



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Raphael Perciliano da Silva de Almeida

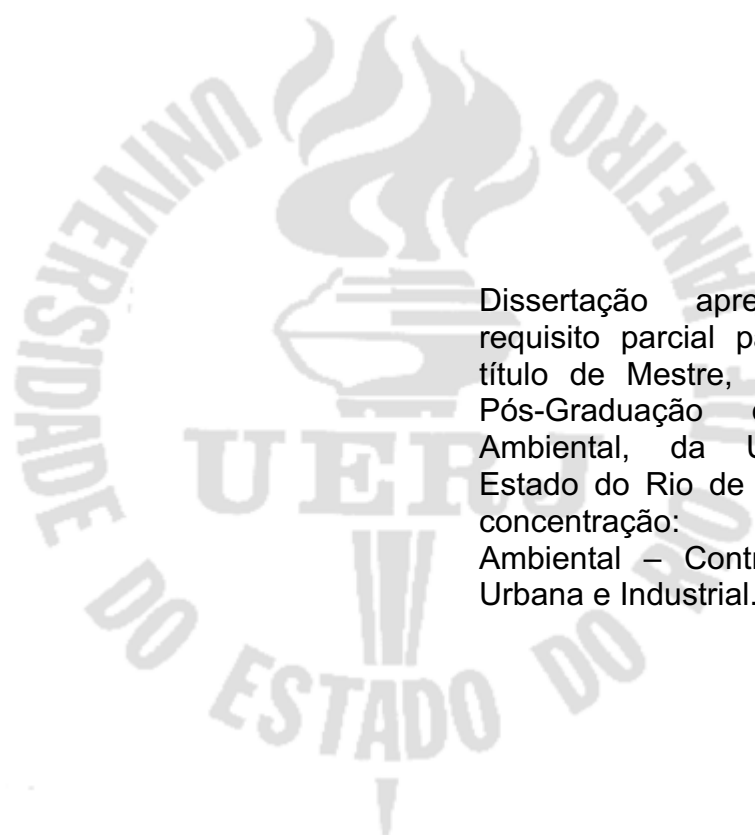
**Avaliação Estatística de Duas Áreas Distintas na Região  
Metropolitana do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2018

Raphael Perciliano da Silva de Almeida

**Avaliação Estatística de Duas Áreas Distintas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Simone Lorena Quiterio de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A447 Almeida, Raphael Perciliano da Silva de.  
Avaliação estatística de duas áreas distintas na região metropolitana do Rio de Janeiro / Raphael Perciliano da Silva de Almeida. – 2018.  
124f.

Orientadora: Simone Lorena Quitério de Souza.  
Coorientador: Sergio Machado Corrêa.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Ar - Poluição - Medição - Teses. 3. Estatística - Teses. 4. Meteorologia - Teses. 5. Rio de Janeiro (RJ) - Teses. I. Souza, Simone Lorena Quitério de. II. Corrêa, Sergio Machado. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 614.71

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Raphael Perciliano da Silva de Almeida

**Avaliação Estatística de Duas Áreas Distintas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em: 28 de agosto de 2018.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Simone Lorena Quiterio de Souza (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa (Coorientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Dra. Luciana Maria Baptista Ventura  
Instituto Estadual do Ambiente – INEA

Rio de Janeiro

2018



## DEDICATÓRIA

A Deus, por me acompanhar em todos os momentos, me guardando e me abençoando. A minha Filha, Maria Lua Monteiro Perciliano, por ser o meu combustível, minha força, minha inspiração. Aos meus Pais, por todo ensino e amor até aqui, a minha esposa por não me deixar desistir e por todo amor e cuidado, a minha família e amigos em geral, pela paciência e entendimento quanto aos meus momentos de ausência.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me ensinar que não há dificuldade quando a nossa vida está entregue à Ele. “Tudo posso naquele que me fortalece”! Filipenses 4:13.

Ao INEA pelo fornecimento dos dados das estações de qualidade do ar.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Lorena Quiterio de Souza, pela dedicação e por aceitar o desafio. Totalmente empenhada e sempre rápida nas respostas às minhas solicitações e atualização desta obra, Obrigado!

Ao meu co-orientadora, Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa, pela parceria criada, amizade, pelo passeio de veleiro para relaxar, por ser uma pessoa extremamente cativante e admirável, a ponto de impulsionar qualquer ser inanimado, um gênio!

Ao meu primeiro orientador, Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins, pessoa responsável por este trabalho, principal percurso desta obra, amigo que nunca diz não, que está sempre disposto a ajudar, muito obrigado!

A Dr<sup>a</sup>. Luciana Maria Baptista Ventura do INEA, por gentilmente aceitar fazer parte da banca avaliadora desta obra.

A todos os colegas do PEAMB/UERJ, em especial a José Claudino e Priscila Borba, que sempre se disponibilizaram para ajudar na obtenção de dados necessários para o estudo e pelo incentivo.

A querida companheira de faculdade Thainá C. Souza por mesmo a distância, ter compartilhado comigo dos momentos mais difíceis da realização deste trabalho. Como colega prestou seus conhecimentos me ajudando na composição de uma fração desta obra.

A minha amiga da África do Sul e professora de inglês no passado, Charity Monareng por ter me ajudado na revisão do Abstract.

Ao meu irmão, amigo, confidente, sócio e primo nas horas vagas rs, Thiago de Almeida Cavalcanti, por sempre estar do meu lado em qualquer circunstância. ECOTEC na veia!

A empresa Ecotec Monitoramento Ambiental ([www.ecoteceng.com.br](http://www.ecoteceng.com.br)) por me proporcionar idas ao laboratório da UERJ em Resende e custear toda os meus gastos durante o mestrado.

A minha amada família, principalmente a meus pais Luci Perciliano e Adegelzo Rodrigues, as minhas irmãs Débora Perciliano e Amanda Perciliano, ao meu irmão Pedro Lucas, ao meu avô que me deu guarida quando eu mais precisava, me deu um cantinho para morar temporariamente e continuar esta obra.

A minha filha, Maria Lua Monteiro Perciliano, meu amor eterno. Foi sempre pensando em você, foi por você!

A minha esposa, Fabiana Perciliano, pelos consecutivos dias compreendendo a minha ausência em prol da conclusão deste trabalho e por não te deixado eu desistir na reta final.

Consagre a Deus tudo o que você faz,  
e os seus planos serão bem-sucedidos.

*Provérbios 16:3*

## RESUMO

ALMEIDA, R. P. S. **Avaliação estatística de duas áreas distintas na região metropolitana do Rio de Janeiro** 2018. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O estudo da qualidade do ar de grandes cidades envolve diferentes aspectos, como as emissões, as transformações físico-químicas e meteorologia, bem como as influências topográficas, o que torna esse tipo de estudo altamente não linear. O tratamento dos dados de estações de monitoramento da qualidade do ar auxiliados por *softwares* de análises estatísticas, facilitam o entendimento das interações entre as diversas variáveis simultaneamente. Este estudo compara a qualidade do ar de duas localidades de dois ambientes distintos e distantes entre si dentro da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Taquara – TQ e Jardim Primavera - JP). Os dados utilizados correspondem às médias horárias de 2014 a 2016 para óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> e NO), ozônio (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e material particulado (MP<sub>10</sub>), umidade relativa (ur), bem como dados meteorológicos como direção e velocidade do vento. Para interpretar os resultados, uma abordagem estatística descritiva e multivariada foi utilizada para caracterizar as concentrações de cada local, relacionando-as com os tipos de fontes emissoras de cada local, para entender o impacto na qualidade do ar. Os resultados mostram que as razões entre os valores de concentração medianos e máximos para O<sub>3</sub> em JP (10,7 e 197 ppb) e de TQ (5,4 e 146 ppb) foi de 1,91 e 1,35, respectivamente. Nota-se em JP, que a cada ano, os valores para o O<sub>3</sub> diminuem e esta variação da mediana foi de 97 % para menos entre 2014 e 2016. Na TQ essa diminuição foi de apenas 2 % entre os anos de 2014 e 2016. Enquanto na TQ os valores das concentrações mediana de NO<sub>2</sub> cresceram em 22 %, houve uma diminuição de 13 % para JP. Estes valores indicam que a contribuição das fontes veiculares na TQ é mais significativa em relação a JP, onde existem fontes veiculares e emissões de grandes indústrias. Através das matrizes de correlação verificou-se que relação entre o CO e o NO<sub>x</sub> na TQ ( $r = 0,75$ ) e em JP ( $r = 0,73$ ) foram as segundas maiores relações positivas, mostrando que ambos os compostos são provenientes de fontes móveis. Os gráficos polares e rosas dos poluentes mostraram que O<sub>3</sub> possui uma contribuição de localidades vizinhas em ambas as estações, em função da dependência deste com a velocidade do vento. O estudo mostra a importância da utilização de *softwares* de cunho estatístico para o manuseio e tratamento dos dados e apresentação de resultados provenientes de estações de qualidade do ar.

Palavras-chave: Qualidade do Ar; Estatística Multivariada; Poluição Atmosférica; Meteorologia.

## ABSTRACT

ALMEIDA, R. P. S. ***Statistical evaluation of two distinct areas in the metropolitan region of Rio de Janeiro*** 2018. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The air quality study in the large cities involves different aspects, such as emissions, physical and chemical processes, transformations and meteorology as well as topographical influences, which makes this type of study highly non-linear. The treatment of the air quality data of monitoring stations aided by statistical analysis software, facilitates the understanding of the interactions between the several variables simultaneously. This study compares the air quality of two distinct localities within the Rio de Janeiro Metropolitan Region (Taquara - TQ and Jardim Primavera - JP). The data used corresponds with the hourly averages from 2014 to 2016 for nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> and NO), ozone (O<sub>3</sub>), carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and particulate matter (MP<sub>10</sub>), relative humidity (ur), as well as meteorological data such as direction and wind speed. To interpret the results, a descriptive and multivariate statistical approach was used to characterize the concentrations of each site relating them to the types of sources emitted from each location to understand the impact on air quality. The results show that the ratios between the median and maximum concentration values for O<sub>3</sub> in JP (10.7 and 197 ppb) and TQ (5.4 and 146 ppb) were 1.91 and 1.35, respectively. It is noted in JP, that each year, the values for O<sub>3</sub> decrease and this variation of the median was 97% less between 2014 and 2016. In TQ this decrease was only 2% between the years 2014 and 2016. While in TQ the median NO<sub>2</sub> concentrations increased by 22%, there was a 13% decrease for JP. These values indicate that the contribution of vehicular sources in TQ is more significant in relation to JP, where there are vehicular sources and emissions from large industries. Through the correlation matrices, it was found that the relationship between CO and NO<sub>x</sub> in TQ ( $r = 0.75$ ) and in JP ( $r = 0.73$ ) were the second highest positive relations, showing that both compounds are derived from sources. The polar and pink graphs of the pollutants showed that O<sub>3</sub> has a contribution of nearby regions in both seasons, due to its dependence on the wind speed. The study shows the importance of the use of statistical software for the handling and treatment of data and the presentation of results from air quality stations.

Keywords: Air Quality; Multivariate Statistics; Atmospheric Pollution; Meteorology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura vertical da atmosfera e sua variação de temperatura com a altitude e pressão. ....	23
Figura 2 – Perfil de temperatura em uma inversão térmica. ....	27
Figura 3 - Número de ocorrências de inversões térmicas entre de 2007 a 2016 - Força Aérea Brasileira – Campo de Marte. ....	28
Figura 4 - Variação temporal e subdivisão da Camada Limite Planetária ....	33
Figura 5 - Concepção artística do MP derivado de motor a óleo diesel.....	35
Figura 6 - Comparação entre a concentração média horária de O <sub>3</sub> e a Radiação Solar na estação Bangu – 2012. ....	37
Figura 7 - Padrões de concentração média horária de ozônio na estação Tijuca. ...	43
Figura 8 - Exemplo de estação tipo guarita.....	45
Figura 9 - (a) sensor meteorológico e com mais detalhes o (b) sensor de vento do tipo clássico com ventoinha de três conchas e biruta de pá balanceada. ....	46
Figura 10 - Abrigo meteorológico ou em um escudo de radiação.....	46
Figura 11 - Analisador contínuo Thermo Scientific™ Modelo 42i NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> .....	47
Figura 12 - Cabeça separadora MP <sub>10</sub> . ....	48
Figura 13 - Equipamentos semi-contínuos de material particulado e gases.....	49
Figura 14 - Cronograma físico de atividades em uma EMQAr.....	52
Figura 15 - Interpretação detalhada de um Boxplot.....	53
Figura 16 - Forma de apresentação de um gráfico de série temporal. ....	55
Figura 17 – Mapas de calor (gráfico polar) para concentrações de diferentes substâncias em relação a temperatura. ....	59
Figura 18 - Zoneamento Urbano Próximo da Área de Abrangência da Estação Taquara. ....	61
Figura 19 - Principais indústrias potencialmente poluidoras nas proximidades da estação de monitoramento da qualidade do ar – Taquara.....	62
Figura 20 - Mapa dos corredores de BRT.....	63
Figura 21 - Localização da estação de monitoramento de TQ. ....	64
Figura 22 - Localização da estação de monitoramento de JP. ....	65
Figura 23 – Código padrão para a leitura dos arquivos dos diferentes anos e estações. ....	68

Figura 24 - Rosas dos ventos sazonais (primavera, verão, outono, inverno) da estação Taquara 2014-2015. ....	75
Figura 25 - Rosas dos ventos sazonais (primavera, verão, outono, inverno) da estação Jardim Primavera 2014-2015. ....	76
Figura 26 - Matriz de correlação entre todas as variáveis pelo método Pearson para TQ.....	94
Figura 27 - Matriz de correlação entre todas as variáveis pelo método Pearson para JP. ....	95
Figura 28 - Rosas de Poluentes para a estação TQ.....	103
Figura 29 - Mapas de calor para a estação TQ.....	104
Figura 30 - Rosas de Poluentes para a estação JP.....	105
Figura 31 - Mapas de calor para a estação JP. ....	106



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas médias horárias e extremas para TQ e JP. ....	73
Gráfico 2 - Umidade relativa em médias horárias e extremas para TQ e JP. ....	74
Gráfico 3 - Concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP. .....	78
Gráfico 4 - NO <sub>2</sub> - concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP. ....	80
Gráfico 5 - CO – Concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP. ....	80
Gráfico 6 - SO <sub>2</sub> – Concentrações médias diárias nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP. ....	81
Gráfico 7 - MP <sub>10</sub> – Concentrações médias diárias nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP. ....	82
Gráfico 8 – Gráfico de caixa para O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> e CO estações TQ (lado esquerdo) e JP (lado direito). ....	85
Gráfico 10 – Perfis de concentrações médias normalizadas de todos os poluentes na estação de qualidade do ar TQ entre 2014–2016. ....	91
Gráfico 11 - Perfis de concentrações médias normalizadas de todos os poluentes na estação de qualidade do ar JP entre 2014 –2016. ....	92
Gráfico 12 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de O <sub>3</sub> para TQ (esquerda) e JP (direita). ....	96
Gráfico 13 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de NO <sub>2</sub> para TQ (esquerda) e JP (direita). ....	98
Gráfico 14 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de CO para TQ (esquerda) e JP (direita). ....	99
Gráfico 15 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de MP <sub>10</sub> para TQ (esquerda) e JP (direita). ....	100

Gráfico 16 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> para TQ (esquerda) e JP (direita). .....	101
Gráfico 17 - Relação entre as concentrações durante os dias da semana e finais de semana para O <sub>3</sub> e NO em estudo realizado por Martins <i>et.al.</i> (2015). .....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do Ar atmosférico próximo a superfície terrestre. ....	21
Tabela 2 - Classe de estabilidade de Pasquill relacionados ao módulo da velocidade do vento, radiação solar e cobertura de nuvens. ....	25
Tabela 3 - Relação entre as classes de Pasquill e os gradientes de temperatura ...	25
Tabela 4 - Relação da velocidade dos ventos com as características das paisagens de acordo com Beaufort. ....	30
Tabela 5 - Padrão de qualidade Brasileiro e Internacional em $\mu\text{g m}^{-3}$ .....	41
Tabela 6 - Métodos de referência para medição e monitoramento de alguns poluentes legislados.....	43
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens dos monitores automáticos no monitoramento contínuo do ar .....	47
Tabela 8 - Distância aproximada entre a REDUC e as EMQAr de Duque de Caxias. ....	60
Tabela 9 - Critério de Validação dos dados da Rede Automática.....	66
Tabela 10 - Critério de Validação dos dados da Rede Semiautomática.....	66
Tabela 11 – Variáveis de inserção para o código de leitura padrão de acordo com o ano e a estação.....	68
Tabela 12 - Estatística Básica dos dados coletados entre 2014 e 2016 na Taquara (TQ) e Jardim Primavera (JP). ....	77
Tabela 13 – Resumos das violações aos padrões de qualidade do ar estipulados pelas Resolução CONAMA 003/90 na estação da Taquara. ....	83
Tabela 14 - Resumos das violações aos padrões de qualidade do ar estipulados pelas Resolução CONAMA 003/90 na estação Jardim Primavera. ....	83
Tabela 15 – Resumo das concentrações em cada EMQAr para todo o triênio (2014-2016). ....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AL - Atmosfera Livre  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CLA - Camada Limite Atmosférica  
CLC - Camada Limite Convectiva  
CLE - Camada Limite Estável  
CLN - Camada Limite Noturna  
CLP - Camada Limite Planetária  
CM - Camada de Mistura  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COV - Compostos orgânicos voláteis  
CR - Camada Residual  
EMQAr – Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
INEA – Instituto Estadual do Ambiente  
IQAr - Qualidade do Ar  
MP – Material Particulado  
MP<sub>10</sub> - Material particulado menor que 10 µm  
MP<sub>2,5</sub> - Material particulado menor que 2,5 µm  
NAAQS *National Ambient Air Quality Standards*  
NBR – Norma Brasileira de Referência  
NO<sub>x</sub> - Óxidos de nitrogênio  
OZIPR - *Ozone Isopleth Package for Research*  
PTS – Particulado Total em Suspensão  
SAPRC - *Statewide Air Pollution Research Center*  
SMAC - Secretária Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro  
SO<sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre  
U.S. EPA - *United States Environmental Protection Agency*

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1. Caracterização da atmosfera</b> .....	<b>21</b>
1.1.1. Estrutura vertical da atmosfera.....	21
<b>1.2. Meteorologia e Dispersão dos Poluentes</b> .....	<b>23</b>
1.2.1. Estabilidade Atmosférica .....	24
1.2.2. Temperatura na Atmosfera .....	25
1.2.3. Velocidade escalar do vento.....	28
1.2.4. Radiação Solar .....	30
1.2.5. Umidade relativa .....	31
1.2.6. Camada Limite Planetária .....	31
1.2.7. Efeitos Topográficos .....	33
<b>1.3. Poluição Atmosférica</b> .....	<b>34</b>
1.3.1. Poluentes atmosféricos .....	34
1.3.1.1. Material Particulado (MP).....	34
1.3.1.2. Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	35
1.3.1.3. Compostos Orgânicos Voláteis (COV).....	36
1.3.1.4. Ozônio Troposférico (O <sub>3</sub> ) .....	37
1.3.1.5. Monóxido de Carbono (CO) .....	39
1.3.1.6. Dióxidos de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) .....	39
<b>1.4. Legislação para Qualidade do Ar</b> .....	<b>40</b>
1.4.1. Perfil de concentração dos poluentes.....	42
1.4.2. Métodos de referência e métodos equivalentes .....	43
<b>1.5. Rede de Monitoramento QAr</b> .....	<b>44</b>
<b>1.6. EMQAr</b> .....	<b>44</b>
1.6.1 Equipamentos .....	45
1.6.1.1. Sensores meteorológicos.....	45
1.6.1.2. Analisadores de Poluentes .....	47
1.6.1.3. Analisador contínuo de partículas .....	48
1.6.1.4. Equipamentos semi-contínuo de partículas e gases .....	48
1.6.2. NoBreak .....	49

1.6.3.	Datalogger .....	50
1.6.4.	Manifold .....	50
1.6.5.	Calibração.....	50
1.6.6.	Software.....	51
1.6.7.	Custos.....	51
<b>1.7.</b>	<b>Tratamento Estatístico .....</b>	<b>52</b>
1.7.1.	Análise Estatística Descritiva.....	53
1.7.2.	Gráfico de Caixa .....	53
1.7.3.	Gráfico de série temporal .....	54
1.7.4.	Análise Estatística Multivariada .....	55
1.7.5.	Matriz de Correlação .....	56
1.7.6.	Rosa dos ventos .....	57
1.7.7.	Rosas de poluentes .....	58
1.7.8.	Gráficos de Sazonalidade.....	59
1.7.9.	Gráfico de Anel .....	59
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>60</b>
<b>2.1.</b>	<b>Áreas de Estudo.....</b>	<b>61</b>
2.1.1.	Região da EMQAr da Taquara .....	61
2.1.2.	Região da EMQAr de Jardim Primavera .....	64
<b>2.2.</b>	<b>Dados Coletados.....</b>	<b>65</b>
2.2.1.	Validação dos Dados.....	66
<b>2.3.</b>	<b>Adequação dos dados brutos.....</b>	<b>67</b>
<b>2.4.</b>	<b>Pacotes e configurações adotadas .....</b>	<b>69</b>
2.4.1.	<i>OpenAir</i> .....	69
2.4.1.1.	<i>Timeplot</i> .....	69
2.4.1.2.	<i>windRose</i> .....	69
2.4.1.3.	<i>polarAnnulus</i> .....	70
2.4.1.4.	<i>polarPlot</i> .....	70
2.4.1.5.	<i>timeVariation</i> .....	71
2.4.2.	<i>corrPlot</i> .....	71
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.</b>	<b>Meteorologia.....</b>	<b>73</b>
3.1.1.	Temperatura do Ar.....	73
3.1.2.	Umidade Relativa .....	73

3.1.3.	Direção e velocidade do vento - Rosa dos ventos. ....	74
<b>3.2.</b>	<b>Estatística Descritiva</b> .....	<b>76</b>
3.2.1.	Análise das séries temporais .....	78
3.2.2.	Gráfico de Caixa e análise de discrepância .....	84
<b>3.3.</b>	<b>Perfis de concentração</b> .....	<b>88</b>
<b>3.4.</b>	<b>Estatística Multivariada</b> .....	<b>93</b>
3.4.1.	Correlação entre variáveis .....	93
3.4.2.	Gráficos de Aneis .....	95
3.4.3.	Rosas de poluentes e mapas de calor .....	102
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>107</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>109</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE – R SCRIPT</b> .....	<b>118</b>

## INTRODUÇÃO

As atividades exercidas pela a humanidade desde o início da era industrial promoveram benefícios econômicos e sociais, entretanto provocaram grandes alterações na composição química da troposfera, através da emissão de poluentes, especialmente nos ambientes urbanos e industriais (ORLANDO *et al.*, 2010).

No que tange a poluição do ar, uma das maiores problemáticas a se resolver é como gerir, da melhor forma, o crescimento industrial e da frota veicular, permitindo o desenvolvimento da economia, de maneira que a qualidade do ar não seja afetada significativamente, ao ponto de se tornar um problema de saúde pública, nem mesmo afetar ecossistemas e materiais (MAIA *et al.*, 2014; GARCIA *et al.*, 2013; MANDU, 2010).

Pode-se descrever o problema da poluição atmosférica pela presença de cinco elementos básicos: as fontes de emissão, a meteorologia, as transformações físico-químicas, a topografia e os receptores. O lançamento de gases poluentes como Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarbonetos (HC) e Material Particulado (MP) podem ser efetuados por indústrias dos mais diversos tipos, assim como, pela maciça frota veicular, que a cada dia representa um problema crônico para os grandes centros urbanos (CORRÊA *et al.*, 2012). A atmosfera é um ambiente totalmente apropriado para estes gases interagirem química e fisicamente (em conjunto com a radiação solar) e também permite que sejam transportados da sua origem para outras localidades (JUNIOR, 2006).

Atualmente a poluição atmosférica tem impactado negativamente a saúde da população, principalmente quando refere-se ao zoneamento urbano (MACIEL, 2009). Os poluentes atmosféricos tem maior impacto na saúde humana quando atingem o sistema respiratório, gerando ou potencializando os seus efeitos (NETO, 2012).

Dados da literatura sugerem que a composição da atmosfera em grandes centros urbanos é principalmente afetada pela frota veicular (MARTINS *et al.*, 2007; MIGUEL, 1998; GUO *et al.*, 2003). A cidade do Rio de Janeiro tem grande importância dentro da economia do estado e do país, motivando estudos em diferentes localidades como por exemplo no Maracanã, Floresta da Tijuca e Túnel



Rebouças (OLIVEIRA, 2015a), na Zona Oeste (MARTINS *et al.*, 2015), Gávea e Maracanã (LUNA *et al.*, 2014) e Jardim Botânico (RAINHO *et al.*, 2013).

O controle da poluição atmosférica em escala local ou regional normalmente é realizado através de rede de monitoramento da qualidade do ar. Esta rede constitui uma ferramenta útil para a segurança da saúde humana e do meio ambiente permitindo analisar o benefício de ações de saneamento e predeterminar intervenções planejadas quando as concentrações estiverem acima dos padrões de qualidade do ar estabelecido pela legislação (MOREIRA; TIRABASSI, 2004a). O item 2.4 desta obra, abordará sobre a legislação para qualidade do ar e o item 2.5 falará sobre as estações e rede de monitoramento.

Uma outra forma de entender e prever cenários de altas concentrações de poluentes na atmosfera é a utilização de modelos de qualidade do ar. Essas ferramentas são úteis para avaliar as concentrações ambientais, analisando a importância relativa das várias fontes poluidoras e estabelecer estratégias de redução de emissões (STEIN *et al.*, 2007).

Além dos modelos de qualidade do ar, o tratamento dos dados de estações de monitoramento da qualidade do ar auxiliados por *softwares* que realizam análises estatísticas, facilitam a manipulação e o estudo de diversas variáveis simultaneamente, onde os resultados advindos destas, podem ser afetados por diversos fatores. Estes *softwares* facilitam a investigação da influência desses fatores sobre as variáveis. Desde modo, não há como se falar em gestão da qualidade do ar sem entrar no campo da ciência estatística (OLIVEIRA, 2013; ABUSHAMMALA *et al.*, 2012; BARROS NETO *et al.*, 2001). Entretanto, os softwares comerciais possuem custo elevado e desta forma neste trabalho será utilizada a Linguagem R, de livre distribuição.

De acordo com o último inventário de fontes móveis para a região metropolitana do Rio de Janeiro (VENTURA e PINTO, 2016), a frota no ano de 2013 totaliza 1.352.561 veículos, incluindo automóveis, comerciais leves, ônibus, caminhões e motocicletas. Segundo o Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2015), na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 77% das emissões atmosféricas são provenientes de fontes veiculares e os 23% restantes provêm de fontes fixas, onde, os setores petroquímico, naval, químico, alimentício e de transformação de energia, são os majoritários. Essa considerável contribuição também é observada na Região Metropolitana de São Paulo, mencionada pela

CETESB em seu Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo no ano de 2014, observando que os veículos foram responsáveis por 97% das emissões de CO, 82 % de HCT, 78 % de NOx, 43 % de SOx e 40 % de MP.

As variáveis incluídas neste estudo foram coletadas pela Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da cidade do Rio de Janeiro, operada pela Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA). Desta forma, buscou-se comparar a qualidade do ar durante os anos de 2014 a 2016 de duas estações da qualidade do ar com perfis distintos, uma localizada em uma região predominantemente residencial e com fontes móveis (Taquara) e em outra com perfil industrial e com diversas fontes estacionárias oriundas de diversas indústrias, principalmente da Refinaria REDUC (Campos Elíseos). Com os dados obtidos pelas estações automáticas da qualidade do ar do INEA, foi utilizada a Linguagem R para o estudo estatístico descritivo e multivariado dos dados. Os dados serão comparados entre as localidades (gráficos de caixa e gráficos de séries temporais) e com a CONAMA Resolução 03/90. Em seguida os dados serão correlacionados entre eles por meio de matrizes de correlação. Os dados dos poluentes também serão comparados e correlacionados com os parâmetros meteorológicos como a temperatura, a umidade relativa, a direção e intensidade do vento, por meio de rosas dos ventos, gráficos polares e gráficos de anéis.

### **Objetivo Geral**

Estudar a qualidade do ar em dois ambientes distintos na região metropolitana do Rio de Janeiro através de avaliação estatística.

### **Objetivos Específicos**

- Utilizar a Linguagem R para o tratamento estatístico dos dados das estações de qualidade do ar da Taquara (TQ) e Jardim Primavera (JP) em um período de 3 anos;
- Comparar e correlacionar cada tipo de ambiente com as suas principais fontes emissoras;
- Mostrar a importância da utilização de ferramentas de análises de dados de qualidade do ar;
- Propor procedimentos possíveis para melhorar a qualidade do ar.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Caracterização da atmosfera

A troposfera é uma fina camada composta principalmente de gases como o Nitrogênio (N<sub>2</sub>) e Oxigênio (O<sub>2</sub>) e complementada por outros gases em menores quantidades como por exemplo o vapor d'água (H<sub>2</sub>O) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Praticamente 99 % da atmosfera está a aproximadamente 30 km da superfícies do solo (SFORZA e SFORZA, 2016; FEGLEY e SCHAEFER, 2014). A Tabela 1 apresenta os diversos gases presentes em um volume de ar nas proximidades da superfície da Terra. Observa-se que N<sub>2</sub> (78 %) e o O<sub>2</sub> (21 %) são os mais representativos em relação ao volume total.

Tabela 1 - Composição do Ar atmosférico próximo a superfície terrestre.

Gases permanentes		Gases variáveis		
Espécies	% v v <sup>-1</sup> de ar úmido	Espécies	% (por volume)	ppm <sup>a</sup>
N <sub>2</sub>	78,08	H <sub>2</sub> O	0 a 4	-
O <sub>2</sub>	20,95	CO <sub>2</sub>	0,037	368 <sup>a</sup>
Ar	0,93	CH <sub>4</sub>	1,7 x 10 <sup>-4</sup>	1,7
Ne	0,0018	N <sub>2</sub> O	3,0 x 10 <sup>-5</sup>	0,3
He	0,0005	O <sub>3</sub>	4,0 x 10 <sup>-6</sup>	0,04 <sup>b</sup>
H	0,00006	Partículas	1,0 x 10 <sup>-6</sup>	0,01-0,15
Xe	0,000009	CFCs	2,0 x 10 <sup>-8</sup>	0,0002

<sup>a</sup>Para o CO<sub>2</sub>, 368 partes por milhão significa que para cada milhão de moléculas de Ar, 368 são moléculas de CO<sub>2</sub>.

<sup>b</sup>Valores estratosféricos a altitudes entre 11 km e 50 km estão entre 5 e 12 ppm.

Fonte: Modificado de TEIXEIRA, 2009.

#### 1.1.1. Estrutura vertical da atmosfera

A atmosfera da Terra possui uma série de camadas, cada uma com características específicas e espessuras diferentes:

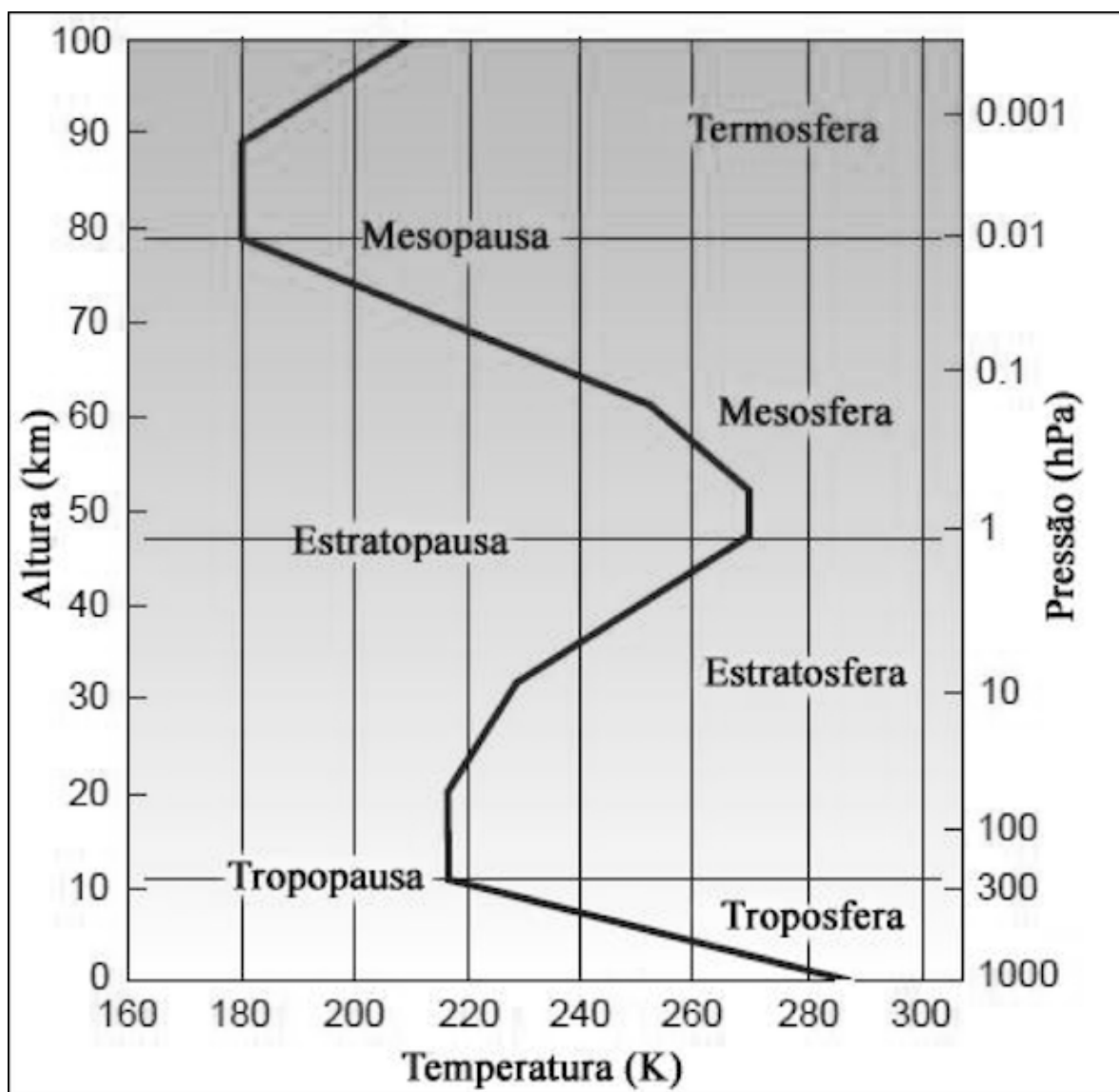
- **Troposfera.** A camada mais baixa da atmosfera, que se estende desde a superfície da Terra até a tropopausa, que está a 10-15 km de altitude dependendo da latitude e época do ano; caracterizado pela diminuição da temperatura com a altura; rápida mistura vertical.
- **Estratosfera.** Estende-se da tropopausa para a estratopausa (de ~ 45 a 55 km de altitude); a temperatura aumenta com a altitude, levando a uma camada em que a mistura vertical é lenta

- Mesosfera. Estende da estratopausa até a mesopausa (de ~ 80 a 90 km de altitude); a temperatura diminui com a altitude até a mesopausa, que é o ponto mais frio da atmosfera; mistura vertical rápida
- Termosfera. A região acima da mesopausa; caracterizado por altas temperaturas como resultado da absorção de radiação de curto comprimento de onda por  $N_2$  e  $O_2$ ; rápida mistura vertical. A ionosfera é uma região da mesosfera superior e termosfera inferior onde os íons são produzidos por fotoionização.
- Exosfera. A região mais externa da atmosfera (> 500 km de altitude) onde moléculas de gás com energia suficiente pode escapar da atração gravitacional da Terra (SEINFELD; PANDIS, 2006).

A atmosfera é dividida em perfis de camadas, onde o gradiente vertical de temperatura ( $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$ ) varia com a altitude e a pressão, conforme pode-se ver na Figura 1.

Na superfície, existe um equilíbrio entre destruição (“saída”) e produção (“entrada”) dos gases. Como exemplo, o  $N_2$  é removido da atmosfera primariamente por processos biológicos que envolvem microrganismos como as bactérias do solo e é devolvido para a atmosfera principalmente através da decomposição de matéria vegetal e animal. Por outro lado, o  $O_2$  é removido da atmosfera quando a matéria orgânica se decompõe e quando o oxigênio se combina com outras substâncias, produzindo os óxidos. Também é retirado da atmosfera durante a respiração, pois os nossos pulmões absorvem oxigênio e liberam  $CO_2$ . A produção de oxigênio para a atmosfera ocorre durante a fotossíntese, pois as plantas, na presença da luz solar, combinam  $CO_2$  e água para produzir açúcar e oxigênio (MACIEL, 2009; TEIXEIRA, 2009; VALLERO, 2008).

Figura 1 - Estrutura vertical da atmosfera e sua variação de temperatura com a altitude e pressão.



Fonte: MARQUES, 2017.

## 1.2. Meteorologia e Dispersão dos Poluentes

Algumas condições meteorológicas afetam o processo de dispersão: estabilidade atmosférica, temperatura, direção e velocidade predominante dos ventos, altura da camada de mistura da atmosfera, nebulosidade e pluviosidade. Situações meteorológicas diferentes, mas com produções de poluentes idênticas, poderão apresentar concentrações atmosféricas totalmente distintas. Isso ocorre devido à influência das condições da atmosfera (DAMILANO e JORGE, 2006).

