



MonitorAR *Rio*

Programa de Monitoramento
da Qualidade do Ar

RELATÓRIO DE QUALIDADE DO AR DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

2012-2018



PREFEITURA
DA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO

SECRETARIA MUNICIPAL
DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE



Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro

Marcelo Crivella

Secretário Municipal de Meio Ambiente da Cidade

Bernardo Egas Lima Fonseca

Gerência de Monitoramento do Ar

Bruno Bôscaro França

Textos e Informações

Anselmo de Souza Pontes – Meteorologista

André Felipe de Matos Lopes – Meteorologista

Bruno Bôscaro França – Engenheiro Químico

Lara Olive Lyrio – Química

Marcos Borges Pereira – Engenheiro Civil

Michelle Veloso da Cruz – Técnica em Meteorologia

Silvia dos Anjos Paulino – Química

Agradecimentos

Cohidro – Consultoria, Estudos e Projetos Ltda

Sumário

1. Poluição atmosférica.....	12
1.1. Conceitos básicos.....	12
1.2. Principais poluentes atmosféricos monitorados.....	12
1.2.1. Material Particulado.....	12
1.2.2. Monóxido de Carbono (CO).....	13
1.2.3. Dióxido de Enxofre (SO ₂).....	13
1.2.4. Dióxido de Nitrogênio (NO ₂).....	13
1.2.5. Compostos Orgânicos Voláteis (COV).....	14
1.2.6. Ozônio (O ₃).....	14
1.3. Legislação relacionada e Índice de Qualidade do Ar.....	14
2. Caracterização da Cidade do Rio de Janeiro.....	17
2.1. Território e meio ambiente.....	17
2.2. Divisão administrativa e uso do solo.....	18
2.3. População.....	18
3. Contribuições das atividades urbanas para a poluição atmosférica.....	20
3.1. Fontes estacionárias.....	20
3.2. Fontes móveis.....	24
3.2.1. Divisão modal de transportes coletivos.....	25
3.2.2. Frota e motorização.....	25
3.2.3. Combustíveis utilizados.....	27
3.2.4. Movimento de navios e aeronaves.....	28
4. Caracterização Meteorológica.....	30
4.1. Temperatura.....	30
4.2. Umidade relativa do ar.....	32
4.3. Precipitação pluviométrica.....	33
4.4. Radiação Solar.....	34
4.5. Direção e intensidade do vento.....	35
5. Caracterização da rede monitoramento da qualidade do ar – MonitorAr-Rio.....	37
5.1. Estação Centro.....	38
5.2. Estação Copacabana.....	38
5.3. Estação São Cristóvão.....	39
5.4. Estação Tijuca.....	40
5.5. Estação Irajá.....	41
5.6. Estação Bangu.....	42
5.7. Estação Campo Grande.....	43
5.8. Estação Pedra de Guaratiba.....	44
6. Resultados do monitoramento da qualidade do ar.....	46
6.1. Estação Centro.....	46

6.1.1. Monóxido de Carbono (CO)	46
6.1.2. Partículas Inaláveis (MP10).....	46
6.1.3. Ozônio (O3).....	48
6.2. Estação Copacabana.....	49
6.2.1. Monóxido de Carbono (CO)	49
6.2.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	49
6.2.3. Partículas Inaláveis (MP10).....	50
6.2.4. Ozônio (O3).....	51
6.3. São Cristóvão	52
6.3.1. Monóxido de Carbono (CO)	52
6.3.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	53
6.3.3. Partículas Inaláveis (PM10).....	54
6.3.4. Ozônio (O3).....	55
6.4. Tijuca	56
6.4.1. Monóxido de Carbono (CO)	56
6.4.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	57
6.4.3. Partículas Inaláveis (MP10).....	57
6.4.4. Ozônio (O3).....	58
6.4.5. Dióxido de Nitrogênio (NO2)	59
6.5. Irajá.....	60
6.5.1. Monóxido de Carbono (CO)	60
6.5.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	61
6.5.3. Partículas Inaláveis (MP10).....	61
6.5.4. Ozônio (O3).....	62
6.5.5. Dióxido de Nitrogênio (NO2)	64
6.6. Bangu	64
6.6.1. Monóxido de Carbono (CO)	64
6.6.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	65
6.6.3. Partículas Inaláveis (MP10).....	66
6.6.4. Ozônio (O3).....	67
6.6.5. Dióxido de Nitrogênio (NO2)	68
6.7. Campo Grande	69
6.7.1. Monóxido de Carbono (CO)	69
6.7.2. Dióxido de Enxofre (SO2).....	70
6.7.3. Partículas Inaláveis (PM10).....	70
6.7.4. Ozônio (O3).....	71
6.7.5. Dióxido de Nitrogênio (NO2)	73
6.8. Pedra de Guaratiba.....	73
6.8.1. Partículas Inaláveis (PM10).....	73
6.8.2. Ozônio (O3).....	74

7. Índice de Qualidade do Ar (IQA).....	76
8. Considerações finais.....	78
9. Anexos.....	80
9.1. Normal climatológica x temperatura média mensal.....	80
9.2. Análises anuais de precipitação pluviométrica.....	82
9.3. Rosas dos ventos referentes às estações de monitoramento da Rede MonitorAr-Rio.....	89
9.4. Médias anuais de poluentes atmosféricos observados na rede MonitorAr-Rio.....	97
9.5. Perfil médio de concentração de CO ao longo do dia.....	97
9.6. Perfil médio de concentração de SO ₂ ao longo do dia.....	99
10. Bibliografia.....	101

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Mapa da Cidade do Rio de Janeiro	17
Figura 2.2 – Evolução da população, em números absolutos, segundo as Áreas de Planejamento	19
Figura 3.1 – Produto Interno Bruto do Município do Rio de Janeiro entre 2012 e 2017	21
Figura 3.2 – Quantidade de atividades cadastradas por categoria do CTF/APP em 2018	21
Figura 3.3 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria Química em 2018	22
Figura 3.4 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria Metalúrgica em 2018.....	22
Figura 3.5 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria de Madeira em 2018	22
Figura 3.6 – Localização das Unidades Poluidoras situadas no município do Rio de Janeiro e cidades vizinhas.	24
Figura 3.7 – Movimento médio diário de passageiros segundo os transportes rodoviário, ferroviário, hidroviário e aeroviário na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018.....	25
Figura 3.8 – Total da frota de veículos segundo o tipo na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018	26
Figura 3.9 – Taxa de motorização na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018	26
Figura 3.10 – Distribuição percentual da frota de veículos por tipo na Cidade do Rio de Janeiro em 2018.....	26
Figura 3.11 – Distribuição percentual da frota de veículos por idade no Município do Rio de Janeiro em 2018	27
Figura 3.12 – Distribuição percentual da frota ativa por tipo de combustível na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018 ...	27
Figura 3.13 – Emissões veiculares na Cidade do Rio de Janeiro em 2013.....	28
Figura 3.14 – Movimento de embarcações no Porto da Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018	28
Figura 3.15 – Movimento de aeronaves nos aeroportos da Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018.....	29
Figura 4.1 – Evolução da temperatura média nas estações do MonitorAr-Rio, ao longo dos meses, entre 2012 e 2018.....	32
Figura 4.2 – Evolução da média mensal de umidade relativa do ar, na Rede MonitorAr-Rio, entre 2012 e 2018.....	33
Figura 4.3 – Evolução da precipitação acumulada na estações do MonitorAr-Rio, entre os anos de 2012 e 2018.....	34
Figura 5.1 – Localização das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar MonitorAr-Rio.....	37
Figura 5.2 – Localização da Estação Centro, Largo da Carioca.....	38
Figura 5.3 – Localização da Estação Copacabana, Praça Cardeal Arcoverde.....	39
Figura 5.4 – Localização da Estação São Cristóvão, Campo de São Cristóvão.....	40
Figura 5.5 – Localização da Estação Tijuca, Praça Saens Pena.....	41
Figura 5.6 – Localização da Estação Irajá, Praça Nossa Senhora da Apresentação.....	42
Figura 5.7 – Localização da Estação Bangu, Espaço de Desenvolvimento Infantil Professora Tânia Maria Larrubia Gomes.....	43
Figura 5.8 – Localização da Estação Campo Grande, Escola Municipal Ernesto Che Guevara.....	44
Figura 5.9 – Localização da Estação Pedra de Guaratiba, Escola Municipal Professora Myrthes Wenzel.....	45
Figura 6.1 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Centro, entre 2012 e 2018	46
Figura 6.2 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Centro, entre 2012 e 2018.....	47
Figura 6.4 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90 na Estação Centro, entre 2012 e 2018	47
Figura 6.5 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Centro, entre 2012 e 2018.....	48

Figura 6.6 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Centro, entre 2012 e 2018.....	48
Figura 6.7 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018	49
Figura 6.9 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018.....	50
Figura 6.11 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018.....	50
Figura 6.12 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018	51
Figura 6.13 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018....	52
Figura 6.14 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018.....	52
Figura 6.15 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018.....	53
Figura 6.17 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018	53
Figura 6.19 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2011 e 2018	54
Figura 6.20 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018	54
Figura 6.21 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018 .	55
Figura 6.22 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018.....	56
Figura 6.23 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018.....	56
Figura 6.25 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018	57
Figura 6.27 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018	58
Figura 6.28 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018.....	58
Figura 6.29 – Box Plot contendo concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018	59
Figura 6.30 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018	59
Figura 6.31 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018	60
Figura 6.32 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018	60
Figura 6.34 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018	61
Figura 6.36 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018	62
Figura 6.37 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018.....	62
Figura 6.38 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018.....	63
Figura 6.39 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018	63

Figura 6.40 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018.....	64
Figura 6.41 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	65
Figura 6.43 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 a 2018.....	65
Figura 6.45 – Concentrações médias anuais de Ozônio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	66
Figura 6.46 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	67
Figura 6.47 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	67
Figura 6.48 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	68
Figura 6.49 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018.....	69
Figura 6.50 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	69
Figura 6.52 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	70
Figura 6.54 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	71
Figura 6.55 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	71
Figura 6.56 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	72
Figura 6.57 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	72
Figura 6.58 – Concentrações médias anuais de Ozônio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018.....	73
Figura 6.59 – Concentrações médias anuais de Material Particulado comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Pedra Guaratiba, entre 2012 e 2018.....	74
Figura 6.60 – Concentrações máximas de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA nº 03/90, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 a 2018.....	74
Figura 6.61 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 e 2018.....	75
Figura 6.62 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 e 2018.....	75
Figura 7.1 – Ocorrência dos Índices de Qualidade do Ar na Rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018.....	76
Figura 7.2 – Poluente determinante do Índice de Qualidade do Ar nas estações do MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018.....	77
Figura 9.1 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2012.....	82
Figura 9.2 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2013.....	83
Figura 9.3 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2014.....	84
Figura 9.4 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2015.....	85
Figura 9.5 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2016.....	86
Figura 9.6 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2017.....	87

Figura 9.7 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2018	88
Figura 9.8 – Rosa dos ventos na estação Centro entre 2012 e 2018	89
Figura 9.9 – Rosa dos ventos na Estação Copacabana entre 2012 e 2018	90
Figura 9.10 – Rosa dos ventos na Estação São Cristóvão entre 2012 e 2018	91
Figura 9.11 – Rosa dos ventos na Estação Tijuca entre 2012 e 2018	92
Figura 9.12 – Rosa dos ventos na Estação Irajá entre 2012 e 2018	93
Figura 9.13 – Rosa dos ventos na Estação Bangu entre 2012 e 2018	94
Figura 9.14 – Rosa dos ventos na Estação Campo Grande entre 2012 e 2018	95
Figura 9.15 – Rosa dos ventos na Estação Pedra de Guaratiba entre 2012 e 2018	96
Figura 9.16 – Curva média horária de Monóxido de Carbono entre 2012 e 2018	99
Figura 9.17 – Curva média horária de Dióxido de Enxofre entre 2012 e 2018	100

Lista de Quadros

Quadro 1.1 – Poluentes e respectivos padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de amostragem	15
Quadro 1.2 – Níveis de Qualidade do Ar relativos a Episódios Críticos de Poluição do Ar	15
Quadro 1.3 – Índice de Qualidade do Ar (IQA) e efeitos sobre a saúde humana	16
Quadro 2.1 – População da Cidade do Rio de Janeiro – 2000-2010	18
Quadro 2.2 – Estimativa populacional para a Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018	19
Quadro 3.1 – Quantidade de empreendimentos que relataram emissões segundo poluentes específicos em 2018.....	23
Quadro 3.2 – Distribuição hierárquica das vias do Município do Rio de Janeiro	24
Quadro 4.1 – Normal climatológica x umidade relativa do ar média anual (%) entre 2012 e 2018.....	32
Quadro 4.2 – Normal Climatológica x Precipitação total anual (mm) entre 2012 e 2018	34
Quadro 4.3 – Valores máximos de radiação solar (W/m ²) entre 2012 e 2018.....	35
Quadro 4.4 – Índices de calma entre 2012 e 2018.....	36
Quadro 4.5 – Direção predominante do vento entre 2012 e 2018.....	36
Quadro 5.1 – Configuração das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar MonitorAr-Rio e início de operação..	37
Quadro 9.1 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2012.....	80
Quadro 9.2 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2013.....	80
Quadro 9.3 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2014.....	80
Quadro 9.4 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2015.....	80
Quadro 9.5 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2016.....	81
Quadro 9.6 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2017.....	81
Quadro 9.7 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2018.....	81
Quadro 9.8 – Média anual de Partículas Inaláveis (MP10) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018.....	97
Quadro 9.9 – Média anual de Dióxido de Enxofre (SO ₂) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018.....	97
Quadro 9.10 – Média anual de Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018	97

1. Poluição atmosférica

1.1. Conceitos básicos

Entende-se como poluente atmosférico 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 impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora ou, ainda, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990).

A Poluição Atmosférica será resultado do tipo, concentração e distribuição das emissões desses poluentes e, também, das circunstâncias para dispersão ou ocorrência de reações químicas no ar e que são dadas, principalmente, pelas condições meteorológicas e por aspectos relacionados à topografia e uso do solo da região.

Assim sendo, os poluentes atmosféricos podem ser classificados em:

- a) Poluentes primários: são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- b) Poluentes secundários; São aqueles formados na atmosfera por meio da reação química entre poluentes atmosféricos e/ou destes com outros componentes da atmosfera.

As fontes de emissão dos poluentes atmosféricos podem ser classificadas em naturais ou antropogênicas. Sendo assim, como fontes naturais tem-se, por exemplo, os vulcões e os incêndios florestais causados pela queda de raios. Já como fontes de poluentes de origem antropogênica destacam-se os processos industriais e os veículos de combustão interna. As fontes podem ser ainda classificadas em móveis ou estacionárias, conforme se situem em local fixo ou não.

A avaliação da qualidade do ar tem por objetivo identificar os níveis de Poluição Atmosférica existentes em uma dada localidade, estabelecidos segundo os efeitos sobre a saúde humana, assim como os impactos sobre a fauna e a flora e os possíveis danos aos materiais. No Brasil, esses níveis são dados pelos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90.

Para a identificação dos níveis de poluição atmosférica é necessário estabelecer o Monitoramento da Qualidade do Ar, que consiste na instalação de analisadores, que podem ser manuais ou automáticos, nas regiões de interesse. Geralmente, são estabelecidas redes de monitoramento, compostas por vários analisadores destinados a diferentes poluentes e, também, por sensores meteorológicos.

As Redes de Monitoramento da Qualidade do ar possibilitam o estabelecimento de séries de dados que permitem a identificação de violações aos padrões nacionais, a análise de tendências e, por conseguinte, o estabelecimento de medidas para a gestão da qualidade do ar. Quando estabelecidas, as redes automáticas permitem, ainda, a divulgação de boletins em periodicidade geralmente diária, ou até mesmo a disponibilização dos dados do monitoramento em tempo real.

1.2. Principais poluentes atmosféricos monitorados

Os principais poluentes atmosféricos monitorados são aqueles encontrados em maiores concentrações na atmosfera e que são gerados, principalmente, por atividades humanas.

1.2.1. Material Particulado

O material particulado é composto por um conjunto de partículas sólidas e líquidas, oriundas das mais diversas fontes e com diferentes tamanhos, formatos e composições químicas. O material particulado pode ser classificado em (CONAMA, 2018):

- a) Partículas Totais em Suspensão (PTS): partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros.
- b) Partículas Inaláveis (MP₁₀): partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros.
- c) Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}): partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros

As partículas mais grossas são geralmente poluentes primários e têm sua origem em processos mecânicos naturais ou antropogênicos que fracionam porções maiores de matéria, como rochas ou material vegetal. Estas partículas também podem ser formadas por aerossóis marinhos. Já as partículas mais finas são geralmente poluentes secundários e têm sua origem em reações químicas entre gases ou coagulação de espécies menores, podendo ser de origem natural ou antropogênica, como, por exemplo, o material particulado que se forma na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs).

As partículas de menor diâmetro tendem a ficar mais tempo em suspensão no ar e, por conseguinte, alcançar maiores distâncias a partir de sua fonte geradora. Essas partículas são, também, as que podem causar maiores danos à saúde, uma vez que conseguem penetrar mais profundamente no trato respiratório.

Como fontes de material particulado de origem antropogênica destacam-se o uso de pneus e freios e a queima de diesel por veículos automotores, além de processos industriais siderúrgicos e metalúrgicos, de produção de cimento e de asfalto e o processamento de rochas e de cereais.

1.2.2. Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás inodoro, insípido e incolor, formado quando não há oxigênio suficiente para realizar a queima completa de combustíveis que contêm carbono, como gasolina, gás natural, óleo, querosene, propano, carvão e madeira. A maior parte das emissões antropogênicas é oriunda dos veículos de combustão interna.

1.2.3. Dióxido de Enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre é um gás incolor e que apresenta forte odor, sendo emitido por fontes naturais ou antropogênicas. Como principal fonte natural, encontram-se as erupções vulcânicas e a decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Já como fontes antropogênicas destacam-se as termelétricas, indústrias metalúrgicas de alumínio, siderúrgicas e de refino de petróleo, indústrias químicas de produção de ácido sulfúrico, fábricas de fertilizantes e de papel, além das emissões oriundas da queima de carvão ou de combustíveis fósseis como óleo diesel e gasolina¹. Na atmosfera, o dióxido de enxofre é, ainda, um precursor dos sulfatos, um dos componentes das partículas inaláveis (MP₁₀), e das chuvas ácidas.

1.2.4. Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

O dióxido de nitrogênio é um dos principais poluentes das áreas urbanas, sendo caracterizado por sua cor marrom-avermelhada e odor irritante. O NO₂, juntamente com o NO (óxido nítrico), faz parte de um grupo de gases altamente reativos conhecidos como óxidos de nitrogênio (NO_x), sendo o primeiro usado como indicador para esse grupo.

¹ O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (Resolução CONAMA n° 18/86) contribuiu de maneira significativa para a diminuição das emissões de SO₂ oriundas do diesel utilizado pela frota brasileira.

O óxido nítrico é o mais encontrado dentre os óxidos formados durante os processos de combustão, sendo que pode ser obtido por três caminhos: reação do nitrogênio atmosférico com o oxigênio a altas temperaturas, reação de radicais hidrocarbônicos livres com a molécula de nitrogênio e pela reação do nitrogênio existente no combustível. Dependendo das condições em que a combustão ocorre, existe o predomínio de um dos caminhos mencionados. A conversão de NO em NO₂, por sua vez, ocorre nas zonas em que existe excesso de ar na câmara de combustão, o que caracteriza uma maior estabilidade do NO₂ a baixas temperaturas, quando comparado com o NO. Uma vez lançado na atmosfera, o NO rapidamente se transforma em NO₂ (MARTINS, 2010).

Um dos resultados da presença dos óxidos de nitrogênio na atmosfera é a produção da fumaça fotoquímica, que ocorre em virtude de sua reação com compostos orgânicos voláteis (COV) em presença de luz solar, formando, principalmente, o ozônio troposférico.

1.2.5. Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

São compostos orgânicos que, sob condições normais, vaporizam-se significativamente ao entrar na atmosfera, sendo resultantes da queima incompleta ou da evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos. Nas regiões urbanas é possível encontrar, por exemplo, compostos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos. Muitos desses compostos participam ativamente das reações de formação do ozônio troposférico.

Como principais fontes antropogênicas, destacam-se os veículos de combustão interna, as indústrias, a transferência e o armazenamento de combustíveis. Como fontes naturais, ressaltam-se as plantas, principalmente coníferas, que em seus processos fisiológicos emitem terpenos para a atmosfera.

1.2.6. Ozônio (O₃)

O ozônio é encontrado de modo natural na estratosfera, onde ao absorver grande parte dos raios ultravioleta e impedir que estes cheguem à superfície do planeta, age de modo benéfico para a vida na Terra. Na troposfera, no entanto, age como poluente secundário, não sendo emitido diretamente por nenhuma fonte, mas formado a partir de outros poluentes atmosféricos, por meio de processos complexos, e sob a ação da luz solar.

Nos grandes centros urbanos, o ozônio muitas vezes é o poluente responsável pela degradação da qualidade do ar, principalmente nos períodos de grande incidência de luz solar.

1.3. Legislação relacionada e Índice de Qualidade do Ar

No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90², que define as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Estes padrões são definidos segundo duas classificações:

- I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

² Em 19 de novembro de 2018 foi publicada a Resolução CONAMA nº 491, que dispôs sobre novos padrões de qualidade do ar. No entanto, tendo em vista que este relatório trata do período entre 2012 e 2018, todas as análises aqui realizadas foram feitas ainda sob os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90.

Para a definição desses padrões, a Resolução CONAMA nº 03/90 considera os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. A resolução estabelece, ainda, os métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos.

Os poluentes e respectivos padrões e métodos de amostragem estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 estão apresentados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Poluentes e respectivos padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de amostragem

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de amostragem
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes ou equivalente
Partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	Separação inercial / filtração ou equivalente
Fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	Refletância ou Equivalente
Dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	Pararonasilina ou Equivalente
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	Quimioluminescência ou Método Equivalente
Monóxido de carbono	1 hora ¹ 8 horas ¹	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infra-Vermelho não Dispersivo ou Equivalente
Ozônio	1 hora ¹	160	160	Quimioluminescência ou Equivalente

Nota: 1 - Não deve ser excedido mais de uma vez por ano. 2 - Média geométrica anual. 3 - Média aritmética anual

A Resolução CONAMA nº 03/90 estabelece, ainda, os Níveis de Qualidade do Ar relativos a Episódios Críticos de Poluição do Ar (Quadro 1.2), sendo estes definidos quando houver a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

Quadro 1.2 – Níveis de Qualidade do Ar relativos a Episódios Críticos de Poluição do Ar

Parâmetros	Unidade	Tempo de Amostragem	Níveis		
			Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h	≥ 800	≥ 1.600	≥ 2.100
Partículas totais em suspensão	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h	≥ 375	≥ 625	≥ 875
SO ₂ x PTS	$\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h	≥ 65.000	≥ 261.000	≥ 393.000
Monóxido de carbono	ppm	8 h	≥ 15	≥ 30	≥ 40
Ozônio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 h	≥ 400	≥ 800	≥ 1.000
Partículas inaláveis	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Fumaça	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Dióxido de nitrogênio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 h	≥ 1.130	≥ 2.260	≥ 3.000

Para a divulgação da qualidade do ar junto à população, utiliza-se, no entanto, o Índice de Qualidade do Ar (IQA), que busca sintetizar os valores das concentrações dos poluentes monitorados em um único número, classificado em virtude dos efeitos desses poluentes em relação aos efeitos sobre a saúde humana.

O MonitorAr-Rio utiliza-se do IQA elaborado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, que foi baseado em experiências do Canadá e EUA. A estrutura de IQA adotada possibilita a

comparação com os limites legais de concentração para monóxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio e material particulado monitorados pelas estações da rede de monitoramento.

O cálculo do IQAr efetuado pela CETESB é realizado por meio de uma função linear segmentada, em que os pontos de inflexão são os padrões nacionais e os critérios para episódios agudos estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 03/90, os intervalos de concentração associando-os aos efeitos sobre a saúde da humana (Quadro 1.3). Assim, utiliza-se o índice mais elevado, observando o conjunto de poluentes monitorados em uma estação, no período de 24 horas.

Quadro 1.3 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) e efeitos sobre a saúde humana

Índice de Qualidade do Ar (IQAr)	Classificação	Faixa de concentração do poluente					Significado da classificação
		SO ₂ (µg/m ³) ¹	CO (ppm) ²	MP ₁₀ (µg/m ³) ¹	O ₃ (µg/m ³) ³	NO ₂ (µg/m ³) ³	
0 - 50	BOA	0 - 80	0 - 4	0 - 50	0 - 80	0 - 100	Praticamente não há riscos à saúde.
51 - 100	REGULAR	81 - 365	4,1 - 9	51 - 150	81 - 160	101 - 320	Pessoas de grupos sensíveis podem apresentar tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
101 - 199	INADEQUADA	366 - 800	9,1 - 15	151 - 250	161 - 200	321 - 1130	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
200 - 299	MÁ	801 - 1600	15,1 - 30	251 - 420	201 - 800	1131 - 2260	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos mais graves à saúde de grupos sensíveis.
> 300	PÉSSIMA	1601 - 2100	30,1 - 40	421 - 500	801 - 1000	2261 - 3000	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis

Nota: (1) Média de 24h (2) Média máxima de 8h (3) Média máxima de 1h

2. Caracterização da Cidade do Rio de Janeiro

2.1. Território e meio ambiente

A Cidade do Rio de Janeiro é a capital do Estado do Rio de Janeiro e está localizada na região sudeste do Brasil, sendo delimitada ao norte por municípios da Região Metropolitana, ao sul pelo Oceano Atlântico, a leste pela Baía de Guanabara e a oeste pela baía de Sepetiba (Figura 2.1).

O território da Cidade se estende sobre uma área de 1.204 km² e seu relevo é caracterizado por fortes contrastes, ocasionados principalmente pela existência de três grupos montanhosos localizados em meio a regiões de planícies, algumas delas situadas junto ao litoral. Os maciços do Gericinó-Mendanha com 14 km², no extremo norte do território, da Tijuca com 92 km², a leste, e da Pedra Branca com 125 km², a oeste, apresentam encostas com grandes declividades e são, em grande parte, cobertos por remanescentes de Mata Atlântica. O ponto culminante está no Pico da Pedra Branca, que alcança a altitude de 1.025 m, sendo seguido pelo Pico da Tijuca, com 1.021m de altura.

Dos grupos montanhosos nascem a maior parte dos rios que cortam a cidade, num total de mais de 480 km de extensão, e que se distribuem por quatro bacias hidrográficas: Baía de Sepetiba, Lagoas Oceânicas, Guanabara e Sistemas Insulares da Baía de Guanabara. Na região de planície da Cidade, são encontradas lagoas nas regiões sul e oeste. A maior delas é a Lagoa da Tijuca, com 4,2 km², seguida pelas Lagoas de Jacarepaguá, com 4,1 km², de Marapendi, com 3,5 km², Rodrigo de Freitas, com 2,3 km², Camorim, com 0,8 km², e Lagoinha, com 0,7 km². Na região litoral, estão localizadas praias abrigadas ou oceânicas que alcançam cerca de 84 km de extensão.

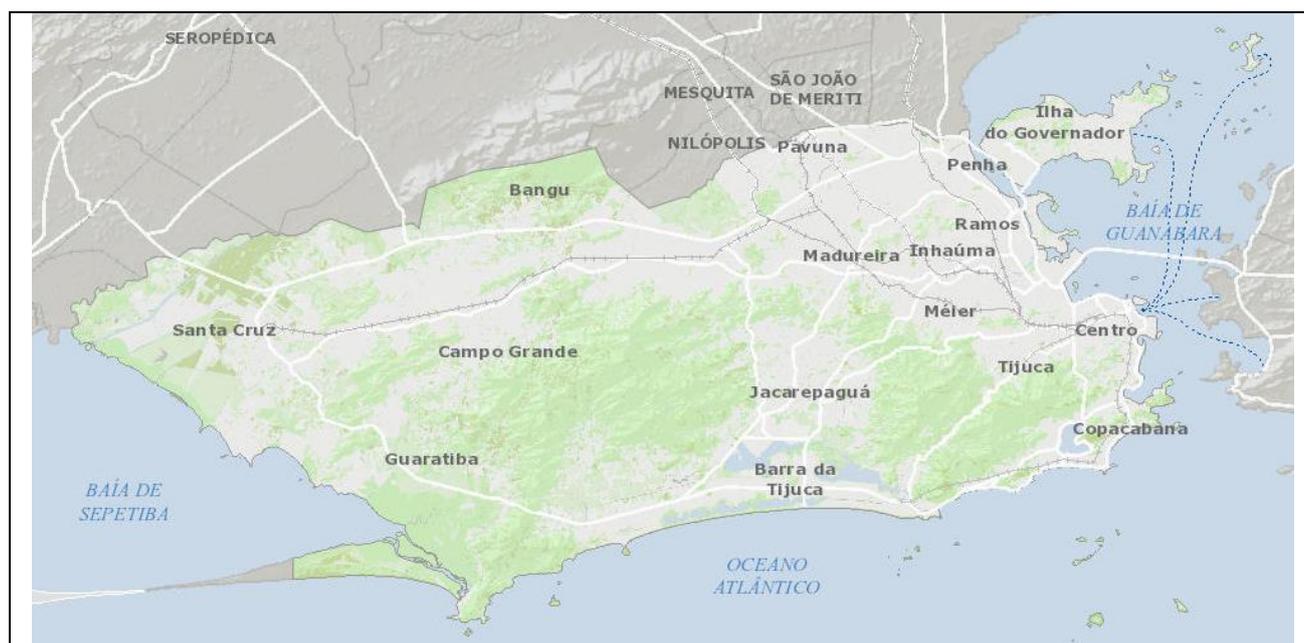


Figura 2.1 – Mapa da Cidade do Rio de Janeiro

O clima da Cidade do Rio de Janeiro é o tropical atlântico, com variações locais, devido às diferenças de altitude, à presença de vegetação e à proximidade com o oceano. Os verões são quentes e úmidos e ocasionalmente com temporais. Os invernos são marcados por temperaturas baixas e secas, com grandes períodos de estabilidade atmosférica. As condições de tempo são influenciadas significativamente por sistemas transientes que têm grande influência na qualidade do ar da Cidade.

2.2. Divisão administrativa e uso do solo

A Cidade do Rio de Janeiro possui 163 Bairros, distribuídos por 34 regiões administrativas e agrupados em cinco Áreas de Planejamento (APs), sendo que as áreas urbanizadas ocupam cerca de 600 km² do território. Cerca de 34% da área do município é ambientalmente protegida por legislação e, em 2016, remanescentes da Mata Atlântica ainda recobriam 34.649 ha, o que equivale a 28,3% do território (SMAC, 2018), a estes se somam 3.500 ha de áreas reflorestadas.

Na área urbanizada, a Cidade abriga cinco distritos industriais:

- Distrito Industrial de Santa Cruz (CODIN, 2019): planejado, inicialmente, para abrigar empresas dos ramos metalúrgico e siderúrgico, o distrito conta atualmente com 16 empresas em operação e 6 em implantação. Na Zona Estritamente Industrial do bairro de Santa Cruz, além do Distrito, encontram-se instaladas as indústrias Gerdau e a Companhia Siderúrgica do Atlântico. Localização Rodovia Rio-Santos, km 6 (BR-101). Área total: 6,2 milhões de m². Perfil de Ocupação: Indústrias e Serviços. ZEI: Zona Estritamente Industrial.
- Distrito Industrial de Campo Grande (CODIN, 2019): o distrito foi expandido em 2002, em área situada à margem da Avenida Brasil. Área total: 2,5 milhões de m². Perfil de Ocupação: Indústrias e serviços. ZEI: Zona Estritamente Industrial.
- Distrito Industrial de Paciência (CODIN, 2019): o distrito foi criado para realocar grandes empresas instaladas em áreas próximas ao centro urbano. No entanto, a demanda por áreas menores fez surgir um complexo de empresas de médio e de pequeno porte. Localização: Avenida Cesário de Melo, entroncamento com a Avenida Antares. Área total: 430 mil m². Perfil de Ocupação: Indústrias. ZEI: Zona Estritamente Industrial.
- Distrito Industrial de Palmares (CODIN, 2019): visou à realocação de grandes empresas, instaladas próximas ao centro urbano e a demanda por áreas menores, alterou o projeto inicial para atender empresas de médio e de pequeno porte. Localização: Avenida Brasil, km 50. Área total: 500 mil m². Perfil de Ocupação: Indústrias. ZEI: Zona Estritamente Industrial.
- Distrito Industrial Fazenda Botafogo: sua área total original era de 1,5 milhões de m² e está localizado às margens da Avenida Brasil, na altura do km 20. Este distrito industrial foi criado para atender as indústrias de médio e pequeno porte, não poluidoras dos recursos hídricos e da atmosfera, que estavam instaladas na Zona Norte e Central do Rio de Janeiro.

