	150
	anual	50	50
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	365	100
	anual	80	40
CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ppm)	1h	40.000-35	40.000-35
	8h	10.000-9	10.000-9
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1h	160	160
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1h	320	190
	anual	100	100

Observação: para PTS, fumaça, partículas inaláveis e SO₂, os padrões primários e secundários relativos às médias de 24 horas podem ser ultrapassados apenas uma vez ao ano. Os padrões primários e secundários do CO de 8 horas e de 1 hora e do ozônio também não podem ser ultrapassados mais de uma vez ao ano. Não há permissão de ultrapassagem para o NO₂.
MGA – Média Geométrica Anual

Fonte: elaboração a partir da Resolução CONAMA 003/1990 e de Santana *et al.* (2012).

Nesse quadro está descrita a interpretação da resolução do CONAMA 003/1990. Criado com base em critérios desenvolvido no Canadá e nos EUA, este índice foi baseado no *Pollutant Standard Index* - PSI, criado pela EPA, e dá valores adimensionais para a qualidade do ar, sendo

utilizado desde 1981. Os poluentes por PTS, MPS e MP₁₀ são os que mais ocorrem diariamente e, pelo padrão de qualidade do ar, as médias de 24 horas, só podem ser ultrapassados apenas uma vez ao ano. Esse grupo dito tradicional tem sido objeto de várias pesquisas por prejudicar a atmosfera, a vegetação e a saúde humana.

O órgão brasileiro responsável pela regulamentação das emissões atmosféricas é o CONAMA, que por meio de suas resoluções estabelece os limites de emissões. Além desse órgão, o Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA organizam discussões para estabelecer os limites. A resolução n° 5/89 na qual foi instituída o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) é um instrumento que contribui para a gestão ambiental, para a proteção da saúde e bem-estar das populações e para o desenvolvimento socioeconômico. Outro programa nacional para a qualidade do ar lançado por resoluções do CONAMA, conforme o S.O.S. Ambiente (2003), é o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) – Resolução 018/86 CONAMA de 06 de maio de 1986 com objetivo de reduzir emissões.

Existem, de fato, parâmetros a serem seguidos nacionalmente sobre poluentes, mas falta investimento nos demais estados que não têm monitoramento do ar. O PRONAR tem como estratégia limitar de forma nacional, as emissões por tipos de fontes e poluentes primordiais, visando ao controle de emissão (CONAMA, 2012).

A resolução n° 003/1990 foi uma consequência do PRONAR, que, em seu artigo, limitava os níveis de emissão. Conforme essa resolução do CONAMA, foram determinados os limites e os métodos de amostragem e análise, para os quais foram determinados os padrões de qualidade do ar (Tabela 4), como o dióxido de enxofre (SO₂), as partículas totais em suspensão (PTS) ou material particulado em suspensão (MPS), o material particulado inalável (MP₁₀), a fumaça (FMC), o monóxido de carbono (CO), o ozônio (O₃); e o dióxido de nitrogênio (NO₂) (BRASIL, 1990).

Limitar as concentrações de poluentes atmosféricos é necessário para não afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população. Para cada poluente quantificado, é calculado um índice. O nível obtido para os concentradores de poluente no ar recebe uma qualificação classificada em boa, regular, inadequada, má e péssima (Quadro 03).

Quadro 3- Índice Geral de Qualidade do ar.

Qualidade	MPI - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Significado
BOA	0 – 50	Praticamente não há risco à saúde
REGULAR	>50 – 150	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
INADEQUADA	>150 e <250	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
MÁ	≥ 250 e <420	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
PÉSSIMA	≥ 420	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2013.

Os Padrões de Qualidade do Ar (PQAr) utilizado pelo CETESB, que segue as resoluções do CONAMA, têm variação de padrão de concentração de poluentes diferentes dos padrões permitidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Conforme a OMS, para gerenciar a qualidade do ar é preciso levar em consideração o desenvolvimento e a capacidade de gestão nacional da qualidade do ar (CETESB, 2013) junto a outros fatores, como abordagens aos riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas, questões políticas, sociais e a heterogeneidade dos locais, antes de estimar valores de padrões. Na resolução do CONAMA 003/1990, há a definição dos níveis de qualidade do ar, elaborada para emergências de episódios críticos de poluição. Foram definidos três níveis críticos de poluição, atenção, alerta e emergência, entendidos como a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo. Na Tabela 4, estão descritos os critérios para episódios agudos de poluição do ar.

Tabela 4- Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90).

<i>Parâmetros</i>	<i>Atenção</i>	<i>Alerta</i>	<i>Emergência</i>
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	375	625	875
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	65.000	261.000	393.000
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	400*	800	1.000

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na legislação estadual, que é mais restritiva (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fonte: (CETESB, 2013, p. 22).

Os três níveis, segundo Braga *et al.* (2005), são de acordo com seus efeitos sobre a saúde. Por nível de atenção, entende-se o decréscimo da resistência física e maiores sintomas em pessoas com enfermidades cardiorrespiratórias e os sintomas gerais na população sadia), por nível de alerta, tem-se o aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas e por nível de emergência, entende-se fatores como morte prematura de idosos e pessoas doentes.

A qualidade do ar é fundamentada no cálculo de índice de qualidade (IQ), que é uma ferramenta matemática criada para divulgar de forma simples a qualidade do ar, com sua classificação baseada no Quadro 1 nos padrões estabelecidos pela (CETESB, 2013).

A concentração do poluente resulta no valor do índice, comparando a escala na base do PQAR, com isso o poluente é medido de acordo com o valor conforme Quadro 4, utilizando o índice mais alto dos poluentes se houver uma ultrapassagem do que foi definido como padrão. Depois do cálculo, estabelece-se o efeito sobre a saúde humana como segue no Quadro 5.

Quadro 4- Índice geral de classificação de qualidade do ar.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	Fumaça (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Significado
Boa	0-50	0-50	0-80	0 - 4,5	0-100	0-80	0-60	0-80	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	>50-150	>80-160	>4,5 - 9	>100 - 320	>80- 365	>60-150	>80 - 240	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	>150 e <250	>160 e <200	>9 e <15	>320 e <1130	>365 e <800	>150 e <250	>240 e <375	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	≥ 250 e <420	≥ 200 e <800	≥ 15 e <30	≥ 1130 e <2260	≥ 800 e <1600	≥ 250 e <420	≥ 375 e <625	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares)
Péssima	≥ 300	≥ 420	≥ 800	≥ 30	≥ 2260	≥ 1600	≥ 420	≥ 625	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Quadro 5- Qualidade do ar e os efeitos da saúde.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0-50	0-50 Efeitos desprezíveis	0-80 Efeitos desprezíveis	0-4,5 Efeitos desprezíveis	0-100 Efeitos desprezíveis	0-80 Efeitos desprezíveis
Regular	51-100	>50 - 150 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>80 - 160 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>4,5 - 9 Pessoas com doenças cardíacas podem apresentar sintomas como cansaço e dor no peito	>100 - 320 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>80 - 365 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço
Inadequada	101-150	>150 e ≤200 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	>160 e ≤180 Pessoas com doenças respiratórias, como asma, e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	>9 e ≤12 População em geral pode apresentar sintomas como cansaço. Pessoas com doenças cardíacas têm os sintomas como cansaço e dor no peito agravados	>320 e ≤720 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias e crianças têm os sintomas agravados	>365 e ≤576 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados
	151-199	>200 e <250 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>180 e <200 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>12 e <15 Aumento de sintomas em pessoas cardíacas. Aumento de sintomas cardiovasculares na população em geral	>720 e <1130 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>576 e <800 Aumento dos sintomas em pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral
Má	200-250	≥250 e ≤350 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio	≥200 e ≤400 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	≥15 e ≤22 Agravamento das doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva	≥1130 e ≤1690 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	≥800 e ≤1200 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio
	251-299	>350 e <420 Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares e respiratórios, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares. Risco de agravos à gestação	>400 e <800 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	>22 e <30 Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares, como dores no peito, na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares.	>1690 e <2260 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	>1200 e <1600 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e cardiovasculares, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares
Péssima	≥300	≥420 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias	≥800 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	≥30 Sérios riscos de manifestações de doenças cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares	≥2260 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	≥1600 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias

Foi revogada a resolução do CONAMA de 1990, adotando novos padrões de medição de qualidade do ar, com a resolução do CONAMA nº 491/2018 servindo de parâmetro para o controle da poluição do ar no país. Passaram-se quase três décadas para a norma ser revista e atualizada. A monitoração da qualidade do ar no Brasil ocorre de forma limitada a alguns poluentes e com poucas estações. Na resolução atual, alteraram os níveis de poluentes para os três episódios críticos (Tabela 5), acrescentaram as partículas inaláveis finas (MP_{2,5}) e foram elaboradas etapas de implementação.

Tabela 5- Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações.

<i>Parâmetros</i>	<i>Atenção</i>	<i>alerta</i>	<i>emergência</i>
Partículas totais em suspensão mg/m ³ (média de 24h)	375	625	875
Material Particulado MP10 mg/m ³ (média de 24h)	250	420	500
Material Particulado MP 2,5	125	210	250
Fumaça mg/m ³ (média de 24h)	250	420	500
SO ₂ mg/m ³ (média de 24h)	800	1.600	2.100
NO ₂ mg/m ³ (média de 1h)	200	400	600
CO Ppm (média móvel de 8h)	125	210	250
NO ₂ mg/m ³ (média de 1h)	200	400	600
O ₃ mg/m ³ (média móvel de 8h)	15	30	40

Fonte: resolução do CONAMA nº 491/2018.

Na nova resolução, alteraram as concentrações dos poluentes CO, NO₂ e O₃ nos episódios críticos. No Art. 4º foram estabelecidas quatro etapas (BRASIL, 2018, Art.4º).

§ 1º A primeira etapa, que entra em vigor a partir da publicação desta Resolução, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1.

§ 2º Para os poluentes Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo (Pb) será adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação desta Resolução.

§ 3º Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, conforme os artigos 5º e 6º, respectivamente.

§ 4º Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

§ 5º Caberá ao órgão ambiental competente o estabelecimento de critérios aplicáveis ao licenciamento ambiental, observando o padrão de qualidade do ar adotado localmente.

No terceiro parágrafo, foram instituídas quatro etapas a partir do Padrão de Qualidade do Ar de Intermediário (PI) 1 até o Padrão Final (PF), só podem ser realizados a partir da subsequência desses PIs. As próximas etapas de implementação levarão em consideração os planos de controles da poluição do ar por órgãos estaduais e distrital entrando em vigor após avaliações da etapa 1. Então, cada estado e distrito terá que elaborar um plano de controle de emissões atmosféricas e de qualidade do ar, tendo como produto final um relatório anual. No 5º e 6º artigo, são regulamentações que o estado e o distrito devem seguir com o prazo de até 3 anos com definições locais baseadas nesta resolução. Depois dessa organização local, será elaborado anualmente um relatório (BRASIL, 2018, Art.5º e 6º).

Art. 5º Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, em até 3 anos a partir da entrada em vigor desta Resolução, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido em regulamentação própria.

§ 1º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá considerar os Padrões de Qualidade definidos nesta Resolução, bem como as diretrizes contidas no PRONAR.

§ 2º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá conter:

I- abrangência geográfica e regiões a serem priorizadas;

II - identificação das principais fontes de emissão e respectivos poluentes atmosféricos; e

III - diretrizes e ações com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação.

§ 3º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão, a cada 3 anos, relatório de acompanhamento do plano, indicando eventuais necessidades de reavaliação, garantindo a sua publicidade.

§ 4º O Plano a que se refere o caput, juntamente com os resultados alcançados na sua implementação, deverá ser encaminhado ao Ministério do Meio Ambiente no primeiro trimestre do quinto ano da publicação desta Resolução.

Art. 6º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicidade.

No primeiro parágrafo do quinto artigo, o estado e o distrito têm que considerar os padrões de qualidade do ar (Quadro 5) e adaptarem para sua realidade, como abrangência geográfica e regiões, identificando as fontes de emissão e os poluentes para, a partir disso, desenvolver diretrizes e ações. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) terá que reunir as informações disponíveis de cada estado e distrital referentes à qualidade do ar e apresentar ao CONAMA até o final do quinto ano da publicação desta Resolução. Em uma ação conjunta com o MMA e com os órgãos ambientais de cada local, está previsto o monitoramento do ar com guia técnico contendo métodos de referência e os critérios para utilização de métodos equivalentes; da localização dos amostradores; da representatividade temporal dos dados; e da sistematização do cálculo do Índice de qualidade do ar segundo a Resolução.

O Quadro 6 mostra as diferentes etapas (PI-1, PI-2, PI-3, PF) estabelecidas na minuta da resolução e seus parâmetros. O PF é o Padrão de Referência da Organização Mundial de

Saúde (OMS). Os poluentes Ozônios e o Material Particulado têm os valores bem diferentes ao permitido pela OMS para a saúde.

Quadro 6- Novo padrão de qualidade do ar.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		mg/m ³	m/m ³	mg/m ³	mg/m ³	ppm
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO2	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO2	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O3	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb5	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
1 - média aritmética anual						
2 - média horária						
3 - máxima média móvel obtida no dia						
4 - média geométrica anual						
5 - medido nas partículas totais em suspensão						

2.5 POLUIÇÃO DO AR E OS SEUS EFEITOS À SAÚDE

Os efeitos da poluição do ar podem ser classificados em estéticos, irritantes e tóxicos. A presença de poluentes de gases ou partículas varia em qualidade e em quantidade. Ainda, um poluente nunca exerce apenas um desses efeitos e, de acordo com as definições de Branco e Murgel (1995), esses efeitos têm características adversas ao homem:

- Os efeitos estéticos acontecem através de alterações na aparência do ar, causadas por vapores, fumaças e poeiras. Outro efeito negativo seria o mau odor produzido por certos gases. Todos esses fatores afetam a saúde;
- Os efeitos irritantes acontecem por causa da quantidade de aldeídos, produzidos por indústrias e automóveis. Os automóveis movidos a álcool podem produzir bem menos monóxido de carbono, mas o efeito dos aldeídos pode incomodar a saúde do homem, como a irritação de olhos e vias respiratórias, podendo chegar

aos brônquios, causando problemas alérgicos, afecções pulmonares bronquites ou asma;

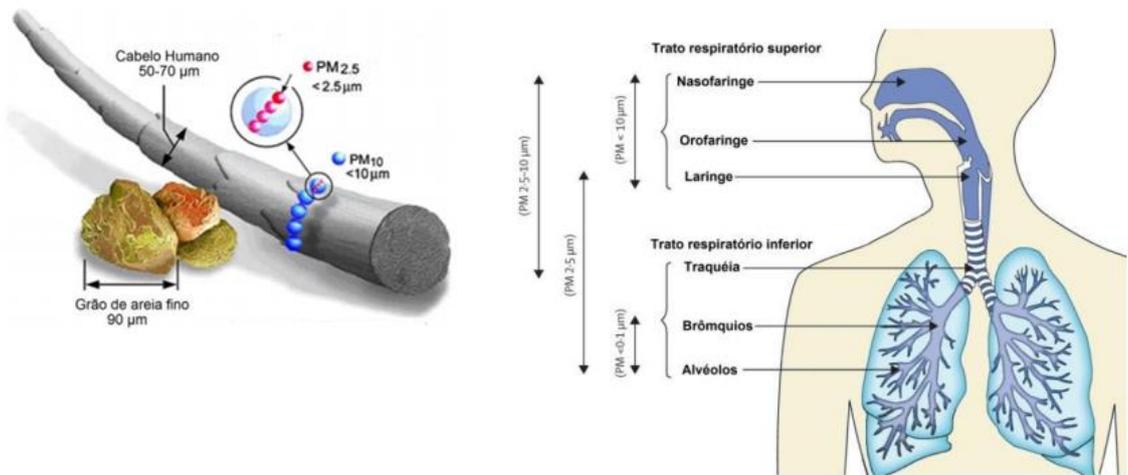
- Os efeitos tóxicos ocorrem mais em operações industriais ou por reação química. A presença de substâncias nocivas em baixas concentrações no ar que respiramos também é perigosa, como, por exemplo, o dióxido de carbono.

A interferência do homem sobre o meio ambiente acarreta alguns prejuízos na qualidade de vida da sociedade, mudando, desse modo, a percepção ambiental das pessoas. A relação dos seres vivos com a poluição do ar tem levado a consequências sérias para a saúde. Os impactos dessa exposição têm sido acentuados e abrangentes, uma vez que os mais expostos a esses impactos são as crianças e os idosos.

A OMS estima que, dois milhões de pessoas sejam vítimas fatais de doenças causadas pela poluição do ar a cada ano. Em países desenvolvidos, crianças, adultos e idosos já passaram por situações de problemas respiratórios através do ar. A América Latina está numa posição intermediária, existindo oito países em condições mais alarmantes que o Brasil (BRAGA, 2003). Sobre o relatório da OMS, fontes como a *British Broadcasting Corporation* (BBC) explanam lista das principais cidades da América Latina com maior concentração MP e com valores concentração acima do recomendado, sendo elas: Cidade do México, Buenos Aires, Bogotá, Caracas, Lima e São Paulo. Mas nenhuma delas é a mais contaminada. O título é da cidade de Coyhaique, no sul do Chile.

As fundamentais fontes poluidoras, que são os veículos automotivos e as indústrias, estão presentes em áreas urbanas em decorrência do tráfego de veículos. As concentrações de poluentes podem gerar traços epidemiológicos, como afecções agudas e crônicas no trato respiratório (LICHTENFELS; BOHM; SALDIVA, 1993). A partir de variantes nos padrões da qualidade do ar, podem ocorrer asma e bronquite. A ocorrência de mortalidade, geralmente associada a doenças cardiovasculares, ocorre com frequência por Material Particulado inalável (Braga et al. 2005). Entram também na lista de grupos vulneráveis os indivíduos com histórico de doenças respiratórias e o impacto na saúde é a soma das diferentes exposições a diversos agentes, a depender do tempo de exposição a períodos de altos índices de poluentes. Pandya *et al.* (2002) destacam que os gases e partículas ultrafinas (Figura 13) derivadas da queima de combustíveis, sobretudo do diesel, são aspectos responsáveis por ocorrência de asma brônquica entre outras doenças alérgicas. O MP de espessura mais grossa (10 μm) e o de espessura mais fina (2,5 μm) são os poluentes com maiores frequências na causa de danos à saúde.

Figura 13- Comparação do MP e como essa exposição de inalação age nos seres humanos.



Fonte: Imagem de MP site do EPA e esquema de exposição adaptado de Guarnieri e Balmes, 2014.

2.6 ESTUDOS DE POLUIÇÃO

A maioria dos estudos sobre a qualidade do ar possui metodologias e técnicas diversificadas, principalmente no cenário internacional, apresentando resultados nas áreas da saúde, do clima e do planejamento urbano. Autores como Edussuriya, Chan e Ye (2011), em Hong Kong, fazem associação entre a morfologia urbana e a qualidade do ar, aplicando modelo estatístico desenvolvido para explicar a relação entre a qualidade do ar urbano, a micro-meteorologia e a dimensão morfológica urbana. Em outro estudo no mesmo país, os autores Yuan, Edward e Norford (2014) avaliam a ventilação do ar para projetos em Hong Kong de alta densidade, incluindo questões de dispersão de poluentes do ar, utilizando métodos de simulações por Fluidodinâmica Computacional (CFD) e estudo paramétrico e trazendo resultados positivos nas suas aplicações de técnicas na qualidade do ar. Para isso, porém, é preciso uma rede de monitoramento com estações eficazes.

Em alguns estudos de casos, podemos citar os autores Lin *et al.* (2020) que analisam o impacto do tráfego na qualidade do ar urbano, na composição química dos aerossóis submicrônicos (MP1) e as fontes de aerossol orgânico (AO), investigando simultaneamente em um local no centro da cidade de Dublin e em um local residencial no subúrbio da cidade, usando um monitor de especiação química de aerossol. No âmbito internacional, existe uma variedade de equipamentos de alta tecnologia e aplicações de técnicas, que muitas vezes necessitam de dados de estações de monitoramento, facilitando, assim, as avaliações nessa

temática.

No Brasil, o pesquisador Ademir Targino realiza inúmeras pesquisas sobre a qualidade do ar com técnicas e equipamentos internacionais baseados em alguns autores dos EUA, como Hansen *et al.* (1984) e Chung *et al.* (2001). No cenário nacional, ele consegue realizar adaptações nas metodologias e técnicas para aplicação no estado do Paraná. Em um dos estudos, por exemplo, mediu as concentrações de carbono negro (CN) e MP 2,5 em uma cidade de médio porte no sul do Brasil, identificando pontos críticos de poluição do ar e os fatores que afetam as concentrações (TARGINO *et al.*, 2018). Em outro estudo, analisa *Canyons* de uma rua movimentada em Londrina/PR, avaliando fatores de emissão veicular para NOx, CN e partículas finas (PM2.5) usando modelagem (KRECL *et al.*, 2018).

O único estudo semelhante a minha proposta nesse trabalho foi realizado na Região do Nordeste em Fortaleza. Apresentando uma avaliação na qualidade do ar na Região Metropolitana de Fortaleza e fundamentado no canal físico-químico do Sistema de Clima Urbano (SCU), analisou a influência do ritmo climático nas concentrações de poluentes detectadas por meio de amostradores de ar (FREITAS, 2016).

Ainda são poucos os estudos, no âmbito nacional, voltados para o subsistema físico-químico do SCU. Isso ocorre devido aos valores elevados dos equipamentos para medição da qualidade do ar e à falta de recursos das instituições públicas, além de poucos serem os municípios que contenham estações de monitoramento da qualidade do ar que possam aplicar estudos (MENDONÇA, 2015). Os estudos que corroboram essa temática na geografia são escassos e refletem as dificuldades em se obter registros para qualificar as publicações. A maior parte ocorre nas áreas de engenharia e arquitetura, tendo como principal objetivo a quantificação, modelagem de dispersão, identificação de tipos de poluentes e a influência da morfologia urbana.

No Brasil, o monitoramento da qualidade do ar acontece de forma diversificada por meio de rede de monitoramento por agências e órgãos públicos. Por exemplo, a ausência de estudos em determinados lugares (Quadro 7), como na Região Norte, e como na Região Nordeste que, dentre nove, só dois estados possuem monitoramento do ar, Bahia e Sergipe. No estado de Pernambuco, não existe monitoramento do ar, logo, na capital desse estado por conter maior número de habitantes e, por consequência, um aumento de meios de transportes como carros, motos e ônibus, não se tem uma noção do impacto de material particulado em Recife.

Quadro 7- Monitoramento da qualidade do ar nas diferentes regiões do Brasil.

	Sem monitoramento da qualidade do ar	Com monitoramento da qualidade do ar
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	Goiás, Mato Grosso e Distrito Federal
Nordeste	Alagoas, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte	Bahia, Sergipe
Norte	Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins	-
Sudeste	-	Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo
Sul	Santa Catarina	Paraná, Rio Grande do Sul

Fonte: VORMITTAG *et. al.* (2014).

A verificação da qualidade do ar não é só por meio do monitoramento, mas também por identificação de fontes emissoras, estudos de tendência e estimativa em espaços não monitorados. A defasagem de áreas não monitoradas que não possuem controle e nem monitoramento de ar em seus estados, como a região Norte do país, evidencia um contraste em relação a outras regiões, como a Região Sudeste que apresenta 78% de monitoramento em sua região, e a Região Sul, que apresenta 13% de monitoramento em sua região (VORMITTAG *et. al.*, 2014). A maioria dos estudos nessas áreas é voltada para a modelagem de dispersão. Existem áreas com mais representação por ser grandes capitais, sendo, assim, responsáveis por maiores concentrações de poluentes.

O órgão ambiental estadual de Pernambuco responsável pelo monitoramento da qualidade do ar é a Agência Pernambucana de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH), que atua desde 1991 sendo responsável pelo controle ambiental estadual. Essa rede de monitoramento foi constituída de forma que abrangesse as áreas mais críticas, considerando a topografia, o uso e a ocupação do solo, a fim de reconhecer as áreas prejudicadas pela poluição do ar (CPRH, 2019), bem como objetivando conhecer e comparar os valores a partir de padrões nacionais e internacionais para aplicar medidas de prevenção e correção de controle do ar. No início dos anos 90, foi implantada uma rede de monitoramento do ar na Região Metropolitana do Recife (RMR), assim podendo ter conhecimento em longo prazo dos níveis de poluição do ar. As implantações dessas estações estão em bairros (Quadro 8) do Recife: Agamenon, Curado, Caxangá, Santo Antônio, Boa vista e Encruzilhada.

Quadro 8- Qualidade do ar na Região Metropolitana do Recife.

Estação	Localização	Área de avaliação	Índice de qualidade	Classificação da qualidade do ar
Paulista	Centro	Trânsito	-	-
Agamenon	Escola Barbosa Lima	Trânsito	-	-
Curado	Centro de Aperfeiçoamento de Praças da PMPE	Industrial	-	-
Caxangá	6ª Delegacia do Cordeiro	Trânsito	-	-
Santo Antônio	Esquina da Dantas Barreto com a Nossa Senhora do Carmo	Trânsito	-	-
Boa Vista	Esquina da Conde da Boa Vista com Hospício	Trânsito	-	-
Encruzilhada	Mercado Público	Residencial	24	Boa
Jaboatão dos Guararapes (Chesf)	Chesf	Industrial	12	Boa
Jaboatão dos Guararapes (Metrô)	Estação do Metrô	Industrial	44	Boa
Cabo	Posto da TELPE	Industrial	-	-

*Índice concebido com base no PSI - Pollutant Standards Index, desenvolvido pela EPA - Environmental Protection Agency (EUA).

Poluentes monitorados: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂).

Fonte: Site da CPRH, 2019.

Dessa forma, existe monitoramento em alguns locais da RMR, mas sem uso dessas informações ou divulgação de dados. No Quadro 8, não há dados de Índice de Qualidade, nem a classificação da qualidade do ar em determinados ambientes. O conhecimento contínuo das emissões, seja por poluição estacionária ou móvel, possibilita a estimativa de tendências e medidas de controle.

Um monitoramento maior fica localizado no complexo Industrial e Portuário de Suape. Fazendo parte do programa da CPRH, essa ação faz parte do projeto Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para o Complexo Industrial e Portuário de Suape (RMQAR). Essa rede mede a emissão de gases poluentes PM₁₀, dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O₃). O processamento de dados ocorre a partir da leitura, armazenamento e transmissão online da concentração de poluentes. E, havendo uma ultrapassagem de limites da qualidade do ar, a CPRH pode intervir na área. No caso dessa área sendo monitorada, não há como fazer uma análise sobre a poluição do Recife com base nesses dados, pois a influência da estrutura da cidade tem um impacto maior na dispersão e no acúmulo de poluentes. Essa ação é importante para essa área micro do Portuário, mas não se pode estender para a cidade do Recife.

Existem poucos estudos sobre a poluição do ar no Recife, mostrando, assim, o déficit dessa temática nessa cidade. Os autores Silva *et al.* (2015) avaliaram as tendências de séries temporais de emissão dos gases de NO_x, HC, CO, CO₂ e MP₁₀ (Figura 18) por automóvel e por tipo de combustível (gasolina e álcool) no período de 1990 a 2013. Os resultados para o material particulado apresentaram um crescimento sem expectativa de redução. Os cálculos foram realizados por equação de tendência.

Nos estudos de Santos (2016), a ferramenta de avaliação de qualidade do ar se dá por meio de biomonitoração com o uso de organismos como biomonitores líquens e plantas epífitas que acabam sendo uma alternativa mais acessível e apresentando uma eficácia na avaliação da qualidade do ar usando a quantificação de elementos químicos integrados ao tráfego de veículos nos tecidos dos biomonitores. Nos resultados obtidos por Santos (2016), percebe-se um aumento considerável de veículos automotivos no município do Recife nos últimos anos. Para analisar a influência na qualidade do ar, foram distribuídos 40 pontos na RMR, entre eles 25 pontos que ficam localizados em Recife, utilizando as espécies biomonitoras *Cladonia verticillaris* e *Tillandsia recurvata*. Em seus resultados, os elementos químicos que foram analisados juntos aos seus componentes podem estar relacionados ao material particulado como principal contribuinte ao tráfego de veículos.

Como resultado, os pontos de monitoração em localidades com altitude mais elevada apresentaram as menores concentrações de elementos químicos. O local monitorado que apresenta as maiores concentrações dos elementos químicos foi à rodovia BR-101, local de intenso tráfego de veículos pesados, tendo como um dos fatores determinantes a questão da dispersão de elementos químicos, que é fortemente influenciada pela área costeira.

Um dos trabalhos mais recentes de poluição do ar é da autora Alcântara (2019), utilizando modelos de regressão de vetores e sistema de tendências para a previsão de MP₁₀, CO, O₃ e NO₂. Em seu diferencial, tenta levar em consideração os aspectos meteorológicos como velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar, tentando provar a importância das variáveis meteorológicas na previsão da poluição do ar. Os dados utilizados foram séries históricas de poluentes atmosféricos em concentrações horárias da CPRH da estação RNEST (Refinaria Abreu e Lima), que faz parte do complexo industrial de Suape, localizada no município de Cabo de Santo Agostinho, estado de Pernambuco. Os dados desse estudo foram coletados a uma considerável distância do Recife, em uma área totalmente diferente, e os resultados se alteram pela distância da capital. Por isso, não é tão seguro expandir os dados de MP para Região Metropolitana do Recife (RMR). Para uma análise mais pontual e

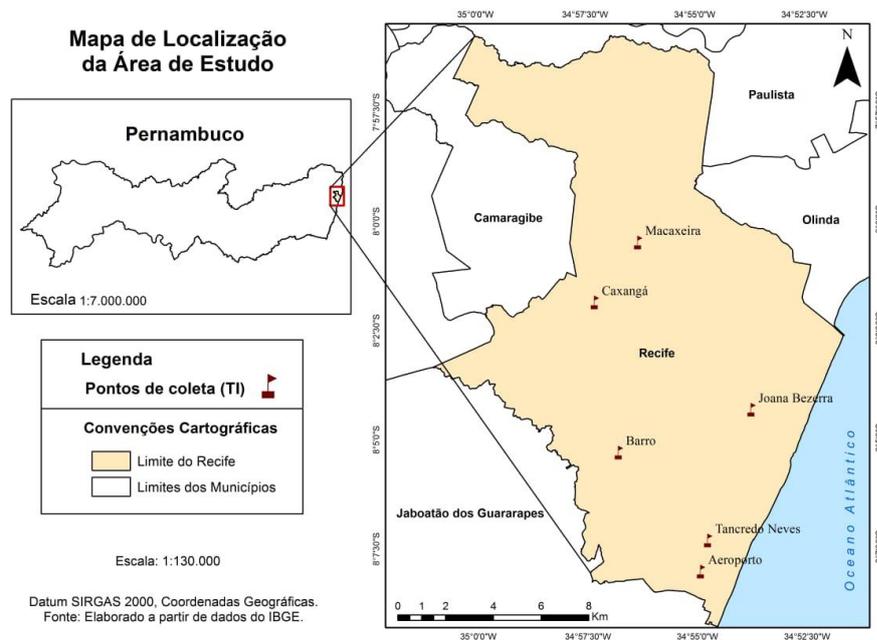
dinâmica, seria preciso que os dados, tanto dos poluentes como das variáveis meteorológicas, fossem realizados em pontos específicos da cidade. A hipótese central do estudo é válida quando o objetivo é utilizar as variáveis meteorológicas no monitoramento da qualidade do ar, uma vez que o uso dessas características interfere no tempo de residência e de dispersão dos poluentes atmosféricos. No caso do MP, por possuir espessuras variadas, sua interação com a velocidade do vento, temperatura e umidade determinam a duração de permanência nos locais.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco (Figura 14), está localizada às margens do Oceano Atlântico e no litoral do Nordeste brasileiro, mais precisamente no centro leste da região. A cidade está situada na latitude $8^{\circ} 03' 14''$ S e na longitude $34^{\circ} 52' 51''$ O, estando uma considerável parte de mancha urbana situada sobre uma planície flúvio-marinha.

Figura 14- Localização da área de estudo, destacando a cidade do Recife e a distribuição dos TIS.



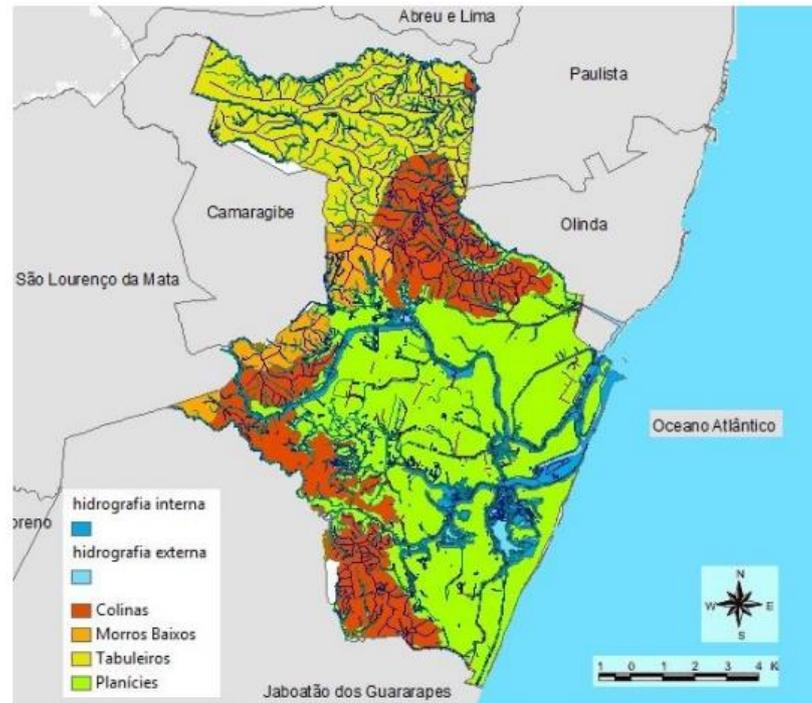
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.2.1 Relevo

O município é composto de ilhas, penínsulas, alagados e mangues, envolvidos por braços de rios desde as costas marinhas, marcadas em quase toda a sua extensão por uma linha de arrecifes de arenito (GOMES, 2007). Sua altitude média é de apenas 4 metros acima do nível do mar, compreendendo uma área de 218 Km² (CORRÊA, 2006). A área territorial é composta de morros (67,43%), de planícies (23,26%), e de zonas aquáticas (9,31%), conforme Figura 15 (PREFEITURA DO RECIFE, 2017).

Figura 15– Mapa do Relevo do Recife.



Fonte: Base Cartográfica da Prefeitura da Cidade do Recife, adaptado por Lima, 2015.

No trecho litorâneo, onde se encontram os rios Capibaribe e o Beberibe, está localizada a planície de formação flúvio-marinha, que se estende de forma semicircular, enquadrada ao norte, ao oeste e ao sul pelas colinas originárias da dissecação da superfície sedimentar referida ao plioceno, a chamada formação barreiras (MELO,2012). Com características de uma topografia plana e levemente plana e cotas de altitude menor. Quando ocorre o afastamento dessa área, verifica-se um aumento das altitudes, situadas nos setores norte e oeste, reconhecido a partir de morfologias típicas de um ambiente de transição da planície para o ambiente de morros e colinas. O relevo do Recife é constituído por heterogeneidade que o caracteriza tanto ambientalmente como historicamente.

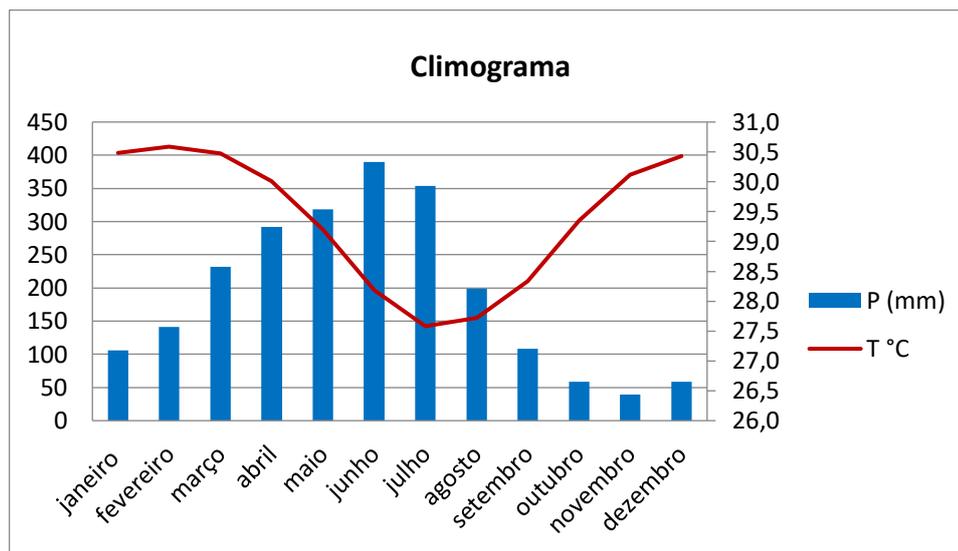
A topografia de uma cidade é essencial no estudo da qualidade do ar, pois pode influir na circulação de massas de ar. Com isso, as feições naturais e artificiais podem modificar a dispersão de poluentes, como os tabuleiros e os morros altos e baixos. De uma forma geral, em áreas costeiras a interação ocorre diferenciada, pois depende dos elementos emissores, da geometria urbana e da forma de ocupação nesses ambientes.

3.2.2 Clima

O clima da cidade é caracterizado por ser tropical litorâneo quente e úmido, com

temperaturas elevadas ao longo do dia e do ano (média anual de 25,5°C), com uma radiação difusa muito intensa, um alto grau de umidade do ar (média de 80%) e uma precipitação média anual elevada, sobretudo nos meses de inverno, acima de 2.000mm. Existem dois padrões climáticos durante o ano: a estação seca ou de estiagem, que se prolonga de setembro a fevereiro (primavera-verão), e a estação chuvosa (Figura 16), de março a agosto (outono-inverno), que apresenta intensos eventos de precipitação (BARROS; LOMBARDO, 2013).

Figura 16- Distribuição total pluviométrica média mensal na cidade do Recife no período de 1962 a 2017.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INMET (2018).

As concentrações de precipitações podem ser observadas durante os meses de abril, maio, junho e julho. É possível analisar a distribuição total de precipitação média mensal na cidade do Recife no período de 1962 a 2017 (Figura 16). O quadrimestre de abril, maio, junho e julho acumulam durante os meses o total de 1.354,16 mm, no qual a média pluviométrica anual registrada na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é de 2.288,3 mm. A variação de temperatura do ar de acordo com os meses de janeiro a abril tende a ser maior (Figura 18) que nos meses de maio a agosto, períodos que coincidem com o verão e o inverno.

A distribuição de temperatura mensal (Figura 16) indica que fevereiro é o mês com temperatura mais elevada com média de 30,6°C e o mês de julho sendo com baixas temperaturas em média 27,6°C. Alguns fatores, como as estações do ano e precipitação, influem no aumento e na diminuição das temperaturas.