### 1.2.1. Estabilidade Atmosférica

A estabilidade atmosférica refere-se a uma condição de equilíbrio. De forma simples, pode-se falar que a estabilidade atmosférica é a pré-disposição para resistir ou intensificar o movimento vertical, suprimindo ou intensificando a turbulência já existente. Em uma atmosfera neutra o movimento vertical é indiferente (KUMAR *et al.*, 2006).

Quando se fala de turbulência na atmosfera, dificilmente esta se encontra em condições de estabilidade neutra, ou seja, com um gradiente vertical de temperatura igual ao perfil adiabático, que resulta atmosfera seca, aproximadamente,  $-1 \text{ }^\circ\text{C } 100 \text{ m}^{-1}$ . O mundo ideal para qualquer tipo de modelo matemático seria dispor de valores do perfil de temperatura medidos *in situ*, obtendo-se valores reais das condições desejadas, entretendo, são medidas custosas que demandam tempo e muito esforço. Por isto, são estimados esses gradientes de temperatura através, como por exemplo, das classes de estabilidade propostas por Pasquill em 1961 (OLIVEIRA, 2013; TEIXEIRA, 2009; BOÇON, 1998).

Apresenta-se na Tabela 2 o grau de estabilidade atmosférica, que varia desde extremamente instável (A), que corresponde a um elevado grau de turbulência, a moderadamente estável (F), com turbulência mínima. O período noturno (“noite” na Tabela 2) refere-se ao período de 1 h antes do pôr do sol para 1 h após o nascer do sol. A categoria neutra (D), também deve ser utilizada, independentemente da velocidade do vento, para condições de nublado durante o dia ou durante a noite e para quaisquer condições do céu durante a hora anterior ou seguinte à noite, conforme definido acima (VALLERO, 2008).

Seinfeld e Pandis (2006) demonstraram que as classes de estabilidade de Pasquill estão diretamente ligadas ao gradiente vertical de temperatura ambiente  $\frac{\partial T}{\partial z}$  e com o gradiente de temperatura potencial  $\frac{\partial \theta}{\partial z}$  sendo este a medida do afastamento do perfil de temperatura em relação às condições adiabáticas, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 - Classe de estabilidade de Pasquill relacionados ao módulo da velocidade do vento, radiação solar e cobertura de nuvens.

Veloc. do vento a 10 m do solo ( $\text{m s}^{-1}$ )	Radiação Solar ( $\text{W m}^{-2}$ )			Fração de cobertura de nuvens a noite	
	> 700	350 a 700	< 350	> 50 %	< 50 %
< 2	<b>A</b>	<b>A-B</b>	<b>B</b>	-	-
2-3	<b>A-B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
3-5	<b>B</b>	<b>B-C</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
5-6	<b>C</b>	<b>C-D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
> 6	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>

A - extremamente instável

B - moderadamente instável

C - fracamente instável

D - neutra

E - fracamente estável

F - moderadamente estável

Fonte: Modificado de TEIXEIRA, 2009.

Quando  $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$ , a atmosfera está em condição de estabilidade neutra; quando  $\frac{\partial \theta}{\partial z} < 0$ , a condição é instável e quando  $\frac{\partial \theta}{\partial z} > 0$  a condição é estável (TEIXEIRA e CORRÊA, 2007).

Tabela 3 - Relação entre as classes de Pasquill e os gradientes de temperatura

Estabilidade	$\frac{\partial T}{\partial z}$ ( $^{\circ}\text{C } 100 \text{ m}^{-1}$ )	$\frac{\partial \theta}{\partial z}$ ( $^{\circ}\text{C } 100 \text{ m}^{-1}$ )
A	< -1,9	< -0,9
B	-1,9 a -1,7	-0,9 a 0,7
C	-1,7 a -1,5	-0,7 a -0,5
D	-1,5 a -0,5	-0,5 a 0,5
E	0,5 a 1,5	0,5 a 2,5
F	> 1,5	> 2,5

Fonte: TEIXEIRA, 2009; BOÇON, 1998.

### 1.2.2. Temperatura na Atmosfera

A temperatura é uma variável meteorológica relevante e está diretamente ligada com o estilo de vida de cada região do globo terrestre, modificando visualmente os ambientes e separando as estações do ano (SFORZA e SFORZA, 2016; FEGLEY e SCHAEFER, 2014).

O comportamento desta variável pode modificar de forma expressiva a dispersão dos poluentes em uma certa região, tendo em vista que sua variação pode

influenciar diretamente na estabilidade atmosférica e na altura da camada limite planetária (OLIVEIRA, 2013). A variação da temperatura atmosférica em relação a altitude é uma variável fundamental na determinação do grau de mistura vertical do material e o seu estudo apresenta grande interesse, pois eles ditam a ocorrência e o sentido dos movimentos verticais da massa de ar na atmosfera. A medida em que o ar entra em um processo de ascensão ou de descenso, sua temperatura é determinada pelo gradiente adiabático (LISBOA, 2007; SEINFELD e PANDIS, 2006).

As temperaturas mais baixas não favorecem aos movimentos verticais induzidos de forma térmica, isto permite a manutenção de poluentes em níveis mais baixos (DAMILANO e JORGE, 2006). A existência de nuvens na atmosfera pode alterar significativamente o perfil de temperatura. À medida que uma parcela aérea contendo vapor de água sobe, sua temperatura diminui e sua umidade relativa aumenta (SEINFELD e PANDIS, 2006).

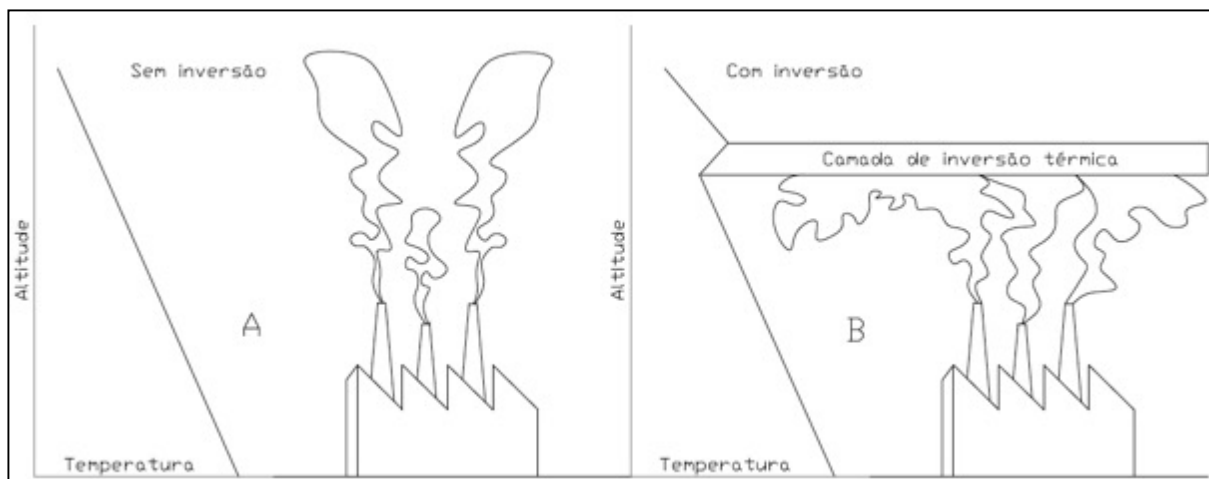
Geraldino (2017), na sua avaliação dos episódios de altas concentrações de ozônio no bairro de Bangu, Rio de Janeiro, demonstrou através de simulações usando o modelo OZIPR e o mecanismo o SAPRC que maiores níveis de radiação solar e temperatura são fatores determinantes no aumento das concentrações de ozônio e levam a episódios de alta concentração, deste modo, a temperatura é um parâmetro importante e será avaliada neste estudo.

O fenômeno de inversão térmica envolve tanto a temperatura quanto a estabilidade da atmosfera. Ocorre quando uma camada de ar quente está acima de uma camada de ar fria (Figura 2), em condições de extrema estabilidade, impedindo o movimento ascendente do ar mais frio e denso. (SEINFELD e PANDIS, 2006). A formação da inversão térmica é um dos fatores meteorológicos mais importantes para a contribuição negativa no que se refere a problemas de poluição atmosférica em áreas urbanas, pois ela age como um “tampão” (FILIP SOPORAN *et al.*, 2015; MICHANOWICZ *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2010). Como por exemplo, em 1952 a cidade de Londres passou por episódios de *smog*, com camadas de inversão de 46 m em alguns locais (FINLAYSON-PITTS e PITTS, 2000). As inversões de temperatura em Fairbanks, no Alasca, a cada inverno produzem vários dias com níveis elevados de monóxido de carbono. Pessoas que trabalham ao ar livre em áreas de alto tráfego veicular podem ser expostas a elevados níveis de monóxido de carbono por longos períodos (MALINGOWSKI *et al.*, 2014; AHRENS, 2001). A



Cidade do México sofre sua pior poluição nos meses de inverno, quando inversões de temperatura impedem que os poluentes possam dissipar (MORRIS *et al.*, 2010).

Figura 2 – Perfil de temperatura em uma inversão térmica.

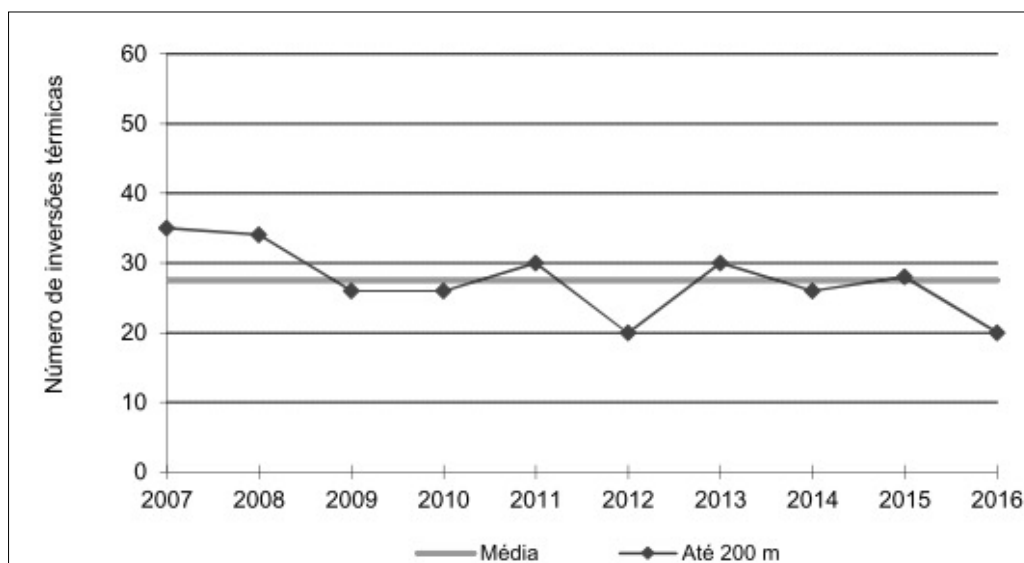


(A) Sem a inversão térmica, a temperatura do ar diminui gradativamente com a altitude, facilitando a dispersão dos poluentes; (B) quando há inversão térmica, a temperatura do ar aumenta abruptamente na camada de inversão, impedindo com que haja a dispersão dos poluentes.

FONTE: O Autor, 2017.

Desde 1976, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) publica anualmente relatórios com as análises dos dados e informações relativas à qualidade do ar realizada através da campanha chamada de Operação Inverno, que vai de maio a setembro. O relatório de 2016 enfatizou que a ocorrência de inversão térmica próxima à superfície não proporciona dispersão dos poluentes para níveis mais altos da atmosfera, promovendo um aumento significativo das concentrações dos poluentes perto da superfície. A Figura 3 mostra o número de ocorrências de inversões térmicas com altura da base igual ou inferior a 200 metros na base da Força Aérea Brasileira – Campo de Marte (CETESB, 2016).

Figura 3 - Número de ocorrências de inversões térmicas entre de 2007 a 2016 - Força Aérea Brasileira – Campo de Marte.



Fonte: CETESB, 2016.

### 1.2.3. Velocidade escalar do vento

A circulação do ar possui componentes verticais e horizontais. A causa primordial do movimento da massa de ar é a manutenção e o desenvolvimento de um gradiente de pressão horizontal. Fatores como a topografia, a distância de superfícies continentais e oceânicas e as correntes oceânicas também influem na circulação atmosférica. A componente horizontal é chamada de vento (TEIXEIRA, 2009; AYOADE, 2006). Kesarkar *et al.* (2007), em seu estudo de caso para dispersão de  $MP_{10}$  sobre a cidade de Pune na Índia, demonstraram que no modelo de qualidade do ar, uma velocidade de vento mais alta implicaria em uma maior turbulência mecânica e no aumento do transporte dos poluentes a favor do vento. A alta velocidade do vento e a turbulência mecânica elevada podem transportar os poluentes para zonas mais baixas e para além das localizações reais dos receptores durante um determinado período no dia. A velocidade do vento é o principal determinante da convecção de poluentes numa pluma.

Existem quatro fatores primordiais que controlam o movimento horizontal do ar próximo à superfície terrestre: a força do gradiente de pressão; a força de Coriolis; a aceleração centrípeta e a força de fricção. A força do gradiente de pressão por unidade de massa é expressa matematicamente na Equação 1:

$$-\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (1)$$

Onde:

$p$  = Densidade do ar

$\frac{\partial p}{\partial n}$  = Gradiente de pressão horizontal

Devido a rotação da Terra, os objetos que se movem, inclusive o ar, parecem apresentar um pequeno desvio para a direita da sua trajetória, tendo como referência o hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul, olhando-se por qualquer observador sobre a superfície da Terra. Essa força defletora, por unidade de massa, pode ser expressa na Equação 2:

$$- 2w V \text{ sen } \theta \quad (2)$$

Onde:

$w$  = Velocidade angular de rotação da Terra em torno do seu eixo

$V$  = Velocidade da massa

$\theta$  = Latitude

A aceleração centrípeta é a aceleração em direção ao centro da rotação, quando um corpo em movimento segue uma trajetória curva. É calculada pela Equação 3:

$$-\frac{mV^2}{r} \quad (3)$$

Onde:

$m$  = a massa em movimento

$V$  = Velocidade

$r$  = raio da curvatura

Por fim, a força da fricção (força de atrito) ajuda a controlar a velocidade e a direção do movimento aéreo horizontal, sendo ocasionada por obstáculos que a superfície da Terra proporciona ao movimento do ar, atuando contra o vento, reduzindo a sua velocidade. A força de atrito é calculada pela Equação 4:

$$F_{at} = \mu N \quad (4)$$

Onde:

$\mu$  = Coeficiente de atrito (adimensional),  $N$  = Força normal (N).

Pode se classificar os ventos relacionado a sua velocidade aos efeitos e modificações causadas na paisagem. Esta classificação foi proposta pelo

meteorologista anglo-irlandês Francis Beaufort, como indicada na Tabela 4 (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Tabela 4 - Relação da velocidade dos ventos com as características das paisagens de acordo com Beaufort.

Grau	Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	Classificação do vento	Características da paisagem
0	0-0,3	Calmo	A fumaça sobe verticalmente. As bandeiras pendem tranquilas.
1	0,3- 1,5	Leve	A fumaça desvia-se um pouco e indica a direção do vento.
2	1,6-3,3	Brisa leve	Sente-se o vento nas faces. As folhas das árvores alvoroçam-se.
3	3,4 – 5,4	Brisa suave	As folhas das árvores movem-se constantemente. As bandeiras desfraldam-se. Formam-se pequenas ondas de aspecto cristalino sobre os
4	5,5 – 7,9	Vento Moderado	Galhos finos de árvores curvam-se. Começa a levantar poeira e papel do solo.
5	8,0 – 10,7	Vento Fresco	Pequenas árvores em crescimento começam a se curvar. Bandeiras flamulam distendidas.
6	10,8 – 13,8	Vento Forte	Galhos grandes curvam-se. Arames silvam; há dificuldade de manter guarda-chuvas abertos.
7	13,9 – 17,1	Vento Rápido	As árvores movem-se por inteiro. É difícil caminhar contra o vento.
8	17,2 – 20,7	Ventania	Quebram-se ramos de árvores. É muito difícil caminhar contra o vento.
9	20,8 – 24,4	Ventania Forte	Estragos leves em casas e edifícios, arrancando telhas. Quebram-se galhos de árvores.
10	24,5 – 28,4	Ventania desenfreada	Árvores são arrancadas. Janelas são quebradas
11	28,5 – 32,6	Tempestade	Estragos generalizados em construções.
12	Acima de 37,20	Furacão ou Ciclone	Destruição geral.

Fonte: TEIXEIRA, 2009.

#### 1.2.4. Radiação Solar

É a energia radiante emitida pelo Sol, transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Aproximadamente 50 % desta energia é emitida como luz visível e o restante no espectro infravermelho. Fornece cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia por ano para a troposfera, sendo a principal responsável pela dinâmica da

troposfera, influenciando nas transformações físicas e químicas. Ao entrar na atmosfera, a radiação promove várias interações. Parte da energia é absorvida por gases, como o  $O_3$ , na estratosfera. Quando a luz solar atinge objetos muito pequenos, tais como moléculas de ar e partículas de poeira, a própria luz é defletida em todas as direções. Esta distribuição da luz é chamada de espalhamento (SILVA, 2012).

Oliveira (2015), através de coletas de isopreno na floresta da tijuca, demonstrou que em dias com incidência de luz solar mais baixa os dados obtidos para as amostras poderiam estar suprimidas. Camara (2015) relata episódios de grande turbulência devido a radiação solar, que corroboraram para cenários de concentrações críticas de poluentes como COV e  $O_3$ .

#### 1.2.5. Umidade relativa

A umidade relativa é a razão entre o percentual (em número de moléculas) de água no ar pelo percentual que corresponde à saturação naquela temperatura do ambiente. Mesmo sendo uma pequena fração, cerca de 4 % do volume total, ela é o componente atmosférico que determinar o tempo e o clima. A quantidade de vapor úmido contido na atmosfera muda de local para local, variando de quase zero em áreas quentes e áridas, até no máximo de 3 % em médias latitudes e 4 % nos trópicos úmidos (AYOADE, 2006).

O teor de umidade é influenciado por fatores meteorológicos pressão atmosférica, temperatura e precipitação pluviométrica. Este fator interfere na condensação da água em dias de alta umidade relativa do ar (GUEDES, 2007).

Como exemplo da influência da umidade relativa, a taxa de emissão de formaldeído a partir de materiais sintéticos aumenta com a temperatura e a umidade relativa e diminui à medida que os materiais envelhecem (BAIRD e CANN, 2008).

#### 1.2.6. Camada Limite Planetária

A troposfera subdivide-se, primordialmente, em Atmosfera Livre (AL), dominada por processos associados a larga escala e com efeitos de superfície desprezíveis e Camada Limite Atmosférica (CLA), também denominada camada limite planetária (CLP), que sofre influência direta da superfície terrestre onde o vento é influenciado pelo atrito da superfície da terra (MONTEIRO, 2014).

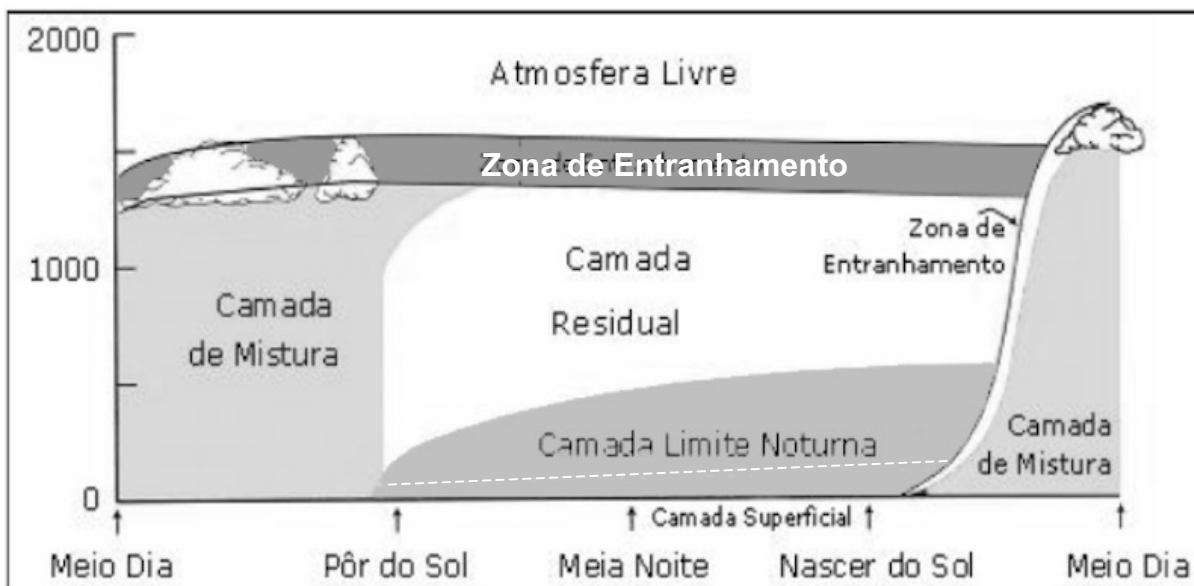
A CLP, também chamada de camada de fricção, está contida em um perfil vertical de aproximadamente 1 km a partir do solo. É ela quem determina a dispersão ou manutenção dos poluentes lançados na atmosfera (SEINFELD e PANDIS, 2006). É também nesta região, mais próxima da superfície, que o ar é mais facilmente aquecido facilitando e promovendo o caos, ou seja, deixando esta região mais susceptível a turbulências (ARAUJO, 2012).

Para a compreensão dos fenômenos interligados à dispersão de poluentes na atmosfera, se faz necessário o conhecimento da Camada Limite Planetária e dos processos da baixa troposfera, pois é nessa região que ocorrem a maior parte das emissões naturais ou antropogênicas de poluentes na atmosfera (RAPPEGLÜCK *et al.*, 2008).

Assim como a troposfera a CLP também é subdividida em regiões. Este escalonamento, apresentado em Rosa (2012a) mostra as três principais componentes desta estrutura: a Camada de Mistura (CM), a Camada Residual (CR) e a Camada Limite Estável (CLE). A CLP que se desenvolve durante o dia é chamada de Camada Limite Convectiva (CLC) enquanto aquela que se desenvolve no período da noite Camada Limite Estável (CLE) ou Camada Limite Noturna (CLN). Na CLC a ocorrência de uma inversão térmica atua como um tampão para os movimentos verticais.

As características da CLP variam de acordo com a hora do dia, principalmente devido à incidência da radiação solar. Devido a isso, a análise da camada limite é separada em camada diurna e noturna: na parte diurna os fluxos superficiais de energia são mais representativos tornando o desenvolvimento da CLA mais expressivo. Já no período noturno, assim como pode ser visualizada na Figura 4, os fluxos são diminuídos com o pôr-do-sol e a estrutura da CLA é bastante modificada.

Figura 4 - Variação temporal e subdivisão da Camada Limite Planetária



Fonte: Modificado de ROSA, 2012b.

### 1.2.7. Efeitos Topográficos

Diversos tipos de modelos matemáticos são aceitos por órgãos ambientais como a instituição americana U.S.EPA (*United States Environmental Protection Agency*). Muitos desses modelos são simples e conseguem carregar inúmeras correlações empíricas para uma topografia suficientemente plana. Para locais com topografia mais complexas como colinas e montanhas, esses modelos simplistas já não conseguem produzir resultados satisfatórios, assim como para acidentes geográficos como os vales e baixadas (OLIVEIRA, 2013; BOÇON, 1998).

Superfícies acidentadas ou modificadas pelo homem podem perturbar a camada de mistura, contribuindo para a redução dos ventos de superfície, impedindo a dissipação dos elementos poluidores (OLIVEIRA, 2013).

Em meses mais frios, vales de montanhas são locais que tendem a concentrar poluentes em maior quantidade. No período mais quente as paredes laterais dos vales são aquecidas durante o dia, até o ponto que os ventos carregem os poluentes para cima. A topografia tem grande influência sobre a poluição atmosférica em grandes cidades. Por exemplo, a cidade de Los Angeles é cercada em três lados por montes e montanhas (AHRENS, 2001). Silva *et al.* (2016), em um estudo de caso para a cidade do Rio de Janeiro usando um novo método de amostragem para a determinação de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>, explicam como a circulação de

ar é muito afetada pelas condições topográficas. Neste mesmo estudo, relatam que a Floresta da Tijuca é uma área de floresta tropical montanhosa que forma uma barreira natural para a circulação de ar dividindo a cidade em seções norte e sul.

### **1.3. Poluição Atmosférica**

O aumento contínuo da população, o aparecimento de novas plantas industriais e o aumento exponencial do número de automóveis fazem com que a poluição atmosférica continue a crescer ano após ano (GERALDINO, 2017; UEDA, 2010).

#### **1.3.1. Poluentes atmosféricos**

As fontes poluidoras são classificadas como fontes móveis (veículos automotores, por exemplo) ou fontes fixas (refinarias, petroquímicas, entre outros). Já os poluentes atmosféricos são classificados de acordo com seu estado físico, sendo: particulados e gasosos (orgânicos e inorgânicos). Eles também podem ser classificados como primários ou secundários. Os primários, são aqueles emitidos diretamente na atmosfera. MP, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos (HC) são exemplos. Os secundários, são formados por reações fotoquímicas. O O<sub>3</sub> é um poluente secundário, subproduto de reações entre os NO<sub>x</sub> e COV (Compostos Orgânicos Voláteis) (DAMILANO; JORGE, 2006).

##### **1.3.1.1. Material Particulado (MP)**

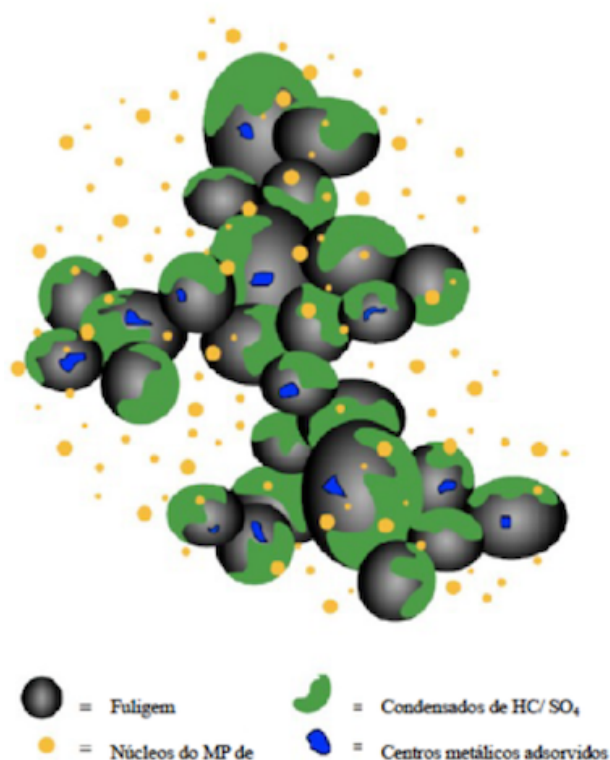
MP é o termo para partículas encontradas no ar, incluindo poeira, sujeira, fuligem, fumaça e gotas de líquido. Grandes concentrações de partículas são tipicamente emitidas por fontes como veículos a diesel e centrais a carvão. O diâmetro é sua propriedade mais considerável estando diretamente associado ao seu potencial em causar problemas à saúde humana (SOUZA, 2011).

As partículas com tamanho aerodinâmico menores que 50 µm são denominadas Partículas Totais em Suspensão (PTS) (RODRIGUES, 2016). Partículas com tamanho aerodinâmico menor que 10 µm de diâmetro (MP<sub>10</sub>) representam um problema de saúde porque podem ser inaladas e se acumulam no sistema respiratório. Partículas com tamanho aerodinâmico menor que 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>) são chamadas de partículas finas e representam os maiores riscos para a



saúde devido ao seu tamanho pequeno (aproximadamente 1/30 da largura média de um cabelo, podendo alojar-se profundamente nos pulmões (WHO, 2014). Partículas ultrafinas possuem diâmetros menores que  $0,15 \mu\text{m}$ . Estas têm superfícies de contato maiores que partículas com diâmetro de até  $2,5 \mu\text{m}$  em escalas de 1000 a 10000 vezes de magnitude. Quanto menor a partícula, maiores danos na deposição na região dos alvéolos pulmonares (ROCHA, 2015). A composição do material particulado é extremamente complexa, e na Figura 5 está ilustrado esta questão, mas, em sua maioria, o material oriundo de combustão possui diâmetros inferiores a  $2,5 \mu\text{m}$ , compostos orgânicos e inorgânicos que podem estar adsorvidos ou condensados (OLIVEIRA, 2015; MARICQ, 2007).

Figura 5 - Concepção artística do MP derivado de motor a óleo diesel.



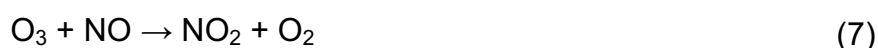
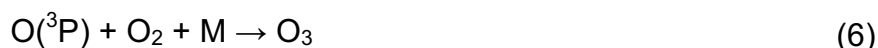
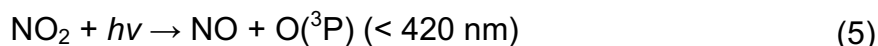
Fonte: ROCHA, 2015.

#### 1.3.1.2. Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub> é o termo que designa a soma de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) expressos como NO<sub>2</sub> (CONAMA 436, 2011). Já o termo NO<sub>y</sub> refere-se à todas as espécies inorgânicas de nitrogênio na atmosfera (RODRIGUES, 2016).

O NO é formado durante a queima do combustível em temperaturas elevadas. Quando lançado na troposfera é rapidamente transformado em NO<sub>2</sub>. Estes gases podem ser produzidos por fontes naturais como os vulcões, relâmpagos, assim como por processos biológicos em aterros sanitários (OLIVEIRA, 2013).

O NO<sub>2</sub> é precursor de outros oxidantes fortes como o ozônio troposférico, o nitrato de peroxiacetila (PAN) e o ácido nítrico. Inicialmente ocorre a dissociação fotoquímica do NO<sub>2</sub>, formando o NO mais o oxigênio atômico (Equação 5), este reage com o O<sub>2</sub> disponível formando o O<sub>3</sub> (Equação 6), concluindo a formação do ozônio troposférico na ausência de COV, segundo a Equação 7 (MARTINS *et al.*, 2015).



Onde M é um terceiro elemento, tal como o N<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub>, que remove a energia da reação e estabiliza o O<sub>3</sub> (DALLAROSA, 2005).

### 1.3.1.3. Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

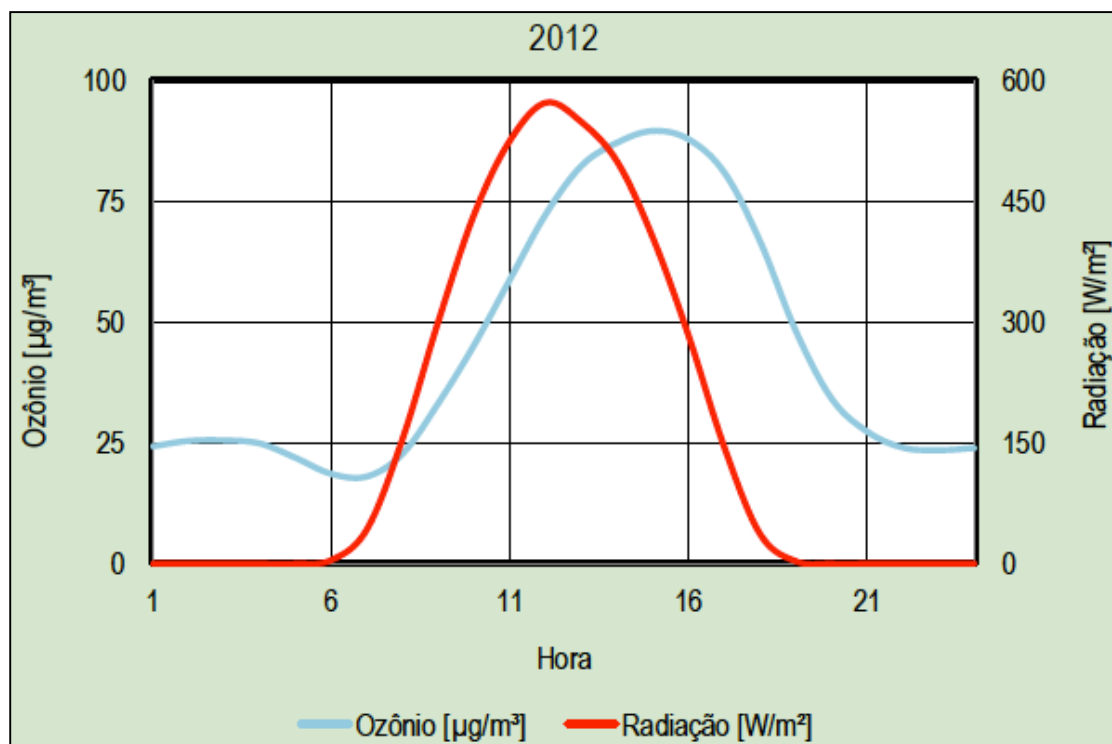
De acordo com ao site da CETESB (2017), os COV são gases e vapores que possuem pressão de vapor maior que 0,14 mmHg com até doze átomos de carbono em sua estrutura. São resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, pelas indústrias, pelos processos de estocagem e transferência de combustível etc. Muitos destes compostos, participam ativamente das reações de formação do ozônio.

Em geral são alcanos, alcenos, compostos carbonílicos e aromáticos, estes, em particular: benzeno, tolueno, etil benzeno e xilenos. Os aromáticos monocíclicos são precursores do ozônio e alguns destes compostos podem causar efeitos adversos à saúde. Os COV possuem participação fundamental nos processos de formação e consumo de ozônio na troposfera, juntamente com os NO<sub>x</sub> (OLIVEIRA, 2015).

De acordo com o Programa MonitorAr, (2012) da Secretária Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro – SMAC, os NO<sub>x</sub> e os COV combinam-se para formar o O<sub>3</sub> durante dias ensolarados e com altas temperaturas. Geralmente, a

formação de elevadas concentrações de ozônio ocorre à tarde, entre 12 h e 16h, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Comparação entre a concentração média horária de O<sub>3</sub> e a Radiação Solar na estação Bangu – 2012.



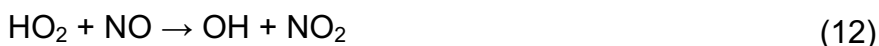
Fonte: PROGRAMA MONITORAR, 2012.

#### 1.3.1.4. Ozônio Troposférico (O<sub>3</sub>)

O ozônio é um gás incolor e com cheiro característico de ar fresco, geralmente percebido durante tempestades com trovoadas (FRANCISCO, 2012). É um gás extremamente oxidante e está presente na troposfera em níveis traço, sendo formado por reações fotoquímicas na atmosfera (MARTINS, 2006).

Em atmosferas com COV, o desequilíbrio entre a formação de ozônio e o consumo resulta na acumulação de ozônio na troposfera. Esta acumulação é resultado da oxidação de hidrocarbonetos em duas etapas. A transformação de NO para NO<sub>2</sub> sem consumo de ozônio favorece processos de formação em vez de processos de consumo. Na presença de COV, o equilíbrio entre essas espécies é desestabilizado (MARTINS *et al.* 2015). Gioda *et al.* (2017) e Martins *et al.* (2015) demonstram que os COV reagem através de uma sequência de reações com

diferentes radicais presentes na atmosfera, incluindo o radical OH, como segue as reações mostradas nas Equações 8-12.



Alguns desses radicais ( $\text{HO}_2$  e  $\text{RO}_2$ ) reagem com NO (Equações 9 e 12), convertendo-o em  $\text{NO}_2$ . Além disso, o ozônio é consumido pela reação na Equação 7 demonstrada no item 2.3.1.2.

O processo de formação de ozônio é influenciado pela relação  $\text{COV}/\text{NO}_x$ . Em baixas proporções, a reação principal é entre o radical OH e  $\text{NO}_2$ . Nesta reação o radical é removido e a formação de ozônio é atrasada. Neste cenário, as concentrações mais baixas de  $\text{NO}_x$  propiciam a formação de ozônio porque mais radicais OH estão disponíveis para interagir com os COV. De contra partida, as altas taxas da razão  $\text{COV}/\text{NO}_x$  favorecem as reações com radicais OH, o que proporciona o aumento da formação de ozônio (MARTINS *et al.*, 2015).

De acordo com Baird e Cann (2008); Finlayson-Pitts e Pitts (2000), a reação (Equação 6) mais relevante na produção do ozônio na atmosfera é entre o oxigênio atômico e o molecular.

Geraldino (2017) estudou as condições que levam a ultrapassagens dos limites de qualidade do ar para  $\text{O}_3$  no bairro de Bangu, na cidade do Rio de Janeiro, realizando o monitoramento dos 50 principais COV presentes na atmosfera do bairro supracitado, utilizando o Método TO-15 da U.S.EPA e compilados os dados meteorológicos e de concentração de poluentes legislados, fornecidos pela estação de monitoramento da SMAC. Os dados foram tratados usando estatística descritiva e multivariada. Também foi feita a análise de reatividades cinética e mecanística dos COV especiados e a simulação de um episódio de alta concentração de ozônio, utilizando o modelo de trajetórias OZIPR e o mecanismo químico SAPRC. O autor ainda analisou a influência de diversos parâmetros nos resultados do modelo e com essa simulação e da análise estatística conseguiu inferir os principais fatores que determinam a formação de  $\text{O}_3$  em dias de episódios de alta concentração. No caso

de Bangu, estes parâmetros são temperatura e radiação solar, além da relação de concentrações COV/NO<sub>x</sub>, que é uma consequência das fontes de emissão.