2.3. População

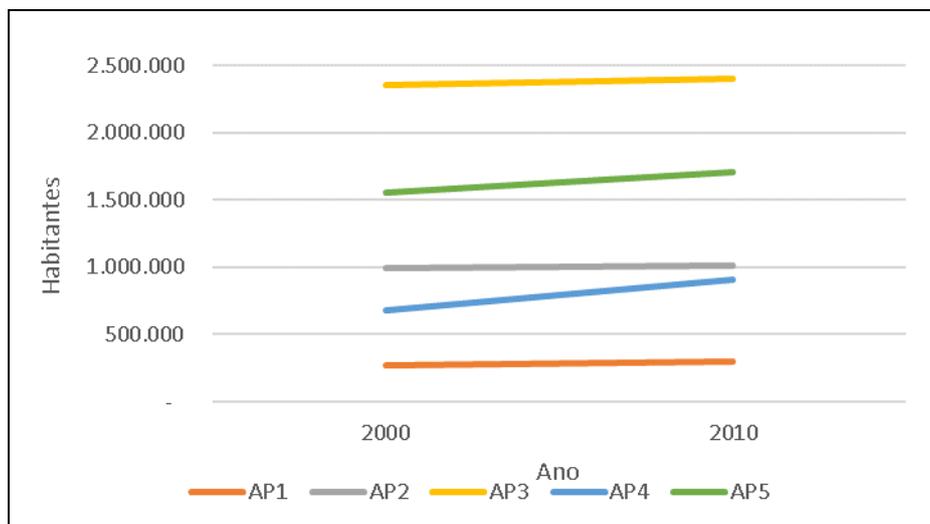
Segundo o censo do IBGE, a população da Cidade do Rio de Janeiro era de 6.320.446 habitantes em 2010, o que resultava numa densidade demográfica de 5.265,82 hab/km². No período compreendido entre 2000 e 2010 a população carioca cresceu 7,9%, sendo que 3,9% desse crescimento foi observado na AP4, seguido de 2,5% na AP5, como está apresentado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – População da Cidade do Rio de Janeiro – 2000-2010

Área de Planejamento	População (hab)		Variação absoluta no período	Variação percentual no período	
	2000	2010		Em relação à AP	Em relação ao Município
AP1	268.280	297.976	29.696	11,1%	0,51%
AP2	997.478	1.009.170	11.692	1,2%	0,20%
AP3	2.353.590	2.398.572	44.982	1,9%	0,77%
AP4	682.051	909.955	227.904	33,4%	3,89%
AP5	1.556.505	1.704.773	148.268	9,5%	2,53%
Município	5.857.904	6.320.446	462.542	-	7,9%

Fonte: elaboração própria a partir de Data.Rio

A evolução da população, em números absolutos, no período, segundo as Áreas de Planejamento da Cidade está representada na Figura 2.2.



Fonte: elaboração própria a partir de Data.Rio

Figura 2.2 – Evolução da população, em números absolutos, segundo as Áreas de Planejamento

As estimativas populacionais para a Cidade do Rio de Janeiro segundo o período de 2012 a 2018 estão apresentadas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Estimativa populacional para a Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018

Ano	População (hab)
2012	6.390.290
2013	6.429.923
2014	6.453.682
2015	6.476.631
2016	6.498.837
2017	6.520.266
2018	6.688.927

Fonte: IBGE³

³ – Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Acesso em 10/11/2020

3. Contribuições das atividades urbanas para a poluição atmosférica

A Cidade do Rio de Janeiro foi palco de grandes eventos internacionais há alguns anos atrás, como a Copa do Mundo em 2014 e os Jogos Olímpicos em 2016, o que alavancou diversas iniciativas relacionadas à infraestrutura da Cidade, principalmente na área de mobilidade, além da implantação e melhoria de instalações esportivas e construção de empreendimentos imobiliários necessários à realização daqueles eventos. Adicionalmente, a revitalização da área do Porto do Rio, por meio de uma operação consorciada, alterou significativamente aquela região próxima ao Centro da Cidade.

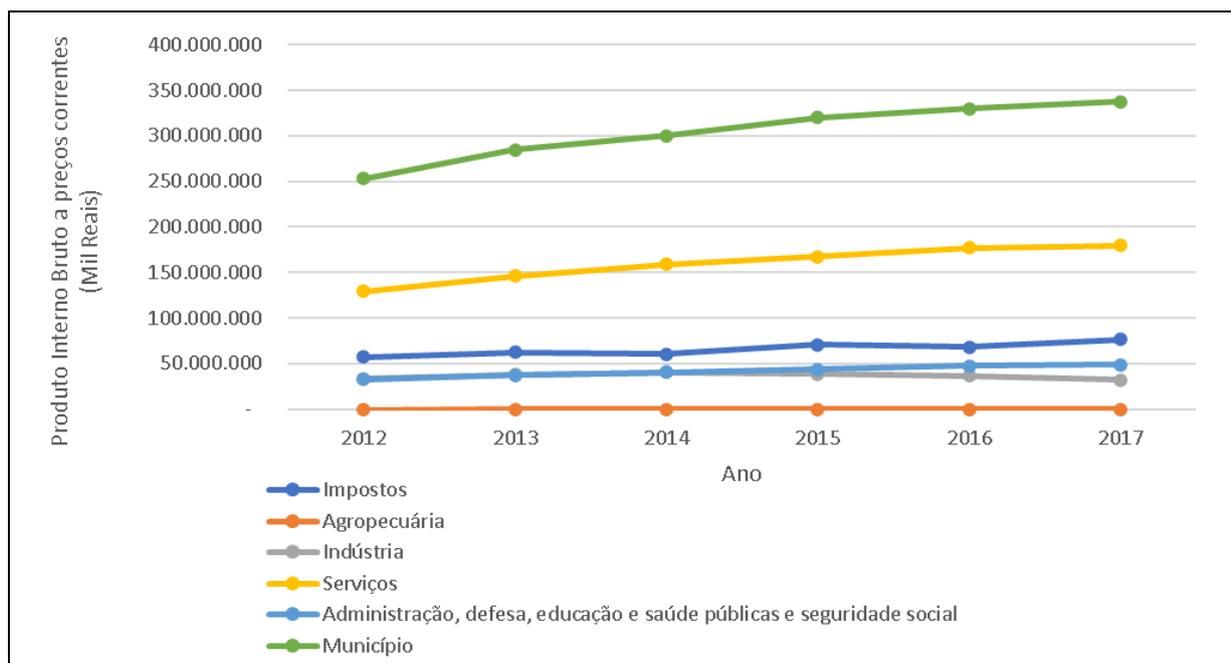
Na área de mobilidade podem-se destacar as seguintes iniciativas:

- Transoeste: Corredor do tipo Bus Rapid Transit – BRT que faz a interligação entre a Barra da Tijuca e o bairro de Santa Cruz, sendo sua primeira fase inaugurada em 2012. O corredor possui 60 quilômetros de pista exclusiva, ao longo de 62 estações e quatro terminais (Alvorada, Santa Cruz, Campo Grande e Jardim Oceânico). Em agosto de 2016, foi implementado o Lote Zero, onde o BRT integra com a linha 4 do metrô, no terminal Jardim Oceânico.
- Transcarioca: Corredor BRT que liga o terminal Alvorada, na Barra da Tijuca, ao Aeroporto Internacional Tom Jobim, na Ilha do Governador. O corredor foi inaugurado em 2014, às vésperas da Copa do Mundo do Brasil. O corredor possui 39 quilômetros e 45 estações que interligam 27 bairros das zonas norte e oeste da Cidade. Nas estações Madureira, Manaceia e Olaria, o BRT é integrado com trem da Supervia e em Vicente de Carvalho faz integração com a linha 2 do Metrô.
- Transolímpica: O BRT foi inaugurado em agosto de 2016 e possui 18 estações e três terminais (Recreio, Centro Olímpico e Sulacap) distribuídas ao longo de 26 quilômetros de pista exclusiva.
- Ampliação do Metrô Rio: Em 2014, foi inaugurada a Estação Uruguai, na Tijuca. Em 2016, foram inauguradas cinco estações da Linha 4 (Nossa Senhora da Paz, Jardim de Alah, Antero de Quental, São Conrado e Jardim Oceânico) e em 2017, foi efetuada a interligação das linhas 1 e 4.
- Implantação do VLT: O sistema conta com três linhas que percorrem a região central da Cidade e região portuária, até próximo à Rodoviária Novo Rio. As linhas alcançam um total de 28 km de extensão, com 29 paradas e 32 trens em operação.
- Ampliação e modernização do aeroporto Santos Dumont: Foram efetuadas melhorias quanto à segurança do aeroporto, modernização do pátio de aeronaves e ampliação da área comercial.
- Ampliação e modernização do aeroporto Antônio Carlos Jobim: Construção do Pier Sul, contendo 26 novas pontes de embarque, área comercial, além de melhorias quanto à mobilidade dos passageiros e segurança.

3.1. Fontes estacionárias

A economia da Cidade do Rio de Janeiro ocupa lugar de destaque no cenário nacional, sendo seu Produto Interno Bruto (PIB) o segundo maior entre as cidades brasileiras, tendo alcançado cerca de R\$337,6 bilhões a preços correntes em 2017, sendo que o PIB per capita naquele ano ficou em R\$51,8 mil (IBGE, 2019) ⁴. Historicamente, a economia é baseada principalmente na prestação de serviços, sendo presentes também as atividades industriais, seguidas em menor escala das atividades agropecuárias, como pode ser demonstrado pela evolução de seu PIB entre 2012 e 2017 (último ano disponível) na Figura 3.1.

⁴ Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html? t=resultados&c=3304557> Acesso em 10/11/2020.



Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2020)

Figura 3.1 – Produto Interno Bruto do Município do Rio de Janeiro entre 2012 e 2017

De acordo com o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA, onde é efetuado o registro obrigatório de pessoas físicas e jurídicas que realizam atividades passíveis de controle ambiental, em 2018 encontravam-se na Cidade do Rio de Janeiro 839 empreendimentos, que apresentavam, no total, 1.243 atividades potencialmente poluidoras cadastradas, conforme a Figura 3.2.

O detalhamento das três primeiras categorias apresentadas na Figura 3.3, com maior quantidade de atividades cadastradas, está apresentado nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5⁵.



Fonte: elaboração própria a partir de dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (IBAMA, 2019)

Figura 3.2 – Quantidade de atividades cadastradas por categoria do CTF/APP em 2018

⁵ Para informações sobre as atividades consideradas, consulte <http://www.ibama.gov.br/cadastros/ctf/ctf-app/fes#tabelacompleta>



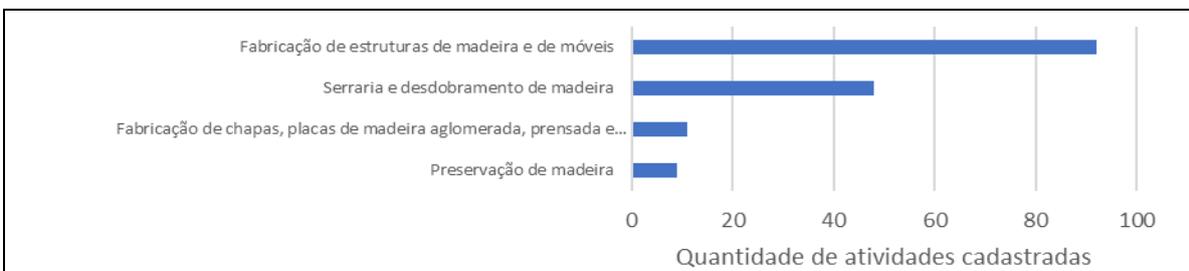
Fonte: elaboração própria a partir de dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (IBAMA, 2019)

Figura 3.3 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria Química em 2018



Fonte: elaboração própria a partir de dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (IBAMA, 2019)

Figura 3.4 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria Metalúrgica em 2018



Fonte: elaboração própria a partir de dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (IBAMA, 2019)

Figura 3.5 – Atividades cadastradas segundo detalhamento da categoria Indústria de Madeira em 2018

Para algumas atividades, o IBAMA exige também o preenchimento do formulário “Emissões de Poluentes Atmosféricos” no Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais – RAPP⁶. O Quadro 3.1 apresenta um resumo dos relatos efetuados em 2018 na Cidade do Rio de Janeiro, segundo as categorias do CTF/APP.

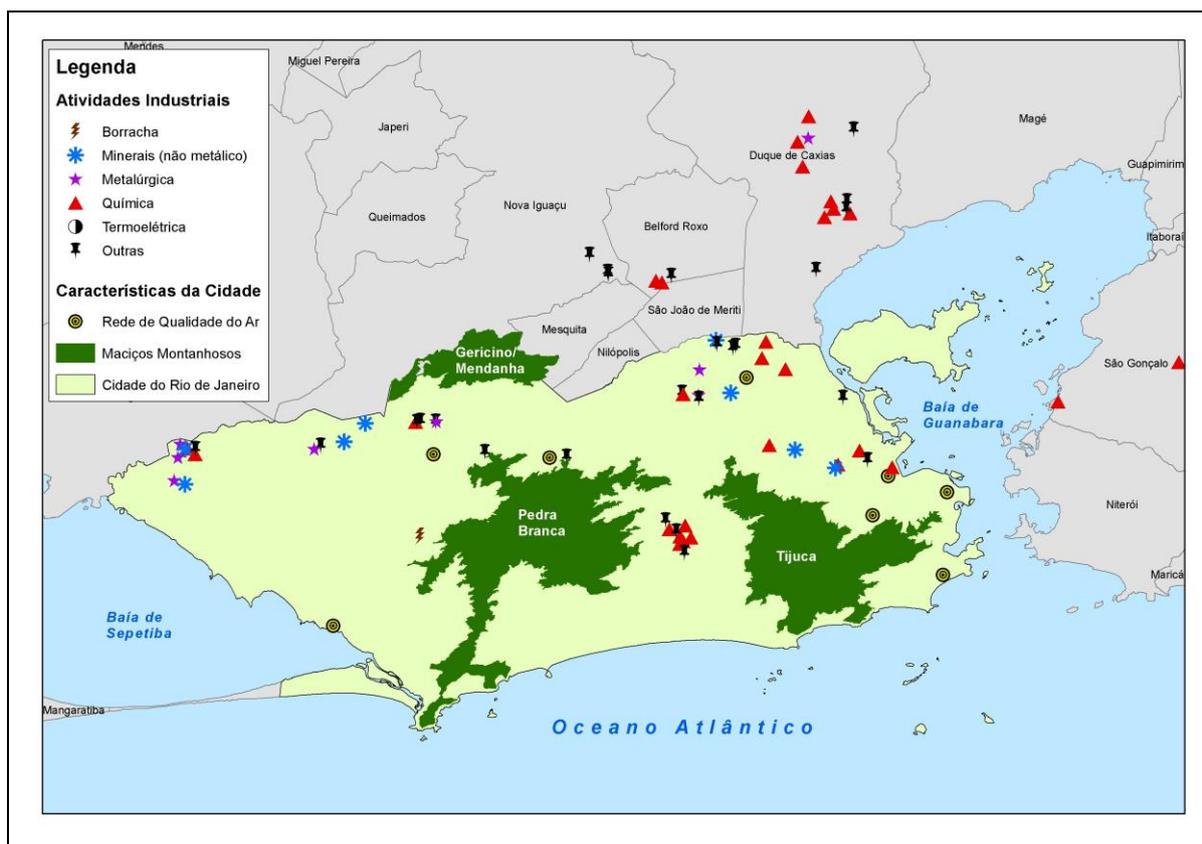
Quadro 3.1 – Quantidade de empreendimentos que relataram emissões segundo poluentes específicos em 2018

Categorias	Quantidade de empreendimentos que relataram emissões segundo poluentes específicos em 2018				
	Material Particulado (MP)	Monóxido de carbono (CO)	Óxidos de enxofre (SOx)	Óxidos de nitrogênio (NOx)	Total Geral
Extração e Tratamento de Minerais	11	15	16	17	59
Indústria de Borracha				1	1
Indústria de Papel e Celulose				1	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	3	4		4	11
Indústria de Produtos de Matéria Plástica.	1				1
Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	13	3	5	8	29
Indústria Mecânica	1		1		2
Indústria Metalúrgica	5	4	3	3	15
Indústria Química	18	14	13	15	60
Indústrias Diversas	5				5
Obras civis - não relacionadas no Anexo VIII da Lei nº 6.938/1981		2			2
Serviços de Utilidade	3	6	3	4	16
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio		1			1
Total Geral	60	49	41	53	203

Fonte: elaboração própria a partir de dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (IBAMA, 2019)

O mapa da Figura 3.6 identifica as atividades cadastradas na ficha de Unidades Poluidoras, do Cadastro Técnico Federal, do IBAMA. Na ficha estão relacionadas as pessoas jurídicas inscritas no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais – CTF/APP, e cadastradas em atividades para as quais é obrigatório o preenchimento do formulário “Emissões Atmosféricas - Fontes Energéticas e Emissões Atmosféricas” no Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais – RAPP.

⁶ Para identificação das atividades para as quais é necessário preencher o formulário de Emissões Atmosféricas – emissões de poluentes atmosféricos, consulte http://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios/atividades_poluidoras/ibama-guia_emissoes_poluentes_atmosfericos_v3.pdf



Fonte: Adaptado de - Using mobility restriction experience for urban air quality management, Atmospheric Pollution Research, Volume 12, Issue 8, August 2021.

Figura 3.6 – Localização das Unidades Poluidoras situadas no município do Rio de Janeiro e cidades vizinhas.

3.2. Fontes móveis

O sistema viário da Cidade do Rio de Janeiro é estimado em 11 mil km, distribuído segundo uma hierarquia como está apresentada no Quadro 3.2:

Quadro 3.2 – Distribuição hierárquica das vias do Município do Rio de Janeiro

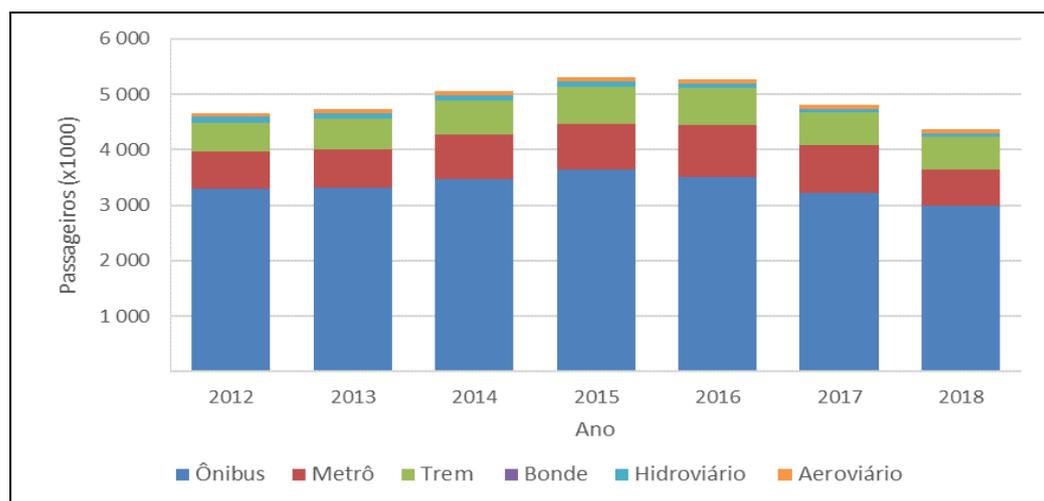
Hierarquia	Extensão (km)	Vias com ônibus		Vias com ciclovias	
		Extensão (km)	Percentual (%)	Extensão (km)	Percentual (%)
Expressa	76	76	100%	0	0%
Arterial Principal	478	396	83%	99	21%
Arterial Secundária	445	368	83%	26	6%
Coletora	96	96	99%	16	17%
Local	10.023	261	3%	249	2%
Total	11.118	2.395	22%	390	4%

Fonte: apresentação PMUS realizada em reunião do COMPUR (set/2016).

Pode-se verificar na Cidade o grande percentual de vias expressas, arteriais principais e secundárias e coletoras que possuem linhas de ônibus, o que prova a grande capilaridade dessas linhas no território. Essa capilaridade não é possível nos modais ferroviário, metroviário e hidroviário, o que acaba por refletir na divisão modal dos transportes coletivos da Cidade.

3.2.1. Divisão modal de transportes coletivos

Os sistemas de transportes coletivos na Cidade do Rio de Janeiro receberam cerca de 4,4 milhões de passageiros por dia em 2018, distribuídos dentre os modais ônibus, metrô, trem, bonde, além de contar também com os passageiros dos sistemas hidroviário e aeroviário. Observa-se que esses sistemas tiveram seu ápice em 2015, quando chegaram a transportar 5,3 milhões de passageiros em média por dia. Desde então, tem-se percebido um decréscimo na quantidade de passageiros transportados, sendo que em 2018 os sistemas transportaram 18% a menos de passageiros quando comparado aos dados de 2015.



Fonte: elaboração própria a partir de Datario.

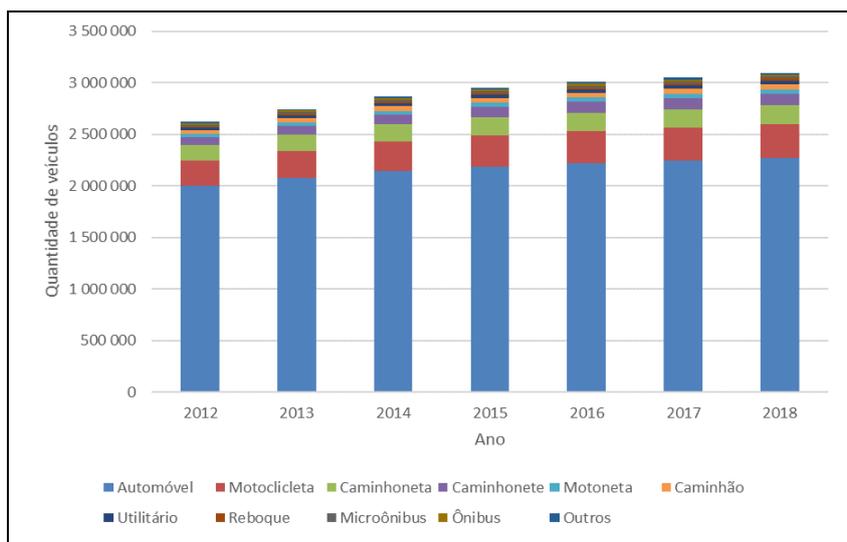
Figura 3.7 – Movimento médio diário de passageiros segundo os transportes rodoviário, ferroviário, hidroviário e aeroviário na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018.

3.2.2. Frota e motorização

A Cidade do Rio de Janeiro possui uma expressiva frota de veículos automotores, totalizando cerca de 3,1 milhões de unidades em 2018. A evolução do total da frota de veículos entre 2012 e 2018, considerando também sua tipologia, pode ser observada na Figura 3.8.

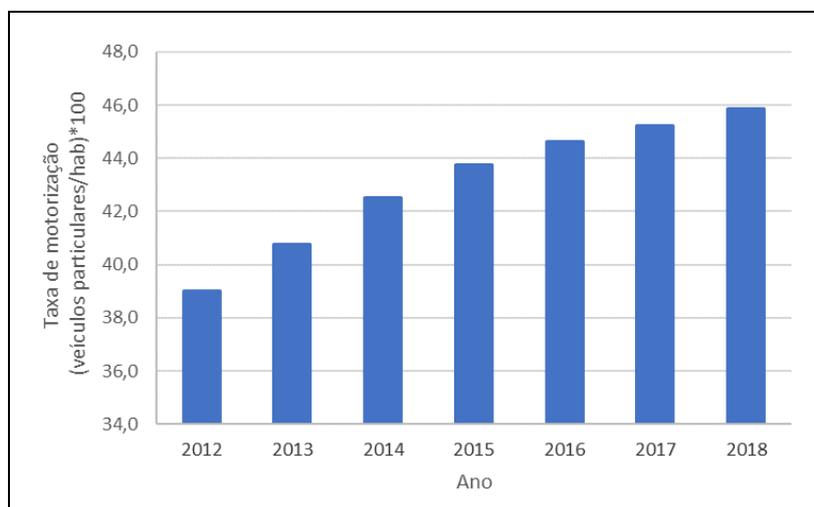
O crescimento da frota também se refletiu sobre uma crescente taxa de motorização observada no período, alcançando-se o valor de 45,9 veículos/100 hab em 2018. No entanto, percebe-se um crescimento mais atenuado nos últimos anos (Figura 3.9).

Em 2018, a frota de veículos da cidade era composta por 73% de automóveis, 11% de motocicletas, 10% de caminhonetes e camionetes, 2% de motonetas, sendo seguida por menores porcentagens de outros veículos. Ressalta-se que ônibus e caminhões ainda participavam com cerca de 2% do total (Figura 3.10).



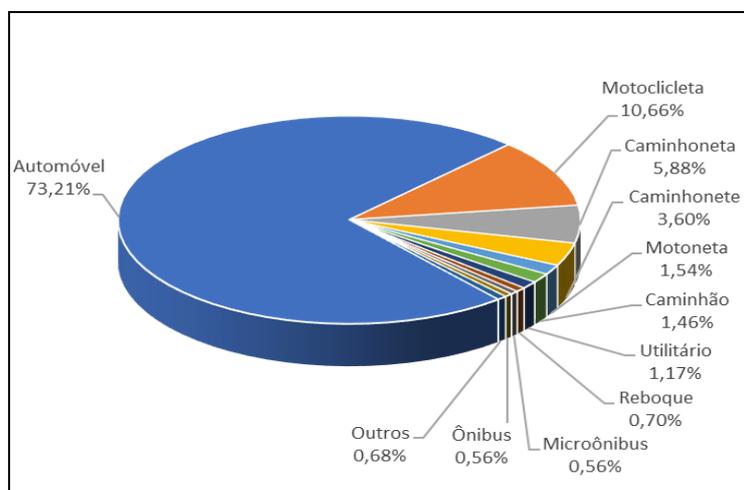
Fonte: elaboração própria a partir de DataRio.

Figura 3.8 – Total da frota de veículos segundo o tipo na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018



Fonte: elaboração própria a partir de DataRio.

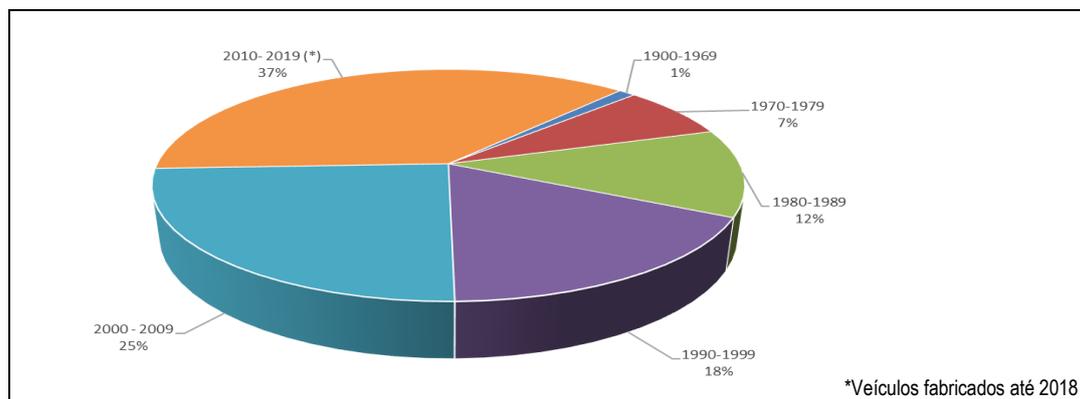
Figura 3.9 – Taxa de motorização na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018



Fonte: elaboração própria a partir de DataRio.

Figura 3.10 – Distribuição percentual da frota de veículos por tipo na Cidade do Rio de Janeiro em 2018

A idade da frota em 2018 está representada na Figura 3.11, onde se pode observar que 37% dos veículos possui menos que 9 anos de idade e 25% encontram-se entre 10 e 19 anos, sendo os 38% restantes mais antigos:



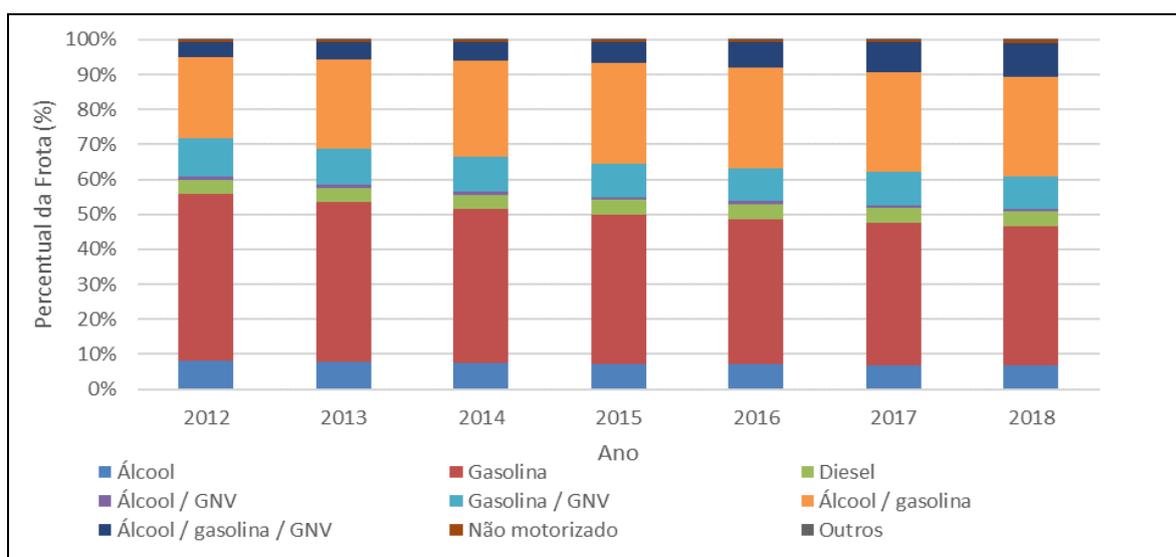
Fonte: elaboração própria a partir de DataRio.

Figura 3.11 – Distribuição percentual da frota de veículos por idade no Município do Rio de Janeiro em 2018

É importante ressaltar que, além dessa frota, a Cidade do Rio de Janeiro conta diariamente com uma grande quantidade de veículos oriundos principalmente de outros municípios da região metropolitana. Conforme a Secretaria Municipal de Transportes (SMTR, 2015), a Cidade do Rio de Janeiro configura-se, no contexto metropolitano, como atratora de viagens, assim sendo, no pico da manhã ocorre uma grande quantidade de viagens com origem nas cidades vizinhas e destino ao Rio de Janeiro, enquanto que no pico da tarde a situação se inverte.

3.2.3. Combustíveis utilizados

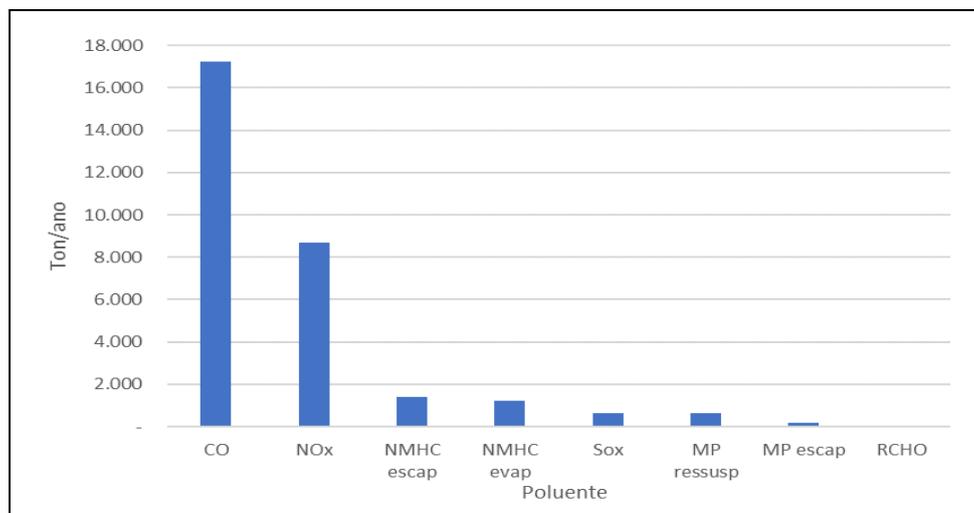
A evolução da distribuição percentual da frota ativa por tipo de combustível na Cidade do Rio de Janeiro está apresentada na Figura 3.12, por meio da qual se pode observar a preponderância dos veículos movidos à gasolina, sendo que sua participação percentual vem sendo reduzida ao longo do período (11,8%), assim como a dos movidos a álcool (2,4%) e bicomcombustíveis gasolina / GNV (2,7%). Em contrapartida, observa-se um aumento percentual dos veículos que se utilizam de álcool / gasolina (10,1%) e álcool / gasolina / GNV (6,5%).



Fonte: Elaboração própria a partir de DataRio.

Figura 3.12 – Distribuição percentual da frota ativa por tipo de combustível na Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018

Segundo o Inventário de Emissões de Fontes Veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - ano-base 2013 (INEA, 2016), as emissões na Cidade do Rio de Janeiro⁷ são aquelas apresentadas na Figura 3.13.

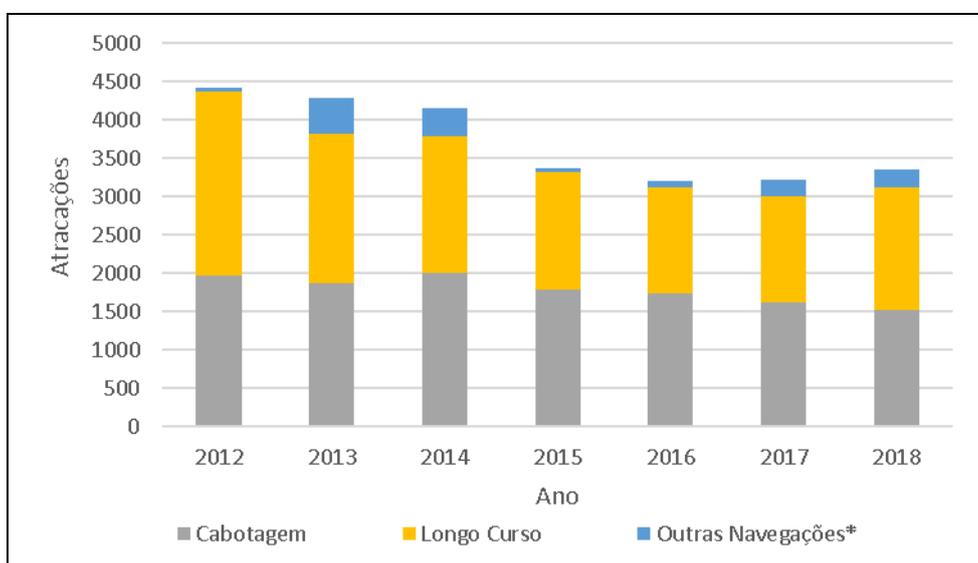


Fonte: Elaboração própria a partir de Inventário de Emissões de Fontes Veiculares da Região Metropolitana Ano- Base 2013 (INEA, 2016).