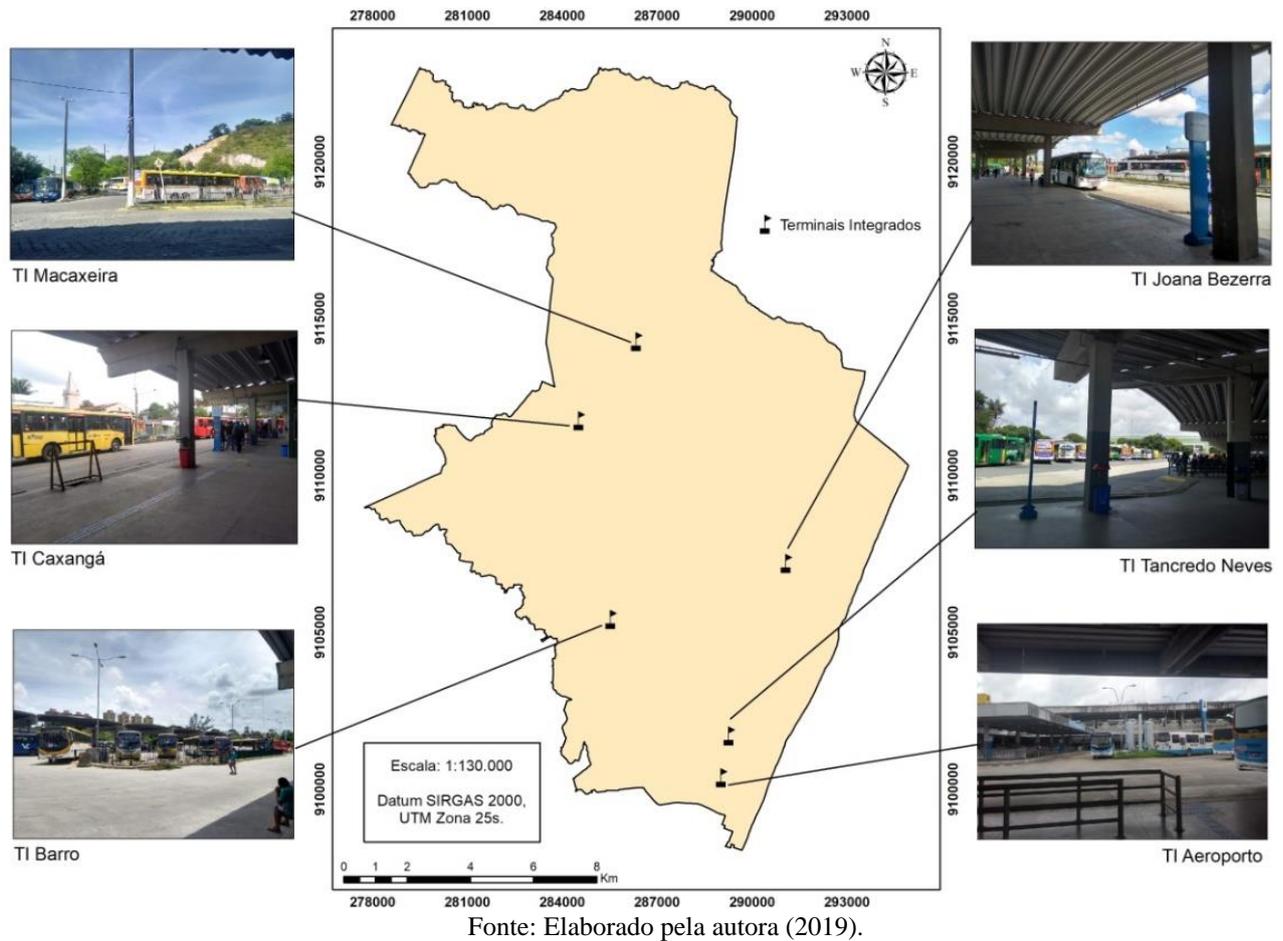
3.3 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS

No Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a ocupação mais densa de 7.039,64 hab./km² é situada desde as colinas no Sul e Sudoeste, na planície central, áreas litorâneas e início dos tabuleiros no Nordeste. As áreas de tabuleiros no norte apresentam baixa densidade populacional (SANTOS, 2018). De acordo com o Censo, realizado pelo IBGE (2010), a cidade tem uma população de 1.537.704 habitantes, distribuídos em um território de 218,50 km². A cidade é o núcleo principal da RMR com população que abriga 3,69 milhões de habitantes e que integra 14 municípios, que concentram 41,67 % da população do Estado e grande parte das suas atividades econômicas (PREFEITURA DO RECIFE, 2017).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS TERMINAIS INTEGRADOS

A Região Metropolitana de Recife (RMR), em sua rede de transporte público, oferece linhas de ônibus, *Bus Rapid Transit* (BRT), que significa trânsito rápido de autocarros/ônibus e metrô, que compõem o Sistema Estrutural Integrado (SEI), que liga a RMR por pontos de conexão de rede que ocorrem em 24 terminais de integração específicos e que apresenta movimentação diária de 601.200 passageiros, atendendo a dez municípios da RMR (Grande Recife, 2018). O serviço de transporte público da RMR é prestado por duas modalidades organizadas no SEI, como ônibus a diesel e metrô. A modalidade mais expressiva é a dos ônibus, controlados pela Grande Recife Consorcio de Transporte, que abrange ônibus intermunicipais, linhas de ônibus do município do Recife e de Jaboatão dos Guararapes, devido à delegação feita ao Estado. O transporte é essencial para a vida cotidiana nas cidades, para ampliar atividades e acessar bens e serviços essenciais: trabalho, saúde, educação, alimentação e lazer (CLEMENTINO; SOUZA, 2009). Os terminais integrados foram selecionados e analisados de acordo com suas características locais, ambientais, em função do fluxo de pessoas e por serem áreas de convergência de diversos bairros da cidade (Figura 17).

Figura 17- Distribuição dos TIS selecionados para coleta de dados.



PONTO 01 - Terminal Integrado da Macaxeira

Na RMR, esse é um dos terminais mais antigos. O terminal (Figura 18) foi inaugurado em 1992 e sua localização está situada na latitude $8^{\circ} 00' 29''$ S e na longitude $34^{\circ} 56' 18''$ O, encontrando-se entre os bairros de Dois Irmãos e da Macaxeira, próximo à BR- 101. O terminal, que é um dos mais movimentados da RMR, recebe diariamente cerca de 52 mil usuários. No seu entorno, existem barreiras naturais e antrópicas, como morros, Reserva Ecológica da Mata de Dois Irmãos (REMDI) em fragmento de mata Atlântica e algumas indústrias. É um ponto de muita locomoção da população estudantil, trabalhadores e idosos para Universidade Rural Federal de Pernambuco (UFRPE), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Hospital das clínicas. O TI conta com 14 linhas (Tabela 7) tem o maior fluxo de usuários do eixo noroeste, faz a transição e alimenta outras linhas e terminais, principalmente para chegar até o metrô.

Figura 18- Localização e descrição do Terminal Integrado da Macaxeira e sua estrutura interna.



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 6- Linhas do Terminal Integrado da Macaxeira.

<i>LINHA</i>	<i>NOME</i>
60	TI TANCREDO NEVES / TI MACAXEIRA
202	BARRO / MACAXEIRA (VÁRZEA)
207	BARRO / MACAXEIRA (BR-101)
520	MACAXEIRA / PARNAMIRIM
601	PARQUE RESIDENCIAL BOLA NA REDE / MACAXEIRA
604	ALTO BURITY / MACAXEIRA
641	TI MACAXEIRA / ENCRUZILHADA
645	TI MACAXEIRA (AV. NORTE)
901	TI ABREU E LIMA / TI MACAXEIRA
902	MIRUEIRA / MACAXEIRA
948	ARTHUR LUNDGREN II / MACAXEIRA
1906	TI PELÓPIDAS / TI MACAXEIRA
1964	TI IGARASSU / TI MACAXEIRA
2490	TI CAMARAGIBE / TI MACAXEIRA

Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>.

O terminal é composto por material construtivo de alta absorção de calor, a estrutura do terminal é baixa, sua ventilação sofre interferência dos morros leste e oeste com elevação de altura respectivamente 67 m e 68 m (Figura 19), sendo cortada pela BR -101 no sentido norte e sul, no qual mais de 60 mil carros circulam diariamente. Como bairros próximos, tem-se Alto José Bonifácio, Alto José do Pinho, Mangabeira, Morro da Conceição, Vasco da Gama, Brejo da Guabiraba, Brejo do Beberibe, Córrego do Jenipapo, Guabiraba, Macaxeira, Nova Descoberta, Passarinho e Pau Ferro.

Figura 19- Terminal Integrado Macaxeira e suas elevações de terreno.



Fonte: *Google Earth* elaborado pela autora (2019).

A elevação do terreno no entorno do TI varia de 9 a 67 metros (Figura 20), no percurso do terminal sentido oceano apresentam barreiras naturais como os morros com amplitude alta e baixa e as artificiais se encaixam nos conjuntos de edificações da Zona Norte.

Figura 20– Terminal Integrado da Macaxeira e elevação sentido oceano.



Fonte: *Google Earth* elaborado pela autora (2019).

PONTO 02 - Terminal Integrado do Barro

O terminal (Figura 21) foi inaugurado em 1994 e está localizado no bairro de Jardim São Paulo, na BR-101, situado na latitude $8^{\circ}05'19.17''S$ e $34^{\circ}56'44.77''O$. Integrado ao sistema metroviário da RMR, o terminal conta com 10 linhas (Tabela 08) e movimenta aproximadamente 24 mil passageiros diariamente. O TI possibilita aos usuários dos bairros e municípios situados ao longo do contorno do Recife e corredor da Av. Norte, acesso ao metrô. É um dos terminais que alimenta uma das estações de maior movimento do metrô do Recife e tem proximidade com a rodovia BR-101.

Figura 21- Localização e descrição do Terminal Integrado do Barro e sua estrutura interna .



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 7- Linhas do Terminal Integrado do Barro.

LINHA	NOME
103	UR-11 / BARRO
108	BARRO / CEASA
128	UR-03 / BARRO (MILAGRES)
202	BARRO / MACAXEIRA (VÁRZEA)
203	ZUMBI DO PACHECO / BARRO (LOTEAMENTO)
205	UR-05 / BARRO (BR-101)
206	TI BARRO / TI PRAZERES (JORDÃO)
207	BARRO / MACAXEIRA (BR-101)
209	COQUEIRAL / BARRO
216	TI BARRO / TI CAJUEIRO SECO

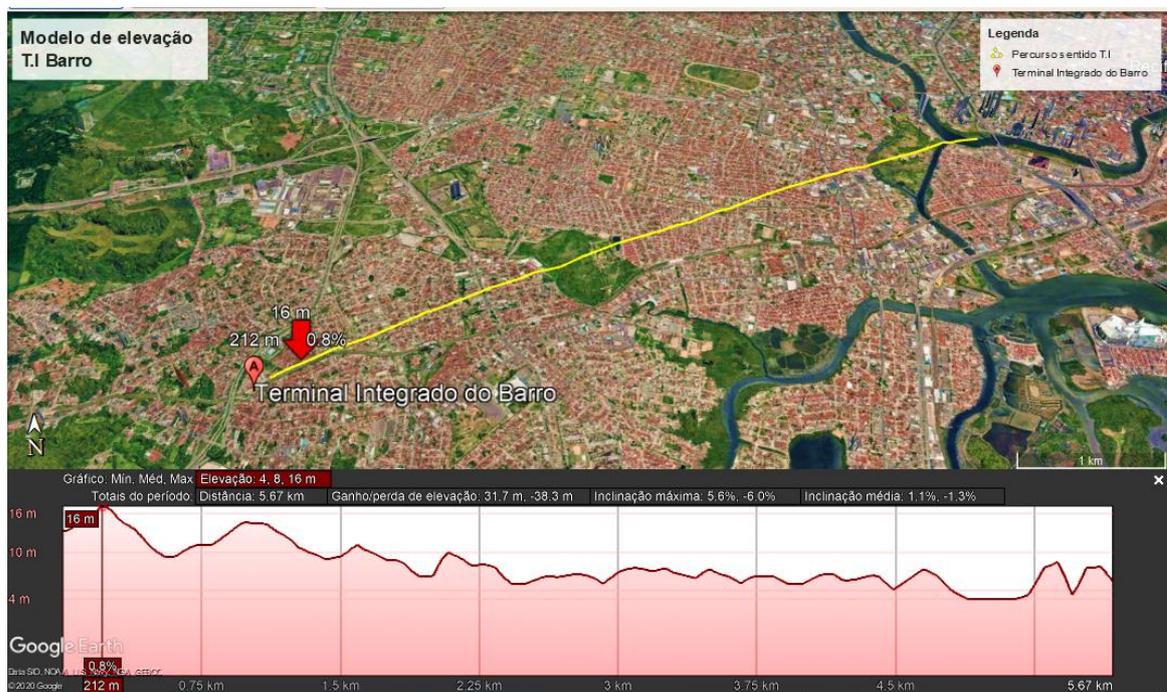
Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>

O terminal é composto por material construtivo de alta absorção de calor, a estrutura tem cobertas altas, que permite uma circulação maior de vento, possui um pátio interno de

estocagem de ônibus ampla e tem uma área total de 812 m². O terminal se encontra no fim da planície flúvio-marinha, onde se inicia a subida para os tabuleiros no norte do município. É cortada pela BR-101, porém perde um pouco de fluxo para a BR-232. O TI fica na fronteira entre o bairro de Jardim São Paulo e do Barro, outros bairros próximos ao terminal como Tejiipió, Curado e Areias.

A elevação do terreno no entorno do terminal varia de 4 a 16 metros (Figura 22), no percurso do terminal sentido oceano, apresentando mais barreiras artificiais, do que naturais, por está localizado na planície recifense. No ponto de 16 metros (Figura 22), é possível observar o aumento da elevação, iniciando a topografia do tabuleiro.

Figura 22- TI Barro e elevação sentido oceano.



Fonte: Google Earth elaborado pela autora (2019).

PONTO 03 - Terminal Integrado do Aeroporto

O terminal foi inaugurado em 2012 e está localizado na rua dez de julho, em Setúbal, Boa viagem, assim como está situado na latitude 8°08'03.09''S e 34°54'54.40''O. O TI conta com 8 linhas (Tabela 09) de ônibus que beneficiam, diariamente, cerca de 13 mil passageiros das comunidades do Jordão Alto, Jordão Baixo e QG Aeronáutica. O terminal (Figura 23) é de pequena extensão com ligação para o metrô e aeroporto. Tem proximidade

com a Avenida Sul e a Avenida Mascarenhas de Moraes, as quais são geograficamente paralelas às Avenidas Conselheiro Aguiar e Boa Viagem. As duas vias têm tráfego intenso, que vão de mais de 26 mil, no sul, e mais de 97 mil carros por dia.

Figura 23- Localização e descrição do Terminal Integrado Aeroporto e sua estrutura interna.



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 8- Linhas do Terminal Integrado do Aeroporto.

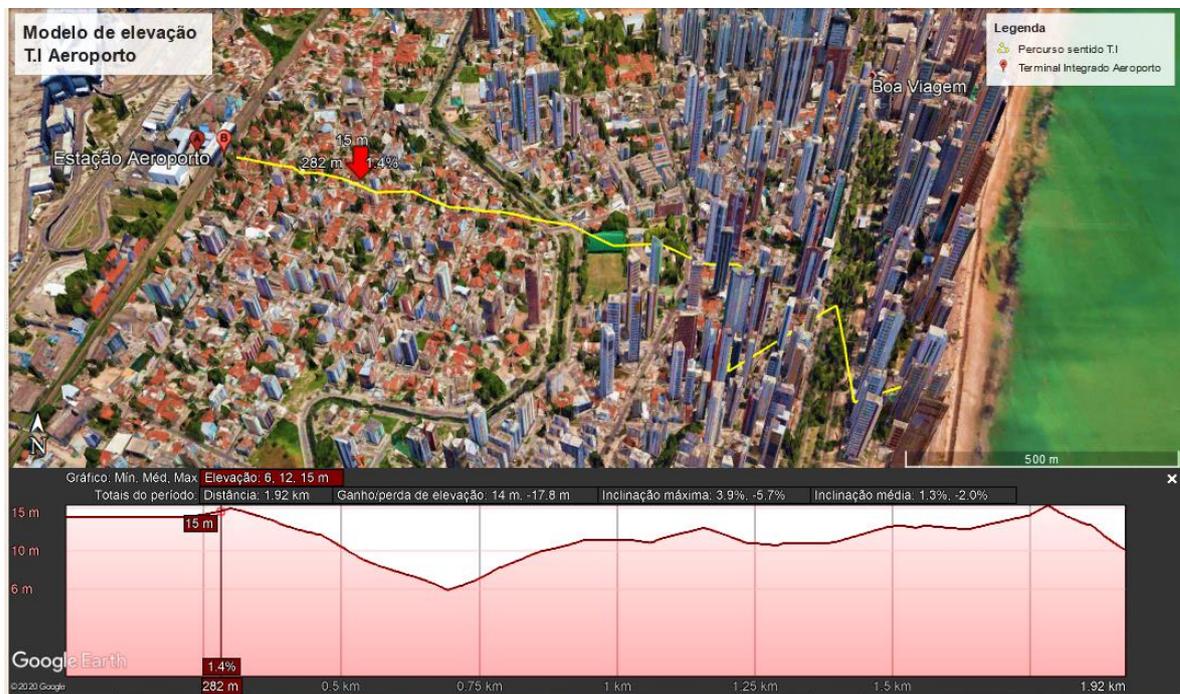
LINHA	NOME
23	TI AEROPORTO / TI TANCREDO NEVES
26	TI AEROPORTO / TI JOANA BEZERRA
115	TI AEROPORTO / TI AFOGADOS
151	JARDIM JORDÃO / TI AEROPORTO
152	JORDÃO BAIXO / TI AEROPORTO
153	JORDÃO ALTO / TI AEROPORTO
161	TI AEROPORTO / TI PRAZERES
370	TI TIP / TI AEROPORTO

Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>.

O terminal é composto por material construtivo de alta absorção de calor. A estrutura tem cobertura baixa, que não permite uma circulação de vento, possui um pátio interno pequeno, não tem estocagem de ônibus e pouco fluxo. Encontra-se na planície flúvio-marinha. Ao lado, fica localizado o Aeroporto, uma estrutura de porte grande e no sentido leste conjunto residencial de médio porte e edificações. O terminal fica próximo aos bairros Imbiribeira e Cohab.

A elevação do terreno no entorno do TI varia de 6 a 15 metros (Figura 24), no percurso do terminal sentido oceano, em que apresenta mais barreiras artificiais com as edificações de Boa viagem. No ponto de 15 metros (Figura 24), tem-se uma elevação de um prédio.

Figura 24- Terminal Integrado Aeroporto e elevação sentido oceano.



Fonte: Google Earth elaborado pela autora (2019).

PONTO 04 - Terminal Integrado Joana Bezerra

O terminal foi inaugurado em 1994, está localizado na Estrada das linhas, próximo ao Viaduto João Paulo II, e sua localização está situada na latitude $8^{\circ}04'20.57''S$ e longitude de $34^{\circ}53'45.27''O$, a principal via entre as zonas norte e sul do Recife, sendo um dos principais terminais do SEI. O TI possui 11 linhas (Tabela 10) que transportam aproximadamente 41 mil

usuários por dia. O terminal (Figura 25) é de grande extensão com ligação para o metrô, próximo à costa, e o seu entorno se compõe por corpos hídricos, estando próximo ao parque dos manguezais, com casas e fluxo de automóveis leves.

Figura 25- Localização e descrição do Terminal Integrado Joana Bezerra e sua estrutura interna.



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 9- Linhas do Terminal Integrado de Joana Bezerra.

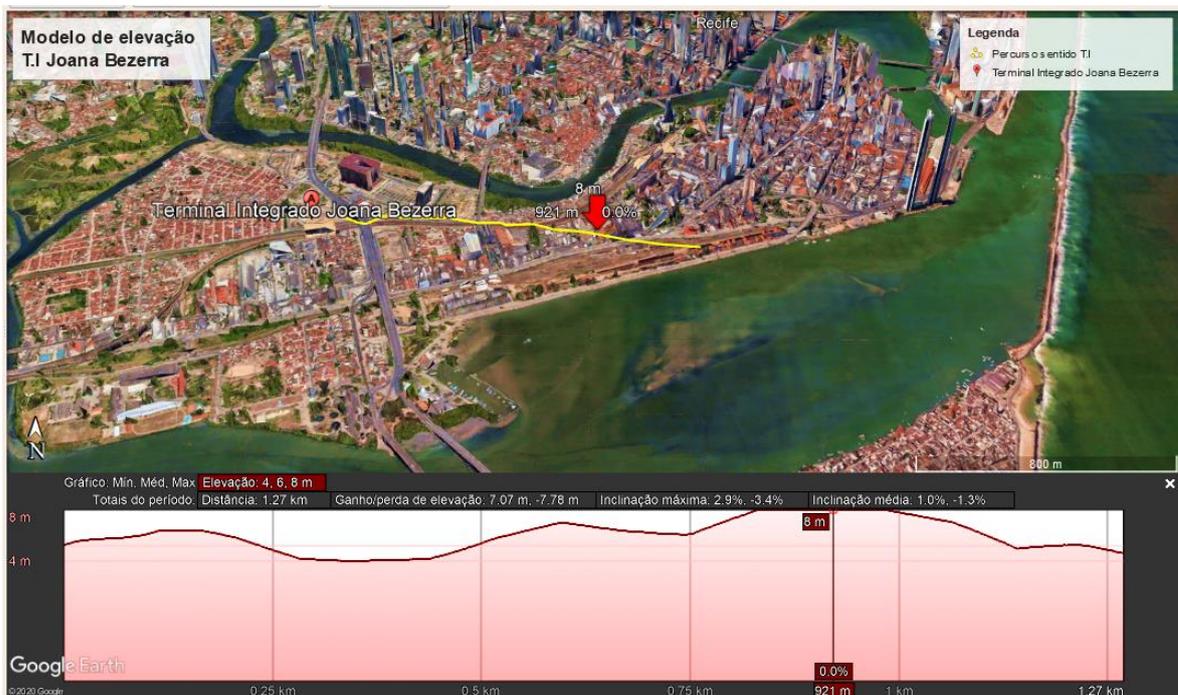
LINHA	NOME
21	TI JOANA BEZERRA / SHOPPING RIOMAR
26	TI AEROPORTO / TI JOANA BEZERRA
80	JOANA BEZERRA / BOA VIAGEM
100	CIRCULAR (CONDE DA BOA VISTA / PREFEITURA)
101	CIRCULAR (CONDE DA BOA VISTA / RUA DO SOL)
104	CIRCULAR (IMIP)
825	JARDIM BRASIL / JOANA BEZERRA
861	TI XAMBÁ / TI JOANA BEZERRA
1909	TI PELÓPIDAS / TI JOANA BEZERRA
1913	TI PE-15 / TI JOANA BEZERRA
2443	TI CDU / TI JOANA BEZERRA - BRT

Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>.

O terminal é de amplo espaço com material de alta absorção de calor, a estrutura tem cobertas altas, o que permite a circulação de vento, e possui pátio interno de estocagem de ônibus. O TIJB se localiza no relevo de planície flúvio-marinha, com proximidade dos bairros Ilha do leite, Ilha do retiro, São José, Afogados e Cabanga.

A elevação do terreno no entorno do T.I varia de 4 a 8 metros de elevação (Figura 26), no percurso do TI sentido oceano apresenta barreiras artificiais, do lado oeste, com algumas edificações. No ponto de 8 metros (Figura 26) é possível observar o aumento da elevação por algum imóvel.

Figura 26- Terminal Integrado Joana Bezerra e elevação sentido oceano.



Fonte: *Google Earth* elaborado pela autora (2019).

PONTO 05 - Terminal Integrado Tancredo Neves

O terminal, inaugurado em 2013, está localizado na Avenida Sul e sua localização está situada na latitude $8^{\circ}07'19.24''S$ e longitude $34^{\circ}54'44.25''O$, no bairro da Imbiribeira. O terminal (Figura 27) é muito próximo de outros terminais, como do TI Aeroporto, e das estações de metrô (Estação Shopping e Estação Antônio falcão). O TI conta com 22 linhas (Tabela 11) e atende diariamente a cerca de 34 mil passageiros.

Figura 27- Localização e descrição do Terminal Integrado Tancredo Neves e sua estrutura interna.



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 10- Linhas do Terminal Integrado de Tancredo Neves

LINHA	NOME
20	CANDEIAS / TI TANCREDO NEVES
23	TI AEROPORTO / TI TANCREDO NEVES
24	TI TANCREDO NEVES (CIRCULAR BOA VIAGEM)
60	TI TANCREDO NEVES / TI MACAXEIRA
123	TRÊS CARNEIROS BAIXO / TI TANCREDO NEVES
124	VILA DO SESI / TI TANCREDO NEVES
125	CÓRREGO DA GAMELEIRA / TI TANCREDO NEVES
126	UR-03 / TI TANCREDO NEVES
132	UR-02 (IBURA) / TI TANCREDO NEVES
133	TRÊS CARNEIROS / TI TANCREDO NEVES
134	LAGOA ENCANTADA / TI TANCREDO NEVES
135	UR-10 / TI TANCREDO NEVES
136	UR-05 / TI TANCREDO NEVES
137	UR-11 / TI TANCREDO NEVES
138	ZUMBI DO PACHECO / TI TANCREDO NEVES
141	JARDIM MONTE VERDE / TI TANCREDO NEVES
142	ALTO DOIS CARNEIROS / TI TANCREDO NEVES
143	UR-06 / TI TANCREDO NEVES
144	UR-04 / TI TANCREDO NEVES

167	TI TANCREDO NEVES (IMIP)
168	TI TANCREDO NEVES (CONDE DA BOA VISTA)

Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>.

O terminal é de porte mediano com estrutura de alta absorção de calor. Com cobertas altas, possui pátio interno médio, quantidade mínima de estocagem e alto fluxo de ônibus. Como algumas linhas são para lugares próximos ao TI, a movimentação é constante e maior. Ao lado, fica localizada uma grande construção da rede lojista Atacado dos Presentes e um viaduto. O terminal fica próximo aos bairros da Imbiribeira e do Iburá.

A elevação do terreno no entorno do TI varia de 5 a 14 metros de elevação (Figura 28), no percurso do terminal sentido oceano, apresentando barreiras artificiais com as edificações na sua junção mais densa de Boa viagem. No ponto de 14 metros (Figura 28), tem-se uma elevação de um prédio.

Figura 28– Terminal Integrado Tancredo Neves e elevação sentido oceano.



Fonte: *Google Earth* elaborado pela autora (2019).

PONTO 06 - Terminal Integrado da Caxangá

O terminal (Figura 29) está situado na latitude $8^{\circ}07'19.18''S$ e longitude $34^{\circ}54'44.19''O$, localizado no bairro da Caxangá, ao lado da Avenida Caxangá que é uma via de tráfego intenso com fluxo de veículos de 60 mil/dia. O TI foi inaugurado em 2008 e possui 9 linhas (Tabela 12), atendendo a cerca de 30 mil passageiros por dia.

Figura 29- Localização e descrição do Terminal Integrado da Caxangá e sua estrutura interna.



Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br> e acervo pessoal.

Tabela 11- Linhas do Terminal Integrado da Caxangá.

LINHA	NOME
202	BARRO / MACAXEIRA (VÁRZEA)
303	CURADO II / CAXANGÁ (BR-232)
2417	NOVA MORADA / TI CAXANGÁ
2437	TI CAXANGÁ (CONDE DA BOA VISTA) - BRT
2442	JARDIM PRIMAVERA (VALE DAS PEDREIRAS) / TI CAXANGÁ
2445	TABATINGA / TI CAXANGÁ
2459	TI COSME E DAMIÃO / TI CAXANGÁ
2464	JARDIM TERESÓPOLIS / TI CAXANGÁ
2488	VILA DA FÁBRICA / TI CAXANGÁ

Fonte: <https://www.transportermr.pe.gov.br>.

O terminal tem uma das menores extensões dos terminais citados e sua estrutura é formada por material construtivo de alta absorção de calor. A cobertura é baixa e sua ventilação sofre interferência de dois edifícios ao lado do TI sentido do oceano. A topografia do local é na transição da planície para os tabuleiros. No sentido leste, há a formação de morros altos e baixos. Como bairros próximos, tem-se Várzea, Caxangá e Iputinga.

A elevação do terreno no entorno do terminal varia de 8 metros a 15 metros de elevação (Figura 30), no percurso do TI sentido oceano, apresentando barreiras artificiais que se encaixam nos conjuntos de edificações das zonas Norte e Sul, por está na parte mais interiorana e central da cidade. Na elevação de marcação 15 m (Figura 30) próxima ao TI em direção aos tabuleiros, percebe-se o aumento da elevação.

Figura 30- Terminal Integrado da Caxangá e elevação sentido oceano.



Fonte: *Google Earth* elaborado pela autora (2019).

Os TIS possuem características heterogêneas (Tabela 12), tanto naturais como artificiais. Por isso, é necessário um resumo e classificação dos microambientes para um melhor entendimento da dinâmica dos terminais e da cidade.

Tabela 12- Resumo das características dos Terminais integrados do Recife.

PONTO	T.I	SÍTIOS	CLASSIFICAÇÃO
1	T.I Macaxeira	Área com casas e indústrias, próximo a Reserva Ecológica da Mata de Dois Irmãos em fragmento de mata Atlântica .Com alta circulação de veículos por causa da Br 101.	TRA
2	T.I Barro	Casas com Alta densidade urbana e próxima a resquícios de mata atlântica	TRA
3	T.I Aeroporto	Sem arborização, com casas e prédios. Próximo ao processo de expansão da verticalização de Boa Viagem	OCE
4	T.I Joana Bezerra	Casas e alta densidade urbana próxima ao Rio Capibaribe e resquícios de mangues	OCE
5	T.I Tancredo Neves	Edificações (shopping Recife, Carrefour e Avenida), próximo ao Parque dos Manguezais.	OCE
6	T.I Caxangá	Influenciada pela mais importante via arterial da cidade do Recife a Avenida Caxangá e área de construções de comércios e casas. Próximo a um trecho do Rio capibaribe	RES

Legenda:

TRA – Locais com intenso tráfego de veículos, inclusive de ônibus e caminhões.

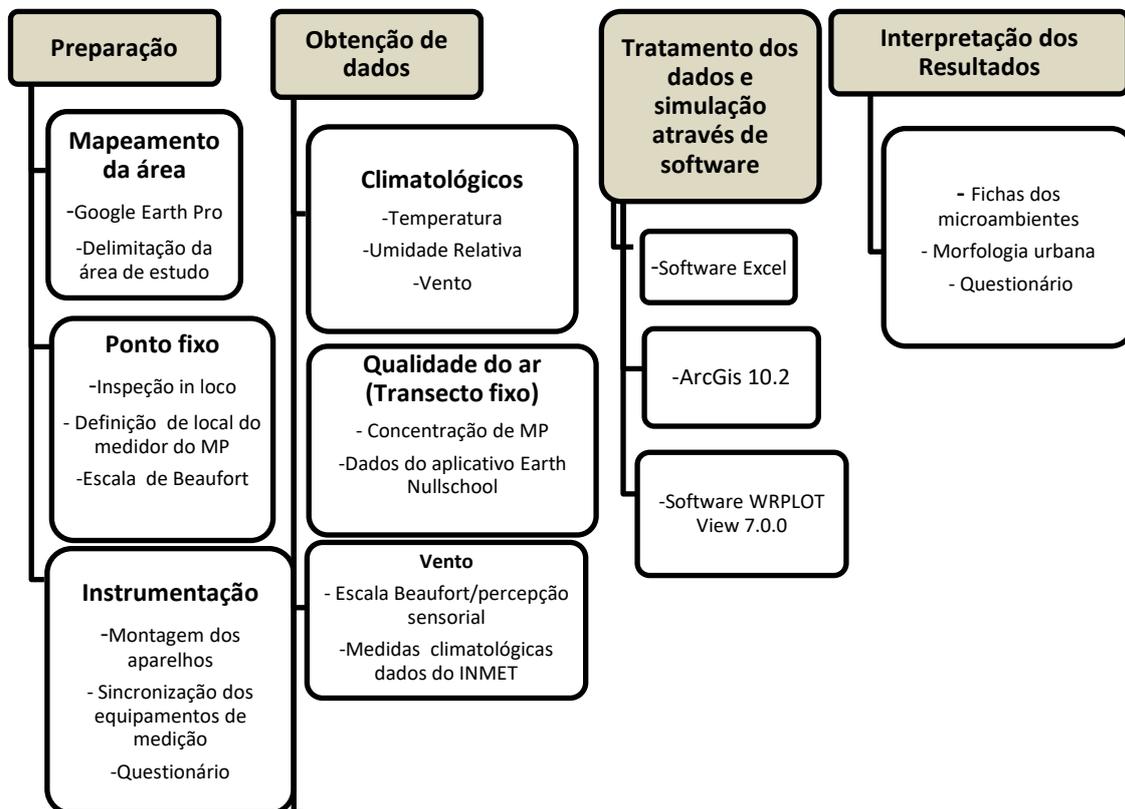
RES – Locais residenciais com tráfego predominante de veículos leves e ônibus.

OCE – Locais próximos ao oceano.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura metodológica da pesquisa consiste em cinco etapas: a) preparação para realização das coletas de campo; b) levantamento de dados; c) tratamento de dados; d) fichas dos dados de concentração de poluentes, condições meteorológicas (temperaturas e umidade do ar e de vento) , condições sinóticas e condições do entorno da área de estudo; e) análise dos resultados nos períodos de verão e primavera; f) morfologia urbana no entorno dos microambientes; e g) questionário sobre percepção ambiental. A Figura 31 ilustra a metodologia utilizada na pesquisa.

Figura 31- Representação esquemática da metodologia para elaboração da dissertação.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

4.1 PREPARAÇÃO

4.1.1 Mapeamento da área

A partir da visualização do *Google Earth Pro* e de alguns estudos da área do Recife, foi possível delimitar as escolhas dos TIS por apresentarem locais heterogêneos, com diferentes padrões de uso e ocupação da cobertura do solo, padronização de moradias (unifamiliareas, multifamiliareas e mista), aspectos geourbanos e geoambientais. O entorno dos terminais são áreas muito antropizadas, densamente construídas por edificações com características comerciais e residenciais.

4.1.2 Ponto fixo

Para instalação dos pontos fixos dentro do microambiente, foi utilizado um tripé, para que o equipamento ficasse no nível dos passageiros, numa altura de 1,50 metros, ou seja, a altura média em que as pessoas respiram. Nóbrega *et. al.*(2016) afirmam que a altura ideal é de 1,5 m e 2 m acima do solo, para a captação dos dados fieis ao ambiente circundante.

Após a instalação do ponto fixo, a cada 30 minutos foram dados o start (manual) no contador de partículas para a amostragem do MP. Essa pausa entre uma coleta e outra foi devido ao teste *in loco*, em que se percebeu que nos locais a intensidade do vento é fraca alterando a quantidade de armazenagem de dados.

4.1.3 Instrumentação

Antes de cada coleta de dados, aproximadamente 30 min, os instrumentos foram ligados no ponto inicial para se aclimatarem com as condições externas. O material particulado foi amostrado com o equipamento INSTRUTEMP, contador de partículas de marca DT-9880 (Quadro 09) de poluição do ar. Esse equipamento amostra a quantidade de particulados existente no ambiente externo e as partículas de diâmetros, podendo detectar seis espessuras diferentes de partículas: 0,3 μ m, 0,5 μ m, 1,0 μ m, 2,5 μ m, 5,0 μ m e 10 μ m com a capacidade de registro de até 5000 mil amostras. O Quadro 09 traz a especificação resumida dos instrumentos de medição utilizados nas coletas de dados.

Quadro 9- Características dos equipamentos de medições utilizados *in loco*.

Ilustrações	Características
	<p style="text-align: center;">Tripé</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tripé móvel, para ter a mobilidade de estacioná-la em locais onde não houvesse interferências diretas na amostragem. - 1,5 acima do solo a 2 m.
 <p style="text-align: center;">Fonte: Instrutherm, 2019</p>	<p style="text-align: center;">Contador de Partículas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Canais: 6 canais 0,3 / 0,5 / 1 / 2,5 / 5 / 10μm. Eficiência de contagem: 50% partículas <0,3μm / 100% para partículas >0,45μm. - Exatidão: 5% em 20000000 de particular por m², ft³ ou pés - Modo de contagem: Cumulativa, diferencial e concentração - Faixa de temperatura do ar: 0 a 50°C (32 a 122°F). - Faixa de temperatura de ponto de orvalho: 0°C a 50°C (32°F a 122°F). - Faixa de umidade: 0 a 100% U.R. - Temperatura do ponto de orvalho e bulbo úmido.
 <p style="text-align: center;">Fonte: Garmin, 2019</p>	<p style="text-align: center;">GPS GARMIN – MONTANA 650</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bússola de 3 eixos e altímetro barométrico - Precisão do GPS (posição): \pm 3,65m; - Altímetria: Precisão de 3 metros; - Taxa de Atualização: 1/segundo, contínua

Fonte: Elaborado pela autora.

A coleta ocorreu das 07h30 às 18h, com medições a cada 30 minutos tanto do MP como da temperatura e umidade. Nos intervalos, aconteceu a aplicação dos questionários relacionados à percepção dos usuários do local e anotações de observações como: aumento ou diminuição do fluxo de ônibus e aglomeração de pessoas.

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS

No microambiente, foram obtidos dados de temperatura do ar, umidade do ar e espessuras do MP acoplados no mesmo equipamento. A medição da intensidade do vento foi realizada pela classificação da velocidade dos ventos através da escala *Beaufort*, método muito utilizado pela Marinha do Brasil, pela Organização Meteorológica Mundial e por pesquisadores, além de considerar a percepção sensorial no dia das coletas, conforme apresentado no Quadro 10. Para as medições das direções e predominâncias dos ventos para o dia de amostragem de cada ponto/local, optou-se por utilizar os dados da estação convencional do INMET.

Quadro 10- Classificação da velocidade dos ventos - Escala Beaufort

Grau	Designação	m/s
0	Calmo	<0,3
1	Aragem	0,3 a 1,5
2	Brisa leve	1,6 a 3,3
3	Brisa fraca	3,4 a 5,4
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9
5	Brisa forte	8 a 10,7
6	Vento fresco	10,8 a 13,8
7	Vento forte	13,9 a 17,1
8	Ventania	17,2 a 20,7
9	Ventania forte	20,8 a 24,4
10	Tempestade	24,5 a 28,4
11	Tempestade violenta	28,5 a 32,6
12	Furacão	>32,7

Fonte: CEPAGRI, 2019.

Para validação das amostragens do MP, foi utilizado o recurso *Nullscholl*, que monitora os ventos em tempo real, em nível global e local. Sua visualização é semelhante à do *Google Earth*. Com este recurso, é possível situar no mapa a localidade desejada a partir de suas coordenadas geográficas e em seguida sua temperatura em graus *Fahrenheit*, velocidade do vento e atuação do MP no dia e hora desejada.

As imagens em modelo digital de superfície (MDS) foram produzidas a partir das ortofotografias do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). As figuras estão dispostas em com recortes em eixo vertical (Y) e horizontal (X). E os recortes dos perfis elaborados pela

própria ferramenta do Arcgis a partir da base do PE3D. O objetivo dessas imagens é oferecer um panorama espacial do entorno dos TIS.

4.3 MÉTODO

Foram coletados 6 pontos em locais diferentes da cidade de Recife durante os anos de 2018 e de 2019. Este estudo foi conduzido durante a manhã até o começo da noite de 07h30min as 18h00min, para registrar diferenças de períodos considerados intensos (“horários de pico”) nos terminais, no tráfego na cidade e também os horários que a maioria das pessoas se desloca para casa, trabalho, lazer, escola e faculdade. Para observar se existe uma constância de concentração de material particulado e verificar o quanto os usuários estão sendo afetados pela qualidade do ar nos horários de picos nos TIS, as coletas foram realizadas em dias diferentes nos, contabilizando uma vez em cada terminal.

A amostragem foi realizada nas estações de primavera-verão nos dias 19/11/2018, 23/11/2018, 26/11/2018, 30/11/2018, 03/12/2018 e 04/12/2018 (período considerado primavera/seco) e nos dias 19/03/2019, 20/03/2019, 22/03/2019, 25/03/2019, 29/03/2019 e 01/04/2019 (período considerado verão/seco). Por motivos técnicos, de fluxo de passageiros e de ônibus, optou-se por não fazer coleta em dezembro, janeiro e fevereiro, por motivos de férias e datas comemorativas, que causam a redução de frota e de passageiros. Por isso, as 4 últimas coletas foram realizadas fora do período de verão. Cada terminal tem amostragem da contagem de MP de diâmetros 0,3 μ m, 0,5 μ m, 1,0 μ m, 2,5 μ m, 5,0 μ m e 10 μ m, com um total de 22 amostras, em seguida convertidas em massa (g/m³) e posteriormente em concentração (μ g/m³). A partir do total de 11 horas de observação para cada ponto, para efeito de aplicação da norma do CONAMA n° 491/18 foram admitidas médias como se fossem 24h de amostragem.