#### 1.3.1.5. Monóxido de Carbono (CO)

O CO é um gás, incolor e inodoro, levemente inflamável, e muito perigoso devido à sua grande toxicidade. É produzido pela queima em condições de pouco oxigênio (LACERDA e LEROUX, 2005).

Lacerda e Leroux (2005), relataram que o CO tem afinidade com a hemoglobina contida nos glóbulos vermelhos do sangue, que transportam oxigênio para os tecidos de todos os órgãos do corpo. Ainda no mesmo artigo, diz que a ação tóxica principal do CO resulta em anoxia provocada pela conversão da oxihemoglobina em carboxihemoglobina (COHb), sendo afinidade da hemoglobina pelo CO 240 vezes maior do que pelo O<sub>2</sub>.

A oxidação do metano (por OH) é uma das principais fontes de CO, assim como os processos tecnológicos que tenham combustão, a queima de biomassa e a oxidação de hidrocarbonetos não-metânicos também são representativas. Estima-se que cerca de dois terços do CO provêm de atividades antropogênicas, incluindo a oxidação do CH<sub>4</sub> proveniente de aterros sanitários e a queima incompleta de combustíveis fósseis (SEINFELD e PANDIS, 2006).

#### 1.3.1.6. Dióxidos de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

O SO<sub>2</sub> é um gás incolor, com odor de sulfeto que pode ser facilmente percebido em baixas concentrações e tem um odor pungente e irritante acima de 3,0 ppmv. É emitido para atmosfera por vulcões, pelas descargas de veículos a diesel, por refinarias de petróleo e outros processos industriais. Com base nessa evidência científica, recomenda-se que uma concentração de SO<sub>2</sub> de 500 µg m<sup>3</sup> não seja excedida em períodos médios de 10 minutos duração (WHO, 2005).

Os óxidos de enxofre também são formados na atmosfera como resultado da oxidação de compostos reduzidos de enxofre produzidos de forma natural ou antropogênica. Os óxidos de enxofre, que incluem trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>) e SO<sub>2</sub>, são produzidos quando os combustíveis e a biomassa são queimados. Devido à sua alta afinidade pelo vapor de H<sub>2</sub>O, a vida atmosférica do SO<sub>3</sub> é relativamente curta,

durando apenas segundos (GODISH, 2003). A formação de SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) é descrita pelas Equações 13 a 15:



#### 1.4. Legislação para Qualidade do Ar

O primeiro passo para a identificação e avaliação de áreas potencialmente poluidoras é a realização do Monitoramento da Qualidade do Ar.

Por este instrumento são obtidos dados que subsidiam o acompanhamento, administração e gestão da qualidade ambiental, permitindo a elaboração de políticas públicas de controle e melhoria, favorecendo a qualidade de vida da população. Tendo os dados do monitoramento da qualidade do ar compilados em informação, é possível estabelecer o grau de controle e os meios para diminuir os impactos da poluição do ar na saúde humana e no meio ambiente (INEA, 2015a).

A Resolução CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990, publicada no D.O.U de 22 de agosto de 1990, dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR (Programa Nacional de Controle de Qualidade Do Ar). No Parágrafo único do seu artigo 1º, define poluentes atmosféricos como:

Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A comunidade científica já comprovou os efeitos deletérios que determinados poluentes tem sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente, este grupo de substâncias possuem padrões de qualidade.

Segundo Organização Mundial da Saúde (OMS), 2005, os padrões de qualidade do ar (PQAr) variam de acordo com a forma adotada para balancear

riscos à saúde, viabilidade técnica, ponderações econômicas e diversos outros fatores sociais e políticos. Estes fatores também dependem do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. Para isto a OMS recomenda diretrizes que levam em conta esta heterogeneidade.

Estes poluentes são enquadrados em padrões primários, que são valores para assegurar a saúde com uma margem apropriada de segurança e secundários, que são valores escolhidos para proteger o bem estar público (SICILIANO, 2009).

No Brasil, em sua totalidade, os poluentes legislados pela CONAMA N° 03, 1990, são os seguintes: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>) e Partículas Totais em Suspensão (PTS), porém voltar a atenção apenas para estes poluentes não tem sido uma abordagem mundial. Em países como Estados Unidos, parâmetro como o MP<sub>2,5</sub>, (partículas respiráveis) e Chumbo (Pb) já está no plano de monitoramento e tem se mostrado cada vez mais importante. Estados brasileiros como São Paulo, já acompanham esta tendência, e realizam o acompanhamento das concentrações de MP<sub>2,5</sub> e de Pb (CETESB, 2018). Na Tabela 5 estão apresentados os padrões de qualidade do ar a nível Brasil e Internacional.

Tabela 5 - Padrão de qualidade Brasileiro e Internacional em  $\mu\text{g m}^{-3}$

Poluente	Duração	CONAMA		U.S.-EPA	OMS
		Padrão 1 <sup>0</sup>	Padrão 2 <sup>0</sup>		
PTS	24 h*	240	150	N/A	N/A
	MGA	80	60	N/A	N/A
Fumaça	24 h*	150	100	N/A	N/A
	MAA	60	40	N/A	N/A
MP <sub>10</sub>	24 h*	150	150	150	50
	MMA	50	50	N/A	20
SO <sub>2</sub>	24 h*	365	100	365	20
	MAA	80	40	80	N/A
CO	1 h*	40.000	40.000	40.000	N/A
	8 h*	10.000	10.000	10.000	10.000
O <sub>3</sub>	1 h*	160	160	157	N/A
	8 h*	N/A	N/A	N/A	100
NO <sub>2</sub>	1 h	320	190	N/A	200
	MAA	100	100	100	40
PM <sub>2,5</sub>	24 h*	N/A	N/A	35	25
	MAA	N/A	N/A	15	10
Pb	MAA	N/A	N/A	1,5	N/A

\*Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano.

MGA – média geométrica anual

MAA – média aritmética anual

N/A - não se aplica

N/I - não Informado

FONTE: Modificado de OLIVEIRA, 2013.

#### 1.4.1. Perfil de concentração dos poluentes

Todos os poluentes possuem um perfil característico, que pode ser expresso em função de um tempo determinado. No relatório da rede MonitorAr-Rio referente aos anos 2011-2012, elaborado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC, 2012), os poluentes são expressos da seguinte forma:

**(a) perfil horário** – que é a média horária dos poluentes para os dados obtidos pelo monitoramento ao longo dos anos. Este comportamento indica os horários dos picos de concentração, para cada poluente, medidos nas estações de monitoramento da qualidade do ar. Para este perfil é considerado no cálculo da média horária os dados de todo o ano de monitoramento, diminuindo a influência da sazonalidade dentro dos resultados, não desconsiderando a influência das condições meteorológicas locais;

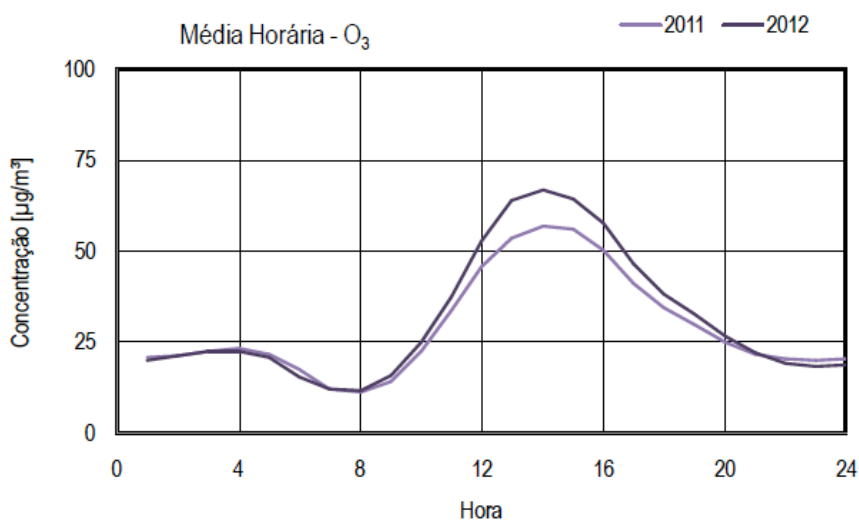
**(b) perfil sazonal** – é a média sazonal dos poluentes para os dados obtidos pelo monitoramento. São adotadas as médias calculadas de cada estação do ano: verão, outono, inverno e primavera. A análise da média sazonal não faz distinção das variações na concentração dos poluentes ao longo do dia;

**(c) perfil anual** – gráficos que apresentam o número de violações de cada poluente por estação ou região de estudo e as concentrações observadas que violaram o padrão. Elas podem ser horárias, diárias, anuais, dependendo do poluente.

Como exemplo, apresenta-se o  $O_3$  e seu perfil médio horário, com aumento gradativo das concentrações de acordo com o passar das horas, tendo as máximas concentrações médias no período da tarde, quando há uma maior incidência de luz solar, em dias de céu azul (MARTINS *et al.*, 2015). A estação de monitoramento da Tijuca, localizada na Saens Peña, Rio de Janeiro, é uma das nove estações pertencente a rede de monitoramento da SMAC. A Figura 7 mostra o perfil do  $O_3$  para os anos de 2011 e 2012 na estação Tijuca, tendo as maiores concentrações entre às 12 h e 16 h do dia, começando a diminuir com o por do sol. HU *et al.* (2013), realizaram monitoramento de  $O_3$  em dez diferentes estações em diferentes localidades em Maryland, EUA, demonstrando perfis de  $O_3$  com as mesmas características que o obtido na estação da Tijuca, no Rio de Janeiro.



Figura 7 - Padrões de concentração média horária de ozônio na estação Tijuca.



Fonte: SMAC, 2012.

#### 1.4.2 Métodos de referência e métodos equivalentes

A legislação brasileira não estabelece somente os poluentes e suas concentrações, mas também métodos de referência para sua medição e monitoramento. A Tabela 6 apresenta os poluentes e seus respectivos métodos de referência.

Tabela 6 - Métodos de referência para medição e monitoramento de alguns poluentes legislados.

<b>Poluentes</b>	<b>Método de referência</b>
PTS e MP <sub>10</sub>	Amostrador de grandes volumes
Partículas inaláveis	Separação inercial/filtração
Fumaça	Refletância
Dióxido de Enxofre	Pararosanilina
Dióxido de Nitrogênio	Quimioluminescência
Monóxido de Carbono	Infravermelho não dispersivo
Ozônio e Oxidantes	Absorção ultravioleta

Fonte: Resolução CONAMA n°3, de junho de 1990.

Quanto aos métodos de referência equivalentes, a legislação nacional não fornece informações detalhadas sobre quais são aceitáveis ou como pode um

método qualquer ser “aprovado” para ser reconhecido como tal. Como solução, tem-se adotado como métodos de referência equivalentes aqueles declarados pela Agência Nacional de Meio Ambiente dos Estados Unidos da América (U.S. EPA).

É através de um método de referência equivalente, por exemplo, que o SO<sub>2</sub> pode ser analisado por um instrumento de monitoração contínua, já que o método da Pararosanilina (Tabela 6) para medição deste poluente não é contínuo.

### **1.5. Rede de Monitoramento QAr.**

As primeiras estações manuais de amostragem da qualidade do ar do no Estado do Rio de Janeiro (ERJ) foram instaladas em 1967. A partir daí, o estado passou a investir continuamente em equipamentos de monitoramento de diversos poluentes e parâmetros meteorológicos, instalados em diversas regiões do Estado do Rio de Janeiro. A atual rede de monitoramento da qualidade do ar do INEA, em todo o Estado do Rio de Janeiro, é composta por 58 Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQAr.) automáticas, que realizam amostragens de gases (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, HC, VOC) e material particulado, continuamente, e 116 amostradores para a rede semiautomática, capazes de realizar o monitoramento das concentrações de material particulado total (PTS), inalável (PI) ou respirável (MP<sub>2.5</sub>), por 24 horas ininterruptas, de 6 em 6 dias. As estações que compõem a rede de monitoramento da qualidade do ar do ERJ estão distribuídas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), na Região Médio Paraíba (RMP) e na Região Norte Fluminense (RNF) (INEA, 2015).

A rede automática processa na forma de médias horárias, online e em tempo real, a concentração dos parâmetros de qualidade do ar e meteorologia. Estas médias são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em servidor de banco de dados, onde posteriormente passam por processo de validação técnica periódica para que sejam disponibilizadas através de boletins diários no endereço eletrônico do INEA<sup>1</sup> (INEA, 2015).

### **1.6. EMQAr**

As estações de monitoramento utilizadas no Rio de Janeiro são do tipo guarita/container (Figura 8) ou também chamadas de abrigo.

---

<sup>1</sup> [www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br)

Figura 8 - Exemplo de estação tipo guarita.



Fonte: [www.ambiente.sp.gov.br](http://www.ambiente.sp.gov.br)

As guaritas são simples salas fechadas construídas em alumínio, sem janelas, com isolamento térmico e que possuem dois aparelhos de ar condicionado operando em ciclos. As condições de umidade e temperatura devem estar dentro das faixas especificadas de operação programada. As duas estações TQ e JP, são automáticas e realizam medições contínuas das concentrações dos poluentes dispersos no ar e dos parâmetros meteorológicos, ou seja, funcionam 24 h por dia sete dias por semana. As estações de monitoramento do ar são compostas por:

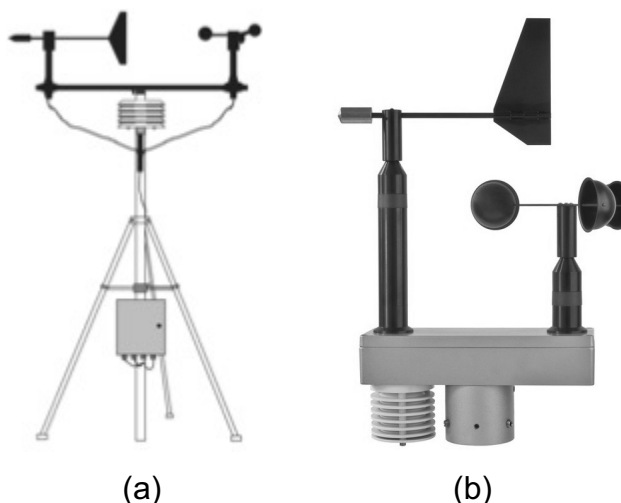
### 1.6.1 Equipamentos

#### 1.6.1.1. Sensores meteorológicos

Ambas as estações medem direção e velocidade do vento. A velocidade do vento corresponde à velocidade com que a pluma de poluentes está sendo arrastada a partir da fonte emissora e é dada em m/s. A direção do vento indica a direção de onde o vento vem (e conseqüentemente, para onde vai) e é medida em graus (0 a 360°) em relação ao Norte Magnético.

Esses parâmetros são medidos através de sensores do tipo clássico, com ventoinha de três conchas e biruta de pá balanceada, e segundo o padrão exigido, situados a 10 m de altura, que são montados em torres tipo treliça estaiadas (Figura 9).

Figura 9 - (a) sensor meteorológico e com mais detalhes o (b) sensor de vento do tipo clássico com ventoinha de três conchas e biruta de pá balanceada.



Fonte: <http://www.tek3000.com>

A umidade relativa e a temperatura ambiente são medidas cada uma em um sensor que são montados juntos na sombra. Estes sensores apresentam um protetor especial que os protege do sol e permite a passagem do ar ambiente, como mostra a Figura 10. A umidade relativa é dada em porcentagem e, portanto, pode variar de 0 a 100%, e a temperatura ambiente fornecida em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Dentro da guarita encontra-se a memória *datalogger* onde os dados meteorológicos medidos são lidos e acumulados.

Figura 10 - Abrigo meteorológico ou em um escudo de radiação



Fonte: [www.sigmasensors.com.br](http://www.sigmasensors.com.br)

### 1.6.1.2. Analisadores de Poluentes

Cada estação possui analisadores de gases de alta precisão e baixo limite de detecção (ppm e ppb respectivamente) com capacidade de medir as concentrações instantâneas de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ . Estes analisadores são importados, apresentam certificação da US EPA e necessitam ser calibrados periodicamente.

Na Figura 11, pode-se observar um analisador contínuo de última geração. Para análise dos diversos poluentes, deve ser utilizado um conjunto desses analisadores (um para cada poluente).

Figura 11 - Analisador contínuo Thermo Scientific™ Modelo 42i NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>.



Fonte: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/42i>

As vantagens e desvantagens na utilização dos monitores automáticos são listadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens dos monitores automáticos no monitoramento contínuo do ar

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Cobertura temporal ampla e precisa</b>	Processamento de dados
<b>Grande número de dados</b>	Calibração e manutenção complexas
<b>Sem manuseio de amostras</b>	Custos iniciais e operacionais altos
<b>Dados online e em tempo real</b>	Seguro alto
<b>Validação automática</b>	Depende de importação
<b>Alta tecnologia</b>	Habilitação profissional elevada

Fonte: FRONDIZI (2008, p.67).

Os dados medidos são também acumulados na memória *datalogger* para posterior processamento.

### 1.6.1.3. Analisador contínuo de partículas

O equipamento é utilizado para medir continuamente a concentração partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) no ambiente usando a metodologia da absorção da radiação beta ou de microbalança. Um analisador completo deste tipo está constituído por:

- Uma unidade central de controle e de medição;
  - Um sistema de amostragem incluindo a cabeça separadora (Figura 12);
  - Uma bomba de vácuo do tipo de palhetas rotativas com vazão controlada;
  - Um sistema de arquivamento de dados e comunicação com o exterior.
- (FRONDIZI, 2008).

Figura 12 - Cabeça separadora  $MP_{10}$ .



Fonte: FRONDIZI, 2008.

### 1.6.1.4. Equipamentos semi-contínuo de partículas e gases

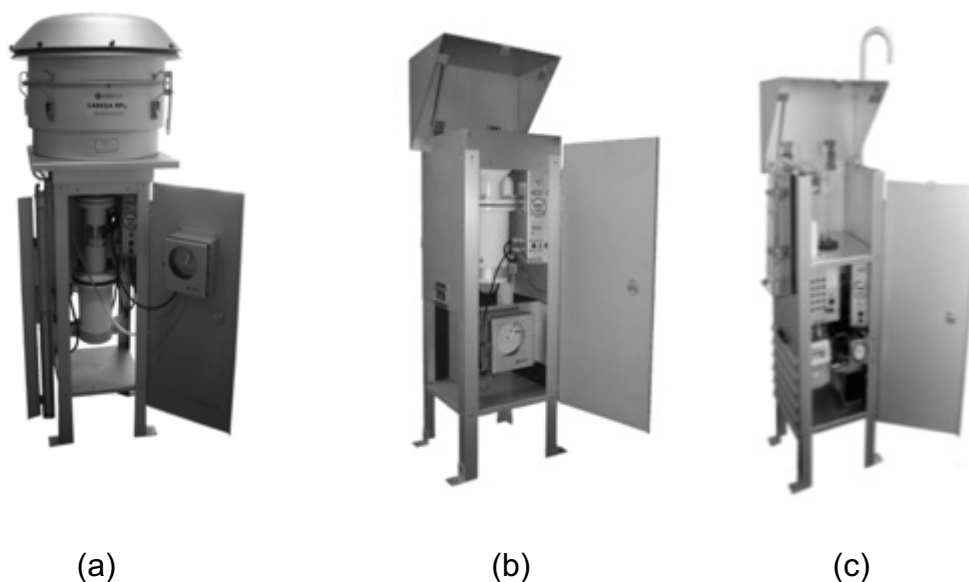
Os equipamentos semi-contínuos monitoram a concentração do material particulado em suspensão na atmosfera nas frações Partículas Totais em Suspensão (PTS) (Figura 13b), Material Particulado com diâmetro até  $10\mu m$  ( $MP_{10}$ ) (Figura 15a) e Material Particulado com diâmetro até  $2,5\mu m$  ( $MP_{2,5}$ ) (Figura 13a), por 24 horas ininterruptas, em períodos de 6 em 6 dias. As estações desta rede são visitadas semanalmente por técnicos que fazem a aferição, programação e troca dos filtros amostrados. Os filtros são pesados, a concentração de material particulado calculada e os resultados inseridos no banco de dados da rede semiautomática.

Eles empregam um controlador volumétrico de vazão (CVV), tipo *venturi*, bomba de ar com vazão aproximada de  $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , programador de tempo, horímetro, chave liga-desliga, sinaleiro e porta fusível, programador de tempo 7 dias, digital, manômetro de coluna d'água dedicado para a medida da pressão de

estagnação, casinhola de alumínio anodizado para abrigo do amostrador, ventilação interna da casinhola de abrigo, registro contínuo para a checagem (GQ) de eventos, atende à Resolução n° 3 do CONAMA (28/06/90) e ABNT (NBR 13412) e US EPA (40 CFR, Parte 50, Ap. J) (ECOTEC, 2018).

Amostrador de Pequeno Volume (APV) – Monogás ou Trigás (Figura 13c) - para a determinação da concentração de um gás poluente ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ou Amônia) no ar ambiente – por absorção química. Controle da vazão por orifício crítico. Mantém um frasco/borbulhador em baixa temperatura. Atende à resolução n° 3 do CONAMA, à NBR 9546 ( $\text{SO}_2$  pela paranitrosoanilina) e à NBR 12979 ( $\text{SO}_2$  pelo peróxido de hidrogênio) (ENERGÉTICA, [s.d.]).

Figura 13 - Equipamentos semi-contínuos de material particulado e gases



(a) Amostrador de grandes volumes para  $\text{MP}_{10}$  ou  $\text{MP}_{2,5}$ ;

(b) Amostrador de grandes volumes para PTS;

(c) Amostrador de pequeno volume para coleta de até três gases.

Fonte: <http://www.energetica.ind.br>

### 1.6.2. *NoBreak*

Este equipamento permite que os instrumentos funcionem adequadamente mesmo acontecendo quedas de tensão, e que não parem seu funcionamento, durante um certo período de tempo, após queda de energia da alimentação.

### 1.6.3. Datalogger

É, basicamente, um armazenador de dados de precisão. Os dados coletados, com intervalos de poucos segundos, em cada um dos sensores (meteorológicos e de concentração de poluentes) são guardados em uma memória temporária. Uma vez por hora, ele calcula a média destes valores para todos os parâmetros e guarda a média horária numa memória fixa. Estas médias são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em servidor de banco de dados dedicado, onde passam por processo de validação técnica periódica e, posteriormente, são disponibilizadas diariamente no endereço eletrônico do INEA<sup>2</sup>.

### 1.6.4. Manifold

Este equipamento permite fazer circular uma grande vazão de ar ambiente e apenas uma pequena parcela é amostrada pelos analisadores. Sua única função é permitir a obtenção de uma amostra mais representativa do ar ambiente sendo monitorado. O *manifold* está localizado parte dentro da guarita e parte fora dela. Construído em vidro especial e teflon, contém um pré-filtro simples que possibilita coletar, em um *erlenmeyer*, as gotas de chuva, insetos e grandes partículas sedimentáveis (FRONDIZI, 2008).

### 1.6.5. Calibração

A calibração do zero do analisador de gases é feita com ar puro livre de poluentes. Este ar é obtido passando-se o ar ambiente por um filtro simples, seguido de uma compressão e posterior passagem por filtros especiais que permitem a retirada de NO<sub>2</sub>, NO, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>.

Este ar puro livre de poluentes é misturado (através de um diluidor de precisão que o mistura, em proporções fixas e com pouca variação) ao gás padrão de alta concentração do cilindro de gases, obtendo-se um ar com concentração conhecidas e reduzidas dos poluentes. Esta mistura é utilizada para a calibração do ganho do equipamento analisador.

A calibração do amostrador contínuo de partículas é recomendada ser feita semestralmente ou até anualmente. O processo de calibração consiste em, primeiramente, se introduzir a folha de calibração marcada Zero, e então o

---

<sup>2</sup> [www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br)



equipamento se autocalibra para reconhecer este como zero do instrumento. Logo após, coloca-se a folha de calibração a um valor alto para determinar o ganho ou o *Span* do instrumento. O equipamento se autocalibra ou o usuário o ajusta.

Os sensores meteorológicos devem ser recalibrados anualmente, sendo enviados para o fornecedor, pois necessita de instrumentação especial.

#### 1.6.6. *Software*

É a partir do *software* fornecido e instalado no *notebook* e/ou no computador que é possível: verificar condições instantâneas das concentrações dos poluentes, dos parâmetros meteorológicos e temperatura e umidades internas da guarita; baixar os dados acumulados dos *dataloggers*; obter médias, tabelas e gráficos para serem usados em relatórios a partir dos dados medidos; investigar a ocorrência de erros e situações de alarme nas estações; exportar os dados medidos para planilhas eletrônicas tipo EXCEL.

#### 1.6.7. Custos

Não é possível se determinar com precisão os custos de aquisição, operação e manutenção de uma estação de monitoramento da qualidade do ar, pois diversas variáveis, opções e subopções estão disponíveis e afetam substancialmente os valores.

Sabe-se que são gastos altos valores na operação e manutenção de redes de monitoramento da qualidade do ar em qualquer lugar do planeta, e em caráter ilustrativo destes altos valores, no ano de 2017 INEA tornou público o processo administrativo licitatório de n.º E-07/002.6076/2016, na modalidade de concorrência, do tipo técnica e preço, e regime de empreitada por preço unitário com o objeto de contratação de empresa especializada na prestação de serviço de operação e manutenção da rede automática de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia do estado do Rio de Janeiro. Neste documento constam informações de custos e forma de execução do contrato de licitação para quatorze (14) estações automáticas, constando os itens: operação da rede, sistema de comunicação de dados, sistema de integração de dados, manutenção preventiva e corretiva, sistema de manutenção informatizado (SMI) e calibração. A Figura 14 apresenta o cronograma físico de atividades exigido no edital.

Figura 14 - Cronograma físico de atividades em uma EMQAR.

SERVIÇOS	1° Mês	2° Mês	3° Mês	4° Mês	5° Mês	6° Mês	7° Mês	8° Mês	9° Mês	10° Mês	11° Mês	12° Mês
<b>1. OPERAÇÃO E COMUNICAÇÃO</b>												
Operação da Rede de Estações	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Comunicação e Integração de Dados	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>2. MANUTENÇÃO</b>												
Manutenção Preventiva	x			x			x			x		
Manutenção Corretiva	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Recursos Materiais (consumíveis, peças ou equipamentos acessórios de reposição e gases de calibração).	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>3. CALIBRAÇÃO</b>												
Atividade de Calibração	x			x			x			x		

Fonte: INEA, 2017.

A licitação teve o valor global máximo, de acordo com o orçamento do INEA de R\$ 3.421.959,58 (três milhões quatrocentos e vinte e um mil novecentos e cinquenta e nove reais e cinquenta e oito centavos). Percebe-se que o maior gasto está ligado a mão de obra (operação), correspondendo por aproximadamente 20% do custo total mensal.

Desta forma, estimasse que o custo anual para se manter uma estação de monitoramento da qualidade do e meteorologia operando em perfeitas condições de funcionamento, no estado do Rio de Janeiro, é de aproximadamente R\$ 244.425,70 (duzentos e quarenta e quatro mil, quatrocentos e vinte e cinco reais e setenta centavos) baseando nos dados apresentados acima, no ano de 2017.

### 1.7. Tratamento Estatístico

A estatística é uma ciência que possui um conjunto de técnicas que permitem organizar, descrever, analisar e interpretar, de forma sistemática, dados provenientes de estudos ou experimentos, realizados em qualquer área do conhecimento humano. O objetivo fundamental da estatística é apresentar as informações de forma a permitir uma maior compreensão dos resultados (MONTGOMERY e RUNGER, 2009).

Pode-se dividir a estatística em três grandes áreas: descritiva, inferencial e probabilística. A estatística descritiva, como o próprio nome já diz, se preocupa em descrever os dados. A estatística inferencial, fundamentada na teoria das probabilidades, se preocupa com a análise destes dados e sua interpretação e a probabilística obtém informações sobre uma população a partir da análise de uma amostra (MONTGOMERY e RUNGER, 2009).

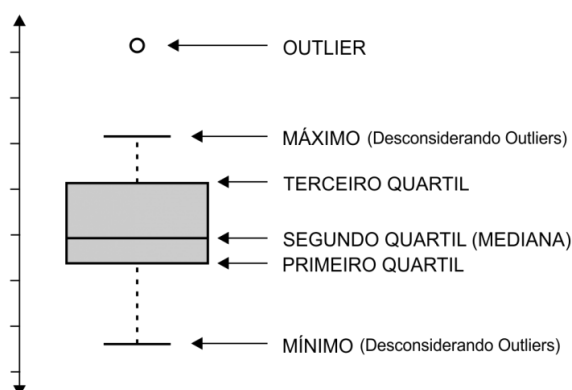
### 1.7.1. Análise Estatística Descritiva

A estatística descritiva é a etapa inicial da análise, na qual objetivo é o de sintetizar um grupo de valores de mesma natureza, sendo utilizada para descrever e resumir todos os dados. Permite que se tenha visão global da variação desses valores, organiza e apresenta os dados de três formas: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas (ROSSI e MIRTICHEV, 2016). A disponibilidade de uma grande quantidade de dados e de métodos computacionais muito eficientes revigorou esta área da estatística (REIS e REIS, 2002).

### 1.7.2. Gráfico de Caixa

O gráfico de caixa fornece uma análise visual da posição, dispersão, simetria, caudas e valores discrepantes (*outliers*) do conjunto de dados estudado. A Figura 15 detalha a forma correta de se interpretar um gráfico de caixa também conhecido como *boxplot*.

Figura 15 - Interpretação detalhada de um Boxplot



Fonte: FARIA, 2018.

- Posição – No que tange à posição dos dados, observa-se a linha central do retângulo (a mediana ou segundo quartil).
- Dispersão – A dispersão dos dados pode ser representada pelo intervalo interquartil que é a diferença entre o terceiro quartil e o primeiro quartil (tamanho da caixa), ou mesmo pela amplitude que é calculada da seguinte forma: valor máximo subtraído do valor mínimo.
- Simetria – Um conjunto de dados com distribuição simétrica, apresentará a linha da mediana no centro do retângulo. Quando a linha da mediana está próxima ao primeiro quartil, os dados são assimétricos positivos e quando a posição da linha da mediana está próxima ao terceiro quartil, os dados são assimétricos negativos.
- Caudas – As linhas que vão do retângulo até aos outliers podem fornecer o comprimento das caudas da distribuição.
- *Outliers* – Os *outliers* indicam possíveis valores discrepantes. No *boxplot*, as observações são consideradas *outliers* quando estão abaixo ou acima do limite de detecção de *outliers*.

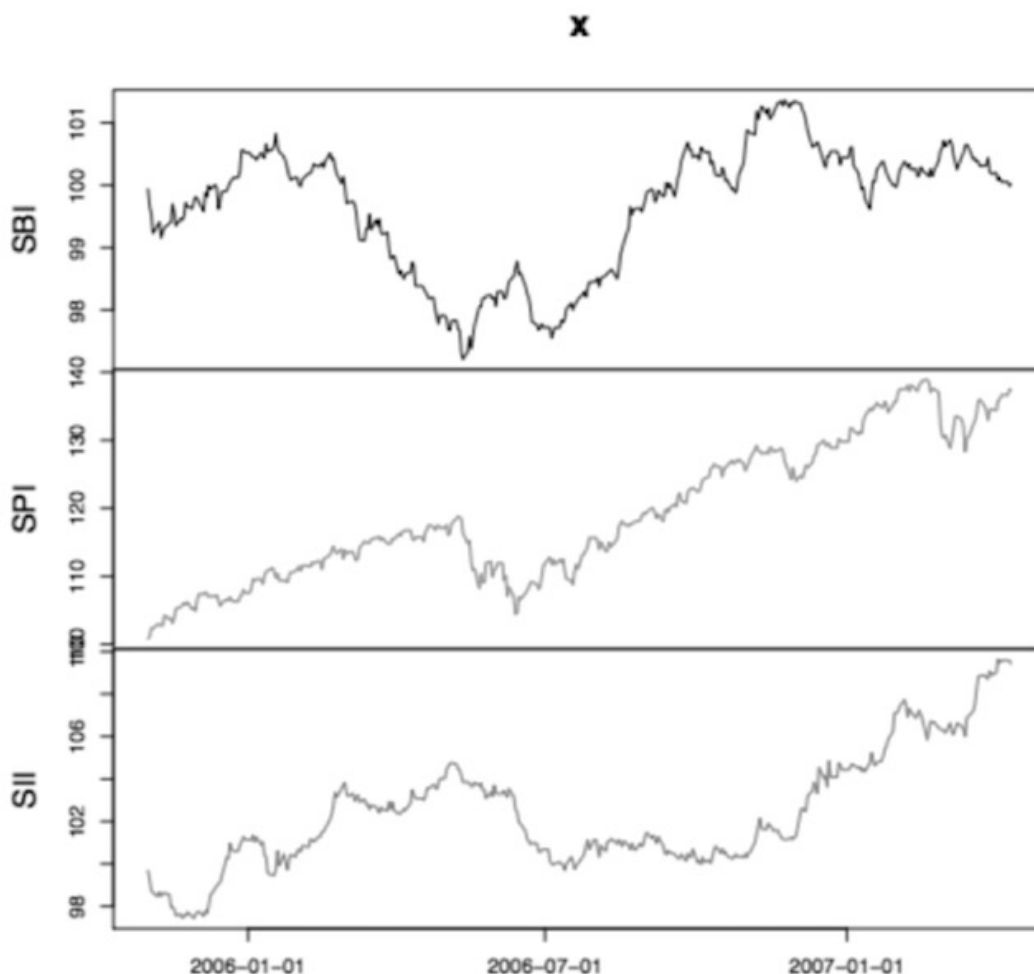
O limite de detecção de *outliers* é construído utilizando o intervalo interquartil, dado pela distância entre o primeiro e o terceiro quartil. Sendo assim, os limites inferior e superior de detecção de *outlier* são dados por:

- Limite Inferior = Primeiro Quartil –  $1,5 * (\text{Terceiro Quartil} - \text{Primeiro Quartil})$
- Limite Superior = Terceiro Quartil +  $1,5 * (\text{Terceiro Quartil} - \text{Primeiro Quartil})$  (FARIA, 2018).

### 1.7.3. Gráfico de série temporal

O gráfico de série temporal exibe valores em relação ao tempo e permite plotar rapidamente séries temporais de dados, podendo agrupar diversos poluentes simultaneamente. Esta é, ou deveria ser, uma tarefa muito comum na análise de dados de qualidade do ar, pois desta forma é possível escolher rapidamente os períodos de interesse. A Figura 16 exemplifica uma série de dados plotados no tempo, onde o eixo y estão as escalas de variação e o eixo x corresponde ao tempo.

Figura 16 - Forma de apresentação de um gráfico de série temporal.



Fonte: WURTZ; SETZ, 2014.

#### 1.7.4. Análise Estatística Multivariada

A estatística multivariada pode ser definida como um agrupamento de métodos estatísticos com a capacidade de analisar medidas de  $n$  variáveis simultaneamente, sendo extremamente útil a pesquisadores que buscam entender conjuntos de dados grandes e complexos. Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno em estudo através da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados; construir grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados original; investigar as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores (variáveis

explicativas), muitas vezes, com objetivos de predição; e, comparar populações ou validar suposições de testes de hipóteses (FRANÇA, 2009).

A análise estatística multivariada permite a interpretação das várias variáveis simultaneamente e desta forma é possível visualizar uma nova informação que não pôde ser obtida pela estatística univariada, especialmente na presença de muitas variáveis (GIODA *et al.*, 2017).

A redução da dimensionalidade dos dados na forma de clusters, o que torna mais fácil ver como os dados estão correlacionados, é outro objetivo da estatística multivariada (WEHRENS, 2011).

#### 1.7.5. Matriz de Correlação

A matriz de correlação fornece uma forma mais intuitiva para a visualização das correlações lineares entre as variáveis, sendo aplicável quando se tem um número grande delas. A apresentação na forma de matriz fornece os coeficientes de correlação e os  $\rho$ -valores para cada par de variáveis  $x$  e  $y$  correlacionados (UEDA, 2010).

Quando se tem  $\rho > 2$  variáveis, e o interesse é conhecer as correlações existentes entre elas, duas a duas, ou seja,  $X_i$  com  $X_j$ ,  $i \neq j$ . A partir de coeficientes simples obtém-se a matriz de correlações, representada da seguinte forma pela matriz de correlação populacional:

$$\rho = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \cdots & \rho_{1p} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} & \cdots & \rho_{2p} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 & \cdots & \rho_{3p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

A matriz  $\rho$  é um parâmetro populacional estimado por:

$$\hat{\rho} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{\rho}_{12} & \hat{\rho}_{13} & \cdots & \hat{\rho}_{1p} \\ \hat{\rho}_{21} & 1 & \hat{\rho}_{23} & \cdots & \hat{\rho}_{2p} \\ \hat{\rho}_{31} & \hat{\rho}_{32} & 1 & \cdots & \hat{\rho}_{3p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \hat{\rho}_{n1} & \hat{\rho}_{n2} & \hat{\rho}_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Uma das principais aplicações da matriz de correlação está na análise da estrutura de variância-covariância de um vetor aleatório "x" (LIRA, 2004).