Figura 3.13 – Emissões veiculares na Cidade do Rio de Janeiro em 2013

3.2.4. Movimento de navios e aeronaves

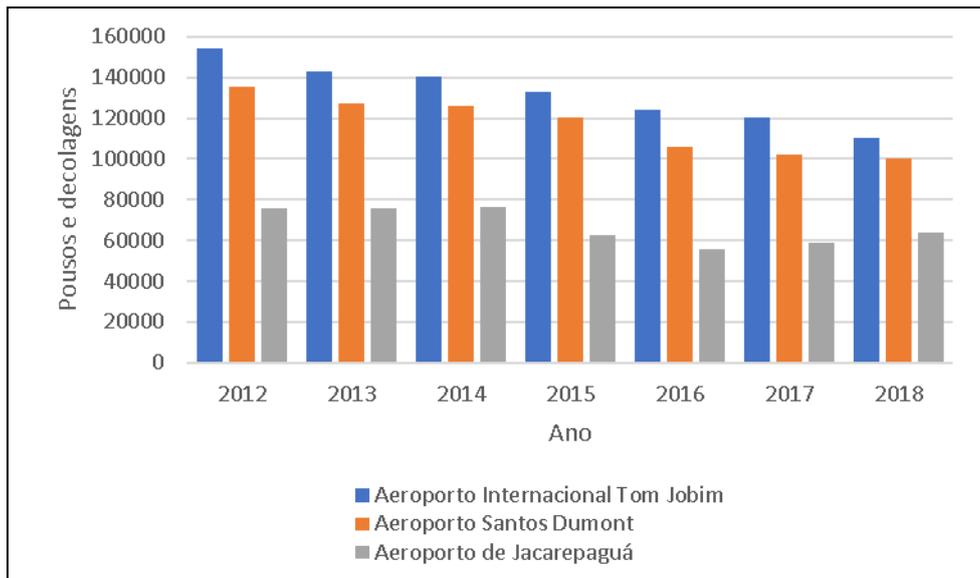
A Cidade do Rio de Janeiro ainda recebe contribuições oriundas de fontes móveis devido ao movimento observado em seu porto e em seus três aeroportos, os quais podem ser observados nas Figuras 3.14 e 3.15.



Fonte: elaboração própria a partir de Data.Rio

Figura 3.14 – Movimento de embarcações no Porto da Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018

⁷ Sendo considerados Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos Não Metano oriundos do escapamento e evaporados (NMHC), Óxidos de Enxofre (SO_x), Material Particulado (MP) e Aldeídos (RCHO).



Fonte: elaboração própria a partir de Data.Rio

Figura 3.15 – Movimento de aeronaves nos aeroportos da Cidade do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018

4. Caracterização Meteorológica

A análise das condições meteorológicas ocorridas durante os anos de 2012 a 2018 foi efetuada de maneira qualitativa e voltada a subsidiar a análise de seus possíveis efeitos sobre a qualidade do ar ao longo deste período.

Como já mencionado, o clima da Cidade do Rio de Janeiro é tropical atlântico, com variações locais, devido às diferenças de altitude, à presença de vegetação e à proximidade com o oceano. Por se tratar de uma cidade litorânea, o efeito da maritimidade é perceptível, traduzindo-se em amplitudes térmicas relativamente baixas. Os verões são quentes e úmidos e ocasionalmente com temporais. Os invernos são marcados por temperaturas baixas e secas, com grandes períodos de estabilidade atmosférica. As condições de tempo são influenciadas significativamente por sistemas transientes, tais como sistemas de alta e baixa pressão, frentes frias, áreas de instabilidades locais, Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fenômenos meteorológicos que produzem grande influência na qualidade do ar do município, impactando na dispersão ou formação dos poluentes.

Segundo dados desde 2012 do Programa MonitorAr-Rio, a temperatura mínima absoluta registrada na Cidade foi de 11,3°C em 13 de junho de 2016, na estação da Tijuca. O maior valor acumulado de precipitação do município em 24 horas foi de 203,8 mm e ocorreu em 03 de janeiro de 2013, na estação Bangu. A temperatura máxima absoluta atingiu 49,4°C em 12 de novembro de 2013, na estação São Cristóvão. O vento máximo observado foi de 12,40 m/s em 21 de agosto de 2016, na estação Pedra de Guaratiba.

A caracterização meteorológica ora apresentada considera o comportamento dos seguintes parâmetros: temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, direção e intensidade dos ventos além da radiação solar.⁸

4.1. Temperatura

A Cidade do Rio de Janeiro apresenta estação chuvosa bem caracterizada durante o verão, e clima seco, com temperaturas amenas, durante o inverno. As normais climatológicas do INMET datadas entre 1960 – 1990 indicam que a temperatura média do ar variou entre a mínima de 18,4°C, durante o inverno e a máxima de 30,2°C, durante o verão, estabelecendo a média anual de 23,8°C.

Durante o período de estudo, todos os anos ficaram com médias acima de 23,8°C de acordo com a Normal Climatológica INMET (1981-2010), com variações em torno de 2 a 4°C, confirmando que os últimos anos apresentaram elevação na temperatura média, porém com queda nos últimos anos (2017 e 2018).

O ano de 2015 foi considerado o mais quente e seco do período de estudo, que segundo a OMM (Organização Meteorológica Mundial), foi marcado pela influência de um episódio de El Niño de intensidade forte, chegando a uma anomalia positiva de 2,7°C com média anual de 26,5°C. O ano de 2016 foi marcado pela presença significativa do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) na categoria muito forte.

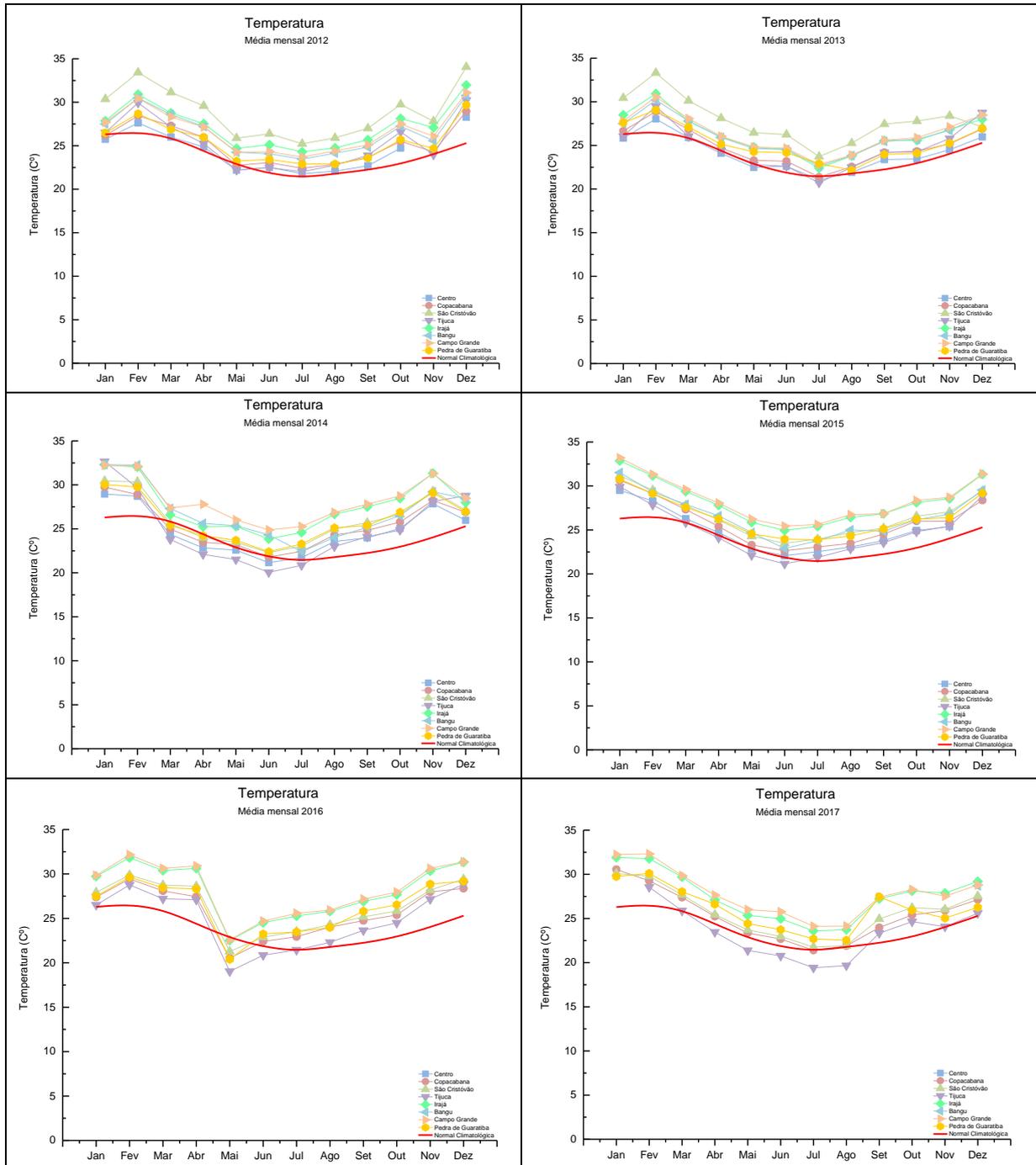
O ano de menor anomalia positiva de temperatura foi o de 2013 com valor de 1,9°C acima da Normal Climatológica, com temperatura média de 25,7°C anual, caracterizado pelo padrão de neutralidade em relação aos fenômenos El Niño/La Niña, o que também se verificou nos anos de 2014 e 2017 durante boa parte do tempo.

Já a manifestação do episódio La Niña, se deu tanto no início de 2012 quanto no início de 2018, mudando no decorrer de ambos para a neutralidade, deixando as temperaturas levemente mais amenas.

⁸ Ainda que todas as estações do MonitorAr-Rio disponham de sensor de pressão atmosférica, este parâmetro importa apenas ao entendimento meteorológico, como, por exemplo, períodos chuvosos e estabilidades atmosféricas. Portanto, como não tem relação direta com a poluição do ar, não será abordado no presente estudo.

Por fim, se torna importante mencionar que as características antropogênicas e orográficas no entorno das estações são fatores altamente relevantes nas leituras destas variáveis meteorológicas, e que certamente contribuíram para algumas destas variações ao longo do tempo.

A evolução da temperatura média, ao longo dos meses, para o período entre 2012 e 2018 está apresentada na Figura 4.1.



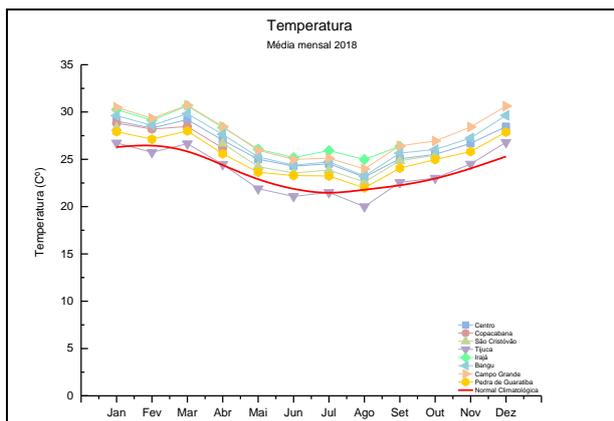


Figura 4.1 – Evolução da temperatura média nas estações do MonitorAr-Rio, ao longo dos meses, entre 2012 e 2018

4.2. Umidade relativa do ar

As normais climatológicas não apontam diferenças significativas nos índices médios de umidade relativa do ar na Cidade do Rio de Janeiro ao longo dos meses do período compreendido entre 2012 e 2018. Os critérios de definição do verão como o período mais úmido e do inverno como o período mais seco estão associados diretamente ao período de chuvas. No entanto, no que diz respeito à umidade relativa do ar, há registros que contrapõem esta afirmativa histórica.

Para as estações da rede do MonitorAr-Rio, os registros apontaram dados abaixo da média histórica ao longo de todo o período entre 2012 e 2018, com exceção da estação São Cristóvão nos anos de 2012 e 2013.

A umidade relativa do ar manteve-se elevada entre 2012 e 2018, condição típica de região litorânea e tropical, apresentando médias anuais acima de 70% em boa parte das estações.

O ciclo horário da umidade relativa do ar varia de forma inversamente proporcional ao ciclo horário de temperatura, com valores mais altos durante o período noturno e valores mínimos durante o período de maior insolação, em torno do meio dia.

Assim sendo, os anos de 2013 e 2018 foram os menos quentes resultando em médias mais altas, principalmente nas estações de São Cristóvão e Pedra de Guaratiba. (Quadro 4.1). Os anos de 2015, 2016 e 2017 ficaram similares nas médias, não apresentando grandes variações. Já o ano de 2014 apresentou os menores valores durante todo o período de estudo, com destaque para a estação Tijuca.

Quadro 4.1 – Normal climatológica x umidade relativa do ar média anual (%) entre 2012 e 2018

Estação	Umidade relativa do ar média anual (%)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	68	69	64	67	--	--	72
Copacabana	73	74	70	73	73	72	--
São Cristóvão	80	81	66	67	68	70	--
Tijuca	76	77	61	62	61	61	63
Irajá	71	68	62	64	64	68	--
Bangu	69	68	64	65	66	65	77
Campo Grande	69	71	68	74	--	73	77
Pedra de Guaratiba	77	77	71	78	--	78	79
Normal	79	79	79	79	79	79	79

Nota: -- em vermelho os registros abaixo do limite de 75% de dados anuais

Fonte: INMET - Normal Climatológica / PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – média anual de umidade relativa do ar

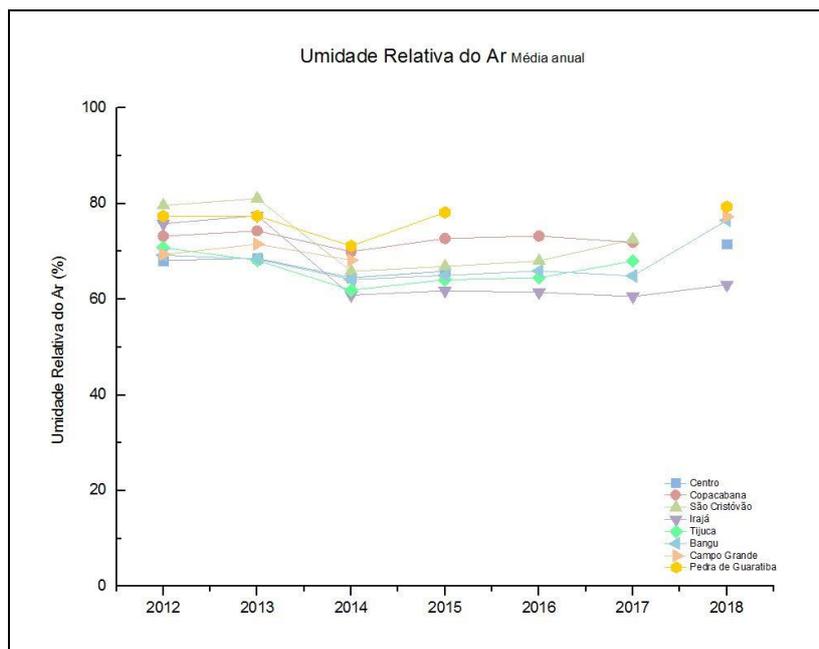


Figura 4.2 – Evolução da média mensal de umidade relativa do ar, na Rede MonitorAr-Rio, entre 2012 e 2018

4.3. Precipitação pluviométrica

A influência do relevo da Cidade do Rio de Janeiro pode ser percebida na distribuição espacial da chuva. Análises realizadas com dados entre 1997 e 2006⁹ mostram que os índices máximos de precipitação ocorreram nos maciços montanhosos da Tijuca, Pedra Branca e Gericinó/Mendanha. Já os índices mínimos foram encontrados na zona norte, em Irajá e na Penha. Nas demais áreas de planície da Cidade, a distribuição da chuva aparece de forma mais homogênea.

A observação sazonal permite verificar que no período primavera/verão os eventos chuvosos ocorrem preferencialmente entre a tarde e a madrugada, sendo influenciados pelo aquecimento diurno local e intensificados pela brisa marítima, tornando a chuva mais localizada, com distribuição heterogênea pelo município. Por outro lado, no período outono/inverno a chuva ocorre a qualquer hora do dia, geralmente devido à penetração dos sistemas frontais, apresentando distribuição mais homogênea em relação ao período primavera/verão

As normais climatológicas da Cidade indicam que o período chuvoso fica compreendido entre dezembro e março, onde são encontrados os maiores acumulados pluviométricos. Entre os meses de junho a agosto esse acumulado reduz em mais de 50%.

O ano de 2014 apresentou o menor registro de chuva do período em estudo. Durante o verão (janeiro a março), época de maior ocorrência chuva, elas foram mais escassas, devido à presença anômala de vórtices ciclônicos na média e alta troposfera e à ausência de episódios bem configurados da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Durante praticamente todos os meses do ano houve registros abaixo do esperado, fato que pode proporcionar a elevação das concentrações dos poluentes atmosféricos.

O ano de 2013 foi marcado pelo maior registro de chuva do período, destacando-se os meses de janeiro e julho por terem sido os meses mais chuvosos, que tendem a proporcionar melhorias significativas nas concentrações de

⁹ DEREZYNSKI C. P., J. S. OLIVEIRA, C. O. MACHADO, Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia 2009.

poluentes. Nos anos de 2015, 2016 e 2017 predominaram anomalias negativas de precipitação tanto devido à má formação de episódios de ZCAS, condição de bloqueio atmosférico que se estabeleceu no Atlântico Sul quanto à presença de episódios de El Niño que possui como característica, chuvas escassas na região sudeste.

No Anexo 9.2 estão apresentadas análises mais detalhadas dos eventos pluviométricos ocorridos entre 2012 e 2018, correlacionadas às estações de monitoramento, objetivando complementar as informações apresentadas no Quadro 4.2. e Figura 4.3.

Quadro 4.2 – Normal Climatológica x Precipitação total anual (mm) entre 2012 e 2018

Estação	Precipitação total anual (mm)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	1.039,6	1.363,0	550,8	966,2	1.130,4	813,8	976,8
Copacabana	1.061,6	1.217,4	732,8	1.058,0	1.240,4	777,2	529,6
São Cristóvão	786,0	1.015,6	459,8	861,6	1.100,4	569,6	776,0
Tijuca	515,4	787,1	365,7	807,4	720,8	740,0	994,8
Irajá	1.327,5	2.066,2	792,8	906,6	1.141,4	786,8	1.032,4
Bangu	1.346,0	2.122,9	946,6	1.278,4	1.196,6	776,0	960,8
Campo Grande	1.588,7	1.697,8	684,9	1.048,6	1.012,5	796,4	1.102,1
Pedra de Guaratiba	931,6	1.234,2	591,0	721,0	606,4	955,4	1.020,8
Normal Climatológica	1.069,4	1.069,4	1.069,4	1.069,4	1.069,4	1.069,4	1.069,4

Fonte: INMET - Normal Climatológica / PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – Precipitação acumulada anual

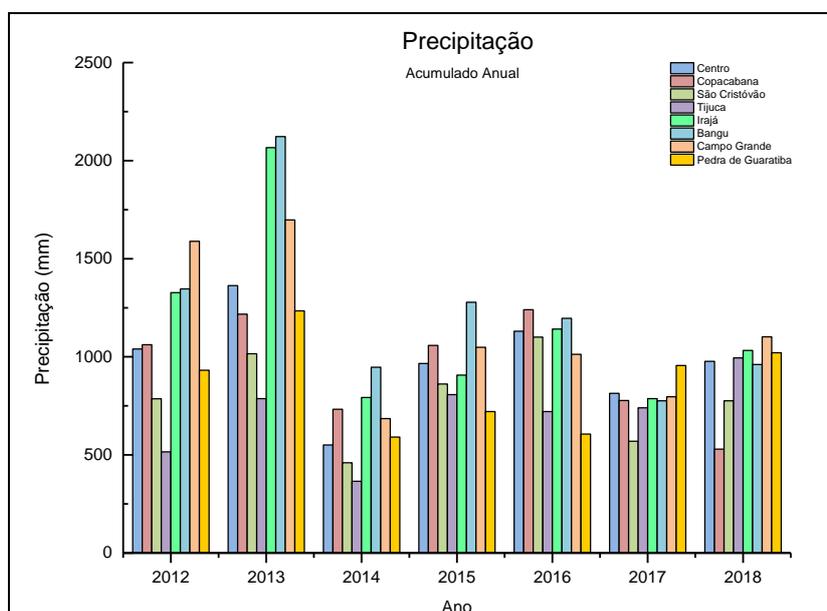


Figura 4.3 – Evolução da precipitação acumulada nas estações do MonitorAr-Rio, entre os anos de 2012 e 2018

4.4. Radiação Solar

A radiação solar possui ciclos bem definidos, uma vez que sua incidência aumenta gradativamente ao longo do dia, atingindo seu nível máximo no período da tarde. Durante a noite a radiação se reduz até zero. Ao longo dos meses do ano, a incidência de radiação também varia, com os maiores valores sendo registrados durante a primavera e o verão, e os menores entre o outono e inverno.

A radiação solar possui papel fundamental na formação dos poluentes fotoquímicos, como o ozônio. Portanto, em dias com maior incidência de radiação há a tendência de aumento nas concentrações deste poluente. A radiação solar pode ser reduzida pela presença de nebulosidade, sofrendo alterações durante a atuação de sistemas como as frentes frias.

Para um centro urbano como a Cidade do Rio de Janeiro, densamente ocupado e bastante heterogêneo, a radiação solar que chega à superfície também pode variar localmente. Os valores aqui apresentados são referentes aos máximos registrados nos verões dos anos de 2012 a 2018 (Quadro 4.3) nas estações da rede MonitorAr-Rio e comprovam tais diferenças.

Destaca-se que nos dois últimos anos a quantidade de radiação solar registrada foi menor que a observada durante o início do período de estudo, indicando, possivelmente, redução na formação de ozônio. Acredita-se que o maior número de dias de ZCAS tenha auxiliado nessa redução.

Quadro 4.3 – Valores máximos de radiação solar (W/m²) entre 2012 e 2018

Estação	Valores máximos de radiação solar (W/m ²)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	1237	1237	1252	914	889	952	947
Copacabana	1324	1306	1231	1253	1353	1348	987
São Cristóvão	1336	1235	1197	1299	1065	1301	1124
Tijuca	1230	1436	1202	1160	1168	1243	1183
Irajá	1906	1116	1155	1205	1385	1228	1150
Bangu	1951	1211	1188	1103	1168	1202	1191
Campo Grande	2254	1240	1104	977	1050	1073	1015
Pedra de Guaratiba	1252	1222	1138	1123	1155	1141	1102

Nota: em vermelho os dados que não atingiram 75% do esperado para o período anual

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – Máximo de radiação solar anual.

4.5. Direção e intensidade do vento

A Cidade do Rio de Janeiro apresenta padrão de vento influenciado pela topografia local, tendo na proximidade com o oceano um fator determinante para o comportamento do mecanismo de brisa observado. As composições em diferentes períodos do dia demonstram as peculiaridades do ciclo diurno na direção e intensidade dos ventos. Estes aspectos evidenciam a importância dos processos que envolvem o oceano e o continente na determinação do campo de vento. O relatório de climatologia dos ventos na Cidade do Rio de Janeiro e as Normais Climatológicas do INMET do período 1960-1990 apontam uma maior frequência das direções sul-sudeste e nordeste.

Os resultados apresentados nos campos de vento para o período entre 2012 e 2018 podem ser observados em função do índice de calmaria (Quadro 4.4) e direção predominante do vento (Quadro 4.5). As estações que apresentaram os menores índices de calmaria - Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - possuem localizações mais afastadas da região central da Cidade. Outro fator relevante é que o predomínio dos ventos em todas as estações da rede do Monitorar-Rio varia entre o quadrante norte e a direção sudoeste. Tal diferença com relação à climatologia pode estar associada às construções civis localizadas próximas a algumas estações da rede.

O ano de 2014 se destacou como o de maiores valores nos índices de calmaria em praticamente todas as estações da rede MonitorAr-Rio, o que pode indicar uma menor capacidade de transporte de material particulado (MP), principalmente na estação Copacabana, onde se registra os maiores valores de MP da rede.

No Anexo 9.3 estão apresentadas as rosas dos ventos de cada uma das estações de monitoramento, ilustrando as informações apresentadas nos Quadros 4.4 e 4.5.

Quadro 4.4 – Índices de calmaria entre 2012 e 2018

Estação	Índice de Calmaria						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	22,8	24,4	25,1	25	24,5	27,6	31,1
Copacabana	34,6	37,6	32,1	33,6	33,4	32,6	12,2
São Cristóvão	33,1	33	32,7	35,6	33,5	33,7	35,1
Tijuca	36,4	46	64,6	53,4	54,6	-	35,2
Irajá	-	6,3	11,7	11,9	10,1	11,1	12,1
Bangu	-	4,3	7,1	6,8	6,4	6,5	7,3
Campo Grande	-	4,6	8,4	7,6	7,3	6,9	7,8
Pedra de Guaratiba	-	1,8	3	3,7	3,5	4,2	3,6

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – Índices de calmaria médios anuais.

Quadro 4.5 – Direção predominante do vento entre 2012 e 2018

Estação	Direção predominante do vento						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	L	L	L	L	L	L	L
Copacabana	N	NE	NE	NE	NE	NO	O/SO
São Cristóvão	SO	SO	SO	SO	SO	NL	SO
Tijuca	S	S	SO	SO	SO	-	N/S
Irajá	-	L	L	L	L	L	L
Bangu	-	O	SE	O/SE	O	O/SE	L/O
Campo Grande	-	NE/SO	NE	NE	NE/SO	NE	SO
Pedra de Guaratiba	-	NE	NE	NE	NE	NE	L

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – Direções predominantes do vento médias anuais

5. Caracterização da rede monitoramento da qualidade do ar – MonitorAr-Rio

A rede do Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar da Cidade do Rio de Janeiro – MonitorAr-Rio é composta por oito estações fixas e uma estação móvel¹⁰, cujos locais de instalação estão apresentados na Figura 5.1 e os parâmetros monitorados encontram-se no Quadro 5.1.

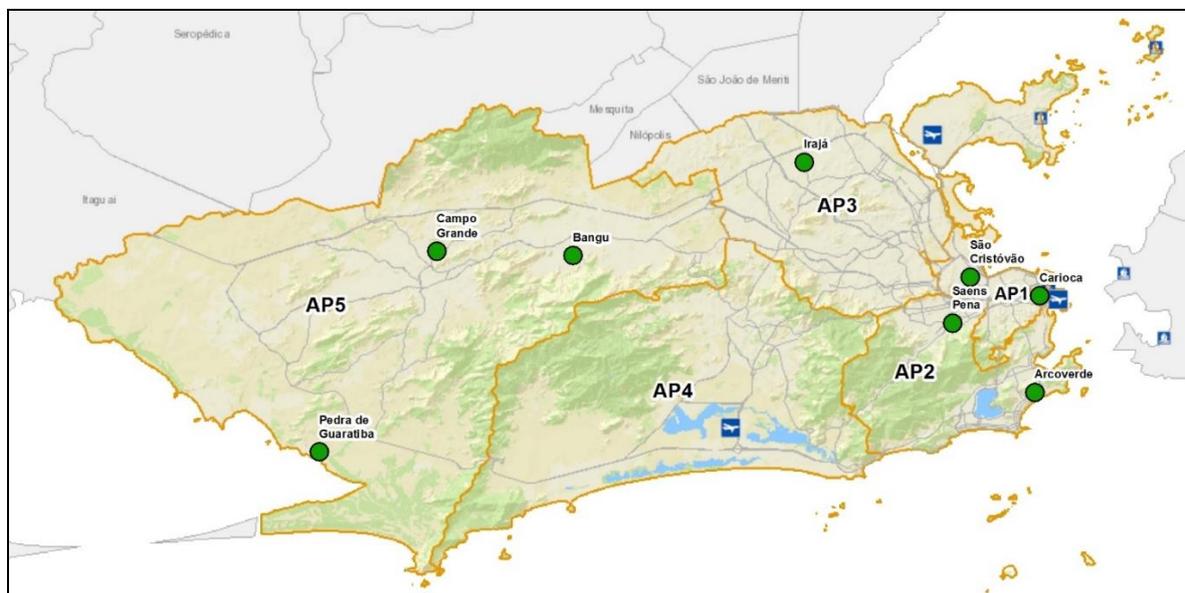


Figura 5.1 – Localização das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar MonitorAr-Rio

Quadro 5.1 – Configuração das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar MonitorAr-Rio e início de operação

Parâmetros		Estação de Monitoramento / Data de início de operação							
		Centro	Copacabana	São Cristóvão	Tijuca	Irajá	Bangu	Campo Grande	Pedra de Guaratiba
		06/05/2010	06/05/2010	06/05/2010	10/08/2010	21/12/2011	21/12/2011	21/12/2011	21/12/2011
Poluentes Atmosféricos	SO ₂	-	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	-
	CO	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	-
	O ₃	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	PM ₁₀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	PM _{2,5}	-	-	-	-	🌀	-	-	-
	NO _x	-	-	-	-	🌀	🌀	🌀	-
	HC	-	-	-	-	🌀	🌀	🌀	-
Meteorologia	Temperatura	-	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	Umidade relativa	-	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	Direção do vento	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	Velocidade do vento	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	Precipitação Pluviométrica	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	Pressão atmosférica	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀
	RS	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀	🌀

¹⁰ A Unidade Móvel é empregada em campanhas de monitoramento específicas e não será tratada neste relatório.

5.1. Estação Centro

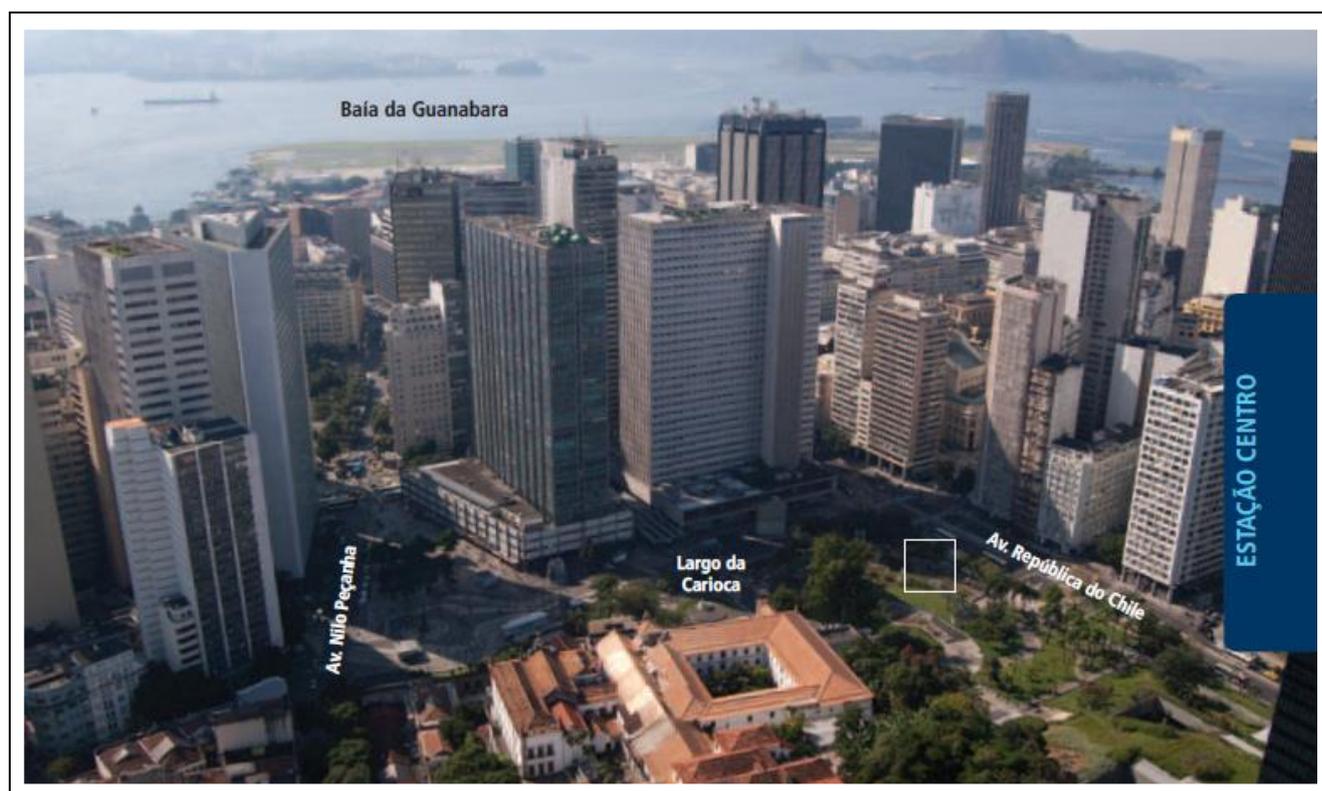
A estação Centro está localizada no Largo da Carioca, junto à Avenida Almirante Barroso, no bairro Centro. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada prioritariamente aos serviços e ao comércio.

A estação está situada em um largo ajardinado, com arbustos e pequenas árvores, o que favorece a circulação atmosférica, ainda sofre a influência dos obstáculos formados pelos altos prédios do entorno.

Nas proximidades da estação encontram-se três importantes avenidas e que se traduzem como importantes fontes de emissões atmosféricas de origem veicular: Avenida Rio Branco, Avenida Almirante Barroso e Avenida Nilo Peçanha. A primeira teve seu tráfego bastante reduzido quando da implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) no início de 2016, tendo sido efetuado o fechamento do trecho entre a Avenida Nilo Peçanha até a Cinelândia. As outras avenidas mantêm tráfego intenso, principalmente pelo início da manhã e fim de tarde. Nos fins de semana e feriados observa-se uma redução considerável do tráfego no entorno da estação, principalmente a partir das tardes de sábado, quando há o fechamento do comércio no local.