4.3.1 Fichas dos terminais

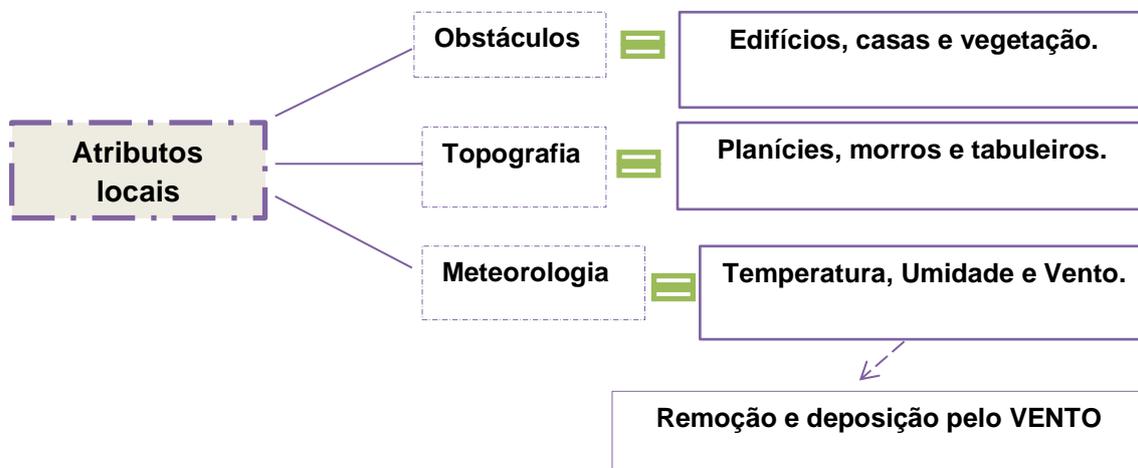
Para todos os terminais, os dados foram esquematizados por fichas divididas em períodos de primavera-verão. Essa divisão irá permitir a visualização de quais terminais apresentam baixo, médio e alto índice de poluição atmosférica por MP de acordo com a sua localização espacial e horária. As fichas contêm dados de concentração do MP, condições meteorológicas (temperaturas do ar e umidade) e vento, condições sinóticas e condições do entorno. Com os dados do contador de partículas foi possível determinar com precisão o grau

de contaminação do ar, podendo detectar as seis espessuras diferentes e assim converter para a concentração de microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e comparar a tabela do índice de qualidade do ar do CETESB classificando de boa a péssimo a poluição do ar nos TIS.

4.3.2 Morfologia urbana

A morfologia urbana permite correlacionar os obstáculos de dispersão, o acúmulo do material particulado e as variáveis meteorológicas que influenciam para o baixo ou alto índice de MP no microambiente, possibilitando um diagnóstico da morfologia a partir da condição de fluxo de vento. O uso das imagens em 3D e os recortes de perfis permitem uma visualização ampla e local apresentando os principais atributos. Assim, os microambientes podem ser caracterizados pelos seguintes atributos (Figura 32):

Figura 32- Atributos observacionais de um lugar para análise de poluentes.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

4.3.3 Questionários

Os questionários que foram aplicadas junto aos usuários dos TIS, realizadas simultaneamente à coleta de dados, objetivando constatar a percepção dos usuários sobre a temática investigada. O questionário busca, entre outros motivos, conhecer como o usuário/passageiro se sente ao utilizar o espaço em relação à poluição do ar, entender qual a percepção deles sobre a qualidade do ar e se eles sentem que o ar está poluído. Isso contribuiu para identificar fatores que não são apontados por instrumentos de medição.

Foram aplicados um questionário (Modelo Apêndice A), previamente elaborado a partir do teste de coleta, para saber quais respostas iriam ser mais frequentes e, assim, elaborar questões mais diretas. Seguindo um roteiro elaborado com perguntas objetivas dirigidas às pessoas que transitavam nesses ambientes, a aplicação dos questionários foi realizada de forma aleatória, de acordo com a disponibilidade dos frequentadores em aceitarem participar da pesquisa. No total foram aplicados 200 questionários nos terminais analisados, é importante ressaltar a dificuldade que houve da coleta dos dados do MP, junto com a realização dos questionários, pois o equipamento era acionado manualmente. Durante o preenchimento dos questionários houve um diálogo com os participantes, no qual alguns incluíam outras observações.

4.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Para que os dados coletados nos terminais ficassem organizados, somou-se o total de 12 fichas, analisando cada terminal duas vezes, para assim encontrar as interferências locais de concentração ou dispersão. Nas análises pontuais descritiva em cada ficha foi possível diagnosticar as características físicas e o uso social de cada local, como suas disposições de vegetação, cobertura da terra, com ou sem pavimentações asfálticas, área arborizada ou não, configuração do fluxo de trânsito e de pessoas, condição das construções civis, adensamento urbano e a circulação do vento capaz de dispersar.

Para o tratamento dos dados, foram feitas divisões como conversão de dados do contador de partículas que foram convertidos para a concentração $\mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme Santos (2001) na aplicação de algumas equações. Ainda, com a utilização do aplicativo *nullscholl*, fez-se a elaboração de gráficos de temperatura, umidade e de vento (WILOT) e captação de imagens sinóticas pelo CPTEC.

4.4.1 Procedimento de conversão de contagem de MP

Após a coleta das amostras de MP, todos os dados e resultados foram tratados por meio do *software* Microsoft Office *Excel* Versão 2010. Após a coleta das amostras, foram feitas as contagens das partículas de acordo com os seus diâmetros. Com os valores obtidos, foi feito o cálculo da massa total das partículas contadas pelo equipamento. Foi necessário utilizar equações para conversão aritmética logarítmica dos quantitativos dos MP de

diâmetros 0,3µm, 0,5µm, 1,0µm, 2,5µm, 5,0µm e 10µm para encontrar a massa g/m³ e, logo em seguida, em concentração por µg/m³. As equações utilizadas são apresentadas por Santos (2001).

Considerando a seguinte equação (1), foi possível calcular a massa total das partículas contadas pelo equipamento:

$$m = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \cdot n \quad (1)$$

Em que:

m = massa total da partícula (g/m³)

$\frac{\pi}{6}$ = constante da equação

n = número de partículas coletadas

d = diâmetro médio das partículas coletadas de dada classe

q = densidade do material que deu origem às partículas (g/cm³).

Admitiu-se que as partículas obtidas vieram do solo, o qual é basicamente constituído de uma mistura de quartzo, mica, argilas, feldspato, silicatos, entre outros. Por isso, de acordo com a quantidade de cada material e com as suas densidades específicas, a densidade média do solo é de **2,65 g/cm³**. E, para facilitar o processo, admitiu-se que as partículas possuam formato esférico. Após obtenção do valor da massa total, foi possível calcular a concentração de massa de sólidos MP por volume de ar, por meio da equação (2) que permite calcular a concentração a seguir:

$$c = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde que:

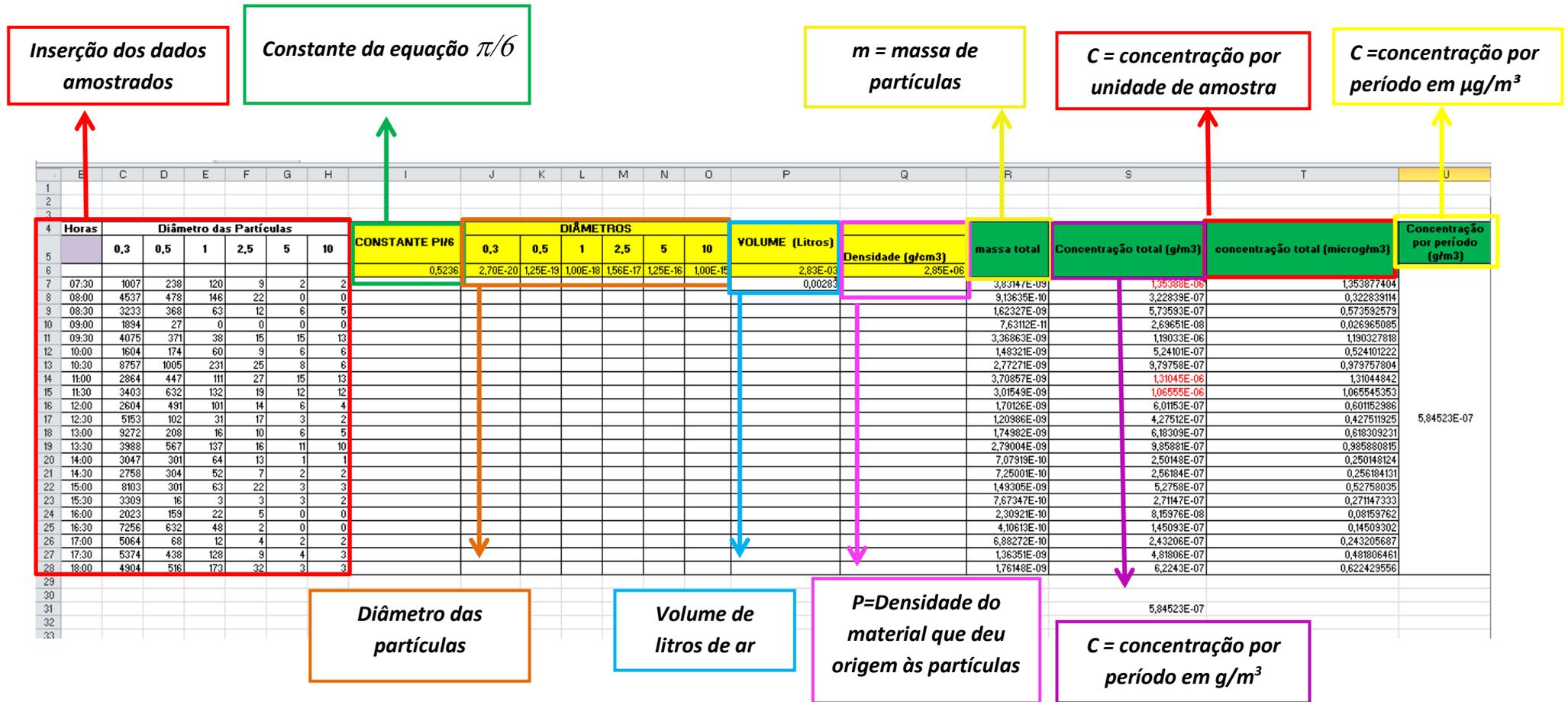
c = concentração das partículas sobre o volume do local da amostra

m = massa total das partículas contadas

V = volume em litros da quantidade de ar que é contraído pelo equipamento de medição (valor de 2,83 litros) volume de ar que é contraído pelo equipamento. A partir disso,

foi elaborada uma planilha no *Excel* (Figura 33) onde foram registrados os valores das contagens **n** de cada classe de diâmetro de partículas, o horário da amostra, a temperatura e a umidade do ambiente onde a amostra foi realizada.

Figura 35- Esquema de conversão de dados com *Software Excel 2010*.



Foram utilizadas as constantes dos cálculos da massa total e da concentração do MP, como a constante $\pi/6$, os diâmetros das partículas elevadas ao cubo d^3 , o volume de litros de ar coletados pelo equipamento (**2,83L**), e a densidade média do solo (**2,65g/cm3**). Para os ajustes dos cálculos, alguns valores foram convertidos para as unidades requeridas.

- Diâmetro $d_1 = 0,3 \mu\text{m} = 0,0000003 \text{ m}$
- Diâmetro $d_2 = 0,5 \mu\text{m} = 0,0000005 \text{ m}$
- Diâmetro $d_3 = 1,0 \mu\text{m} = 0,0000001 \text{ m}$
- Diâmetro $d_4 = 2,5 \mu\text{m} = 0,0000025 \text{ m}$
- Diâmetro $d_5 = 5,0 \mu\text{m} = 0,000005 \text{ m}$
- Diâmetro $d_6 = 10 \mu\text{m} = 0,000010 \text{ m}$
- Volume de ar $V = 2,83 \text{ L} = 0,00283 \text{ m}^3$
- Densidade média do solo $p = 2,65 \text{ g/cm}^3 = 2650000 \mu\text{g/cm}^3$

A partir disso, esses valores foram utilizados no *Excel* como valores constantes e as fórmulas contidas nas células de I à V são:

$$I = 3,1416/6$$

$$J = (0,0000003) ^3$$

$$K = (0,0000005) ^3$$

$$L = (0,0000001) ^3$$

$$M = (0,0000025) ^3$$

$$N = (0,000005) ^3$$

$$O = (0,000010) ^3$$

$$P = 0,00283$$

$$Q = 265000$$

$$R = ((C7 * I * J * Q) + (D7 * I * K * Q) + (E7 * I * L * Q) + (F7 * I * M * Q) + (G7 * I * N * Q) + (H7 * I * O * Q))$$

$$S = R / P$$

$$T = S * 1000000$$

$$U = \text{MÉDIA} (S7: S28)$$

$$V = U * 1000000$$

O valor da massa total de acordo com a equação vista anteriormente foi expressa no Excel pela seguinte fórmula:

$$R = ((C7 * I * J * Q) + (D7 * I * K * Q) + (E7 * I * L * Q) + (F7 * I * M * Q) + (G7 * I * N * Q) + (H7 * I * O * Q))$$

O cálculo foi obtido de acordo com a soma das massas totais de cada classe de diâmetros das partículas, onde de acordo com a planilha:

- C7, D7, E7, F7, G7 e H7 são as contagens de partículas de diâmetros 0,3 µm; 0,5µm; 1,0µm; 2,5µm; 5,0 µm e 10 µm respectivamente;
- I6 representa a constante $\pi/6$;
- J6, K6, L6, M6, N6 e O6 representam os diâmetros elevados ao cubo d^3 das partículas;
- Q6 representa a densidade do solo;

Para o cálculo de C, foi feita a divisão dos valores da massa total com o valor do volume constante de ar das amostras. Esse valor de concentração é expresso em **g/m³**.

$$S = R7/PS7$$

A partir disso, também foi feito o valor da concentração por unidade de amostragem, expresso em **µg/m³**.

$$T = S7*1000000$$

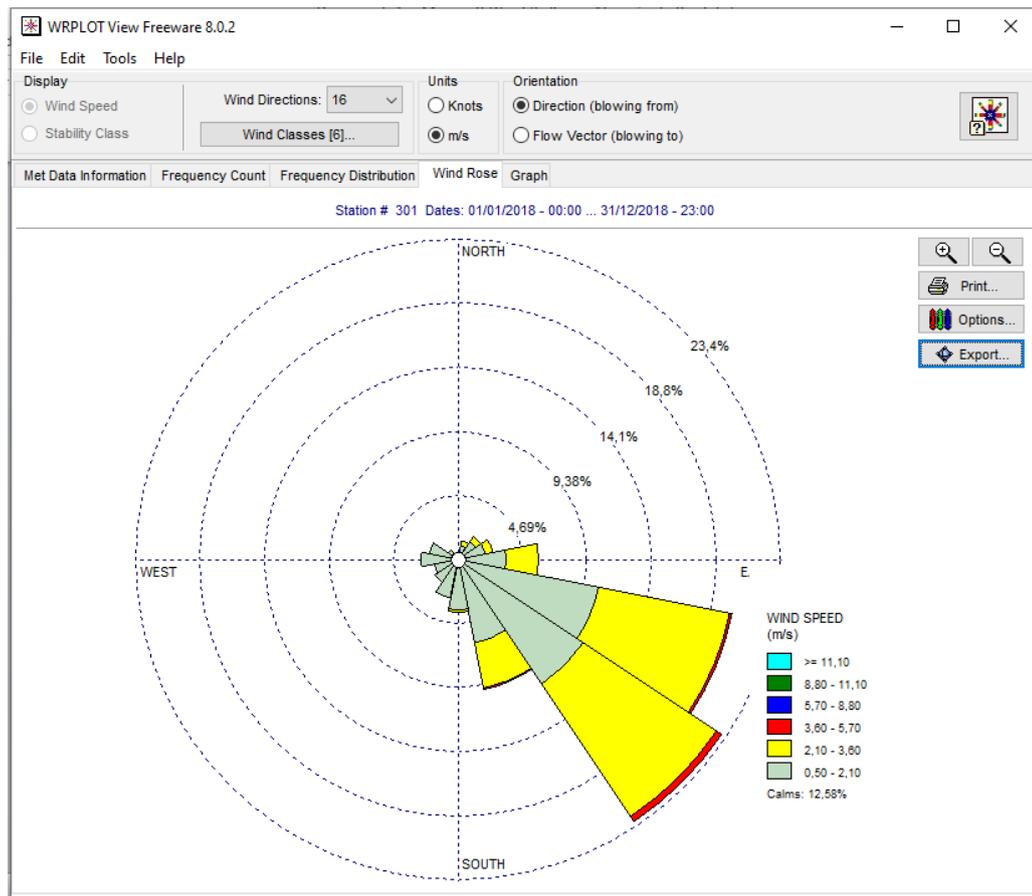
As planilhas Q e R são valores de concentração de um período (horário) específico, de acordo com a escolha do autor. Sendo Q em **g/m³** e R em **µg/m³**.

$$U = \text{MÉDIA (S7: S28)}$$

$$V = U6*1000000$$

Para a geração dos gráficos a partir dos dados de concentração de MP obtidos pelo medidor de partículas, de temperatura e umidade relativa do ar, utilizou-se o *software* Excel. Para demonstrar a real condição das direções e predominâncias dos ventos para o dia de amostragem de cada ponto/local, optou-se por utilizar o *software* WRPLOT View Versão 8.0.2 da *Lakes Environmental* (Figura 34), com o qual foi possível obter um gráfico no formato de rosa dos ventos. Os dados que alimentaram o gráfico foram retirados do site do INMET, o qual fornece dados meteorológicos horários. Tais informações foram agrupadas em 16 direções diferentes para período de 24 horas, ou seja, relativo a todo o dia que contemplava a amostragem dos poluentes.

Figura 34- Software WRPLOT View 8.0.2.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O comportamento meteorológico nos dias dos registros das amostras de material particulado é o que determina as formas de dispersão dos poluentes em geral. Assim, optou-se por dias que não chuvosos, para que a atmosfera dos microambientes se encontrasse em condição estável.

Para o uso da classificação da concentração do poluente MP encontrado nos períodos das amostras foram usadas as classificações utilizadas pela CETESB (2013), a qual define a Resolução do CONAMA nº 491/2018 para MP e aplica para a realidade das cidades do Estado de São Paulo. O índice geral de qualidade do ar em forma de tabela guia, como segue a Tabela 13, apresenta a qualidade e os valores permitidos por concentração de MP. Mesmo com a nova resolução, o índice permaneceu com as mesmas especificações.

Tabela 13- Índice Geral de Qualidade do Ar.

QUALIDADE	MPI - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SIGNIFICADO
BOA	0 – 50	Praticamente não há risco à saúde
REGULAR	>50 – 150	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
INADEQUADA	>150 e <250	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
MÁ	≤ 250 e <420	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
PÉSSIMA	≤ 420	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: (CETESB, 2013).

Na elaboração das fichas de análise de concentração por terminal (fichas de 01 a 12), foram observadas condições meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa e vento) para uma análise de fácil entendimento com intenção de verificar, nos dias de coleta, as condições de tempo por intermédio de duas imagens sinóticas disponibilizadas pelo INPE/CPTEC. Além disso, trazem imagens do local para melhor entender as dinâmicas urbanas e de concentração dos locais analisados.

Essas fichas foram divididas em condições meteorológicas e verificação da poluição do ar por MP em três etapas de análise do local por contagem das partículas, conversão do MP-examinando a concentração por período de amostragem do terminal e análise em escala meso (Recife) a partir do aplicativo *Nullscholl*. Por causa do quantitativo de imagens gerado pelos dias das coletas essa foi à forma mais adequada de visualização de todos os processos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de poluição tem atributos diferenciados como tipo de construção e obstáculos que margeiam os locais, condições topográficas, condições meteorológicas e processo de remoção e deposição de poluentes. Essas características serão os atributos norteadores nas análises das fichas para o entendimento da dinâmica da poluição do ar nos TIS. Quando a poluição é emitida no ar, os poluentes sofrem dispersão pelo processo de transporte e difusão, que por sua vez será influenciado por esses atributos.

Os terminais são inerentes a maiores emissões de poluentes pelos ônibus e pelos veículos automotores do entorno. Em relação ao trânsito, todos os TIS estão expostos aos congestionamentos nos horários de picos. Pois, sendo o fluxo de trânsito de média a alta intensidade, os materiais particulados são emitidos em proporções maiores. A partir desse momento, serão apresentadas as análises dos resultados coletados em campo, que por sua vez foram organizados para melhor compreensão dos níveis de concentração de MP e suas possíveis causas evolutivas/cumulativas.

Para a classificação dos resultados encontrados, optou-se por subdividir os resultados em tópicos como análise das fichas, morfologia urbana e questionários. As fichas trazem diferenças dos TIS amostrados no período seco das fichas 01 a 12 contabilizando duas vezes em todos os terminais.

FICHA 01 – TI MACAXEIRA – 19/11/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 35- Condições do entorno TI Macaxeira 2018.



Figura 36- Condições sinóticas TI Macaxeira 2018.

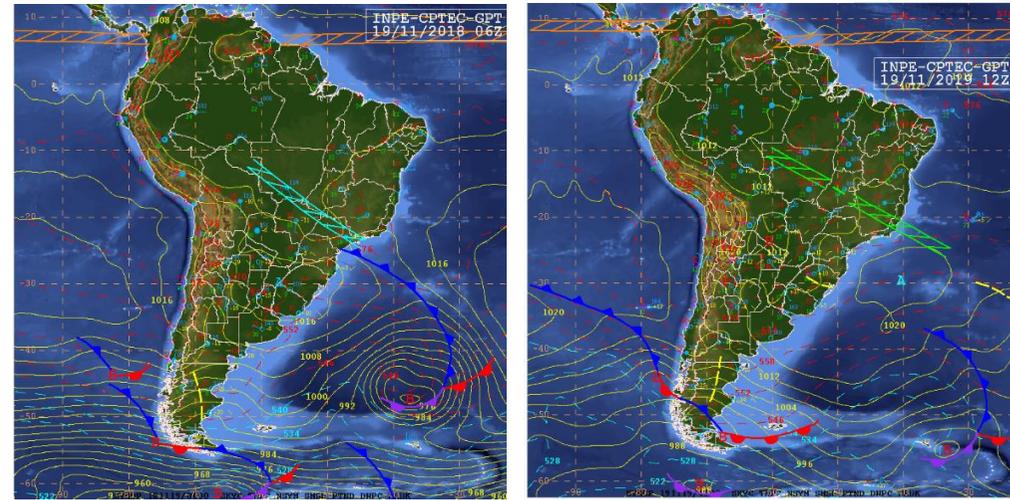


Figura 37- Temperatura e umidade TI Macaxeira 2018.

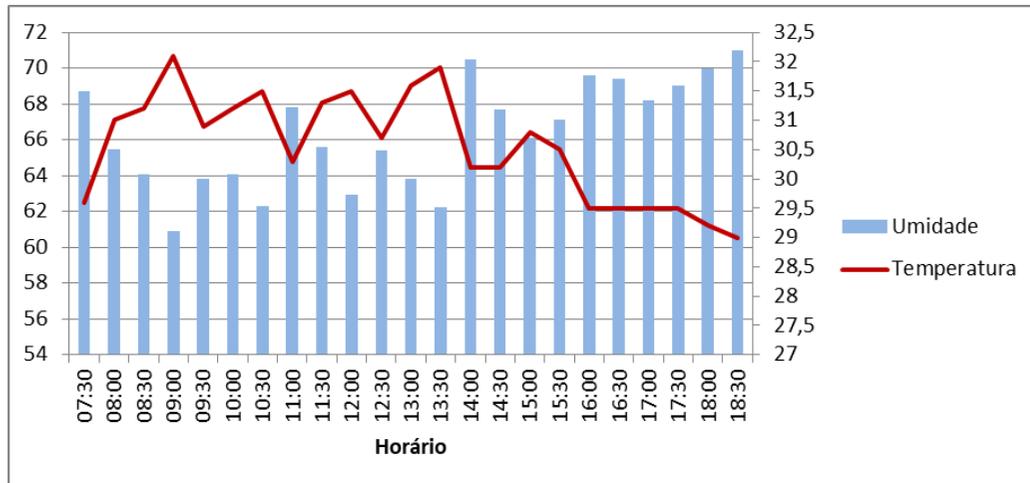
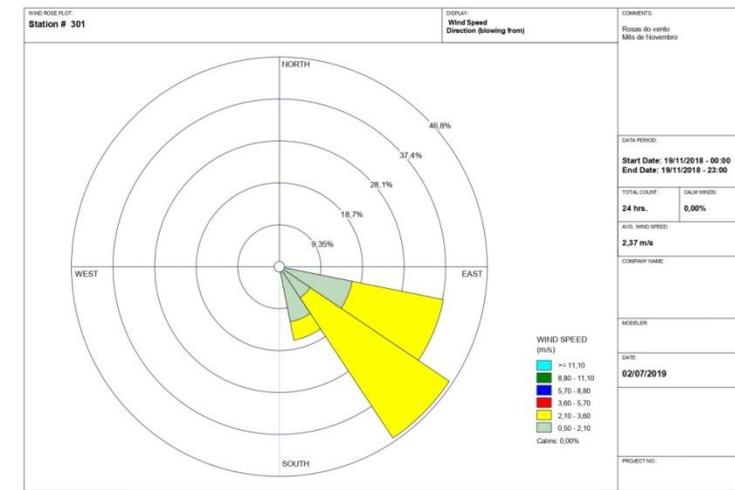


Figura 38- Direção e velocidade do vento TI Macaxeira 2018.



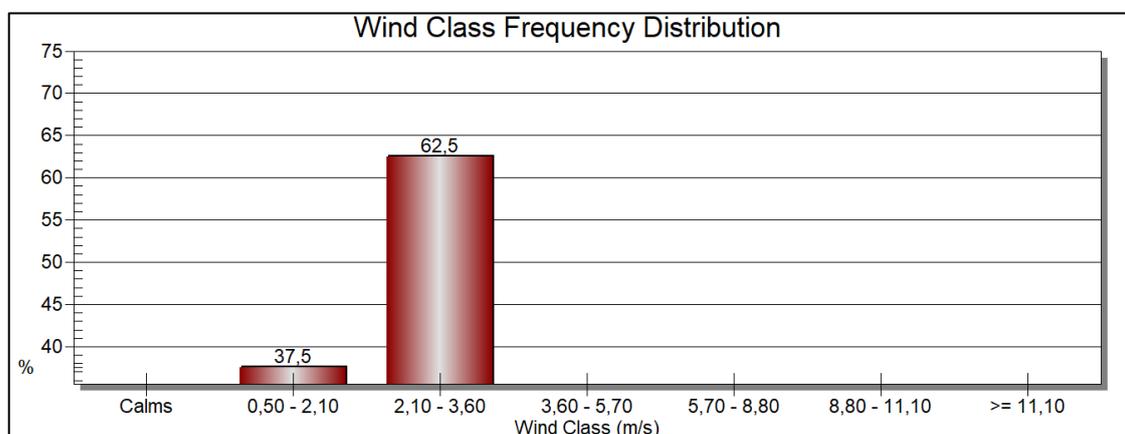
5.1 ANÁLISE FICHA 01 – TI MACAXEIRA 2018

Nas imagens sinóticas (Figura 36), percebe-se que a parte da Região Nordeste, não existe sinais de sistemas atuando, sendo, portanto, o tempo estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras), quando não estão muito próximas, essas linhas podem indicar ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 37), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 09h com 32,1°C e a segunda máxima chegou a 31,9°C no horário da tarde às 13h30, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia de máxima com 70,5% e mínima 60,9% em horário respectivo, das 14h às 09h, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

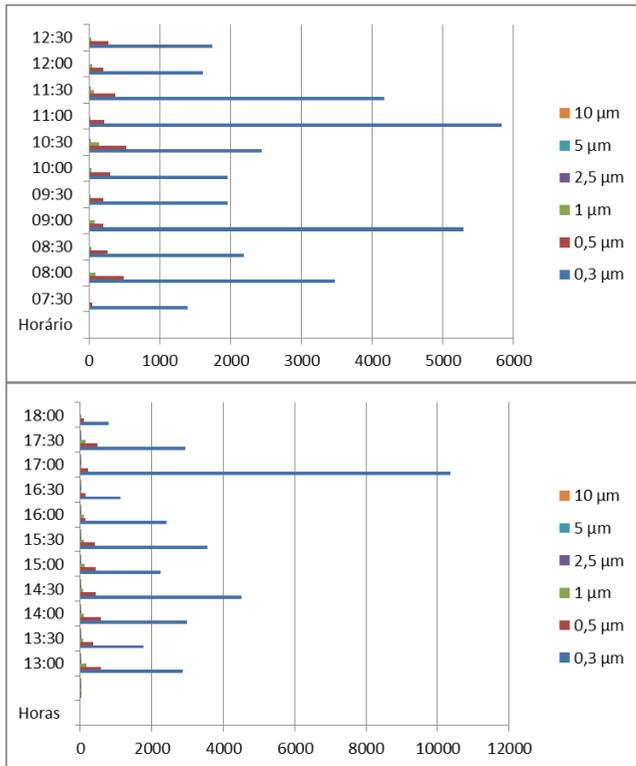
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 38) indica predominância a Sudeste (SE) e a Leste Sudeste (ESE), com suas maiores velocidades atingindo entre 2,10 à 3,60 m/s (Figura 39), o qual é classificado como vento leve à fraco, apresentando percentual de ventos calmos de 0,00%.

Figura 39- Representação esquemática da distribuição do vento.



A coleta do MP local (figura 40) apresentou maior concentração no horário da manhã. Na conversão do MP (figura 41) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 42) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 40- MP no local TI Macaxeira 2018.



Análise do local por contagem das partículas;
 Dos dados coletados no local, percebe-se que a maior concentração deu-se durante a manhã, isso devido aos elementos meteorológicos capazes de dispersar os poluentes estarem com pouca intensidade, além do fluxo de trânsito nesse momento ser intenso, pois há deslocamento dos moradores do bairro para suas atividades diárias de trabalho e/ou estudos.

Figura 41- Conversão do MP TI Macaxeira 2018.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
0,022643332	3,8488E-07
0,550607029	
0,291204257	
0,382203115	
0,185086642	
0,059717292	
0,500043671	
0,614248491	
0,506779406	
0,156879237	
0,633889901	
0,36922098	
0,530253763	
0,35317734	
0,43043897	
0,317607767	
0,305300577	
0,288714344	
0,337108916	
0,914296101	
0,705770958	
0,012173783	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
MPI	
Qualidade	Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 -150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	≥250 e <420
PÉSSIMA	≥420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente;
 A concentração de MP nesse dia é de **3,84 µg/m³** para todas as horas amostradas, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA, o local encontra-se em condição geral de qualidade do ar “Boa”.

Figura 42- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			Vento
	1 µm	2,5 µm	10 µm	
07:30	4 µm	11 µm	18 µm	3,8 m/s
08:00	4 µm	10 µm	17 µm	3,8 m/s
09:00	4 µm	10 µm	17 µm	4,4 m/s
10:00	5 µm	12 µm	20 µm	4,4 m/s
11:00	5 µm	13 µm	21 µm	4,4 m/s
12:00	5 µm	13 µm	21 µm	5,2 m/s
13:00	5 µm	13 µm	21 µm	5,2 m/s
14:00	5 µm	13 µm	22 µm	5,2 m/s
15:00	5 µm	14 µm	23 µm	4,9 m/s
16:00	5 µm	14 µm	24 µm	4,9 m/s
17:00	6 µm	15 µm	26 µm	4,9 m/s
18:00	7 µm	16 µm	27 µm	3,8 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl;
 As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo Nullscholl referente a Recife é possível perceber que no horário de pico a tarde às 17:00 h e 18:00h as concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores que nos outros horários e a intensidade do vento é fraca. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto o local como Recife encontram-se com condição geral de qualidade do ar “Boa” em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca, interferindo no contador de partículas do MP enquanto que as vias asfaltadas impedem o levante de MP. Nesse microambiente, classificado como TRA, há um grande fluxo de trânsito, em que há circulação de vários tipos de veículos, como caminhões, ônibus, carros e motos, pois o terminal fica ao lado da BR-101.

O período consta um nível abaixo de concentração, mesmo sendo em um local que a topografia e algumas barreiras artificiais dificultam o escoamento do vento. Nas observações do dia da coleta pela manhã, houve uma nebulosidade parcial, a tarde estava parcialmente nublado, com maior movimento de passageiros às 13h. Em dois momentos, houve a ocorrência de chuvisco: às 14h e às 15h, com duração de 5 minutos cada. No horário das 17h, o fluxo de ônibus é intenso e às 18h existe uma demora de retorno dos ônibus, provavelmente em decorrência de eles ficarem presos em trechos com engarrafamento.

É preciso considerar o atributo de vegetação que margeia o local. A vegetação está associada a alguns benefícios na urbanização como a regulação térmica e a diminuição da concentração de alguns tipos de poluentes atmosféricos agindo como filtro de material particulado e gases (Amato-Lourenço, 2019). Algumas plantas são usadas como indicador de poluentes, mostrando um tipo característico de dados para um poluente específico. As árvores podem ser afetadas pela poluição por meio de alguns mecanismos, como a redução da penetração da luz, deposição de poluentes no solo e penetração dos poluentes pelos estômatos das plantas (DERISIO, 2017). O processo pelo qual a abertura dos estômatos permite a interceptação do MP evitando acúmulo na área, esse seria o fator limitante para análise do acúmulo de MP do terminal dependendo do mecanismo estomático, que tem como função a abertura e fechamento dos poros. Outro fator seriam os chuviscos que ocorreram durante a tarde, que podem ter limpado o ar, ressaltando os fatores como a redução de temperatura e aumento de umidade que a vegetação pode contribuir para o conforto térmico.

FICHA 02 – TI MACAXEIRA – 22/03/2019 – PERÍODO SECO/VERÃO

Figura 43- Condições do entorno TI Macaxeira



Figura 44- Condições sinóticas TI Macaxeira 2018.

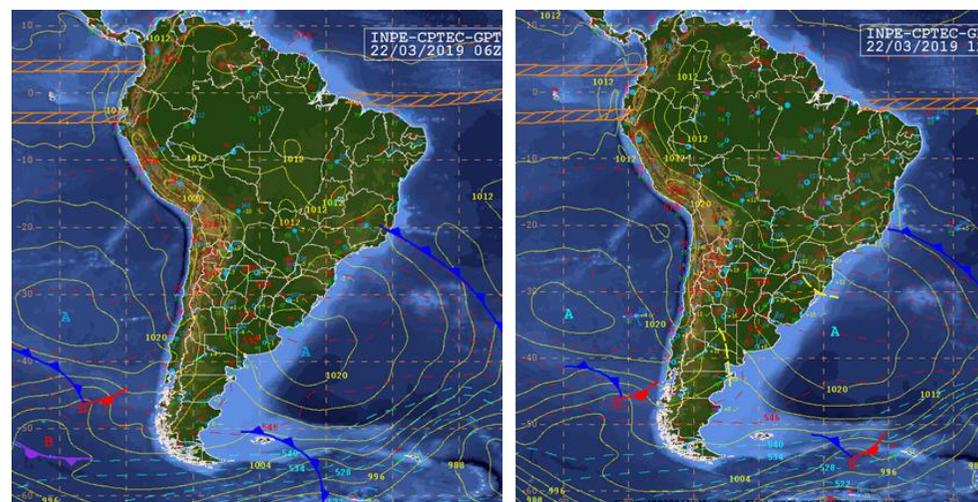


Figura 45- Temperatura e umidade TI Macaxeira 2019.

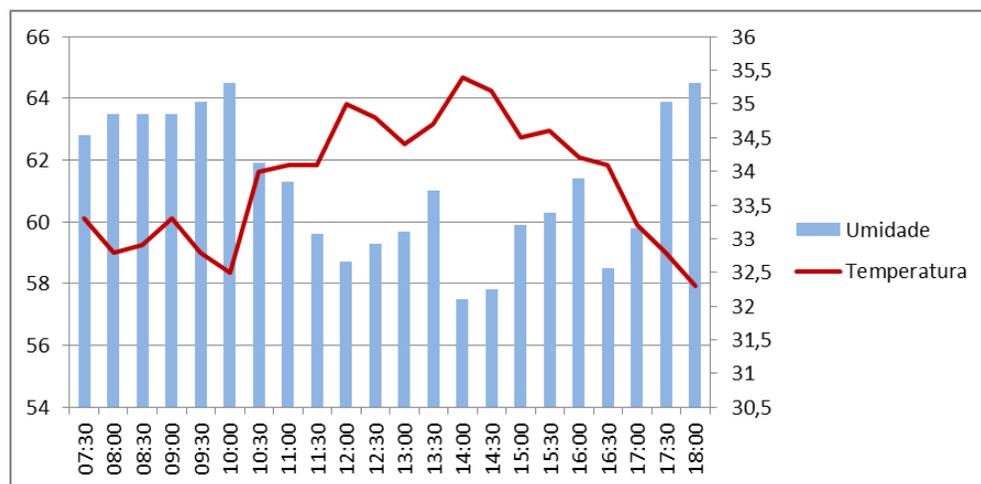
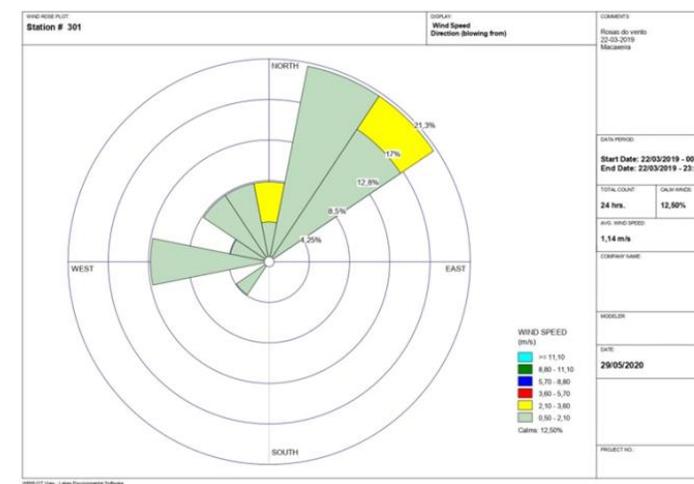


Figura 46- Direção e velocidade TI Macaxeira 2019.