#### 1.7.6. Rosa dos ventos

A previsão das variáveis direção e intensidade do vento é considerada de relevante dificuldade pelos previsores de forma geral. Essa dificuldade na previsão do vento à superfície (medido por anemômetros posicionados à 10m de altura) ocorre devido aos efeitos da superfície se tornarem mais evidentes na camada mais baixa da atmosfera, que se estende desde a superfície até um limite médio entre dois a três quilômetros, região conhecida como Camada Limite Planetária (CLP). (GUIMARÃES, 2012). Os dados são resumidos por direção, em graus e por diferentes categorias de velocidade do vento. Normalmente, as velocidades do vento são representadas por "pás" de largura diferentes. As parcelas mostram a proporção com porcentagem do tempo em que o vento é de um certo ângulo e a faixa de velocidade do vento.

A rosa dos ventos é uma maneira muito útil de resumir dados meteorológicos. É particularmente útil para mostrar como as condições de velocidade do vento e direção do vento variam por ano. Pode-se plotar rosas de vento de várias formas: resumindo todos os dados de velocidade do vento e direção do vento disponíveis, plotando rosas de vento individuais por ano e também por mês. O último é útil para considerar como as condições meteorológicas variam de acordo com a estação.

As condições meteorológicas são fatores importantes para a definição dos níveis de concentrações de poluentes na atmosfera, por influenciarem o tempo de permanência de cada poluente no local. Isso acontece porque, assim que o poluente é emitido para a atmosfera terrestre, ele sofrerá a ação de variáveis como velocidade e direção do vento, taxa de precipitação, temperatura, instabilidade do ar, entre outras. A relação que poluente terá com essas variáveis locais é o que vai determinar se o mesmo permanecerá no ar sob a forma emitida, se irá sofrer alterações químicas ou se irá ser transportado para um novo local (GUERRA; MIRANDA, 2011).

### 1.7.7. Rosas de poluentes

Os gráficos polares representam as concentrações na forma polar bivariada. As concentrações são mostradas para variar pela velocidade do vento e direção do vento. Os gráficos são mostrados como uma superfície contínua e as superfícies são calculadas por meio de modelagem usando técnicas de suavização. Essas plotagens provaram ser úteis para obter rapidamente uma impressão gráfica das influências de fontes potenciais em um local (CARSLAW e ROPKINS, 2012).

A direção do vento junto com a velocidade do vento pode ser altamente eficaz na discriminação de diferentes fontes de emissão. Usando coordenadas polares, os gráficos fornecem uma técnica gráfica útil que pode fornecer informações direcionais sobre as fontes. As parcelas polares bivariadas são construídas da seguinte maneira: primeiro, a velocidade do vento, a direção do vento e os dados de concentração são particionados em “bins” na direção da velocidade do vento e a concentração média calculada para cada “bin” (CARSLAW, 2015).

Os dados de direção do vento normalmente disponíveis são geralmente arredondados para 10° e para medições de superfície típicas da velocidade do vento na faixa de 0 e 30 m s<sup>-1</sup>. Intervalos maiores que 30 m s<sup>-1</sup> seriam difíceis de justificar com base na consideração da precisão dos instrumentos. Colocar os dados dessa maneira não é estritamente necessário, mas age como uma técnica eficaz de redução de dados sem afetar a fidelidade dos dados. Além disso, devido à variabilidade inerente da direção do vento na atmosfera, os dados de várias semanais, mensais ou anuais tipicamente usados para construir um gráfico polar bivariado tendem a ser difusos e não variam abruptamente com a direção ou velocidade do vento (CARSLAW e BEEVERS, 2013).

Os componentes do vento,  $u$  e  $v$  são calculados, através da Equação 19:

$$u = \bar{u} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\theta}\right), v = \bar{u} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\theta}\right) \quad (19)$$

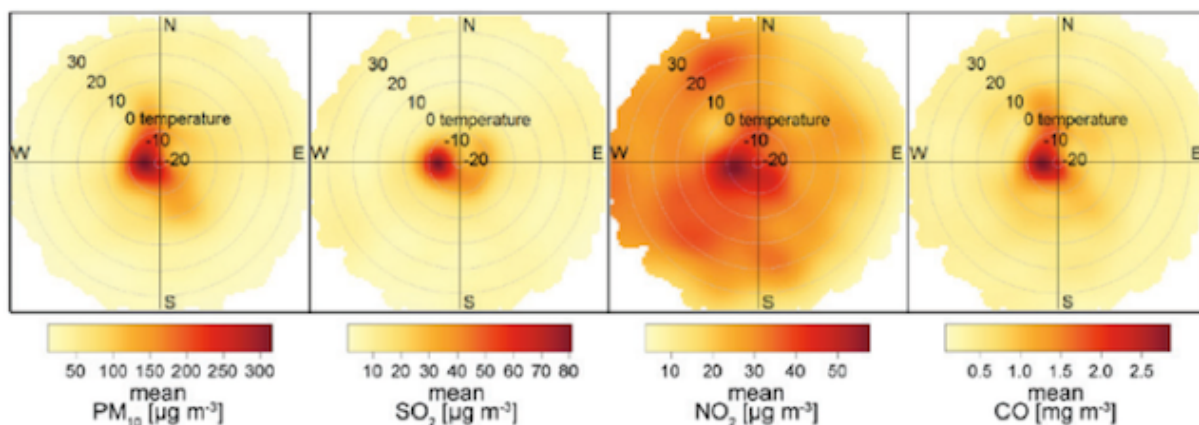
onde  $\bar{u}$  é a velocidade média horária do vento e  $\theta$  é a direção média do vento em graus.

Szulecka; Oleniacz e Rzeszutek, (2017), utilizaram uma abordagem adicional que envolve a criação de gráfico polares bivariados de calor (Figura 17) usando a temperatura em vez da direção do vento (ws), plotadas com a ferramenta



*polarPlot*, do pacote *Openair* para diferentes poluentes atmosféricos observados na estação de *Krakow-Nowa Huta*, na Polônia em 2012.

Figura 17 – Mapas de calor (gráfico polar) para concentrações de diferentes substâncias em relação a temperatura.



Fonte: SZULECKA; OLENIACZ E RZESZUTEK, (2017).

#### 1.7.8. Gráficos de Sazonalidade.

Na poluição do ar, a variação de um poluente por hora do dia e dia da semana pode revelar informações úteis sobre as fontes prováveis. Por exemplo, as emissões da frota veicular tendem a seguir padrões muito regulares, tanto diária quanto semanalmente. Em contraste, algumas emissões industriais ou poluentes de fontes naturais (por exemplo, aerossol de sal marinho) podem ter padrões muito diferentes (CARSLAW e ROPKINS, 2012).

#### 1.7.9. Gráfico de Anel

Os gráficos de anel são uma maneira de considerar os aspectos temporais da concentração de poluentes pela direção do vento. Esse é outro meio de visualizar variações diurnas, do dia da semana, sazonais e de tendência. Traçar como um anel, em vez de um círculo, evita até certo ponto a dificuldade de interpretar valores próximos da origem. Essas parcelas têm a capacidade de exibir informações potencialmente importantes sobre as fontes; particularmente se mais de um poluente estiver disponível (VALACH *et al.*, 2015).

## 2. METODOLOGIA

Dentre as cinco estações automáticas de Duque de Caxias (Jardim Primavera, Vila São Luiz, São Bento, Pilar, Campos Elíseos) escolheu-se a estação Jardim Primavera, no período de 2014 a 2016, por apresentar a maior quantidade de dados existentes e por conter todos os equipamentos/instrumentos. As demais estações, dentro deste mesmo período, tiveram mais dados faltantes quando se comparado a estação Jardim Primavera (JP). A Tabela 8 apresenta as distâncias entre as estações de Duque de Caxias, utilizando um ponto de referência fixo, em relação a REDUC. A distância poderia ser um ponto crucial dentro da análise, devido as influências que o polo petroquímico poderia promover dentro dos dados coletados pelas estações, entretanto mais de 50% das estações tem praticamente a mesma distância em relação a REDUC. Nota-se que a estação mais próxima é a de Campos Elíseos, porém esta estação não possui os equipamentos/sensores de velocidade e direção do vento, que para este estudo, são de suma importância. A estação mais distante é a de Vila São Luiz.

A Estação da Taquara (TQ) também está neste mesmo critério de seleção através da quantidade de dados existentes.

O período escolhido abrangeu dois eventos de grandiosidade: Copa do Mundo em 2014, onde o Rio de Janeiro foi Cidade-Sede e as Olimpíadas de 2016 sedeadas no Rio de Janeiro. Ambos os eventos trouxeram grandes alterações urbanísticas para a cidade.

Tabela 8 - Distância aproximada entre a REDUC e as EMQAr de Duque de Caxias.

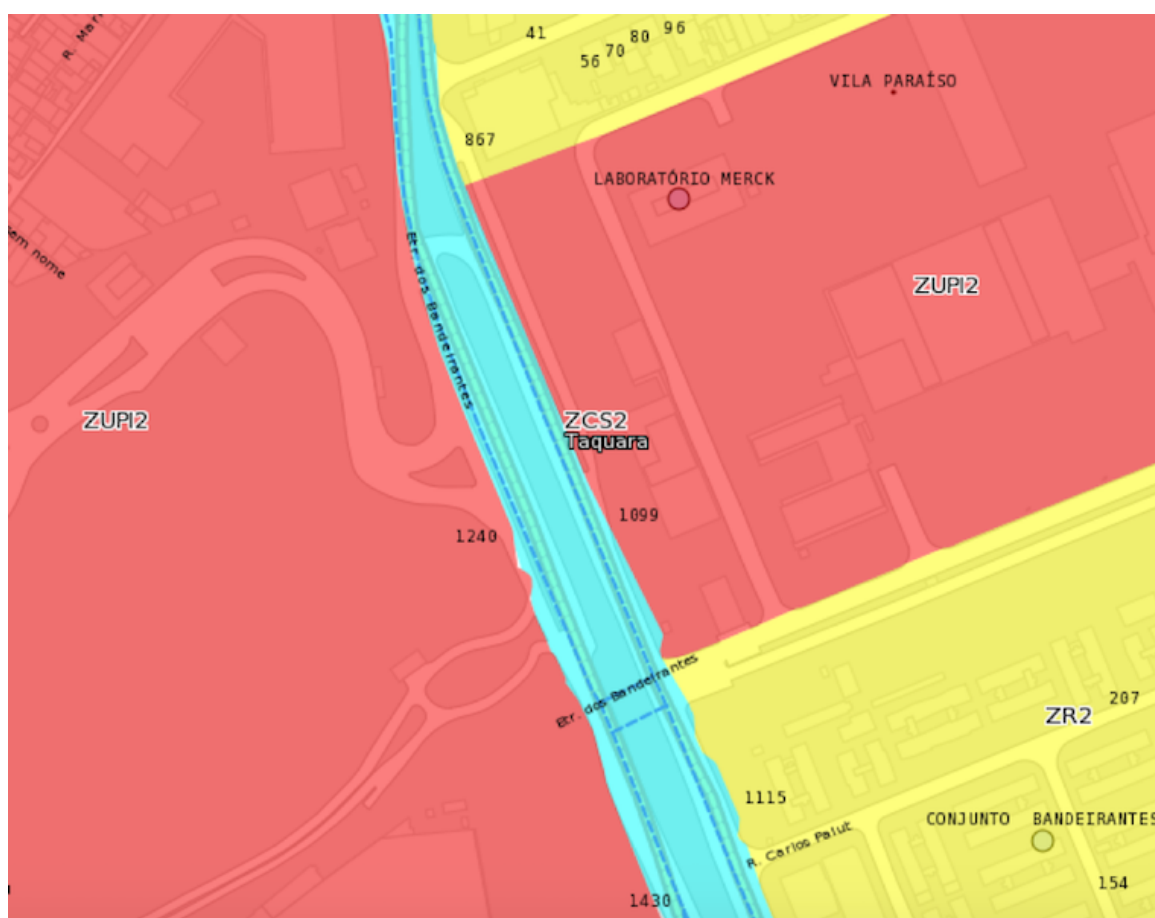
<b>EMQAr</b>	<b>Distância aproximada em km (linha reta)</b>
Campos Elíseos	1,5
São Bento	4,5
Pilar	4,6
Jardim Primavera	5,4
Vila São Luiz	7,3

## 2.1. Áreas de Estudo

### 2.1.1. Região da EMQAr da Taquara.

Localiza-se na região geográfica da Baixada de Jacarepaguá, com população estimada de 102.126 mil habitantes, área territorial de aproximadamente 1.320,66 hectares (IPP, 2017). De acordo com o zoneamento da região, consultado no site da prefeitura<sup>3</sup>, a região possui três tipos de zoneamento: Zona de Uso Predominantemente Industrial 2 (ZUPI2), Zona Comercial e de Serviços 2 (ZCS2) e Zona Residencial 2 (ZR2), como apresentado na Figura 18. Apesar de ser uma região densamente residencial e urbanizada, possui diversas indústrias ao seu redor, o que torna uma localidade urbana / industrial.

Figura 18 - Zoneamento Urbano Próximo da Área de Abrangência da Estação Taquara.



Fonte: <http://mapas.rio.rj.gov.br/>

<sup>3</sup> <http://mapas.rio.rj.gov.br/>

A Figura 19 apresenta alguma das Indústrias da região, como os laboratórios Merck, Roche, a Coca-Cola, entre outras.

Figura 19 - Principais indústrias potencialmente poluidoras nas proximidades da estação de monitoramento da qualidade do ar – Taquara.



Fonte: Elaborado pelo Autor, Google Earth, 2018.

Estas empresas possuem processos fabris que utilizam equipamentos para a geração de energia, como caldeiras a gás e motores geradores de energia elétrica a diesel, também possuem sistemas de controle de emissões como lavadores de gases, sendo estas, fontes fixas de emissão atmosféricas potencialmente poluidoras.

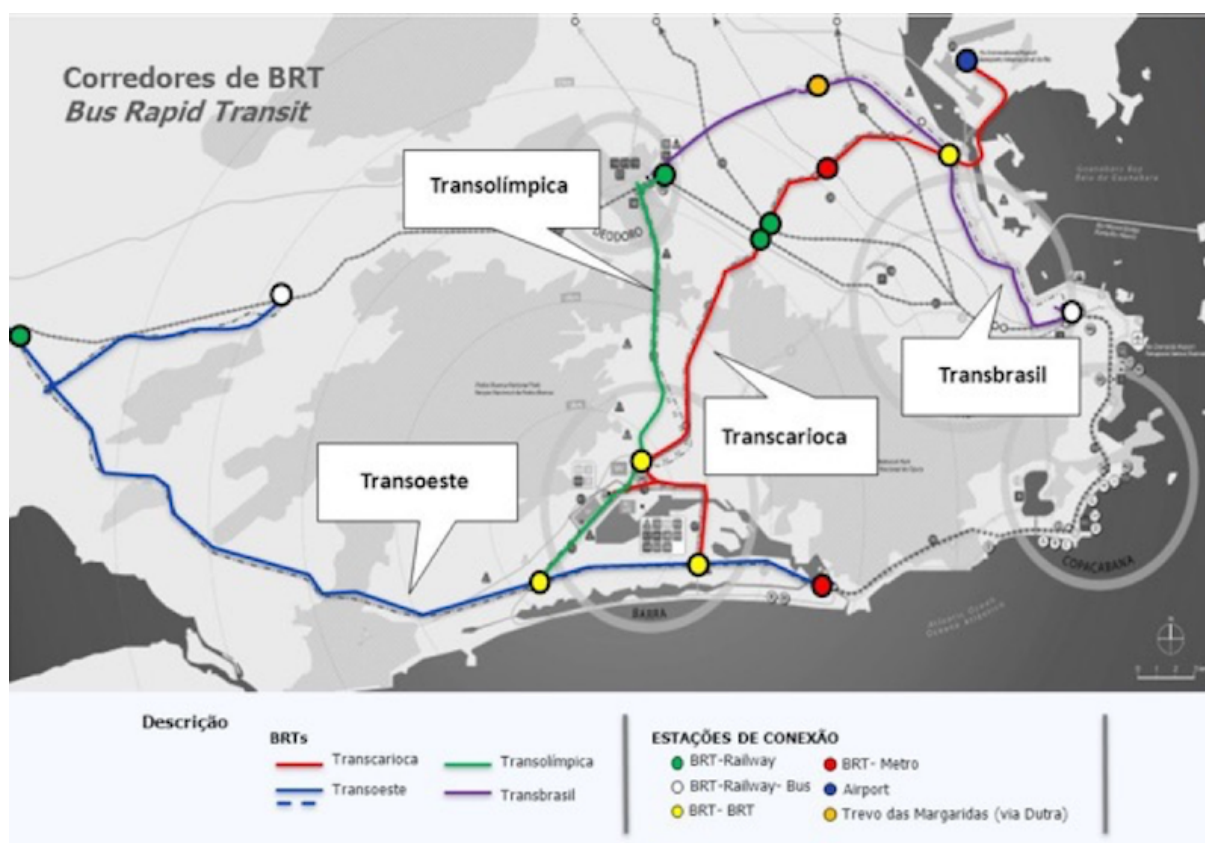
A Taquara é conhecida por seu trânsito caótico e a falta de uma linha de metrô agrava esse cenário, porém, devido a necessidade urgente de uma solução rápida e barata que atendesse os eventos Copa do Mundo de 2014 e das Olimpíadas de 2016, o bairro recebeu a criação de dois corredores expressos de ônibus BRTs, Transcarioca em 2014 e Transolímpica em 2016 (Figura 20), o que ocasionou em diversas alterações, como criações de pontes, passarelas,



alargamentos de ruas, inversão de mãos em importantes vias, entre outros (JORGE, 2013).

O corredor expresso de ônibus (BRT) Transcarioca, liga o Aeroporto Internacional Tom Jobim ao Terminal Alvorada na Barra da Tijuca, e ao longo de seus 39 km de extensão corta 19 bairros da Zona Oeste e Zona Norte. Foi inaugurado em 02 de junho de 2014, passando por duas das vias de grande importância no bairro da Taquara: Avenida Nelson Cardoso e Estrada dos Bandeirantes. Possui seis estações no bairro: Aracy Cabral, Taquara, André Rocha, Merck, Santa Efigênia e Divina Providência. A Transolímpica, inaugurada no dia 09 de julho de 2016, com 26 km de trajeto, liga Deodoro ao Recreio dos Bandeirantes, passando pelo bairro Taquara (JORGE, 2013).

Figura 20 - Mapa dos corredores de BRT



Fonte: CAU-RJ, 2014.

A estação de monitoramento da qualidade do ar da Taquara fica localizada dentro do estacionamento do laboratório da empresa Merck Brasil (Figura 21), na

latitude  $-22.933641^\circ$  e longitude  $-43.372149^\circ$  a poucos metros das estações do BRT Merck e Santa Efigênia e é operada pelo INEA.

Figura 21 - Localização da estação de monitoramento de TQ.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 2.1.2. Região da EMQAr de Jardim Primavera

Jardim Primavera é um bairro localizado no município de Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro. Conforme o CENSO 2010 a população de Jardim Primavera é 40.682 habitantes.

O bairro fica no centro geográfico do município de Duque de Caxias e faz parte do segundo distrito (Campos Elíseos) (SANTANA, 2014). O bairro fica a aproximadamente 3 km do polo petroquímico de Campos Elíseos, que é composto por um grande número de indústrias como Chevron Brasil Lubrificantes, White Martins, Braskem, Refinaria Duque de Caxias (REDUC), Usina Termelétrica Leonel Brizola, conhecida como Termorio, entre outras. (ASSECAMPE, 2012).

A Refinaria Duque de Caxias (REDUC) é uma das maiores do Brasil em capacidade instalada de refino de petróleo. Com uma logística privilegiada, responsável por 80 % da produção de lubrificantes e pelo maior processamento de

gás natural do Brasil, ela possui também o maior portfólio de produtos da Petrobras. Localizada na Baixada Fluminense, impulsionou o nascimento de um forte polo industrial na região (PETROBRAS, 2018).

A estação JP, escolhida para o estudo, fica nas proximidades da REDUC, alocada nas imediações do Arco Metropolitano, dentro do pátio da Polícia Rodoviária Federal (Figura 22), tendo como Latitude  $-22.674612^\circ$  e Longitude  $-43.285100^\circ$ .

Figura 22 - Localização da estação de monitoramento de JP.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A estação é operada e mantida pela empresa JCTM Comércio e Tecnologia e faz parte das estações da rede privada na qual o INEA detém os dados mediante a Licença de Operação de Recuperação da REDUC.

## 2.2. Dados Coletados

Os dados iniciais coletados totalizam 3 anos de massa de dados válidos para os poluentes:  $\text{NO}_x$ , NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{MP}_{10}$ , e os vetores Velocidade do Vento (ws), Direção do Vento (wd) e Temperatura (T). A quantidade de observações originais foram 26.270 casos de médias horárias para 10 variáveis para a estação da

Taquara (TQ) e 26.175 casos de médias horárias para 10 variáveis da estação de Jardim Primavera (JP).

### 2.2.1. Validação dos Dados.

A representatividade dos dados é calculada para as médias horárias, diárias, mensais e anuais, onde cada média adota uma determinada característica, com critérios definidos tanto para estação automática, como para estação semiautomática. Este critério de representatividade de dados foi utilizado pelo INEA e todos os dados utilizados neste trabalho já passaram pelo processo de validação. Nas Tabelas 9 e 10, são apresentados os critérios para validação dos dados das redes automáticas e semiautomáticas, respectivamente (INEA, 2015).

Tabela 9 - Critério de Validação dos dados da Rede Automática

REPRESENTATIVIDADE DE DADOS	
Média Horária	75 % das medidas válidas em 1 hora Média
Média Diária	75 % das medidas válidas em 24 horas 50 %
Média Anual	50 % das médias diárias válidas para os períodos: Janeiro - Abril; Maio - Agosto; Setembro - Dezembro

Fonte: INEA, 2015.

Tabela 10 - Critério de Validação dos dados da Rede Semiautomática.

REPRESENTATIVIDADE DE DADOS	
Diária	24 horas $\pm$ 15 minutos
Mensal	2/3 das médias diárias válidas no mês
Anual	1/2 das médias diárias válidas no ano

Fonte: INEA, 2015.



### 2.3. Adequação dos dados brutos

A partir desta etapa foi utilizado a linguagem R que é de código aberto e fornece uma grande variedade ferramentas de estatística (modelagem linear e não-linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento, entre outros.) Toda a programação foi realizada através do ambiente *RStudio* integrado ao R. A escolha por tal código computacional levou em conta aspectos como, existência de pacote voltado para qualidade do ar e a sua livre distribuição.

As planilhas em formato Excel (.xls) foram baixadas direto do *site* do INEA<sup>4</sup> e tratadas. Existem diversas formas de leitura de dados em planilha Excel, e a escolhida neste trabalho foi a que lê a extensão .csv. Vale ressaltar que as concentrações são apresentadas de duas formas dentro dos arquivos Excel, em ppb/ppm ou em  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Escolheu-se a primeira opção pois a maioria do referencial teórico utiliza esta unidade para as concentrações.

Um ponto importante dentro da planilha de dados é o cabeçalho. Nele deve constar a data e a sigla de cada parâmetro, onde as variáveis velocidade do vento e direção do vento, obrigatoriamente, devem ter as nomenclaturas *ws* (*wind speed*) e *wd* (*wind direction*), escritas em letras minúsculas, não podendo ser diferente, pois estes vetores já estão pré-definidos dentro do pacote *Openair*. Há uma suposição implícita de que os dados de velocidade do vento estão em unidades de  $\text{m s}^{-1}$ . As datas no R são tratadas como um tipo especial de objeto, com classe *date*.

Após estes ajustes, as planilhas Excel foram transformadas em planilhas com extensão .csv, onde os dados foram separados por vírgula (,) e as casas decimais por ponto (.). Geralmente utiliza-se o ponto e vírgula (;) como separador, porém o computador utilizado exigiu esta configuração devido a sua origem americana. Optou-se por este formato, pois os dados carregando são tabulares e simples. O arquivo CSV permitiu neste trabalho um benefício de desempenho que se tornou mais significativo a medida que foram aumentando a quantidade de conjunto de dados em uma única planilha.

Concluído a fase de ajuste da planilha, a próxima etapa foi escrever o script para a leitura dos dados utilizando o comando *read.csv*. A leitura da planilha .csv foi

---

<sup>4</sup> <http://200.20.53.7/qualiar/home/index>

realizada pelo *script* padrão apresentado na Figura 23, utilizada para dar entrada em seis lotes de dados, três para cada estação, sendo um referente a cada ano.

Figura 23 – Código padrão para a leitura dos arquivos dos diferentes anos e estações.

```
mydata_[X][Y]<- read.csv("[Z].csv", sep = ",", dec=".")
```

As variáveis dentro dos colchetes diferenciam de acordo com o ano dos e a estação de monitoramento da qualidade do ar como mapeado na Tabela 11, onde **X** = [ano dos dados], **Y** = [variável de diferenciação das estações], **Z** = [nome do arquivo .csv], **A** = 2014, **B** = 2015 e **C** = 2016.

Tabela 11 – Variáveis de inserção para o código de leitura padrão de acordo com o ano e a estação.

Variáveis	TQ = Taquara			JP = Jardim Primavera		
<b>X</b>	2014	2015	2016	2014	2015	2016
<b>Y</b>	a			aa		
<b>Z</b>	TQ_A.csv	TQ_B.csv	TQ_C.csv	JP_A.csv	JP_B.csv	JP_C.csv

Como as planilhas possuem muitos dados, trabalhar unindo todas estas informações em uma só planilha antes de lê-las no *RStudio* causariam problemas no manuseio do arquivo, devido ao seu grande número de informações. Planilhas Excel com muitas linhas de dados costuma apresentar problemas de travamento. Para evitar este transtorno, utilizou-se a ferramenta mesclar (*merge*) que tem o objetivo de unir os dados de duas planilhas distintas transformando-as em um único pacote de informações dentro do ambiente de programação. Sem dúvida, e por mais simples que seja, essa foi uma das principais ferramentas utilizadas neste trabalho. Ela possibilitou a economia de horas em tratamento de planilhas, otimizando o andamento do estudo, o que no início, antes da descoberta desta ferramenta, estava tornando o estudo improdutivo.

A data foi ajustada de acordo com o fuso horário de São Paulo, pois desta forma a linguagem apresentará corretamente os dados, quando por exemplo, forem

tratados dados sazonais para cada estação do ano. Em conjunto ao fuso horário, algumas funções que serão apresentadas abaixo, também foram configuradas para apresentar os dados de acordo com o hemisfério terrestre (hemisfério sul / hemisfério norte).

## **2.4. Pacotes e configurações adotadas**

Todas os scripts de configurações completas de cada pacote e ferramenta serão apresentados no APÊNDICE - Scripts.

### 2.4.1. OpenAir

O principal pacote utilizado nesta dissertação foi o *OpenAir*, desenvolvido com a finalidade de analisar dados de qualidade do ar. O pacote é amplamente utilizado na academia, nos setores público e privado. Dentro deste pacote foram utilizadas as ferramentas *Timeplot*, *windRose*, *polarAnnulus*, *polarPlot* e *timeVariation*.

#### 2.4.1.1. *Timeplot*

Para gerar os gráficos de séries temporais utilizou-se a função *Timeplot*. Inicialmente compilou-se os gráficos temporais de cada poluente para cada EMQAr, levando-se em conta os padrões primários estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 03/1990. Como os dados estão todos em médias horárias, para os poluentes, MP<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> as concentrações foram recalculadas para média de 24 horas.

Aplicou-se em cada gráfico uma linha tracejada na cor vermelha, representado o valor do padrão primário para cada poluente, mesmo que não tenha ocorrido violações. Desta forma será possível mostrar o quão distante as concentrações de cada poluente estavam em relação aos padrões da CONAMA 03/90.

#### 2.4.1.2. *windRose*

A rosa dos ventos é uma ferramenta de análise gráfica vetorial que representa a estatística da intensidade e da direção do vento em um intervalo de tempo determinado. Através delas foram analisadas as intensidades e as

frequências dos ventos. As rosas dos ventos foram construídas com a ferramenta *windRose*. Os dados de direção do vento, estão indicando a origem dos ventos.

Por padrão, o pacote *OpenAir* assume a condição de formatação das pás que representam tanto a direção quanto a velocidade do vento como *paddle = TRUE*, porém essa condição foi alterada para *paddle = FALSE*, para que desta maneira as pás fiquem mais visíveis na apresentação gráfica. A parametrização adotada foi para apresentação de rosas dos ventos sazonais para cada ano.

Baseando-se na escala de *Beaufort* (TEIXEIRA, 2009), as calmarias foram configuradas como ventos abaixo de  $3 \text{ m s}^{-1}$ , para isto, alterou-se o comando *default* de  $ws < 0,0$  para  $ws < 0,3$ .

Para evitar equívocos na elaboração de dados que estão em função das estações do ano, aplicou-se o comando *hemisphere = "southern"* para que desta maneira, o sistema entenda as diferenças entre cada período de cada estação do ano.

#### 2.4.1.3. *polarAnnulus*

Os gráficos de anéis foram configurados com a função *polarAnnulus*, para cada poluente, com objetivo de visualizar variações diurnas, noturnas e do dia da semana. Desta forma ajustou-se a função para apresentar dois períodos distintos utilizando a configuração *period = "weekday"* para apresentar as concentrações médias em função dos dias da semana e *period = "hour"* para apresentar as concentrações médias em função das horas do dia.

#### 2.4.1.4. *polarPlot*

Com o objetivo de identificar as possíveis fontes de emissão, foram gerados rosas dos poluentes para todos os poluentes atmosféricos avaliados. A depender da necessidade de apresentação de resultados, foram gerados gráficos polares por ano, por estações do ano (sazonais) e gráficos polares de interação entre duas variáveis, eximindo a variável padrão ( $ws = \text{wind speed}$ ). A configuração *hemisphere = "southern"* também foi aplicada para esta ferramenta.

Valotto e Varin (2016) plotaram um gráfico polar pela função *polarPlot* do pacote *openair* para mostrar que concentrações mais altas estão associadas a

condições atmosféricas mais estáveis e advecção reduzida que existe sob condições de baixa velocidade do vento.

#### 2.4.1.5. *timeVariation*

Para esta função, utilizou-se as configurações padrões (*default*). A única alteração realizada foi quanto a normalização. A normalização é útil para comparar os padrões de dois poluentes diferentes, que geralmente cobrem faixas muito diferentes de concentração. A normalização foi obtida dividindo a concentração de cada poluente pelo seu valor médio. O Método de re-amostragem *bootstrap*, que já está embutido dentro do comando de normalização *normalise = TRUE*, será usado para estimar a incerteza da diferença entre duas médias.

#### 2.4.2. *corrPlot*

Com muitas variáveis diferentes, pode ser difícil ver as relações entre as variáveis, ou seja, quais variáveis tendem a ser mais semelhantes como as outras. Por esse motivo, aplicou-se o agrupamento hierárquico às matrizes de correlação aproximando as variáveis que são mais semelhantes entre si. A opção *order = "hclust"*, foi aplicada dentro da ferramenta *corrPlot*. A análise de *cluster* é uma técnica de análise multivariada que tem como objetivo o agrupamento de elementos físicos ou abstratos, sendo uma classificação não-supervisionada. Este agrupamento foi efetuado de forma que elementos pertencentes ao mesmo grupo tenham características semelhantes, de acordo com alguns critérios de similaridade pré-fixado e elementos de diferentes grupos tenham características dissemelhantes (FRANÇA, 2009). Genericamente, parte-se de um conjunto com “n” observações e pretende-se formar “y” grupos com menos observações possíveis usando-se métodos hierárquicos ou métodos não hierárquicos (GOMES, 2013).

O método adotado para a elaboração das matrizes foi o de Pearson, pois o objetivo é refletir a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. A correlação foi codificada para ser apresentada de três formas: por forma (elipses), cor e valores numérico. As elipses podem ser vistas como representações visuais do gráfico de dispersão. As correlações positivas perfeitas foram omitidas para despoluir a matriz. Para correlação zero, a forma se torna um círculo totalmente branco. Valores entre 0 e 1 indicarão correlações positivas (cor azul), ou seja,

quanto maior a correlação maior o tom da cor azul e valores entre -1 e 0 (cor vermelha) relatarão correlação negativa, onde quanto menor a correlação maior o tom da cor vermelha.

Borba *et al.* (2017) demonstrou as altas relações entre as emissões de BTEX pela camada de cobertura de um aterro sanitário através de matriz de correlação e Leoni; De souza sampaio e Corrêa, (2017) apresentaram correlações entre as variáveis NOx e NO e o alto grau de correlação linear positiva ( $r = 0,95$ ) entre elas utilizando a função *corrPlot*.

#### 2.4.3. *Boxplot*

Os gráficos de caixa foram feitos através da ferramenta *boxplot* utilizando as configurações padrões. Também foram feitas avaliações das razões entre as concentrações de cada poluente entre as EMQAr, com o intuito de verificar as discrepâncias relativa utilizando a Equação 20 (ARGOLLO; FERREIRA e SAKAI, 2013), X1 e X2 diferenciam as estações (TQ e JP).

$$\Delta = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_2} \right| \times 100 \quad (20)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

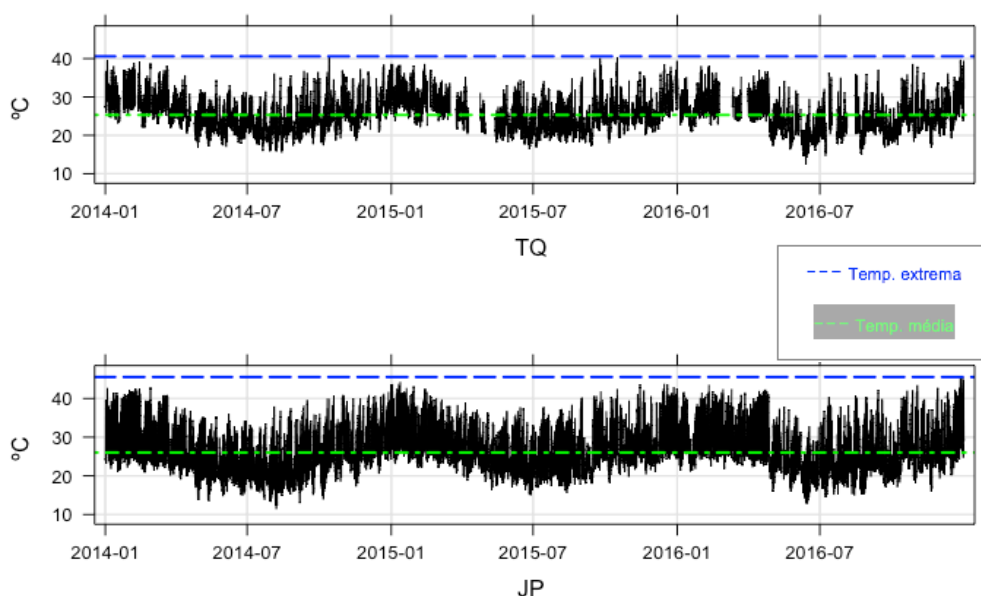
Neste capítulo, serão apresentados os resultados do tratamento estatístico dos dados das estações TQ e JP.

#### 3.1. Meteorologia

##### 3.1.1. Temperatura do Ar

A temperatura máxima do triênio para estação TQ foi de 40,6 °C (outubro 2016) e a média do triênio para a mesma estação foi de 25,3 °C, já em JP a máxima e a média do triênio foram 45,6 °C (Dezembro 2016) e 26 °C, respectivamente. Os valores médios das temperaturas no triênio das duas estações são bem parecidas, não variando mais que 1 % uma da outra. O Gráfico 1 apresenta a série temporal para as duas estações, onde a linha azul representa a máxima e a linha verde a média para todo o triênio.

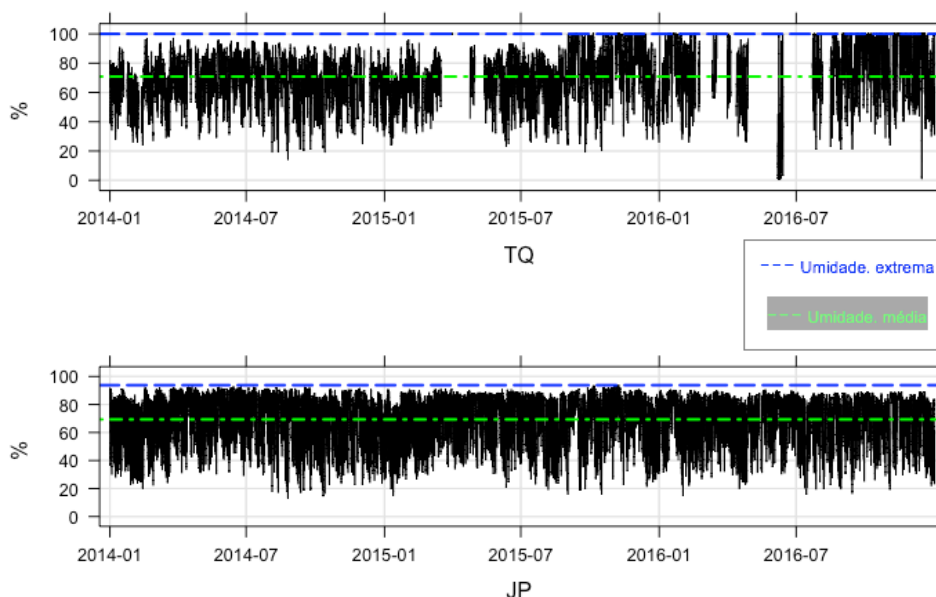
Gráfico 1 - Temperaturas médias horárias e extremas para TQ e JP.