Pode-se destacar a proximidade da Estação Centro com a Baía da Guanabara, situada a menos de 1 km, e o Aeroporto Santos Dumont, distante a cerca de 1,30 km da estação.

A localização da Estação Centro está apresentada na Figura 5.2.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.2 – Localização da Estação Centro, Largo da Carioca.

5.2. Estação Copacabana

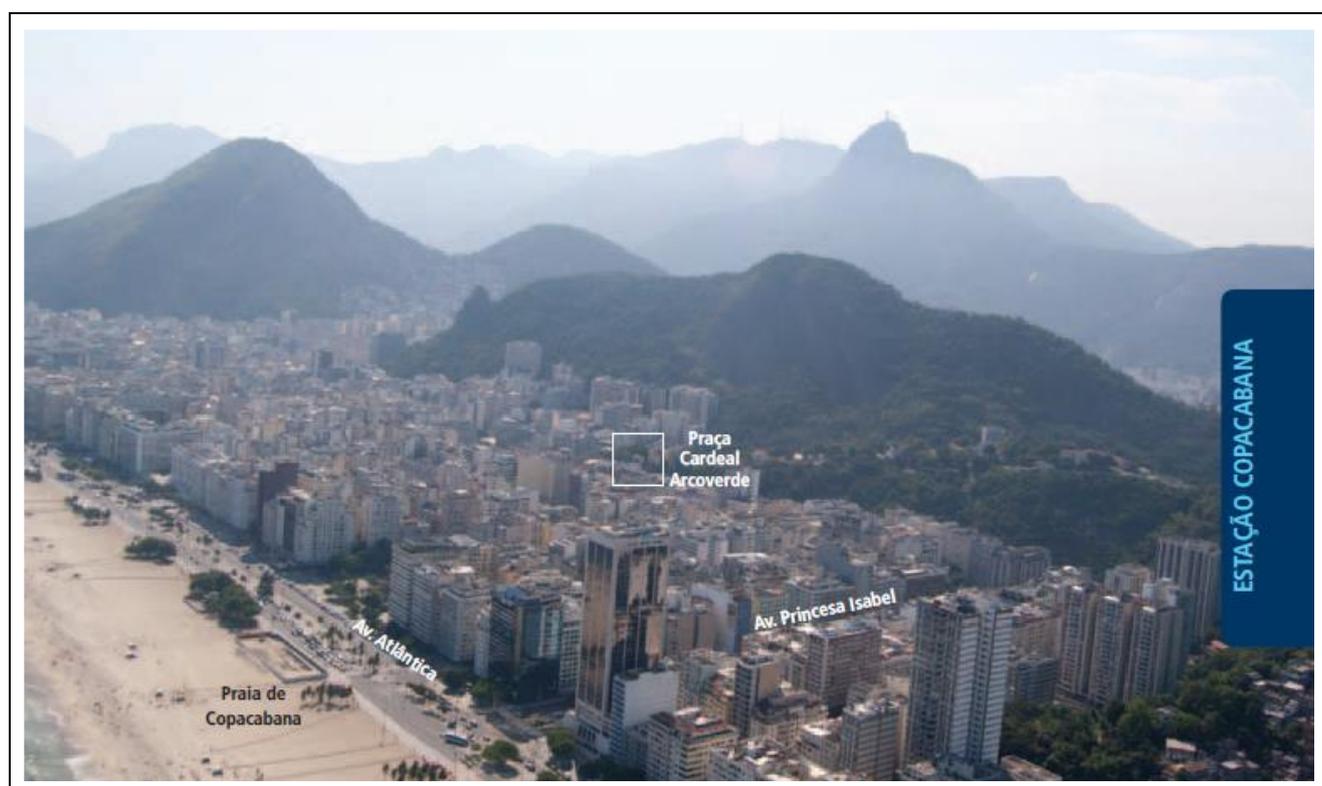
A estação Copacabana está localizada na Praça Cardeal Arcoverde, ao lado da saída do metrô, junto à Rua Barata Ribeiro, no bairro de Copacabana. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial, comercial e de serviços.

A estação está situada em uma praça ajardinada, tendo em suas proximidades algumas árvores com copas com altura superior à da estação, assim como um ponto de ônibus e uma escola municipal, que faz limite com a mesma. Ainda no seu entorno são encontrados edifícios de grande altura, o que dificulta a circulação atmosférica no local.

Nas proximidades da estação encontram-se duas importantes avenidas e que se traduzem como importantes fontes de emissões atmosféricas de origem veicular: Rua Barata Ribeiro e Rua Toneleiro. A uma quadra de distância encontra-se a Avenida Nossa Senhora de Copacabana, que possui tráfego bem intenso, e um pouco mais adiante a Avenida Atlântica, junto à orla marítima. Todas essas vias recebem tráfego de ônibus e veículos de carga.

Pode-se destacar a proximidade da estação com a praia de Copacabana, distante a aproximadamente 500m, e o Parque Estadual da Chacrinha a 250m.

A localização da Estação Copacabana está apresentada na Figura 5.3.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.3 – Localização da Estação Copacabana, Praça Cardeal Arcoverde.

5.3. Estação São Cristóvão

A estação São Cristóvão está localizada no Campo de São Cristóvão, no bairro Imperial de São Cristóvão. Esta estação encontra-se no interior da Área de Proteção do Ambiente Cultural de São Cristóvão – APAC, em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial, comercial e de serviços. Outro destaque da região é a presença de vários galpões, onde se desenvolvem atividades e armazenamentos diversos, e de confecções de roupas, sendo considerável o número de veículos de carga em trânsito pelo bairro.

A estação está situada em uma área ajardinada, tendo em suas proximidades algumas árvores com copas com altura superior à da estação, estando localizada bem próximo a uma das entradas de serviço do Pavilhão de São Cristóvão.

Nas proximidades da estação encontram-se duas importantes avenidas e que se traduzem como importantes fontes de emissões atmosféricas de origem veicular: Avenida Brasil e Linha Vermelha. Esta última, inclusive, possui acessos no

Campo de São Cristóvão, bem próximos à estação, sendo que um deles também é utilizado para se chegar ao Túnel Rebouças. Todas essas vias recebem tráfego de diversas linhas de ônibus e veículos de carga.

Pode-se destacar a proximidade da estação com o Cais do Porto, junto à Baía de Guanabara, distante a aproximadamente 1,0km, a Rodoviária Novo Rio a 1,25 km e o Parque Urbano da Quinta da Boa Vista a 700m. Outro aspecto relevante refere-se ao próprio Pavilhão de São Cristóvão, onde funciona a Feira de Tradições Nordestinas e cujo funcionamento tem seu ápice nos fins de semana e feriados.

A localização da Estação São Cristóvão está apresentada na Figura 5.4.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.4 – Localização da Estação São Cristóvão, Campo de São Cristóvão.

5.4. Estação Tijuca

A estação Tijuca está localizada na Praça Saens Pena, no bairro da Tijuca. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial, comercial e de serviços.

A estação está situada em uma área ajardinada, tendo em suas proximidades algumas árvores com copas com altura superior à da estação, estando localizada bem próximo a uma das entradas do metrô.

Nas proximidades da estação encontra-se a Rua Conde de Bonfim, uma das principais vias do bairro, e a uma quadra de distância encontra-se a Rua Santo Afonso. Ambas as vias possuem grande tráfego de ônibus, veículos de carga e de passeio.

Pode-se destacar a proximidade da estação com Maciço da Tijuca, distante a aproximadamente 700m, com cobertura vegetal representante da Floresta de Mata Atlântica.

A localização da Estação Tijuca está apresentada na Figura 5.5.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.5 – Localização da Estação Tijuca, Praça Saens Pena.

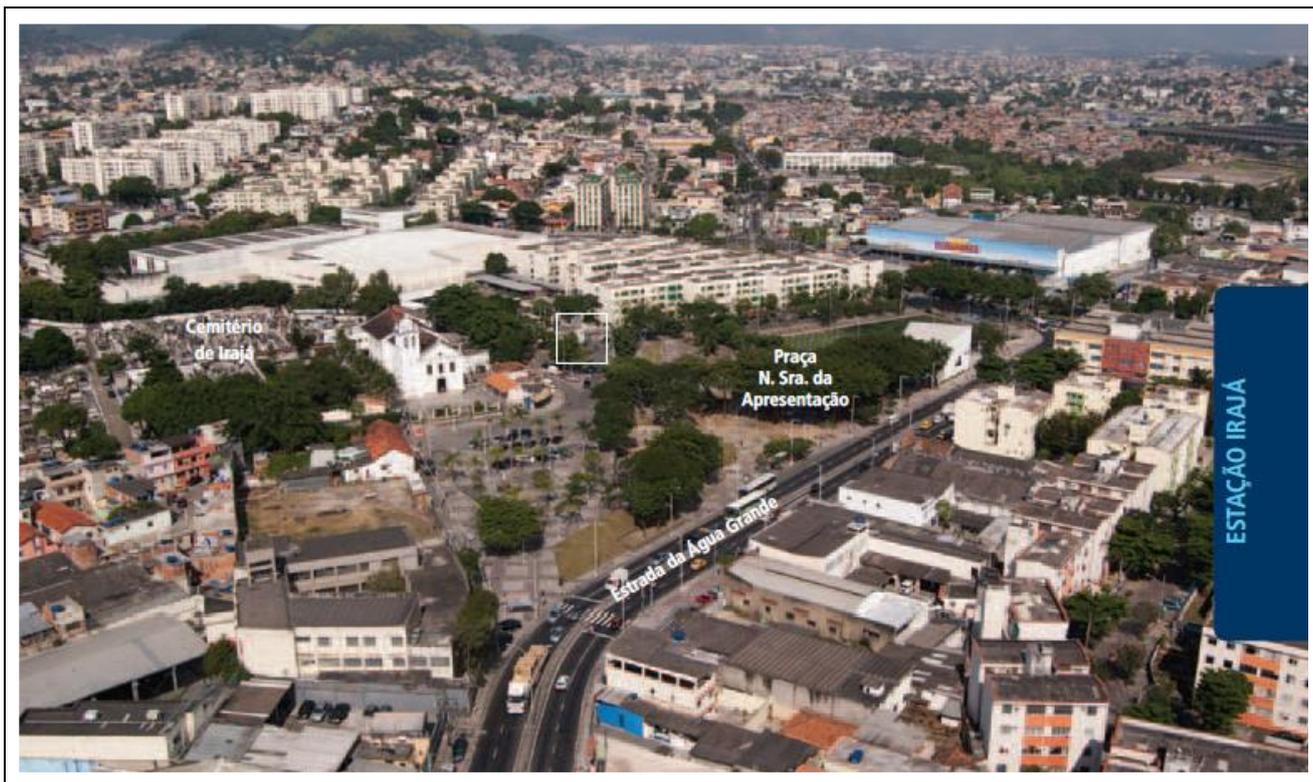
5.5. Estação Irajá

A estação Irajá está localizada na Praça Nossa Senhora da Apresentação, no bairro de Irajá. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial, comercial e de serviços.

A estação está situada em um pequeno largo na parte superior da praça, com árvores no entorno, bem próximo à entrada de carga de um grande supermercado.

Próximas à estação encontram-se a Estrada da Água Grande e a Avenida Monsenhor Félix, que são importantes vias do bairro e que possuem intenso tráfego de ônibus, veículos de carga e de passeio. Também pode-se destacar a proximidade da estação com o Cemitério de Irajá, limítrofe à praça onde está situada a estação, e com a Unidade Grande Rio das Centrais de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro – CEASA-RJ, localizada a cerca de 900m da estação e para a qual há um grande fluxo de veículos de carga.

A localização da Estação Irajá está apresentada na Figura 5.6.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.6 – Localização da Estação Iraja, Praça Nossa Senhora da Apresentação.

5.6. Estação Bangu

A estação Bangu está localizada junto ao Espaço de Desenvolvimento Infantil Tânia Maria Larrubia Gomes, na Rua Mongólia, no bairro de Bangu. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial.

A estação está situada em uma área parcialmente gramada, não havendo árvores de grande porte em seu entorno, estando bem próxima a um grande campo de futebol em terra.

Próxima à estação, a cerca de 200m, encontra-se a Rua Rio da Prata, que se constitui na via de maior tráfego das redondezas, como movimento de ônibus, veículos de carga e de passeio. Outra via com volume de tráfego superior e onde há mais estabelecimentos comerciais e inclusive um shopping, a Rua da Feira, encontra-se a 500m de distância da estação.

Pode-se destacar a presença de uma pedreira em atividade, localizada a cerca de 1 km. No entanto, sua operação ainda se dá pela vertente contrária a que se projeta em direção à estação.

A localização da Estação Bangu está apresentada na Figura 5.7.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.7 – Localização da Estação Bangu, Espaço de Desenvolvimento Infantil Professora Tânia Maria Larrubia Gomes.

5.7. Estação Campo Grande

A estação Campo Grande está localizada junto ao CIEP Ernesto Che Guevara, à Rua Timbaúba, no bairro de Campo Grande. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial e limitrofe a uma faixa de quadras com uso para comércio e serviços.

A área no entorno da estação encontra-se gramada e a única árvore de médio porte encontra-se a 25m de distância.

Próximo à estação, a cerca de 40m, encontra-se o prédio destinado ao estacionamento de um shopping. Mais adiante, a 90m da estação, encontra-se a Estrada do Mendanha, importante via de tráfego da região, com intenso tráfego de ônibus, veículos de carga e de passeio.

A localização da Estação Campo Grande está apresentada na Figura 5.8.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.8 – Localização da Estação Campo Grande, Escola Municipal Ernesto Che Guevara.

5.8. Estação Pedra de Guaratiba

A estação Pedra de Guaratiba está localizada junto ao CIEP Professora Myrthes Wenzel, à Rua Soldado Antonio de Paula, no bairro de Pedra de Guaratiba. Esta estação encontra-se em região caracterizada por uma ocupação destinada ao uso residencial.

A estação está situada junto ao estacionamento da escola em área sem grandes obstáculos além das instalações escolares, havendo apenas uma pequena árvore junto ao gradil da estação.

Próximo à estação, a cerca de 240m, encontra-se a Baía de Sepetiba que, na altura da estação, possui uma faixa de mangue com cerca de 100m de largura. Nas redondezas não há ruas com grande movimento de veículos, sendo que a Estrada da Matriz, via com maior tráfego da região, encontra-se a uma distância de 640m, por ela trafegam ônibus, veículos de carga e de passeio.

A localização da Estação Pedra de Guaratiba está apresentada na Figura 5.9.



Fonte: SMAC, 2013

Figura 5.9 – Localização da Estação Pedra de Guaratiba, Escola Municipal Professora Myrthes Wenzel.

6. Resultados do monitoramento da qualidade do ar

Os resultados do monitoramento da qualidade do ar estão apresentados segundo cada uma das estações, sendo analisados os poluentes atmosféricos observados em cada local.

Dois poluentes, o Monóxido de Carbono e o Dióxido de Enxofre, apresentaram concentrações baixas durante todo o período analisado.

Assim como as concentrações médias anuais, em todos os locais monitorados as concentrações médias de 1h e de 8h para o Monóxido de Carbono, entre 2012 e 2018, estiveram bem abaixo dos respectivos padrões primários de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90. Os valores de concentração média anual são apresentados nesse capítulo, e as curvas que mostram o perfil do poluente ao longo do dia podem ser visualizadas no Anexo 9.

6.1. Estação Centro

6.1.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono (CO) para o período de 2012 a 2018 estão apresentadas na Figura 6.1, na qual é possível verificar que as maiores concentrações anuais deste poluente, no valor de 0,47 ppm cada, ocorreram nos anos de 2013 e 2017. Para o ano de 2012, a média anual não pode ser considerada representativa. É possível observar um leve decréscimo entre 2013 e 2015. Entretanto, entre 2016 e 2017 ocorreu um ligeiro aumento nas concentrações, o que não foi continuado em 2018.

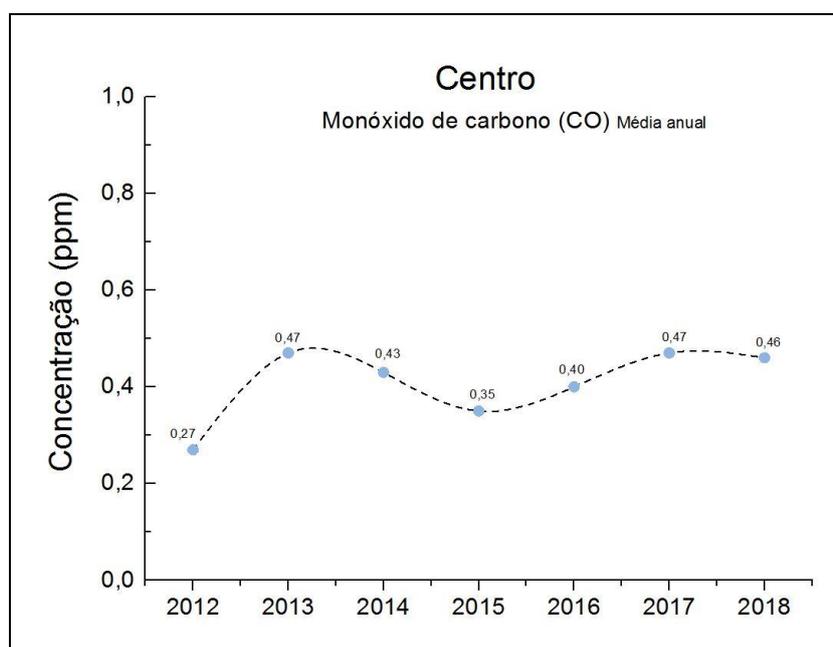


Figura 6.1 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Centro, entre 2012 e 2018

6.1.2. Partículas Inaláveis (MP10)

As médias anuais de Partículas Inaláveis entre 2012 e 2018 estão apresentadas na Figura 6.2. Durante esse período, a maior média anual ocorreu em 2012, quando alcançou o valor de 41,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que em 2017 foi obtido o menor valor, o que correspondeu a 28,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todas as médias anuais encontram-se abaixo do padrão primário de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90.

Em 25/01/12, ocorreu o desabamento de três prédios localizados na região da Avenida 13 de Maio, bem próximo à estação Centro. Naquela ocasião, foi observada uma elevação expressiva das partículas inaláveis na estação, influenciando na concentração média anual observada em 2012.

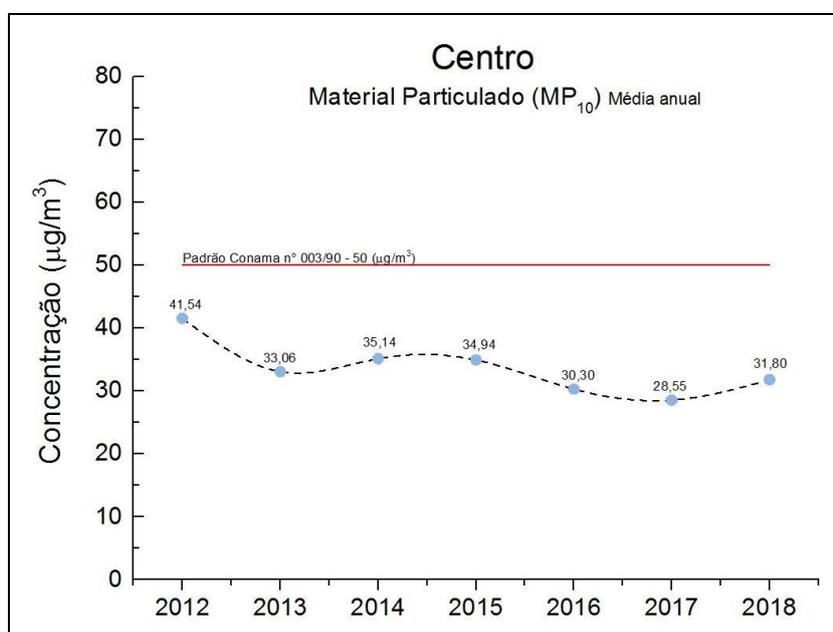


Figura 6.2 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Centro, entre 2012 e 2018.

Entre 2012 e 2018, nesta estação, não se observou violações ao padrão primário de 150 µg/m³ para média de 24 horas, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Observa-se a semelhança dos valores das máximas concentrações de 24h nos últimos dois anos (Figura 6.4).

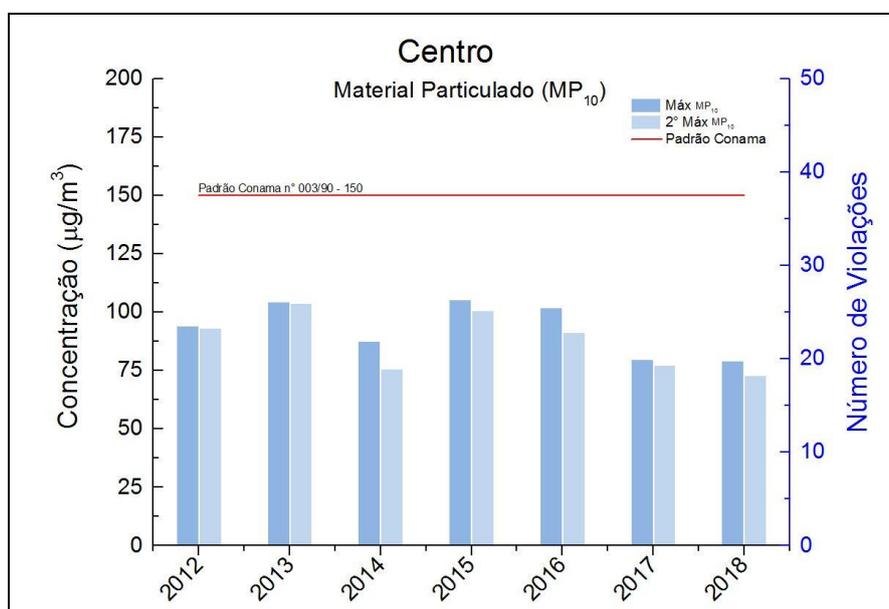


Figura 6.4 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90 na Estação Centro, entre 2012 e 2018

6.1.3. Ozônio (O₃)

A Figura 6.5 apresenta o gráfico Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio no período de 2012 a 2018, na Estação Centro. A maior média foi registrada em 2017, com valor de 23,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e a menor, de 14,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em 2014.

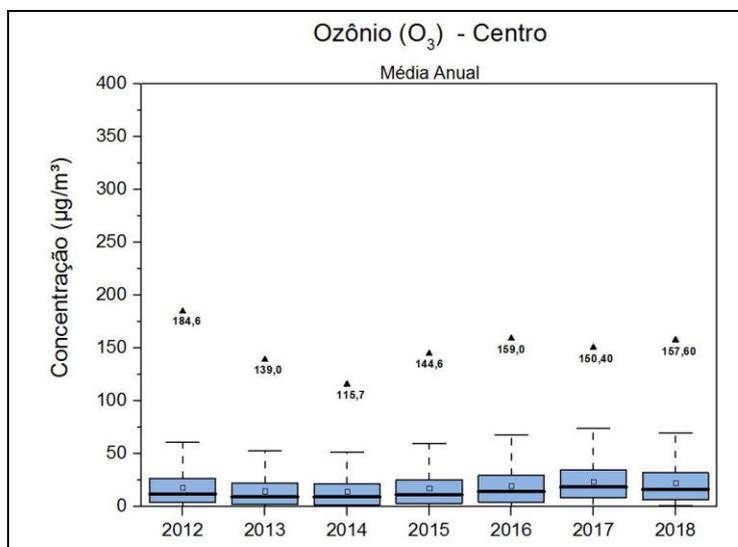


Figura 6.5 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Centro, entre 2012 e 2018

A Figura 6.6 apresenta as médias máximas horárias e o número de violações observadas entre 2012 e 2018 do poluente Ozônio. Observa-se que as concentrações máximas apresentaram comportamento semelhante entre 2016 e 2018. A máxima concentração de uma hora do poluente ocorreu em 2012, ano em que foram verificadas quatro violações ao padrão primário de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. Após aquele ano não houve mais violações na Estação Centro.

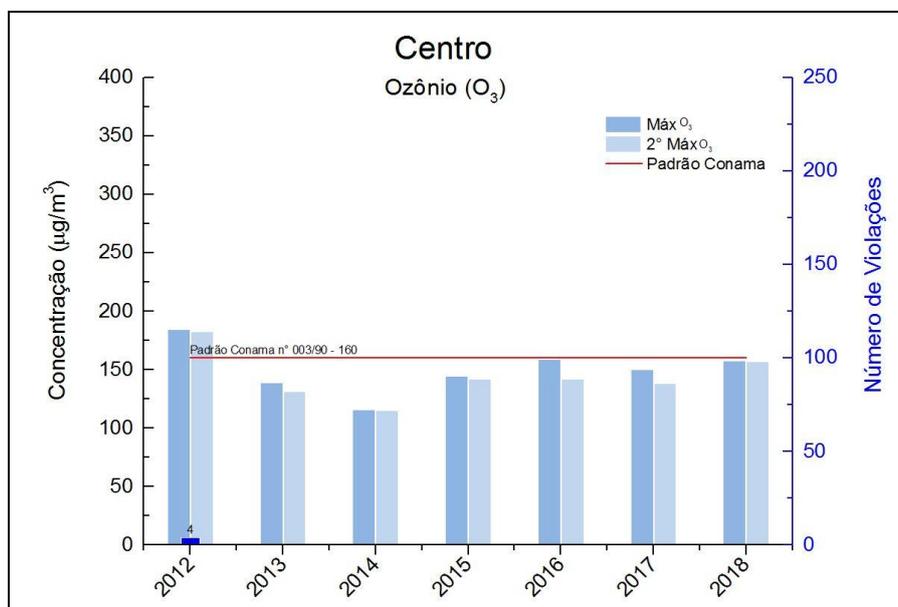


Figura 6.6 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Centro, entre 2012 e 2018

6.2. Estação Copacabana

6.2.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, para o período de 2012 a 2018, na Estação Copacabana estão apresentadas na Figura 6.7, na qual se observa um decréscimo das mesmas ao longo do período monitorado, com estabilização nos últimos três anos. O maior valor encontrado foi de 0,28 ppm, no ano 2012, e o menor valor, 0,08 ppm, em 2016 e 2018.

Segundo SOARES (2018), a concentração de Monóxido de Carbono sofreu redução após a implementação do BRS em Copacabana. Tal estudo indicou que as variáveis meteorológicas no período apresentaram baixa probabilidade de influência sobre as concentrações de CO, restando como causas da melhoria da qualidade do ar as alterações no trânsito ocorridas pela implementação do BRS.

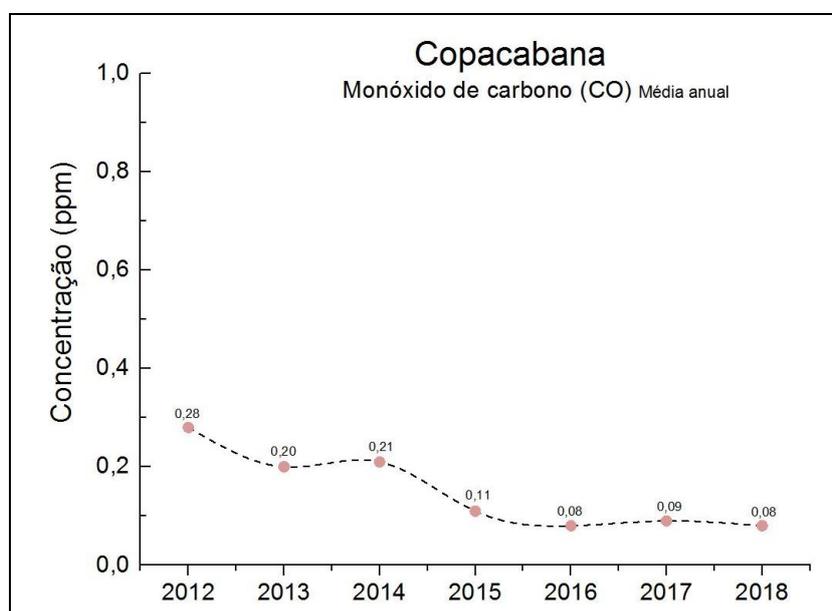


Figura 6.7 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

O perfil diário deste poluente em Copacabana é característico dos encontrados em áreas de grande circulação de veículos automotores, uma vez que o bairro é uma importante área de comércio, serviços e turismo.

6.2.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

O padrão primário estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 para a concentração da média anual de Dióxido de Enxofre é de 80 µg/m³. No período de monitoramento de 2012 a 2018, as concentrações anuais deste poluente representaram menos que 10% do padrão primário estabelecido (Figura 6.9), sem que se observassem grandes variações ao longo do tempo. A maior concentração foi obtida no ano de 2012, sendo seu valor igual a 6,29 µg/m³.

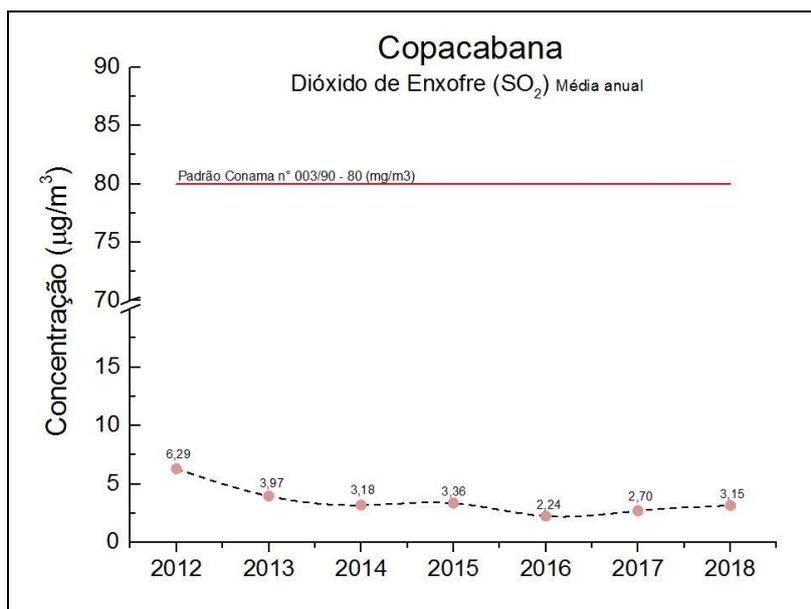


Figura 6.9 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

6.2.3. Partículas Inaláveis (MP10)

As médias anuais das concentrações de Partículas Inaláveis entre 2012 e 2018 comparadas ao padrão primário anual de 50 g/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 estão apresentadas na Figura 6.11. Na Estação Copacabana observou-se violações ao padrão primário anual em todo os anos, exceto em 2018. O ano de 2016 foi o que apresentou a maior concentração média anual, tendo ultrapassado em 21,88% o padrão primário estabelecido.

As altas concentrações observadas nas médias anuais ocorrem devido às características do bairro, onde o fluxo veicular é grande, agravado pelo fato de a estação estar localizada junto à Rua Barata Ribeiro, além da presença de aerossóis marinhos oriundos da praia. Adicionalmente, a configuração urbanística, que apresenta edifícios com alto gabarito e sem afastamento lateral, prejudica a dispersão dos poluentes no local.

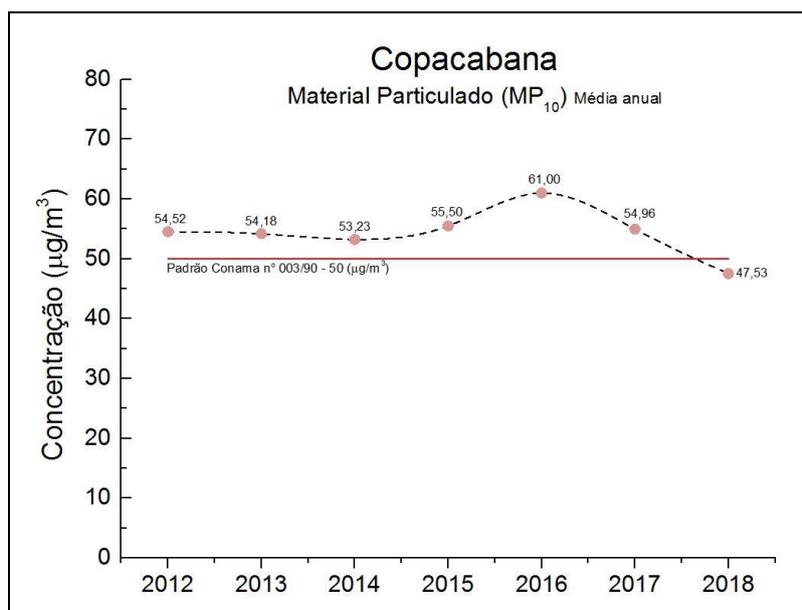


Figura 6.11 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

A Figura 6.12 ilustra o comportamento das máximas e o número de violações observadas no período de 2012 a 2018. Pode-se notar que, nesta localidade, não houve ultrapassagem ao padrão primário de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 para a média de 24h. A máxima média de 24 horas, 131,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi observada no ano de 2015.

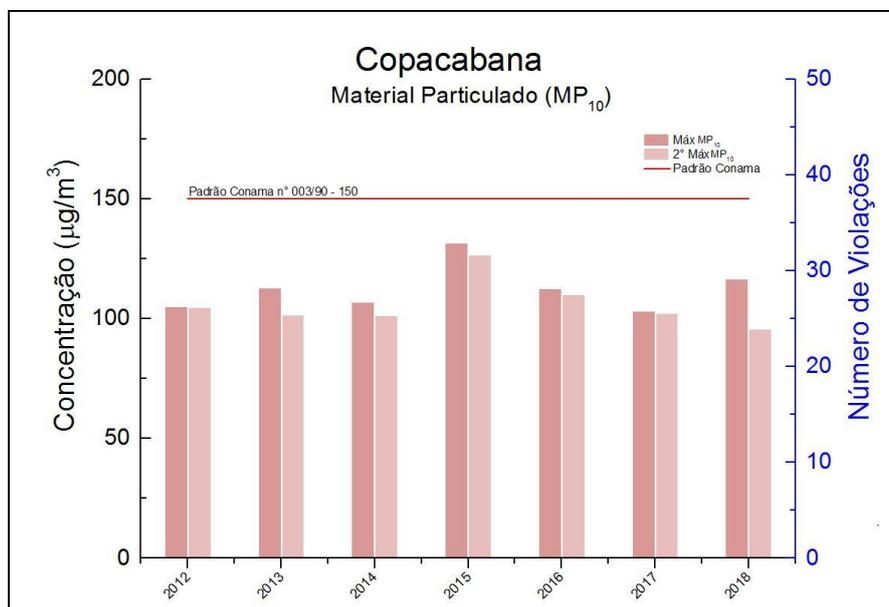


Figura 6.12 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

6.2.4. Ozônio (O3)

Na Figura 6.13 é apresentado o gráfico Box Plot, contendo as médias anuais de Ozônio na Estação Copacabana. A maior média anual, 24,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi observada no ano de 2018. Entre 2012 e 2018, foi verificado um decaimento das concentrações no início do período, tendo sido observada sua elevação nos últimos anos.