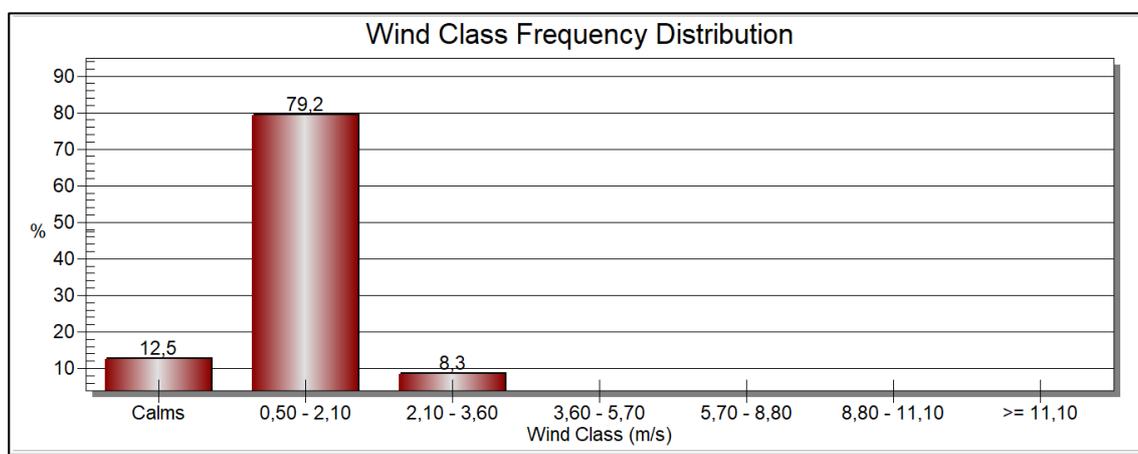
5.2 ANÁLISE FICHA 02 – TI MACAXEIRA 2019

Nas imagens sinóticas (Figura 44), percebe-se que na Região Nordeste não existe sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras), quando não estão muito próximas, indicam ventos fracos. Na faixa equatorial, nota-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Nas condições meteorológicas (Figura 45), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 14h, com 35,4 °C, e a segunda máxima chegou a 35 °C no horário da tarde, às 12h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 64,5% e mínima de 57,5% em horário respectivo, de 10h e 14h, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

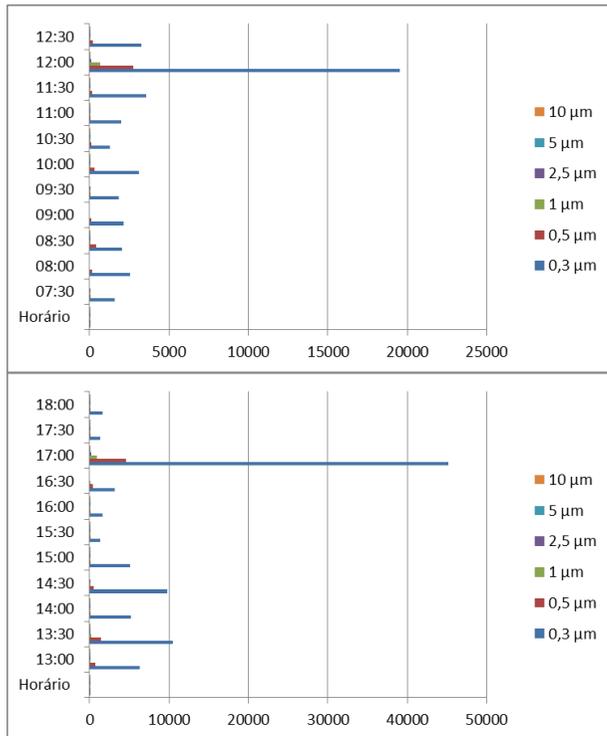
O resultado para a direção dos ventos (Figura 46) indica predominância a Nordeste (NE) e a Norte-Nordeste (NNE). Suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 47), o qual é classificado como vento leve à fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 12,50%.

Figura 47- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 48) apresentaram maior concentração no turno da tarde. Na conversão do MP (figura 49) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 50) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 48- MP do local TI Macaxeira 2019.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que a maior concentração deu-se durante a tarde, isso devido aos elementos meteorológicos capazes de dispersar os poluentes, além do fluxo de trânsito ser intenso, por conta do fluxo de carros, caminhões e ônibus constantemente na BR-101. Principalmente no horário das 07:30h, 12:00hs e 17:00hs considerado horário de pico, pois há deslocamento dos moradores do bairro para suas atividades diárias.

Figura 49- Conversão do MP TI Macaxeira 2019.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
0,036760217	7,66679E-07
0,036304629	
0,225206817	
0,030225384	
0,048417773	
0,61604553	
0,369359133	
0,586076415	
0,412925216	
3,522442819	
0,405761313	
0,525446365	
1,184490075	
0,490005454	
0,197757143	
0,51972832	
0,166091175	
0,10753447	
0,084622215	
7,02810325	
0,166091175	
0,10753447	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	2350 e < 420
PESSIMA	1420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

A concentração de MP nesse dia é de **7,66 µg/m³** para todas as horas amostradas, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA, o local encontra-se em condição geral de qualidade do ar “Boa”.

Figura 50- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	10 µg/m³	13 µg/m³	18 µg/m³	2,1 m/s
08:00	9 µg/m³	12 µg/m³	17 µg/m³	2,1 m/s
09:00	8 µg/m³	11 µg/m³	16 µg/m³	3,2 m/s
10:00	7 µg/m³	10 µg/m³	15 µg/m³	3,2 m/s
11:00	7 µg/m³	10 µg/m³	15 µg/m³	3,2 m/s
12:00	7 µg/m³	10 µg/m³	14 µg/m³	3,6 m/s
13:00	6 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	3,6 m/s
14:00	6 µg/m³	9 µg/m³	13 µg/m³	3,6 m/s
15:00	6 µg/m³	9 µg/m³	13 µg/m³	3,9 m/s
16:00	6 µg/m³	9 µg/m³	13 µg/m³	3,9 m/s
17:00	5 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	3,9 m/s
18:00	5 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	3,8 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que no horário de pico a tarde às 17:00 h e 18:00h as concentrações já convertidas pelo aplicativo são menores que nos outros horários e a intensidade do vento é alta com 3,9 m/s. Mantendo uma constante no período da tarde tanto do MP, como da velocidade do vento. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto o local como Recife encontram-se com condição geral de qualidade do ar “Boa” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, uma maior concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca. Nesse terminal, classificado como TRA, há um grande fluxo de trânsito por causa da BR-101 e é um local com uma topografia elevada e algumas barreiras artificiais que dificultam o escoamento do vento no entorno. Durante todo o período do dia da coleta, o céu permaneceu firme e estável. Pela manhã, das 09h30 às 10:30, o fluxo de passageiros é intenso. No terminal, quando o horário se aproxima das 12h, existe uma aglomeração de pessoas à espera dos ônibus, os quais demoram a retornar. Isso também acontece no horário das 17h e 18h fazendo, as pessoas demorarem mais nesse ambiente. Considerando o atributo de vegetação de alta predominância no local, podemos correlacionar os elementos de temperatura e umidade do dia com o acúmulo de MP.

Reafirmando a forma que os poluentes podem ser e absorvidos pelos estômatos, conforme Peixoto et. al. (2020), o escape de transpiração da planta é realizado no estômato, essa via corresponde por 90% das perdas de água da planta e a intensidade dessa transpiração varia com a ação de condições externas (luz, umidade do ar, temperatura, vento e disponibilidade de água no solo) e internas.

Dessa maneira, ao correlacionar os fatores externos aos dados coletados de temperatura e umidade do local, com médias, respectivamente, de 34,1°C e 60,1% UR, indicam que o aumento de temperatura de 25-30°C favorece à abertura do estômato. Entretanto, acima dessa temperatura de 30-35°C, causa um estresse térmico (PEIXOTO, *et. al.*, 2020). Para conservação da água, as plantas reduzem a fotossíntese, afetando o ambiente. A fim de não perderem totalmente a água, as árvores reagem fechando total ou parcialmente os estômatos. Em relação ao fator umidade, quanto mais baixa, mais haverá uma rapidez na transpiração, por causa do gradiente de potencial hídrico da folha ser maior. Ainda, se a transpiração superar a velocidade de absorção de água pelas raízes, ocorrerá um déficit hídrico, causas que impedem a abertura do estômato (ADLER; TANNER, 2015, DERISIO, 2017, PEIXOTO, 2020). Essas condições externas de temperatura e umidade foram mais afetadas pela vegetação, que contribuíram para o acúmulo de MP, pois esses fatores vão interferir no fechamento dos poros sendo um local de acumulação de poluentes. É provável que o período seco da cidade interfira nos benefícios das áreas verdes em relação à poluição do ar.

FICHA 03 – TI BARRO – 23/11/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 51- Condições do entorno TI Barro 2018.



Figura 52- Condições sinóticas TI Barro2018.

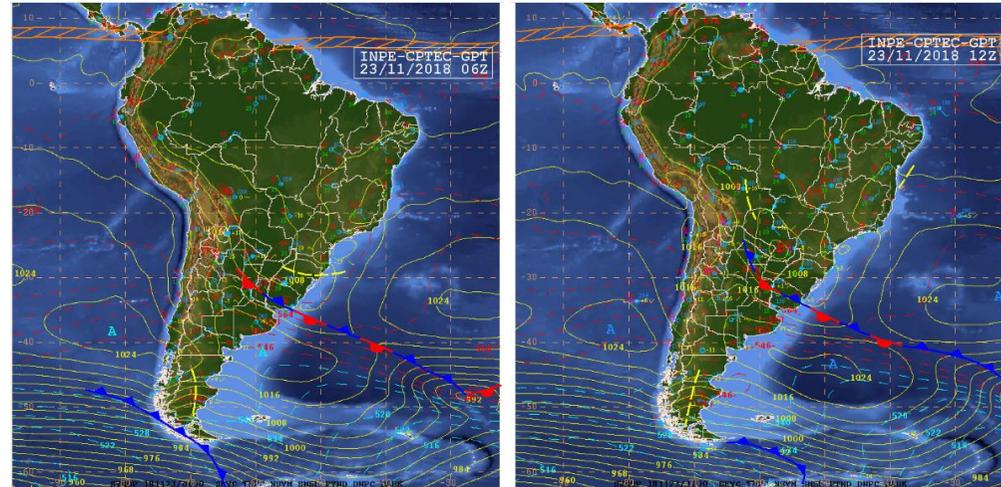


Figura 53- Temperatura e umidade TI Barro

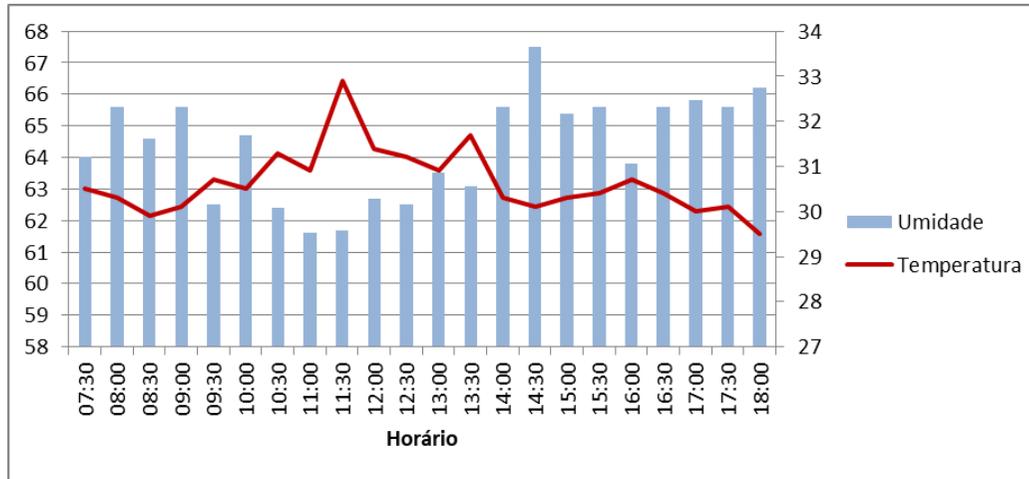
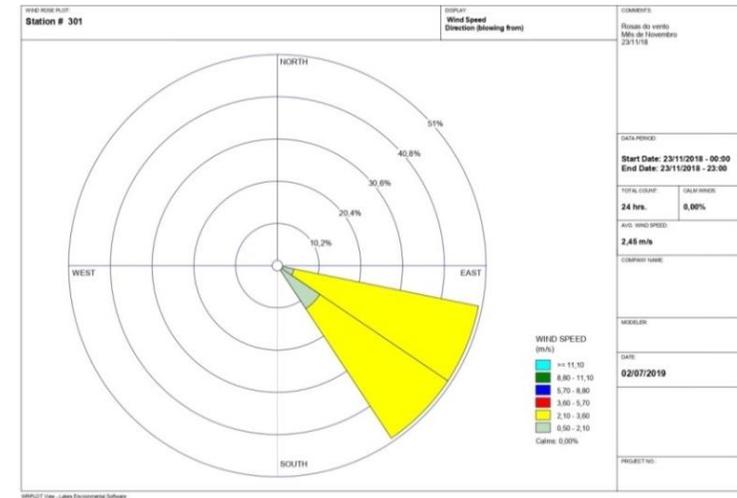


Figura 54- Direção e velocidade do vento TI Barro 2018.



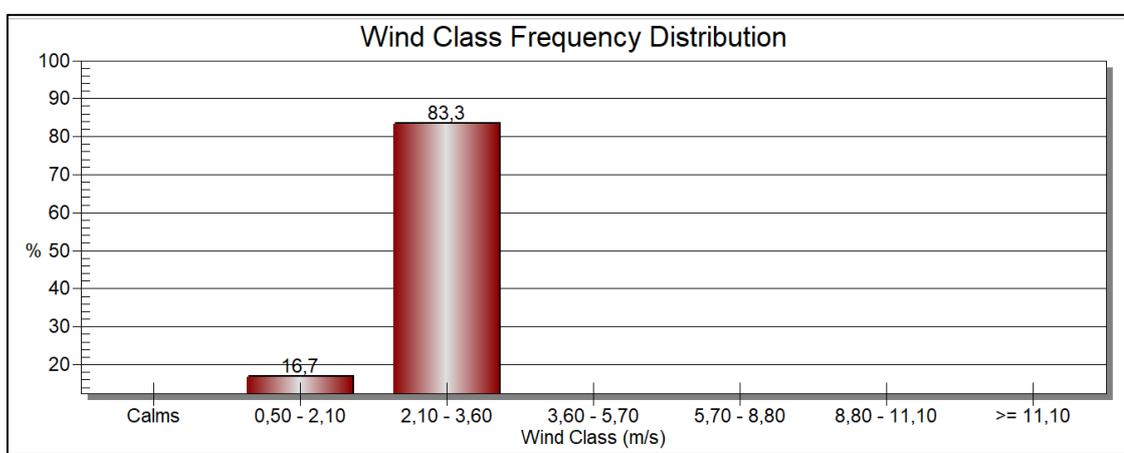
5.3 ANÁLISE FICHA 03 – TI BARRO 2018

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 52), nota-se que na Região Nordeste não existem sinais de sistemas atuando, apenas um cavado na Bahia indicando mudança de tempo. O tempo está estável nas mediações de Recife. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 53), a temperatura, demonstra que a máxima do dia ocorreu às 11h30, com 32,9°C, e a segunda máxima chegou a 31,7°C no horário da tarde, às 13h30, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar variou entre a máxima de 67,5% e mínima de 61,6% em horário respectivo, 14h30 e 11h, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

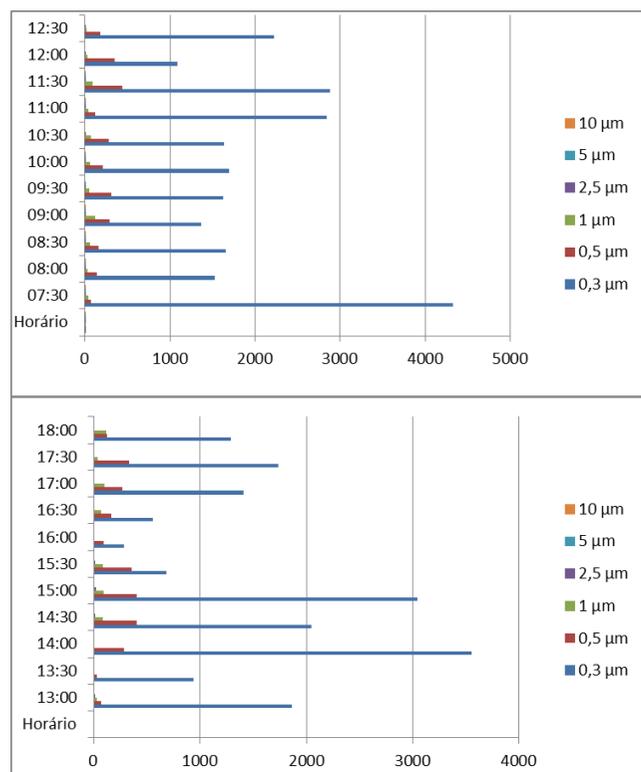
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 54) indica predominância a Sudeste (SE) e a Leste Sudeste (ESE). Suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s à 3,60m/s (Figura 55), o qual é classificado como vento leve à fraco, com o percentual de ventos calmos tendo sido de 0,00%.

Figura 55- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 56) apresentou maior concentração nos dois turnos manhã e tarde. Na conversão do MP (figura 57) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 58) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 56- MP do local TI Barro 2018.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem nos dois turnos manhã e tarde com picos maiores às 07:30h, 14:00h e 15:00h, isso devido aos elementos meteorológicos capazes de dispersar os poluentes estarem com pouca intensidade, além de ser um TI bastante transitório por ter a estação de metrô, fluxo de carros, caminhões e ônibus constantemente pela proximidade da BR-101, mesmo perdendo um pouco de fluxo para BR- 232.

Figura 57- Conversão do MP TI Barro 2018.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
3,12117516	
0,211064094	
0,302386715	
0,324364594	
0,152046002	
0,145330832	
0,079844874	
0,777868208	
0,632765697	
0,108111337	
0,049921106	
0,314830476	
0,022120777	
0,277841938	
0,486929184	
0,539965581	
0,252837883	
0,092262797	
0,08548066	
0,155223514	
0,087544514	
0,532211102	

3,97824E-07

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	MPI - Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	≥250 e < 420
PÉSSIMA	≥420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **3,97 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 58- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	4 µg/m³	11 µg/m³	18 µg/m³	4,1 m/s
08:00	2 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	4,1 m/s
09:00	2 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	4,5 m/s
10:00	2 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	4,5 m/s
11:00	2 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	4,5 m/s
12:00	2 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	5 m/s
13:00	2 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	5 m/s
14:00	2 µg/m³	7 µg/m³	12 µg/m³	5 m/s
15:00	2 µg/m³	7 µg/m³	12 µg/m³	5 m/s
16:00	2 µg/m³	7 µg/m³	12 µg/m³	5 m/s
17:00	3 µg/m³	8 µg/m³	13 µg/m³	5 m/s
18:00	4 µg/m³	9 µg/m³	16 µg/m³	4,3 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que no horário de pico pela manhã às 07:30 e às 18:00h no horário da noite as concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores que nos outros horários, mantendo uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 5 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto o local, como Recife encontram-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca, interferindo no contador de partículas do MP, enquanto que as vias asfaltadas impedem o levante de MP proveniente de solo exposto. Nesse terminal classificado como TRA, apresenta-se intensidade e continuidade da poluição. A topografia ajuda na dispersão do MP, de forma que a morfologia quase que aplainada não permite a concentração. As barreiras artificiais do entorno não são tão atuantes para o acúmulo do MP, ocorrendo o transporte e difusão dos poluentes pra outros locais.

O alinhado de edifícios do litoral sul impacta nas brisas marítimas, refletindo numa menor intensidade de vento nesse local. As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, com os ônibus demorando um longo período pra sair e chegar, enquanto que em determinadas horas existe uma amontoação de 30 ônibus parados distribuídos pelas 3 plataformas, promovendo aglomeração de passageiros à espera e uma menor circulação de MP. Ocorrendo esse processo o dia todo, a duração é de 1 hora em determinadas paradas.

Das 10 linhas do TI, apenas duas são mais movimentadas nesse sentido: a linha Barro-Várzea e a linha Barro-BR-101. No período da manhã, a BR-101 estava congestionada no horário das 09h55 e diminuindo às 13h. É importante ressaltar o atributo de vegetação que margeia a área em dois lados: o jardim Botânico e a Mata do Engenho Uchôa. Conforme Derisio (2017), a contribuição da vegetação na atenuação da poluição atmosférica pode ser ocasionada pela redução de acúmulo de poluentes no solo, por sedimentação ou por precipitação, que permite a penetração dos poluentes pelas raízes e a penetração dos poluentes pela sedimentação de partículas nas folhas ou interferência de partículas em suspensão, pelos estômatos das plantas (poros localizados nas folhas).

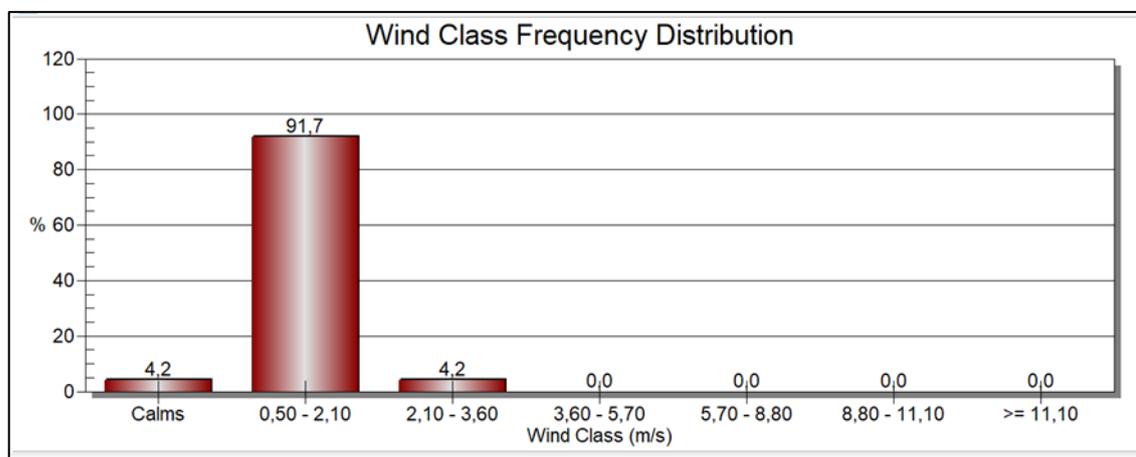
5.4 ANÁLISE FICHA 04 – TI BARRO 2019

Nas imagens sinóticas (Figura 60), percebe-se que próximo à Região do Nordeste não existem sinais de sistemas atuando, apenas um cavado na Bahia indicando mudança de tempo. O tempo está estável nas mediações de Recife. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos. Na faixa equatorial e em direção ao Nordeste, nota-se uma formação de ZCIT.

Nas condições meteorológicas (Figura 61), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 12h, com 34,0°C, e a segunda máxima chegou a 33,1°C no horário da tarde, às 12h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 69,2% e mínima de 60,1% em horário respectivo, de 08h30 e 12h, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

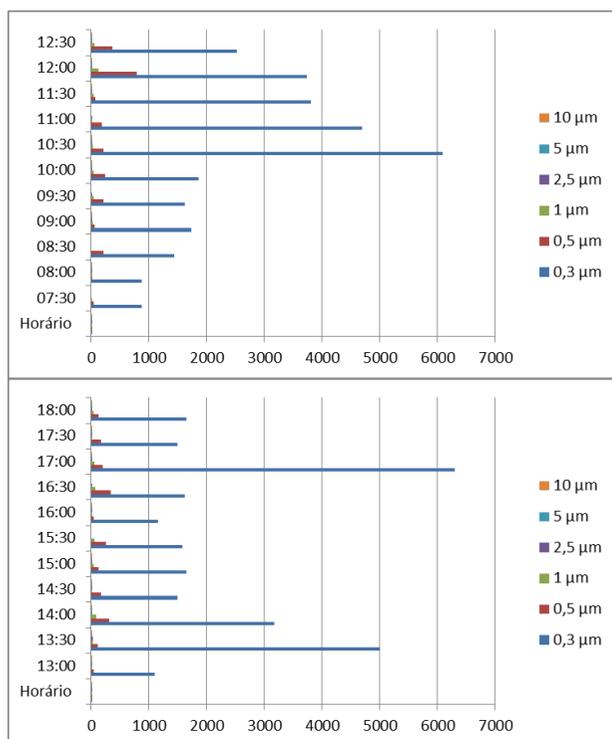
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 62) indica predominância Sudeste (SE) e a Leste-Sudeste (ESE). Suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s à 3,60 m/s (Figura 63), o que é classificado como vento leve à fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 4,17%.

Figura 63- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 64) apresentou maior concentração no turno da manhã e tarde. Na conversão do MP (figura 65) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 66) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 64- MP no local TI Barro 2019.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem nos dois turnos manhã e tarde com picos maiores às 10:30h, 11:00h, 13:30h e 17:00h, isso corresponde aos elementos meteorológicos capazes de dispersar os poluentes estarem com pouca intensidade, além de ser um TI transitório por ter a estação de metrô, fluxo de carros, caminhões e ônibus constantemente pela a proximidade da BR-101.

Figura 65- Conversão do MP no TI Barro 2019.

concentração total (microg/m ³)	Concentração por período (g/m ³)
0,020550477	
0,161914956	
0,020515675	
0,25740114	
0,081829633	
0,146427617	
0,521033916	
0,08507253	
0,231792271	
0,321999125	
0,472811771	
0,1697074	
0,489222413	
0,554518016	
0,249995734	
0,336071716	
0,052636176	
0,126884811	
0,139413995	
0,23717759	
0,249995734	
0,336071716	

2,39229E-07

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MP/CETESB (2021)	
Qualidade	Concentração µm ³
BOA	0 - 30
REGULAR	>30 - 130
INADEQUADA	>130 e < 420
MÁ	>230 e < 420
PESSIMA	>420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **2,39 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 66- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	7 µg/m ³	15 µg/m ³	25 µg/m ³	1,2 m/s
08:00	4 µg/m ³	12 µg/m ³	20 µg/m ³	1,2 m/s
09:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	19 µg/m ³	3,2 m/s
10:00	4 µg/m ³	12 µg/m ³	20 µg/m ³	3,2 m/s
11:00	4 µg/m ³	12 µg/m ³	20 µg/m ³	3,2 m/s
12:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	19 µg/m ³	3,5 m/s
13:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	19 µg/m ³	3,5 m/s
14:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,5 m/s
15:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,7 m/s
16:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,7 m/s
17:00	4 µg/m ³	10 µg/m ³	18 µg/m ³	3,7 m/s
18:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,0 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que no horário da manhã às 07:30 a concentração já convertida pelo aplicativo é maior devido a menor intensidade de vento. No período da tarde com a intensidade do vento aumenta em 3,5 a 3,7 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto o local, como Recife encontram-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca interferindo no contador de partículas do MP e as vias asfaltadas impedem o levante de MP proveniente de solo exposto. Esse microambiente, classificado como TRA, apresenta intensidade e continuidade da poluição. A topografia ajuda na dispersão do MP, de forma que a morfologia quase que aplainada não permite a concentração. As barreiras artificiais do entorno não são tão atuantes para o acúmulo do MP, ocorrendo o transporte e dispersão dos poluentes pra outros ambientes.

O alinhado de edifícios do litoral sul impacta nas brisas marítimas, refletindo numa menor intensidade de vento nesse local. As observações do dia da coleta apresentam particularidades próprias do TI. Ao longo do dia, os ônibus ficam concentrados no pátio, causando aglomerações de passageiros nas filas, que esperam em média de 40 minutos a 1 hora em determinadas paradas, como TI Prazeres, TI Zumbi, TI UR3, TI UR5 e CEASA. Analisando a temperatura, umidade e vento para o dia, as médias ficaram respectivamente em torno de 32,4°C, 63,3%UR e 2,10 m/s. Em situações com temperaturas elevadas, ocorre o transporte de formação de movimentos verticais ascendentes, criando um levante de poluentes de níveis mais baixos para os mais elevados, favorecendo a dispersão de MP. No período analisado, a umidade do ar não contribuiu para a concentração de poluentes e os ventos apresentaram velocidade fraca, de acordo com a Escala de *Beaufort*, e, dessa forma, não contribuindo para o arraste de poluentes. Essa área tem tendência a ser dispersora e o atributo de vegetação próximo do local traz benefícios para filtração de poluentes.

FICHA 05 – TI AEROPORTO – 26/11/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 67- Condições do entorno TI Aeroporto 2018.



Figura 68- Condições sinóticas TI Aeroporto 2018.

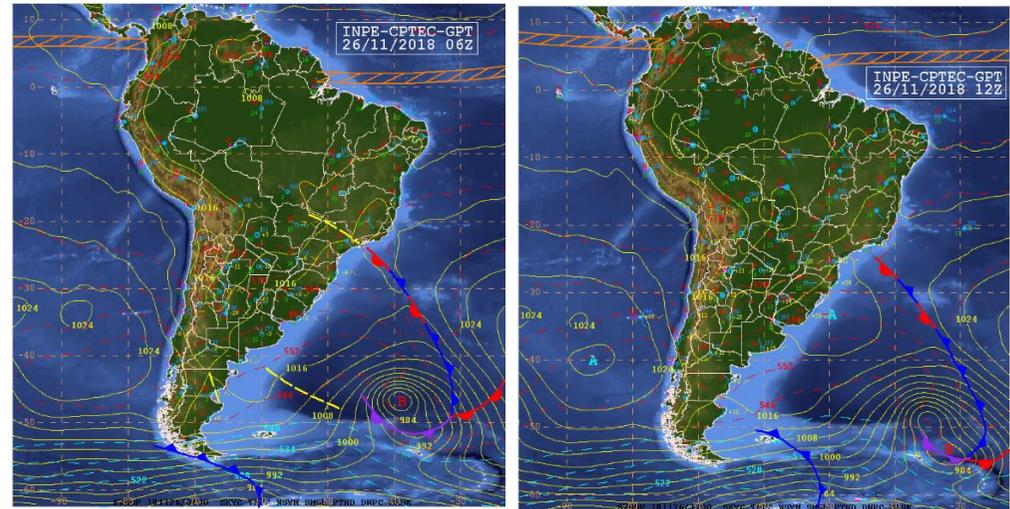


Figura 69- Temperatura e umidade TI Aeroporto 2018.

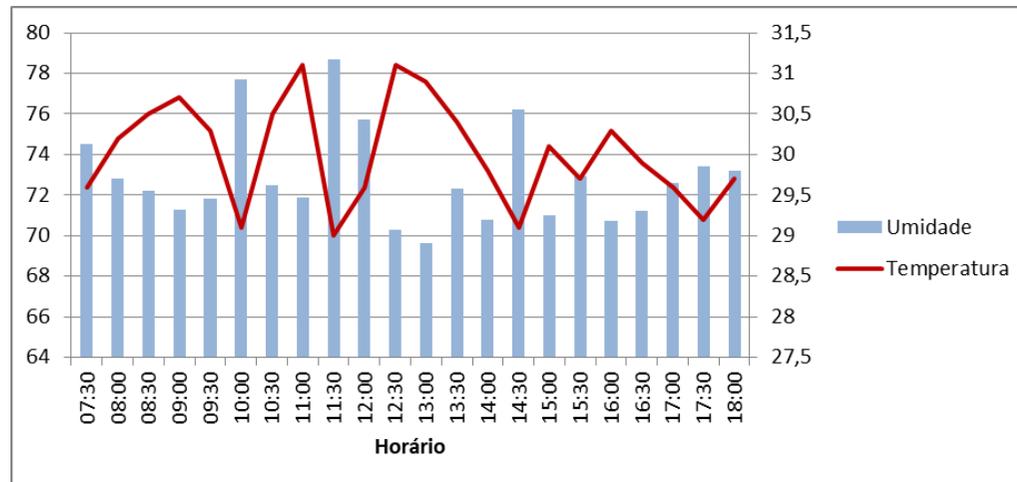
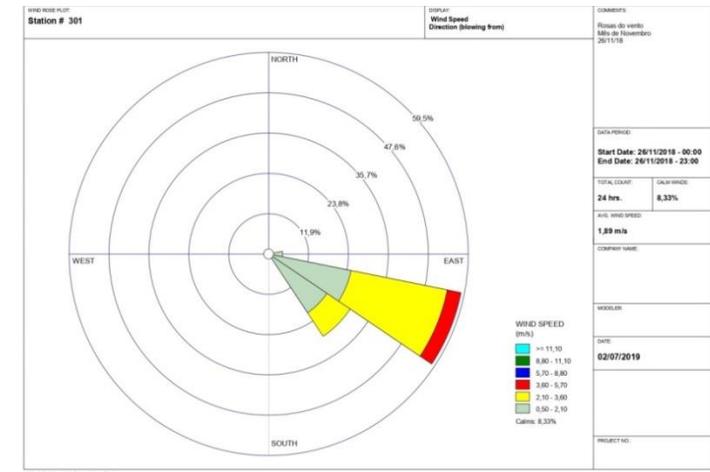


Figura 70- Direção e velocidade do vento TI Aeroporto 2018.



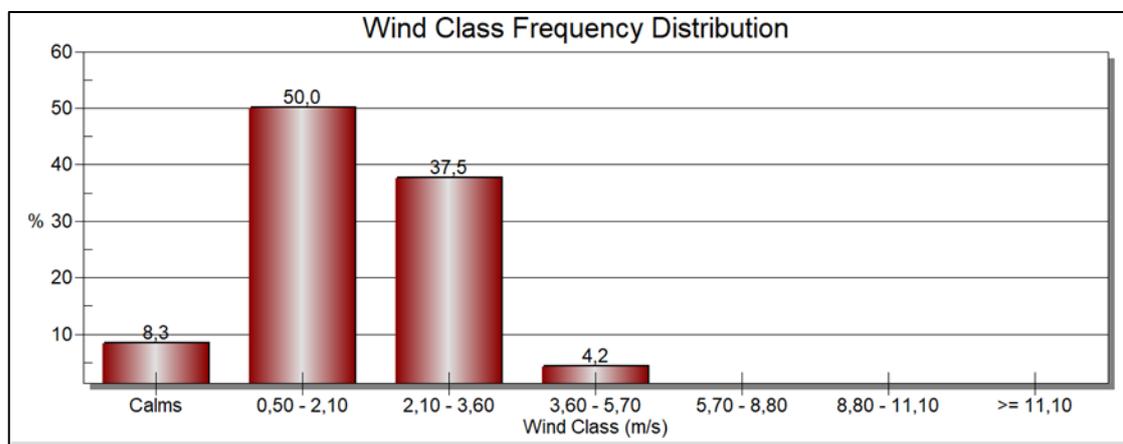
5.5 ANÁLISE FICHA 05- TI AEROPORTO 2018

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 68), observa-se na Região Nordeste, que não existe sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos. Na faixa equatorial, nota-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Nas condições meteorológicas (Figura 69), a temperatura, demonstra que a máxima do dia ocorreu às 11h, com 31,1°C, e a segunda máxima chegou a 31,1°C, às 12h30, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia de máxima com 78,7% e mínima 69,6% em horário respectivo, de 11h30 e 13h00, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

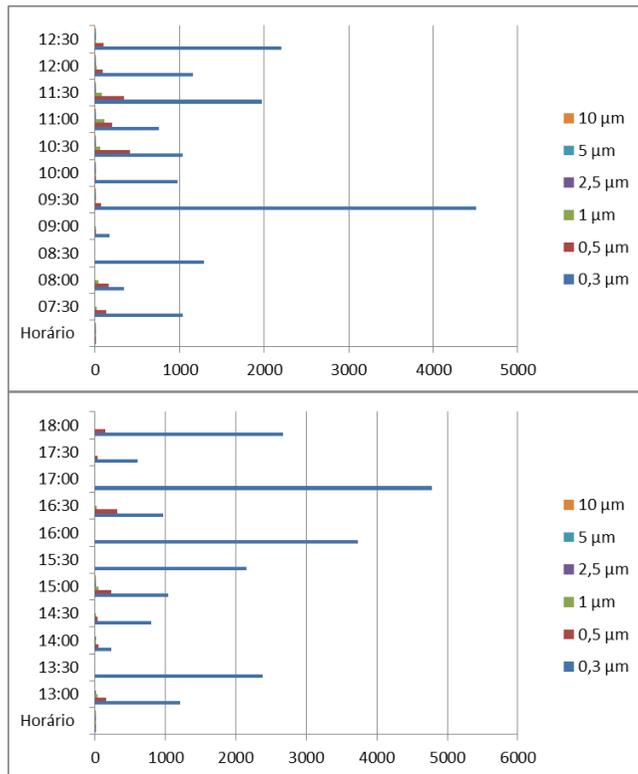
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 70) indica predominância a Sudeste (SE) e suas maiores velocidades atingem entre 3,60m/s a 5,70 m/s (Figura 71), o qual é classificado como vento fraco a moderado. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 8,33%.

Figura 71- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 72) apresentou maior concentração no turno da tarde. Na conversão do MP (figura 73) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 74) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 72- MP do local TI Aeroporto 2018.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem nos dois turnos manhã e tarde com picos maiores às 09:30h, 12:30h, 16:00h e 17:00h isso devido a alta intensidade do vento capaz de dispersar e transportar os poluentes, fazendo com que o levante de MP significasse mais para o contador de partículas. O terminal tem a proximidade com o litoral, por isso as brisas marítimas vão ser mais atuantes.

Figura 73- Conversão do MP TI Aeroporto 2018.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
0,033402895	
0,024963453	
0,01832316	
0,007208723	
0,229546499	
0,16332443	
0,128835295	
0,15382195	
0,237762893	
0,184073698	
0,1808076	
0,071759778	
0,033912795	
0,012140563	
0,016049968	
0,18887635	
0,030652497	
0,053175604	
0,02898781	
0,068138806	
0,008684637	
0,038055794	

8,69321E-08

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	MPI - Concentração µm³
BOA	0 - 30
REGULAR	>30 - 150
INDEQUILIBRADA	>150 e < 420
MÁ	>250 e < 420
PÉSSIMA	>420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **8,69 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 74- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			Vento
	1 µm	2,5 µm	10 µm	
07:30	4 µg/m³	10 µg/m³	16 µg/m³	2,9 m/s
08:00	4 µg/m³	9 µg/m³	15 µg/m³	2,9 m/s
09:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,0 m/s
10:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,0 m/s
11:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,0 m/s
12:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,7 m/s
13:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,7 m/s
14:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	5,7 m/s
15:00	3 µg/m³	8 µg/m³	13 µg/m³	6,0 m/s
16:00	3 µg/m³	8 µg/m³	13 µg/m³	6,0 m/s
17:00	4 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	6,0 m/s
18:00	4 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	4,7 ms

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 09:00h às 17:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários picos do Recife, 07:30h, 08:00h, 17:00h e 18:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 5,7 m/s e chegando a picos de 6,0m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava alta, interferindo no contador de partículas. Esse local foi classificado como OCE, próximo da área costeira. A topografia facilita o transporte e a difusão dos poluentes. Assim, alguns vão ficar aprisionados por algum obstáculo e outros se dispersar. As barreiras artificiais do entorno são atuantes para o bloqueio do vento e também para acumular o MP. O adensamento da Zona Sul, em Boa Viagem, interfere nas brisas marítimas, refletindo numa menor intensidade de vento para os bairros mais adentrados.

As brisas são um fenômeno significativo para os aspectos das condições de dispersão dos poluentes por causa dos efeitos de recirculação a que estão associados. Por isso, esse terminal sofre alterações diárias em relação à poluição, ao mesmo tempo em que existe uma média amostragem de poluição. Assim, a duração vai ser mínima, visto que irá ocorrer uma quebra de continuidade de MP, prejudicado pela estrutura baixa do próprio local e, em alguns dias, ocorrerá o acúmulo, a partir do que, talvez, o volume edificado do aeroporto contribua na recolocação de MP no TI.

As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, com os ônibus circulando constantemente. Em razão dos percursos serem curtos, o intervalo é pequeno, sendo de 10 a 15 min, o que não promove aglomeração de passageiros ao longo do dia, ocorrendo só no horário de pico das 16h30 às 17h. É importante ressaltar a interação dos três atributos sendo os obstáculos na presença de edifícios, a topografia,

FICHA 06 – TI AEROPORTO – 01/04/2019 – PERÍODO SECO/VERÃO

Figura 75- Condições do entorno TI Aeroporto 2019.



Figura 76- Condições sinóticas TI Aeroporto 2019.