##### 3.1.2. Umidade Relativa

Ambas as estações apresentaram valores máximos horários de umidade relativa acima de 93 % (Gráfico 2). As médias globais são praticamente idênticas entre todo o triênio, sendo 71 % para TQ e 70 % para JP.

Gráfico 2 - Umidade relativa em médias horárias e extremas para TQ e JP.



### 3.1.3. Direção e velocidade do vento - Rosa dos ventos.

Na estação TQ, que se localiza em uma área densamente urbanizada, as direções predominantes do vento são bem marcadas. Observa-se na Figura 24 que o quadrante S-SW se apresentou como o mais frequente em todo o triênio, sendo o segundo quadrante mais presente o N-NE. Os ventos de S e SW são os de maiores velocidades. As calmarias representam de 8 % (verão) a 21 % (inverno) das observações de todo o triênio.

A estação JP apresentou frequência de calmarias de 1,6 % (primavera) a 4,1 % (inverno) das observações de todo o triênio. Os ventos mais intensos e mais frequentes chegam do quadrante E-SE, principalmente na primavera e no verão. As direções predominantes durante os anos são de W-NW e E-SE e podem ser vistas na Figura 25.

A direção e velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes na atmosfera, determinando sua trajetória e possíveis alcances. Em momentos de calmaria o ar fica estagnado, proporcionando um aumento nas concentrações de poluentes (INEA, 2009).

As calmarias em JP em relação a TQ são menos frequentes, influenciadas pela localização ao fundo à Baía de Guanabara, indicando grande movimento de massa de ar nos quadrantes E-SE e W-NW como já dito, o que leva a pensar que



houve um possível aporte de poluentes vindo da direção do polo petroquímico de Duque de Caxias (E-SE) e da Rodovia Washington Luiz (W-WM).

Figura 24 - Rosas dos ventos sazonais (primavera, verão, outono, inverno) da estação Taquara 2014-2015.

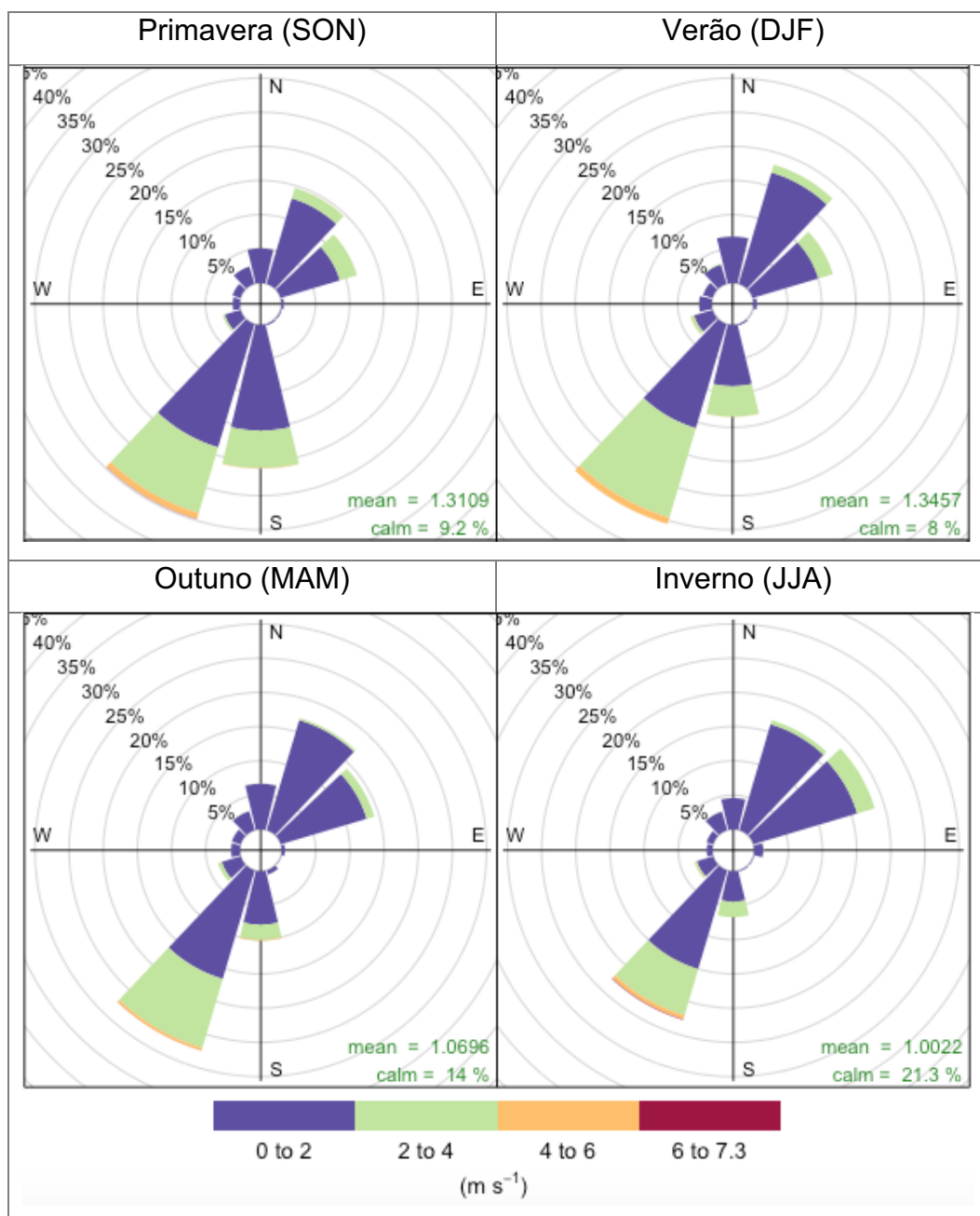
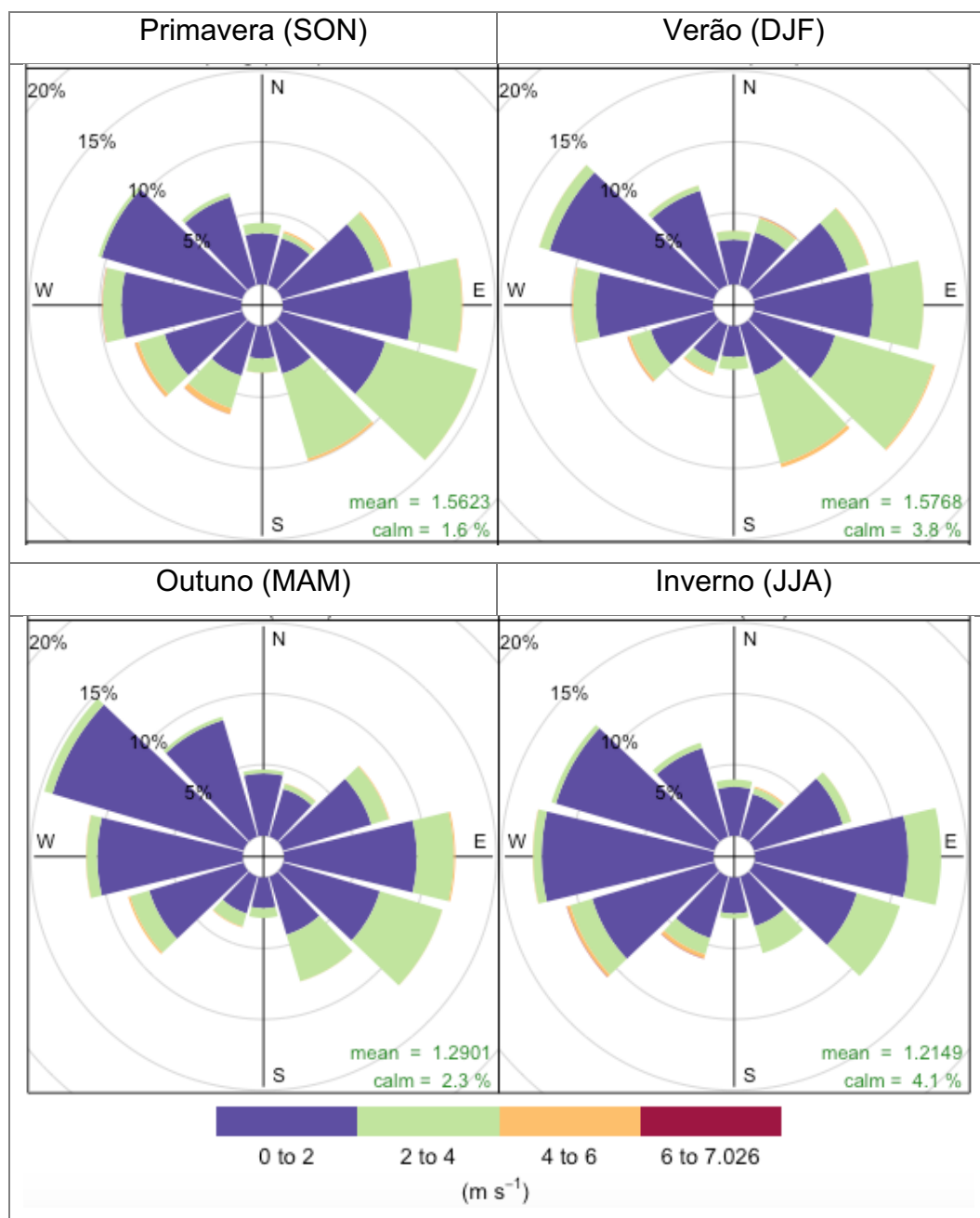


Figura 25 - Rosas dos ventos sazonais (primavera, verão, outono, inverno) da estação Jardim Primavera 2014-2015.



### 3.2. Estatística Descritiva

A Tabela 12 apresenta o resumo dos dados dos principais parâmetros avaliados nas duas estações de monitoramento do ar situada em áreas distintas na região metropolitana do Rio de Janeiro (Jardim Primavera - JP e Taquara - TQ). Também constam duas colunas que mostram os padrões brasileiros de qualidade do ar estipulados pela Resolução CONAMA 003/1990, e os padrões equivalentes dos

EUA fornecido pela U.S.EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), o NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*).

Tabela 12 - Estatística Básica dos dados coletados entre 2014 e 2016 na Taquara (TQ) e Jardim Primavera (JP).

	Mediana		Média		Máximo		Limite CONAMA	Limite NAAQS
	TQ	JP	TQ	JP	TQ	JP		
CO - ppm	0,6	0,4	0,7	0,5	2,4	2,9	9 ppm (8h) 35 ppm (1h)	9 ppm (8h) 35 ppm (1h)
NO <sub>2</sub> - ppb	28,2	14,0	30,5	15,7	129,5	121,3	170 ppb (1h) 53 ppb (1 ano)	100 ppb (1h) 53 ppb (1 ano)
O <sub>3</sub> - ppb	5,4	10,7	8,2	17,0	102,7	155,0	82 ppb (1h)	70 ppb (8h)
SO <sub>2</sub> - ppb	0,5	2,2	1,1	3,8	-	-	140 ppb (24h) 30,5 ppb (1 ano)	75 ppb (1h) 500 ppb (3 h)
MP <sub>10</sub> - µg/m <sup>3</sup>	34,5	48,3	40,9	56,2	-	-	150 µg/m <sup>3</sup> (24h) 50 µg/m <sup>3</sup> (1 ano)	150 µg/m <sup>3</sup> (24h)

Nota 1: valores em vermelho representam violações aos padrões primários da CONAMA 03/90.

Nota 2: Conversões de µg m<sup>-3</sup> para ppb/ppm considerando condições STP a 25°C.

A Tabela 12 apresenta o resumo dos dados para todo o triênio dos principais poluentes, porém os valores máximos para SO<sub>2</sub> e MP<sub>10</sub> não foram apresentados por se tratarem de máximas da média de 24h e não serão discutidos nesta parte. Nesta tabela alguns dados corroboram a hipótese da influência da atividade antrópica, especialmente da atividade veicular. A variação entre a média e a mediana de CO em TQ e JP foram de 3,4 % e 12,4 % respectivamente, demonstrando que em JP a variação é maior. Para o NO<sub>2</sub>, a razão entre as médias de TQ e JP é de 1,94, mostrando que na TQ as concentrações de NO<sub>2</sub> durante todo o triênio são mais que o dobro em relação a JP. No que tange a máxima, a razão ficou em 1,14 entre JP e TQ. A média de TQ em relação a sua mediana variou 8,3 % já em JP essa variação foi de 12 %. Voltando a Tabela 12, também é possível verificar que as concentrações de ambas as estações ultrapassaram o padrão primário de 100 ppb recomendados pela NAAQS ao menos uma vez no triênio.

As razões entre os valores de concentração medianos e máximos para O<sub>3</sub> em JP (10,7 e 197 ppb) e de TQ (5,4 e 146 ppb) foi de 1,91 e 1,35, respectivamente.

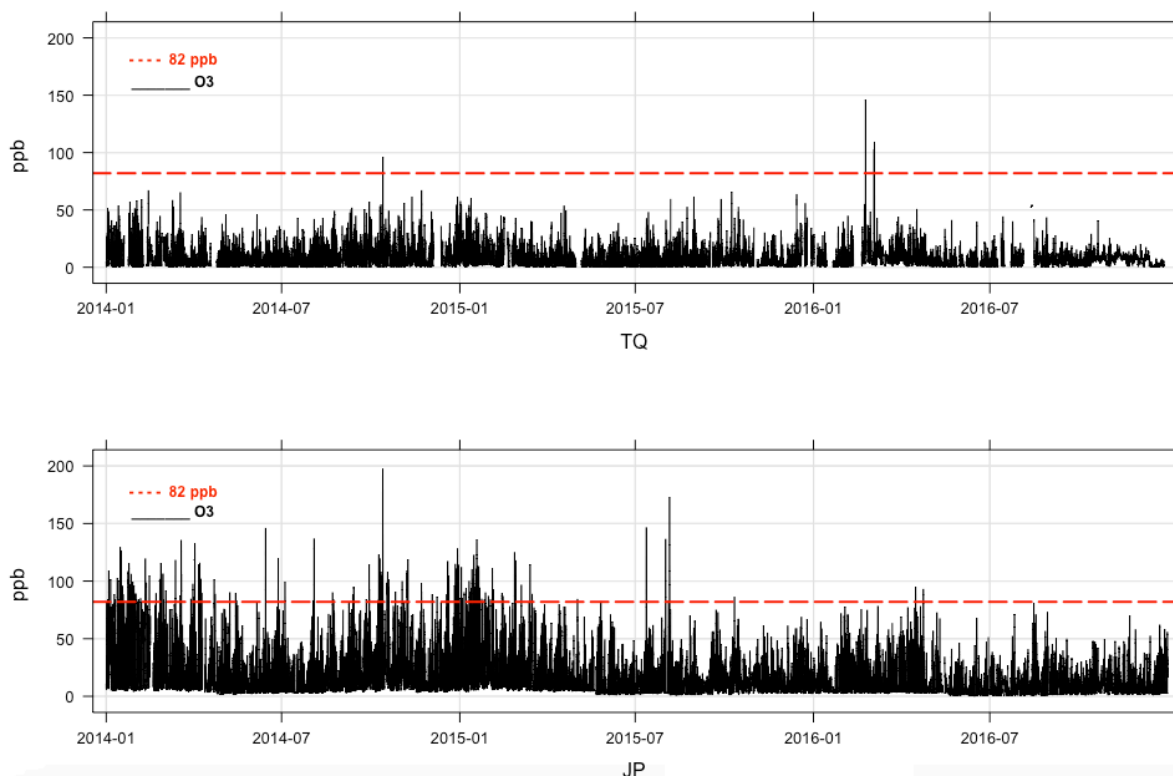
A variação entre média e mediana para o  $O_3$  na TQ foi 50 % e em JP 58,9 %, mostrando que as máximas concentrações (valores no topo da distribuição) estão distantes do centro (FEIJOO, 2010; MUNIZ, 2014). As concentrações de  $O_3$  também ultrapassaram o padrão primário de 70 ppb recomendados pela NAAQS ao menos uma vez no triênio.

### 3.2.1. Análise das séries temporais

Os Gráficos de 3 a 8 apresentam as concentrações médias horárias monitoradas de cada poluente (exceto para  $SO_2$  e  $MP_{10}$  que estão apresentado em médias de 24 h), o que permite visualizar as quantidades de violações durante o triênio estudado. Os padrões primários brasileiros de qualidade do ar de cada poluente foram representados por uma linha horizontal tracejada em vermelho.

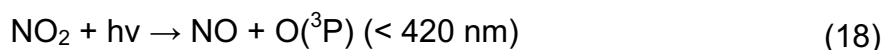
Percebe-se que em ambas as estações ocorreram violação ao padrão primário estabelecido para o  $O_3$  (Gráfico 3). Na TQ ocorreram 5 violações no triênio sendo duas em 2014 (86,4 e 96,2 ppb) e três em 2016 (146,3 102,9 e 109,4 ppb).

Gráfico 3 - Concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP.



Em JP ocorreram 307 violações durante o triênio, sendo 212 em 2014, 92 em 2015 e 3 em 2016. Neste caso, como foram muitas violações, as máximas se destacam, sendo 197 ppb em 2014, 173 ppb em 2015 e 95 ppb em 2016.

Com os dados obtidos observa-se que as médias menores para compostos nitrogenados e maiores para o O<sub>3</sub> em JP caracterizam que essa reação acontece com mais intensidade nesta localidade, enquanto para a TQ grande parte do NO<sub>2</sub> sofrerá apenas uma série de reações naturais na presença radiação solar. Um processo típico que governa a formação de ozônio na troposfera urbana é descrito pelas reações 19 a 21 (MARTINS *et al.*, 2015), onde um processo complexo e não linear é apresentado (ATKINSON, 2000):



As reações 19 a 21 são típicas para atmosferas naturais e não poluídas e o ozônio não sofre processo de acumulação. No entanto, na presença de HCT, existe um desequilíbrio na formação do O<sub>3</sub> e processo de consumo, e isso depende muito das relações entre NO e NO<sub>2</sub>.

Com relação ao NO<sub>2</sub> (Gráfico 4) todas as concentrações estavam dentro do padrão primário de qualidade do ar para todo o triênio. É interessante chamar a atenção para o fato da média TQ ser maior do que a JP, podendo indicar que as contribuições das emissões veiculares para esse poluente causam um impacto muito maior do que a emissão industrial. De forma similar o NO<sub>x</sub> segue a mesma tendência de possuir menores valores de concentrações na estação JP do que na TQ.

Os resultados apresentados no Gráfico 5 indicam que os valores médios e máximos de CO, para ambas as estações, não violaram o padrão primário estipulado para este poluente. Os valores médios para todo o triênio em TQ e JP não chegaram a 50% do padrão primário. A máxima para TQ e JP ficaram abaixo 73% e 68 % do padrão, respectivamente.

Gráfico 4 - NO<sub>2</sub> - concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP.

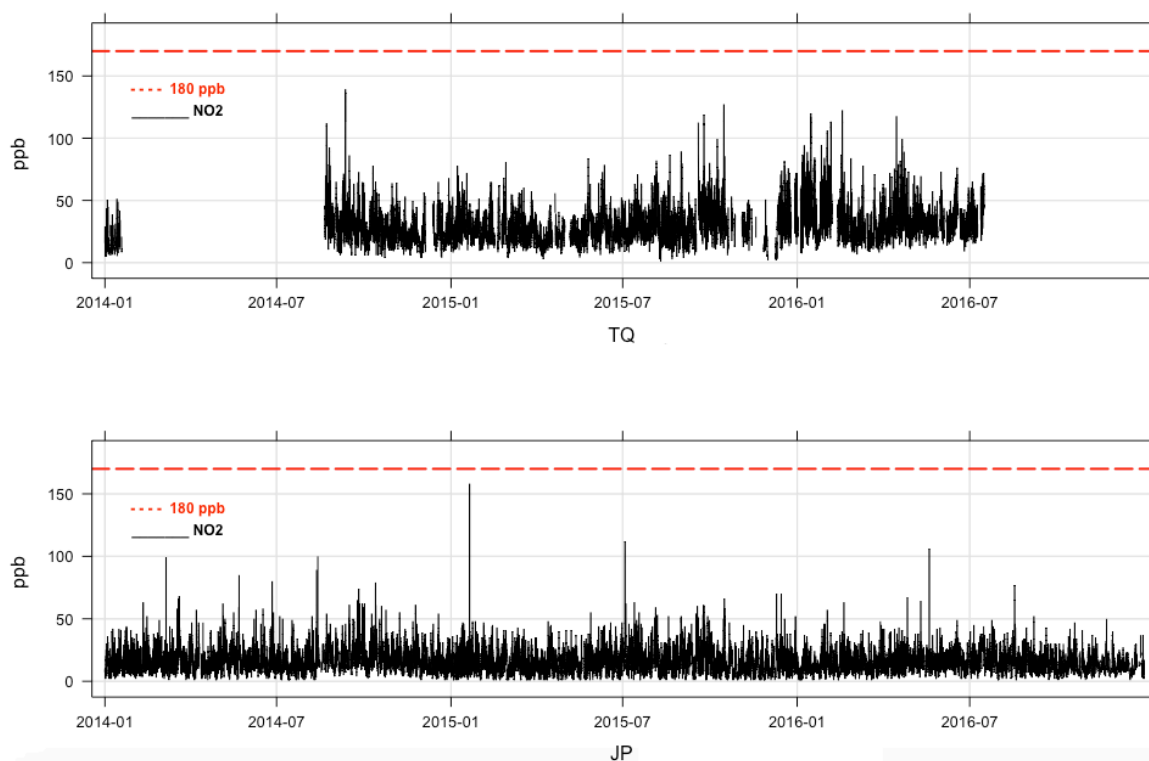
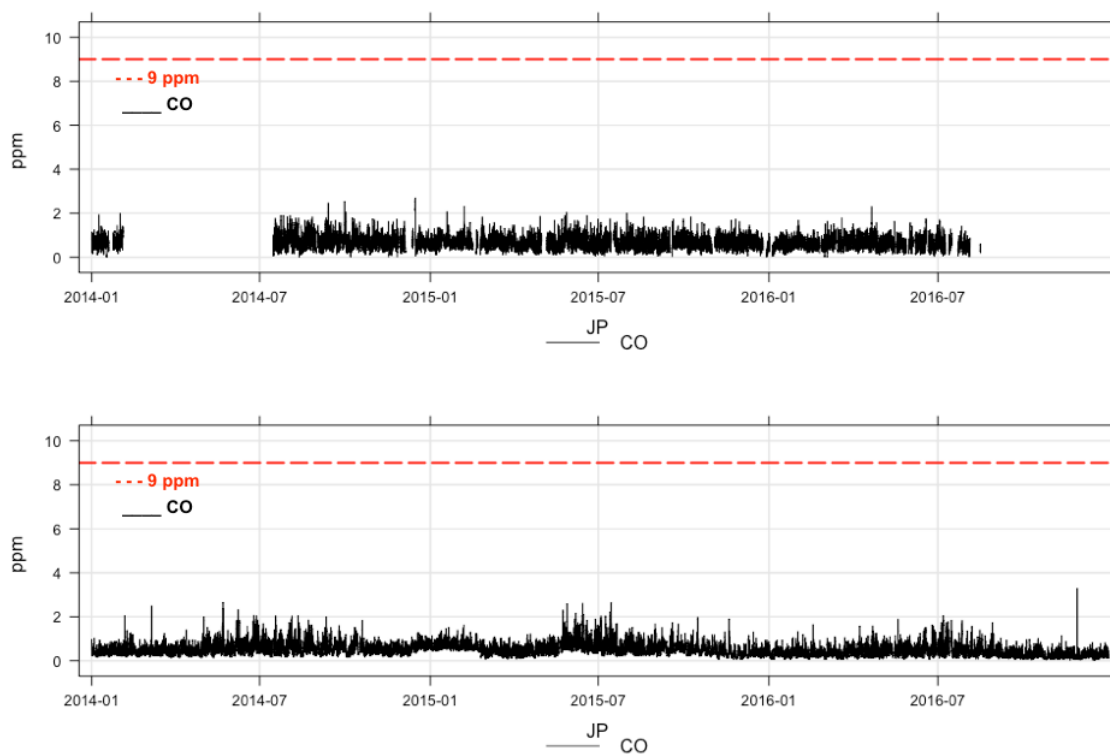


Gráfico 5 - CO – Concentrações médias horários nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP.



Para o  $\text{SO}_2$  (Gráfico 6) nota-se que as concentrações médias diárias em ambas as estações estão bem abaixo do padrão de qualidade do ar.

O INEA (2015) aponta que para o  $\text{SO}_2$ , as fontes potenciais que contribuem no aumento da sua emissão são as atividades desenvolvidas por empreendimentos industriais e que as fontes fixas são responsáveis por cerca de 88 % das emissões de dióxido de enxofre, sendo os setores petroquímico, de geração de energia e de cerâmica, os maiores contribuintes e a região de Duque de Caxias, principalmente Campos Elíseos, apresentam os maiores valores entre os anos de 2004 a 2007 e que a instituição do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (Resolução CONAMA n° 18/86), corroborou para a redução das concentrações de  $\text{SO}_2$  ao longo dos anos.

Gráfico 6 -  $\text{SO}_2$  – Concentrações médias diárias nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP.

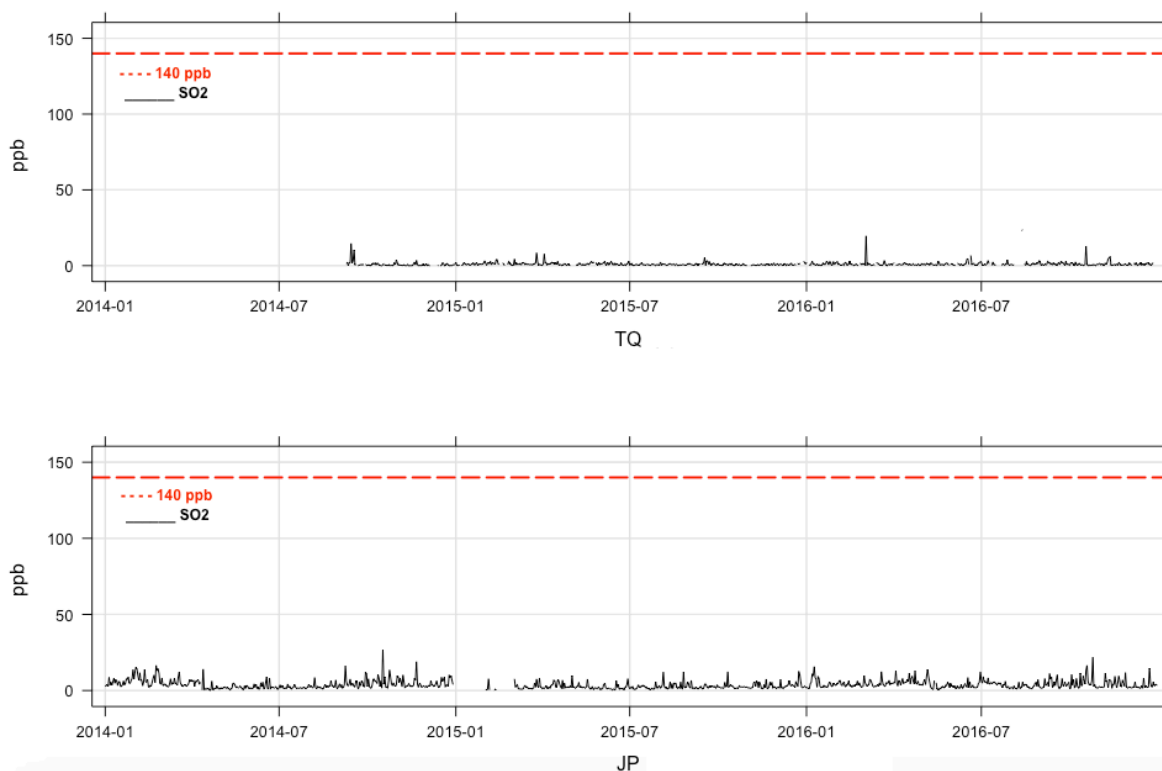
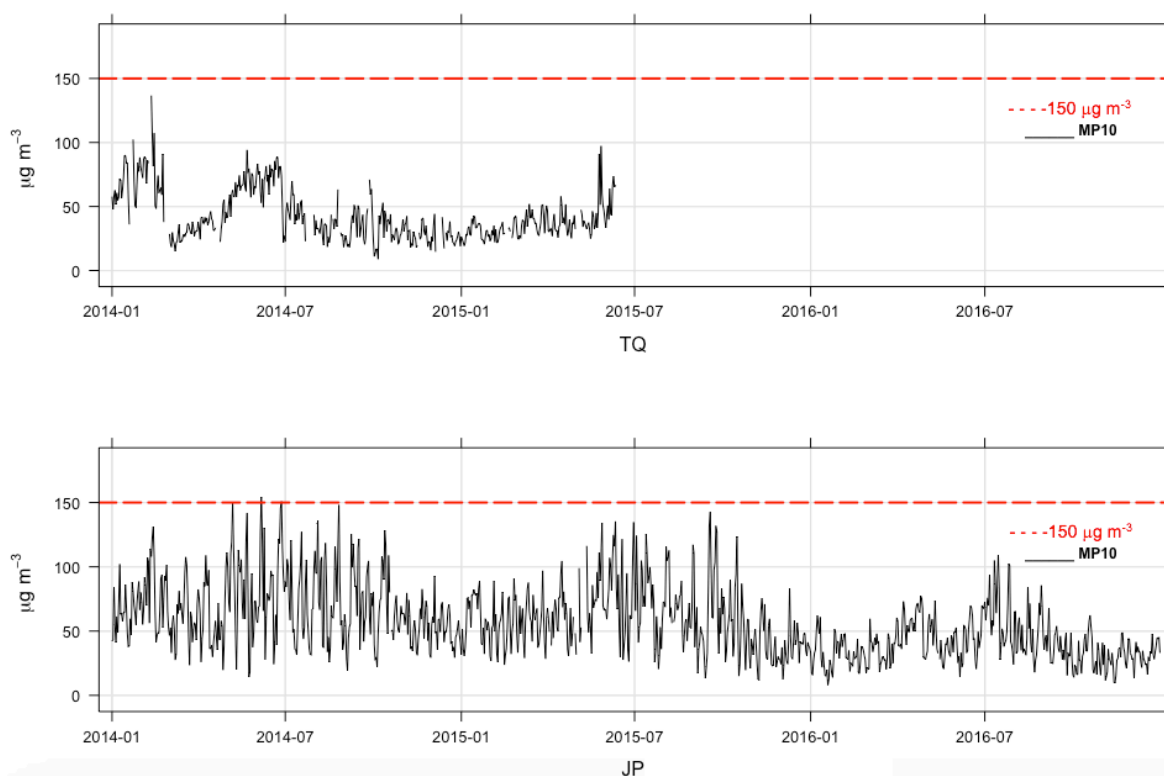


Gráfico 7 -  $MP_{10}$  – Concentrações médias diárias nos anos de 2014 a 2016 para TQ e JP.



O  $MP_{10}$  (Gráfico 7) para a TQ não violou o seu padrão de qualidade do ar. É necessário considerar que a estação TQ não monitorou o  $MP_{10}$  a partir do meio de 2015 em diante. Entretanto em JP houveram 3 violações no ano de 2014, tendo como concentração máxima  $157 \mu\text{g m}^{-3}$  e segunda máxima de  $153 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Historicamente, as elevadas concentrações de  $MP_{10}$  são atribuídas ao grande crescimento das regiões do Estado como um todo, ao grande volume de obras ligadas a construção civil e ao intenso crescimento da frota de veículos automotores pesados. O incremento da frota veicular e as atividades desenvolvidas por empreendimentos durante obras civis são potenciais fontes que contribuem no aumento das emissões de partículas para a atmosfera INEA (2014).

As tabelas 13 e 14 apresentam os resumos de todas as violações ocorridas dentro do triênio estudado para todos os poluentes.



Tabela 13 – Resumos das violações aos padrões de qualidade do ar estipulados pelas Resolução CONAMA 003/90 na estação da Taquara.

<b>EMQAr Taquara</b>			
EMQAr	Ano	Qtd, Violações	Valores
O <sub>3</sub> (ppb)	2014	2	86,4 e 96,2
	2015	0	-
	2016	3	146,3, 102,9, 109,4
NO <sub>2</sub> (ppb)	2014	0	-
	2015	0	-
	2016	0	-
SO <sub>2</sub> (ppb)	2014	0	-
	2015	0	-
	2016	0	-
CO (ppm)	2014	0	-
	2015	0	-
	2016	0	-
MP <sub>10</sub> (mg m <sup>-3</sup> )	2014	0	-
	2015	0	-
	2016	0	-

Tabela 14 - Resumos das violações aos padrões de qualidade do ar estipulados pelas Resolução CONAMA 003/90 na estação Jardim Primavera.

<b>EMQAr Jardim Primavera</b>				
EMQAr	Ano	Qtd, Violações	Primeira máxima	Segunda máxima
O <sub>3</sub> (ppb)	2014	212	197	178
	2015	92	173	146
	2016	3	95	93
NO <sub>2</sub> (ppb)	2014	0	-	-
	2015	0	-	-
	2016	0	-	-
SO <sub>2</sub> (ppb)	2014	0	-	-
	2015	0	-	-
	2016	0	-	-
CO (ppm)	2014	0	-	-
	2015	0	-	-
	2016	0	-	-

MP <sub>10</sub> (mg m <sup>-3</sup> )	2014	3	157	153
	2015	0	-	-
	2016	0	-	-

### 3.2.2. Gráfico de Caixa e análise de discrepância

É necessário lembrar que todas as informações contidas na base de dados são médias horárias. Na elaboração dos gráficos de caixa não foram realizados ajustes no que tange a média diária, o que poderia ser considerado para os poluentes MP<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>, pois o foco desta análise não é de cunho comparativo com os padrões de emissão.

Nota-se em JP, que a cada ano, os valores para o O<sub>3</sub> diminuem e esta variação da mediana foi de 97 % para menos entre 2014 e 2016. Na TQ essa diminuição foi de apenas 2 % entre os anos de 2014 e 2016.

O Gráfico 8 apresenta as concentrações em gráficos de caixa para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e CO. Observa-se que as maiores concentrações de O<sub>3</sub> ocorreram em JP em 2014 e o detalhamento destes valores estão contidos na Tabela 16.

Enquanto na TQ os valores das concentrações mediana de NO<sub>2</sub> cresceram em 22 %, houve uma diminuição de 13 % para JP. Estes valores indicam que a contribuição das fontes veiculares na TQ é mais significativa em relação a JP, onde existem fontes veiculares e emissões de grandes indústrias.

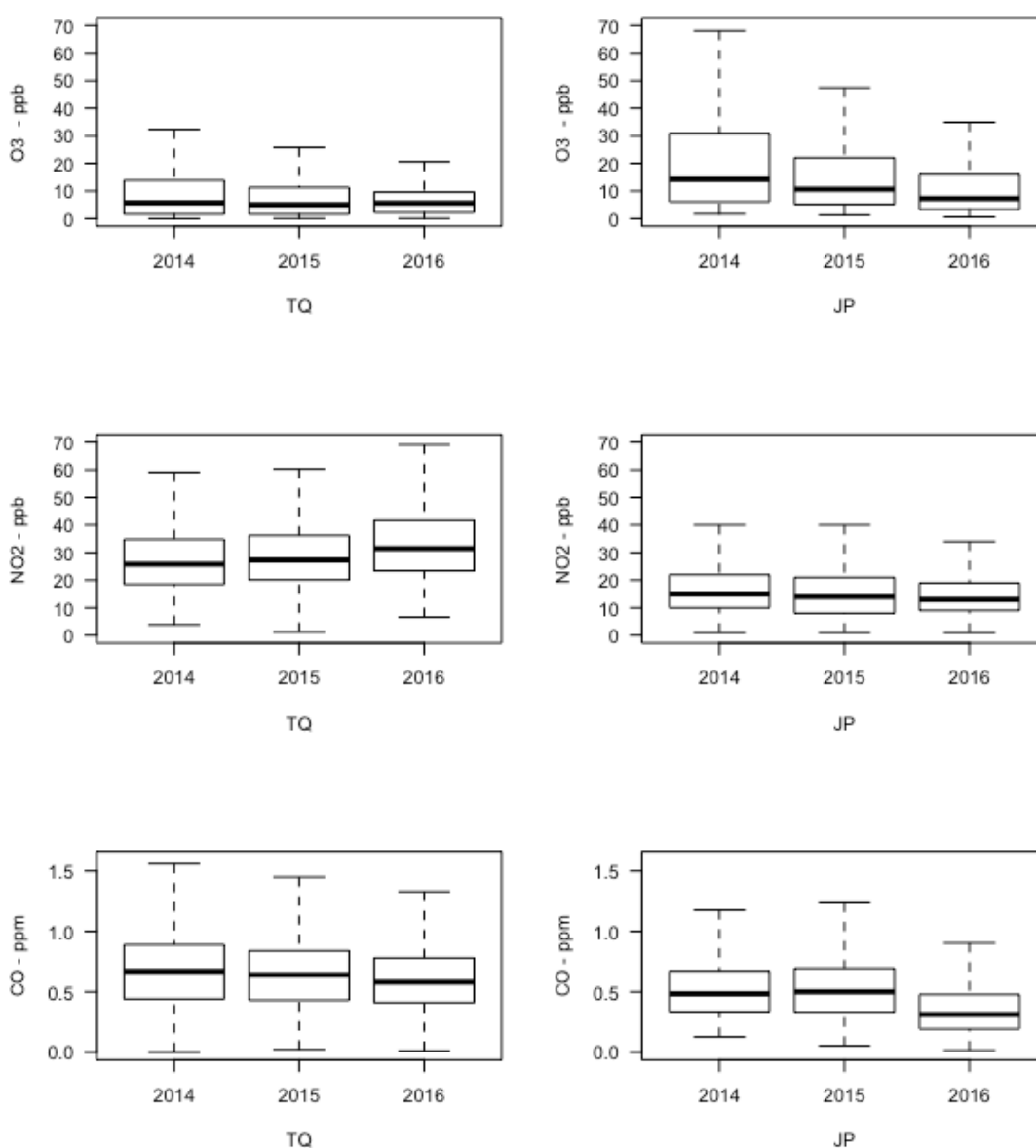
As concentrações medianas de CO estão bem próximas das médias em todos os anos na TQ, com variações de 3 % entre 2014 e 2016, mostrando a baixa variabilidade durante o triênio.