Deve-se ressaltar que o CONAMA não estabelece padrão para médias anuais de Ozônio, sendo a análise anual restrita à avaliação de sua evolução ao longo do período.

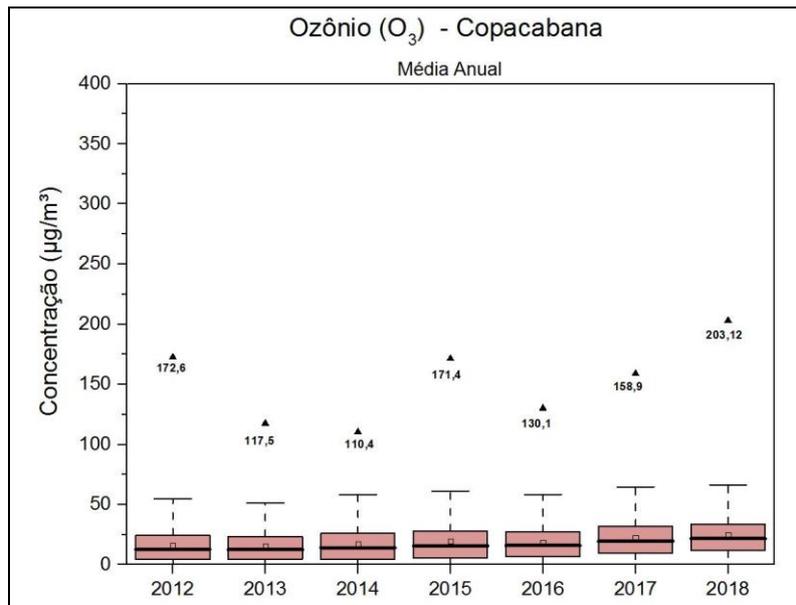


Figura 6.13 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

Entre 2012 e 2018, na Estação Copacabana, foram verificadas sete violações ao padrão primário de 160 µg/m³ para médias de uma hora de Ozônio, estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 (Figura 6.14).

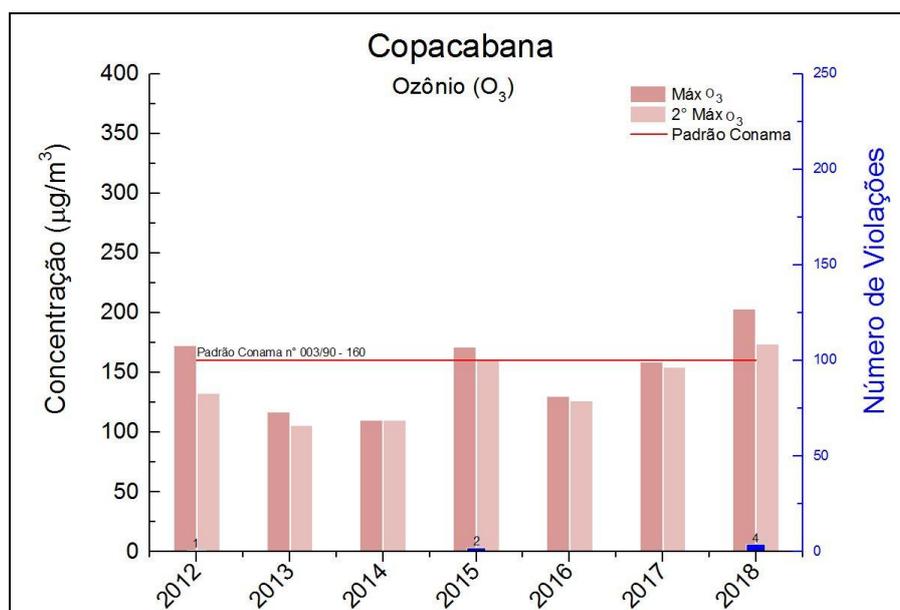


Figura 6.14 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Copacabana, entre 2012 e 2018

6.3. São Cristóvão

6.3.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono entre 2012 e 2018 estão apresentadas na Figura 6.15. No período de 2012 a 2017 nota-se um decaimento em seus valores e em 2018 é observado um leve aumento na concentração do poluente. O maior valor observado, de 0,34ppm, foi alcançado em 2013.

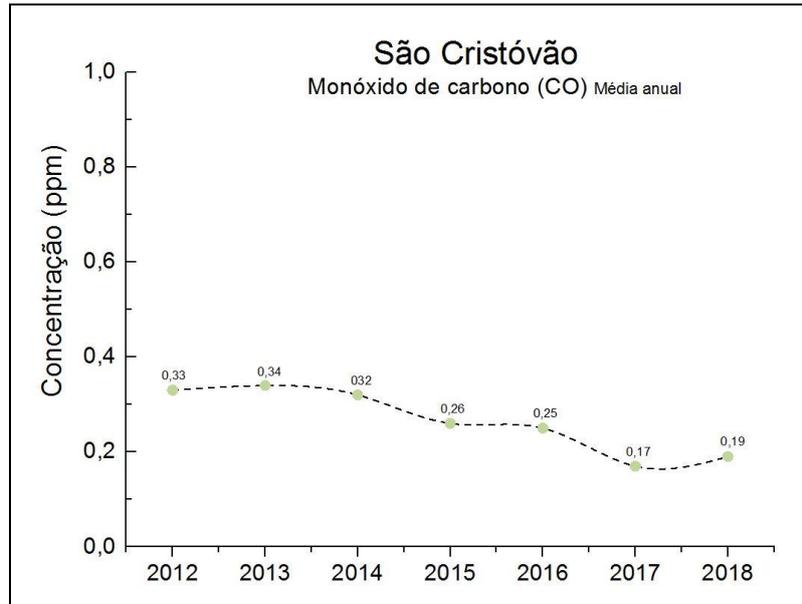


Figura 6.15 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018

6.3.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

As concentrações médias anuais observadas entre 2012 e 2018 ficaram muito abaixo do padrão primário de 80 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. Segundo a Figura 6.17, nota-se que houve um decaimento das concentrações deste poluente nos anos de 2013 e 2014, estabilidade entre 2014 e 2017 e uma elevação em 2018. No entanto, observa-se que as variações entre as médias anuais são muito pequenas durante todo o período considerado.

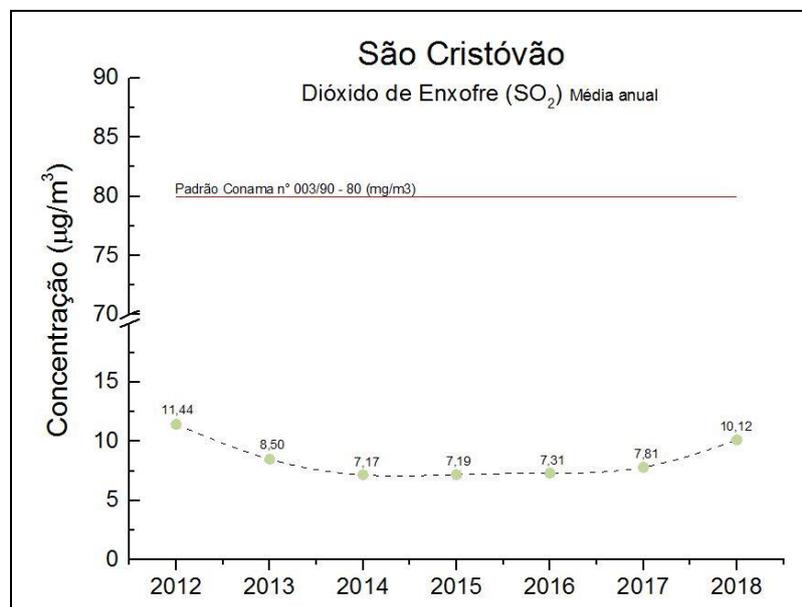


Figura 6.17 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018

6.3.3. Partículas Inaláveis (PM10)

Na Estação São Cristóvão, as médias anuais entre 2012 a 2018 não ultrapassaram o padrão primário de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 para Partículas Inaláveis. O valor mais elevado, de 39,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi verificado em 2014 e a partir de 2015 observa-se um decaimento nas concentrações do poluente. (Figura 6.19).

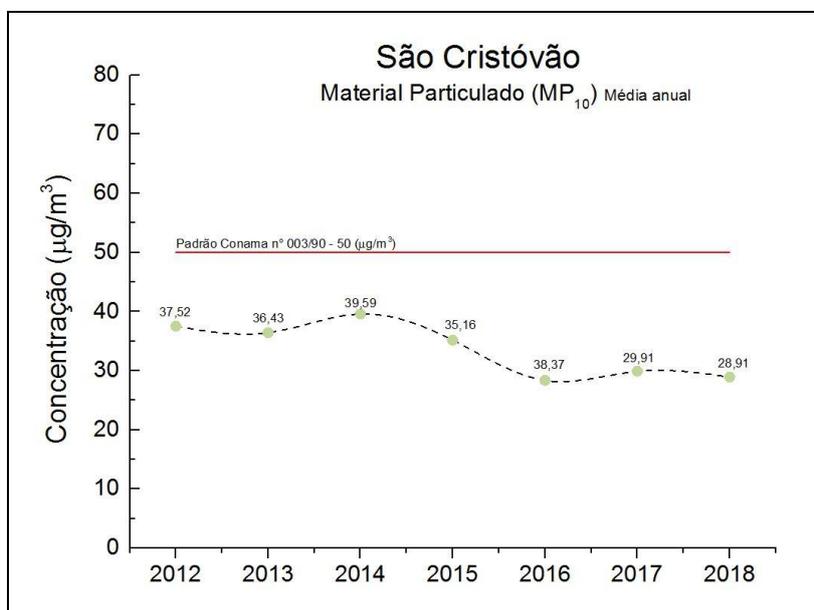


Figura 6.19 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2011 e 2018

Na Estação São Cristóvão não se observou nenhuma violação ao padrão primário de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para médias em 24h, estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. As máximas entre 2012 e 2018 estão apresentadas na Figura 6.20. As concentrações máximas dos últimos três anos foram as menores do período.

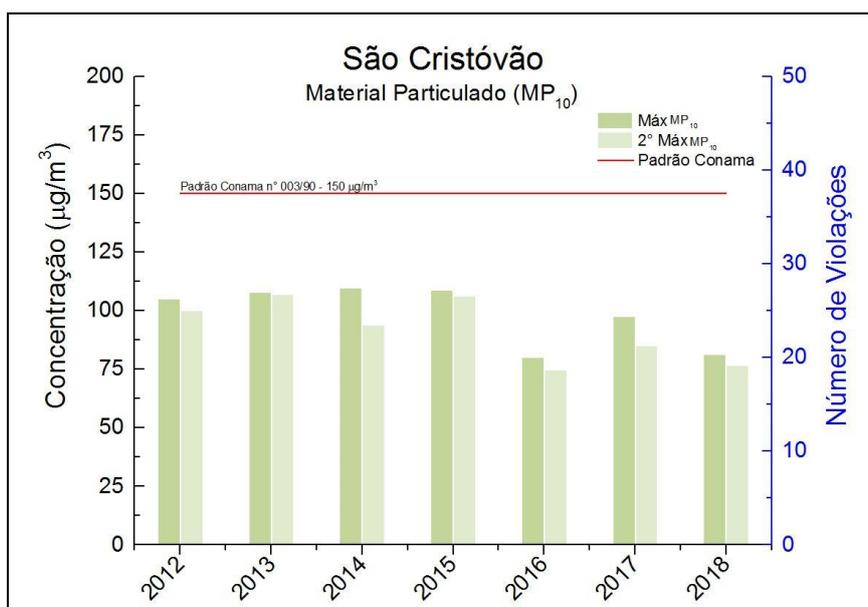


Figura 6.20 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018

6.3.4. Ozônio (O₃)

Na Estação São Cristóvão, as médias anuais de Ozônio não apresentaram variação significativa nos últimos quatro anos do período analisado. A maior média anual foi encontrada em 2018, com o valor de 25,38 µg/m³. A Figura 6.21 apresenta o gráfico Box Plot, contendo as médias anuais de Ozônio, no período de 2012 a 2018.

Deve-se ressaltar que o CONAMA não estabelece padrão para médias anuais de Ozônio, sendo a análise anual restrita à avaliação de sua evolução ao longo do período.

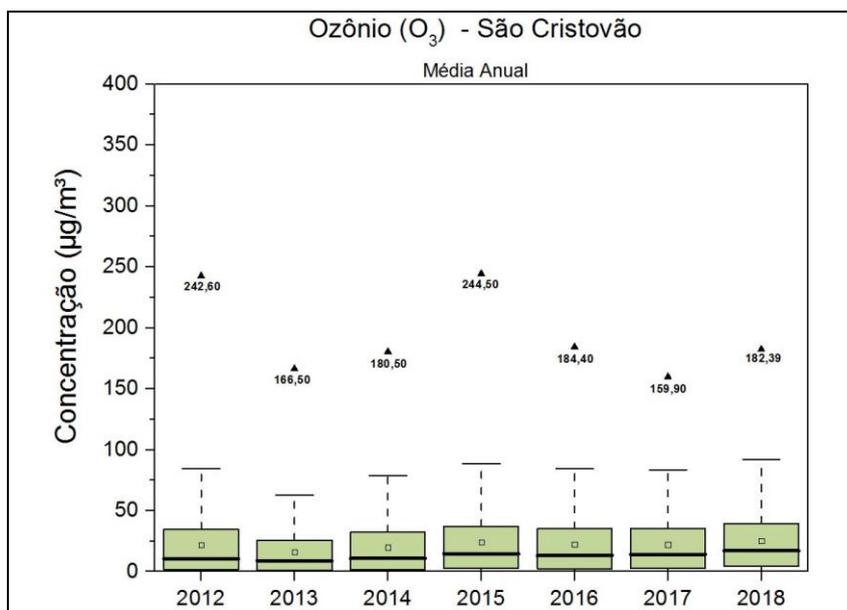


Figura 6.21 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018

Entre 2012 e 2018, a estação apresentou 44 violações ao padrão primário de 1 hora de ozônio de 160µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Em 2012 e 2015 foram registradas 17 violações em cada ano, as maiores quantidades já observadas em todo o período. O ano de 2017 foi o único em que não houve violação para o poluente analisado (Figura 6.22).

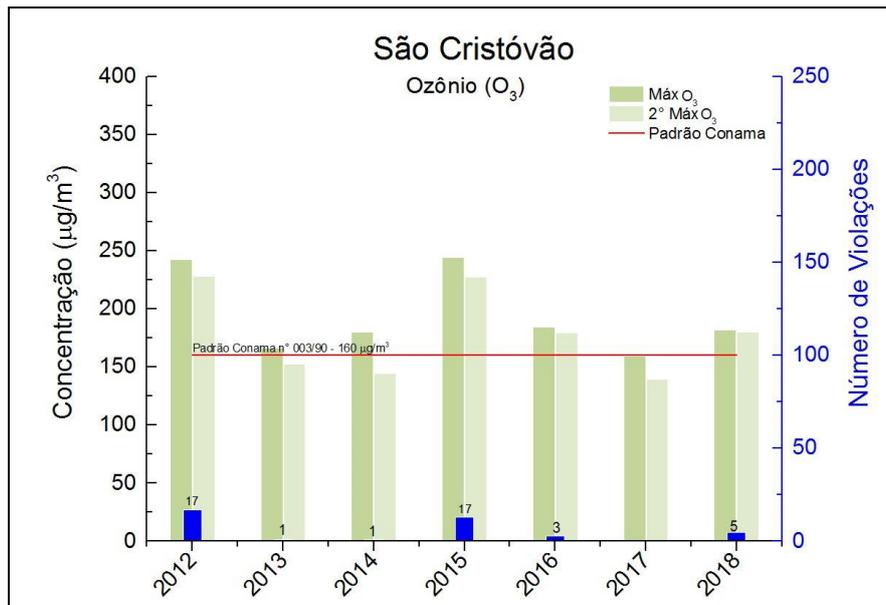


Figura 6.22 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação São Cristóvão, entre 2012 e 2018

6.4. Tijuca

6.4.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono na Estação Tijuca ficaram em torno de 0,4 ppm para a maioria dos anos entre 2012 e 2018. O maior valor de média anual foi 0,51 ppm em 2013 (Figura 6.23). Pode-se observar que nos últimos cinco anos as concentrações médias anuais apresentaram comportamentos similares.

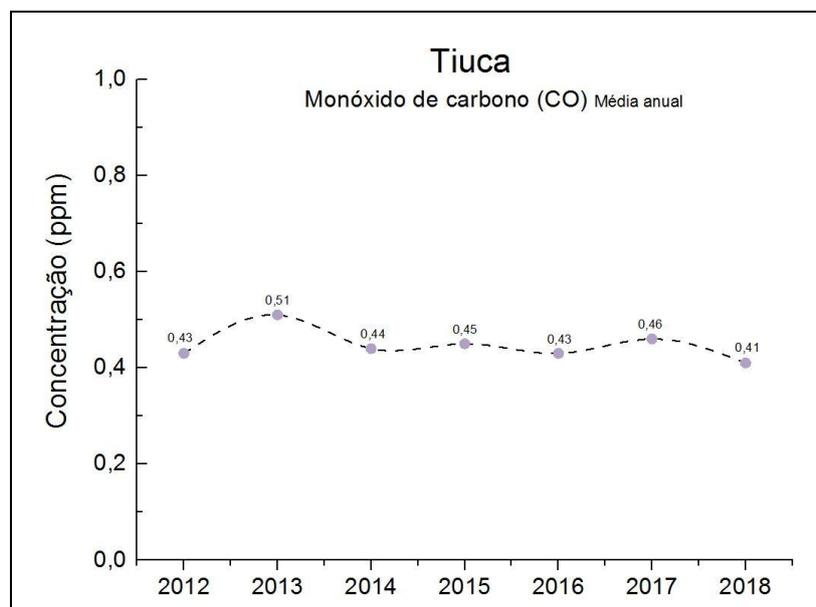


Figura 6.23 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

6.4.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

As concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre observadas entre 2012 e 2018 ficaram abaixo do padrão primário de 80 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Avaliando-se as médias anuais, percebe-se que este poluente fica em torno de 10% do padrão estabelecido (Figura 6.25). A maior média anual foi de 5,79 µg/m³, tendo sido observada em 2012. As concentrações médias anuais sofreram pequenas variações durante todo o período de monitoramento.

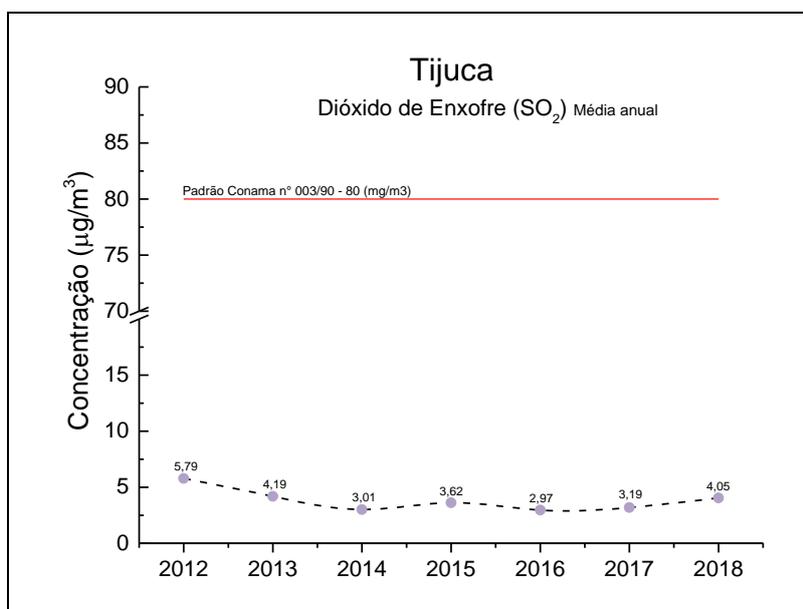


Figura 6.25 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

6.4.3. Partículas Inaláveis (MP10)

As concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis entre 2012 e 2018 não ultrapassaram o padrão primário anual de 50 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Observa-se na Figura 6.27 que nos últimos dois anos, as concentrações sofreram um decréscimo em seus valores.

Na Estação Tijuca não houve ultrapassagem ao padrão primário de 150 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 para médias de 24h de Partículas Inaláveis. Os anos de 2017 e 2018 apresentaram as menores máximas de 24 horas no decorrer do período analisado (Figura 6.28).

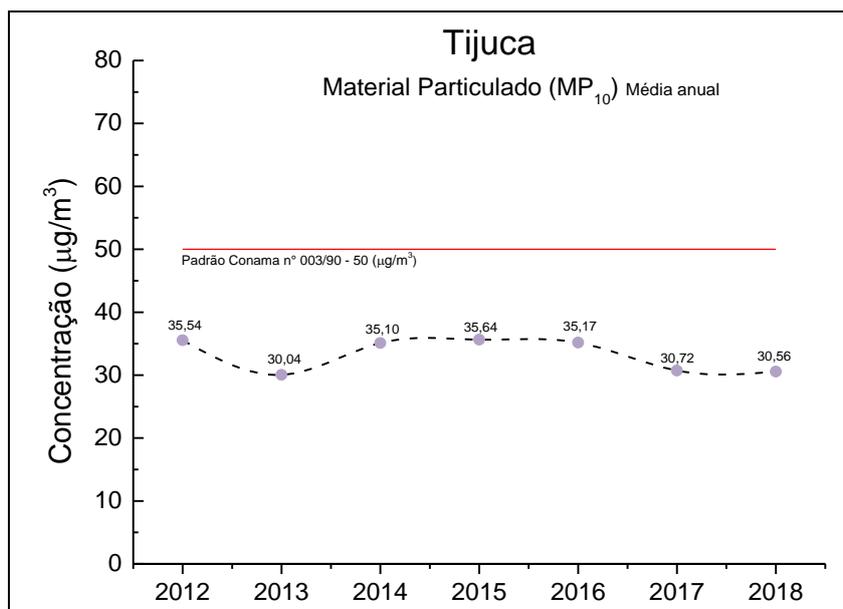


Figura 6.27 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

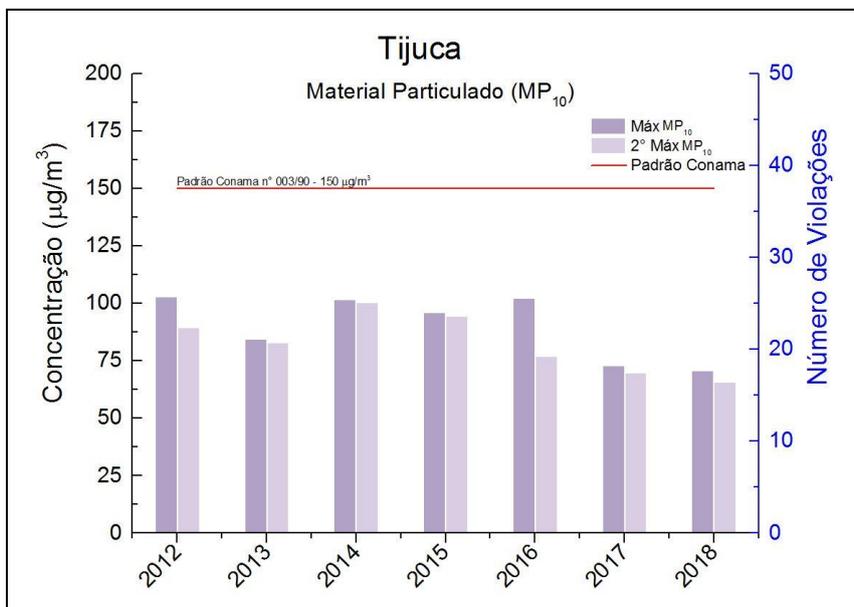


Figura 6.28 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

6.4.4. Ozônio (O₃)

As concentrações médias anuais de Ozônio entre os anos de 2012 e 2018 estão apresentadas na Figura 6.29. Pode-se notar que em 2012, ocorreu a maior média anual registrada no período considerado (31,17 µg/m³).

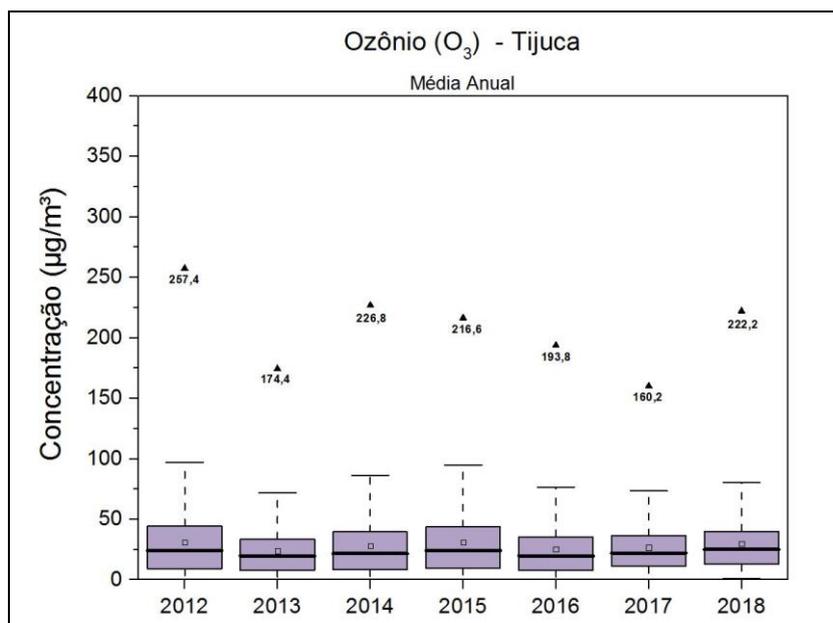


Figura 6.29 – Box Plot contendo concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

Na Estação Tijuca foram verificadas 89 violações ao padrão primário de 160 µg/m³ para médias de uma hora estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90, sendo que o ano 2012 foi o que apresentou o maior número de violações (Figura 6.30).

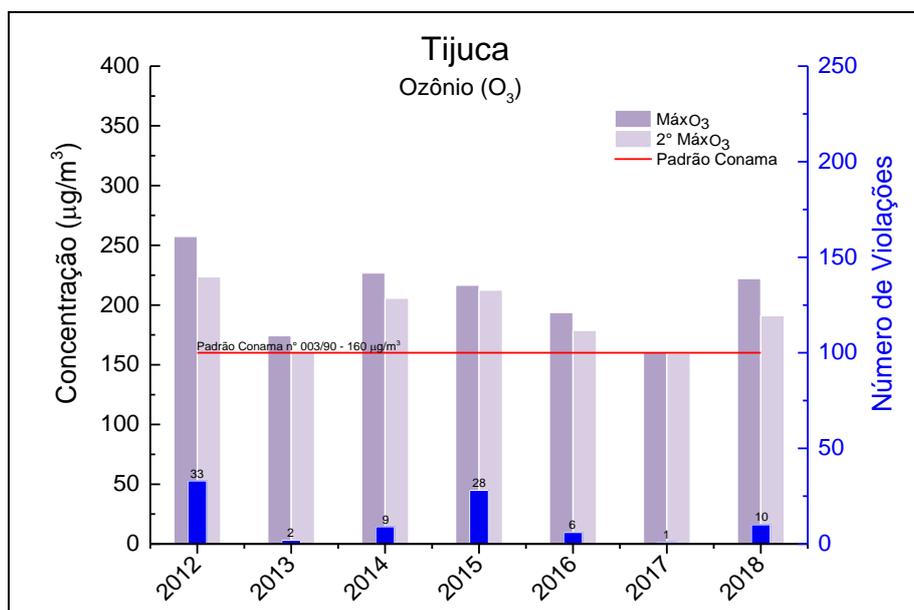


Figura 6.30 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

6.4.5. Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As médias anuais das concentrações de Dióxido de Nitrogênio na Estação Tijuca estiveram abaixo do padrão primário de 100 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. A maior média foi de 55,5 µg/m³ obtida em 2016 (Figura 6.31).

Este poluente teve seu monitoramento considerado na Estação Tijuca a partir de 2012, sendo que em 2013 os registros ficaram abaixo de 75% dos dados válidos, não sendo possível considerá-los para o estabelecimento da média anual.

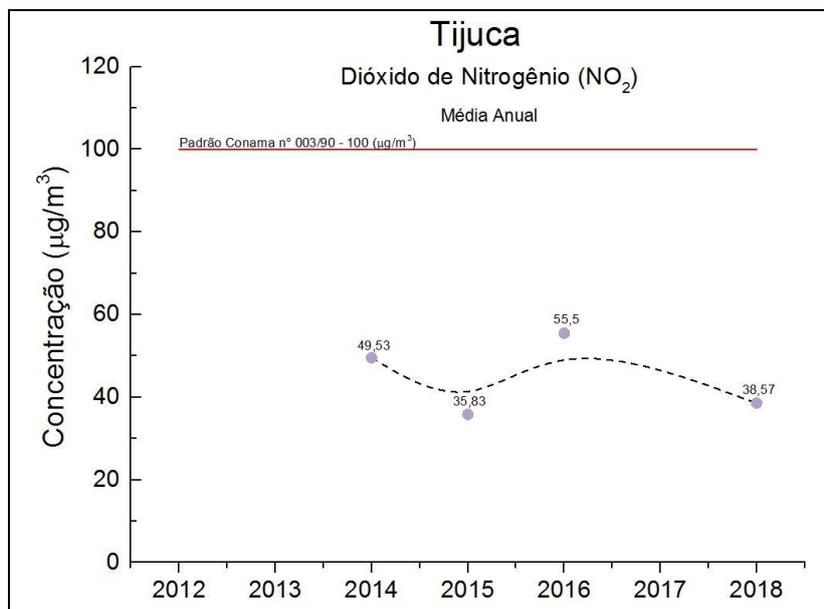


Figura 6.31 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Tijuca, entre 2012 e 2018

6.5. Irajá

6.5.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono na Estação Irajá sofreram um pequeno decréscimo durante o período analisado. A maior concentração anual foi verificada no ano 2012, com o valor de 0,54 ppm (Figura 6.32).

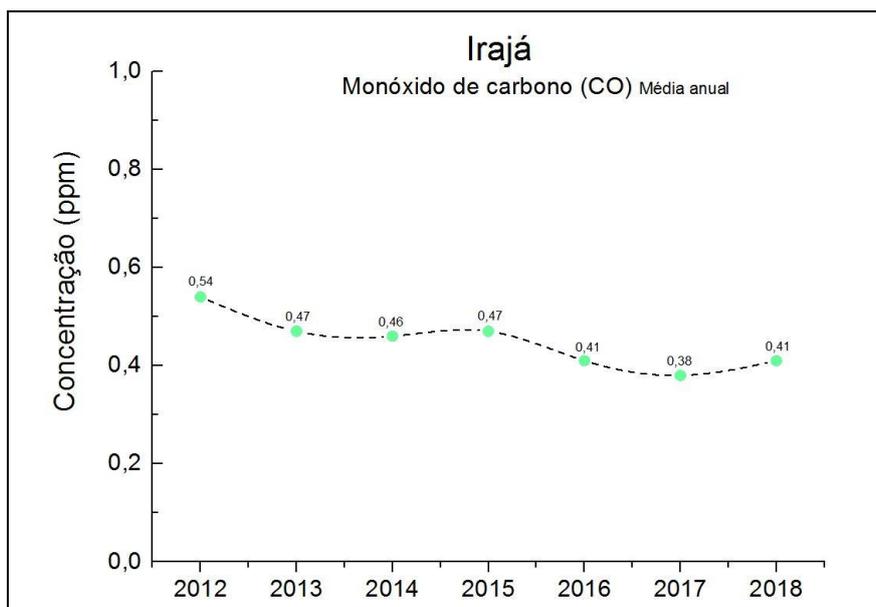


Figura 6.32 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

6.5.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

As concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre na Estação Irajá observadas entre 2012 e 2016 ficaram muito abaixo do padrão primário de 80 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 (Figura 6.34). Para os anos de 2017 e 2018 não foram apresentadas concentrações médias anuais, pois foram obtidos percentuais abaixo de 75% de dados válidos, o que impossibilita o cálculo da média anual.

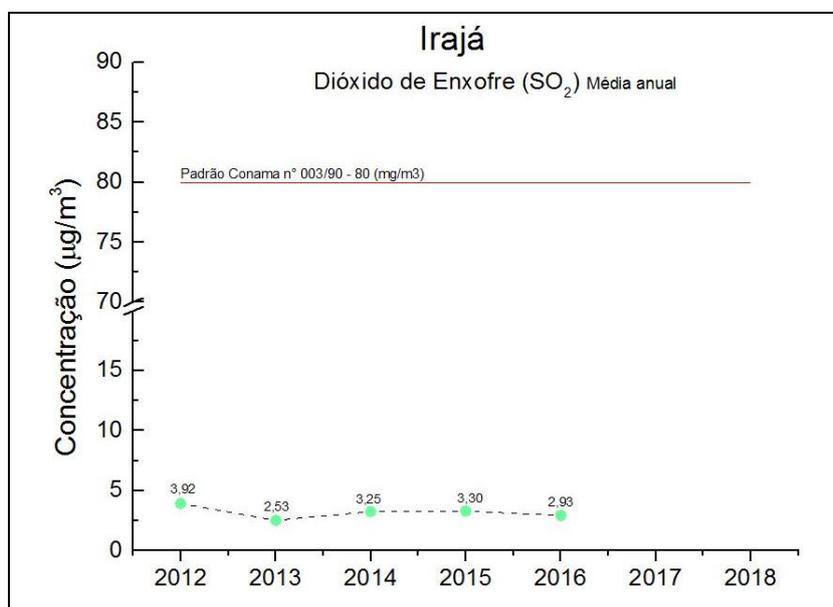


Figura 6.34 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

6.5.3. Partículas Inaláveis (MP10)

Entre 2012 e 2018, não foram registradas violações ao padrão primário de 50 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 para média anual de Partículas Inaláveis na Estação Irajá. As duas maiores médias anuais foram registradas em 2016 e 2014, quando foram alcançados os valores de 41,58 µg/m³ e 41,15 µg/m³ respectivamente (Figura 6.36). Nos últimos dois anos do período considerado, as concentrações máximas foram menos elevadas comparadas aos demais.