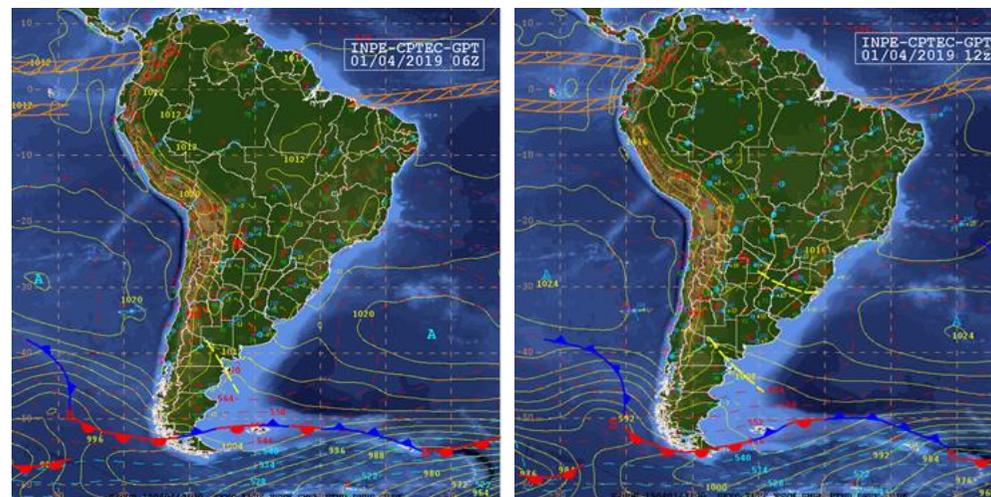


Figura 77- Temperatura e umidade TI Aeroporto 2019.

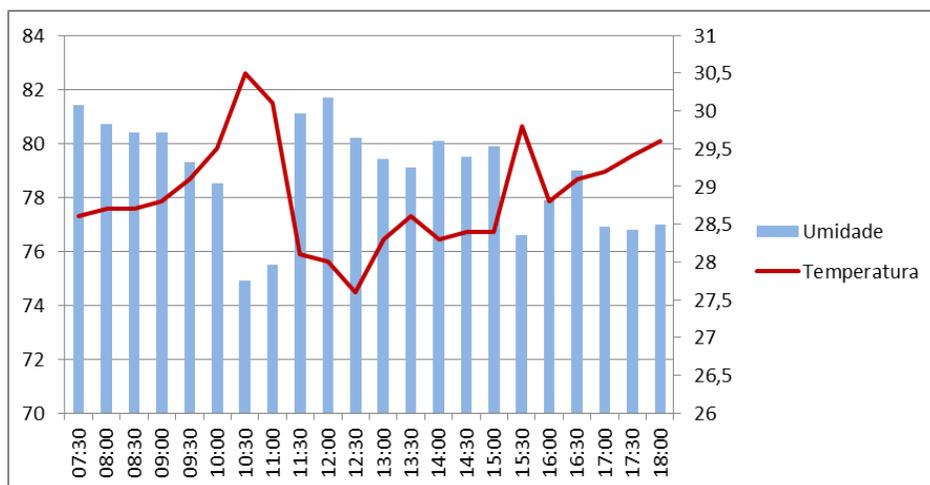
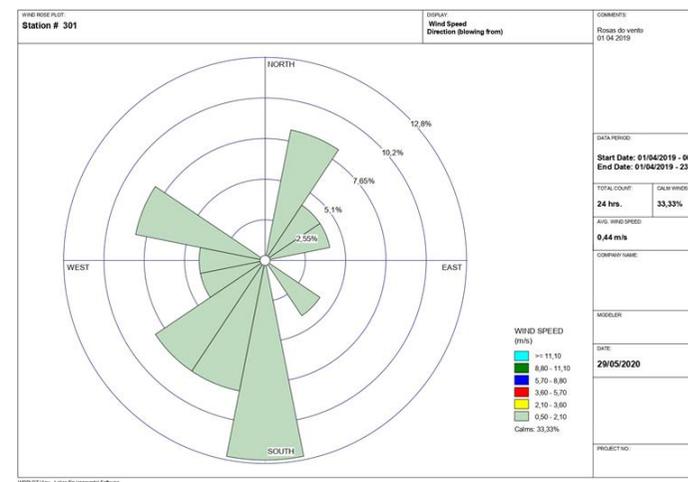


Figura 78- Direção e velocidade do vento TI Aeroporto



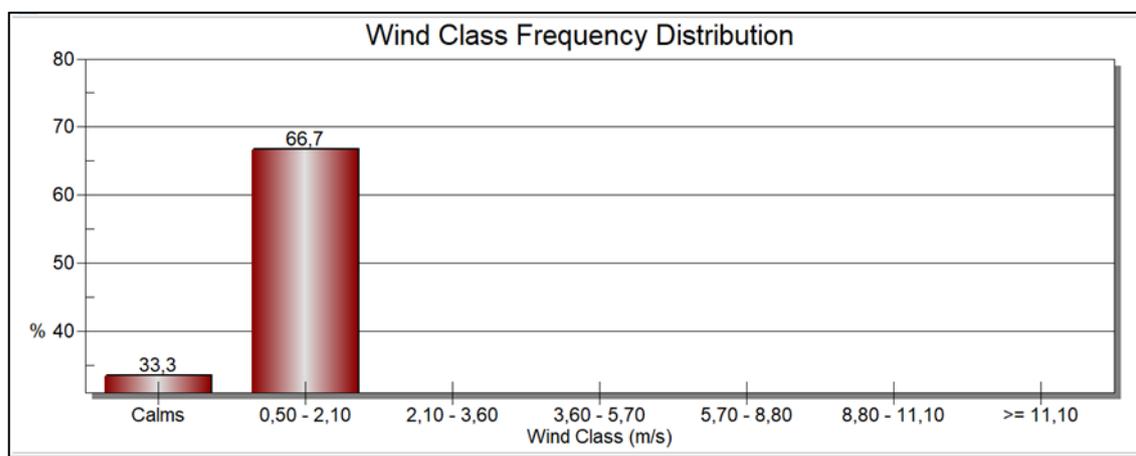
5.6 ANÁLISE FICHA 06 – TI AEROPORTO 2019

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 76), observa-se na faixa equatorial a descida da ZCIT influenciando no Nordeste. Em Pernambuco, aparecem linhas tracejadas vermelhas que indicam valores de geopotencial maiores, apontando que nessa área está formando nebulosidade, portanto o tempo no dia da coleta está instável e a ausência de linhas amarelas indica ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 77), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 10h30, com 30,5°C, e a segunda máxima chegou a 29,6°C, às 18:00h, horários que não apresentaram temperaturas críticas. A umidade relativa do ar varia de máxima com 71,4% e mínima 74,9% em horário respectivo 07h30 e 10h30. Desse modo, suas condições não são de alerta para a saúde.

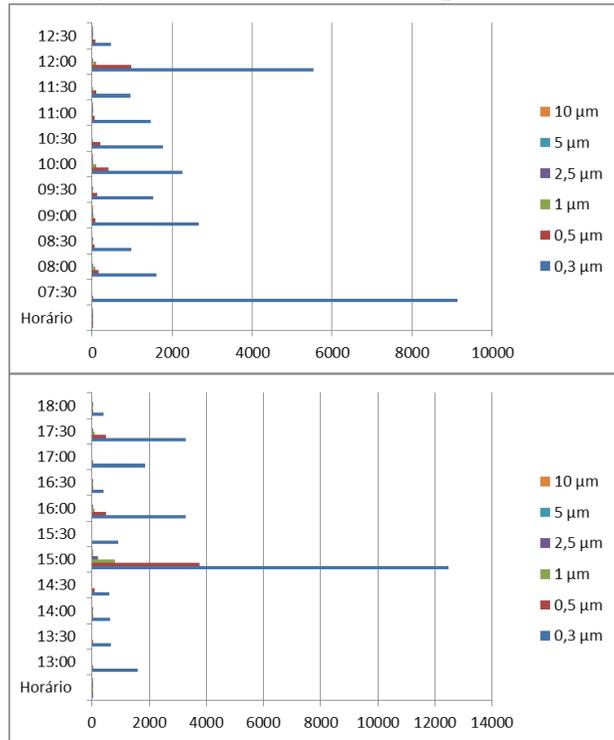
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 78) indica predominância a sul-sudoeste e suas maiores velocidades atingem entre 0,50m/s e 2,10m/s (Figura 79), o qual é classificado como brisa leve. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 33,33%.

Figura 79- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 80) apresentaram menores picos de concentração ao longo dos dois turnos. Na conversão do MP (figura 81) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 82) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 80- MP do local TI Aeroporto 2019.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem com maior concentração pela manhã e a tarde ocorrendo picos entre às 15:00h e 17:30h. A intensidade do vento estava fraca impedindo o levante do MP na contagem do aparelho e por ter ocorrido picos de precipitação ocorrendo à limpeza da atmosfera e diminuindo a concentração dos poluentes.

Figura 81- Conversão do MP TI Aeroporto 2019.

concentração total (microg/m ³)	Concentração por período (g/m ³)
0,131721737	2,28625E-07
0,088269552	
0,048533252	
0,220991578	
0,035323323	
0,2535065	
0,034719564	
0,110286451	
0,028873913	
0,142408006	
0,146525695	
0,022651241	
0,009368018	
0,026402456	
0,008698874	
3,357512233	
0,013183563	
0,09551044	
0,066617545	
0,026523735	
0,09551044	
0,066617545	

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **2,28 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 82- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	6 µg/m ³	14 µg/m ³	23 µg/m ³	1,9 m/s
08:00	5 µg/m ³	12 µg/m ³	21 µg/m ³	2,8 m/s
09:00	5 µg/m ³	12 µg/m ³	20 µg/m ³	3,6 m/s
10:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	19 µg/m ³	3,6 m/s
11:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,6 m/s
12:00	4 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,5 m/s
13:00	5 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,5 m/s
14:00	5 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	3,5 m/s
15:00	5 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	2,7 m/s
16:00	5 µg/m ³	10 µg/m ³	17 µg/m ³	2,7 m/s
17:00	5 µg/m ³	10 µg/m ³	17 µg/m ³	2,7 m/s
18:00	6 µg/m ³	11 µg/m ³	18 µg/m ³	1,6 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 09:00h às 14:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários 07:30h, 08:00h e 09:00h. O vento manteve uma constante com a intensidade do vento em 2,7 a 3,6 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de ausência de MP pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca, interferindo no contador de partículas. Esse local foi classificado como OCE, próximo da área costeira. A topografia facilita o transporte e difusões dos poluentes alguns vão ficar retidas por algum obstáculo e outros a dispersar. As barreiras artificiais do entorno são atuantes para o bloqueio do vento e também para acumular o MP. O adensamento da zona sul em Boa viagem interfere nas brisas marítimas, refletindo numa menor intensidade de vento para os bairros mais adentrados.

No dia da coleta, o tempo estava instável o que prejudicou as condições de concentração de MP, reforçando, dessa maneira, a ideia de que a poluição do ar é inconstante diariamente e depende dos fatores meteorológicos. As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI. Os ônibus permanecem ligados em um curto tempo nas paradas, pois esse terminal não possui tanta circulação de passageiros. A maioria dos percursos é curto, com intervalo de 10 min a 15 min, o que não promove aglomeração de passageiros ao longo do dia. É importante ressaltar que a temperatura e a umidade, respectivamente, em média ficaram entre 28,8°C e 78%, resultados que implicam em uma baixa concentração de MP no terminal e no entorno do bairro.

FICHA 07 – TI JOANA BEZERRA – 30/11/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 83- Condições do entorno TI Joana Bezerra 2018.



Figura 84- Condições sinóticas TI Joana Bezerra 2018.

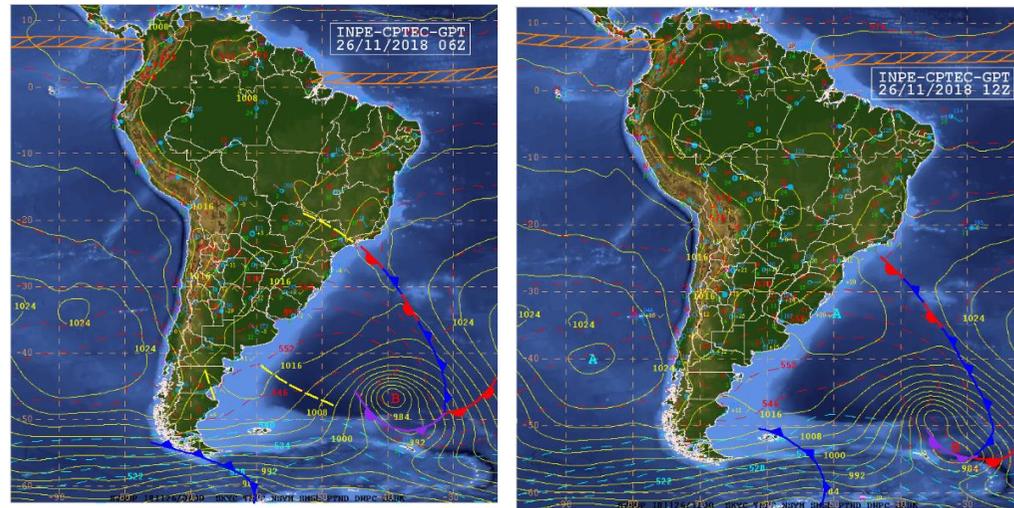


Figura 85- Temperatura e umidade TI Joana Bezerra 2018.

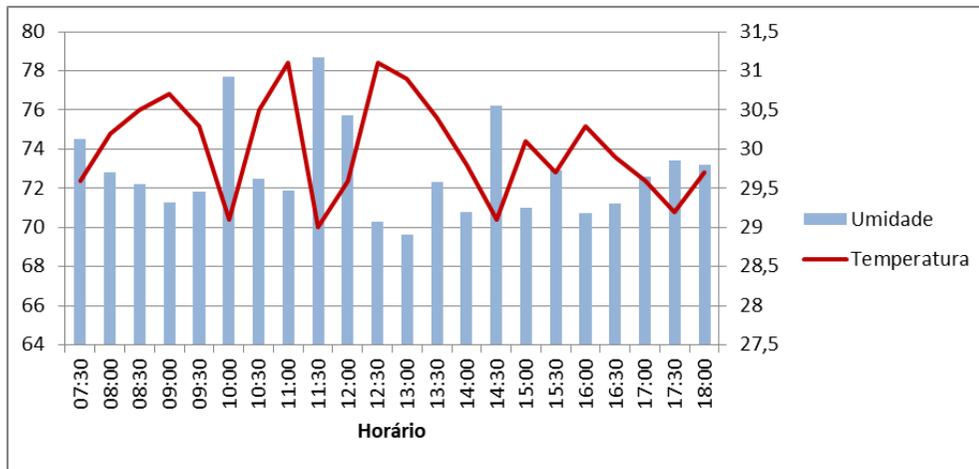
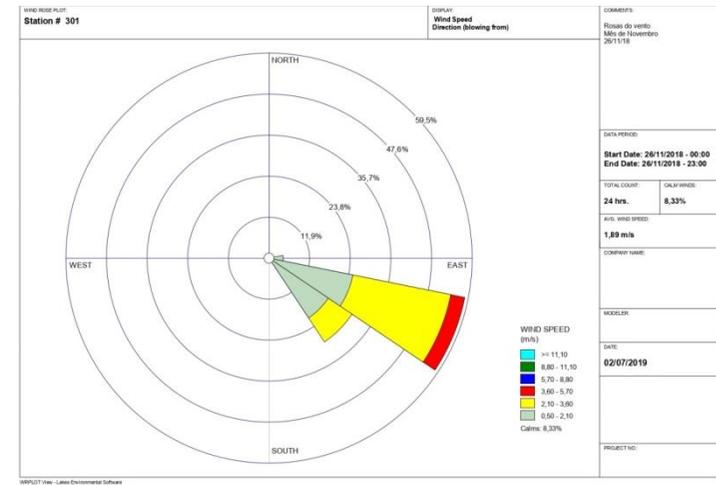


Figura 86- Direção e velocidade do vento TI Joana Bezerra 2018.



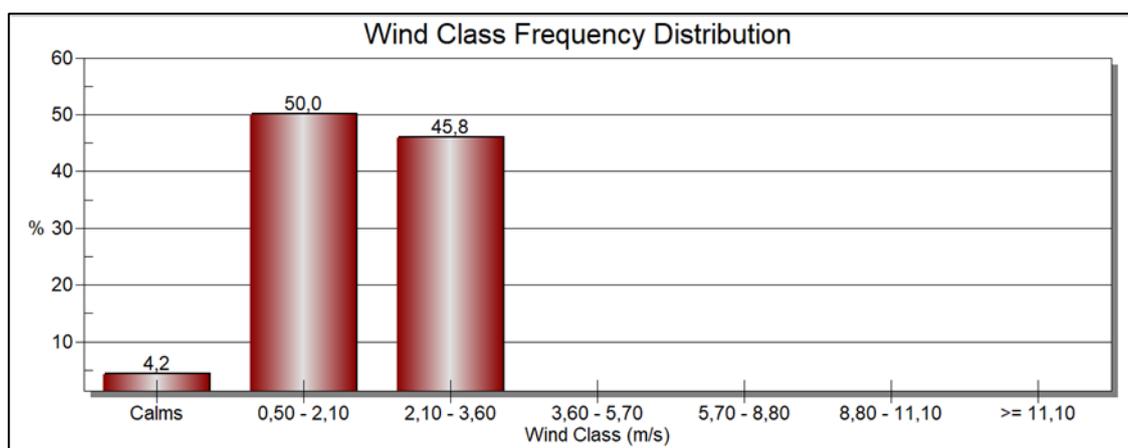
5.7 ANÁLISE FICHA 07 – TI JOANA BEZERRA 2018

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 84), na Região Nordeste, não existem sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos. Na faixa equatorial, nota-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Nas condições meteorológicas (Figura 85), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 14h30, com 32,7°C, e a segunda máxima atingiu 31,5°C, às 13h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima 70,8% e mínima de 65,4% em horário respectivo de 07h30 e 14h30, porém suas condições não são de alerta para a saúde. Segundo a OMS, o nível ideal para o organismo humano varia entre 40% e 70%.

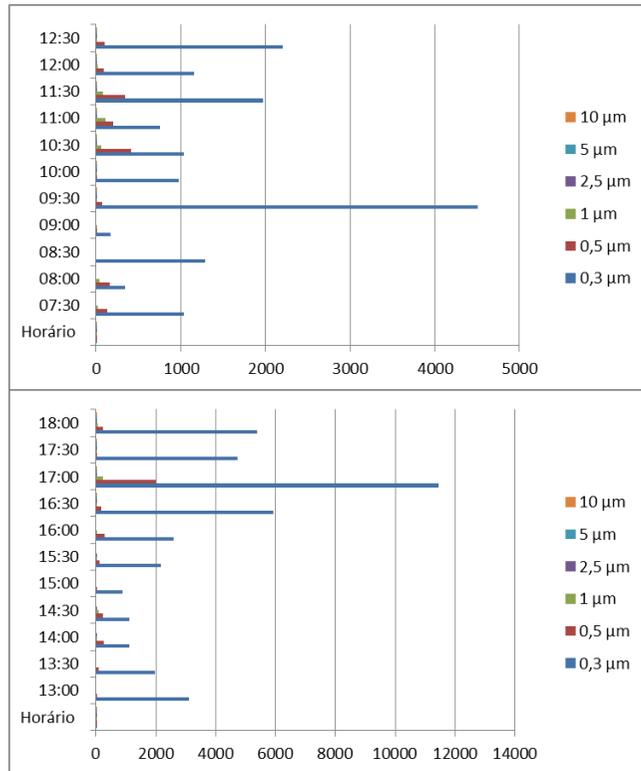
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 86) indica predominância a Sudeste (SE) e suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 87), o qual é classificado como vento leve à fraco, com percentual de ventos calmos tendo sido de 4,17%.

Figura 87- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 88) apresentou maior concentração no turno da manhã. Na conversão do MP (figura 89) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 90) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 88- MP do Local TI Joana Bezerra 2018.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem maiores no turno da manhã com picos intensos às 10:00h, 11:00h e 12:30h. Existe um fluxo contínuo de ônibus, passageiros e ambulantes. Nesse turno houve a predominância de vento fraco. A tarde houve uma diminuição de MP de 13:00h às 16:00h.

Figura 89- Conversão do MP no TI Joana Bezerra 2018. Figura 90- Dados do Nullscholl do dia.

concentração total (microg/m³)	Concentração por período (g/m³)
0,102868389	
0,193754406	
0,306649411	
0,030981005	
0,480484519	
0,787016869	
0,424895988	
0,296294814	
0,068699327	
0,029698611	
0,045302483	2,22478E-07
0,044305885	
0,02817524	
0,042841572	
0,077743055	
0,012514419	
0,057705114	
0,041548631	
0,255535024	
0,484197768	
0,296294814	
0,787016869	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	MPI - Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	≥250 e < 420
PÉSSIMA	≥420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **2,22 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Horário	Diâmetro			Vento
	1 µm	2,5 µm	10 µm	
07:30	8µg/m³	14µg/m³	22µg/m³	2,5m/s
08:00	4µg/m³	10µg/m³	16µg/m³	2,5m/s
09:00	3µg/m³	8µg/m³	14µg/m³	3,7m/s
10:00	3µg/m³	9µg/m³	15µg/m³	3,7m/s
11:00	4µg/m³	10µg/m³	17µg/m³	3,7m/s
12:00	3µg/m³	8µg/m³	14µg/m³	4,3m/s
13:00	3µg/m³	8µg/m³	13µg/m³	4,3m/s
14:00	3µg/m³	8µg/m³	13µg/m³	4,3m/s
15:00	3µg/m³	8µg/m³	13µg/m³	4,2m/s
16:00	3µg/m³	8µg/m³	14µg/m³	4,2m/s
17:00	4µg/m³	9µg/m³	15µg/m³	4,2m/s
18:00	5µg/m³	11µg/m³	18µg/m³	3,4m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 12:00h às 17:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários picos do Recife, 07:30h e 18:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 4,3 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, tal condição de menor concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca, interferindo no contador de partículas. Esse local foi classificado como OCE, próximo do mar, rios e manguezais configurando-se em uma complexa formação físico-geográfica, por ser uma área litorânea. A topografia de planície facilita o transporte e a difusão dos poluentes, não ficando aprisionadas por obstáculos. A morfologia do local é aberta e plana, não encontrando disposição de edifícios próximos ao local. No meio urbano dessa área há mais presença de habitações unifamiliares, o que permite a não acumulação de MP.

As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, os ônibus circulam constantemente, em razão de serem a principal via entre as zonas Norte e Sul do Recife. É importante ressaltar o fluxo de carros nas vias no entorno que é intenso e margeia o bairro. Mesmo com esse fator, o atributo vento pra esse local é favorável para a intensidade e a continuidade do MP. O ar desse terminal e de bairros próximos, assim como Santo Antônio e São José, não causa ação nociva sobre os seres vivos, por possuir as mesmas características locais de habitações unifamiliares e por estar nas proximidades do mar. Dessa maneira, as brisas marítimas se fazem mais atuantes na dispersão.

FICHA 08 – TI JOANA BEZERRA– 20/03/2019 – PERÍODO SECO/VERÃO

Figura 91- Condições do entorno TI Joana Bezerra 2019.



Figura 92- Condições do entorno TI Joana Bezerra 2019.

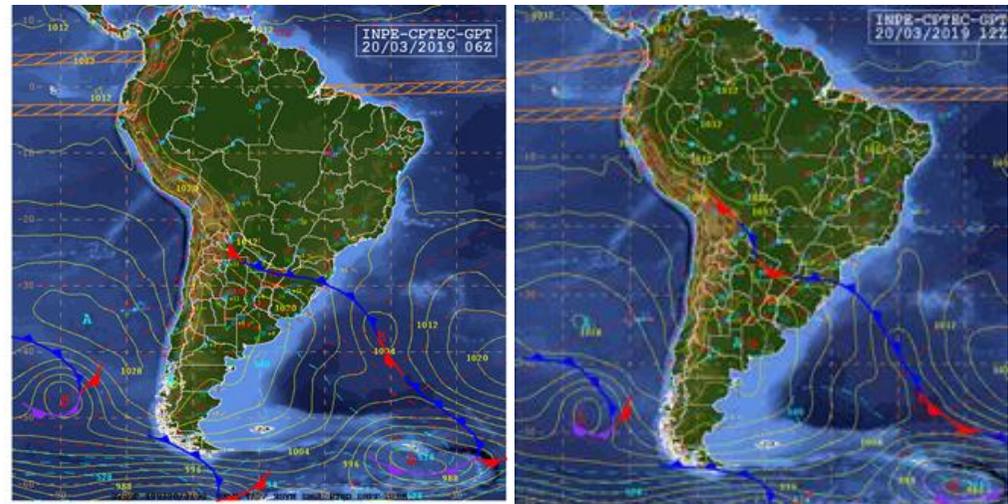


Figura 93- Temperatura e umidade TI Joana Bezerra 2019.

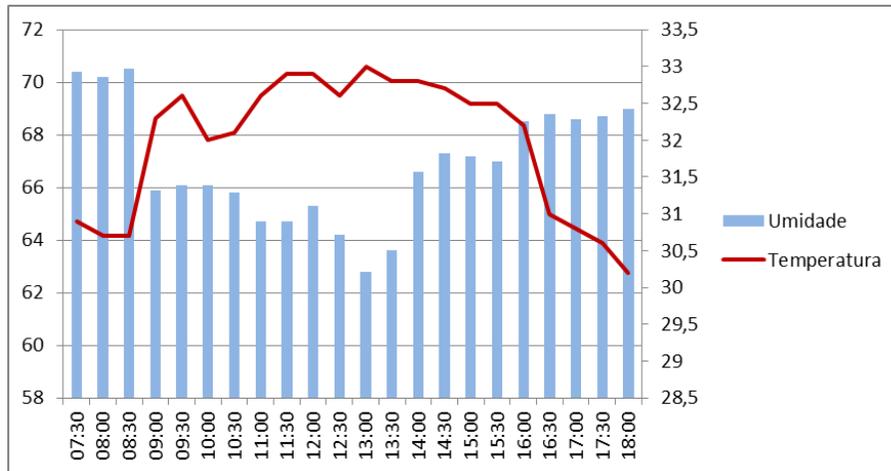
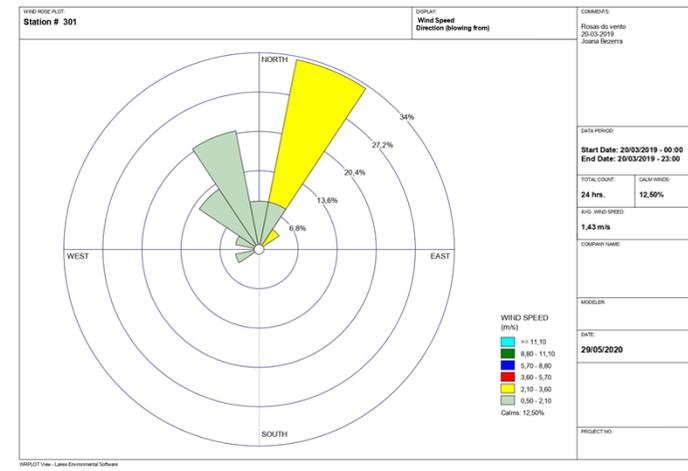


Figura 94- Direção e velocidade do vento TI Joana Bezerra 2019.



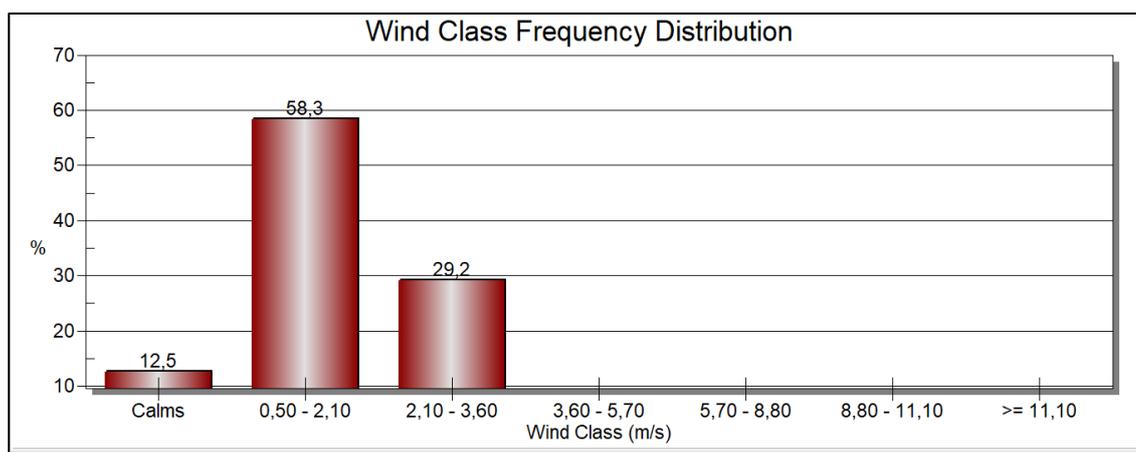
5.8 ANÁLISE FICHA 08- TI JOANA BEZERRA 2019

Nas imagens sinóticas (Figura 92), na região nordeste não existem sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável e sem as linhas amarelas (linhas isóbaras) indicando ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 93), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 13h, com 33,0°C, e a segunda máxima chegou a 32,9°C, às 12h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 70,5% e mínima de 62,8% em horário respectivo, de 08h30 e 13h30, porém suas condições não são de alerta para a saúde.

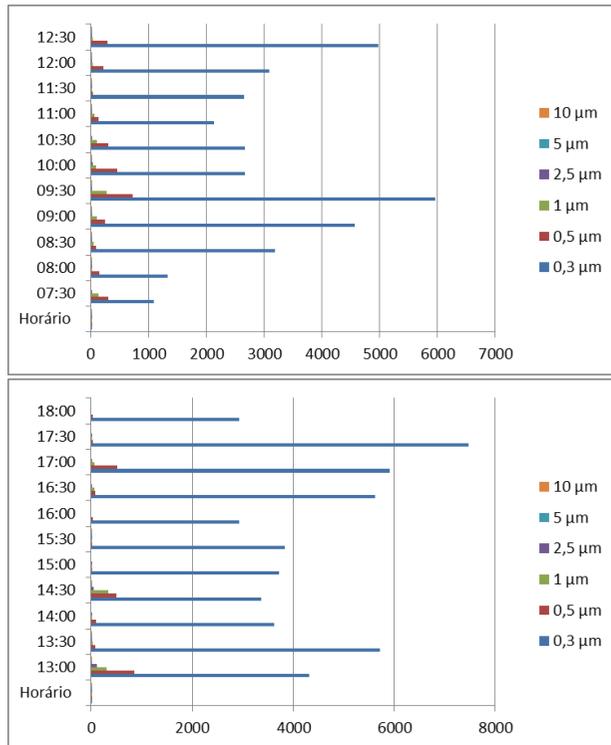
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 94) indica predominância a Norte-Nordeste, suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 95), o qual é classificado como vento leve a fraco, tendo-se, assim, o percentual de ventos calmos de 12,50%.

Figura 95- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 96) apresentaram altos picos de concentração ao longo dos dois turnos. Na conversão do MP (figura 97) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 98) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 96- MP do local TI Joana Bezerra 2019.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações permanecem nos dois turnos manhã e tarde com picos intensos às 09:30h, 12:30h e 13:30h e 17:30 sendo horários considerados de pico. É o terminal como mais fluxo de ônibus, passageiros e ambulantes.

Figura 97- Conversão do MP TI Joana Bezerra 2019.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
0,108129265	3,84608E-07
0,325004737	
0,297202298	
0,524600576	
0,547992147	
0,841269748	
0,09631721	
0,47904868	
0,20890849	
0,1849796	
0,45837587	
1,85004489	
0,4237238	
0,082625856	
1,202150419	
0,070494784	
0,212751983	
0,041686257	
0,179173496	
0,170044873	
0,115174525	
0,041686257	

LEGENDA

CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPL-CETESB (2012)

Qualidade	MPI - Concentração µm³
BOA	0 - 30
REGULAR	>30 - 130
INADEQUADA	>130 e < 420
MA	>420 e < 840
PÉSSIMA	>840

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **3,84 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar **“Boa”**.

Figura 98- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	9 µg/m³	11 µg/m³	16 µg/m³	3,0 m/s
08:00	7 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	3,0 m/s
09:00	6 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	3,9 m/s
10:00	5 µg/m³	7 µg/m³	10 µg/m³	3,9 m/s
11:00	5 µg/m³	7 µg/m³	10 µg/m³	3,9 m/s
12:00	5 µg/m³	7 µg/m³	10 µg/m³	4,6 m/s
13:00	4 µg/m³	6 µg/m³	10 µg/m³	4,6 m/s
14:00	4 µg/m³	6 µg/m³	9 µg/m³	4,6 m/s
15:00	3 µg/m³	6 µg/m³	9 µg/m³	5,3 m/s
16:00	3 µg/m³	6 µg/m³	9 µg/m³	5,3 m/s
17:00	3 µg/m³	6 µg/m³	9 µg/m³	5,3 m/s
18:00	3 µg/m³	6 µg/m³	9 µg/m³	5,2 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que a intensidade fica maior no horário das 12:00h às 17:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade de 3,9 a 5,3 m/s considerado brisa leve a fraca. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar **“Boa”** em todos os horários.

Justifica-se, portanto tal condição de menor concentração por esse terminal estar próximo à área do litoral, com ação de dispersão de MP. Esse local foi classificado como OCE, próximo de corpos hídricos como mar, rios e manguezais. As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI. Os ônibus circulam constantemente, em razão de ser a principal via entre as zonas norte e sul do Recife. É importante ressaltar que o tempo estava estável, com céu aberto e sem nuvens. A temperatura e umidade ficaram com média de, respectivamente, 31,9 °C e 66,9%, resultados benéficos para a poluição do ar.

No dia da coleta, observou-se que a movimentação de pessoas é mais intensa às 12h, muitas esperando fora das enormes filas e também indo em direção ao metrô, justamente no período com elevada temperatura. O terminal está inserido no Bairro da Ilha Joana Bezerra, com a proximidade com o mar e o rio Capibaribe que margeiam todo o bairro. Dessa maneira, as brisas marítimas vão ser mais ativas na dispersão. O turno da tarde recebe ação de ventos com maior intensidade em razão dos ventos alísios de sudeste confluindo com as brisas marítimas. Embora as brisas ocorram durante todo o ano, é no verão que acontece sua maior intensidade, podendo penetrar de 20 km a 40 km no continente e com extensão vertical capaz de atingir 2.000 metros acima da superfície (SILVA, 2003). Correlacionando com alguns obstáculos fixos, como a topografia e a rugosidades, no meio urbano um dos fatores que induz e bloqueia o avanço da brisa marítima são grandes elevações que podem desviar a direção.

O relevo de planície conduz o transporte e difusões dos poluentes, não ficando aprisionadas por obstáculos. A morfologia do local é aberta e plana, não encontrando disposição de edifícios próximos ao local. No meio urbano dessa área, existem mais presenças de habitações unifamiliares de altura baixa, o que permite a não acumulação de MP.

FICHA 09 – TI TANCREDO NEVES – 03/12/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 99- Condições do entorno TI Tancredo Neves 2018.



Figura 100- Condições sinóticas TI Tancredo Neves 2018.

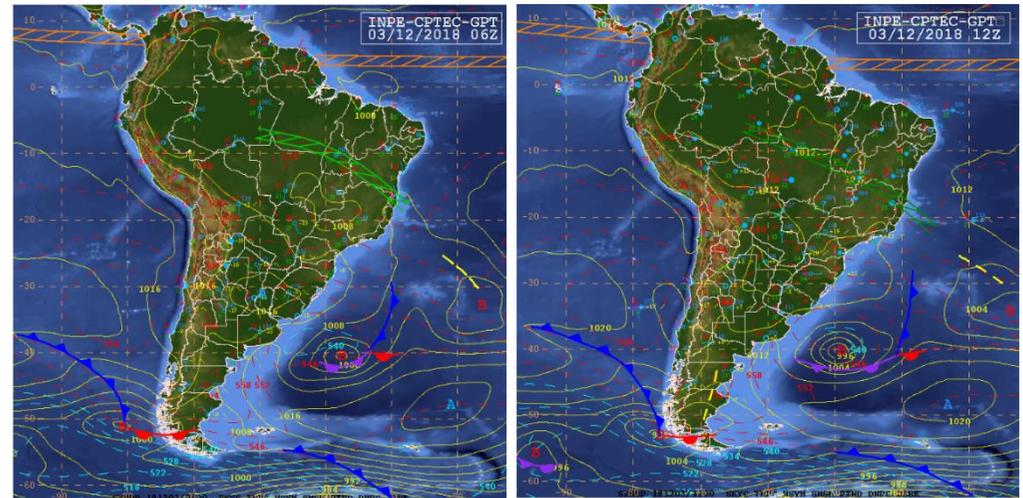


Figura 101- Temperatura e umidade TI Tancredo Neves 2018.

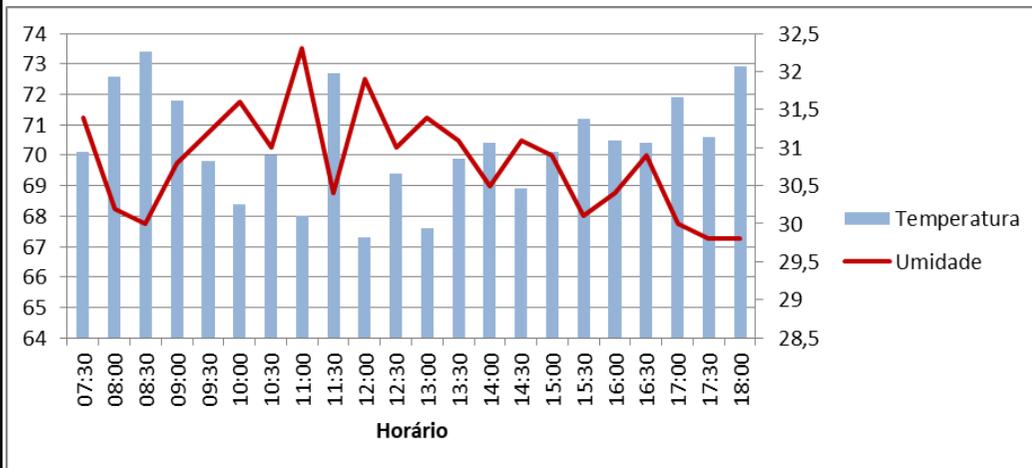
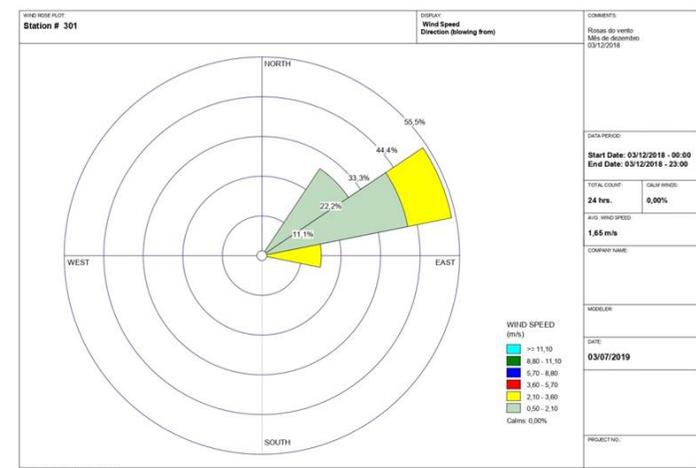


Figura 102- Direção e velocidade do vento TI Tancredo Neves 2018.