A emissão de SO<sub>2</sub> em ambientes urbanos, onde há um baixo índice de indústrias, principalmente indústrias de grande porte como refinarias, polos petroquímicos e fábricas de pneus, por exemplo, é predominantemente de veículos pesados, que utilizam diesel. Em ambos os locais, as concentrações médias foram baixas, onde na TQ não superou concentrações médias de 2 ppb em todo o triênio e em JP não superaram 4,3 ppb médios (Gráfico 9). No Biênio 2015 e 2016, a mediana do SO<sub>2</sub> na TQ teve um aumento de 17 %, neste período foi inaugurado a Transolímpica no dia 9 de julho de 2016. Em JP o primeiro biênio de estudo teve um decréscimo de 35 % com um acréscimo de 55 % no segundo biênio para o SO<sub>2</sub>.

O  $MP_{10}$  (Gráfico 9) teve diminuição nas medianas em ambos os locais, sendo 18 % para TQ e 41 % para JP, neste a diminuição foi mais considerável.

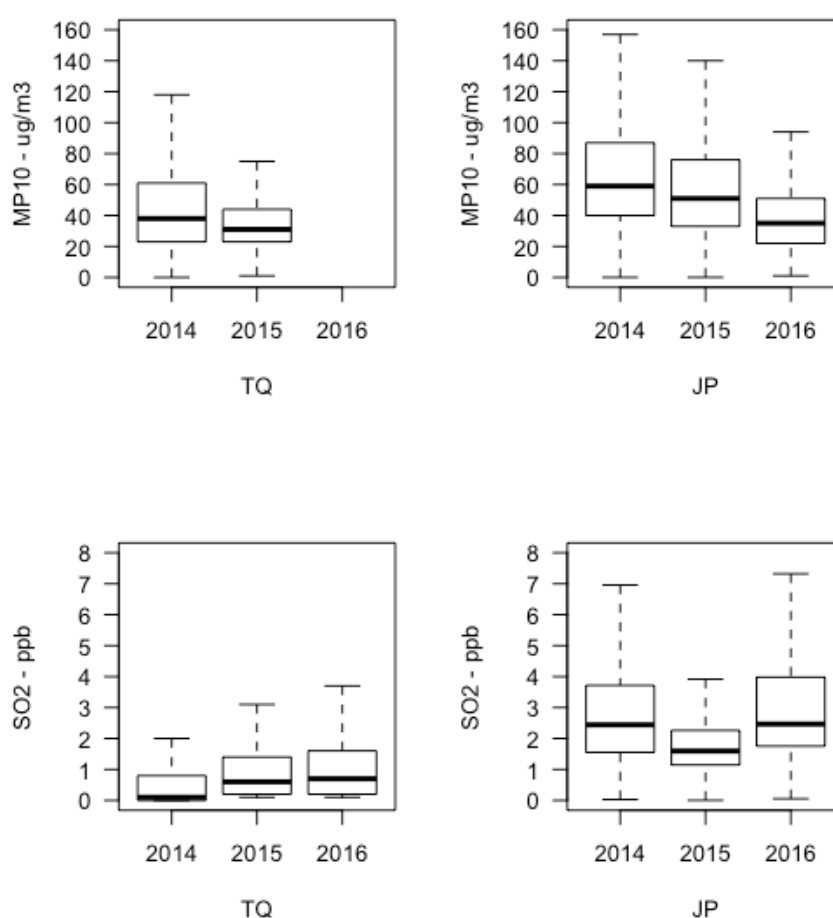
O crescimento do Estado do Rio de Janeiro com um todo promove grandes obras civis, que buscam, em grande parte, promover melhorias que impulsionem o crescimento socioeconômico. A obra do Arco Metropolitano, área de atuação da estação JP, contribuiu para as altas concentrações de  $MP_{10}$ , principalmente em 2014. A partir do final de 2014 as concentrações diminuíram significativamente, marcando o fim das obras, mostrando a forte contribuição deste evento nas concentrações de  $MP_{10}$ .

Gráfico 8 – Gráfico de caixa para  $O_3$ ,  $NO_2$  e CO estações TQ (lado esquerdo) e JP (lado direito).



Relacionando os resultados obtidos com o relatório de qualidade do ar do Rio de Janeiro, ano base de 2015, verifica-se que os maiores valores de concentrações de MP<sub>10</sub> com violação de padrão foram observados nas estações localizadas no município de Duque de Caxias (DC–Campos Elíseos, DC–Jardim Primavera e DC– São Bento), as quais apresentaram valores mais elevados nos anos de 2013 e 2014 (INEA, 2015).

Gráfico 9 – Gráfico de caixa para MP<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> - estações TQ (lado esquerdo) e JP (lado direito).



Em resumo é possível visualizar na Tabela 15 que em JP houveram diminuições gradativas ao passar do triênio para a maioria dos poluentes levando a pensar que as tomadas de decisões que contribuíram para a mitigação das emissões estão tendo eficácia. Novas tecnologias produtivas, novos sistemas de controle de fontes fixas e de emissões fugitivas e de motores veiculares, podem ser pontos que contribuem com esta diminuição. O rigor e a cobrança dos órgãos ambientais também são potenciais colaboradores para esta diminuição.

Tabela 15 – Resumo das concentrações em cada EMQAr para todo o triênio (2014-2016).

EMQAr	Média						Mediana						Máximo					
	TQ			JP			TQ			JP			TQ			JP		
Anos	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Poluentes																		
NO <sub>2</sub> - ppb	27,7	29,4	34,5	16,9	15,5	14,7	25,8	27,3	31,5	15,0	14,0	13,0	139,1	127,1	122,3	100,0	158,0	106,0
NO <sub>x</sub> - ppb	66,7	69,1	79,3	44,3	44,8	42,7	61,8	63,4	72,7	34,0	33,0	33,0	347,3	265,7	320,2	290,0	308,0	292,0
O <sub>3</sub> - ppb	9,3	7,9	7,2	22,4	16,9	11,9	5,7	5,0	5,6	14,3	10,6	7,2	96,2	65,7	146,3	197,4	172,8	95,0
CO - ppm	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	2,7	2,3	2,3	2,7	2,7	3,3
SO <sub>2</sub> - ppb	0,9	1,1	1,3	4,3	2,7	4,3	0,1	0,6	0,7	2,4	1,6	2,5	-	-	-	-	-	-
MP <sub>10</sub> - µg/m <sup>3</sup>	45,1	36,7	0,0	69,0	60,2	39,5	38,0	31,0	0,0	59,0	51,0	35,0	-	-	-	-	-	-

Nota: Valores máximos para SO<sub>2</sub> e MP<sub>10</sub> removidos por não estarem em média diária.

### 3.3. Perfis de concentração

Para revelar informações úteis sobre o comportamento das concentrações mensais no tempo, foram plotados os perfis temporais de concentração de cada local estudado. Os sombreamentos mostram os intervalos de confiança de 95 % da média.

Analisando os dias da semana na TQ (Gráfico 10a), os resultados levam a pensar que o  $\text{NO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$  são provenientes da mesma fonte emissora, pois os perfis de ambos são semelhante em todos os períodos do dia e dias da semana, mostrando a forte relação entre estes dois poluentes. Segundo Carslaw (2015) isso ocorre devido às emissões de poluentes oriundas de veículos rodoviários tenderem a seguir padrões muito regulares, tanto horário, diário quanto semanal.

Os resultados NO apresentaram dois picos, um no início da manhã, caracterizado pelo *rush* matinal, onde o fluxo de automóveis aumenta consideravelmente neste período (GERALDINO, 2017) e outro no final da tarde para noite, influenciado pelo retorno destes veículos ao seu ponto original.

A estação TQ fica alocada na frente do corredor BRT Transcarioca, onde há tráfego de veículos pesados oriundos do BRT e também do pátio de caminhões da empresa Coca-Cola situado a oeste da estação TQ, a menos de 200 metros. O estacionamento da Merck (local de abrigo da estação), também pode ser uma fonte de emissões de poluentes locais representativa.

Na esfera mensal (Gráficos 10c e 11c), os meses centrais do calendário, relacionado ao período de inverno, apresentam as maiores concentrações para  $\text{NO}_2$ , NO e  $\text{MP}_{10}$  e as menores concentrações para o  $\text{O}_3$  em ambas as estações. De acordo com Seinfeld e Pandis, (2006) inversões térmica em condições de extrema estabilidade, impedem o movimento ascendente do ar mais frio e denso. Filip Soporan *et al.*, 2015; Michanowicz *et al.*, (2016) e Wang *et al.*, (2010) relatam que estas inversões térmicas contribuem negativamente para a dispersão dos poluentes, agindo como um “tampão” uma vez que no inverno esta camada atinge baixas altitudes.

Na estação JP, os perfis de concentração de NO apresentaram comportamento um pouco distintos aos de TQ. Analisando em função das horas do dia, apesar de as concentrações de NO também terem apresentados dois picos, o pico da manhã é muito maior que o pico da tarde, como pode ser visto nos Gráficos

10a e 10b. Isto deve ser influenciado pela proximidade da estação JP da Rodovia Washington Luiz, BR-040/RJ, onde o tráfego de veículos pesados é muito mais intenso e representativo e por esta rodovia apresentar diversas faixas de rolagem, o que aumenta a quantidade de veículos transitando. Ao lado e nas proximidades da estação JP existem locais de movimentação de caminhões, como base logísticas e estacionamentos e paradas de caminhões.

O  $O_3$ , com picos no período da tarde manteve um comportamento praticamente idêntico em todos os dias da semana tanto em TQ (Gráficos 10a, e 10d) quanto em JP (Gráficos 11a, e 11d), com maiores concentrações nos finais de semana, porém em diferentes intensidades, sendo o oposto para o  $NO_2$ ,  $NO$  e  $MP_{10}$  que tiveram suas concentrações reduzidas no sábado e no domingo, principalmente. Algumas causas possíveis podem justificar estas diferenças aos finais de semana, como por exemplo a diferença entre as emissões do veículo entre dias úteis e fins de semana. As duas estações possuem tanto fontes móveis (veículos) quanto fontes fixas (indústrias) ao seu redor, porém na JP as emissões destes dois tipos de fontes são mais acentuadas em relação a TQ. Também na TQ o fluxo de carros possivelmente será menor do que em JP, que fica ao lado da Rodovia Washington Luiz, conseqüentemente, as maiores concentrações de  $O_3$  aos finais de semana ocorreram na JP, porque baixas concentrações de  $NO$  resultaram em um baixo consumo de  $O_3$ .

De maneira clara os Gráficos 10b e 11b apresentam a evolução ao longo de 24 horas das concentrações médias horárias de todo o triênio para TQ e JP. Nota-se que após as 5 h, a concentração de  $NO$  tende a aumentar devido ao tráfego veicular e o  $O_3$  remanescente do dia anterior é então consumido para formação de  $NO_2$ . Em seguida, entre 6 h e 8 h, com o início da radiação solar, o  $NO_2$  é consumido para a formar de  $O_3$ , aumentando os níveis de  $O_3$  e diminuindo os níveis de  $NO_2$ . Esse processo atinge sua máxima para  $O_3$  entre 12 h e 14 h. Ao início da tarde, novamente os níveis de  $NO_2$  voltam a crescer, uma vez que a taxa de formação de  $O_3$  decai devido à redução da radiação solar. No período noturno, devido a ausência da radiação solar, os níveis de  $O_3$  são menores e os níveis de  $NO_2$  maiores (IEMA, 2014).

A técnica de normalização facilitou a interpretação dos resultados de concentração de  $SO_2$  e  $CO$  e permitiu avaliar as possíveis correlações destes com os locais de estudo.

Para o CO, há um aumento pronunciado nas concentrações durante os dois períodos de *rush* na TQ e em JP. A outra diferença importante ocorreu aos domingos, quando as concentrações de CO em ambas as estações foram relativamente mais altas que o NO<sub>2</sub> e NO. Este cenário relaciona-se com as análises feitas por Carslaw (2015) na estrada Marylebone em Londres, que verificou que o fluxo de carros (principalmente gasolina) não mudam muito em dias da semana, mas o fluxo de veículos pesados como por exemplo caminhões e o BRT (veículos a diesel) são muito menores aos domingos.

As concentrações de SO<sub>2</sub> em JP (Gráfico 11a e 11b) se apresentaram de forma comum, com maiores concentrações estando no final da manhã para o início da tarde, pois nestes períodos existe um grande fluxo de veículos, incluindo-se os a diesel, conseqüentemente uma maior emissão de SO<sub>2</sub>. Em relação as estações do ano, no outono e no inverno apresentou os menores registros. De contrapartida, as concentrações de SO<sub>2</sub> na TQ (Gráfico 10a e 10b) apresentaram um comportamento atípico, tendo valores elevados no período noturno. Uma possível explicação baseia-se na movimentação de caminhões da empresa Coca-Cola, que possui operação 24 h de carga e descarga e um grande quantitativo destes veículos. Porém esta explicação sozinha não define de fato o motivo desta anomalia. O que se pode afirmar é que existe uma fonte de emissão de SO<sub>2</sub> local.



Gráfico 10 – Perfis de concentrações médias normalizadas de todos os poluentes na estação de qualidade do ar TQ entre 2014–2016.

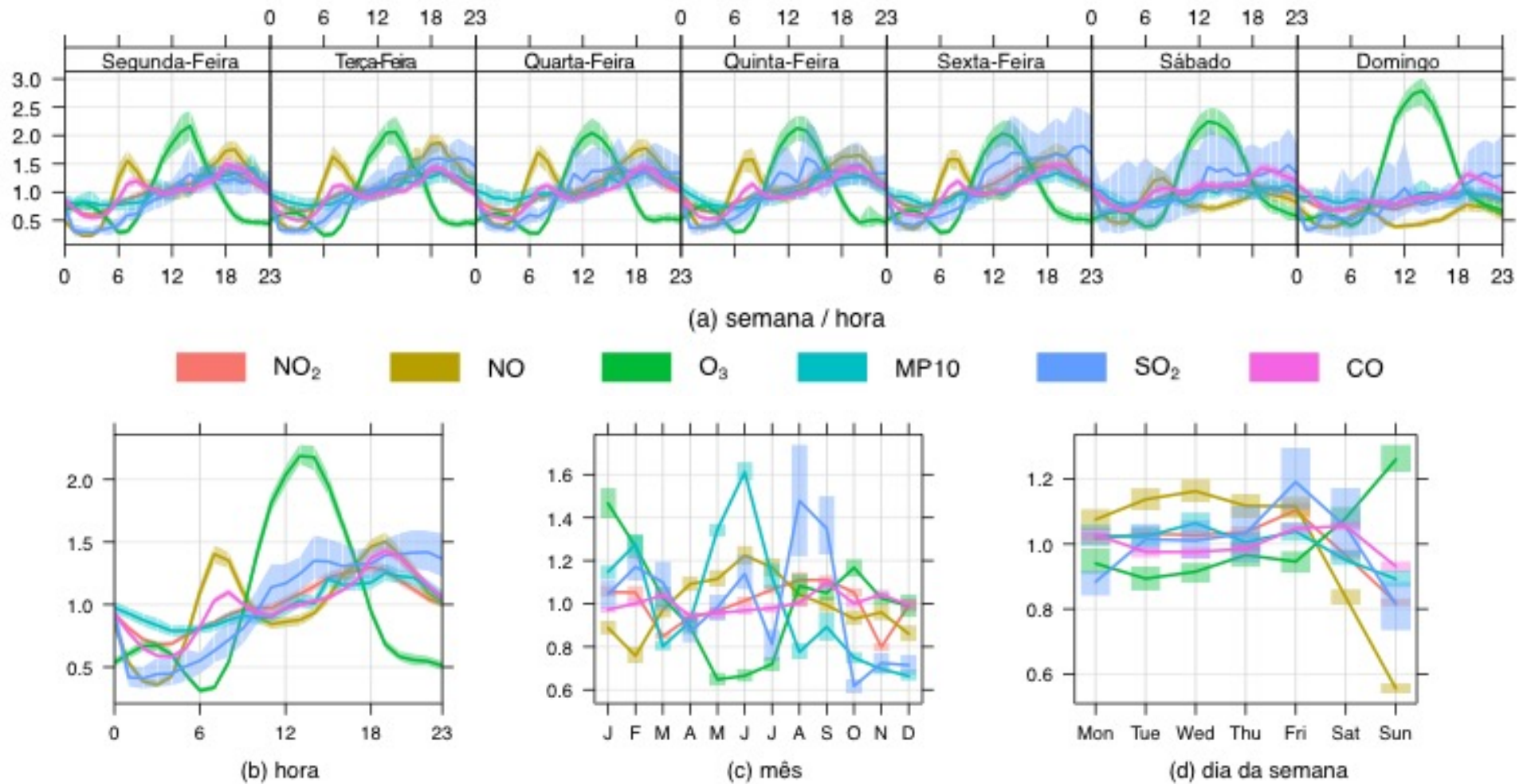
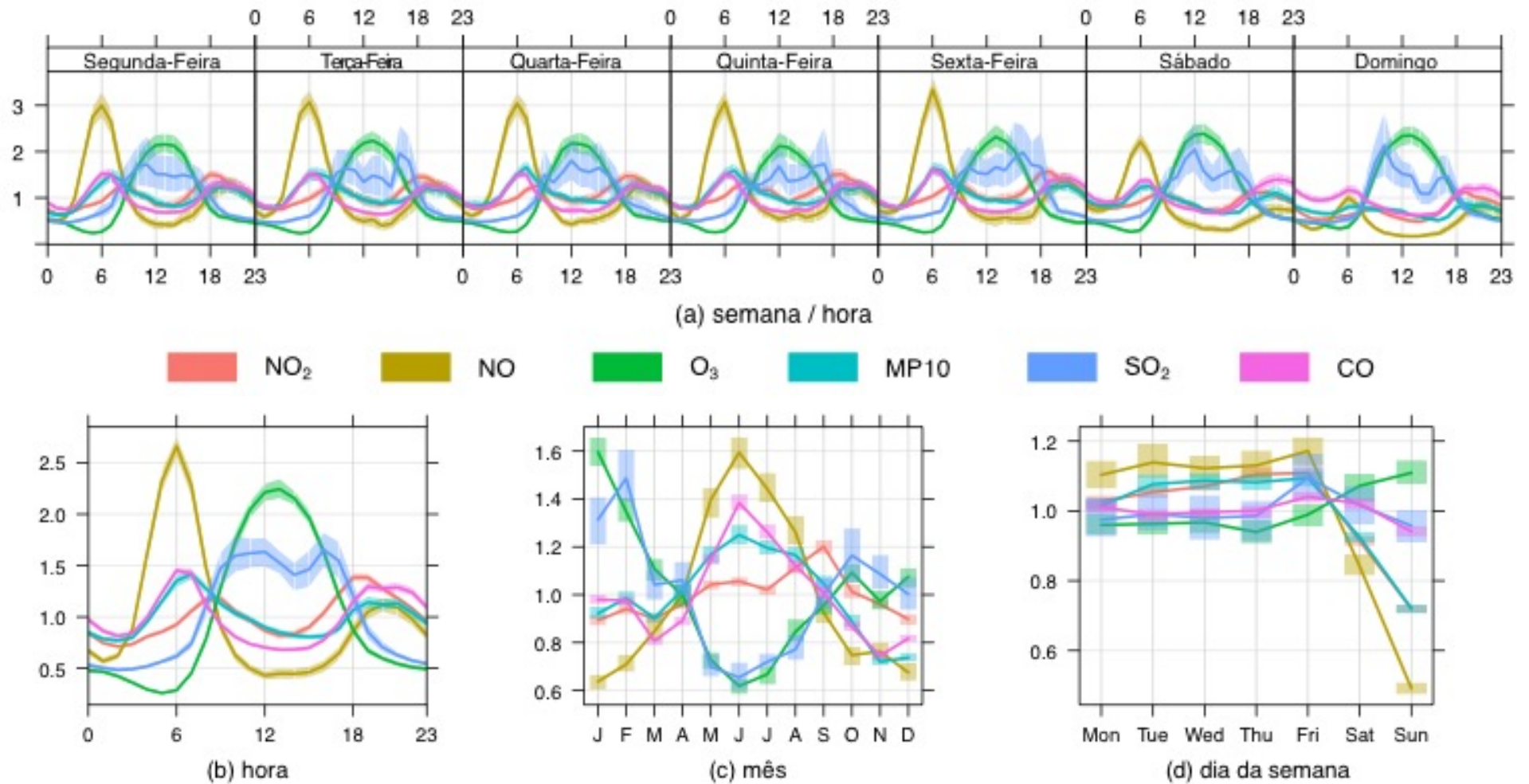


Gráfico 11 - Perfis de concentrações médias normalizadas de todos os poluentes na estação de qualidade do ar JP entre 2014 – 2016.



### 3.4. Estatística Multivariada

#### 3.4.1. Correlação entre variáveis

Com as matrizes de correlação apresentadas nas Figuras 26 e 27, pode-se comprovar relações já propostas anteriormente. Vale lembrar que o método utilizado foi o de Pearson. As variáveis NO<sub>x</sub> e NO apresentaram alto grau de correlação linear positiva tanto na TQ ( $r = 0,95$ ) quanto em JP ( $r = 0,97$ ), justificado pelo fato do NO<sub>x</sub> ser a soma do NO e NO<sub>2</sub>.

A relação entre o CO e o NO<sub>x</sub> na TQ ( $r = 0,75$ ) e em JP ( $r = 0,73$ ) foram as segundas maiores relações positivas, mostrando que possivelmente ambos os compostos são provenientes de fontes móveis. As maiores relações negativas estão entre temperatura e umidade relativa (TQ,  $r = - 0,74$ ) e (J,P  $r = - 0,82$ ).

A relação é inversamente proporcional entre O<sub>3</sub> e Temperatura com a umidade relativa, uma vez que o mesmo se forma em dias mais quentes, que tendem a ser mais secos, e conseqüentemente possuem menor umidade relativa. A umidade relativa, têm influência na solubilização de poluentes solúveis em água na forma de aerossóis, causando a deposição destes ou mesmo proporcionando a reação em fase aquosa de forma mais efetiva (GIODA *et al.*, 2018).

A relação negativa entre O<sub>3</sub> e NO é ocasionada pelo fato do NO reagir com o O<sub>3</sub>, formando NO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. O MP<sub>10</sub> está relacionado positivamente com os NO<sub>2</sub> e com o CO, evidenciando que estes têm a mesma fonte de origem. O O<sub>3</sub> talvez possa possuir uma contribuição de localidades vizinhas em ambas as estações, em função da dependência deste com a velocidade do vento (0,51 na TQ e 0,50 em JP), porém não é possível afirmar apenas com o teste de correlação.

Figura 26 - Matriz de correlação entre todas as variáveis pelo método Pearson para TQ.

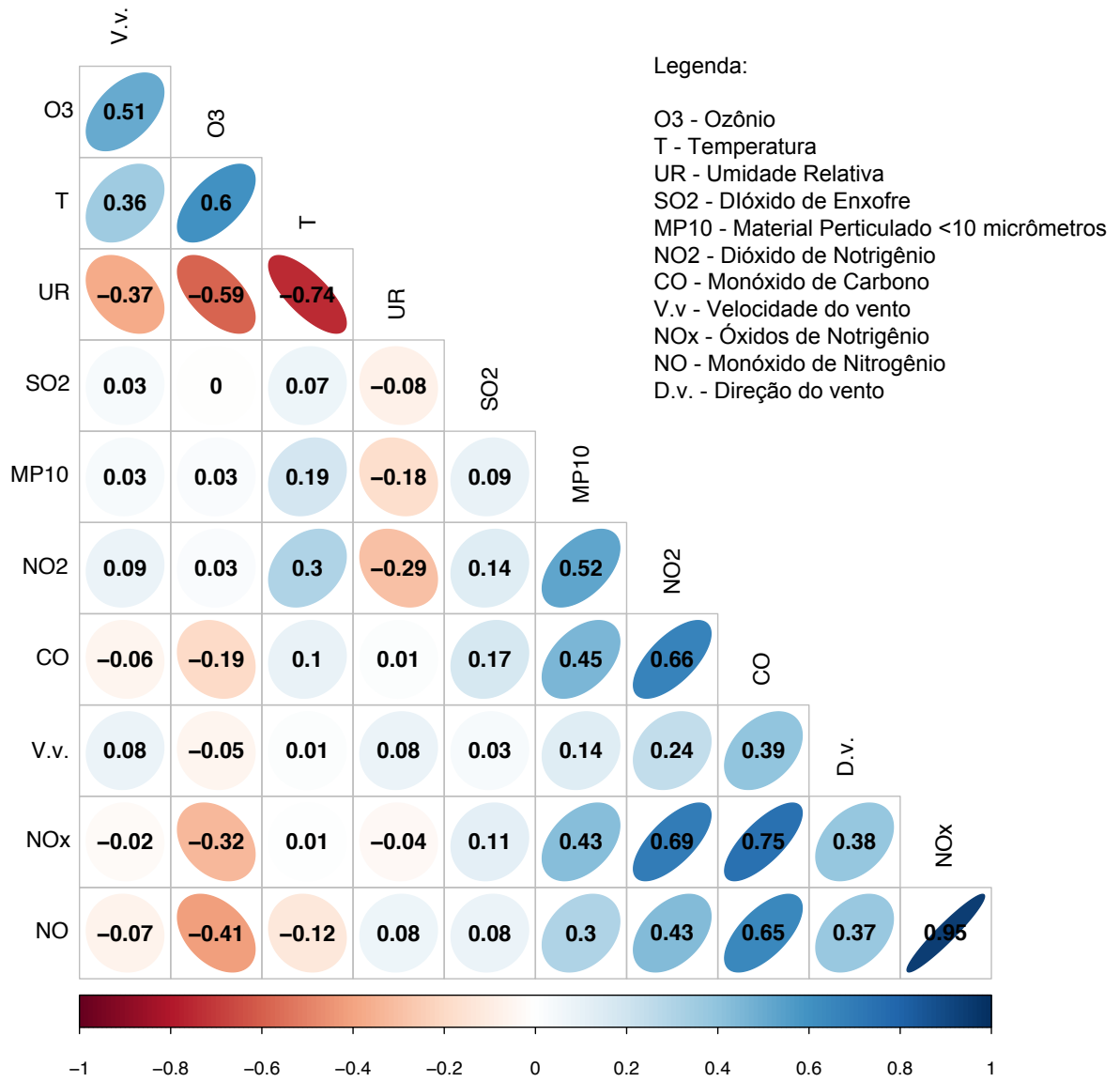
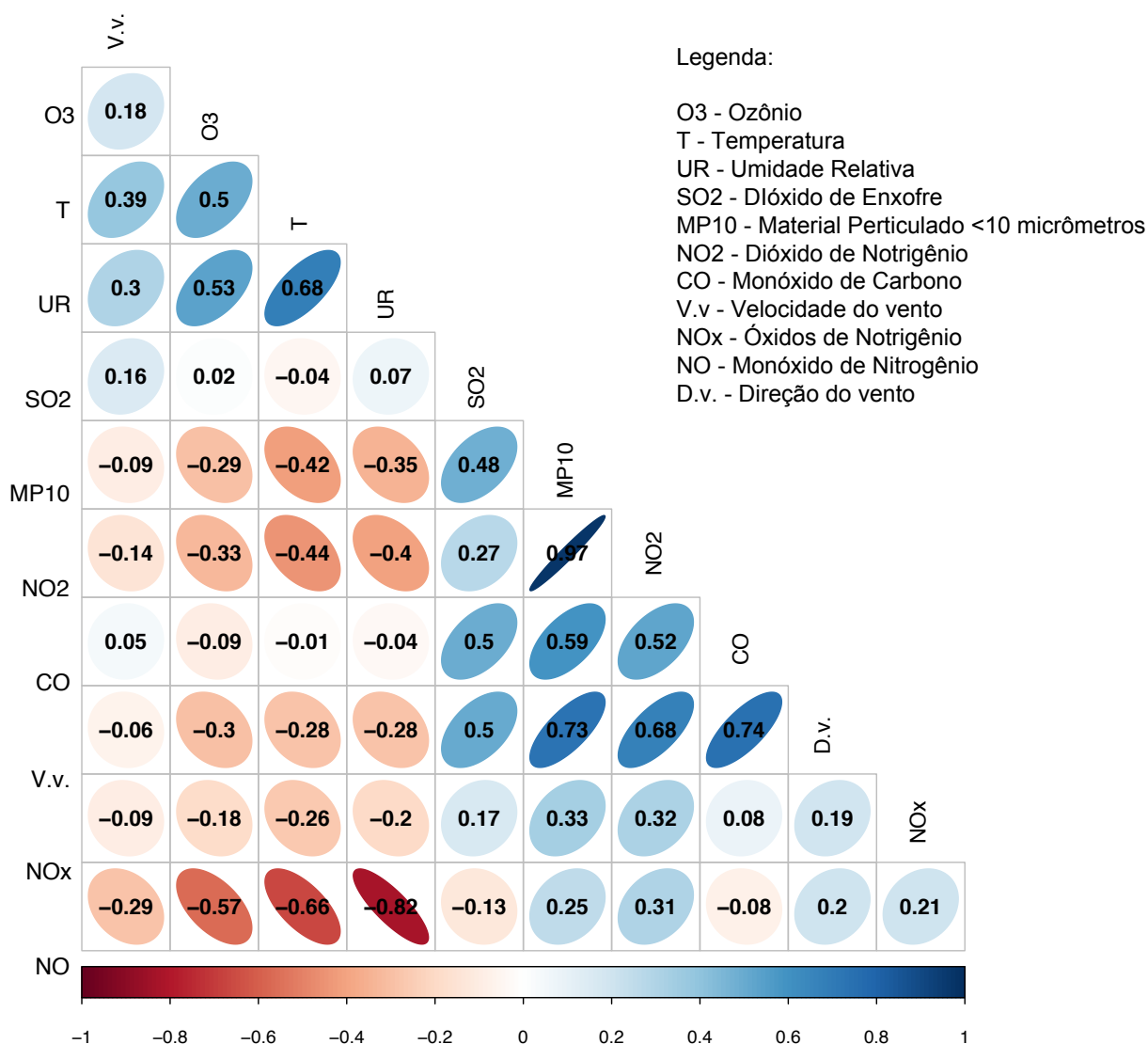


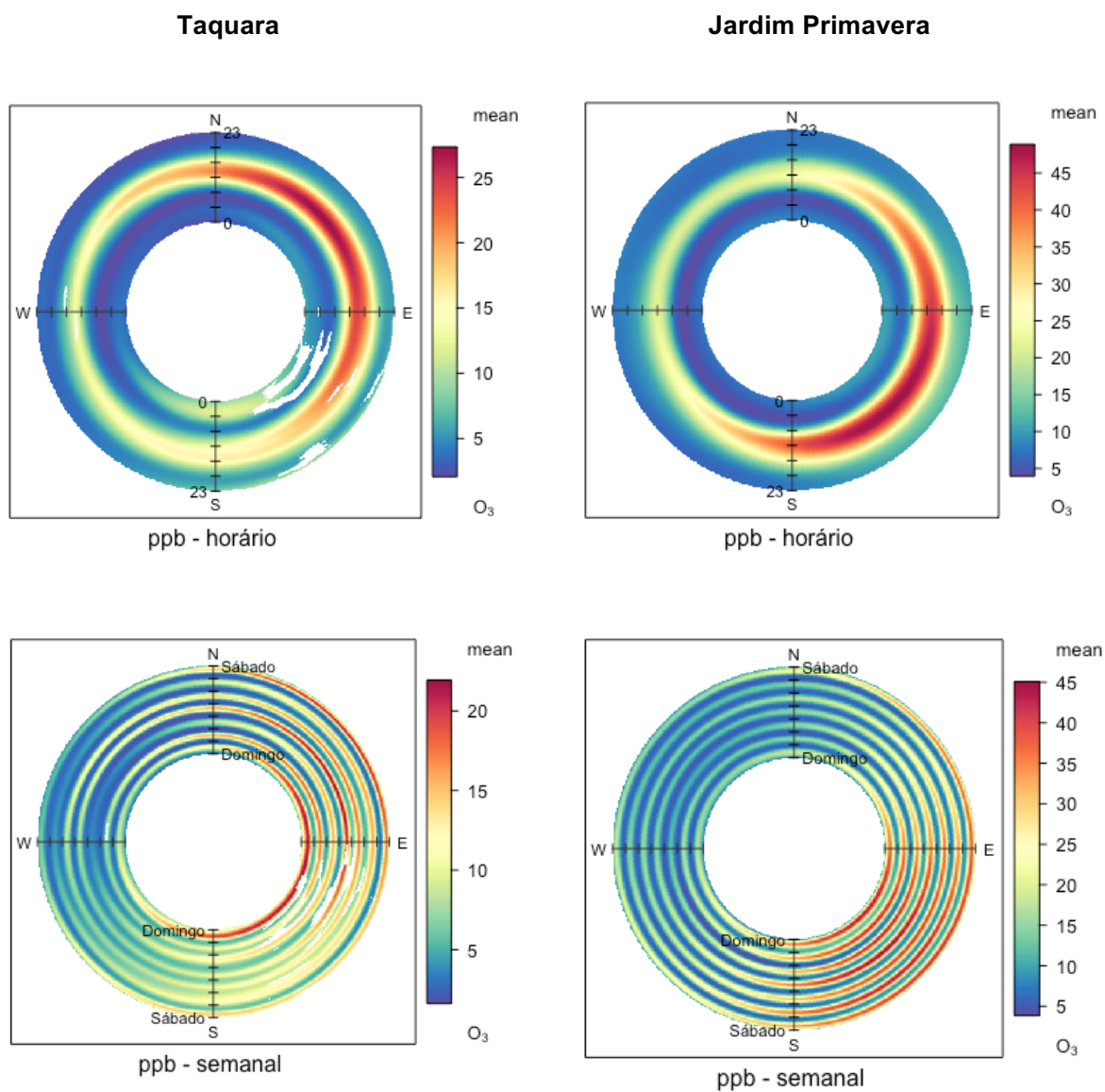
Figura 27 - Matriz de correlação entre todas as variáveis pelo método Pearson para JP.



### 3.4.2. Gráficos de Anéis

Uma maneira de ver o padrão de um poluente ao longo do dia, da semana e em relação vetores velocidade e direção do vento é a plotagem de gráficos de anéis através da ferramenta *polarAnnulus*, como mostrado nos Gráficos 12 a 16 para TQ e JP, respectivamente.

Gráfico 12 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de  $O_3$  para TQ (esquerda) e JP (direita).



Na TQ o O<sub>3</sub> apresentou maiores concentrações na parte da tarde, entre 12 h e 16 h com um grande componente eólico de noroeste (Figura 12). No entanto, picos médios de O<sub>3</sub> com concentrações próximas a 15 ppb também ocorreram nas primeiras horas do dia, entre 0 h e 4h. Isso pode estar relacionado a jatos de O<sub>3</sub> da estratosfera, como relatado por Gioda *et al.*, (2017) em estudo que realizou comparações entre a Ilha de Paquetá (IP) e a Ilha do Governador (IG). Em JP não foram observados este fenômeno de intrusão noturna de O<sub>3</sub>, cujos valores mais elevados são oriundos do quadrante sudeste.

Analisando os dias da semana na TQ, observou-se altos valores de O<sub>3</sub> nos finais de semana. Isso foi observado em outros locais da cidade do Rio de Janeiro como detalhado no estudo de Martins *et al.* (2015), onde é atribuído à redução da frota circulante de ônibus e caminhões, que são grandes emissores de NO. Com baixa concentração de NO nos finais de semana há um acúmulo de ozônio troposférico, como o que ocorre na TQ. Em JP essa relação não se confirma. Todos os dias da semana apresentaram valores altos de O<sub>3</sub> e isto demonstra que nesta região a formação de O<sub>3</sub> está associada a emissões de seus precursores promovidas por fontes de emissão móveis e fixas. Segundo o INEA (2015) esta região vem apresentando altas concentrações de O<sub>3</sub>, como apresentado nos últimos relatórios de Qualidade do ar (2010 a 2015). Os relatórios confirmam a influência das fontes emissoras desta região, principalmente no que tange o denso fluxo de veículos (emissão de NO<sub>x</sub>) em função da proximidade da rodovia Washington Luiz e as atividades industriais do Polo Petroquímico de Duque de Caxias (emissão de HC).