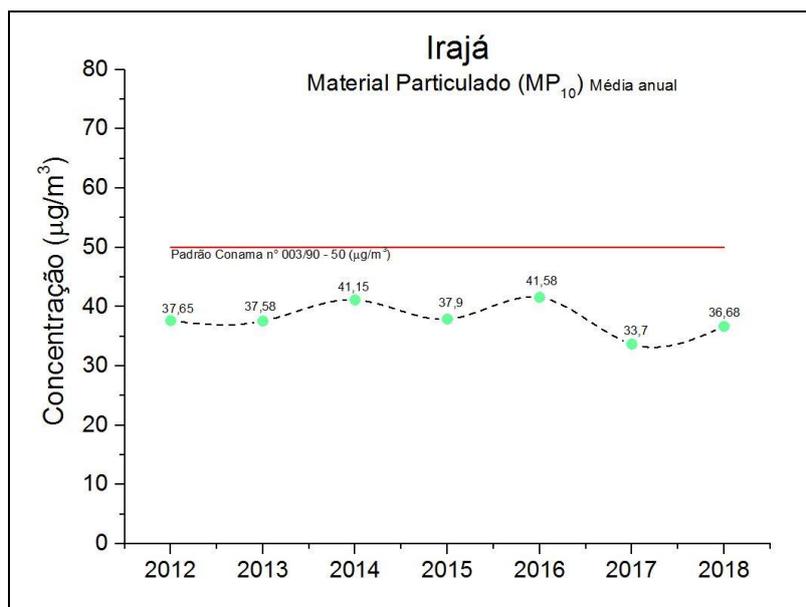


Figura 6.36 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

As concentrações máximas para médias em 24 h e o número de violações ao respectivo padrão para 24 h de 150 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 para Partículas Inaláveis estão apresentadas na Figura 6.37. No período considerado, apenas em um único dia em 2013 houve ultrapassagem ao padrão de 24 h.

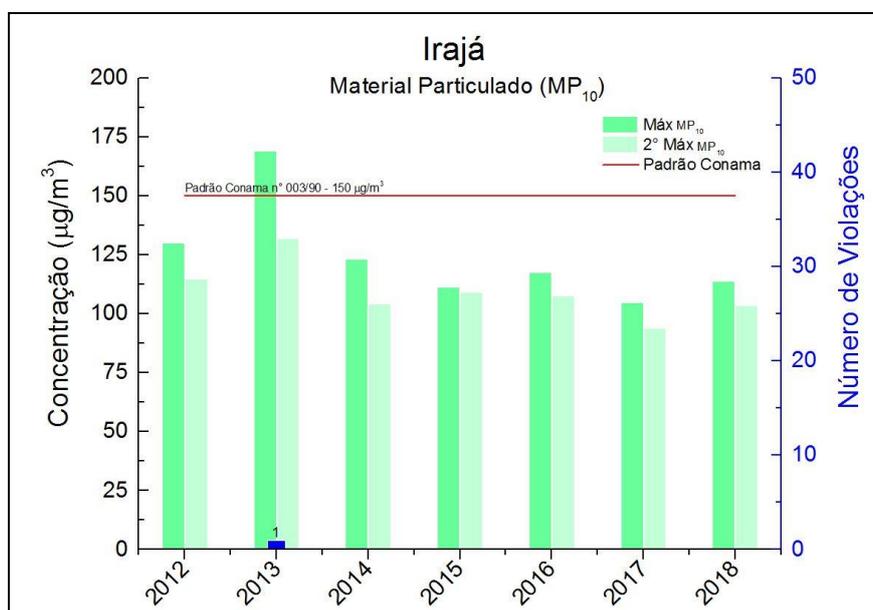


Figura 6.37 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

6.5.4. Ozônio (O₃)

A Figura 6.38 apresenta o gráfico Box Plot contendo as médias anuais de Ozônio observadas na Estação Irajá para o período de 2012 a 2018. A maior média anual foi observada em 2018 (37,18 µg/m³), sendo que nos últimos sete anos, as médias anuais de Ozônio não sofreram grandes variações.

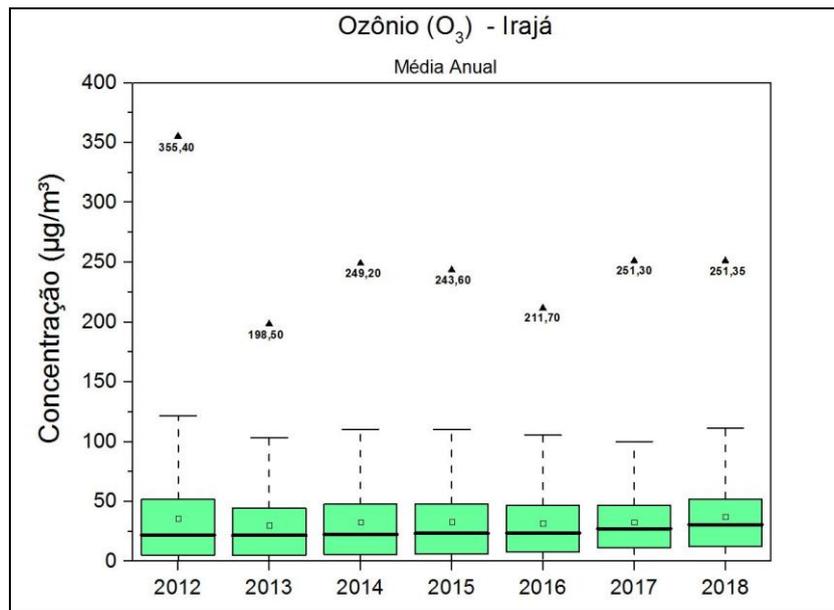


Figura 6.38 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

A Figura 6.39 ilustra o comportamento das concentrações médias de uma hora e o número de violações ao padrão primário de 160 µg/m³ estabelecido para as mesmas pela Resolução CONAMA n° 03/90. Observa-se que nesta localidade houve um número elevado de ultrapassagens ao padrão, sendo de destaque o ano de 2012, no qual foram observadas 163 violações. Este fato, possivelmente, está associado às características do fenômeno La Niña, o qual gerou um atraso de chuvas para a região do Rio de Janeiro naquele ano, ocasionando maior quantidade de dias ensolarados e, portanto, propícios à formação de ozônio na região. Como a região é mais afetada por emissões industriais, comparada com a localização das demais estações de monitoramento do ar do Programa Monitor-Ar, esse efeito do clima pode ter tido uma maior influência nos resultados da Estação de Irajá.

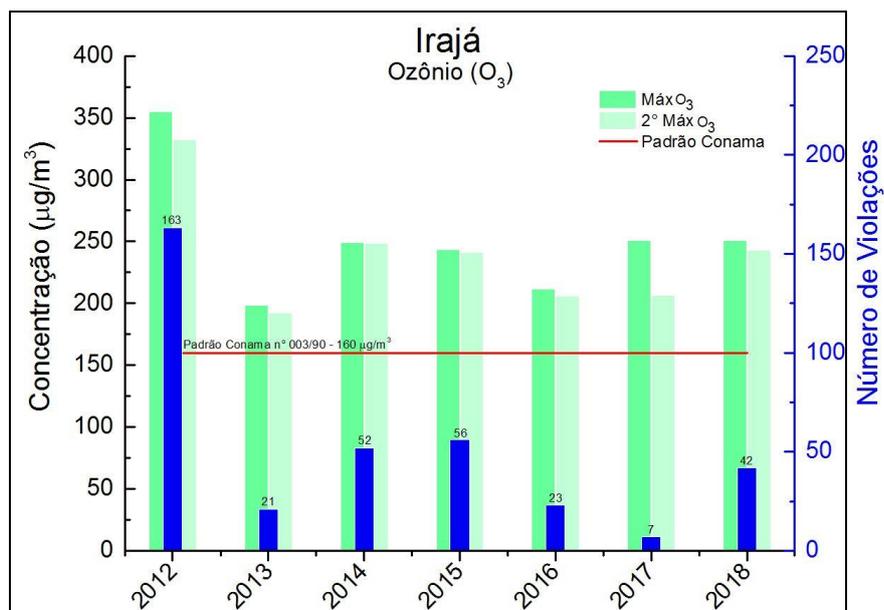


Figura 6.39 – Concentrações máximas para médias de uma hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

6.5.5. Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As comparações entre as concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio e o padrão primário de 100 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 estão apresentadas na Figura 6.40, pela qual pode-se observar que não houve violações entre 2012 e 2018.

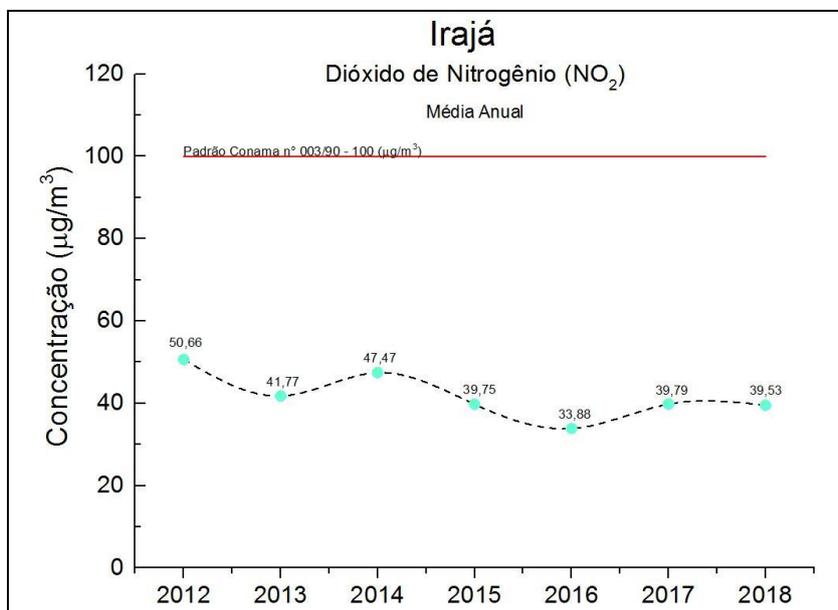


Figura 6.40 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Irajá, entre 2012 e 2018

6.6. Bangu

6.6.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono entre os anos de 2012 e 2018 na Estação Bangu estão apresentadas na Figura 6.41. Pode-se notar uma ligeira elevação do poluente em 2018, mas nos demais anos as concentrações estiveram com valores muito próximos, sem grandes variações.

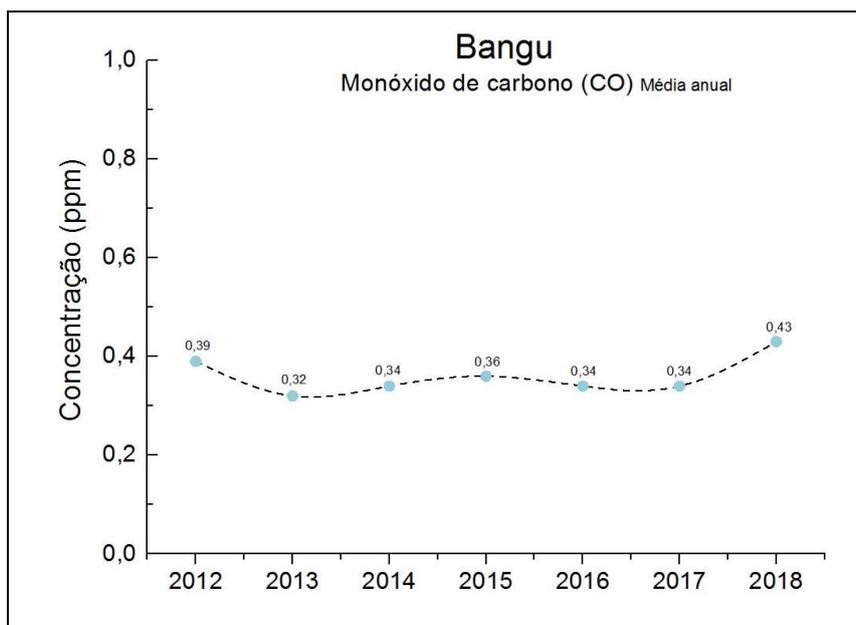


Figura 6.41 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

6.6.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

As concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre observadas entre 2012 e 2018 na Estação Bangu ficaram bem abaixo do padrão primário de 80 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Segundo a Figura 6.43, nota-se que o ano de 2017 foi o que apresentou a maior concentração (5 µg/m³) quando comparado aos demais anos.

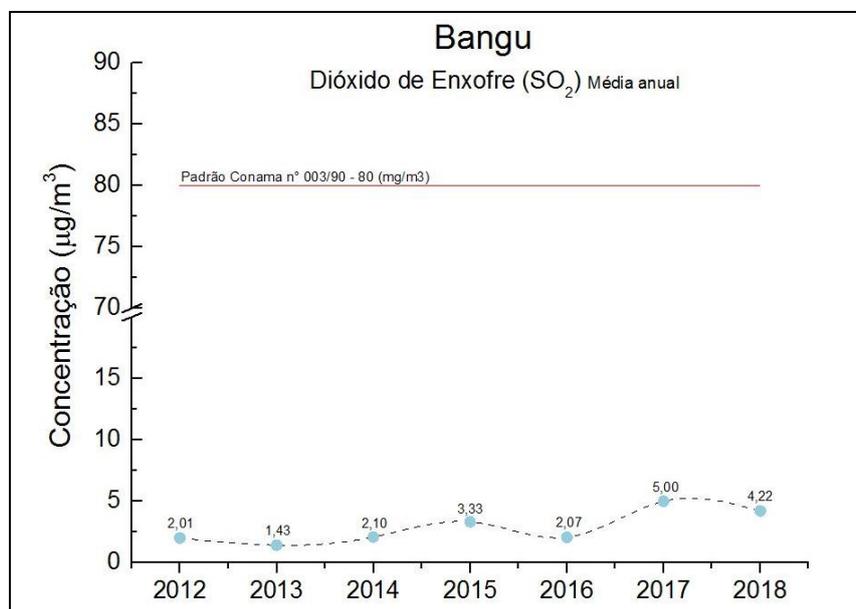


Figura 6.43 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 a 2018

6.6.3. Partículas Inaláveis (MP10)

As médias anuais das concentrações de Partículas Inaláveis, no período entre 2012 e 2018, comparadas ao padrão primário anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 estão apresentadas na Figura 6.45. Na Estação Bangu não foram observadas violações ao padrão anual, sendo que a maior média foi observada em 2015, quando foi alcançado o valor de 40,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A Estação não apresentou dados para o poluente em 2014.

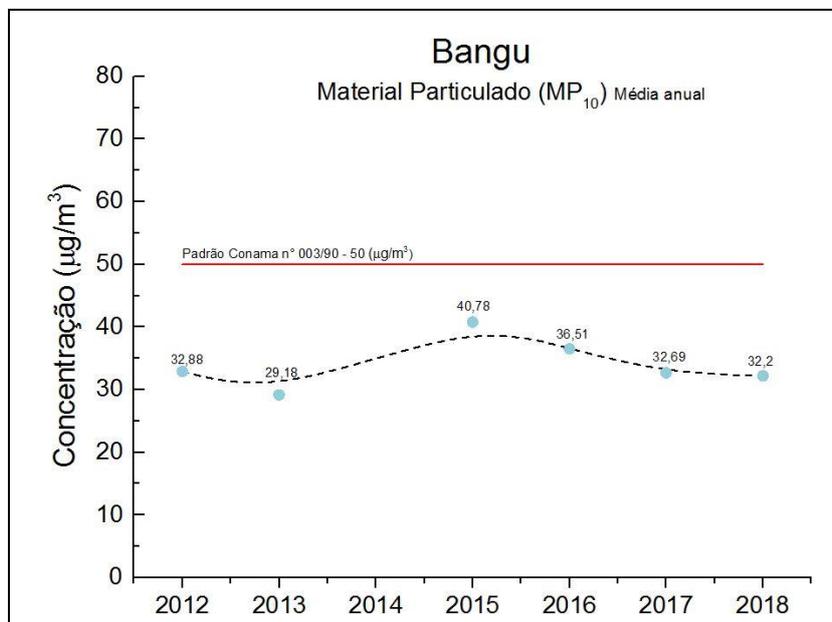


Figura 6.45 – Concentrações médias anuais de Ozônio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

As concentrações máximas para médias de 24 h e o número de violações ao padrão primário para 24 h de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 para Partículas Inaláveis estão apresentadas na Figura 6.46. No período considerado, apenas em um único dia em 2014 houve ultrapassagem ao padrão de 24 h, quando se alcançou 154,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

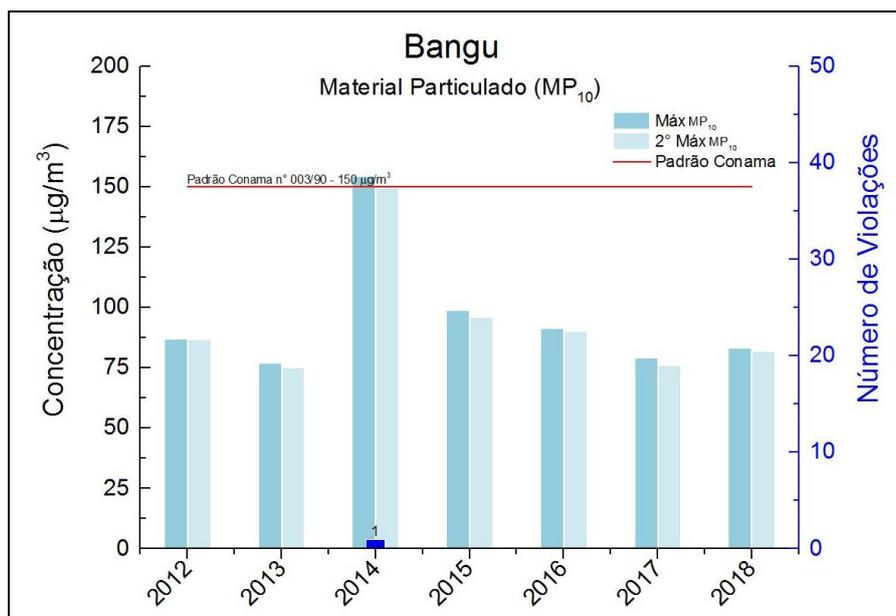


Figura 6.46 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

6.6.4. Ozônio (O₃)

A Figura 6.47 apresenta o gráfico Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio no período de 2012 a 2018, na Estação Bangu. A maior média foi registrada em 2017, quando foi alcançado o valor de 51,54 µg/m³.

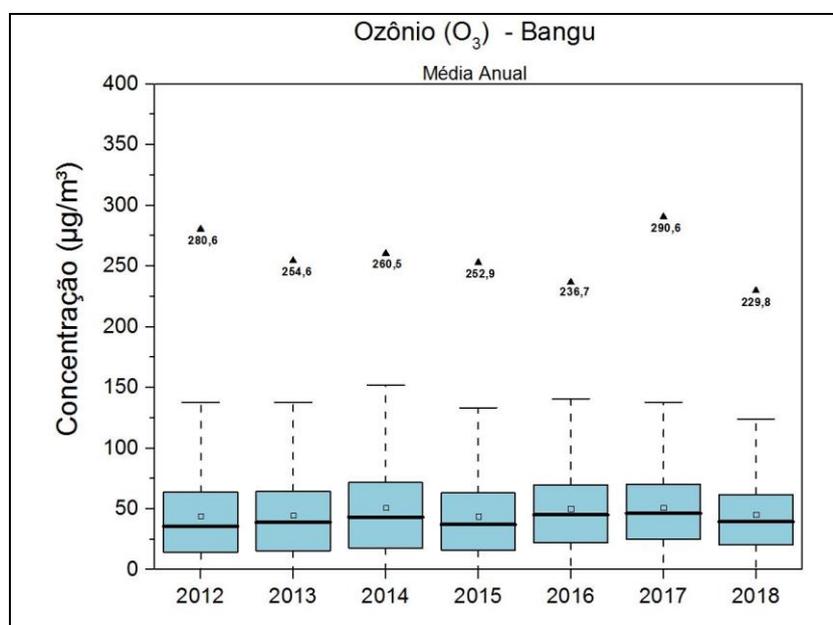


Figura 6.47 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

A Estação Bangu apresentou violações ao padrão primário de 1 hora de 160 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 para o Ozônio. As altas concentrações foram registradas em todos os anos e foi observado grande número de violações. O destaque se deu em 2014 quando ocorreram 207 violações (Figura 6.48).

Nas proximidades da estação não são encontradas fontes significativas de gases precursores para a formação do Ozônio, mas a mesma está situada a aproximadamente 3,0 Km da Avenida Brasil, uma das principais vias da cidade. Portanto, espera-se uma contribuição das fontes móveis daquela via na qualidade do ar da região.

A avaliação dos dados meteorológicos auxilia na explicação sobre a grande quantidade de violações ocorridas em 2014 na Estação Bangu. Naquele ano, foi registrada a menor quantidade de chuva entre 2012 e 2018. Durante o verão (janeiro a março), a presença de sistemas de alta pressão somada a ausência de episódios bem configurados da zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) ocasionou a redução de nebulosidade e proporcionou maior quantidade de dias ensolarados e o conseqüente aumento da incidência de radiação solar, gerando, portanto, condições propícias à formação do poluente.

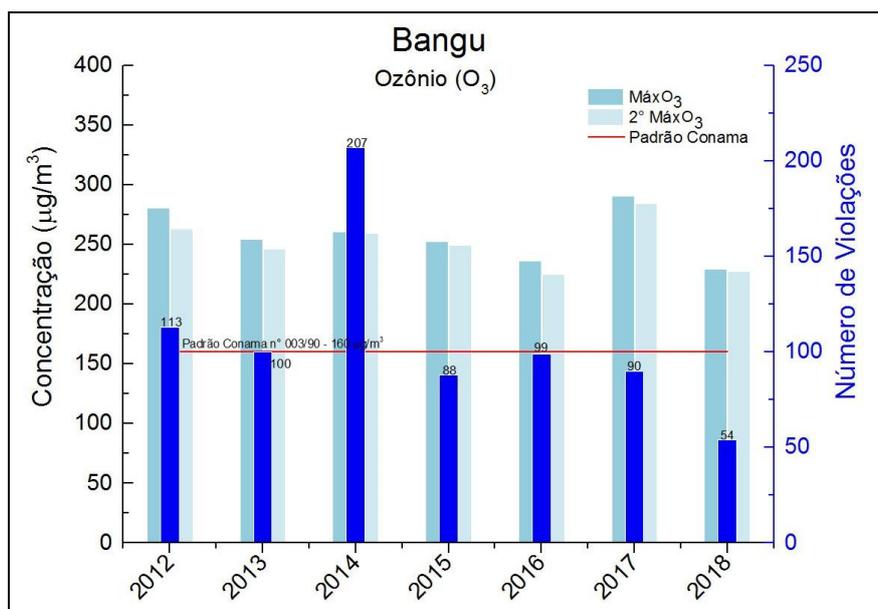


Figura 6.48 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

6.6.5. Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As comparações entre as concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio e o padrão primário de 100 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 estão apresentadas na Figura 6.49, pela qual se pode observar que não houve violações entre 2012 e 2018, sendo que em 2014 foi observado o registro mais elevado deste poluente, 26,18µg/m³. Pode-se ainda notar que o Dióxido de Nitrogênio não apresentou variações significativas no período considerado.

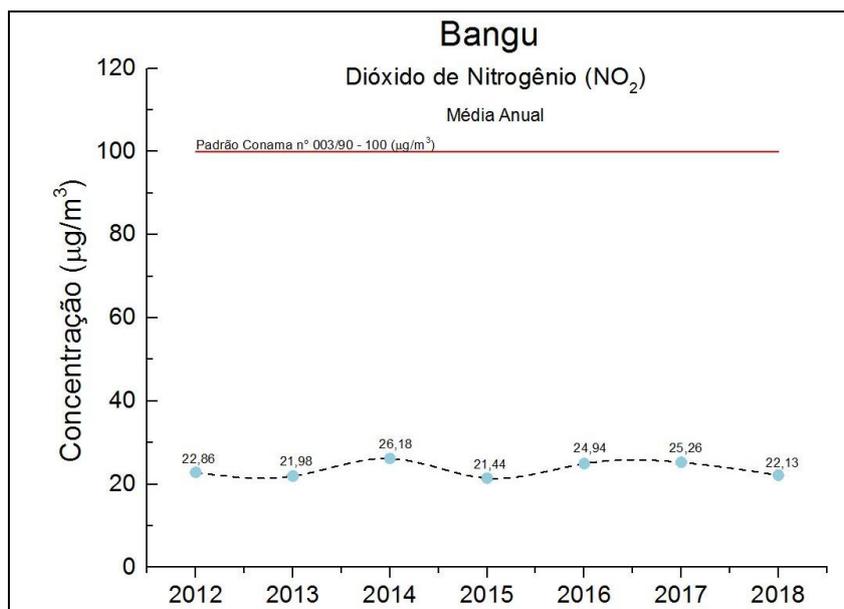


Figura 6.49 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Bangu, entre 2012 e 2018

6.7. Campo Grande

6.7.1. Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono para o período de 2012 a 2018 estão apresentadas na Figura 6.50, na qual é possível verificar que a maior média observada ocorreu em 2018, com o valor de 0,46 ppm.

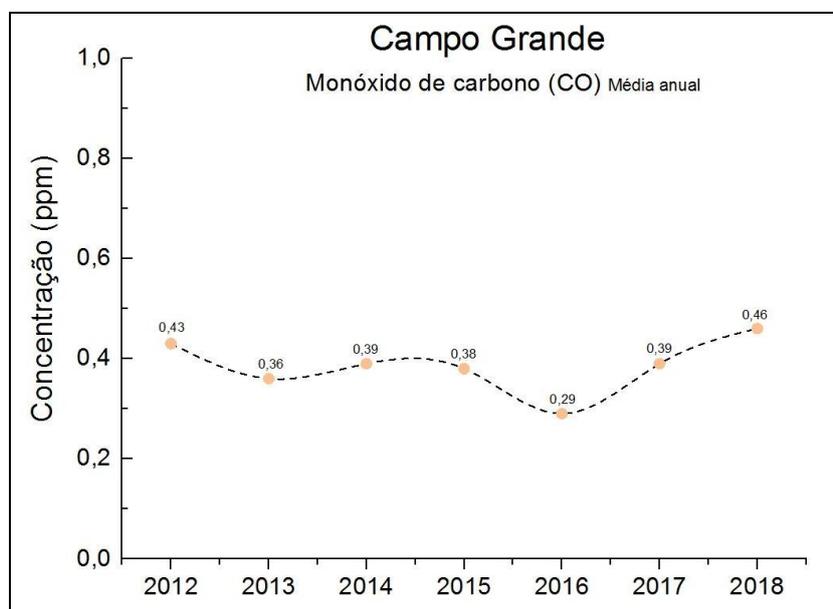


Figura 6.50 – Concentrações médias anuais de Monóxido de Carbono, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

6.7.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

Entre 2012 e 2018, a concentração média anual mais alta de Dióxido de Enxofre observada na Estação Campo Grande não representou 6,0% do padrão primário anual de 80 µg/m³ estabelecido pela resolução CONAMA nº 03/90 (Figura 6.52). O ano de 2017 não foi apresentado devido à baixa representatividade dos dados.

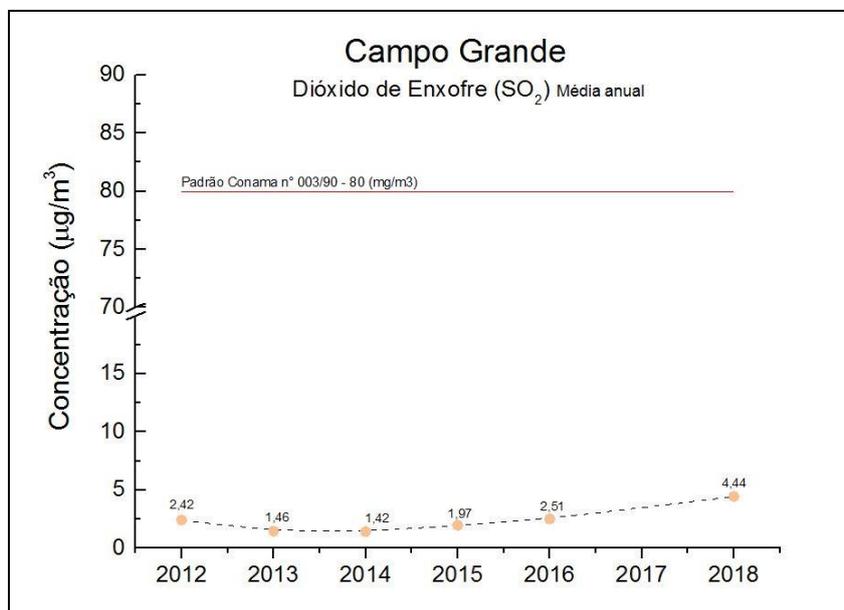


Figura 6.52 – Concentrações médias anuais de Dióxido de Enxofre comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

6.7.3. Partículas Inaláveis (PM₁₀)

As concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis não ultrapassaram o padrão primário de 50 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. A partir de 2016, verificou-se um decaimento das concentrações em relação aos anos anteriores (Figura 6.54).

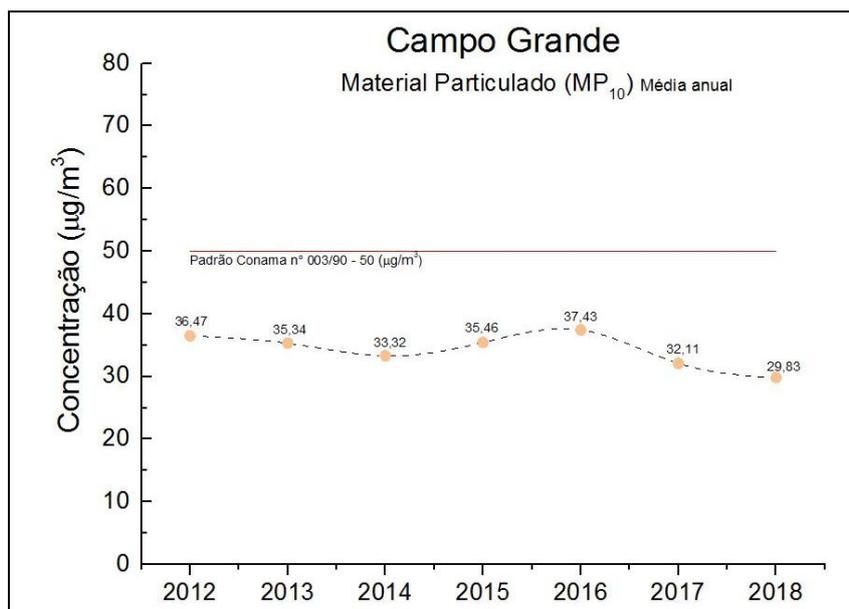


Figura 6.54 – Concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

Entre 2012 e 2018 não houve violação ao padrão primário de 150 µg/m³ para 24 h estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. As máximas médias de 24 horas ocorridas durante todo período podem ser observadas na Figura 6.55.

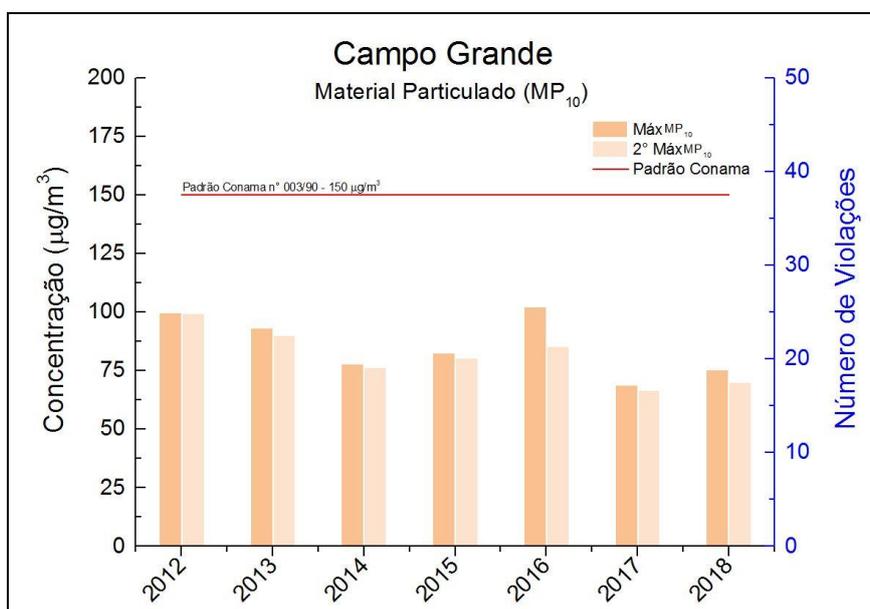


Figura 6.55 – Concentrações máximas para médias de 24 h de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

6.7.4. Ozônio (O₃)

A Figura 6.56 apresenta o gráfico Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio no período de 2012 a 2018, na Estação Campo Grande. A maior média foi obtida em 2016, quando foi alcançado o valor de 37,14 µg/m³.