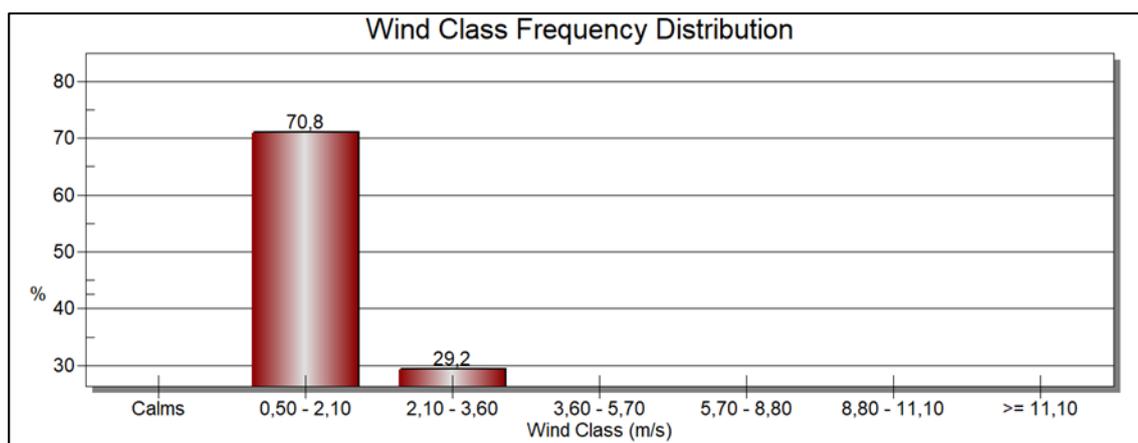
5.9 ANÁLISE FICHA 09- TI TANCREDO NEVES 2018

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 100), observa-se que na Região Nordeste, não existem sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 101), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 11h, com 32,3°C, e a segunda máxima chegou a 31,9°C, às 12h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 73,4% e mínima de 68% em horário respectivo de 08h30 e 11h, porém suas condições não são de alerta para a saúde. Segundo a OMS, o nível ideal para o organismo humano está entre 40% e 70%.

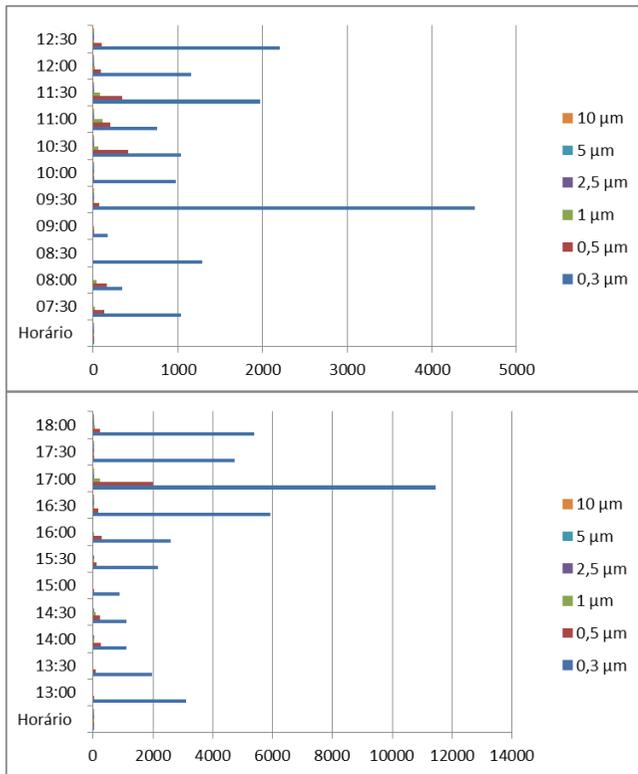
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 102) indica predominância de Leste-Nordeste. Suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 103), o qual é classificado como vento leve à fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 0,00%.

Figura 103- Representação esquemática



A coleta do MP local (figura 104) apresentou maior concentração no turno da tarde. Na conversão do MP (figura 105) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 106) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 104- MP do local TI Tancredo Neves 2018. Figura 105- Conversão do MP TI Tancredo Neves 2018. Figura 106- Dados do *Nullscholl* do dia.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações são constantes nos dois turnos apresentando uma concentração maior no turno da tarde com picos intensos às 13:00h ,15:00h e 16:30h. A circulação de passageiros é bem maior que o TI, incluindo essa informação por serem terminais adjacentes. Além de possuir fluxo de ônibus, de passageiros e ambulantes contínuos. Na coleta observou-se que a predominância do vento é forte.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
1,353877404	
0,322839114	
0,573592579	
0,026965085	
1,190327818	
0,524101222	
0,979757804	
1,31044842	
1,065545353	
0,601152986	
0,427511925	5,84523E-07
0,618309231	
0,985880815	
0,250148124	
0,256184131	
0,52758035	
0,271147333	
0,08159762	
0,14509302	
0,243205687	
0,481806461	
0,622429556	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	≥250 e < 420
PÉSSIMA	≥420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **5,84 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	7µg/m³	15µg/m³	25µg/m³	1,9m/s
08:00	6µg/m³	13µg/m³	22µg/m³	1,9m/s
09:00	5µg/m³	11µg/m³	18µg/m³	3,6m/s
10:00	5µg/m³	12µg/m³	20µg/m³	3,6m/s
11:00	5µg/m³	11µg/m³	18µg/m³	3,6m/s
12:00	5µg/m³	11µg/m³	18µg/m³	4,1m/s
13:00	5µg/m³	11µg/m³	18µg/m³	4,1m/s
14:00	6µg/m³	12µg/m³	19µg/m³	4,1m/s
15:00	6µg/m³	12µg/m³	19µg/m³	4,2m/s
16:00	6µg/m³	12µg/m³	19µg/m³	4,2m/s
17:00	6µg/m³	12µg/m³	19µg/m³	4,2m/s
18:00	7µg/m³	13µg/m³	21µg/m³	3,6m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 12:00h às 17:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários picos do Recife, 07:30h, 08:00h e 18:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 4,1 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, tal condição de maior concentração pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca e a direção de frequência diferente. Esse local foi classificado como OCE, próximo do mar e do parque manguezal. A topografia de planície facilita o transporte e difusões dos poluentes não ficando aprisionadas por obstáculos. A morfologia do local é com obstáculos fixos de predominância e disposição de habitações multifamiliares no entorno, permitindo a acumulação de MP.

As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, os ônibus circulam constantemente, em razão dos percursos de algumas linhas serem curtas o intervalo é pequeno, de 10 min a 30 min, o que não promove aglomeração de passageiros ao longo do dia. No entanto, a linha Tancredo Neves – Macaxeira se sobressai em relação às outras, em razão de estar sempre aglomerada. É importante ressaltar o fluxo de carros nas vias do entorno, principalmente pelo viaduto, obstáculo para acúmulo do MP e diminuição da velocidade do vento. O atributo vento pra esse local é favorável pra intensidade e continuidade do MP, com a mudança de direção do vento para leste-nordeste, o acúmulo e o levante do MP foram maiores. Esse terminal tem características nas suas adjacentes de acúmulo, por causa das habitações multifamiliares, lojas de volume edificado de grande porte, como Atacadão dos presentes, Atacadão de Boa viagem entre outras. Ressalta-se a interação das brisas marítimas com os ventos em regiões litorâneas do Brasil, conforme Cândido (2006). Na cidade do Recife, no período da tarde, a velocidade dos ventos é maior do que à noite, pois os ventos alísios de sudeste coincidem com as brisas marítimas, podendo ser comprovado a partir da análise em escala meso (Recife) do aplicativo *Nullscholl* em todas as fichas elaboradas.

Esse TI é favorável a ser um dispersor, mas por questões de variantes como a direção do vento ou intensidade pode ocorrer de existir concentração de MP. A temperatura e a umidade não foram tão atuantes no processo de MP.

FICHA 10 – TI TANCREDO NEVES – 29/03/2019 – PERÍODO SECO/VERÃO

Figura 107- Condições do entorno TI Tancredo Neves 2019.



Figura 108- Condições sinóticas TI Tancredo Neves 2019.



Figura 109- Temperatura e umidade TI Tancredo Neves 2019.

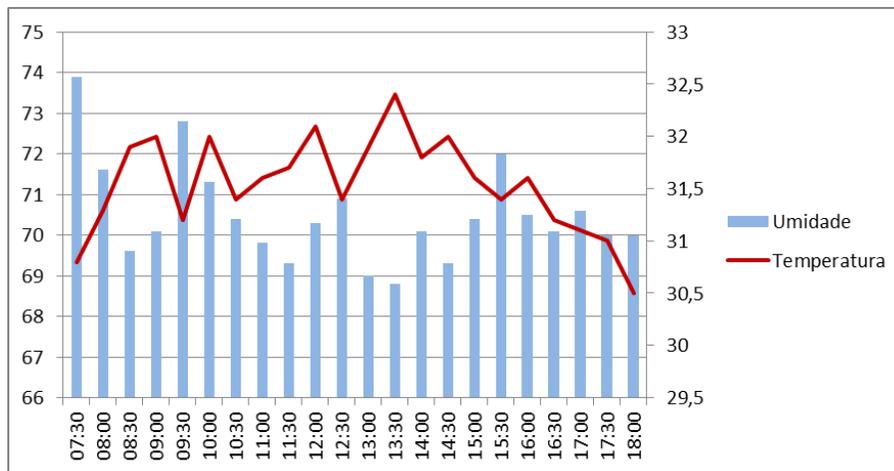
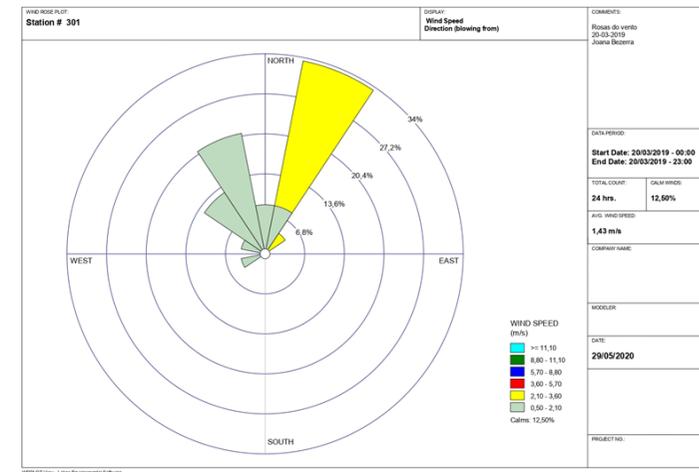


Figura 110- Direção e velocidade do Vento TI Tancredo Neves 2019.



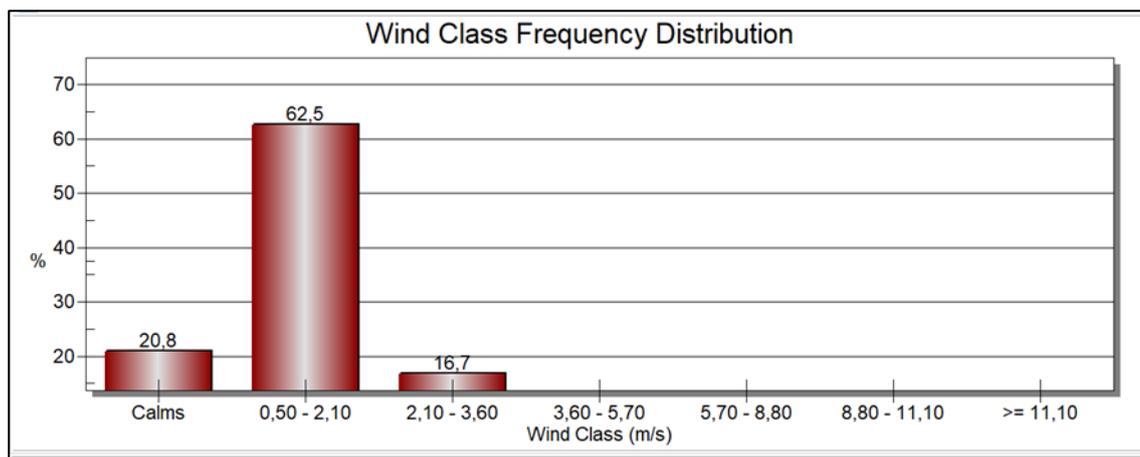
5.10 ANÁLISE FICHA 10 – TI TANCREDO NEVES 2019

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 108), nota-se, ao norte, a presença de uma ZCIT, que atua mais no hemisfério sul durante os meses de fevereiro a maio na Região Nordeste. Em Pernambuco aparecem linhas tracejadas vermelhas que indicam valores de geopotencial maiores apontando que nessa área poderia estar formando nebulosidade, portanto o tempo no dia da coleta estava estável e a ausência de linhas amarelas indica ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 109), a temperatura demonstra que a máxima do dia ocorreu às 13h30, com 32,4°C, e a segunda máxima chegou a 32,0°C, às 10:00h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 73,9% e mínima de 68,8% em horário respectivo, de 07h30 e 13h30, porém suas condições não são de alerta para a saúde. Segundo a OMS, o nível ideal para o organismo humano está entre 40% e 70%.

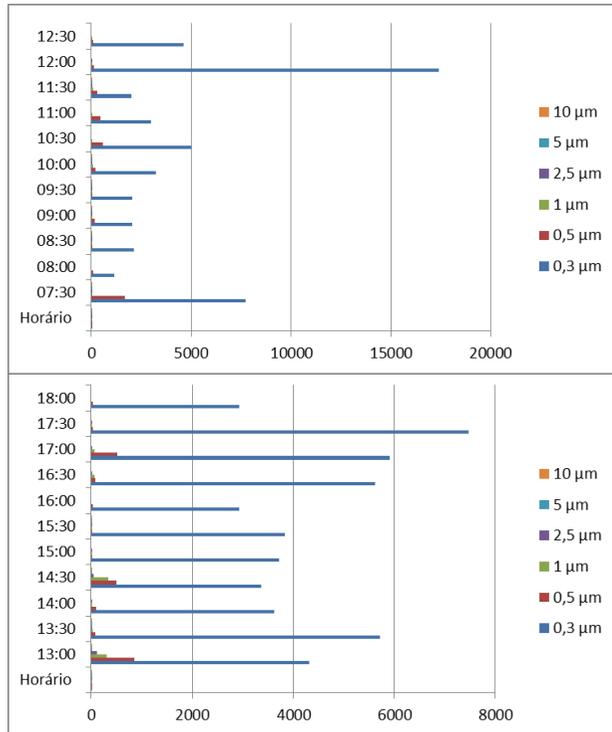
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 110) indica predominância de Sul-Sudeste, com suas maiores velocidades atingindo entre 2,10m/s a 3,60 m/s (figura 111), o qual é classificado como vento leve à fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 20,83%.

Figura 111- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 112) apresentaram altos picos de concentração no turno da tarde. Na conversão do MP (figura 113) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 114) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 112- MP do local TI Tancredo Neves 2019. Figura 113- Conversão do MP no TI Tancredo Neves 2019. Figura 114- Dados do Nullscholl do dia.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações são constantes nos dois turnos apresentando uma concentração maior no turno da tarde com picos intensos às 13:00h ,15:00h e 17:00h. Na coleta observou-se que o vento estava com a intensidade fraca, o que atrapalha o levante do MP na contagem do aparelho.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
2,030390048	2,556E-07
0,016187594	
0,138339884	
0,288457549	
0,306713742	
0,525325086	
0,086419782	
0,072653552	
0,291486362	
0,279338944	
0,081280713	
0,032490139	
0,135552047	
0,093923794	
0,037910786	
0,189473781	
0,373218972	
0,040088537	
0,215413268	
0,161146152	
0,037910786	
0,189473781	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2021)	
Qualidade	Concentração µm³
BOM	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	420 e < 620
PÉSSIMA	>620

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **2,55 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Bom**”.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	4 µg/m³	10 µg/m³	17 µg/m³	3,7 m/s
08:00	3µg/m³	9 µg/m³	15 µg/m³	3,7 m/s
09:00	3 µg/m³	7 µg/m³	12 µg/m³	4,9 m/s
10:00	3 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	4,9 m/s
11:00	3 µg/m³	7 µg/m³	13 µg/m³	4,9 m/s
12:00	3 µg/m³	7 µg/m³	12 µg/m³	4,8 m/s
13:00	3 µg/m³	7 µg/m³	11 µg/m³	4,8 m/s
14:00	3 µg/m³	6 µg/m³	11 µg/m³	4,8 m/s
15:00	3 µg/m³	6 µg/m³	10 µg/m³	4,0 m/s
16:00	3 µg/m³	6 µg/m³	10 µg/m³	4,0 m/s
17:00	4 µg/m³	7 µg/m³	11 µg/m³	4,0 m/s
18:00	5 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	3,1 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 09:00h às 17:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários de picos do Recife 07:30h, 08:00h e 18:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 4,0 a 4,8 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Bom**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, que tal condição de menor concentração seria por causa do vento que estava fraco, interferindo no arraste do MP. Esse local foi classificado como OCE, próximo ao mar e ao parque manguezal. A topografia de planície facilita o transporte e difusões dos poluentes, não ficando aprisionados por obstáculos. Mesmo assim, a morfologia do local possui obstáculos porosos, com disposição de habitações multifamiliares no entorno permitindo a acumulação de MP.

As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI. Os ônibus circulam constantemente e, em razão dos percursos de algumas linhas serem curtos, o intervalo é pequeno, de 10 a 30 minutos, o que não promove aglomeração de passageiros ao longo do dia. No entanto, a linha Tancredo Neves – Macaxeira comprovou ser uma parada que se sobressai em relação às outras, em razão de estar sempre aglomerada. É importante ressaltar que a temperatura e a umidade, respectivamente, ficaram entre 31,5°C e 70%, resultados parecidos com a primeira coleta, que implicam em uma baixa concentração de MP no terminal e no entorno do bairro. A variante que alterou em relação à outra coleta foi o vento, mudando a direção, pois nessa predominou Sul-Sudeste. A interação das brisas marítimas com o vento nesse dia não provocou acúmulo de MP.

FICHA 06 – TI CAXANGÁ – 04/12/2018 – PERÍODO SECO/PRIMAVERA

Figura 115- Condições do entorno TI Caxangá 2018.



Figura 116- Condições sinóticas TI Caxangá 2018.

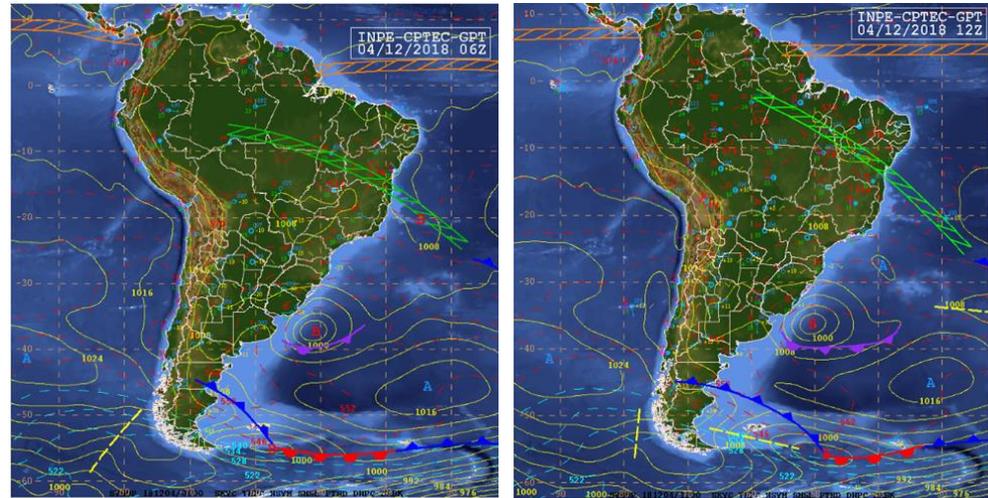


Figura 117- Temperatura e umidade TI Caxangá 2018.

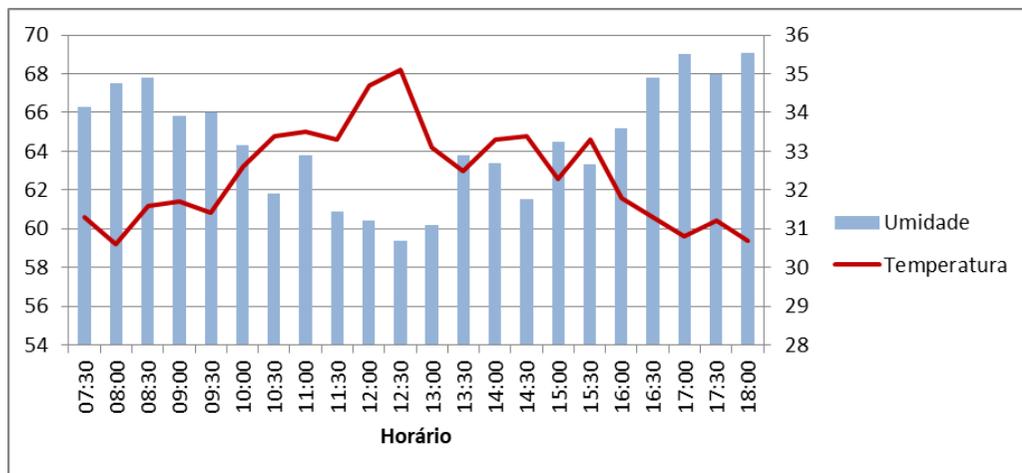
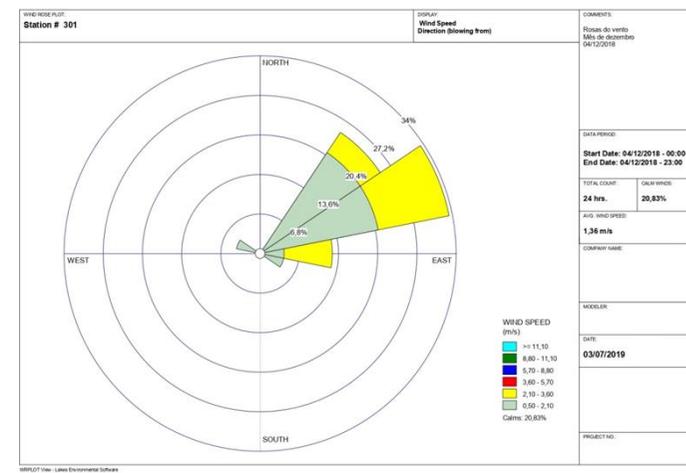


Figura 118- Direção e velocidade do Vento TI Caxangá 2018.



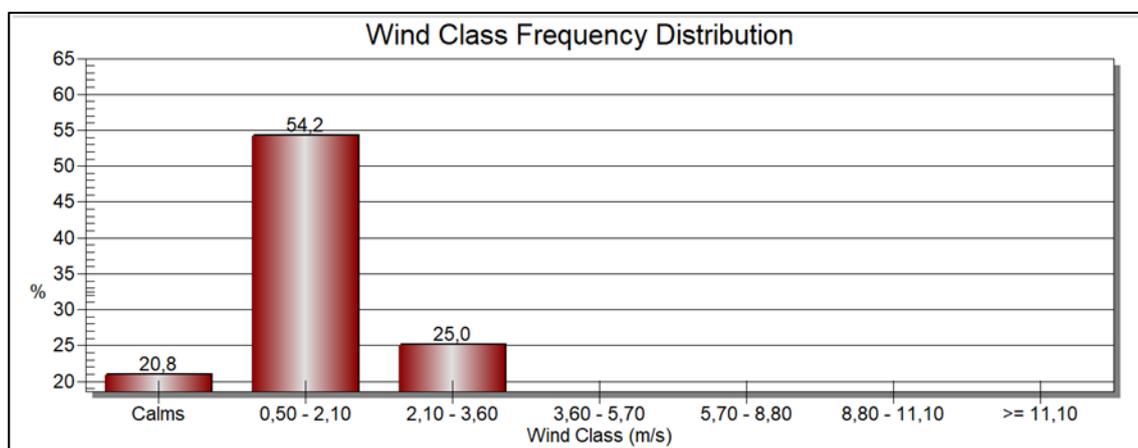
5.11 ANÁLISE FICHA 11 – TI CAXANGÁ 2018

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 116), notam-se áreas de alta e baixa pressão ao sul do Oceano Atlântico e uma ZCAS atuando no Pará, Tocantins e Bahia. Na Região Nordeste, não existem sinais de sistemas atuando. Portanto, o tempo está estável. As linhas amarelas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos.

Nas condições meteorológicas (Figura 117), a temperatura, demonstra que a máxima do dia ocorreu às 12h30, com 32,0°C, e a segunda máxima chegou a 32,0°C, às 12h, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 69,1% e mínima de 59,4% em horário respectivo, de 18h e 12h30. Suas condições, porém, não são de alerta para a saúde. Segundo a OMS, o nível ideal para o organismo humano está entre 40% e 70%.

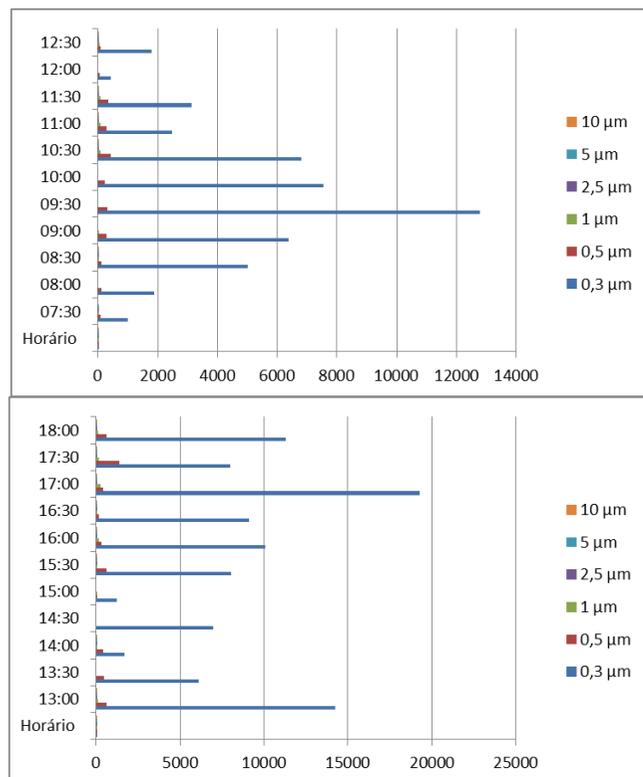
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 118) indica predominância de leste-nordeste, suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 119), o qual é classificado como vento leve à fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 20,83%.

Figura 119- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 120) apresentaram maiores concentrações nos dois turnos manhã e tarde. Na conversão do MP (figura 121) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 122) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 120- MP do local TI Caxangá 2018.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações são diferenciadas com picos intensos pela manhã das 09:30h às 10:30h e no turno da tarde os picos são de 13:00h, 17:00h e 18:00h. A circulação de passageiros e a estrutura são bem menores que os outros terminais e tem influência direta da Av. Caxangá com seu fluxo intenso no trânsito.

Figura 121- Conversão do MP TI Caxangá 2018.

concentração total (microg/m³)	Concentração por período (g/m³)
0,100056824	
0,026651869	
1,077103249	
0,095792019	
0,181836363	
0,107490177	
1,006989703	
0,582895212	
0,48127916	
0,006221617	
0,176475828	3,23121E-07
0,51220269	
0,086661286	
0,302058207	
0,099061808	
0,022143451	
0,480726022	
0,312732875	
0,224217074	
0,513267836	
0,268611546	
0,444187272	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPI-CETESB (2012)	
Qualidade	MPI - Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INADEQUADA	>150 e < 420
MÁ	≥250 e < 420
PÉSSIMA	≥420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **3,23 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 122- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	5 µg/m³	11 µg/m³	18 µg/m³	1,1m/s
08:00	4 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	1,1m/s
09:00	4 µg/m³	8 µg/m³	13 µg/m³	3,2m/s
10:00	4 µg/m³	9 µg/m³	15 µg/m³	3,2m/s
11:00	4 µg/m³	9 µg/m³	15 µg/m³	3,2m/s
12:00	4 µg/m³	8 µg/m³	14 µg/m³	4,1m/s
13:00	4 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	4,1m/s
14:00	4 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	4,1m/s
15:00	4 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	4,4m/s
16:00	4 µg/m³	9 µg/m³	15 µg/m³	4,4m/s
17:00	5 µg/m³	10 µg/m³	16 µg/m³	4,4m/s
18:00	6 µg/m³	11 µg/m³	17 µg/m³	4,0m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 12:00h às 17:00h. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários picos do Recife, 07:30h e 18:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 4,4 m/s. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, tal condição pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca e a direção de frequência diferente. Esse local foi classificado como RES, próximo de tráfego de veículos leves. A topografia de planície facilita o transporte e a difusão dos poluentes, entretanto o terminal está inserido em uma zona mista de habitações unifamiliares e multifamiliares obstáculos que intervêm na velocidade do vento no terminal e no levante do MP ao contador de partículas.

As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, os ônibus circulam constantemente, em razão dos percursos de algumas linhas serem curtas o intervalo é pequeno de 10 min a 30 min. É importante ressaltar o alto fluxo de veículos leves na via adjacente. Na morfologia do local, temos a presença de dois edifícios que afetam nos elementos umidade, temperatura e vento. Com relação às umidades, as correlações foram, em geral, baixas, o que indica pouca relação com o material particulado pela contagem de partículas. Destacando que os valores baixos da correlação encontrada para o MP podem ser referentes à alta dificuldade da relação desse poluente com as variáveis meteorológicas.

A temperatura elevada constante no período da tarde pode ser explicada pelos materiais da estrutura do TI e por causa dos dois edifícios situados ao lado do terminal. As propriedades e o uso do calor determinam como afeta a temperatura. Quando o calor se mantém armazenado em sólidos por um período de horas, é conduzido para a atmosfera, onde se dissipa pelo movimento ou convecção. As radiações solares incidentes nos prédios se refletem e podem ricochetear entre eles até serem armazenados pelos materiais sob forma de calor (TRAN *et al.*, 2006). Desse modo, esclarece-se as altas temperaturas com média de 33,4°C do local no turno da tarde, do horário das 12h às 15h30, quando a temperatura começa a dissipar. Os baixos níveis de concentração de material particulado correlacionados com as temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), provocando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, fazendo com que o equipamento não consiga contabilizar os materiais particulados por estarem em um nível elevado que a base do aparelho.

FICHA 12 – TI CAXANGÁ– 19/03/2019 – PERÍODO SECO/VERÃO

Figura 123- Condições do entorno TI Caxangá 2019.



Figura 124- Condições sinóticas TI Caxangá 2019.

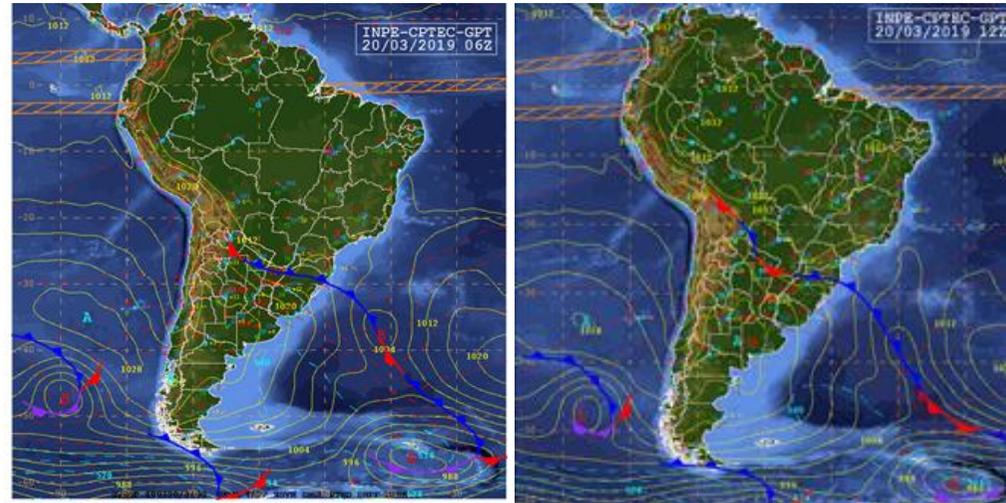


Figura 125- Temperatura e umidade TI Caxangá 2019.

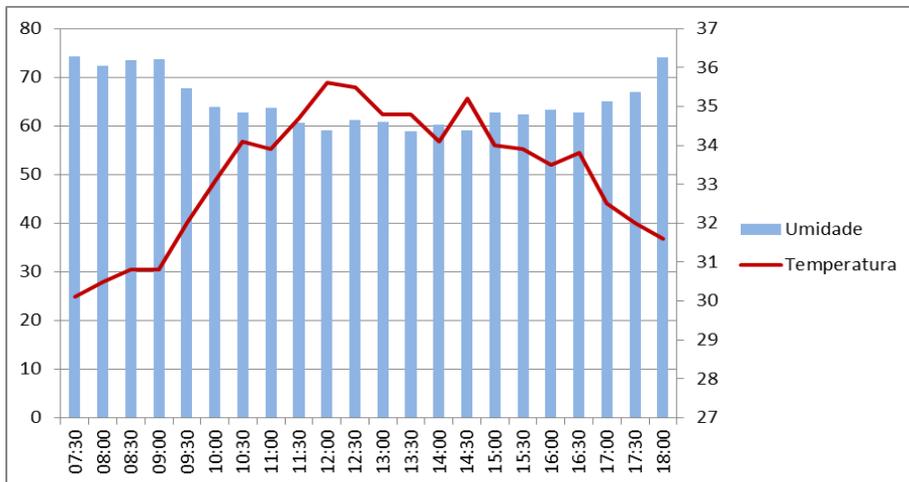
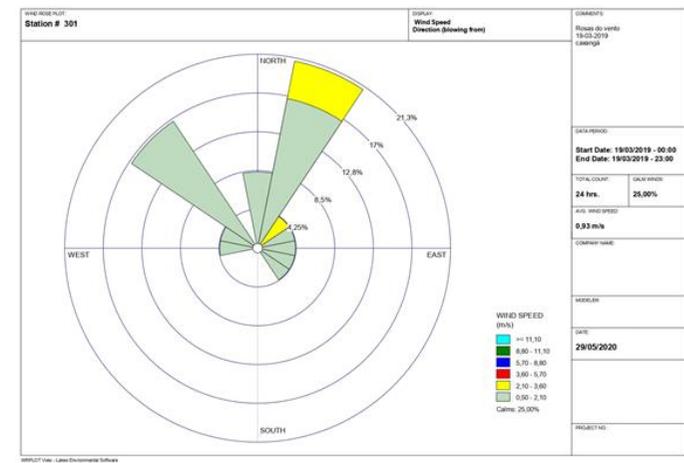


Figura 126- Direção e velocidade do vento TI Caxangá 2019.



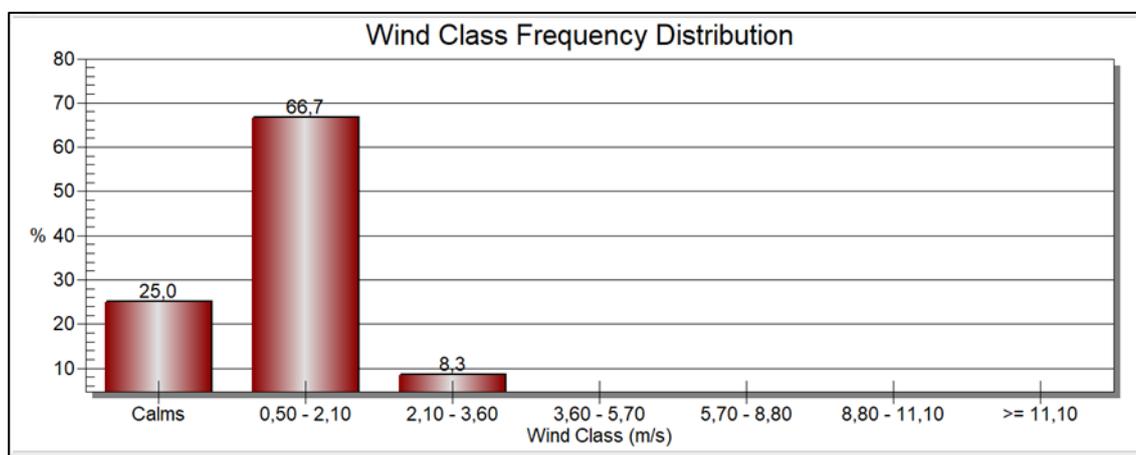
5.12 ANÁLISE FICHA 12 – TI CAXANGÁ 2019

Nas imagens das cartas sinóticas de superfície (Figura 124), na Região do Nordeste, não existem sinais de sistemas atuando. Assim, o tempo está estável. As linhas amarelas esparsadas (linhas isóbaras) indicam ventos fracos. Na faixa equatorial, nota-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Nas condições meteorológicas (Figura 125) a temperatura, demonstra que a máxima do dia ocorreu às 12h, com 35,6°C, e a segunda máxima chegou a 35,5°C, às 12h30, horários críticos de altas temperaturas e que geram desconforto térmico, sendo considerado o TI mais quente. A umidade relativa do ar varia entre máxima de 74,2% e mínima de 58,9% em horário respectivo, de 07h30 e 13h30, sendo assim chegando em condições de alerta a saúde em determinados horários para o organismo humano, ficando abaixo de 60% considerada média mundial da OMS, oferecendo riscos à saúde humana.

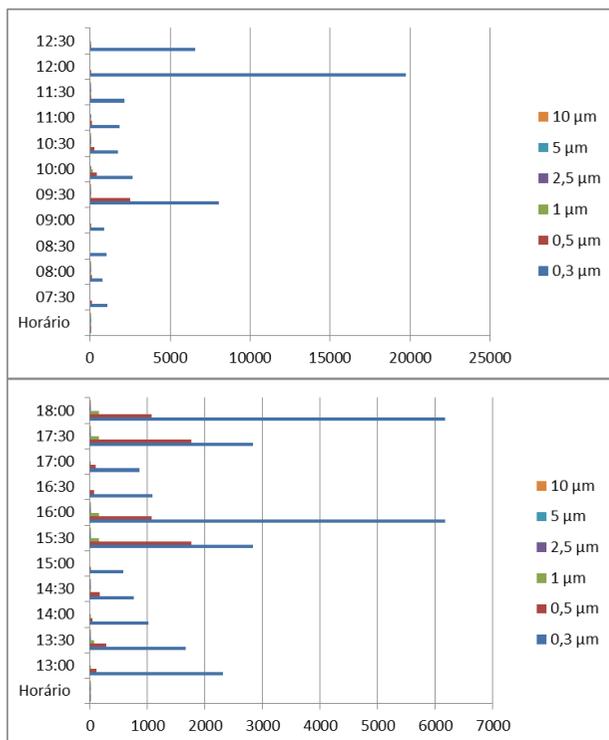
O resultado para a predominância da direção dos ventos (Figura 126) indica predominância de Norte-Nordeste. Suas maiores velocidades atingem entre 2,10m/s a 3,60 m/s (Figura 127), o qual é classificado como vento leve a fraco. Assim, o percentual de ventos calmos foi de 20,00%.

Figura 127- Representação esquemática.



A coleta do MP local (figura 128) apresentaram altos picos de concentração no turno da tarde. Na conversão do MP (figura 129) o índice geral para o dia com base na resolução do CONAMA indicou qualidade do ar “Boa” e junto à análise a partir do aplicativo *Nullscholl* (figura 130) apontou o mesmo índice validando os dados convertidos.

Figura 128- MP do local TI Caxangá 2019.



Análise do local por contagem das partículas

Dos dados coletados no local, percebe-se que as concentrações são diferenciadas com picos intensos pela manhã das 09:30h e 12:00h e no turno da tarde os picos são às 15:30h, 16:00h, 17:30h e 18:00h. A circulação de passageiros e a estrutura são bem menores que os outros terminais e tem influência direta da Av. Caxangá com seu fluxo intenso de trânsito.

Figura 129- Conversão do MP TI Caxangá 2019.

concentração total (microg/m3)	Concentração por período (g/m3)
0,02139943	2,67726E-07
0,109257688	
0,014877779	
0,012557131	
0,733463191	
0,212569537	
0,324106217	
0,32352355	
0,280727326	
0,098454358	
0,042835244	
0,241832597	
0,019239081	
0,137527314	
0,008271761	
0,785394894	
0,832861417	
0,015475738	
0,022276858	
0,785394894	
0,832861417	

LEGENDA	
CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO AR / MPH/CETESB (2012)	
Qualidade	Concentração µm³
BOA	0 - 50
REGULAR	>50 - 150
INSUFICIENTE	>150 e < 420
MA	>250 e < 420
PÉSSIMA	>420

Conversão do MP- verificando a concentração por período de amostragem do microambiente

À conversão de MP do TI como média para todas as horas amostradas do local nesse dia é de **2,67 µg/m³**, isso que dizer que aplicando à tabela do índice de qualidade do CETESB com base na resolução do CONAMA o local encontra-se com condição geral de qualidade do ar “**Boa**”.

Figura 130- Dados do Nullscholl do dia.