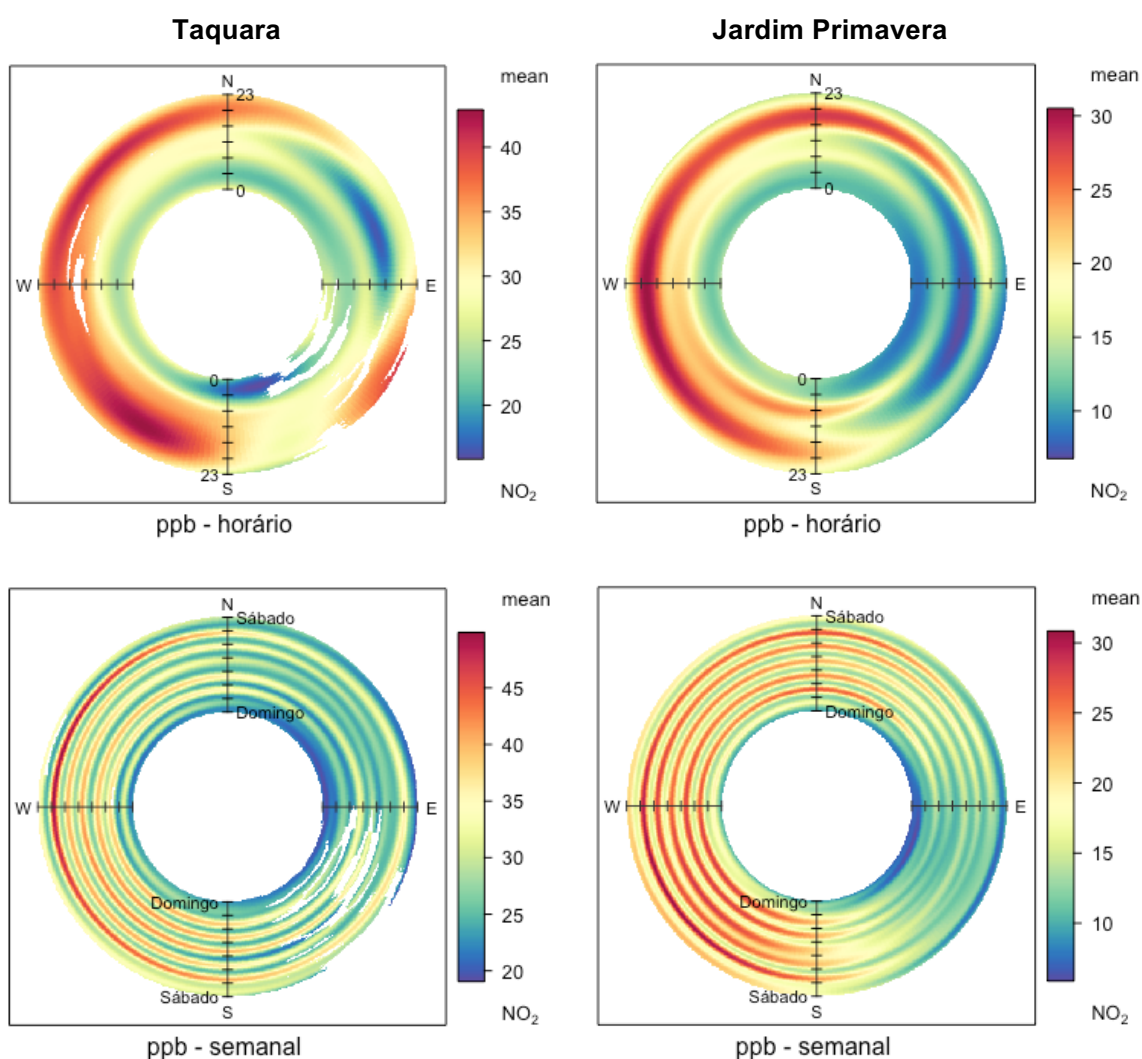
O comportamento dos resultados para o NO<sub>2</sub> (Figura 13) durante as horas do dia demonstrou a potencialidade das fontes emissoras, neste caso a frota veicular, que emite durante praticamente todas as horas do dia altas concentrações. As concentrações mais amenas estão entre 0 h e 4 h do dia. Os resultados em JP mostraram picos das 5 h as 8 h com cenários mais suaves das 17 h 19 h. Em ambas as estações as componentes eólicas predominantes vão de noroeste a sudoeste e os dados para dia da semana apresentaram altos índices em todos os dias, exceto nos finais de semana.

O Monóxido de Carbono (Figura 14), tanto na TQ como em JP tem perfis de níveis bem similares, sendo na TQ um pouco mais intenso nas últimas horas do dia,



porém em JP as concentrações entre 5 e 8 h da manhã são mais constantes. Referindo-se aos resultados apresentados para os dias da semana, o raciocínio é similar ao realizado para o  $\text{NO}_2$ , tendo em vista que na TQ as fontes emissoras são, para ambos os poluentes, as mesmas (móveis e fixas em menos escala em relação a JP), e em JP, há uma combinação mais intensa entre fontes móveis e fontes fixas, sendo esta com contribuição considerável em relação as fontes fixas presentes na TQ.

Gráfico 13 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de  $\text{NO}_2$  para TQ (esquerda) e JP (direita).

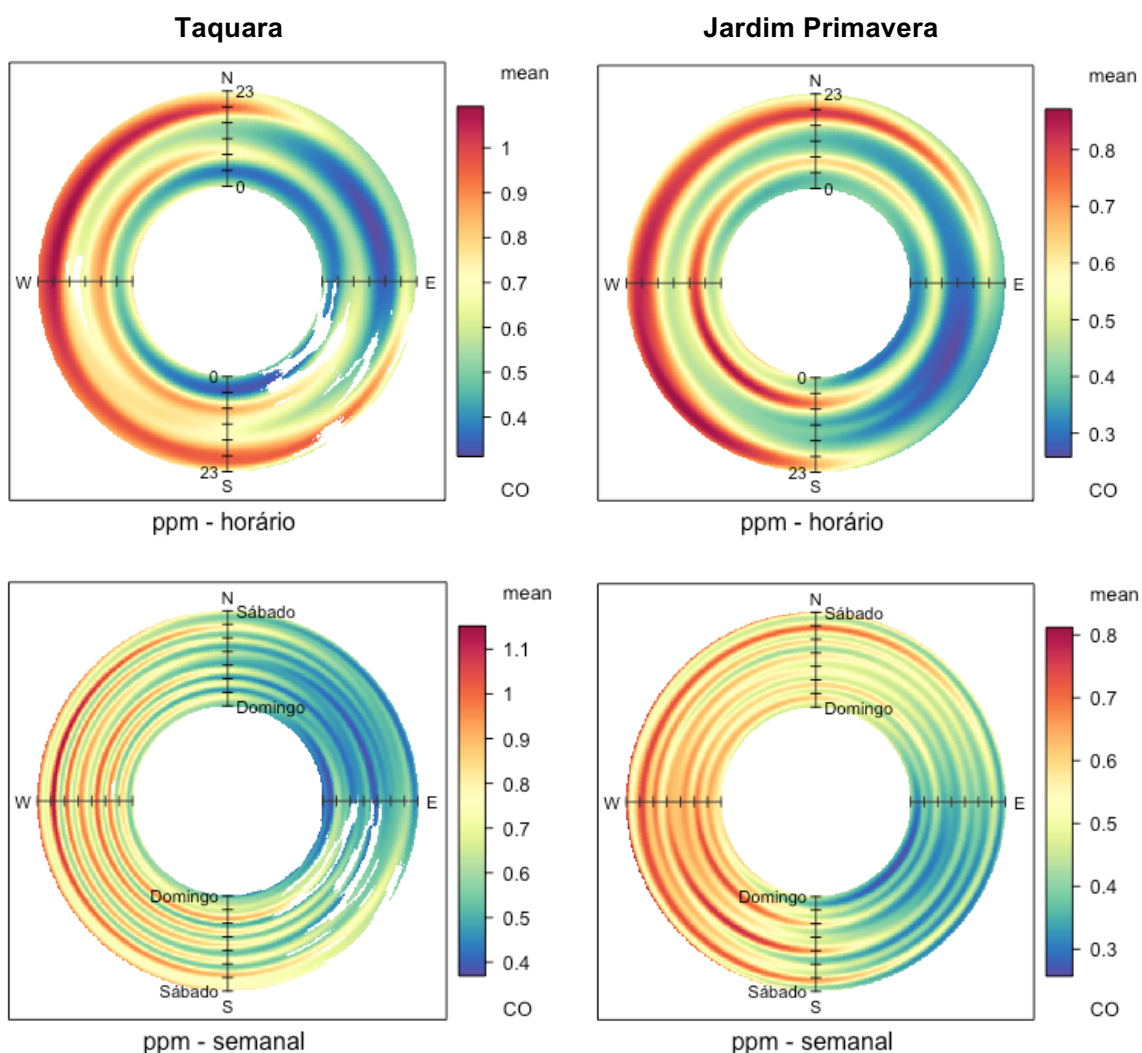


O Gráfico anelar para o  $\text{MP}_{10}$  (Figura 15) mostra que na TQ as concentrações são dominadas por ventos de sudeste a noroeste e que as emissões



noturnas foram predominantes, sendo de 17 às 23 h do dia. Vale ressaltar que, para esta estação, o  $MP_{10}$  só foi monitorado até o mês de junho de 2015, após isso não foram coletados mais dados para este poluente. À noite a camada de mistura da atmosfera é muito baixa (entre 200 a 300 m), o que aumenta a concentração de alguns poluentes primários (LEONI; DE SOUZA SAMPAIO e CORRÊA, 2017). Em JP, dois períodos do dia se destacaram, de 5 h a 8 h e de 21 h a 23 h, sendo o período diurno, o dobro da intensidade do período noturno na TQ.

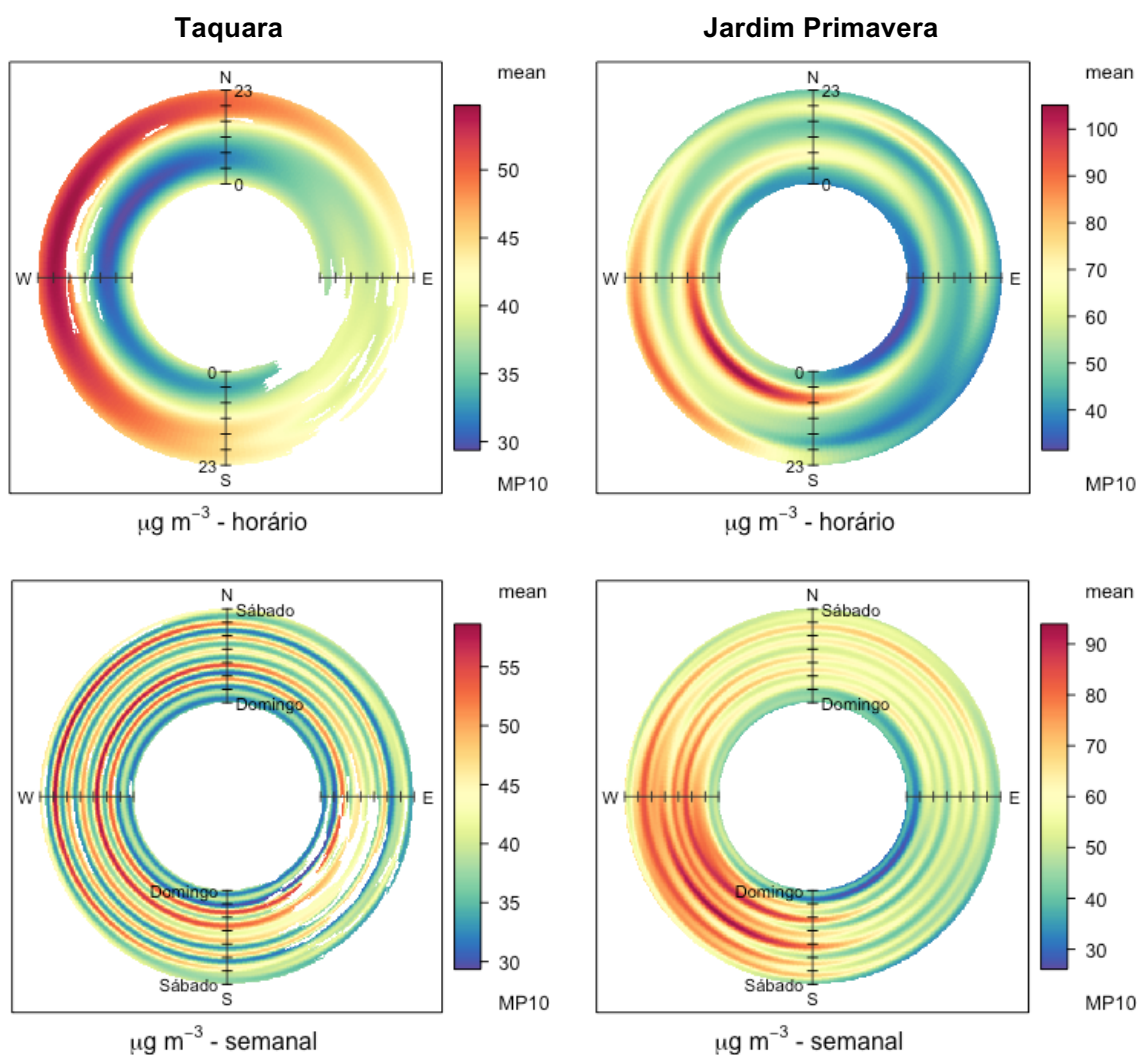
Gráfico 14 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de CO para TQ (esquerda) e JP (direita).



Finalmente, o  $SO_2$  para a TQ, apresentou as maiores concentrações, principalmente no horário do final da tarde até o final da noite. Para a estação JP a

sexta-feira foi o dia de maior intensidade (Figura 16), e isso pode estar relacionado aos locais de estacionamento, garagens, e centros logísticos que ficam muito próximo a estação.

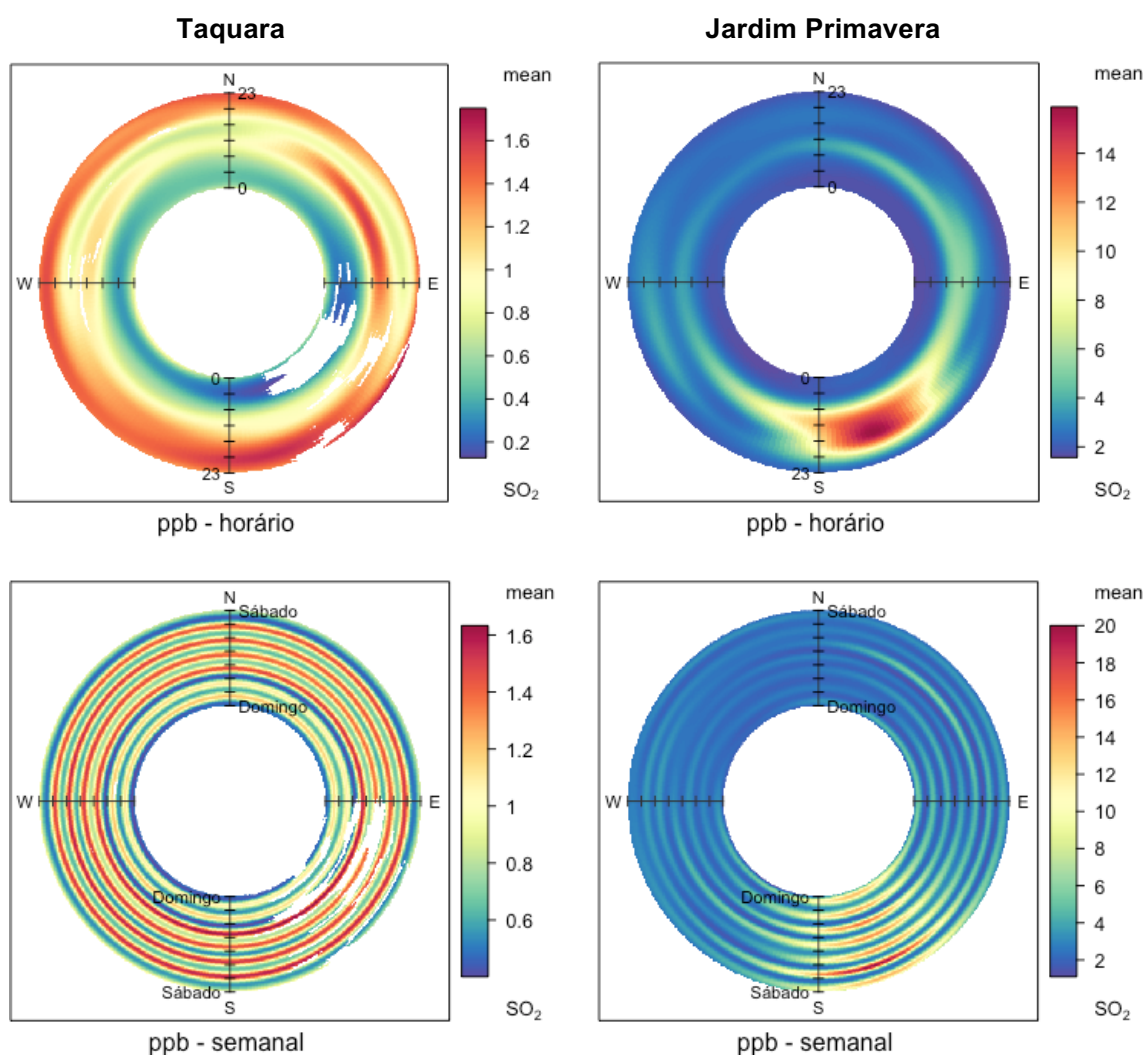
Gráfico 15 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de MP<sub>10</sub> para TQ (esquerda) e JP (direita).



O Gráfico 17 apresenta as reduções em relação a dias de semana e final de semana para NO e as elevações de O<sub>3</sub> para o mesmo período, comparando-se os resultados encontrados neste estudo com o estudo realizado por Martins *et al.* (2015). As maiores reduções para as concentrações de NO durante os finais de semana foram observadas nas estações relativas a este estudo (JP 31 % e TQ 34 %). Para O<sub>3</sub> JP, foi o local que apresentou o maior aumento durante os finais de

semana (35 %), sendo 5,5 % maior que a soma das relações de todas as outras estações.

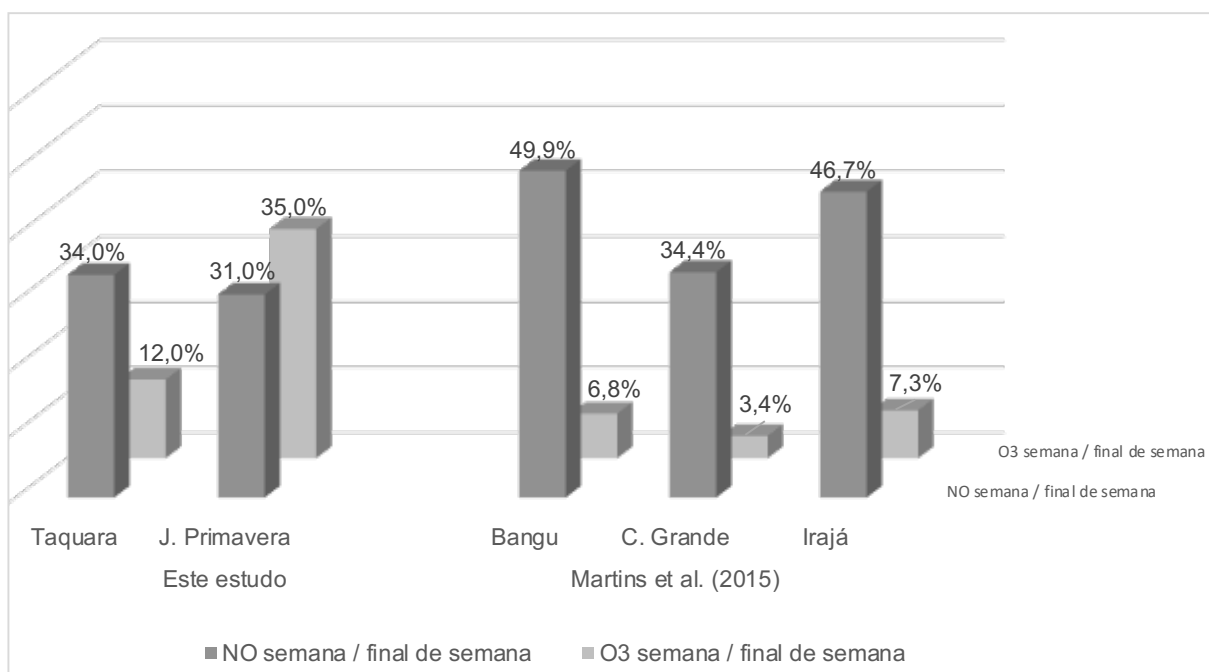
Gráfico 16 - Gráfico anelar em função das horas nos dias de semana e da direção do vento para as concentrações médias horárias de  $\text{SO}_2$  para TQ (esquerda) e JP (direita).



Segundo o INEA (2015), os maiores valores de concentração de  $\text{O}_3$  apresentam relação direta com os maiores valores de concentração dos seus precursores que, em função da exposição à radiação solar e da estabilidade atmosférica, provocam a formação de  $\text{O}_3$  em concentrações elevadas. Desta forma, não é possível deduzir se o aumento dos níveis de ozônio está ligado somente aos seus precursores, as condições meteorológicas ou até mesmo do transporte advectivo (direção preferencial dos ventos) de uma região para outra, tendo em vista

as complexas interações químicas e meteorológicas envolvidas na formação e transporte deste poluente. Para isso seria preciso estudos indicativos de fontes como por exemplo o PMF (*Positive Matrix Factorization*)

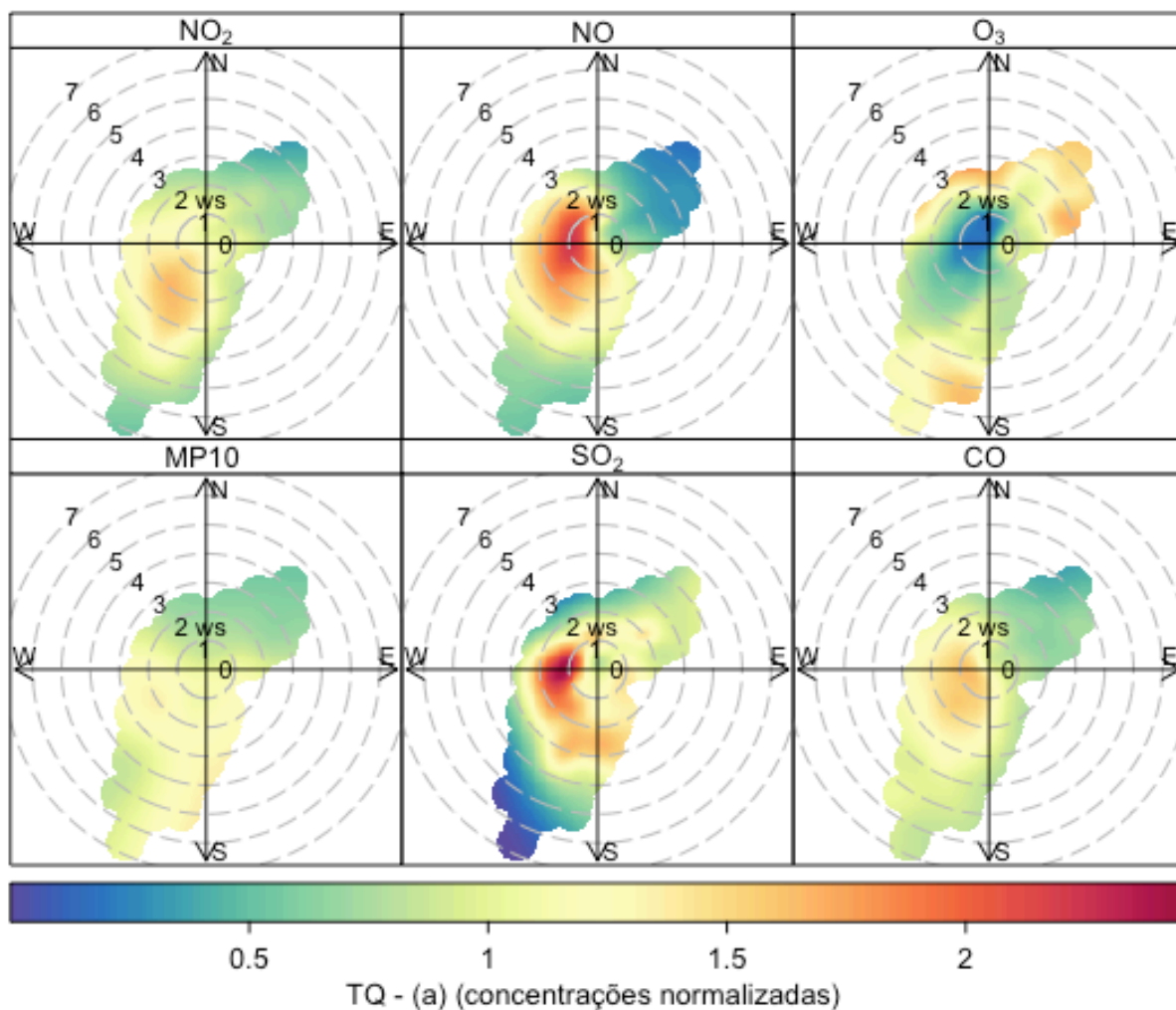
Gráfico 17 - Relação entre as concentrações durante os dias da semana e finais de semana para O<sub>3</sub> e NO em estudo realizado por Martins *et.al.* (2015).



### 3.4.3. Rosas de poluentes e mapas de calor

Os resultados de rosas dos poluentes referente às concentrações médias horárias foram apresentados relacionando os poluentes com a direção e velocidade e dos ventos. Uma abordagem adicional envolveu a criação de mapas de calor usando a temperatura em vez da velocidade do vento em uma escala radial. Isso também pode ser útil ao examinar as relações básicas entre os parâmetros.

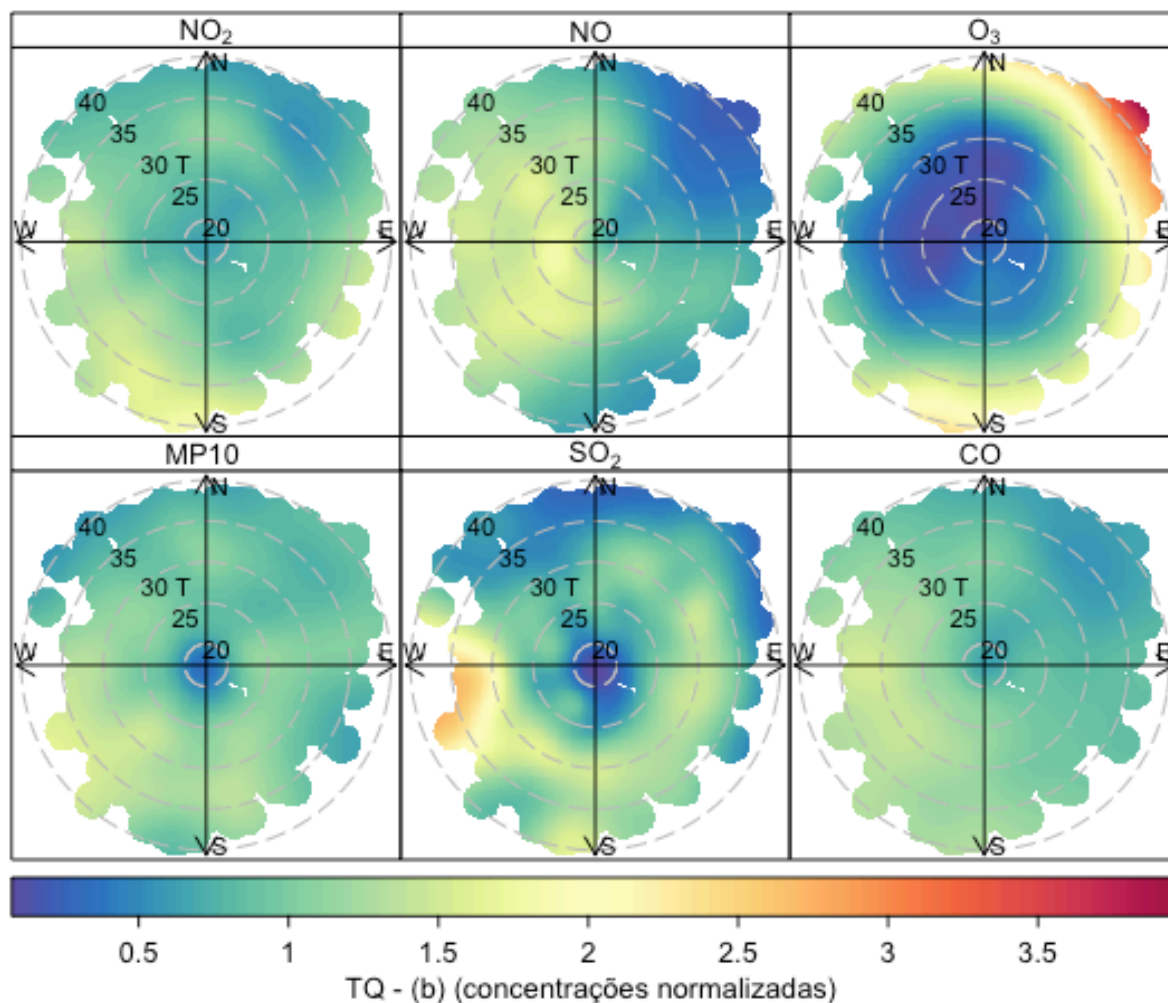
Figura 28 - Rosas de Poluentes para a estação TQ



O Figura 28 indica que o aumento da velocidade do vento na TQ determina a diminuição da concentração de NO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub> e CO para as direções do vento em sudoeste (SW) e nordeste (NE), embora em gradientes diferentes. Especificamente, os valores de concentração de MP<sub>10</sub> e CO diminuem mais lentamente em SW, sugerindo, assim, que existem fontes de MP<sub>10</sub> e CO ao longo dessa direção (CARSLAW *et al.*, 2006). O O<sub>3</sub> apresenta menores concentrações com ventos menos e maiores concentrações com ventos mais velozes, levando a entender que este poluente estar sendo transportado de outras localidades próximas.



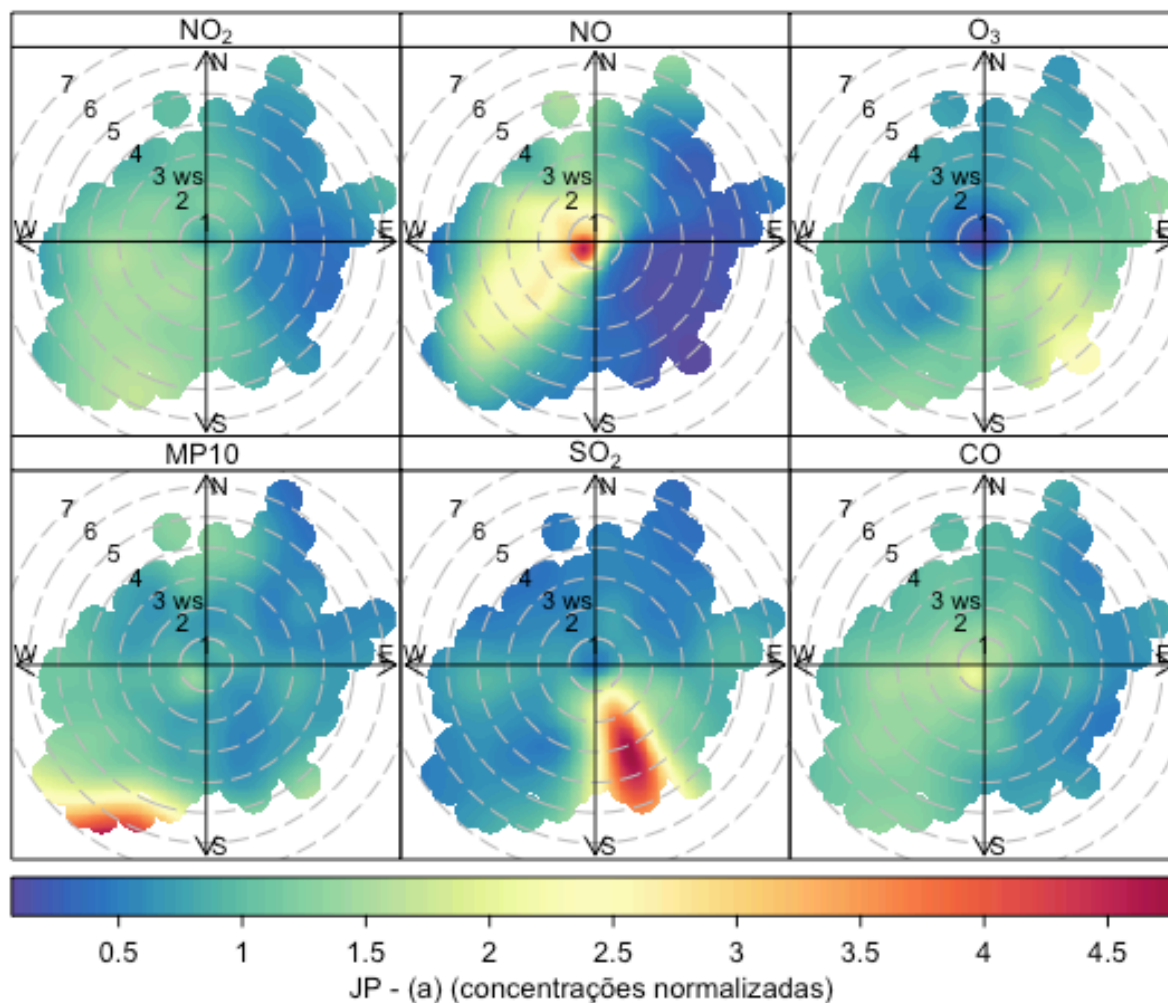
Figura 29 - Mapas de calor para a estação TQ.



A Figura 29 indica que para  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{CO}$  as maiores concentrações ocorreram durante baixas temperaturas na TQ, o que resulta principalmente de sistemas de aquecimento e combustão. No entanto, para o  $\text{O}_3$ , concentrações elevadas também foram observadas em temperaturas mais altas, como já constatado anteriormente.

As características da parcela polar na direção da SE para o poluente  $\text{SO}_2$  (Figura 30) sugerem que as emissões das carretas que se movimentam nos galpões logístico, paradas de caminhões, ou até mesmo, emissões oriundas do transporte de poluentes do Polo Petroquímico e parque de tangem das empresas Raizen e Ipiranga em Duque de Caxias sejam as prováveis causadoras dos níveis de concentrações que são aproximadamente constantes até a velocidade do vento de  $5 \text{ m s}^{-1}$  (SZULECKA; OLENIACZ e RZESZUTEK, 2017).

Figura 30 - Rosas de Poluentes para a estação JP

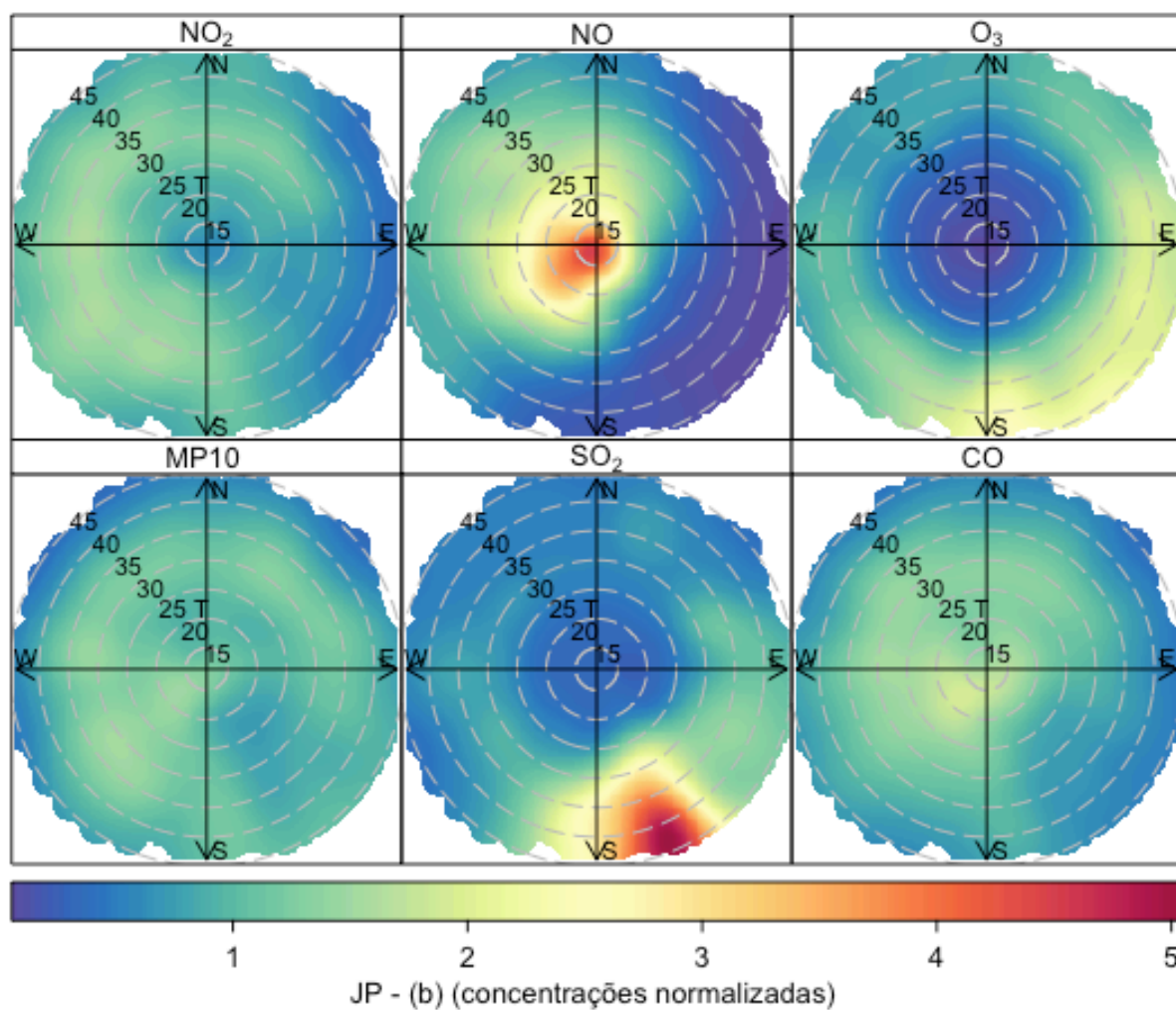


Nesta região da JP o  $\text{MP}_{10}$  tem maiores concentração na direção sudoeste (SW) para velocidades de vento entre 6 e 7  $\text{m s}^{-1}$ . O  $\text{NO}$  apresenta maiores concentrações para menores velocidades de ventos, porém a suavização da concentração na direção SW supõe que este poluente é oriundo da Rodovia Washington Luiz.