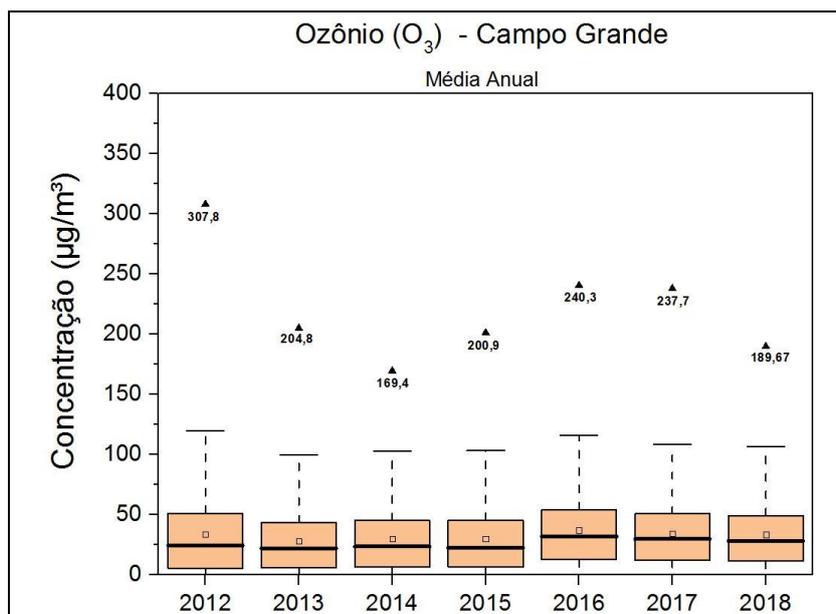


Figura 6.56 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

Na Figura 6.57 é possível observar que a Estação Campo Grande apresentou violações ao padrão primário de 1 hora de 160 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 para o Ozônio ao longo dos sete anos analisados. Porém, o destaque se deu em 2012, quando foram constatados 69 registros de violações. O grande número de violações encontradas em 2012 pode ser explicado pela atuação do fenômeno La Niña, por meio do qual ocorreu um atraso no regime de chuvas e que ocasionou grande estabilidade atmosférica. Com a atmosfera mais estável, os níveis de radiação foram mais elevados na época do verão, o que favoreceu à formação do Ozônio.

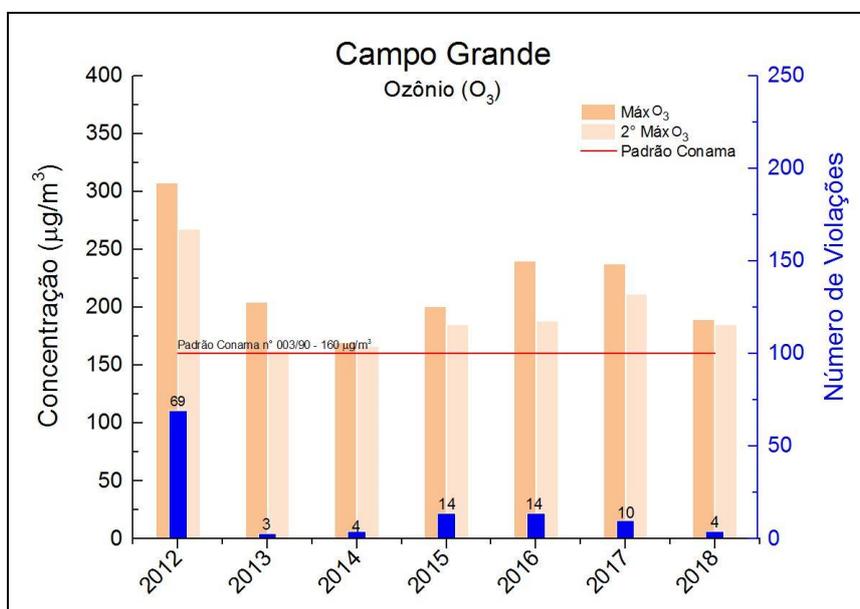


Figura 6.57 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

6.7.5. Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As comparações entre as concentrações médias anuais de Dióxido de Nitrogênio e o padrão primário de 100µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 estão apresentadas na Figura 6.58, pela qual se pode observar que não houve violações entre 2012 e 2018, sendo que em 2012 foi observado o registro mais elevado deste poluente, 38,87µg/m³. Pode-se observar um leve decréscimo dos valores do poluente no período considerado.

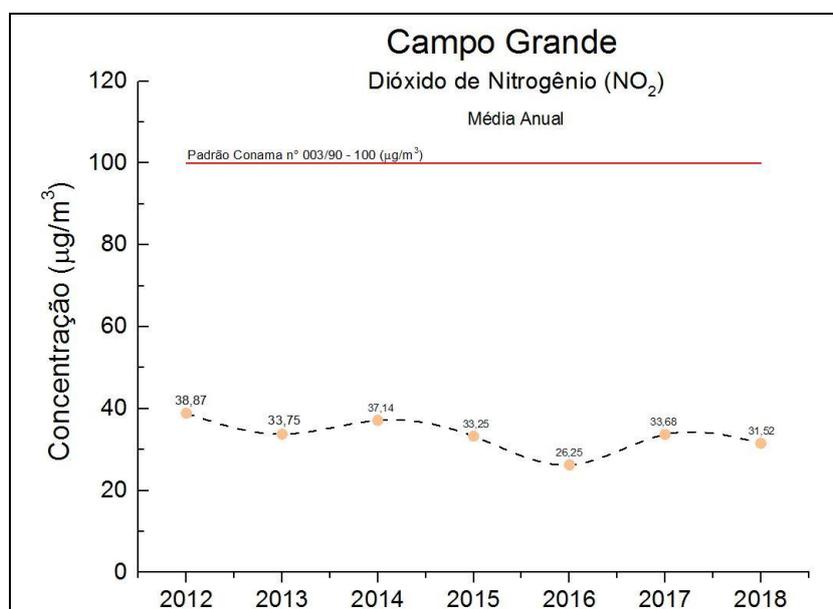


Figura 6.58 – Concentrações médias anuais de Ozônio comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Campo Grande, entre 2012 e 2018

6.8. Pedra de Guaratiba

6.8.1. Partículas Inaláveis (PM₁₀)

As concentrações médias anuais de Partículas Inaláveis, entre 2012 e 2018, na Estação Pedra de Guaratiba não ultrapassaram o padrão primário anual de 50 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90. Observa-se que não houve variação muito acentuada em seus valores no decorrer do período, sendo que em 2014, foi observada a maior média anual, de 36,44 µg/m³ (Figura 6.59).

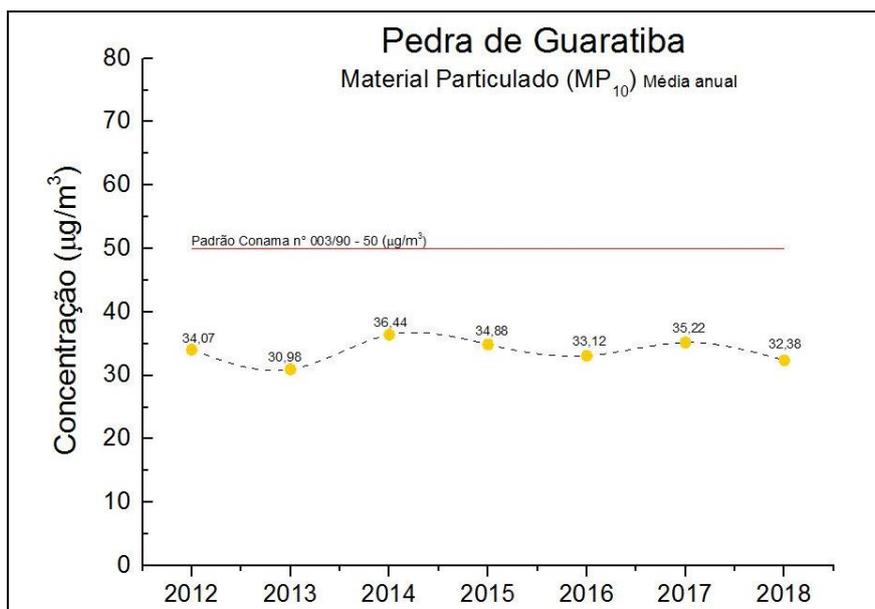


Figura 6.59 – Concentrações médias anuais de Material Particulado comparadas ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Pedra Guaratiba, entre 2012 e 2018

A Figura 6.60 apresenta as médias máximas e o número de ultrapassagens das Partícula Inaláveis em relação ao padrão primário de 24 h de 150 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90. Ressalta-se que durante o período analisado não houve ultrapassagem ao padrão.

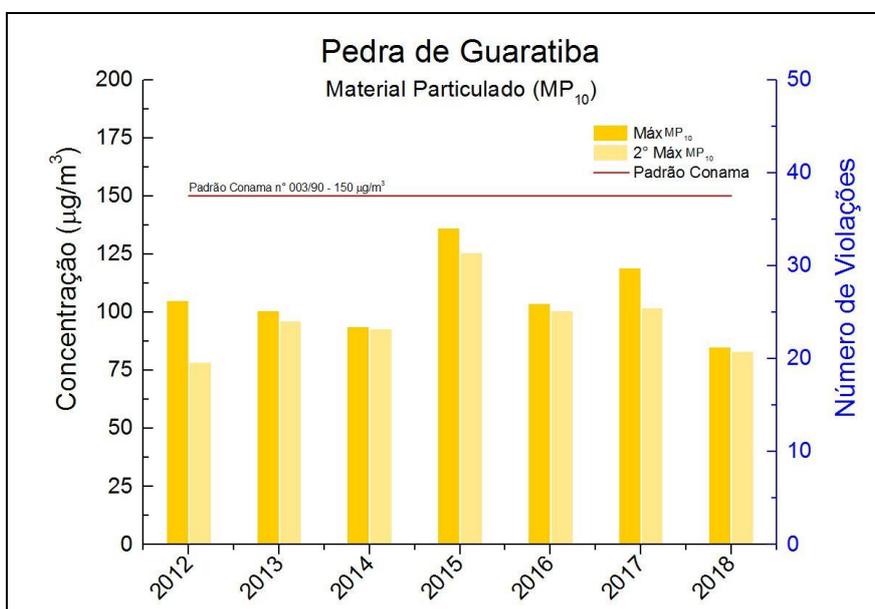


Figura 6.60 – Concentrações máximas de Partículas Inaláveis e número de violações ao padrão CONAMA nº 03/90, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 a 2018

6.8.2. Ozônio (O₃)

A Figura 6.61 apresenta o gráfico Box Plot contendo as concentrações médias anuais e máximas horárias de Ozônio, observadas na Estação Pedra de Guaratiba para o período de 2012 a 2018. As concentrações estiveram próximas a 50 µg/m³, sendo que o maior valor observado para concentração média anual (50,35 µg/m³) ocorreu em 2013.

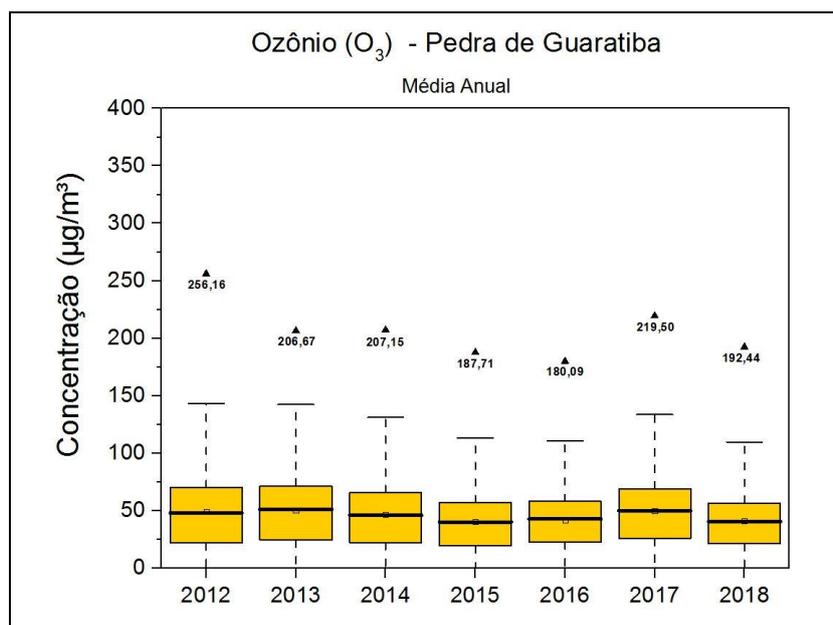


Figura 6.61 – Box Plot contendo as concentrações médias anuais de Ozônio, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 e 2018

Como pode ser observado na Figura 6.62, entre 2012 e 2018, foram registradas diversas violações ao padrão primário de 1 h de 160 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90, sendo o ano de 2012 aquele que mais registrou violações ao padrão (58).

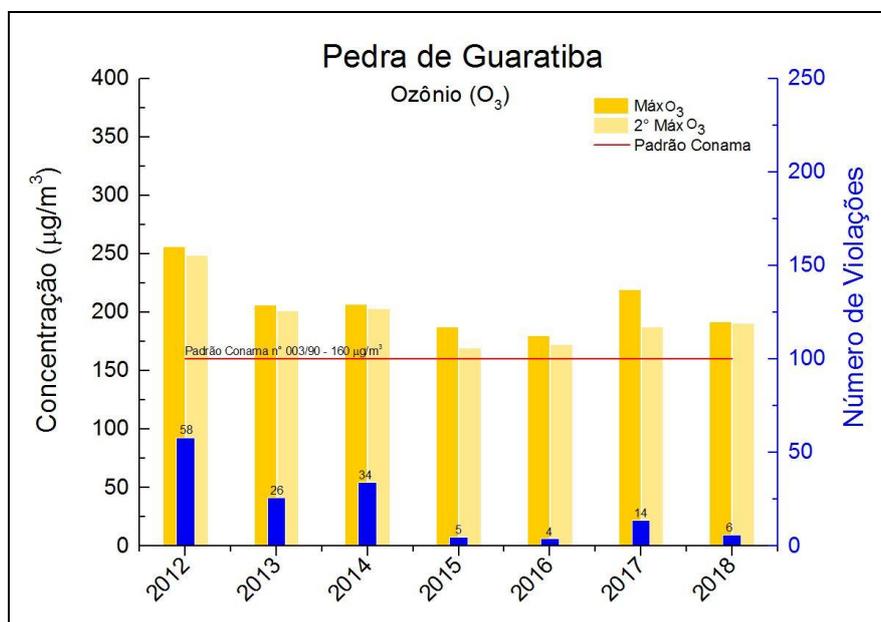


Figura 6.62 – Concentrações máximas para médias de 1 hora de Ozônio e número de violações ao padrão CONAMA 03/90, na Estação Pedra de Guaratiba, entre 2012 e 2018

7. Índice de Qualidade do Ar (IQA)

Os resultados do Índice de Qualidade do Ar – IQAr observados entre 2012 e 2018 estão apresentados na Figura 7.1. Nota-se a elevação da porcentagem de dias com classificação da qualidade do ar BOA de 45% em 2012 para 57% em 2018. Houve declínio no número de dias com classificação REGULAR (de 47% para 39%) e INADEQUADA (de 4% para 2%), entre os anos de 2012 a 2018, respectivamente. A classificação MÁ também teve sua ocorrência reduzida de 3% em 2012 para 1% em 2018.

Assim sendo, é possível concluir que, entre 2012 e 2018, a qualidade do ar na Cidade do Rio de Janeiro esteve entre BOA a REGULAR na maior parte dos dias. As quatro estações instaladas em dezembro de 2011, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba, estão situadas em regiões que sofrem maior impacto da poluição atmosférica em comparação com as demais estações da rede. Este fator reforça a importância daquelas estações nos locais selecionados, para avaliação das condições atmosféricas e de qualidade do ar no município.

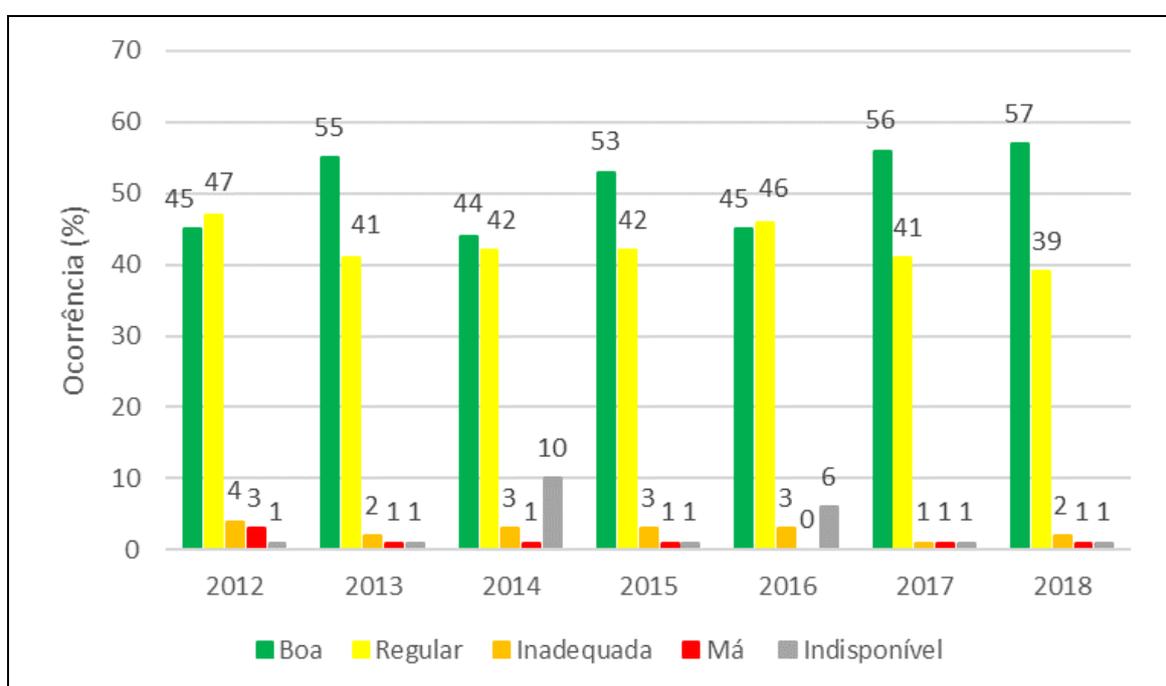


Figura 7.1 – Ocorrência dos Índices de Qualidade do Ar na Rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018

A participação de cada poluente monitorado na rede MonitorAr-Rio na determinação do Índice de Qualidade do Ar entre 2012 e 2018 está apresentada na Figura 7.2. É possível observar que o Ozônio (O3) e as Partículas Inaláveis (MP10) são os principais poluentes determinantes da classificação da qualidade do ar.

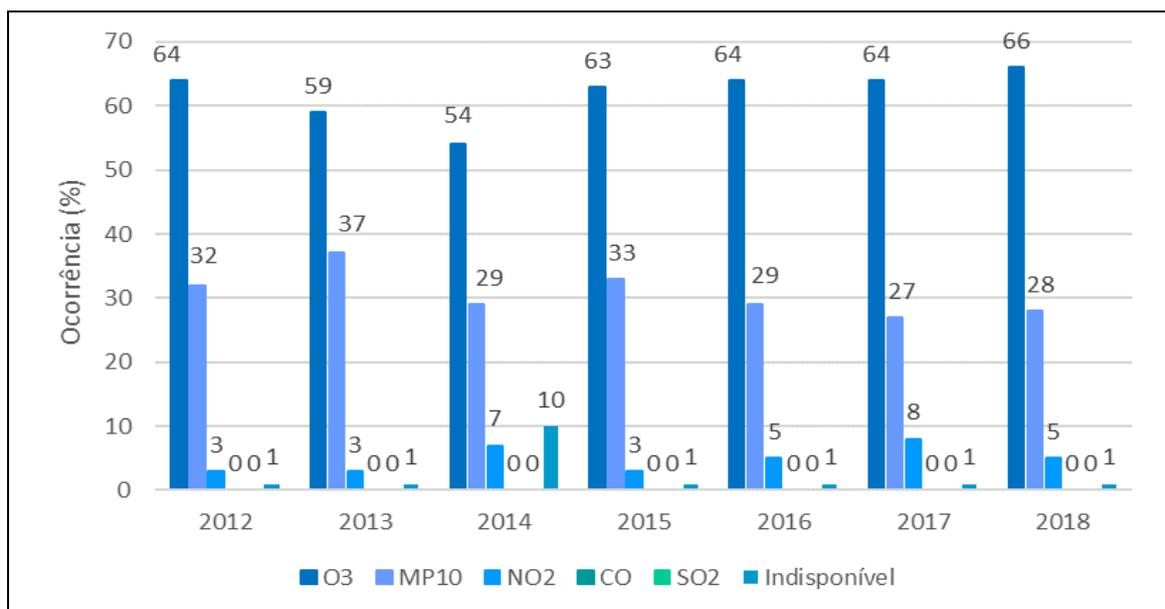


Figura 7.2 – Poluente determinante do Índice de Qualidade do Ar nas estações do MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018

Em novembro de 2018, foi publicada a Resolução CONAMA 491/18, segundo a qual foram estabelecidos os novos padrões nacionais de qualidade do ar. Entretanto, para a elaboração do IQAr foram utilizados os padrões definidos pela Resolução CONAMA nº 03/90, uma vez que as novas classificações para este índice ainda não tinham sido determinados integralmente à época.

8. Considerações finais

Os resultados obtidos pelo MonitorAr-Rio nos anos de 2012 a 2018 na Cidade do Rio de Janeiro demonstraram que o poluente que mais apresentou violações ao padrão de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 foi o Ozônio. Tal resultado foi evidenciado pelo alto número de ultrapassagens ao padrão de curto período de exposição. A região da zona oeste da Cidade é a que apresenta o maior comprometimento da qualidade do ar, devido ao alto número de violações ao padrão. Dentre os principais fatores que acarretaram tais violações destacam-se, principalmente, as atividades industriais e a intensa circulação de veículos automotores naquela área.

Nas informações contidas nos resultados do monitoramento da qualidade do ar entre os anos de 2012 e 2018 para o município do Rio de Janeiro é possível destacar características específicas das áreas de planejamento da Cidade, em função das suas atividades, sejam industriais ou urbanas. Entretanto, cada região sofre influência de variáveis distintas que afetam tanto a emissão quanto a dispersão dos poluentes atmosféricos, e determinar uma classificação geral para a qualidade do ar no Município apresenta sérias dificuldades, uma vez que são intensificados por diversos fatores, tais como a complexidade da topografia, a heterogeneidade da ocupação do solo, a presença do Oceano Atlântico e das Baías da Guanabara e de Sepetiba, que produzem fluxos de ar complexos e heterogêneos quanto à distribuição e capacidade de dispersar os poluentes presentes na atmosfera. Também deve ser considerado que a Cidade do Rio de Janeiro está sujeita às características do clima tropical, com intensa radiação solar e temperaturas elevadas, favorecendo os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, com geração de poluentes secundários, como o ozônio (INEA, 2009) e (PONTES, 2016).

Uma análise por local onde ocorre o monitoramento do ar indica a seguinte condição:

- **Centro** não apresenta episódios de altas concentrações para os poluentes atmosféricos monitorados na região, que pode estar relacionado com a circulação de ventos favorecendo a dispersão local. As emissões de Dióxido de Nitrogênio, originadas pelo alto fluxo de veículos movidos a diesel, pode ser um fator determinante na manutenção das baixas concentrações do Ozônio na região;
- **Copacabana** apresentou violações ao Padrão de Qualidade do Ar para o poluente Partículas Inaláveis entre 2012 e 2017, com elevação no ano de 2016 provavelmente pelo aumento na demanda de atividades e deslocamentos em função da preparação dos Jogos Olímpicos. Nos anos de 2017 e 2018 as concentrações do poluente se mostraram em tendência de queda, sendo que não foi percebida violação do Padrão em 2018. Embora as concentrações médias anuais sejam elevadas, não se observa violações para as médias de curto prazo, ou seja, as médias diárias de Partícula Inaláveis. A altura das edificações e a falta de afastamento lateral entre estas pode ser um fator prejudicial para a qualidade do ar na região, adicionado ainda o fluxo de veículos a diesel, o spray marinho e as características do relevo local;
- **São Cristóvão** apresentou algumas violações para o poluente Ozônio, com um número maior de registros nos anos de 2012 e 2018. Embora sofra influência forte das emissões veiculares, por sua proximidade com vias de grande fluxo como Avenida Brasil e Linha Vermelha, a circulação de ventos intensificada pela presença da Baía de Guanabara auxilia a dispersão dos poluentes;
- **Tijuca** apresentou um número maior de violações pelo poluente Ozônio quando comparada com os resultados obtidos em São Cristóvão, mais especificamente para os anos de 2012 e 2015. O local de monitoramento sofre influência significativa das emissões veiculares;
- Em **Irajá** os resultados do monitoramento demonstraram um alto número de violações ao Padrão de Qualidade do Ar pelo poluente Ozônio. Considerando o levantamento das atividades industriais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, demonstrado na Figura 3.6, cujas correntes de ar que se deslocam em direção ao município do Rio de Janeiro são ricas em substâncias formadoras do Ozônio, é razoável atribuir às emissões industriais parte da

responsabilidade pela baixa qualidade do ar na região. Além das emissões industriais o local sofre influência do elevado fluxo de veículos que circulam nas vias locais e na Avenida Brasil;

- **Bangu** apresenta os maiores números de violação ao Padrão de Qualidade do Ar comparada com as demais localidades monitoradas pela Prefeitura do Rio de Janeiro. Embora a vizinhança próxima ao ponto de monitoramento seja caracterizada pela baixa densidade populacional e reduzido fluxo veicular, o bairro se encontra em meio a dois maciços montanhosos que prejudicam de certa forma a circulação de ventos. A localidade recebe influência de emissões industriais da Região Metropolitana e da zona industrial de Santa Cruz, além das emissões veiculares da Avenida Brasil. Tais características fazem com que a região de Bangu receba uma alta carga de poluentes e tenha sua dispersão prejudicada, resultando na área com pior qualidade do ar registrada pela Rede Municipal de Monitoramento do Ar;
- **Campo Grande** também apresentou violações ao Padrão de Qualidade do Ar pelo poluente Ozônio, com destaque para o ano de 2012. A região apresenta um comércio bastante ativo e, conseqüentemente, a qualidade do ar sofre forte influência das emissões veiculares. Emissões industriais também podem ter contribuição para a baixa qualidade do ar na região;
- **Pedra de Guaratiba** tem seu ponto de monitoramento do ar em um local de baixa densidade populacional e reduzido fluxo de veículos. Mesmo com essas características, o local apresenta violações pelo poluente Ozônio. Possivelmente as altas concentrações do poluente sejam pela influência de atividades industriais e do porto de Itaguaí.

De modo geral a qualidade do ar apresentou tendência de melhora nos últimos anos. Ao mesmo tempo em que a frota de veículos aumentou, o movimento de passageiros no transporte público reduziu a partir de 2015 até 2018. Essas mudanças precisam ser acompanhadas para que a qualidade do ar no município não piore. O conhecimento a cerca das emissões industriais é papel fundamental nesse cenário, principalmente com a atualização dos Padrões de Qualidade do Ar para valores mais restritivos. O Ozônio se destaca como o poluente mais representativo na cidade do Rio de Janeiro na maioria dos locais monitorados pela Prefeitura. Cabe destacar que as estações de monitoramento do ar não possuem a mesma configuração, ou seja, apenas Ozônio e Partículas Inaláveis são representados em todas os pontos de monitoramento.

9. Anexos

9.1. Normal climatológica x temperatura média mensal

Quadro 9.1 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2012

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2012												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro	25,7	27,6	26,0	24,9	22,2	22,5	21,8	22,1	22,7	24,7		28,3	24,4
Copacabana	26,2	28,4	27,3	26,0	22,7	23,1	22,4	22,9	23,7	25,5	24,3	29,0	25,1
São Cristóvão	30,4	33,4	31,2	29,6	25,9	26,4	25,2	25,9	27,0	29,8	27,8	34,1	28,9
Tijuca	26,5	29,9	27,2	25,3	22,2	22,5	22,0	22,8	23,9	26,6	24,0	30,2	25,3
Irajá	27,9	30,9	28,8	27,5	24,7	25,1	24,3	24,8	25,7	28,1	27,1	32,0	27,2
Bangu	27,5	30,5	28,6	27,2	24,3	24,1	23,5	24,2	24,8	27,2	25,6	30,8	26,5
Campo Grande	27,7	30,4	28,3	27,2	24,3	24,3	23,7	24,4	25,1	27,5	26,1	31,1	26,7
Pedra de Guaratiba	26,5	28,7	26,9	26,0	23,2	23,4	22,9	22,9	23,6	25,7	24,7	29,7	25,3
	27,3	30,0	28,0	26,7	23,7	23,9	23,2	23,7	24,6	26,9	25,6	30,6	26,2

Quadro 9.2 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2013

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2013												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro	25,8	28,0	25,9	24,1	22,5	22,6	21,0	21,9	23,4	23,4	24,5	26,0	24,1
Copacabana	26,7	28,9	26,8	24,7	23,3	23,2	21,4	22,6	24,2	24,3	25,2	26,9	24,8
São Cristóvão	30,4	33,3	30,1	28,1	26,5	26,3	23,7	25,3	27,5	27,8	28,4	27,1	27,9
Tijuca	26,0	29,5	26,0	24,4	22,8	22,6	20,7	22,5	24,2	24,3	25,8	28,8	24,8
Irajá	28,5	30,9	27,8	25,9	24,8	24,5	22,4	23,8	25,6	25,6	26,8	28,0	26,2
Bangu	27,5	30,2	27,8	25,9	24,7	24,5	22,6	23,8	25,5	25,7	26,7	28,4	26,1
Campo Grande	27,8	30,6	28,1	26,1	24,8	24,7	22,8	23,9	25,6	25,9	27,1	28,5	26,3
Pedra de Guaratiba	27,6	29,1	27,1	25,1	24,3	24,2	22,9	22,2	24,0	24,1	25,3	27,0	25,2
	27,5	30,1	27,5	25,5	24,2	24,1	22,2	23,2	25,0	25,1	26,2	27,6	25,7

Quadro 9.3 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2014

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2014												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro	29,0	28,7		24,4	22,8	22,6	21,2	21,7	23,6	24,0	25,0	27,9	24,6
Copacabana	29,7	28,9		25,0	23,5	23,2	21,8	22,4	24,3	24,8	25,8	28,2	25,2
São Cristóvão	30,5	30,4		25,6	24,0	23,5	22,3	23,0	25,0	25,7	26,6	29,3	26,0
Tijuca	32,7	29,7		23,8	22,1	21,5	20,1	20,9	23,0	24,1	24,9	28,1	24,6
Irajá	32,3	32,0		26,6	25,3	25,3	23,9	24,6	26,7	27,5	28,5	31,3	27,6
Bangu	32,3	32,3		27,3	25,6	25,4	24,3	22,4	24,0	25,2	26,5	29,2	26,8
Campo Grande	32,2	32,1		27,4	27,8	26,0	24,9	25,3	26,9	27,8	28,7	31,3	28,2
Pedra de Guaratiba	30,0	29,8		25,4	24,2	23,7	22,4	23,3	25,1	25,4	26,9	29,1	25,9
	31,1	30,5		25,7	24,4	23,9	22,6	23,0	24,8	25,6	26,6	29,3	26,1

Quadro 9.4 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2015

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2015												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro	29,5	28,3	26,3	24,7	22,9	22,1	22,5	23,1	23,8	24,9	25,4	28,4	24,9
Copacabana	30,7	29,1	27,3	25,4	23,3	22,6	23,1	23,5	24,5	26,0	26,0	28,4	25,8
São Cristóvão	31,2	29,5	27,8	26,2	24,3	23,5	24,0	24,7	25,2	26,6	27,1	29,4	26,6
Tijuca	29,9	27,8	25,8	24,1	22,1	21,2	21,9	22,9	23,6	24,8	25,4	28,8	24,9
Irajá	32,9	31,2	29,4	27,8	25,9	25,0	25,4	26,4	26,9	28,1	28,6	31,3	28,2
Bangu	31,5	29,3	27,9	26,6	24,7	22,9	23,8	25,0	24,9	26,2	26,8	29,5	26,6
Campo Grande	33,2	31,3	29,6	28,1	26,2	25,4	25,6	26,7	26,9	28,3	28,7	31,4	28,5
Pedra de Guaratiba	30,8	29,1	27,6	26,3	24,6	24,0	23,9	24,3	25,1	26,2	26,4	29,2	26,4
	31,2	29,5	27,7	26,1	24,2	23,3	23,8	24,6	25,1	26,4	26,8	29,7	26,5

Quadro 9.5 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2016

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2016												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro													
Copacabana	27,4	29,4	28,1	27,4		20,5	22,4	22,9	24,0	24,7	25,4	28,0	25,4
São Cristóvão	27,9	29,9	28,7	28,6		21,3	22,9	23,5	24,3	25,2	25,8	28,2	26,0
Tijuca	26,5	28,8	27,2	27,1		19,0	20,8	21,4	22,3	23,6	24,5	27,2	24,3
Irajá	29,7	31,8	30,4	30,6		22,5	24,5	25,3	25,8	26,9	27,7	30,3	27,7
Bangu	28,5												
Campo Grande	29,8	32,2	30,6	30,9		22,6	24,7	25,6	25,9	27,2	28,0	30,6	27,9
Pedra de Guaratiba	27,5	29,6	28,4	28,3		20,4	23,2	23,5	24,0	25,8	26,5	28,9	25,9
	28,2	30,3	28,9	28,8		21,1	23,1	23,7	24,4	25,6	26,3	28,9	26,2

Quadro 9.6 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2017

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2017												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro													
Copacabana	30,5	29,3	27,4	25,2	23,4	22,7	21,4	21,9	24,0	25,4	25,9	27,1	25,4
São Cristóvão	30,1	29,8	27,7	25,4	23,7	23,0	21,8	21,9	24,9	26,2	26,0	27,5	25,7
Tijuca		28,5	25,9	23,5	21,4	20,8	19,4	19,7	23,3	24,6	24,1	25,6	23,3
Irajá	31,9	31,8	29,7	27,1	25,3	25,0	23,6	23,7	27,2	28,1	27,9	29,2	27,5
Bangu												28,7	28,7
Campo Grande	32,2	32,3	29,8	27,6	26,0	25,8	24,1	24,1	27,4	28,3	27,5	28,8	27,8
Pedra de Guaratiba	29,7	30,1	28,0	26,6	24,4	23,7	22,7	22,5	27,5	25,9	25,0	26,3	26,0
	30,9	30,3	28,1	25,9	24,0	23,5	22,2	22,3	25,7	26,4	26,1	27,6	26,4

Quadro 9.7 – Normal climatológica x temperatura média mensal (°C) – 2018

Estações	Temperatura Média do Ar (°C) - 2018												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Normal Climatológica	26,3	26,6	26,0	24,4	22,8	21,8	21,3	21,8	22,2	22,9	24,0	25,3	23,8
Centro	29,0	28,3	29,2	27,0	25,0	24,3	24,5	23,1	25,1	25,5	26,7	28,5	26,3
Copacabana	28,8	28,2	28,5	26,2									
São Cristóvão	28,3			26,7	24,2	23,6	23,9	22,6	24,8	25,4			
Tijuca	26,7	25,7	26,7	24,5	21,9	21,1	21,5	20,0	22,6	23,0	24,5	26,8	23,7
Irajá	30,3	29,1	30,7	28,4	26,1	25,2	25,9	24,9	26,4				
Bangu	29,6	28,6	29,8	27,6	25,3	24,4	24,7	23,2	25,7	26,0	27,3	29,6	26,8
Campo Grande	30,5	29,3	30,7	28,5	26,0	25,0	25,1	24,0	26,4	26,9	28,4	30,6	27,6
Pedra de Guaratiba	27,9	27,1	28,0	25,6	23,6	23,3	23,2	22,0	24,1	25,0	25,8	27,9	25,3
	28,9	28,1	29,1	26,8	24,6	23,8	24,1	22,8	25,0	25,3	26,5	28,7	25,9

9.2. Análises anuais de precipitação pluviométrica

2012

O ano de 2012 apresentou valores ligeiramente maiores em relação à Normal Climatológica do INMET (1966 – 1990), com média de 1073,3mm nas estações do MonitorAr, todavia cinco estações apresentaram valores menores que são elas, Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca e Pedra de Guaratiba.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2012, ênfase maior pode ser dada às duas estações pluviométricas que apresentaram as maiores taxas de redução pluviométrica percentual quando se comparou o referido ano com a média climática do INMET, sendo estas: Tijuca com acumulados de 505,8mm (47,3%) anual e São Cristóvão com 786,0mm (73,5%) anual.