Horário	Diâmetro			
	1 µm	2,5 µm	10 µm	Vento
07:30	9 µg/m³	12 µg/m³	18 µg/m³	0,9 m/s
08:00	8 µg/m³	11 µg/m³	16 µg/m³	0,9 m/s
09:00	8 µg/m³	10 µg/m³	15 µg/m³	1,4 m/s
10:00	8 µg/m³	11 µg/m³	10 µg/m³	1,4 m/s
11:00	8 µg/m³	10 µg/m³	15 µg/m³	1,4 m/s
12:00	7 µg/m³	10 µg/m³	15 µg/m³	3,4 m/s
13:00	7 µg/m³	9 µg/m³	14 µg/m³	3,4 m/s
14:00	6 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	3,4 m/s
15:00	5 µg/m³	8 µg/m³	11 µg/m³	3,7 m/s
16:00	5 µg/m³	7 µg/m³	11 µg/m³	3,7 m/s
17:00	5 µg/m³	7 µg/m³	11 µg/m³	3,7 m/s
18:00	5 µg/m³	7 µg/m³	11 µg/m³	3,7 m/s

Análise escala meso (Recife) a partir do aplicativo Nullscholl

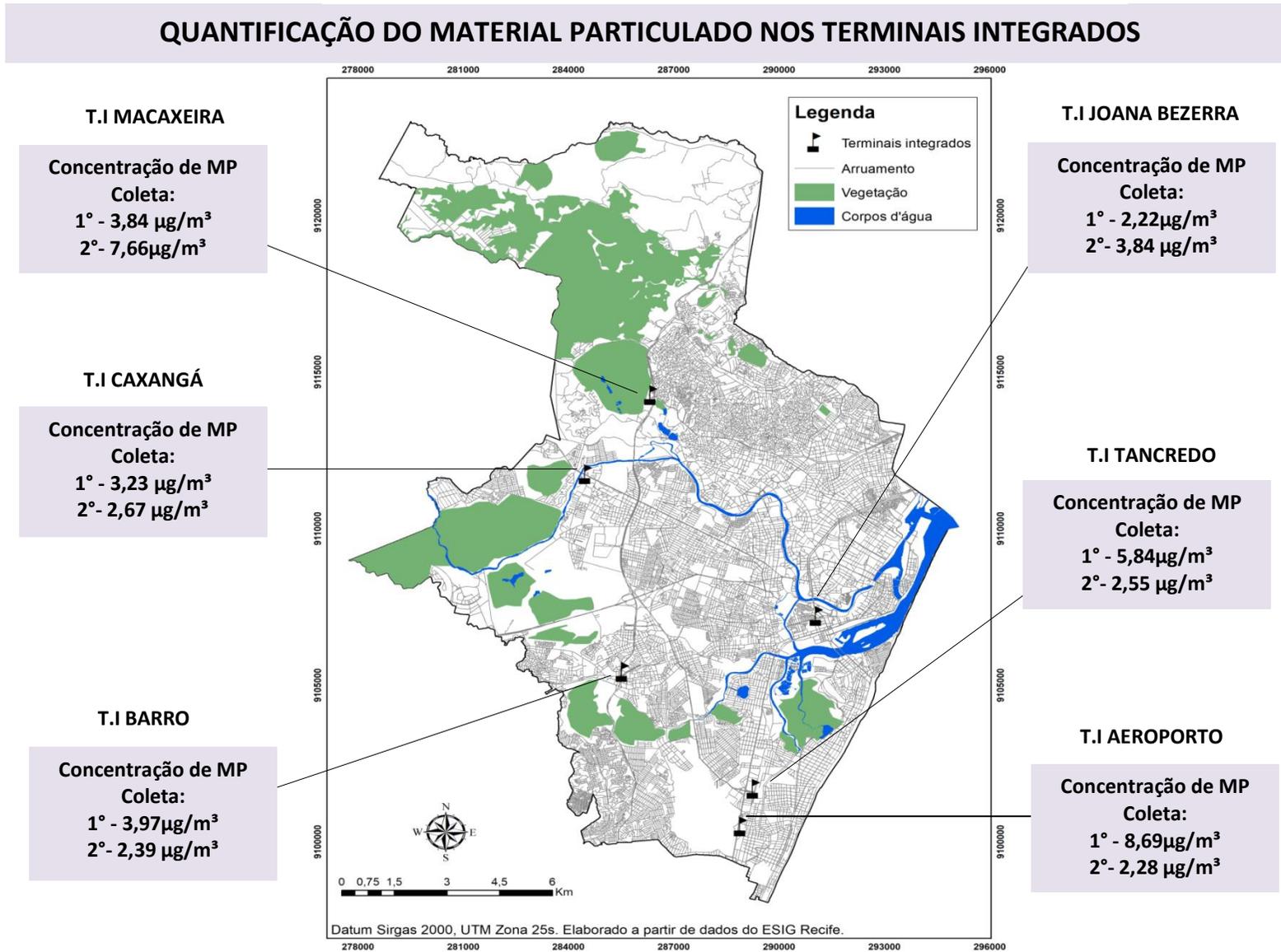
As concentrações por horário dos dados retirados do aplicativo *Nullscholl* referente a Recife é possível perceber que o vento estava com uma intensidade maior no horário das 12:00h às 17:00h. O vento manteve uma constante no período da tarde com a intensidade do vento em 3,4 a 3,7 m/s. As concentrações já convertidas pelo aplicativo são maiores nos horários picos do Recife, 07:30h e 12:00h. Na análise meso o índice de qualidade do ar, tanto do microambiente, como Recife encontram-se em condição geral de qualidade do ar “**Boa**” em todos os horários.

Justifica-se, portanto, tal condição pelo fato de que nesse dia a intensidade do vento estava fraca. Esse local foi classificado como RES, próximo de tráfego de veículos leves. O relevo de planície facilita o transporte e a difusão dos poluentes. Entretanto, o terminal está inserido em uma zona mista de habitações unifamiliares e multifamiliares, obstáculos que intervêm na velocidade do vento no terminal e no levante do MP ao contador de partículas. As observações do dia da coleta apresentam características próprias do TI, os ônibus circulam constantemente, em razão dos percursos de algumas linhas serem curtos, sendo o intervalo pequeno, de 10 min a 30 min.

É importante ressaltar o alto fluxo de veículos leves na via adjacente. Na morfologia do local, temos a presença de rugosidade e porosidade bem pontuais com dois edifícios que afetam nos elementos umidade, temperatura e vento. Conforme Gonçalves et al. (2015), a concentração de calor nos materiais de ambiente construído retém energia incidente da radiação solar, que é irradiada de volta para o ambiente urbanizado, aumentando, assim, a temperatura do local. No dia da coleta, a média de temperatura para o dia ficou em torno de 33,2°C, sendo para o turno da tarde uma média de 34,3°C. Nessa condição, explica as altas temperaturas no local e no final da tarde, ocorrendo o processo de dissipação do calor do material construído. Esse local é extremamente prejudicial à saúde em termos de desconforto térmico e baixa umidade do ar. Assim, se ocorresse um episódio de poluição do ar durante o período estudado, as elevadas temperaturas favoreceriam a dispersão vertical ascendente dos poluentes, provocando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, bem como a umidade baixa contribuiria para o agravamento de doenças respiratórias.

A seguir características que resultaram na concentração ou dispersão de MP (figura 131). No TI da Macaxeira na 1° coleta (chuvisco, vento fraco e vegetação sem estresse térmico). Na 2° coleta (temperatura elevada e umidade baixa e estresse térmico na vegetação). No TI do Barro na 1° e 2° coleta sua (topografia plana, baixa temperatura e a vegetação sem estresse térmico). O terminal do Aeroporto na 1° coleta (vento forte e estrutura baixa do microambiente). Na 2° coleta (baixa temperatura, alta umidade, vento de baixa intensidade e edifícios). No TI de Joana Bezerra na 1° e 2° coleta (proximidade do mar, temperatura e umidade não atenuantes na concentração e sem edifícios). No TI do Tancredo Neves nas duas coletas a temperatura e umidade a média foi às mesmas, apenas alterando a (direção do vento Leste – Nordeste na 1° coleta diferente da predominância anual da cidade que é Sudeste). No TI da Caxangá (altas temperaturas e baixa umidade).

Figura 131- Distribuição da concentração do material particulado por dia nos TIS.

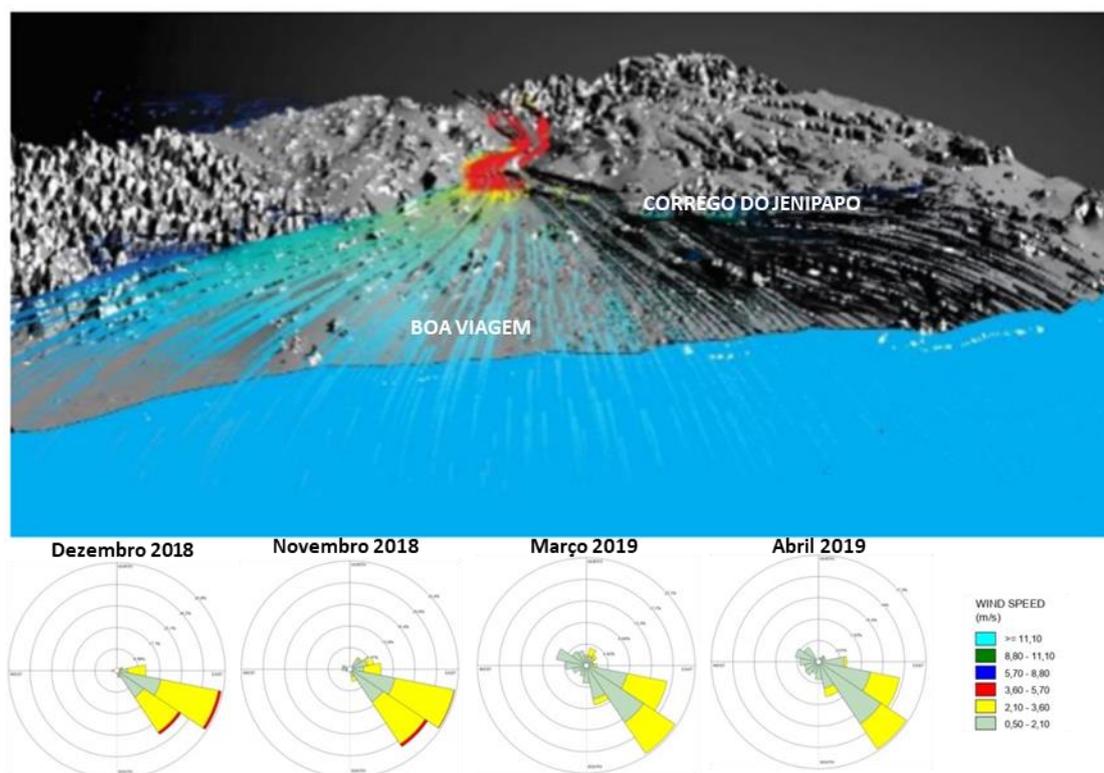


5.13 MORFOLOGIA URBANA E VENTILAÇÃO

Os resultados possibilitaram analisar as distintas configurações do meio urbano nas áreas adjacentes aos TIS a partir dos atributos locais, como obstáculos e topografia, que influem na remoção e acúmulo de MP. Nos microambientes, foram verificados no seu entorno as características viáveis nesse processo indutivo de poluição do ar, com base em um reconhecimento visual *in loco* e de recortes fotográficos a partir de imagens 3D (Arcgis e *Google Earth*). Essa observação ficou isolada dos resultados das fichas, em razão de exigir um foco nesses aspectos e para não ocorrer repetição nas análises das duas coletas, visto que são atributos fixos. No âmbito dos debates em relação a qual modelo de cidade Recife está inserida, as discussões acerca disso levam para uma combinação de um modelo compacto e disperso. De acordo com as autoras Sousa (2014) e Santos (2014), Recife é híbrida, compondo o modelo compacto, que tem aspectos por ocupação intensiva do solo, altas densidades populacionais, diversos usos, estilos e alturas de edifícios. Em oposição ao modelo citado, o disperso apresenta aspectos como ocupação extensiva do solo, limites não definidos e baixa densidade populacional.

Nessa composição, Recife se enquadra em uma ocupação territorial com diversos cenários morfológicos urbanos, que alteram as variantes climáticas locais. Naturalmente, de modo analítico, os TIS e suas adjacências possuem aspectos urbanísticos diferentes, que interferem na dinâmica da poluição do ar juntamente com o escoamento do vento, o que permite classificar algumas zonas urbanas acerca da forma da cidade e seu funcionamento de acordo com as ações do vento. Cada zona urbana reage de forma diferente em relação a esse elemento climático. Na modelagem espacial dos ventos (Figura 132), é observado a interação do relevo em conjunto com o fluxo dos ventos. Os ventos alísios de sudeste têm predominância SE-ESE (Figura 132) nos gráficos das médias geradas nos meses das duas coletas. Correlacionando com a modelagem, identifica-se uma concentração, no sentido horizontal, do fluxo dos ventos na intensidade da entrada por Boa viagem (TI Aeroporto e TI Tancredo Neves) e uma diminuição no Córrego do Jenipapo (TI Macaxeira).

Figura 132- Modelagem espacial do fluxo horizontal dos ventos de acordo com a topografia.



Fonte: Adaptado a partir de ANJOS, 2020.

A linha da área costeira vai no sentido perpendicular à direção predominante dos ventos (SE). Segundo Anjos (2020), a rugosidade do relevo força uma maior turbulência do ar. Aplicando isso em Recife, existe uma maior densidade de fluxo de ventos por consequência da forma do relevo que proporciona um afinilamento em decorrência da morfologia urbana. Nessa dinâmica envolvida na interação entre a morfologia urbana e a direção dos ventos, é possível relacionar as áreas sujeitas ao acúmulo e à dispersão de MP ou poluentes na cidade do Recife. Para responder a essa questão, foram selecionados alguns elementos morfológicos primordiais para a análise da dispersão e concentração de MP como topografia, edificação (rugosidade, porosidade e densidade), todos esses elementos que alteram a ventilação urbana. Nas figuras seguintes, os detalhes da morfologia urbana serão destacados em imagens de satélites do *software Google Earth* e os perfis tridimensionais dos TIS e suas adjacências em Modelo Digital de Superfície (MDS).

5.13.1 Morfologia urbana do TI Joana Bezerra

Como classificação proposta para o TI Joana Bezerra essa área têm predominância residencial por casas unifamiliares (Figura 133), sendo, assim, um local unificado. O bairro Ilha Joana Bezerra não tem uma distribuição de arborização significativa e sua topografia possui terreno e vias planas, não havendo impacto direto na ventilação natural e próxima ao oceano.

Figura 133- Imagens do Google Earth em 3D do TI Joana Bezerra e seu entorno.



Segundo os critérios de rugosidade e porosidade (Figura 134), nesse local são nulas, ocasionando condições de dispersão dos poluentes em um nível favorável, pois o fluxo do ar não encontra barreiras para sua circulação. O fluxo de trânsito é intenso e trafegam por ali todos os tipos de veículos automotores.

Figura 134- Modelo digital de superfície do TI Joana Bezerra destacando o corte Horizontal e Vertical.



Figura 135- Perfil Horizontal e Vertical do TI Joana Bezerra.

Perfil Horizontal



Perfil Vertical



Nos perfis (Figura 135) realizados no entorno do TI, existe uma maior porosidade (maior distância de volume edificado) e a rugosidade apresenta altura diversa dos demais arranjos de ocupação de solo que não apresenta elevações, sendo assim aumentando a ventilação local. A Figura 136 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado indicando que o bairro Joana Bezerra é uma zona unificada e de dispersão. Nas duas coletas, os índices de MP foram baixos confirmando ser uma localidade dispersora e registrando $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $3,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP nas coletas.

Figura 136- Modelo de elevação digital de superfície do TJB.



5.13.2 Morfologia urbana do TI Tancredo Neves

O terminal está compreendido em uma área litorânea classificado em zona mista com elevada densidade de verticalização no bairro da Imbiribeira com construções residenciais por casas térreas e edifícios verticalizados multifamiliares (Figura 137). A orientação perpendicular dos grupos de edifícios nesses locais revela a relação entre o vento e o elemento morfológico (edifício) agindo como um obstáculo reduzindo o escoamento dos ventos alísios na cidade.

Figura 137- Imagens do *Google Earth* em 3D do TI Tancredo Neves e seu entorno.



O local tem tendência a ser dispersor/concentrador a depender de episódios de alta velocidade de vento e mudança de direção, pois as médias anuais de direção dos ventos ocorrem no sentido Sudeste. Em sua proximidade, há uma mescla de empreendimentos comerciais e residenciais (Figura 138) e algumas construções são relativamente próximas umas das outras, sendo um local pouco arborizado. Os fluxos de ventos encontram algumas resistências devido ao adensamento urbano e, por conta dos acessos dos bairros da periferia que leva ao centro e outros bairros, seu trânsito é muito intenso.

Figura 138- Modelo digital de superfície do TI Tancredo Neves destacando o corte Horizontal e Vertical.



Figura 139- Perfil Horizontal e Vertical do TI Tancredo Neves.

Perfil Horizontal



Perfil Vertical



Nos perfis (Figura 139) realizados no entorno do TI, apresenta-se uma menor porosidade (menor distância de volume edificado) correlacionando à maior altura, o que pode diminuir a ventilação local. Na rugosidade, apresenta alturas diversas próximas ao mar nos arranjos de ocupação de solo aumentando a ventilação local. Na adjacência do microambiente, como é possível observar nos perfis, são casas com pouca elevação.

A Figura 140 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado indicando que o bairro da Imbiribeira é uma zona mista de morfologia urbana apontada como local de dispersão/concentração. Nas duas coletas, os índices de MP tiveram registros diferentes, devido à ação do vento confirmando ser uma localidade de acúmulo, se houver um episódio de intensidade de vento maior, e mudança de direção registrando na primeira coleta $5,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e na segunda coleta indicando dispersão $2,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MPI.

Figura 140- Modelo de elevação digital de superfície do TI Tancredo Neves.



5.13.3 Morfologia urbana do TI Aeroporto

O terminal está compreendido em uma área litorânea (Figura 141) classificada como zona mista com elevada densidade de verticalização no bairro de Boa Viagem, com construções residenciais por casas e edifícios verticalizados. A orientação perpendicular dos grupos de edifícios nesse local revela a relação entre o vento e o elemento morfológico

(edifício) agindo como um obstáculo e reduzindo o escoamento dos ventos alísios na cidade. Em decorrência à rugosidade do solo ser maior, interfere no atrito superficial do vento e diminui a sua intensidade.

Figura 141- Imagens do Google Earth em 3D do TI Aeroporto e seu entorno.

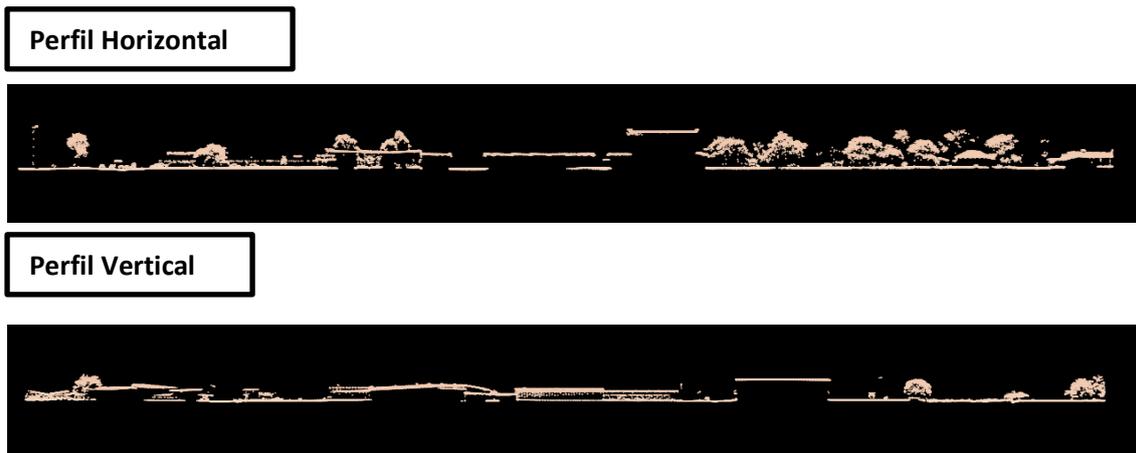


O local tem tendência a ser dispersor (Figura 142) em sua proximidade com o terminal composto por edificações, com dois a três pavimentos, apresentando semelhança ao TI, quanto ao seu espaçamento entre as edificações e sem recuos. Os fluxos de ventos encontram algumas resistências devido ao adensamento urbano.

Figura 142- Modelo digital de superfície do TI Aeroporto destacando o corte Horizontal e Vertical.



Figura 143- Perfil Horizontal e Vertical do TI Aeroporto.



Nos perfis (Figura 143) realizados no entorno do TI, existe uma menor porosidade (menor distância de volume edificado) no cinturão de edifícios de Boa viagem, existindo variações de altura, o que promove alterações de pressões aumentando o acesso de ventilação natural. Esse obstáculo com diferenciações de elevações leva a ventilação de cima para baixo, aumentando a velocidade dos ventos para os níveis dos pedestres. Essa rugosidade da ocupação do solo próxima ao mar apresenta alturas diversas, aumentando a ventilação local, e a adjacência do microambiente, como é possível observar nos perfis, são casas com baixa elevação, o que permite um fluxo maior de vento.

A Figura 144 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado, indicando que o bairro de Boa Viagem é uma zona mista de morfologia urbana apontada como local de dispersão/concentração. Nas duas coletas, os índices de MP tiveram registros diferentes devido à ação do vento confirmando ser uma localidade de acúmulo se houver um episódio de menor intensidade de vento e direção variada. Registrou-se na primeira coleta **8,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , no qual o fluxo do vento estava intenso, permitindo o levante de MP para contagem no equipamento. Na segunda coleta, indicou-se dispersão de **2,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , ocorrendo no dia uma intensidade menor de vento.

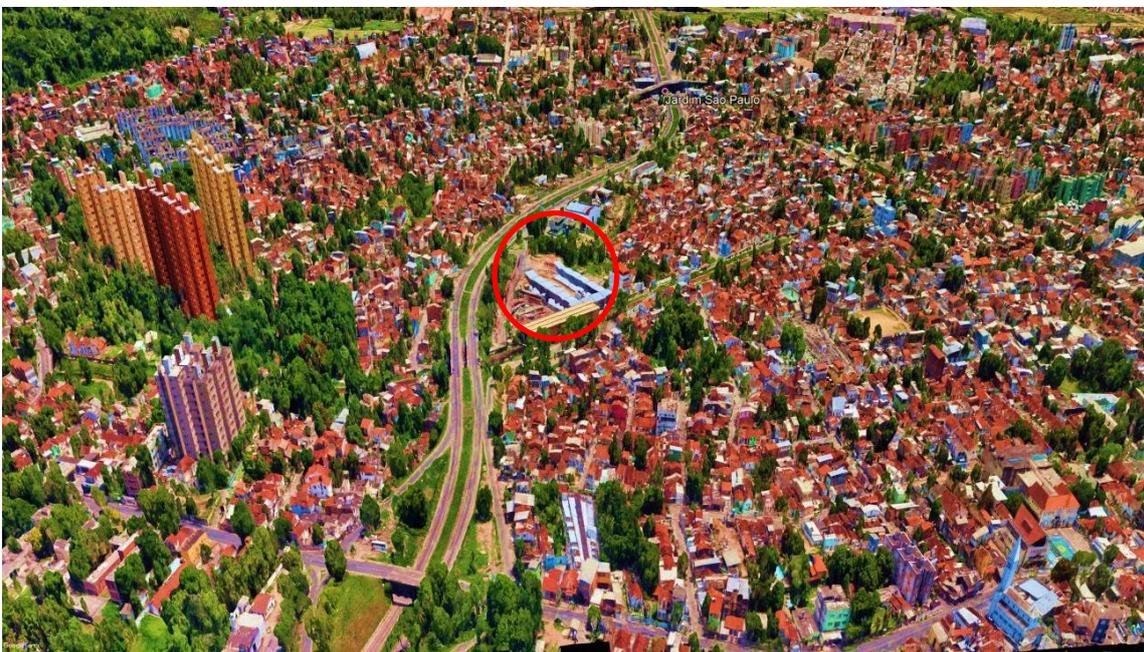
Figura 144- Modelo de elevação digital de superfície do TI Aeroporto.



5.13.4 Morfologia urbana do TI Barro

As áreas localizadas no intermédio da malha urbana (Figura 145), como o TI no bairro de Jardim São Paulo, apresentam predominância residencial de casas, sendo assim uma zona unificada. Em sua adjacência, a vegetação é presente e sua topografia plana, mas em transição para morros, o que permite um fluxo de ventilação natural.

Figura 145- Imagens do Google Earth em 3D do TI Barro e seu entorno.



O local é de dispersão, no qual os fluxos de ventos não encontram resistências devido ao baixo processo de rugosidade (Figura 146), o que permite uma circulação de poluentes, não permanecendo no local, mesmo que no entorno ocorra trânsito intenso com veículos de médio e grande porte, além de dar acesso a outras cidades e outros municípios.

Figura 146- Modelo digital de superfície do TI Barro destacando o corte Horizontal e Vertical.

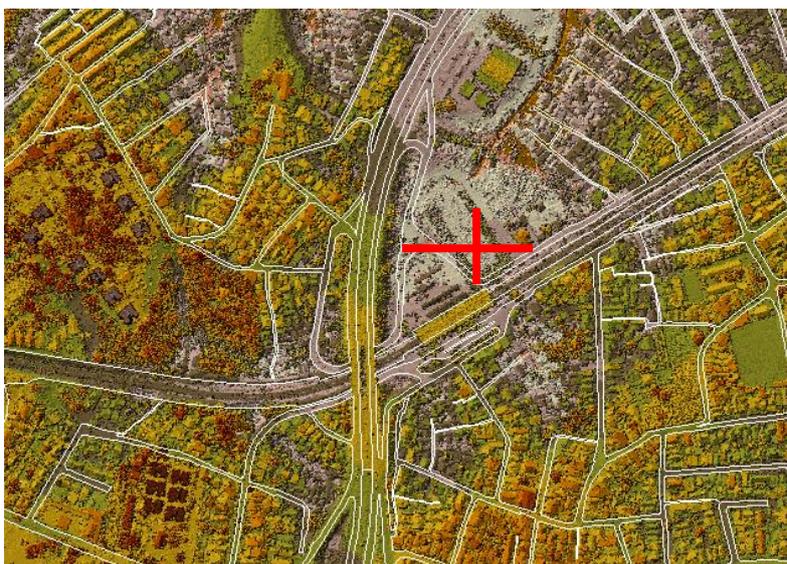
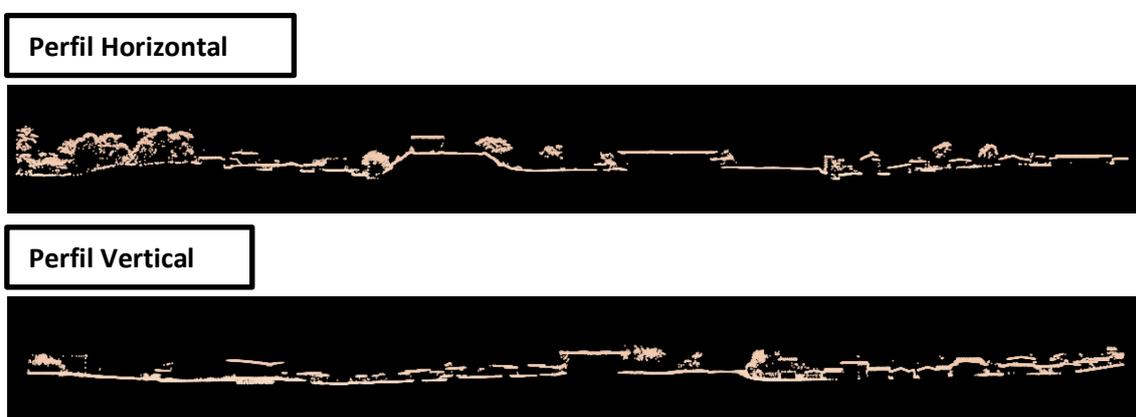


Figura 147- Perfil Horizontal e Vertical do TI Barro.



Os perfis (Figura 147) realizados no entorno do TI possuem uma maior porosidade (maior distância de volume edificado). Quando ocorre o acesso do fluxo de vento em superfícies com rugosidades a zero, como nessa área suburbana, mesmo com obstáculos na entrada de vento no litoral sul, decorre o processo de diferentes alturas de gradientes que interfere na

pressão do vento. Mesmo que ocorra um processo de barlavento na área costeira, o vento sofre turbulência em seu ponto mais alto nos edifícios e nas rugosidades adentro existem modificações de velocidade de vento. É importante destacar que isso é uma análise visual, para fins de áreas de tendência a acúmulo e dispersão de MP, necessitando de estudos mais aplicados a essas áreas no futuro sobre essa temática.

A Figura 148 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado, indicando que o bairro de Jardim São Paulo é uma zona unificada de morfologia urbana apontada como local de dispersão. Nas duas coletas, os índices de MP tiveram registros semelhantes, registrando na primeira coleta **3,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** e na segunda coleta **2,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** de MPI.

Figura 148- Modelo de elevação digital de superfície do TI Barro.

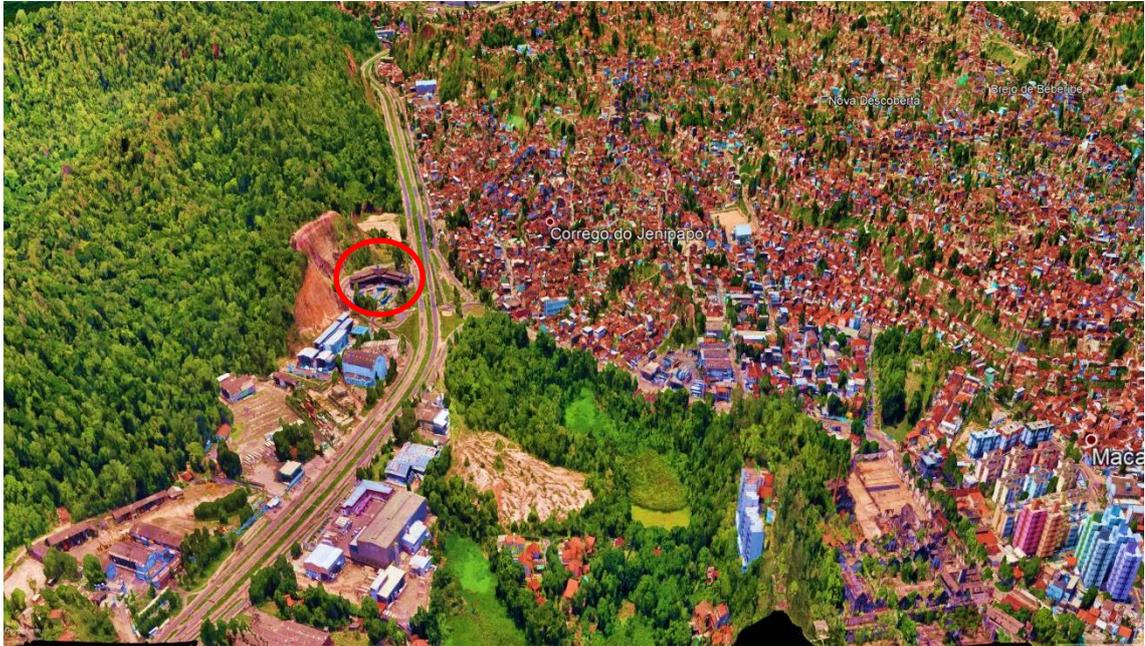


5.13.5 Morfologia urbana do TI Macaxeira

O terminal, localizado na Zona Norte (Figura 149), com moradias informais, sendo inserida em uma zona unificada de residências unifamiliares, possui presença expressiva de vegetação e em seu entorno a interação da topografia de morros sendo uma condição natural, que não favorece a inserção de ventilação. O que mais interferiu na construção das análises dos dados desse local foi a extensão de vegetação, propondo um novo olhar na dinâmica dos poluentes em conjunto com esse elemento e colaborando com as junções de características

desse ponto, indicando, assim, que a ocupação de assentamento é diferente dos demais pontos estudados.

Figura 149- Imagens do *Google Earth* em 3D do TI Macaxeira e seu entorno

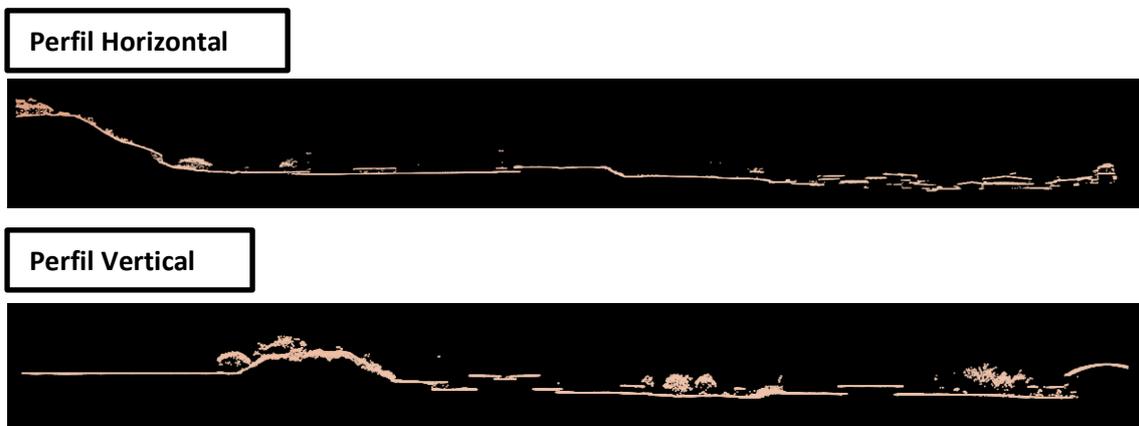


O local tem tendência (Figura 150) a ser de concentração de MP, por causa do obstáculo natural do relevo ao lado do TI e no sentido contrário de elevação de relevo. No seu entorno, há predominância de vegetação, vias principais asfaltadas, predominância de residências como poucos empreendimentos e suas construções são muito próximas uma das outras, com fluxo de trânsito muito intenso, onde transitam veículos de pequeno, médio e grande porte, como motos, carros, ônibus e caminhões, pois é uma BR.

Figura 150- Modelo digital de superfície do TI Macaxeira destacando o corte Horizontal e Vertical.



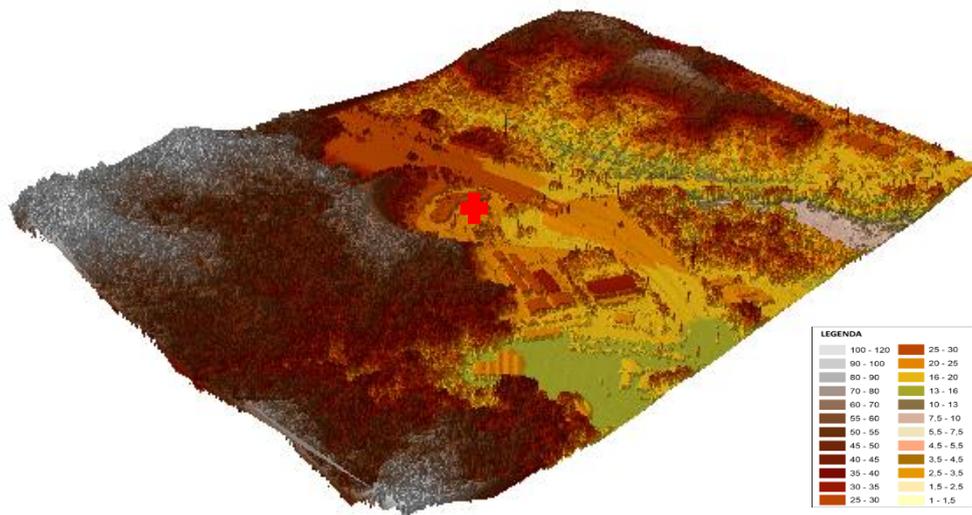
Figura 151- Perfil Horizontal e Vertical do TI Macaxeira.



Nos perfis (Figura 151) realizados no entorno do TI, há uma menor porosidade (menor distância de volume edificado), porém não existem edificações nesse bairro, ocorrendo apenas elevação do relevo que promove alterações no escoamento do vento, trazendo uma menor intensidade de vento. A rugosidade verificada no local está representada por obstáculos naturais. A vegetação pode funcionar como obstáculo de ventilação natural, seja conduzindo o vento ou repulsando como barreira. Esse elemento contribui em redirecionar, bloquear ou desviar o fluxo do vento. A Figura 152 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado indicando que o bairro do Córrego do Jenipapo é uma zona unificada de morfologia urbana apontada como local de concentração. Nas duas coletas,

os índices de MP tiveram registros distintos, registrando na primeira coleta **3,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** e na segunda coleta **7,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** de MPI.

Figura 152- Modelo de elevação digital de superfície do TI Macaxeira.



5.13.6 Morfologia urbana do TI Caxangá

Enquanto no terminal (Figura 153) está em uma área com predominância residencial por casas unifamiliares, atualmente vivencia um crescimento imobiliário de residências multifamiliares, sendo assim um local misto em desenvolvimento. Possui em sua adjacência uma razoável arborização e sua topografia plana, mas em transição para morros, o que permite uma ventilação natural.

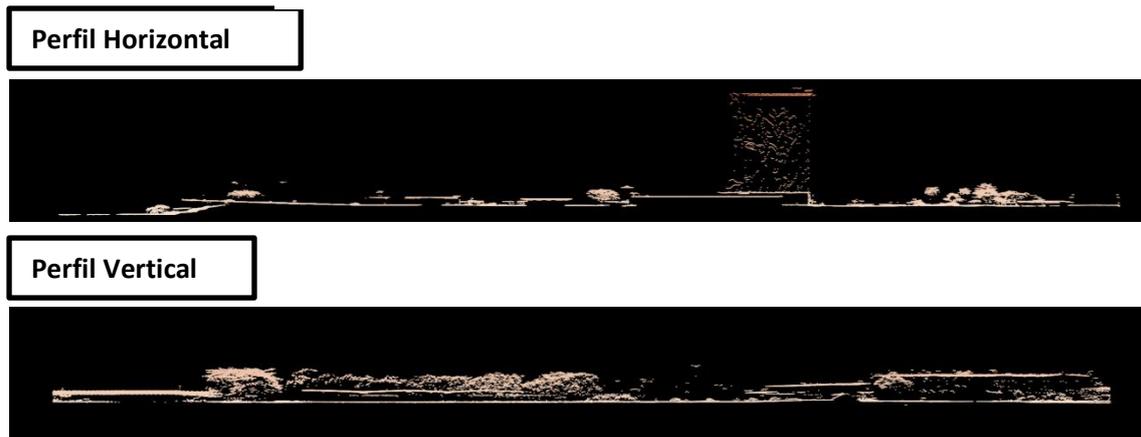
Figura 153- Imagens do *Google Earth* em 3D do TI Caxangá e seu entorno

O local é de dispersão (Figura 154), no qual os fluxos de ventos não encontram resistências devido ao baixo processo de rugosidade, o que permite uma circulação de poluentes, não permanecendo no local, mesmo que o entorno ocorra trânsito intenso com veículos de leve porte. De acordo com o cenário atual, está ocorrendo um avanço no setor imobiliário, o que pode ocasionar futuramente um local de concentração de MP.

Figura 154- Modelo digital de superfície do TI Caxangá destacando o corte Horizontal e Vertical.



Figura 155- Perfil Horizontal e Vertical do TI Caxangá.