Na Figura 31 o comportamento em relação a temperatura para  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}$  são parecidos com a análise feita para velocidade e direção do vento na JP.

As Figuras 30 e 31, que tratam das rosas de poluentes para  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}$  em JP referente a temperatura e direção, sugerem que as possíveis fontes de emissão estão localizadas perto do ponto de amostragem ao nível bem próximo do solo porque as concentrações diminuem rapidamente conforme a velocidade do vento aumenta e diminuem conforme a temperatura diminui (CARSLAW *et al.*, 2006).

Figura 31 - Mapas de calor para a estação JP.





## 4. CONCLUSÕES

A qualidade do ar em duas regiões distintas (Taquara e Jardim Primavera) dentro da região metropolitana do Rio de Janeiro foi observada e comparada. Os resultados deste estudo revelam que estações de monitoramento alocadas em ambientes mais urbanizados e ambientes com grandes industriais, efetivamente apresentarão resultados distintos, e que a identificação das fontes emissoras se torna uma tarefa mais complicada em locais onde existem fontes fixas e móveis com grande potencial poluidor.

O estudo também mostrou a importância da utilização de *softwares* de cunho estatístico para análise e tratamento dos dados. Na atualidade, a Linguagem R é uma ferramenta estatística poderosa e vem sendo amplamente utilizada no meio científico por ser de código aberto, e também por ser uma ferramenta importante na interpretação e previsão de problemas.

Os resultados mostraram que em JP o principal aspecto encontrado foi a diminuição gradativa dos valores das concentrações de  $O_3$  ao longo do triênio.

O declínio de  $O_3$  no período de estudo para JP, presumivelmente sofre grande influência das condições locais e do transporte atmosférico, do que das elevadas concentrações de seu precursor, o  $NO_x$ . Entretanto existe a possível influência do polo petroquímico de Duque de Caxias na área de influencia da estação de monitoramento de JP. Para os órgãos ambientais e pesquisadores, o entendimento do comportamento deste poluente no Rio de Janeiro ainda é muito complexo, porém evolui a cada ano com estudos e pesquisas.

Na TQ o principal aumento foi em relação ao  $NO_2$ . Isto pode estar relacionado ao aumento de ônibus articulados circulantes na região, trocando o cenário de veículos de passeio para veículos pesados, que emitem bem mais  $NO_x$  e também ao grande fluxo de caminhões no pátio da empresa Coca-Cola. Provavelmente, a velocidade média da via deve ter diminuído, porém esta conclusão ficou limitada por falta de dados de fluxos de veículos.

Também na TQ, o  $O_3$  apresentou maiores concentrações na parte da tarde, entre 12 h e 16 h com um grande componente eólico de noroeste. No entanto, picos médios de  $O_3$  com concentrações próximas a 15 ppb também ocorreram nas primeiras horas do dia, entre 0 h e 4 h. Isso pode estar relacionado a jatos de  $O_3$  vindos da estratosfera.

A análise dos dias da semana na JP mostrou altos valores de  $O_3$  nos finais de semana. Isso foi observado em outros locais da cidade do Rio de Janeiro por outros estudos atuais, devido a redução da frota circulante de veículos pesados, grandes emissores de NO. O gráfico de anel possibilitou comprovar que os valores altos de ozônio nos fins de semana foram encontrados, provavelmente devido à redução da frota circulante de veículos pesados, que são grandes emissores de NO, e por esta molécula consumir  $O_3$ .

As concentrações de  $SO_2$  em ambientes urbanos, onde há um baixo índice de indústrias, principalmente indústrias de grande porte como refinarias, polos petroquímicos e fábricas de pneus, por exemplo, é predominantemente de veículos pesados, que utilizam diesel.

As funções *TimeVariation* e *polatPlot* se mostraram ferramentas de extrema importância para analisar o efeito semana, final de semana e a influências das estações do ano, principalmente as alterações sofridas no verão e inverno. Na função *TimeVariation*, a técnica de normalizar as concentrações dos poluentes também se mostrou eficiente para poluentes com menores concentrações.

## 5. RECOMENDAÇÕES

- As Redes de Qualidade do Ar de alta densidade e baixo custo, são compostas por equipamentos portáteis com sensores eletroquímicos e podem ser calibradas por estações convencionais. Utilizar esta metodologia proposta por Mead *et al.*, (2013) reduziria os altos valores investidos em estações que, em parte, não trazem resultados satisfatórios devido a falta de manutenção e devido a falta de verba pública;
- Integrar a linguagem R nos dados das estações para melhor entendimento e apresentação dos dados para o público através de plataforma digital;
- Criar app para visualização dos dados em tempo real, integrados Redes de Qualidade do Ar de alta densidade e baixo custo e Linguagem R, como já utilizado em equipamentos comerciais (exemplo: AQMesh);
- Realizar estudo com mesmo cunho, com uma maior quantidade de EMQAr, considerando mais anos de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABUSHAMMALA, M. F. M.; BASRI, N. E. A.; BASRI, H.; KADHUM, A. A. H.; EL-SHAFIE, A. H. Methane and carbon dioxide emissions from Sungai Sedu open dumping during wet season in Malaysia. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 49, p. 254–263, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.013>>
- AHRENS, C. D. Essentials of Meteorology: an Invitation to the Atmosphere. In: [s.l: s.n.]. p. 463.
- ARAUJO, I. R. S. **Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos e avaliação da qualidade do ar na área de abrangência do distrito industrial de Barcarena-PA**. 2012. [s. l.], 2012.
- ASSECAMPE. Mapa com localização das empresas que compõem o Pólo Industrial de Campos Elíseos. **Journal of Experimental Psychology: General**, [s. l.], v. 6, 2012. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/94934231/empresas-que-compoem-o-Polo-Industrial-de-Campos-Eliseos>>
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. In: [s.l: s.n.]. p. 332.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry**. 4th. ed. [s.l: s.n.].
- BARROS NETO, B. .; SCARMINIO, I. S. .; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=FDnT9ygeOccC&pg=PA79&lpg=PA79&dq=como+fazer+experimentos+doi+Neto+barros&source=bl&ots=EGYrSdmUGw&sig=FFC0dBw0TLT7iIJ0-fhFjtAL6I&hl=pt-BR&sa=X&ei=TPwRVMfKNoayggTyooGADw&ved=0CGkQ6AEwCA#v=onepage&q=como+fazer+experiment>>
- BOÇON, F. T. **Modelagem matemática do escoamento e da dispersão de poluentes na microescala atmosférica**. 1998. [s. l.], 1998.
- BORBA, P. F. de S.; MARTINS, E. M.; RITTER, E.; CORRÊA, S. M. BTEX Emissions from the Largest Landfill in Operation in Rio de Janeiro, Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 0, 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00128-017-2050-5>>
- BRUNO FARIA. **Boxplot - Como interpretar? - ABG Consultoria Estatística**. 2018. Disponível em: <<http://www.abgconsultoria.com.br/blog/boxplot-como-interpretar/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- CAMARA, V. F. **Avaliação da efetividade dos limites de concentração de emissão de poluentes atmosféricos da indústria cerâmica na proteção da qualidade do ar**. 2015. [s. l.], 2015.
- CARSLAW, D. The openair manual open-source tools for analysing air pollution data. **King's College London**, [s. l.], n. January, p. 287, 2015.

CARSLAW, D. C.; BEEVERS, S. D. Characterising and understanding emission sources using bivariate polar plots and k-means clustering. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 40, p. 325–329, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.005>>

CARSLAW, D. C.; ROPKINS, K. openair — An R package for air quality data analysis. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 27–28, p. 52–61, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815211002064>>

CAU-RJ. **Retratos da Arquitetura | CAU/RJ**. 2014. Disponível em: <<http://www.caurj.gov.br/retratos-da-arquitetura-11/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

CETESB. **Operação Inverno – 2016 Qualidade do Ar**. [s.l: s.n.].

CETESB. **Poluentes | Qualidade do Ar - Sistema Ambiental Paulista - Governo de SP**. 2017. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

CETESB. **Padrões de Qualidade do Ar | Qualidade do Ar**. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CONAMA-436. RESOLUÇÃO N° 436, DE 22 DE dezembro DE 2011/2011. p. 23–24.

CONAMA N° 03. **CONAMA n° 003/1990 - Qualidade do Ar**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>.

CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G.; MARQUES, M. R. C.; OLIVEIRA, K. M. P. G. The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. **Atmospheric Pollution Research**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 163–169, 2012. Disponível em: <[www.atmospolres.com](http://www.atmospolres.com)>

DALLAROSA, J. B. Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos. [s. l.], p. 115, 2005.

DAMILANO, D. C. R.; JORGE, M. P. P. M. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos**. [s.l: s.n.].

DIETHELM WURTZ, T. S. Plotting timeSeries Objects. **Rmetrics Open Source Project With**, [s. l.], 2014.

ECOTEC. **Referencial Técnico de equipamentos ECOTEC Monitoramento Ambiental**. [s.l: s.n.]. v. 1 Disponível em: <[www.ecoteceng.com.br](http://www.ecoteceng.com.br)>

ENERGÉTICA. **Arquivos Amostradores da qualidade do ar - Energetica**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.energetica.ind.br/categoria-produto/amostradores-da-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

FEGLEY, B.; SCHAEFER, L. K. 6.3 – Chemistry of Earth’s Earliest Atmosphere. In: **Treatise on Geochemistry**. [s.l: s.n.]. p. 71–90.

FEIJOO, A. M. L. C. De. 4. Medidas De Tendência Central. [s. l.], 2010.

FILIP SOPORAN, V.; NASCUTIU, L.; SOPORAN, B.; PAVAI, C. Case studies of methane dispersion patterns and odor strength in vicinity of municipal solid waste landfill of Cluj–Napoca, Romania, using numerical modeling. **Atmospheric Pollution Research**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 312–321, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104215302397>>

FINLAYSON-PITTS, B. J.; JAMES N. PITTS, J. The Atmospheric System. In: **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere**. [s.l: s.n.]. p. 15–42.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. [s. l.], 2009.

FRANCISCO, R. P. Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia. **Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei. Departamento de Ciências Térmicas e dos Fluidos e Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Mecânica**. [s. l.], 2012.

GARCIA, L. F. A.; CORRÊA, S. M.; PENTEADO, R.; DAEMME, L. C.; GATTI, L. V.; ALVIM, D. S. Measurements of emissions from motorcycles and modeling its impact on air quality. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 375–384, 2013.

GERALDINO, C. G. P. Avaliação dos episódios de altas concentrações de ozônio no bairro de Bangu, Rio de Janeiro. [s. l.], 2017.

GIODA, A.; CUNHA, C. L.; MACHADO, S. C.; JANEIRO, R. De. The influence of vehicle emissions on air quality in two islands in a megacity of Latin America. [s. l.], p. 1–24, 2017.

GIODA, A.; OLIVEIRA, R. C. G.; CUNHA, C. L.; CORRÊA, S. M. Understanding ozone formation at two islands of Rio de Janeiro, Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 278–288, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2017.10.003>>

GODISH, T. **Air Quality**. 4th. ed. [s.l: s.n.]. v. 53

GOMES, V. S. P. S. **Análise estatística multivariada aplicada a dados hidrogeológicos**. 2013. [s. l.], 2013.

GUEDES, V. P. Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos sólidos urbanos. **Universidade Federal Do Rio De Janeiro**, [s. l.], n. 1, p. 125, 2007.

GUERRA, F. P.; MIRANDA, R. M. De. Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM<sub>2,5</sub> na RMRJ e na RMSP. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, [s. l.], n. 1, p. 1–10, 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IV-007.pdf>>

GUIMARÃES, J. M. Estatística Através de Rosas Dos Ventos Para o Aérodromo do Galeão Como Auxílio À Elaboração Do Código TAF. **Instituto de controle do espaço aéreo**, [s. l.], p. 28, 2012.

HU, X. M.; KLEIN, P. M.; XUE, M.; ZHANG, F.; DOUGHTY, D. C.; FORKEL, R.; JOSEPH, E.; FUENTES, J. D. Impact of the vertical mixing induced by low-level jets on boundary layer ozone concentration. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 70, p. 123–130, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.12.046>>

IEMA. RELATÓRIO DA QUALIDADE DO AR GRANDE VITÓRIA. **GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**, [s. l.], p. 1–9, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>

INEA. Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - Ano 2009. [s. l.], 2009.

INEA. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - Ano base 2015**. [s.l: s.n.].

INEA. Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - Ano Base 2012. [s. l.], p. 1–148, 2015. Disponível em: <[http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter\\_dimfis\\_gear/documents/document/zwew/mdc4/~edisp/inea0078538.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/zwew/mdc4/~edisp/inea0078538.pdf)>

INEA. Concorrência Nacional INEA nº 006/2017. **Processo nº E-07/002.6076/2016**, [s. l.], p. 88, 2017.

IPP. **Bairros Cariocas - Instituto Pereira Passos**. 2017. Disponível em: <<http://pcrj.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=096ae1e5497145838ca64191be66f3e3>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

JORGE, G. J. F. Análise do Centro do Bairro da Taquara e sua Transformação da Malha Urbana Através da Implementação do BRT Transcarioca. [s. l.], 2013.

JUNIOR, W. D. M. Tratamento de Efluentes Gasosos. [s. l.], p. 1–18, 2006.

KESARKAR, A. P.; DALVI, M.; KAGINALKAR, A.; OJHA, A. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM10 dispersion over Pune, India. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 41, n. 9, p. 1976–1988, 2007.

KUMAR, A.; DIXIT, S.; VARADARAJAN, C.; VIJAYAN, A.; MASURAHA, A. Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area. **Environmental Progress**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 141–151, 2006.

LACERDA, A.; LEROUX, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. [s. l.], p. 403–412, 2005.

LEONI, R. C.; DE SOUZA SAMPAIO, N. A.; CORRÊA, S. M. Estatística Multivariada Aplicada ao Estudo da Qualidade do Ar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 235–241, 2017.

LIRA, S. A. Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. **Setores de Ciências Exatas e de**, [s. l.], p. 209, 2004. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Análise+de+correlação+de+abordagem+teórica+e+de+construção+dos+coeficientes+com+aplicações#0>>

LISBOA, H. de M. **Capítulo VIII - Meteorologia e Dispersão**. [s.l.: s.n.].

MACIEL, F. J. Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos. **World**, [s. l.], p. 333, 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpe.br/jspui/handle/123456789/5213>>

MAIA, M.; QUITÉRIO, S. L.; LOPES, R.; LOYOLA, J.; ARBILLA, G. Caracterização de metais traço presentes no material particulado atmosférico inferior a 2,5 µm (MP2,5) no entorno de uma área industrial. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, [s. l.], v. 6, p. 12, 2014.

MALINGOWSKI, J.; ATKINSON, D.; FOCHESSATTO, J.; CHERRY, J.; STEVENS, E. An observational study of radiation temperature inversions in Fairbanks, Alaska. **Polar Science**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 24–39, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2014.01.002>>

MANDU, J. B. **Aplicação do modelo de dispersão aermod às emissões odorantes oriundas de um frigorífico**. 2010. [s. l.], 2010.

MARQUES, L. da C. **Modelagem matemática da dispersão de poluentes atmosféricos em indústria siderúrgica no Ceará**. 2017. Universidade Federal do Ceará, [s. l.], 2017.

MARTINS, E. M.; NUNES, A. C. L.; CORRÊA, S. M. Understanding ozone concentrations during weekdays and weekends in the urban area of the city of rio de janeiro. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 1967–1975, 2015.

MARTINS, L. D. Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo. [s. l.], p. 219, 2006.

MATTI MARICQ, M. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. **Journal of Aerosol Science**, [s. l.], v. 38, n. 11, p. 1079–1118, 2007.

MEAD, M. I.; POPOOLA, O. A. M.; STEWART, G. B.; LANDSHOFF, P.; CALLEJA, M.; HAYES, M.; BALDOVI, J. J.; MCLEOD, M. W.; HODGSON, T. F.; DICKS, J.; LEWIS, A.; COHEN, J.; BARON, R.; SAFFELL, J. R.; JONES, R. L. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 70, p. 186–203, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>>

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Elis Dener Lima Alves** 2007. p. 206.

MICHANOWICZ, D. R.; SHMOOL, J. L. C.; TUNNO, B. J.; TRIPATHY, S.; GILLOOLY, S.; KINNEE, E.; CLOUGHERTY, J. E. A hybrid land use



regression/AERMOD model for predicting intra-urban variation in PM<sub>2.5</sub>. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 131, p. 307–315, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.01.045>>

MONTEIRO, V. C. **Implementação de levantamento de pluma de chaminés no modelo de dispersão de poluentes atmosféricos modelar**. 2014. [s. l.], 2014.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4ed. ed. [s.l: s.n.].

MORRIS, G. A.; FORD, B.; RAPPENGLÜCK, B.; THOMPSON, A. M.; MEFFERD, A.; NGAN, F.; LEFER, B. An evaluation of the interaction of morning residual layer and afternoon mixed layer ozone in Houston using ozonesonde data. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 44, n. 33, p. 4024–4034, 2010.

MUNIZ, S. R. Introdução à análise estatística de medidas. **Licenciatura em Ciências - USP**, [s. l.], v. Módulo 2, 2014.

NETO, R. P. D. M. Dianóstico ambiental sobre material particulado em suspensão no entorno de pedreira: um estudo de caso em Jabotão do Guararapes/PE. [s. l.], p. 111, 2012.

OLIVEIRA, G. C. G. De. Estudo de níveis de ozônio troposférico usando métodos de estatística univariada e multivariada para duas localidades da cidade do Rio de Janeiro. [s. l.], p. 110, 2013. a.

OLIVEIRA, R. C. G. De. **Impacto do uso de biocombustíveis na qualidade do ar da cidade do Rio de Janeiro: um estudo de simulação**. 2013b. [s. l.], 2013.

OLIVEIRA, R. L. **Avaliação da qualidade do ar no Rio de Janeiro : Maracanã , Floresta da Tijuca e Túnel Rebouças Avaliação da qualidade do ar no Rio de Janeiro : Maracanã , Floresta da Tijuca e Túnel Rebouças**. 2015a. [s. l.], 2015.

OLIVEIRA, R. L. Avaliação da qualidade do ar no Rio de Janeiro : Maracanã , Floresta da Tijuca e Túnel Rebouças Avaliação da qualidade do ar no Rio de Janeiro : Maracanã , Floresta da Tijuca e Túnel Rebouças. [s. l.], 2015. b.

ORLANDO, J. P.; ALVIM, D. S.; YAMAZAKI, A.; CORRÊA, S. M.; GATTI, L. V. Ozone precursors for the São Paulo Metropolitan Area. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 408, n. 7, p. 1612–1620, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.060>>

PETROBRAS. **Refinaria Duque de Caxias (Reduc): Principais Operações | Petrobras**. 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-duque-de-caxias-reduc.htm>>. Acesso em: 22 out. 2018.

RAPPENGLÜCK, B.; PERNA, R.; ZHONG, S.; MORRIS, G. A. An analysis of the vertical structure of the atmosphere and the upper-level meteorology and their impact on surface ozone levels in Houston, Texas. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [s. l.], v. 113, n. 17, p. 1–11, 2008.

REIS, E. A.; REIS, I. A. Análise Descritiva de Dados. **Relatório Técnico do Departamento de Estatística da UFMG**, [s. l.], 2002. Disponível em: <[www.est.ufmg.br](http://www.est.ufmg.br)>

ROCHA, L. D. S. Quantificação de metais e arsênio em aerossóis grossos, finos, ultrafinos e nanoparticulados por ICP-OES em ar ambiente e emissões veiculares de motores operando com misturas diesel/biodiesel. [s. l.], 2015.

RODRIGUES, J. P. Modelagem matemática da dispersão de poluentes atmosféricos como etapa de pré-seleção de locais para instalação de estações de monitoramento da qualidade do ar em Paranaguá-PR. [s. l.], 2016.

ROSA, A. F. M. **Modelagem da Concentração de Dióxido de Enxofre na Região de Candiota-RS utilizando o modelo AERMOD**. 2012. [s. l.], 2012.

ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. Descriptive Statistics and Graphical Analysis. **Statistics for Food Scientists**, [s. l.], p. 3–11, 2016. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124171794000020>>

SANTANA, T. C. DIVISÃO OU MANUTENÇÃO DA UNIDADE MUNICIPAL ? ENTRE A ORDEM E A CONTRAORDEM TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS DIVISION OR MAINTENANCE OF THE MUNICIPAL UNIT ? BETWEEN THE ORDER AND THE. **Anais do I Congresso Brasileiro de Geografia Política, Geopolítica e Gestão do Território**, [s. l.], p. 781–792, 2014.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change - Second Edition**. [s.l: s.n.].

SFORZA, P. M.; SFORZA, P. M. Chapter 2 – Earth’s Atmosphere. In: **Manned Spacecraft Design Principles**. [s.l: s.n.]. p. 13–46.

SICILIANO, A. M. Centro de Tecnologia e Ciências Antonio Marco Siciliano Estudo do impacto do complexo petroquímico COMPERJ na atmosfera. [s. l.], 2009.

SILVA, C. M.; CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. Determination of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: a Case Study for the City of Rio de Janeiro Using a New Sampling Method. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 778–786, 2016. Disponível em: <<http://jbcbs.sbcq.org.br/imagebank/pdf/v27n4a17.pdf>>

SILVA, C. M. Da. **Avaliação de gases efeito estufa na cidade do Rio de Janeiro**. 2012. [s. l.], 2012.

SMAC. Qualidade do Ar na cidade do Rio de Janeiro. [s. l.], p. 177, 2012. Disponível em: <[http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com\\_content&view=category&id=275&Itemid=183&lang=pt](http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_content&view=category&id=275&Itemid=183&lang=pt)>

SOUZA, C. V. De. Emissões de compostos orgânicos voláteis de um aterro controlado e o potencial formador de ozônio. [s. l.], p. 1–108, 2011.

STEIN, A. F.; ISAKOV, V.; GODOWITCH, J.; DRAXLER, R. R. A hybrid modeling approach to resolve pollutant concentrations in an urban area. **Atmospheric**

**Environment**, [s. l.], v. 41, n. 40, p. 9410–9426, 2007.

SZULECKA, A.; OLENIACZ, R.; RZESZUTEK, M. Functionality of openair package in air pollution assessment and modeling — a case study of Krakow. **Environmental Protection and Natural Resources**, [s. l.], v. 28, n. 2(72), p. 22–27, 2017. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/oszn.2017.28.issue-2/oszn-2017-0009/oszn-2017-0009.pdf>>

TEIXEIRA, J. R. **Impacto do Aterro Controlado Morro do Céu na Atmosfera**. 2009. [s. l.], 2009.

TEIXEIRA, J. R.; CORRÊA, S. M. Estudo do impacto das emissões atmosféricas de um aterro Resultados e Discussão. [s. l.], p. 1992, 2007.

UEDA, A. C. Estudo de Compostos Orgânicos Voláteis na Atmosfera da Região Metropolitana de Campinas. [s. l.], p. 256, 2010.

VALACH, A. C.; LANGFORD, B.; NEMITZ, E.; MACKENZIE, A. R.; HEWITT, C. N. Seasonal and diurnal trends in concentrations and fluxes of volatile organic compounds in central London. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [s. l.], v. 15, n. 14, p. 7777–7796, 2015.

VALLERO, D. A. **Fundamentals of Air Pollution**. 4th ed. ed. [s.l: s.n.].

VALOTTO, G.; VARIN, C. Characterization of hourly NO<sub>x</sub> atmospheric concentrations near the Venice International Airport with additive semi-parametric statistical models. **Atmospheric Research**, [s. l.], v. 167, n. x, p. 216–223, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.07.023>>

WANG, F.; CHEN, D. S.; CHENG, S. Y.; LI, J. B.; LI, M. J.; REN, Z. H. Identification of regional atmospheric PM<sub>10</sub> transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 25, n. 8, p. 927–934, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.02.004>>

WEHRENS, R. **Chemometrics with R: multivariate data analysis in the natural sciences and life sciences**. [s.l.] : Springer, 2011.

WHO. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. **Geneva: World Health Organization**, [s. l.], p. 1–22, 2005. Disponível em: <[http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf?ua=1](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?ua=1)>

WHO. Frequently Asked Questions: Ambient and Household Air Pollution and Health. [s. l.], p. 1–9, 2014. Disponível em: <[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/faqs\\_air\\_pollution.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/faqs_air_pollution.pdf?ua=1)>

## APÊNDICE – R SCRIPT

# Script de todos as técnicas utilizadas para compor os resultados da Dissertação  
# Raphael Perciliano da Silva de Almeida - PEAMB UERJ 2016-2018.

```
rm(list=ls(all.names = TRUE))
setwd("/Users/raphaelperciliano/Dropbox/Mestrado PEAMB/DISSESTAÇÃO
  RAPHAEL_PEAMB/DISSERTAÇÃO")

# Bibliotecas
library(openair)
library(corrplot)
library(readr)
library(latticeExtra)
library(lattice)
library(gridExtra)`
library(ggplot2)
library(factoextra)
library(FactoMineR)
library(grid)

# Leitura dos arquivos de dados

mydata_2014a <- read.csv("TQ_2014.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2014a$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2014a$date, format = "%d/%m/%Y
  %H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2014a)

mydata_2015a <- read.csv("TQ_2015.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2015a$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2015a$date, format = "%d/%m/%Y
  %H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2015a)

test.dataa <- merge(mydata_2014a, mydata_2015a, all = TRUE)
summary(test.dataa)

mydata_2016a <- read.csv("TQ_2016.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2016a$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2016a$date, format = "%d/%m/%Y
  %H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2016a)

test.dataa <- merge(test.dataa, mydata_2016a, all = TRUE)
summary(test.dataa)

#JP#
mydata_2014aa <- read.csv("JP_2014.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2014aa$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2014aa$date, format = "%d/%m/%Y
  %H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2014aa)

mydata_2015aa <- read.csv("JP_2015.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2015aa$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2015aa$date, format = "%d/%m/%Y
  %H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2015aa)
```

```
test.dataaa <- merge(mydata_2014aa, mydata_2015aa, all = TRUE)
summary(test.dataaa)
```

```
mydata_2016aa <- read.csv("JP_2016.csv", sep = ",", dec=".")
mydata_2016aa$date <- as.POSIXct(strptime(mydata_2016aa$date, format = "%d/%m/%Y
%H:%M", tz = "GMT"))
summary(mydata_2016aa)
```

```
test.dataaa <- merge(test.dataaa, mydata_2016aa, all = TRUE)
summary(test.dataaa)
```

```
# Comparando os períodos do timeplot
```

```
hourTTQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "T",
  y.relation = "free", ylim=c(10 , 46), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="TQ", ylab="°C", cols = "black", ref.y = list(h = c(40.60,25.31),
  lty = c(5,4), lwd=2, col = c("blue", "green"))))
```

```
hourTJP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "T",
  y.relation = "free", ylim=c(10 , 46), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="JP", ylab="°C", cols = "black", ref.y = list(h = c(45.55,26.03),
  lty = c(5,4), lwd=2, col = c("blue", "green"))))
```

```
hourURTQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "ur",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 100), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="TQ", ylab="%", cols = "black", ref.y = list(h = c(100.00,70.86),
  lty = c(5,4), lwd=2, col = c("blue", "green"))))
```

```
hourURJP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "rh",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 100), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="JP", ylab="%", cols = "black", ref.y = list(h = c(93.80,69.34),
  lty = c(5,4), lwd=2, col = c("blue", "green"))))
```

```
hourO3TQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "o3",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 200), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="TQ", ylab="ppb", cols = "black", ref.y = list(h = 82,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))
```

```
hourO3JP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "o3",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 200), avg.time = "hour", lwd = 1,
  xlab="JP", ylab="ppb", cols = "black", ref.y = list(h = 82,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))
```

```
hourSO2TQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "so2",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 150), avg.time = "day", lwd = 1,
  xlab="TQ", ylab="ppb", cols = "black", ref.y = list(h = 140,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))
```

```
hourSO2JP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant = "so2",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 150), avg.time = "day", lwd = 1,
  xlab="JP", ylab="ppb", cols = "black", ref.y = list(h = 140,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))
```

```

hourNO2TQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="no2",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 180), avg.time = "hour",lwd = 1,
  xlab="TQ",ylab="ppb",cols ="black",ref.y = list(h = 170,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))

hourNO2JP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="no2",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 180),avg.time = "hour",lwd = 1,
  xlab="JP",ylab="ppb",cols ="black",ref.y = list(h = 170,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))

hourCOTQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="co",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 10),avg.time = "hour",lwd = 1,
  xlab="JP",ylab="ppm",cols ="black",ref.y = list(h = 9,
  lty = c(5,1), lwd=2, col = "red")))

hourCOJP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="co",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 10),avg.time = "hour",lwd = 1,
  xlab="JP",ylab="ppm",cols ="black",ref.y = list(h = 9,
  lty = c(5,1), lwd=2, col = "red")))

hourMP10TQ <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="MP10",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 180), avg.time = "day",lwd = 1,
  xlab="TQ",ylab="ug/m3",cols ="black",ref.y = list(h = 150,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))

hourMP10JP <- (timePlot(test.dataaa, pollutant ="MP10",
  y.relation = "free", ylim=c(0 , 180),avg.time = "day",lwd = 1,
  xlab="JP",ylab="ug/m3",cols ="black",ref.y = list(h = 150,
  lty = 5, lwd=2, col = "red")))

options(max.print=1000000)
subset(mydata_2014a,o3 > 0)

#Plotanto juntos - hora (falta colocar a legenda de hora)
print(hourO3TQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourO3JP, split=c(1,2,1,2))

print(hourNO2TQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourNO2JP, split=c(1,2,1,2))

print(hourCOTQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourCOJP, split=c(1,2,1,2))

print(hourSO2TQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourSO2JP, split=c(1,2,1,2))

print(hourMP10TQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourMP10JP, split=c(1,2,1,2))

print(hourTTQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourTJP, split=c(1,2,1,2))

```

```

print(hourURTQ, split=c(1,1,1,2), more=TRUE)
print(hourURJP, split=c(1,2,1,2))

# Gráficos de Caixa

# Taquara

par(mfrow=c(3,2))

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$o3, ylim=c(0 , 70),las=1, ylab="O3 - ppb",xlab="TQ", outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),
     test.dataaaa$o3, ylim=c(0 , 70), las=1, ylab="O3 - ppb",xlab="JP", outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$no2, ylim=c(0 , 70),las=1, ylab="NO2 - ppb", xlab="TQ", outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),
     test.dataaaa$no2, ylim=c(0 , 70),las=1, ylab="NO2 - ppb", xlab="JP", outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$co, ylim=c(0 , 1.6),las=1, ylab="CO - ppm", xlab="TQ", outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),
     test.dataaaa$co, ylim=c(0 , 1.6),las=1, ylab="CO - ppm", xlab="JP", outline=FALSE)

# Jardim Primavera

par(mfrow=c(2,2))

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$MP10, yaxp=c(0,160,8), ylim=c(0 , 160), las=1, ylab="MP10 - ug/m3",
     xlab="TQ",outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),
     test.dataaaa$MP10, yaxp=c(0,160,8), ylim=c(0 , 160), las=1, ylab="MP10 - ug/m3",
     xlab="JP",outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$so2, yaxp=c(0,8,8), ylim=c(0 , 8), las=1, ylab="SO2 - ppb",
     xlab="TQ",outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),
     test.dataaaa$so2, yaxp=c(0,8,8), ylim=c(0 , 8),las=1, ylab="SO2 - ppb",
     xlab="JP",outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaa$date, "%Y")),
     test.dataaa$T, ylim=c(0 , 40),las=1, ylab="Temperatura - °C", xlab="TQ",outline=FALSE)

plot(as.factor(format(test.dataaaa$date, "%Y")),

```

```

test.dataaaa$T, ylim=c(0 , 40),las=1, ylab="Temperatura - °C", xlab="JP",outline=FALSE)

# Rosa dos ventos sazonais para cada ano com calmarias = ws < 3 m/s

test.dataa$ws[test.dataa$ws < 0.3] <- 0
windRose(test.dataa, type = "season", paddle = FALSE, hemisphere = "southern")

test.dataaaa$ws[test.dataaaa$ws < 0.3] <- 0
windRose(test.dataaaa, type = "season", paddle = FALSE, hemisphere = "southern")

# timeVariation dos vetores que influenciam na formação de O3 – TQ

timeVariation(test.dataa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),normalise =
TRUE, hemisphere = "southern")

# timeVariation dos vetores que influenciam na formação de O3 – JP

timeVariation(test.dataaaa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),normalise =
TRUE, hemisphere = "southern")

#Polar Plot para todos os poluentes

#Taquara
# O3 sazonais em TQ em função da Velocidade do Vento
polO3TQ <- polarPlot(test.dataa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),
key.position = "bottom",
key.header = "TQ - (a) (concentrações normalizadas)",
key.footer = NULL,normalise = TRUE)

# O3 anuais em TQ em função da Velocidade da Temperatura
polO3TQ <- polarPlot(test.dataa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),
key.position = "bottom",
key.header = "TQ - (b) (concentrações normalizadas)",
key.footer = NULL, x ="T",normalise = TRUE)

#Jardim Primavera
# O3 anuais em JP em função da Velocidade do Vento
polO3JP <- polarPlot(test.dataaaa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),
key.position = "bottom",
key.header = "JP - (a) (concentrações normalizadas)",
key.footer = NULL,normalise = TRUE)

# O3 anuais em JP em função da Temperatura
polO3JP <- polarPlot(test.dataaaa, pollutant = c("no2","NO","o3","MP10","so2","co"),
key.position = "bottom",
key.header = "JP - (b) (concentrações normalizadas)",
key.footer = NULL, x ="T",normalise = TRUE)

```



```
# Annular Plot + Polar Plot para todos os poluentes
```

```
#O3
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "o3", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "o3",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "o3", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "o3",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
#NO2
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "no2", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "nox",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "no2", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "nox",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
na.omit(test.dataaaa)
```

```
#CO
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "co", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppm -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "co",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppm - horário")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "co", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppm -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "co",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppm - horário")
```

```
#MP10
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "MP10", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ug/m3
- semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "MP10",period = "hour", main = "Hour", xlab="ug/m3 -
horário")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "MP10", period = "weekday", main = "Weekday",
xlab="ug/m3 - semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "MP10",period = "hour", main = "Hour", xlab="ug/m3 -
horário")
```

```
#SO2
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "so2", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaa, poll = "so2",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "so2", period = "weekday", main = "Weekday", xlab="ppb -
semanal")
```

```
polarAnnulus(test.dataaaa, poll = "so2",period = "hour", main = "Hour", xlab="ppb - horário")
```

```
# Tirando os N/A
```

```
PP <-na.omit(mydata_2014a)
```

```
# Excluir a coluna date
```

```
mydata_2014a$date <- NULL

head(test.dataaa)

test.dataaa$date = NULL

# Renomeando Variáveis

names(test.dataaa) <-c("date","nox","MP10","NO","no2","o3","so2","co","ws","wd","T","ur")

# Matriz de correlação Pearson para TQ
test.dataa$date = NULL
MatrizTQ <-na.omit(test.dataa)
MatrizTQ.cor <-cor(MatrizTQ, method = "pearson")
View(MatrizTQ.cor)
cor(MatrizTQ)
corrplot(MatrizTQ.cor, tl.col = "black", addcolorlabel = "no",
          order = "hclust", type ="lower", diag = F, method = "ellipse",
          addCoef.col = "black")

# Teste entre variáveis
cor.test(MatrizTQ$nox,MatrizTQ$MP10)

# Matriz de correlação Pearson para JP
test.dataaa$date = NULL
MatrizJP <-na.omit(test.dataaa)
MatrizJP.cor <-cor(MatrizJP, method = "pearson")
corrplot(MatrizJP.cor, tl.col = "black", addcolorlabel = "no",
          order = "hclust", type ="lower", diag = F, method = "ellipse",
          addCoef.col = "black")

# Teste entre variáveis
cor.test(MatrizJP$nox,MatrizJP$MP10)
```