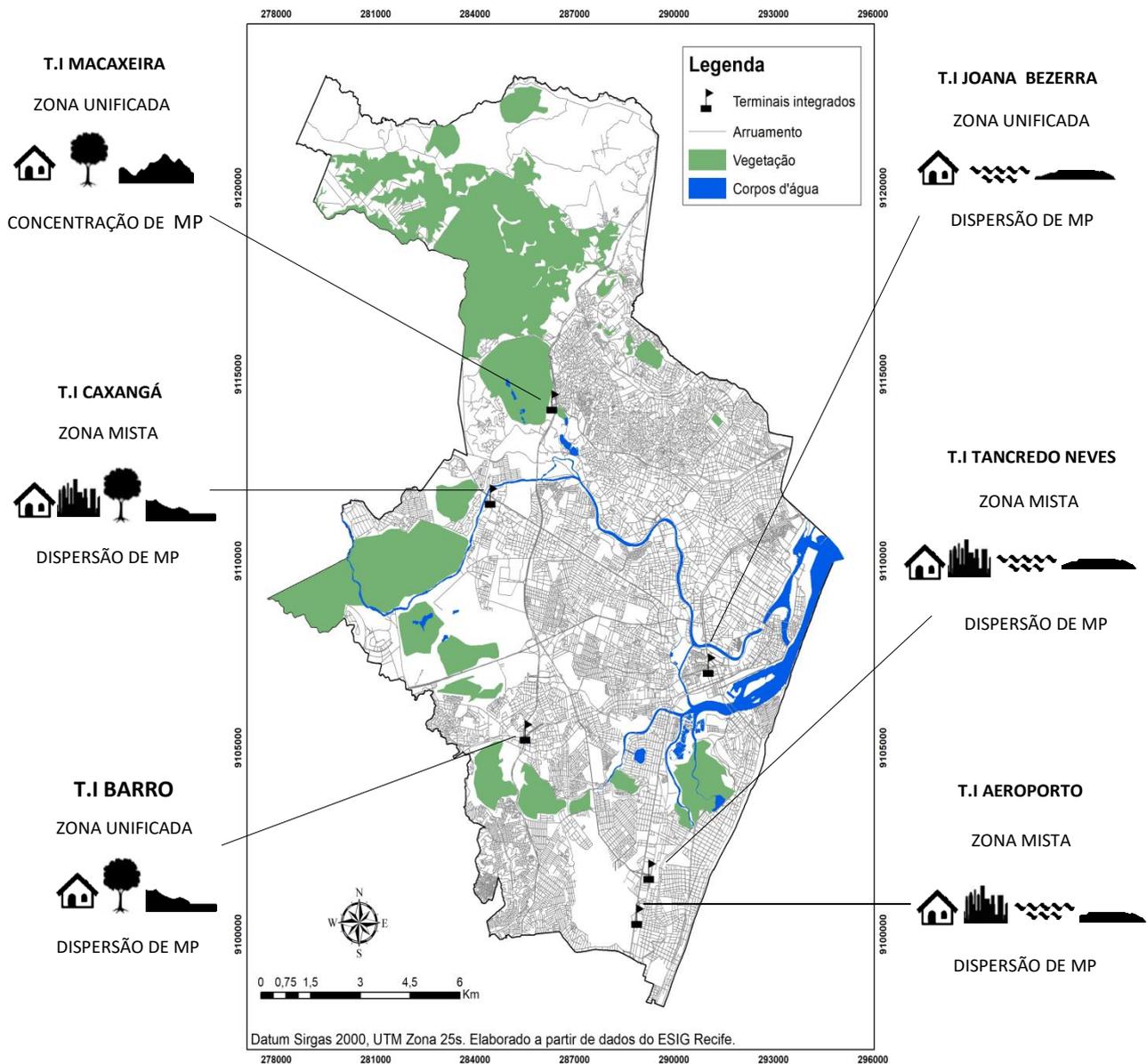
Os perfis (Figura 155) realizados no entorno do terminal dispõem de um espaço aberto, com domínio de casas e a presença de alguns edifícios com poucas pavimentações, bem como os dois edifícios ao lado do TI A ventilação natural sofre influência direta da ocupação do solo, pois ainda está em processo para ser uma zona mista, apresentando a ausência de rugosidades e porosidade, facilitando, assim, a penetração dos ventos. No microambiente, os dois prédios alteraram a dinâmica do microclima, tanto na temperatura e umidade como poluição do ar. Destaca-se que na modelagem de fluxo do vento a malha urbana e o relevo do Recife causam um afinilamento no fluxo, o que provavelmente potencializa esse local como uma área de dispersão de MP. A Figura 156 apresenta um panorama espacial do entorno do terminal de coleta de dados que está demarcado, indicando que o bairro da Caxangá é uma zona mista de morfologia urbana, apontada, assim, como local de dispersão. Nas duas coletas, os índices de MP tiveram registros distintos, registrando na primeira coleta $3,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e na segunda coleta $2,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP.

Figura 156- Modelo de elevação digital de superfície do TI Caxangá.



Como finalização dessa análise, tem-se que classificação dos microambientes e seu entorno se encaixam a partir das combinações de elementos (Figura 157) com presença de residências multifamiliares ou unifamiliares, vegetação, proximidade do mar e topografia distinta. Permitindo identificar locais na cidade com tendência à concentração e à dispersão de poluição do ar, a depender do favorecimento dos obstáculos fixos e da estabilidade da atmosfera.

Figura 157- Classificação de zonas urbanas e elementos significativos dos locais.



5.14 PERCEPÇÃO DOS PASSAGEIROS NOS TERMINAIS INTEGRADOS

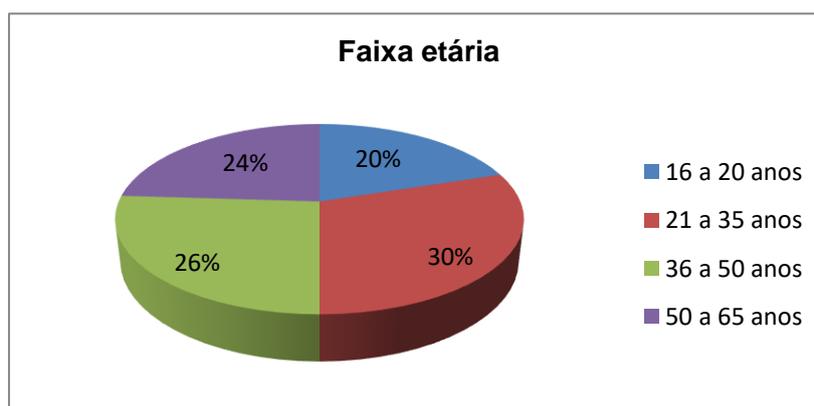
Os resultados obtidos, referentes à percepção dos usuários dos terminais, tiveram as seguintes categorias verificadas: Estudantes (Ensino Médio, Técnico e Universitário) e Trabalhadores (Geral e do local). A percepção ambiental dos microambientes abrangeu inter-relações do meio, buscando entender como os indivíduos enxergam e entendem a temática aplicada a partir do ambiente que eles convivem. As respostas foram de acordo com os julgamentos e expectativas de cada indivíduo. As aplicações dos questionários ocorreram nos terminais selecionados (não houve identificação nominal), foram realizadas 10 perguntas com linguagem simples de entendimento geral, havendo, no entanto, 06 itens (Tabela 14) que tiveram resultados diferenciados e de maior relevância.

Tabela 14- Perguntas referentes ao questionário aplicado nos terminais.

Nº	Questionário
01	Motivação para utilização do local?
02	Quanto tempo você demora no Terminal Integrado à espera do seu ônibus?
03	Para chegar nesse terminal você já passou por outro T.I?
04	O que é poluição do ar para você?
05	Você acha que existe poluição do ar em Recife-PE?
06	Você já ouviu falar sobre Material Particulado (MP)?

Na Figura 158, que mostra a idade dos participantes, pode-se observar que houve um balanceamento quantitativo entre as faixas etárias, sendo: 20% para a faixa de 16 a 20 anos; 30% para a faixa de 21 a 35 anos; 26% para a faixa de 36 a 50 anos; e 24% para a faixa de 50 a 65 anos. Os usuários dos TIS de 21 a 35 anos apresentaram grau de escolaridade maior.

Figura 158- Faixa etária dos participantes do questionário.



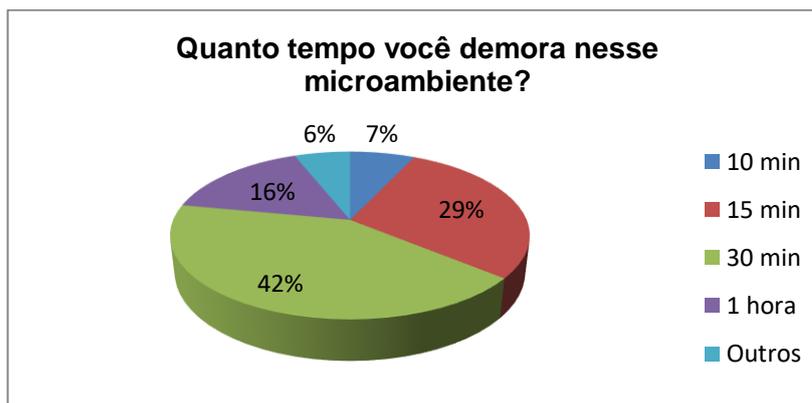
Os terminais permitem o fluxo de pessoas de diferentes bairros e idades, para diversas atividades. Estes dados estão representados na Figura 159, o que nos traz a motivação para utilização do espaço. A grande maioria dos entrevistados, 38%, utiliza o terminal para o deslocamento diário com objetivos trabalhistas e retornam ao final do expediente. Dos entrevistados, 29% são de pessoas que utilizam os transportes para irem à faculdade, 14% são jovens que cursam ensino médio e técnico, 12% a passeio e 7% por outros motivos.

Figura 159- Pergunta sobre motivação para utilizar o TI.



A maioria dos entrevistados (42%) demora 30 minutos esperando o ônibus (Figura 160). Esse período diariamente pode causar algum problema na saúde, principalmente para crianças e os idosos. As demais variações de tempo, como 10 min (7%), 15 min (29%) e os outros (6%) não causam tantos danos. Dentre a quantidade de tempo que representa o período de permanência dentro dos microambientes, a mais preocupante é a demora de 1 hora (16%) nesses espaços, se houver um período de pico de poluição de ar pode causar danos graves em longo prazo de frequência.

Figura 160- Pergunta sobre quanto tempo demora no TI.



Além da espera nos terminais, ainda existem o cruzamento com outros TIS, aumentando a permanência dos indivíduos nesses locais e mais minutos de espera. Dos entrevistados, 56% (Figura 161) já tinham passado por outros microambientes ou até mesmo se referiram como sendo o terceiro TI do dia. 44% indicaram que era o único terminal a ser transitado para chegar ao seu trajeto final.

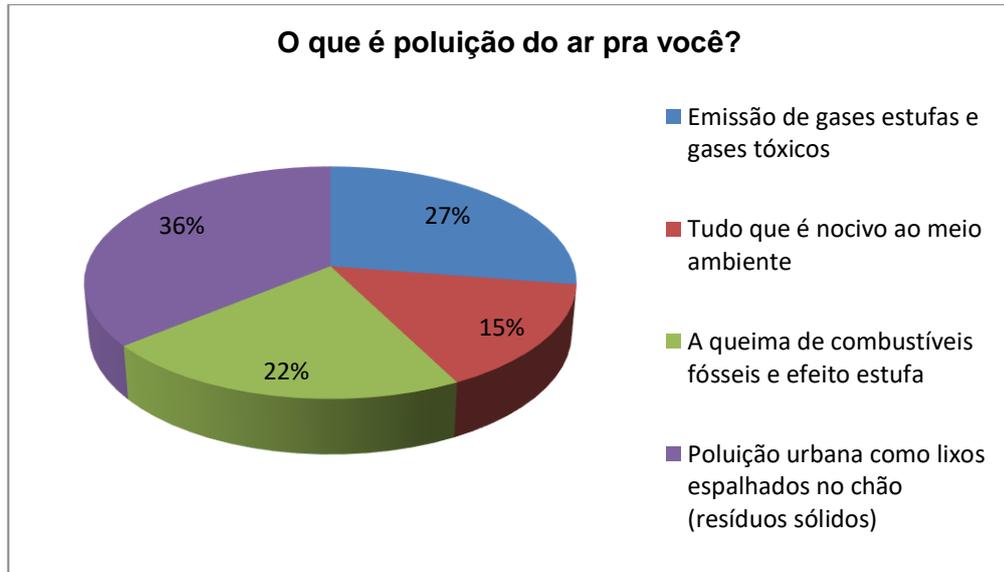
Figura 161- Pergunta referente se houve transição em outro TI.



Os passageiros percebem, reagem e responde ao que estão visualizando ao seu redor, dessa maneira os microambientes trazem respostas de suas percepções mediante aos seus próprios saberes, o que traz alguns impactos para as respostas analisadas. Na coleta teste, foram selecionadas respostas que foram mais repetidas sobre “o que é poluição do ar?”. Embora a relação ao grau de escolaridade fosse diversa, as respostas repetentes foram “São todos esses lixos jogados no chão”, a partir do que a maioria das pessoas, 37%, (Figura 162) interpretou que a poluição do ar está ligada ao lixo (“resíduos sólidos”), por o remeterem a um ambiente poluído por sujeira, o que gera preocupação demonstrando a falta de entendimento sobre aspectos de educação ambiental, não só com pessoas de faixa etária de 36 a 50 anos, como também de 16 a 20 anos. Então, foi preciso fazer uma explicação durante e posteriormente sobre poluição do ar. Os que responderam as demais, com 27%, 22% e 15% apresentavam nível superior (cursando ou concluído).

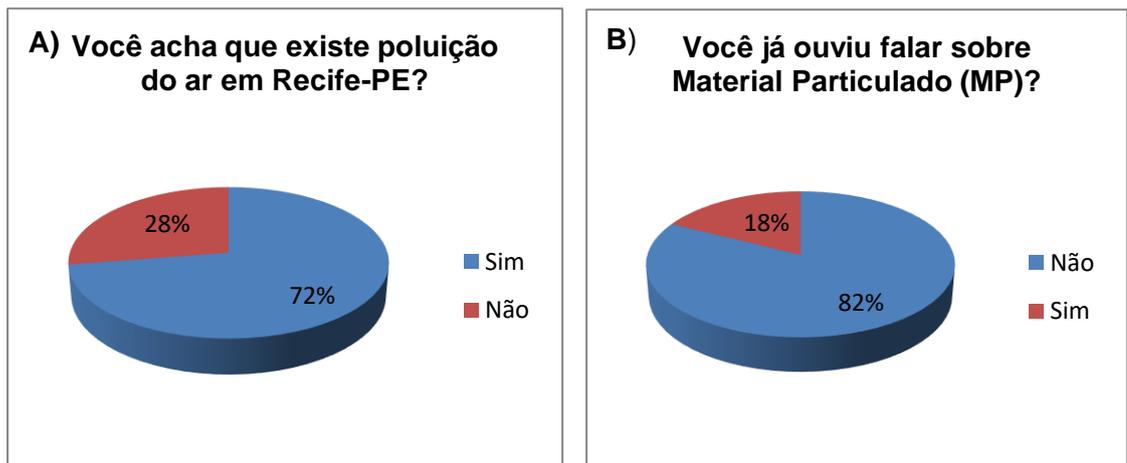
Durante a coleta de dados, as pessoas ainda marcaram a resposta referente ao lixo urbano, mesmo com as demais opções. Dentre essa percepção analisada, é possível perceber o quanto que a forma perceptível das pessoas apresenta um déficit sobre o entendimento de temas como poluição do ar ou questões ambientais.

Figura 162- Pergunta sobre o conceito de poluição do ar.



Embora grande percentual de respondentes concorde com a existência de poluição do ar na cidade (72%), ainda existe um desconhecimento a respeito do assunto (Figura 163.a). A resposta da maioria foi sobre a quantidade de veículos nas ruas, o que, na percepção dos respondentes, tornaria a cidade poluída; os outros 28% apontaram que não existe poluição, pois a extensão territorial da urbe seria menor em relação a outros lugares com altos níveis de poluição. O total percentual do conhecimento acerca do MP (figura 163.b) demonstra que um pequeno grupo, 18%, tem grau de conhecimento quanto à questão e que a maioria dos passageiros não tem noção do que seja e nem demonstraram preocupação em relação ao conteúdo.

Figura 163- Perguntas referente à existência de poluição do ar em Recife e sobre MP.



6 CONCLUSÕES

O grande intuito deste trabalho foi avaliar a concentração de MP baseado no IQA nos seis terminais em conjunto com as variáveis meteorológicas, traçando um perfil de locais com tendência a acúmulo e dispersão em Recife. Nos resultados a partir do indicador de qualidade do ar do MP, aponta-se que todos os terminais estão no padrão permitido pela Legislação federal, pois os cálculos de média na concentração final não ultrapassam o valor de 50 ug/m^3 instituído pelo CONAMA 491/18.

Considerando a análise realizada nos 6 (seis) terminais, foi possível observar resultados satisfatórios entre a contagem do MP no local e no aplicativo *Nullscholl* com valores que não ultrapassam o permitido, mas não podemos descartar que possa ocorrer episódios de atenção ou alerta durante o ano. Entretanto, ao realizar comparações com as duas coletas, houve alguns resultados significativos. Em decorrência de influências das variáveis climáticas, na primeira coleta, os terminais do Aeroporto e Tancredo Neves tiveram valores maiores que os demais por causa da intensidade e mudança de direção do vento respectivamente. Na segunda coleta, o TI da Macaxeira apresentou um valor maior que os outros pontos devido à temperatura, à umidade e à vegetação, contribuindo para uma nova variável para essa temática, que às vezes pode não ser benéfica. Os terminais do Barro e Joana Bezerra apresentaram os mesmos valores nas duas coletas, sofrendo maior interação com a velocidade do vento, enquanto que o TI Caxangá com a temperatura e umidade do ar, que determinam a não permanência de MP.

Destaca-se que a correlação com os aspectos morfológicos dos locais foi importante para identificar os bairros que estão propícios a serem consideradas Zonas de Dispersão ou de Concentração de MP. O processo de poluição relacionado à rugosidade e à porosidade apresenta obstáculos fixos que margeiam os locais, apresentando condições diferentes em cada bairro. Os Caxangá, Ilha de Joana Bezerra, Jardim São Paulo, Boa viagem e Imbiribeira são ambientes de dispersão e o Córrego do Jenipapo é um ambiente de concentração. Quando a poluição é emitida no ar, os poluentes sofrem dispersão pelo processo de transporte e difusão, que por sua vez será influenciado por esses atributos (obstáculos, topografia e meteorologia). Esse processo de transportar e difundir serão inconstantes em qualquer área, pois depende das condições meteorológicas que por sua vez são variáveis. Evidenciando que esses bairros tem a tendência a serem classificados dessa forma por características que provaram ser expressivas na pesquisa.

Na análise perceptiva dos usuários através dos questionários, foi entendido que existe uma carência de entendimento de questões ambientais no dia a dia da população. O saber informal ultrapassa o saber formal, criando uma zona distinta, no qual pessoas com grau de escolaridade maior sabem mais a respeito de poluição do ar, enquanto que outros usuários supõem que poluição do ar são lixos jogados no chão e, no geral, a grande maioria não sabe o que é e nem ouviu falar sobre MP. Não foram encontrados estudos semelhantes, o que prejudicou para uma comparação de resultados, mas destaca a relevância desse trabalho, o qual servirá de referência para futuros estudos e cenários nesta área de pesquisa.

A RMR, sobretudo Recife, não contém programas de controle de poluentes, não existindo equipamentos e nem estações de monitoramento do ar, o que agrava uma análise maior pelo setor público para cenários futuros que possam prejudicar a saúde da população. O estudo mostra que as variáveis climáticas interferem na presença do MP e existe a necessidade de análises mais elaboradas por um período maior entre a dinâmica dos poluentes com a morfologia urbana. Com isto, as informações geradas podem trazer resultados que possam vir a auxiliar no planejamento ambiental, saúde pública, órgãos ambientais, transportes entre outros. E, nos terminais, pode contribuir para definir estratégias de intervenção voltadas às adequações, adaptações e mitigações em infraestruturas construídas frente à poluição do ar, e, também, para apoiar estudos voltados à saúde das pessoas que frequentam regularmente esses ambientes ou residem nas proximidades destes.

Os resultados representam a dinâmica climática habitual/cotidiana em conjunto com a qualidade do ar referente aos dias de coletas, e isso não quer dizer, que o terminal ou os bairros próximos, não tenham picos de poluição do ar que ultrapasse o permitido por lei, durante outros dias ou que Recife possui boa qualidade do ar. Os resultados obtidos nesta pesquisa permitirão subsídios ao planejamento ambiental e ao ordenamento territorial e também poderão contribuir na definição de estratégias de intervenção voltadas à poluição do ar. Dessa forma, a partir do que se propõe nesse estudo, a cidade litorânea ganhará um estudo que indicará a real situação do ar em centros urbanos próximos ao litoral, atuando como um estudo precursor nessa temática de correlação entre poluentes e clima urbano, e dessa maneira colaborando em uma ação de combate à vulnerabilidade climática físico-química.

Esses resultados facilitam e mostram como é possível o desenvolvimento de novas pesquisas sobre a qualidade do ar, permitindo aplicações de técnicas e ferramentas que são utilizadas em outras regiões do Brasil com potencialidade a ser aplicado em outras localidades.

Portanto a partir das limitações deste estudo, são sugeridas algumas recomendações que visam contribuir para o desenvolvimento de trabalhos futuros em Recife:

- Compreender a dinâmica dos poluentes nas cidades, a partir da quantificação das emissões provenientes do setor veicular e investigar a correlação das variáveis climáticas, da morfologia urbana junto com os poluentes;
- Realização de pesquisas futuras comparando os resultados da sua pesquisa (período do ano representativo de maior movimento nos Terminais) X pesquisas com menor movimentação nos Terminais (período de férias e de datas comemorativas).
- Elaborar inventários na intenção de estimar emissões atmosféricas em áreas urbanas que não possuem ferramentas de controle de poluição do ar;
- Projetar cenários para o futuro das áreas, a fim de criar alternativas de políticas públicas por meio das ferramentas tecnológicas;
- Mapear a população destas áreas a fim de compreender de que forma esta população é prejudicada pela poluição e de que forma o ambiente é atingido pelas transformações antrópicas;
- Auxiliar em estudos voltados para doenças respiratórias de pessoas que vivem nesses ambientes ou residem nas proximidades;
- Trazer inovações tecnológicas, como inserção de modelos matemáticos que permitam gerar produtos a serem aplicados em ferramentas como *softwares* simuladores de dispersão de poluentes, que elaborem percentuais de concentração do MP e equipamentos de baixo custo para a avaliação do MP como sensor de partículas;
- Contribuir no fortalecimento das atividades a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), cooperando para as necessidades locais voltadas para as mudanças climáticas.
- Simular a direção e velocidade dos ventos na dissipação dos poluentes considerando a altura e posição das edificações;

REFERÊNCIAS

ADLER, F.R.;TANNER, C.J. **Ecosistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído**; tradução Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R., Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. **RAEGA** [online] 36, 38-68. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/39719/27989>. Acesso: 09 mar. 2019.

ALBUQUERQUE, M.H. **Determinação da concentração de metais no material particulado (PM₁₀ e PM_{2,5}) do ar atmosférico em uma área urbana da cidade do Natal-RN**. 2013. Dissertação. (Mestrado em química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

ALCÂNTARA, A.C. **Inserção de Variáveis Meteorológicas na Previsão de Poluentes Atmosféricos Utilizando Técnicas Computacionais Inteligentes na Região Metropolitana do Recife**. 2019. Dissertação. (Mestrado em engenharia de sistema), Universidade de Pernambuco, 2019.

AMARANTE, O.A. C DO et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

AMATO-LOURENÇO, L. F., et al. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.03 (2019) 913-929. Estudos Avançados [online] 30, 113-130. Disponível:<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100008>. Acesso: 11 março. 2020.

ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L.S.; NÓBREGA, R.S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 018, 2020.

ASSUNÇÃO, J.V. **Dispersão atmosférica**. São Paulo, Faculdade de Saúde pública da USP, 1998./Notas de aula do curso de especialização em Saúde pública.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BARBIRATO, G.M. et al. **CLIMA E CIDADE: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: Editora UFAL, 2007.

BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. 2004. 170 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

BARROS, H. R; LOMBARDO, M.A. 2013. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **GEOUSP – espaço e tempo**, São Paulo, N°33, pp. 187-197.

BARROS, J. D. et al. **Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull**. SOCIEDADE E TERRITÓRIO (NATAL), v. 25, p. 78-92, 2013.

BARRY, R.G; CHORLY, R.J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BETANCOURT, R.M, et. al. Exposure to fine particulate, black carbon, and particle number concentration in transportation microenvironments. **Atmospheric Environment**, v. 157, p. 135-145,2017.

BRAGA, A. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**, Faculdade de Medicina, USP, 2003.

BRAGA, B. et. al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**, 2.ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.168-208p.

BRANCO, SAMUEL MURGEL. **Poluição do Ar** - Col. Polêmica - 2ª Edição. Editora Moderna. 86p. 1995 I.S.B.N.: 8516041247.

BRASIL, Resolução CONAMA n° 20, de 18 de junho de 1986. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. de 30 julho 1986.

_____. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 10 jun. 2018.

_____. Resolução Conama n. 003, de 28 de Junho de 1990. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdfidNorma=41>. Acesso em: 16 jun. 2018.

CÂNDIDO, C.M. **Ventilação natural e códigos de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió-AL**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas, 2006.

CARVALHO, C.H.R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília, 2011 - Instituto de pesquisa econômica aplicada.

CARVALHO,J.A.;LACAVA,P.T.**Emissões em processos de combustão** . São Paulo:Unesp,2003, 135p.

Cepeda M, Schoufour J, Freak-Poli R, Koolhaas CM, Dhana K, Bramer WM, Franco OH (2017) Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. *Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(16\)30021-4](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(16)30021-4).

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo. Relatório técnico. São Paulo: Secretária do meio ambiente, 2009.

- CHIQUETTO, J.B. **A distribuição espacial da concentração de ozônio troposférico associada ao uso do solo na região metropolitana de São Paulo**. 2016. Tese (doutorado em geografia física), Universidade de São Paulo, 2016.
- CLEMENTINO, M.L; SOUZA, M.A. **Como andam Natal e Recife**. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2009.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº3, de 28 de junho de 1990. DOU p.15937-15939, 22 ag. 1990.
- CORRÊA, A.C.B. Contribuição À Análise Do Recife Como Um Geossistema Urbano. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE DCG/NAPA, v. 23, nº 3, jul/dez. 2006.
- DANNI-OLIVEIRA, I M. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar-implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno**.2000. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, 2000.
- DANNI-OLIVEIRA, I M; et al. Poluição e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba/pr. *Revista de Saúde Pública / Journal of Public Health*, SÃO PAULO, v. 38, n.5, 2004.
- DENATRAN. **Sistema de registro Nacional de Veículos Automotores RENAVAN / DETRAN**. 2015. Disponível em: www.denatran.gov.br/. Acesso em: março de 2018.
- DENMAN, K.L. BRASSEUR, G.et al. Coupling between changes in the climate system and biogeochemistry. Disponível: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter7-1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.
- DUARTE, E.S.F. **Análise e caracterização do material particulado atmosférico fino em uma região metropolitana de Natal- RN**. 2016. Dissertação. (Mestrado em ciências climáticas), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- DUARTE, T. E.et. al., Reflexões sobre arborização urbana: desafios a serem superados para o incremento da arborização urbana no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente** [online]. Disponível: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n1p327-341>. Acesso: 09 mar. 2019.
- Freitas, L.C. **A qualidade do ar na região metropolitana de Fortaleza – CE sob a perspectiva do sistema clima urbano**. 2016. Tese. (Doutorado em geografia), Universidade Federal do Ceará, 2016.
- GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas** / Lisa Gartland; Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GEORGE, P. **Geografia Urbana**. São Paulo: Difel, 1983.236p.
- GOMES, E. T. A. **Recortes de paisagens na cidade do Recife: uma abordagem geográfica**. – Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Ed. Massangana, 2007. 356p.:il.

GONÇALVES, J.C; BODE,K. et. al . **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GRAHAME, T.J, KLEMM, R. SCHLESINGER, R.B (2014) .Public health and components of particulate matter: The changing assessment of black carbon. **Journal of the Air & Waste Management Association**. v. 64, p. 620-660.2014.

GRANDE RECIFE (2018) Grande Recife Consórcio de Transporte. Disponível em: <http://www.granderecife.pe.gov.br/web/grande-recife/sistema-estrutural-integrado>. Acesso em: 08/05/2018.

GUERRA, F. P., MIRANDA, R. M. **Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, II, 2011. Anais. Londrina – PR, 2011. 10 p.

GUERRA, F. P., MIRANDA, R. M. **Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, II, 2011. Anais... Londrina – PR, 2011. 10 p.

HARMAN AND S. E. BELCHER. The surface energy balance and boundary layer over urban street canyons. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 132 (2006), 2749– 2768.

HARRIS, R.W.; CLARK, J.R.; MATHENY, N.P.; Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs and vines. 3th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 687 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Eletrônica (SIDRA). 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 out. 2017.

KING, M.L. Por que não podemos esperar. Faro Editorial; São Paulo, 1ª ed., 2020.
KRECL, P. TARGINO, A.C, WIESE, L. KETZEL, M. CORREA, M.P. (2016) Screening of short-lived climate pollutants in a street canyon in a mid-sized city in Brazil. **Atmospheric Pollution Research**. v.7, p. 1022-1036, 2016.

LACERDA, A., LEROUX, T., MORATA, T., 2005. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica** 17, 403-412.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

LANDSBERG, H.E. O clima das cidades. **Revista do departamento de Geografia**, v.18, p.95-111, 2006.

LICHTENFELS, A. J; BOHM, G. & SALDIVA, P. H. N., 1993. **Correlação entre Poluição Atmosférica e Mortalidade em Idosos na RMSP**. Reunião Anual da Sociedade de Biologia Experimental, VIII Congresso Brasileiro de Biofísica, resumos. Caxambu, FESBE, p.72.

LYRA, D. G. P., TOMAZ, E. **A influência da meteorologia na dispersão dos poluentes atmosféricos da Região Metropolitana de Salvador**. 2006. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV, 2006. Anais. Florianópolis – SC, 2006. 7 p.

MAGE, David, et alli. Urban air pollution in megacities of the world. In: Atmospheric Environment, Great Britain, **Pergamon Press**, 1996, Vol.30, nº 5, p. 681-6.

MAIA, J. L., NETTO, V. M., COSTA, B. L. G. (2019). Forma Urbana e Poluição Atmosférica: Impactos na cidade do Rio de Janeiro. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.11, e20180145. DOI <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180145>.

MALACARNE, M. RIBEIRO, F. K. Análise da frequência e do padrão dos ventos na região da grande Vitória entre 2006 e 2016. **Revista Geonorte**, v. 9, p. 137-159, 2018.

MARTINS, L. A. **A Temperatura do Ar em Juiz de Fora – MG: Influência do Sítio e da Estrutura Urbana**. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP – Rio Claro, 1996, 168p. Dissertação (Mestrado em Geografia).

MELO M.L. **Paisagens do Nordeste em Pernambuco e Paraíba**. 2. ed. revista-Recife: Cepe, 2012.

MENDONÇA, F. de A. **O Clima e o Planejamento Urbano das Cidades de Porte Médio e Pequeno**: Proposições Metodológicas para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR. 1994. 322f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia FFLCH/USP, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. **O estudo do SCU - Sistema do Clima Urbano - no Brasil: Aplicações e avanços**. In: MONTEIRO, C.A.F et al. (Org.). A construção da climatologia geográfica no Brasil. 1ed.Campinas: Alínea Editora, 2015, p. 155-166.

MENDONÇA, F; MONTEIRO, C. A. de F. (Org). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2.ed. 2015, 192 p.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENEZES, P. S. F. **Validação do Modelo Matemático ISCST3 de Dispersão atmosférica a partir das emissões de Dióxido de Enxofre de uma Refinaria**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Escola Politécnica, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas.html> Acesso: abril de 2019.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueredo. **Teoria e clima urbano**. São Paulo, n. 25, 1976. (Série, Teses e Monografias).

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, SP, v.11, n.1 , p.1-13, jun. 2008.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 3a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 205-

233p.

NETO, R.X. **Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao desenvolvimento urbano**. 2015. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento Urbano), Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978.

OLIVEIRA, S.; BRUNI, A. C. e SAGULA, M. A. L. A. Análise do fluxo do vento visando ao transporte de poluentes na região da Grande São Paulo. **Revista DEA**. Camburiú, Vol.44, nº138, p.236-246,1984.

OYAMA, B. S., Identificação de fontes de partículas finas na atmosfera urbana de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, 2010.

PANDYA, R. J. et al. Diesel exhaust and asthma: hypotheses and molecular mechanism of action. **Environ Health Perspect**, v.110, (suppl 1), p.103-12, 2002.

PEIXOTO, C.P. et. al. **Curso de Fisiologia vegetal**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2020. 218p.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W.; SCHWARTZ, J. Review of Epidemiological Evidence of Health Effects of Particulate Air Pollution. **Inhalation Toxicology**, v. 7, n. 1, p. 1-18, 1995.

POPE, C. Arden et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **Jama**. Chicago, p. 1132-1141. 13 mar 2013. Disponível em: <http://jama.jamanetwork.com/>. Acesso em: 06 out. 2017.

Prefeitura do Recife. Site oficial Caracterização do território. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio> Acesso: abril de 2019.

S.O.S. AMBIENTE – Disponível em: <http://www.ecoambiental.com.br>. Acesso em: 25 set. 2017.

SANTANA, E., DA CUNHA, K. B., FERREIRA, A.L., ZAMBONI, A. **Padrões de Qualidade do ar: Experiência comparada do Brasil, EUA e União Europeia**. São Paulo: IEMA, 2012.

SANTOS, A. S. **Modelos de ocupação territorial e legislação urbanística: o caso do Recife**. 2014. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento urbano), Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

SANTOS, A.M.A. **O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho**. Ministério do Trabalho e emprego. 2001. Dissertação (Mestrado em engenharia metalúrgica) Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

- SANTOS, A.S. **A poluição atmosférica e o clima urbano: um olhar sobre a inspeção veicular no município de São Paulo**/ André Souza Santo; 2015. Dissertação (Mestrado em geografia) – Pontifícia Universidade Católica- PUC, São Paulo, 2015.
- SANTOS, P.F.C. **Microclimas urbanos na cidade do Recife-PE: proposta de zoneamento sob o enfoque do conforto térmico**. 2018. Dissertação. (Mestrado em geografia), Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- SANTOS, T.O. **Biomonitoração da qualidade do ar na região metropolitana do Recife**. 2016. Tese. (Doutorado Tecnologias Energéticas e Nucleares), Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- SANTOS, V.P. **A qualidade do ar de Dourados (MS): Uma contribuição aos estudos de clima urbano com foco no canal físico-químico**. 2014. Dissertação. (Mestrado em geografia), Universidade Federal de Grande Dourados, 2014.
- SEABRA, S.S.F, **Terminais de integração para transporte público humanizado: estudo ergonômico nos terminais do Grande Recife** /. Sadi da Silva Seabra Filho – Recife: O Autor, 2015.
- SEIDEL, D. J.; et al. Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observations: Comparison of methods and uncertainty analysis. **J. Geophys. Res.**, vol. 115, d16113, 2010.
- Sexton K, Ryan PB. Assessment of human exposure to air pollution: methods, measurements, and models. In: Watson AY, Bates RR, Kennedy D (eds). *Air Pollution, The Automobile and Public Health*. Washington, DC: National Academy Press; 1998. p. 207-38.
- SILVA, A. V. N.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, W.M. Emissão de Gases Poluentes por Veículos Automotivos em Recife? PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, p. 243-257, 2015.
- SILVA, G.R. **Características de Vento da região Nordeste análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas**. 2003. Dissertação. (Mestrado em engenharia mecânica), Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- SILVA, G.R. **Características de Vento da região Nordeste análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas**. 2003. Dissertação. (Mestrado em engenharia mecânica), Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- SILVA, I. M. **Efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico** / Isadora Mendes da Silva – Versão revisada de com a resolução CoPGr 6018 de 2011— Piracicaba, 2012. 170p. Il.
- SILVEIRA, A.L; ROMERO, M.A. **Indicadores de sustentabilidade urbana**. XI Encontro Nacional ANPUR. Salvador, BA: 2005.
- SOUSA, J.P. **Influência da forma urbana na ventilação natural: um estudo de caso no cais José Estelita, Recife**. 2016. Dissertação. (Mestrado em desenvolvimento urbano), Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

- SOUSA, N. V. et al. Avaliação de Parametrizações de Camada Limite Planetária do Modelo WRF na Costa Norte do Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 34, p. 9-21, 2019.
- SUÁREZ, L., MESSIAS, S., IGLESIAS, V., SILVA, C., CACERES, D., RUDOLPH, P. (2014). Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. **Environmental Science. Processes & impacts**. 16. 10.1039/c3em00648d.
- TARGINO, A.C. et al. Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 25, n. 2, p.1132-1146, 2018.
- TARGINO, A.C., RODRIGUES, M.V. KRECL, P. CIPOLI, Y. A. RIBEIRO, J.P. Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 1132-1146, 2018.
- TEIXEIRA, E.C. et al., 2008. **Estudo das Emissões de Fontes Móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, Brasil. *Quim. Nova* 31, 244-248.
- TRAN, D. et al. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, 8 (2006), 34–48.
- VASCONCELLOS, E.A. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. São Paulo: Ed do autor, 2006.
- VIEIRA, N.R. **Poluição do Ar - Indicadores Ambientais**. Editora E-papers Serviços Editoriais Ltda. 220p. 2009. I.S.B.N.: 9788576502159.
- VORMITTAG et. al, 2014. O monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Disponível em:<https://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wpcontent/uploads/2014/07/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar-no-Brasil-2014.pdf> Acesso: junho de 2019.
- YNOUE, R. Y.; ANDRADE, M. F. . Size-Resolved Mass Balance of Aerosol Particles over the São Paulo Metropolitan Area of Brazil. **Aerosol Science and Technology**.v. 38, p. 52-62, 2004.
- YNOUE, R.Y.; REBOITA M.S, AMBRIZZI, T., SILVA. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de textos, 184p. 2017.

APÊNDICE A - MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NOS TERMINAIS NAS DUAS COLETAS DE 2018 E 2019, NO QUAL FORAM RETIRADAS AS PRINCIPAIS PERGUNTAS PARA SER ANALISADAS NO TRABALHO.



Poluição do ar nos Terminais Integrados do RECIFE-PE

**TROPOCLIMA - Clima Urbano
POLURB**

Data da aplicação do questionário:

____/____/____

Local: _____

Horário: _____

* Faixa etária

(16 a 20 anos)

(21 a 35 anos)

(36 a 50 anos)

(50 a 65 anos)

1-Motivação para utilização do local:

Trabalho Escola

Faculdade Passeio

Outros

2- Frequência de utilização do local:

Diária Final de semana

1 vez/mês 1ª vez

2 vezes na semana

3- quanto tempo você demora no terminal integrado à espera do seu ônibus ?

10 min 15 min 30 min

1 hora Outro

4- Pra chegar nessa Integração você já passou por outro Terminal Integrado?

Sim Não

5- Você está indo pra um outro terminal Integrado ?

Sim Não

4- Você sabe o que é poluição do ar? Indique abaixo:

Emissão de gases estufas e gases tóxicos;

Tudo que é nocivo ao meio ao meio ambiente;

A queima de combustíveis fósseis e efeito estufa;

É a Poluição urbana como os lixos espalhados no chão (resíduos sólidos);

5- Você acha que existe poluição do ar em Recife-PE?

Sim Não

6- Você acha que o terminal integrado possui poluição do ar?

Sim Não

7-Você já ouviu falar sobre Material Particulado (MP)?

Sim Não

8- Você sabia que o tamanho do material particulado está diretamente relacionado com sua capacidade de causar problemas de saúde à população diretamente exposta?

Sim

Não

10- Você acha que o tempo que você fica aqui no terminal à espera do ônibus, pode prejudicar sua saúde?

Sim

Não