Destaque o mês de junho/2012, no qual choveu 120,2mm na média das estações fixas do MonitorAr representando 281,5% a mais que a Normal Climatológica INMET (1966/90) para aquele mês, que tem o valor de 42,7mm. Segundo dados do AlertaRio houve duas passagens de Frentes Frias que atingiram a Cidade naquele mês.

Por fim, o ano de 2012 demonstrou-se de baixa intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas, o que pode ser ratificado pelo fato de que neste ano os meses de fevereiro e março, época de maiores acumulados de chuva, as ZCAS não estiveram tão bem configuradas como no mês de janeiro onde a ZCAS esteve bem configurada, nos três episódios que ocorreram em janeiro de 2012, o que contribuiu para acumulados significativos ocasionando na média 211,6mm nas estações do MonitorAr um valor 154% maior que a média da cidade que é de 137,1mm para o mês de janeiro. Assim sendo, acredita-se que a configuração do fenômeno contribuiu para a redução significativa dos acumulados durante o período de fevereiro a março de 2012 (Figura 9.1).

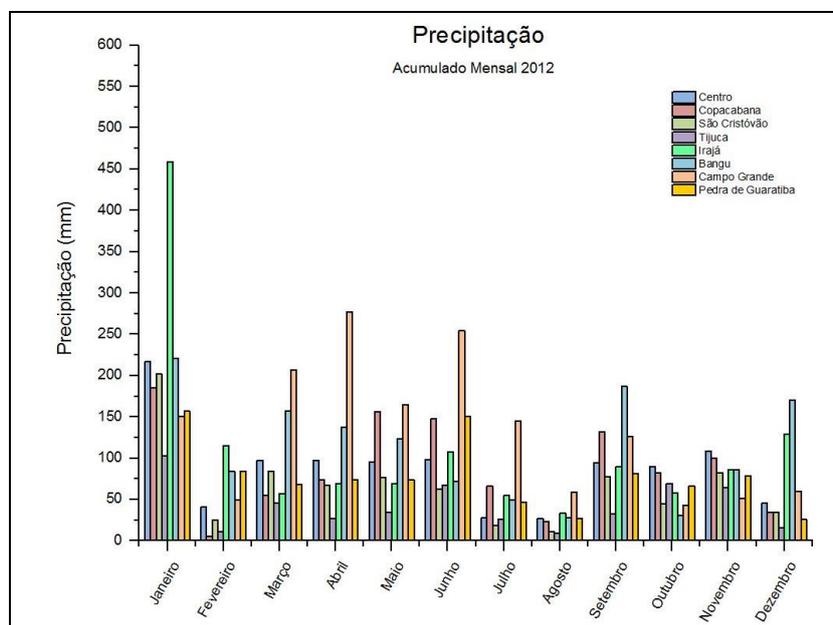


Figura 9.1 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2012

2013

A média anual por estação para o ano de 2013 apresentou valores maiores em relação à Normal Climatológica do INMET de 1069,2mm (1966-1990) sendo a média de 1443,7mm obtida entre as oito estações do MonitorAr-Rio, todavia as estações São Cristóvão e Tijuca apresentaram valores menores que a Normal Climatológica.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2013, ênfase maior pode ser dada às duas estações pluviométricas que apresentaram as maiores taxas pluviométricas quando se compara o referido ano com a média climática do INMET, sendo estas: Bangu e Irajá com acumulados de 2122,9mm (98,5%) anual e 2066,2mm (93,2%) respectivamente.

Por sua vez, no que tange aos valores médios mensais em 2013 quando comparados à Normal Climatológica do INMET (1966-1990), destacam-se o mês de janeiro e julho por terem sido os meses de mais chuva. No mês de janeiro, no qual choveu em média 160,7% a mais que a Normal Climatológica INMET para este mês. Acredita-se que a ocorrência de episódios de ZCAS favoreceu o excesso de chuva onde atuou em três episódios bem demarcados. No mês de junho, no qual choveu em média 119,54% a mais que a Normal Climatológica INMET para este mês, e para o qual durante o inverno o regime de precipitação da Cidade é influenciado, principalmente, pela passagem de frentes frias. Naquele mês houve quatro frentes frias que atingiram a Cidade, uma a mais que a média (1996-2018), de acordo com os dados do Alerta Rio, as quais influenciaram a obtenção de maiores valores de chuva para uma época de estiagem pluviométrica (Figura 9.2).

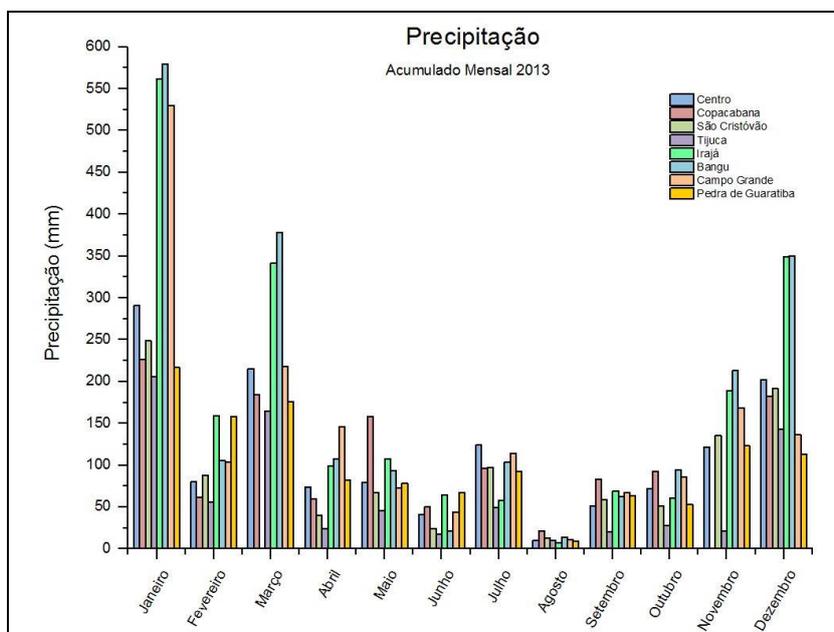


Figura 9.2 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2013

2014

O ano de 2014 foi caracterizado como tendo uma predominância de anomalias negativas de precipitação, configurando-se como o ano com menor registro de chuva do período em estudo. Durante o primeiro verão daquele ano (janeiro a março) as chuvas foram mais escassas, devido à presença anômala de vórtices ciclônicos na média e alta troposfera e à ausência de episódios bem configurados da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). De novembro a dezembro, época de início da estação chuvosa, a ocorrência de curtos episódios de ZCAS e a atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera refletiram na ocorrência de anomalias negativas de precipitação. Durante praticamente todos os meses do ano houve um registro pluviométrico bem abaixo da média.

O ano de 2014 apresentou valores expressivamente menores em relação à Normal Climatológica do INMET (1966-1990), com média de 639,5mm nas estações do MonitorAr-Rio, sendo que todas apresentaram valores menores que a média climática. Vale ressaltar que durante o mês de março não há registro de dados, pois houve uma interrupção no programa. O ano de 2014 foi o que apresentou menor valor médio de chuva em relação aos anos de 2012 a 2018.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2014, pode ser dada ênfase às duas estações pluviométricas que apresentaram as maiores taxas de redução pluviométrica percentual, quando comparado o referido ano com a média climática do INMET. Assim sendo, as estações de Tijuca e São Cristóvão apresentaram acumulados anuais de 505,8mm (47,3%) e 786,0 mm (73,5%) respectivamente (Figura 9.3).

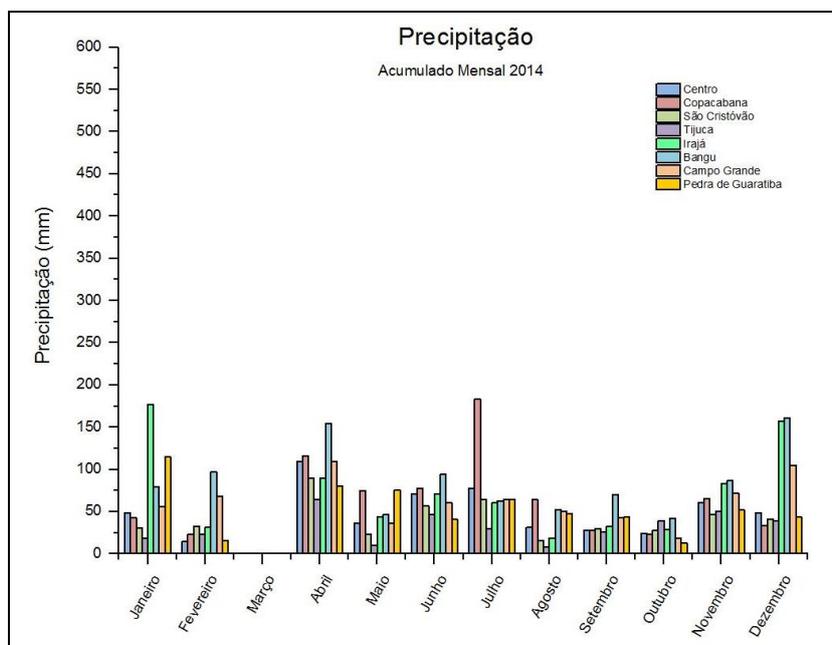


Figura 9.3 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2014

2015

O ano de 2015 apresentou valores menores de precipitação em relação à Normal Climatológica do INMET (1966-1990), com média de 948,0mm nas estações do MonitorAr-Rio. Ressalta-se que apenas a estação Bangu apresentou valores maiores que a normal.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2015, ênfase maior pode ser dada a duas estações pluviométricas que apresentaram a maior e menor taxa de pluviométrica percentual quando se compara o referido ano com a média climática do INMET, sendo Bangu, com acumulado anual de 1278,4mm (119,6%), e Pedra de Guaratiba, com 721 mm (67,4%).

Deve-se destacar o mês de junho/2015, no qual choveu 76,6mm na média das estações fixas do MonitorAr-Rio representando 79,3% a mais que a Normal Climatológica INMET de 42,7 mm para aquele mês (1966/90). Segundo dados do Alerta Rio, houve três passagens de frentes frias naquele mês, totalizando 10 dias com chuva maior que 1mm ao dia.

O mês de agosto foi destaque pelo índice negativo de chuva, com 8,0mm de média das oito estações, representando 82,1% a menos que a Normal Climatológica INMET de 44,5 mm (1966-1990) para aquele mês. Segundo dados do Alerta Rio, agosto de 2015 foi o mês mais seco do período de 1997 a 2018, no qual observou-se apenas uma frente fria, que ocorreu na segunda quinzena do mês.

Por fim, o ano de 2015 demonstrou-se de ligeira baixa intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas, o que pode ser confirmado pelo fato de que, naquele ano, em sete meses houve anomalia negativa e cinco apresentaram anomalia positiva de chuva. Sendo um ano caracterizado pelo equilíbrio e intensidade na chuva e no período de estiagem (Figura 9.4).

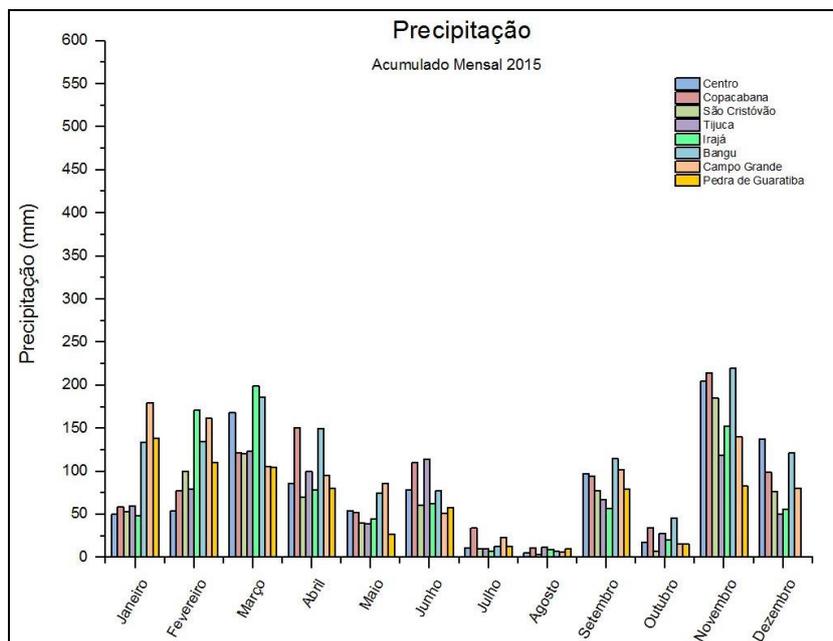


Figura 9.4 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2015

2016

O ano de 2016 apresentou valores menores de precipitação em relação à Normal Climatológica do INMET (1966-1990), com média de 975,5mm nas estações do MonitorAr-Rio e com sete meses abaixo da média. Metade das estações apresentaram valores menores que a média climática. Vale ressaltar que durante o mês de maio não há registro de dados, pois ocorreu uma interrupção no programa.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2016, ênfase maior pode ser dada às duas estações pluviométricas que apresentaram as maiores taxas de redução pluviométrica percentual quando se comparou o referido ano com a média climática do INMET, sendo Tijuca, com acumulado anual de 680,2mm (63,6%), e Pedra de Guaratiba, com 565,0mm (52,8%).

Destaca-se o mês de julho, no qual choveu 4,1mm na média das estações fixas do MonitorAr-Rio, representando 90,3% a menos que a Normal Climatológica INMET de 41,9mm para aquele mês (1966-1990). A condição de bloqueio atmosférico que se estabeleceu no Atlântico Sul contribuiu para as incursões de massas de ar de origem subpolar, com conseqüente queda de temperatura e favorecendo a diminuição da pluviosidade no decorrer da segunda quinzena do mês de julho. Segundo dados do Alerta Rio houve duas passagens de frentes frias e julho de 2016 foi o mês mais seco de todos os meses de julho no período de 1997 a 2018.

Por fim, o ano de 2016 demonstrou-se ser um ano com predominância de anomalias negativas de precipitação. A configuração de um longo episódio de ZCAS, em conjunto com a atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera e a propagação de oscilações intrassazonais, contribuiu para o excesso de chuva em janeiro de 2016, padrão esse que não se repetiu durante o ano, que ficou marcado com anomalias negativas de chuva (Figura 9.5).

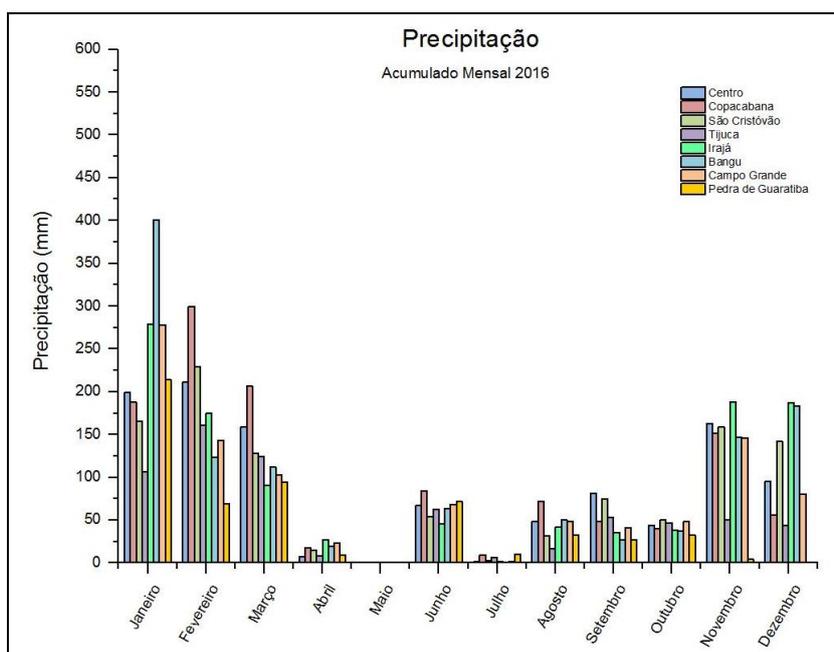


Figura 9.5 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2016

2017

Observa-se que 2017 foi um ano com predominância de anomalias negativas de precipitação. Durante nove meses houve registro de chuva abaixo do esperado, sendo o ano de 2017 o segundo menor registro de chuva do período em estudo (2012-2018), como pode observar na figura 1,11. Durante o primeiro verão de 17 (Janeiro a março), época de maior ocorrência chuva, as chuvas foram mais escassas, devido, à formação de dois fracos episódios de ZCAS no mês de janeiro e atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera, ora posicionados sobre o Atlântico Sul ora sobre o leste da América do Sul, contribuindo para a distribuição irregular das anomalias de precipitação em fevereiro e março.

O ano de 2017 apresentou valores expressivamente menores em relação à Normal Climatológica do INMET (1966-1990), com média de 776,9 mm nas oito estações do MonitorAr-Rio. Todas as estações apresentaram valores menores que a média climática. O ano foi o que apresentou o segundo menor valor médio de chuva em relação aos anos de 2012 a 2018, só perdendo para o ano de 2014.

Dentre as médias pluviométricas registradas em 2017, ênfase maior pode ser dada à estação São Cristóvão, que apresentou a menor taxa de redução pluviométrica percentual quando se comparou o referido ano com a média climática do INMET, sendo esta com acumulado anual de 569,6mm (53,3%).

Destaque o mês de junho, no qual choveu 109,2mm na média das estações fixas do MonitorAr-Rio, representando 157,3% a mais que a Normal Climatológica INMET de 42,7mm. (1966-1990) para aquele mês. Neste mês, uma frente fria, associada à convergência de umidade nos níveis médios da atmosfera, atingiu a Cidade, havendo acumulados de chuva significativos em vários pontos, sendo que entre os dias 20/06 e 21/06 ocorreram as maiores precipitações diárias registradas nas estações. Segundo dados do Alerta Rio houve duas passagens de frentes frias que atingiram a cidade neste mês, sendo o mais chuvoso em comparação a todos os meses de junho entre 1997 e 2018.

Por fim, o ano de 2017 demonstrou-se de baixa intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas, o que pode ser ratificado pelo fato de que neste ano nove meses apresentaram valores abaixo e pode-se citar a exceção que foi mês de junho que apresentou os maiores valores acumulados de chuva para o mês (Figura 9.6).

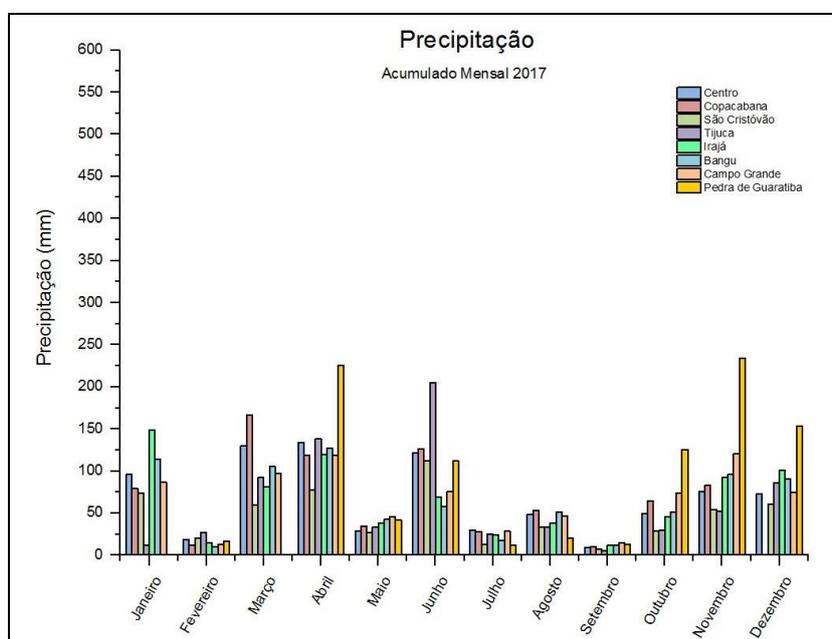


Figura 9.6 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2017

O início de 2018 foi marcado pela passagem de um pulso da Oscilação Madden-Julian (OMJ) sobre a América do Sul, favorável ao aumento das chuvas e a atuação de sistemas transientes que contribuíram para a formação de eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A formação de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e vórtices ciclônicos na alta troposfera foram os principais mecanismos favoráveis ao aumento das chuvas no decorrer do mês de fevereiro.

O ano de 2018 apresentou valores próximos aos da Normal Climatológica do INMET (1966-1990), com média de 980,5mm em sete das estações do MonitorAr-Rio, pois a estação Copacabana não foi considerada no cálculo pelo fato de estar abaixo do percentual mínimo de 70% de dados válidos anuais.

Dentre as estações consideradas, seis ficaram com valores dentro da faixa aceitável de 10% da Normal Climatológica, tanto para mais como para menos, o que caracteriza valores próximos à normalidade. Aquela que se diferenciou das demais foi a de São Cristóvão, que apresentou a menor taxa anual pluviométrica (776,0mm) contra a média climática do INMET de 1.069,4mm, correspondendo ao percentual de 72,6%.

Destaca-se o mês de janeiro, no qual choveu 255,1mm na média das estações fixas do MonitorAr-Rio, representando 86,1% a mais que a Normal Climatológica INMET de 137,1mm (1966-1990). A passagem do pulso da Oscilação Madden-Julian (OMJ) e a atuação do evento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), somadas com áreas de instabilidade associadas ao calor e à alta umidade, favoreceram o aumento das chuvas na região. Segundo dados do Alerta Rio houve dezenove dias com registros de chuva maior ou igual a referência mínima de 1,0mm em 24 horas.

Por fim, o ano de 2018 demonstrou equilíbrio de intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas – estiagem no inverno e chuva no verão – o que pode ser observado pelo fato de que neste ano as estações consideradas tiveram comportamento esperado, com valores próximos à Normal Climatológica (Figura 9.7)

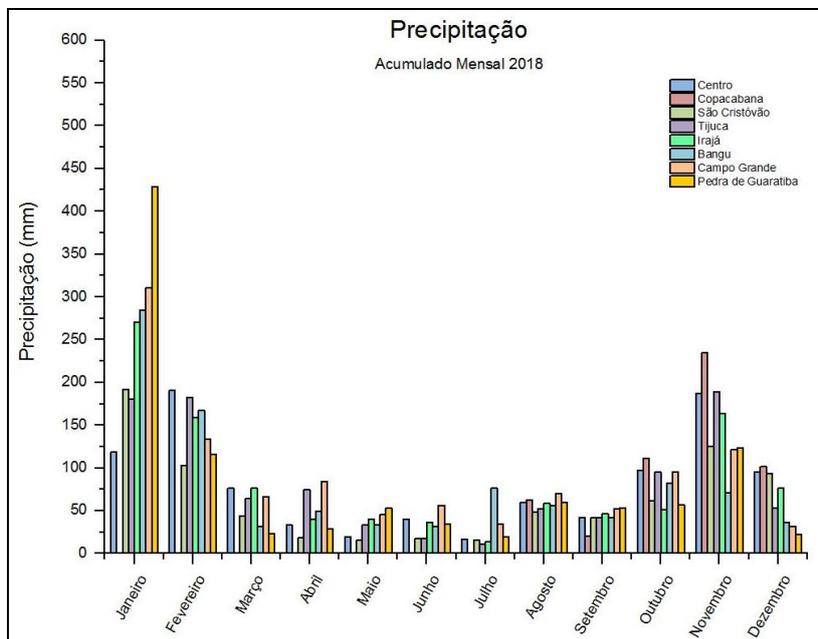


Figura 9.7 – Evolução da precipitação acumulada mensal em todas as estações do MonitorAr-Rio – 2018

9.3. Rosas dos ventos referentes às estações de monitoramento da Rede MonitorAr-Rio

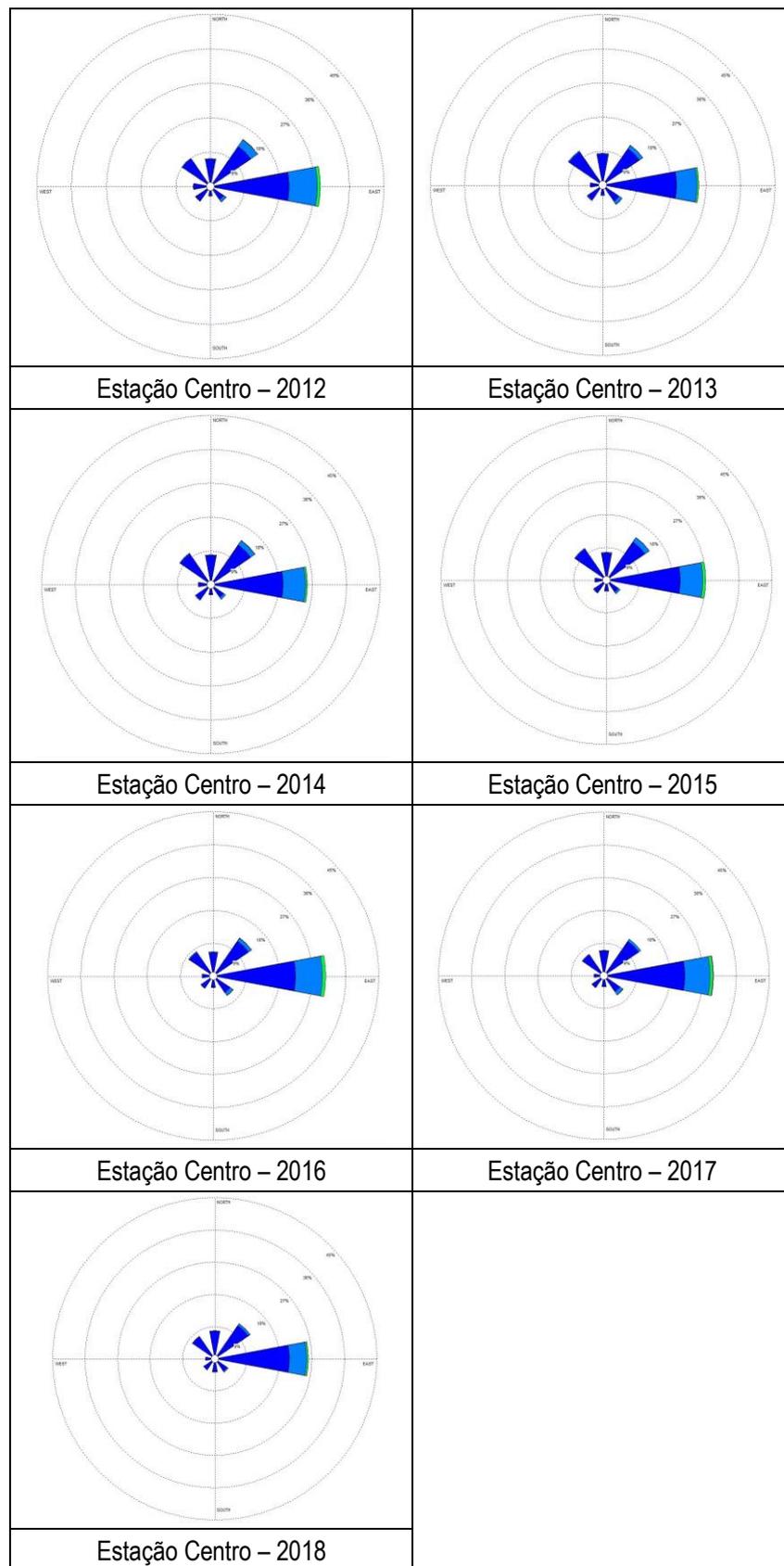


Figura 9.8 – Rosa dos ventos na estação Centro entre 2012 e 2018

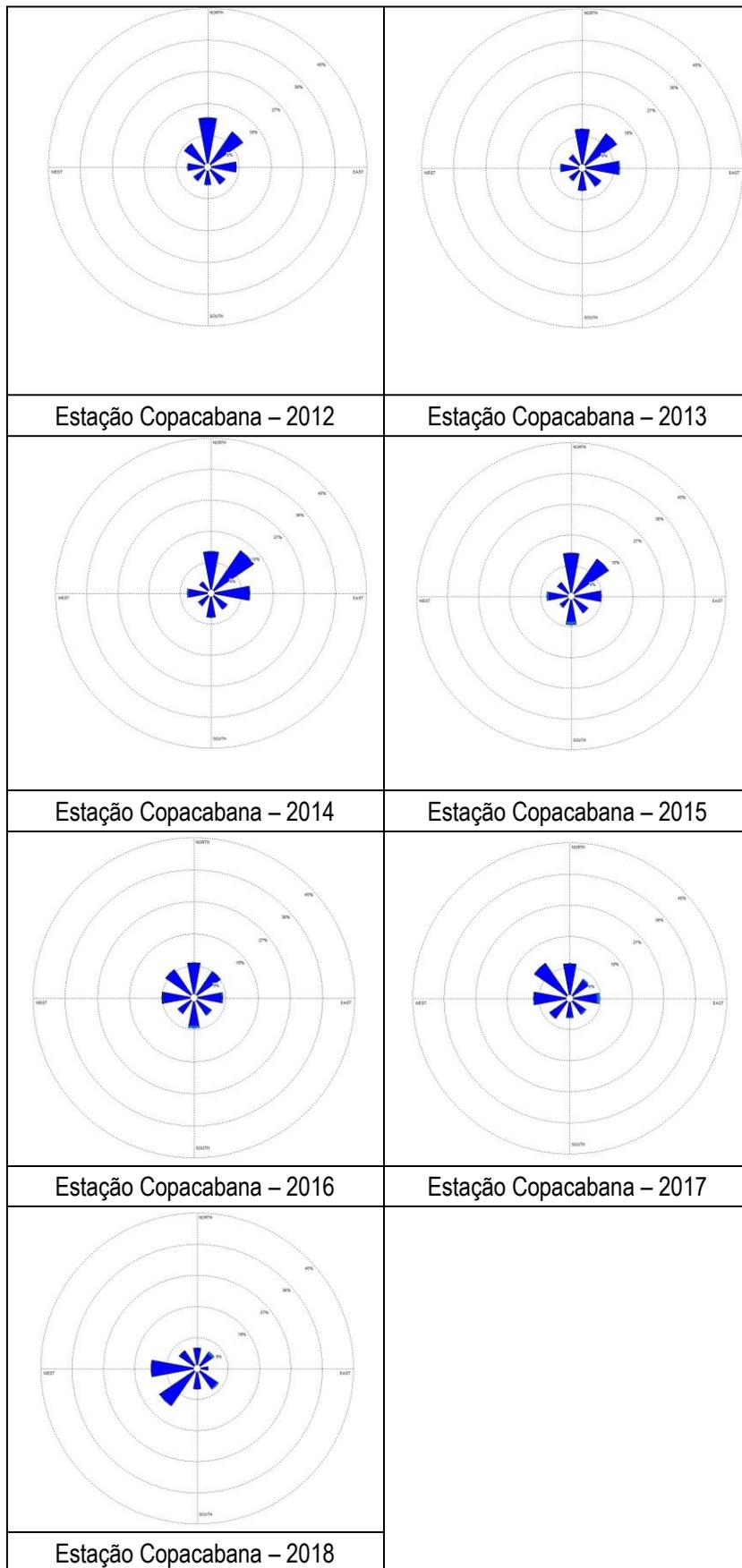


Figura 9.9 – Rosa dos ventos na Estação Copacabana entre 2012 e 2018

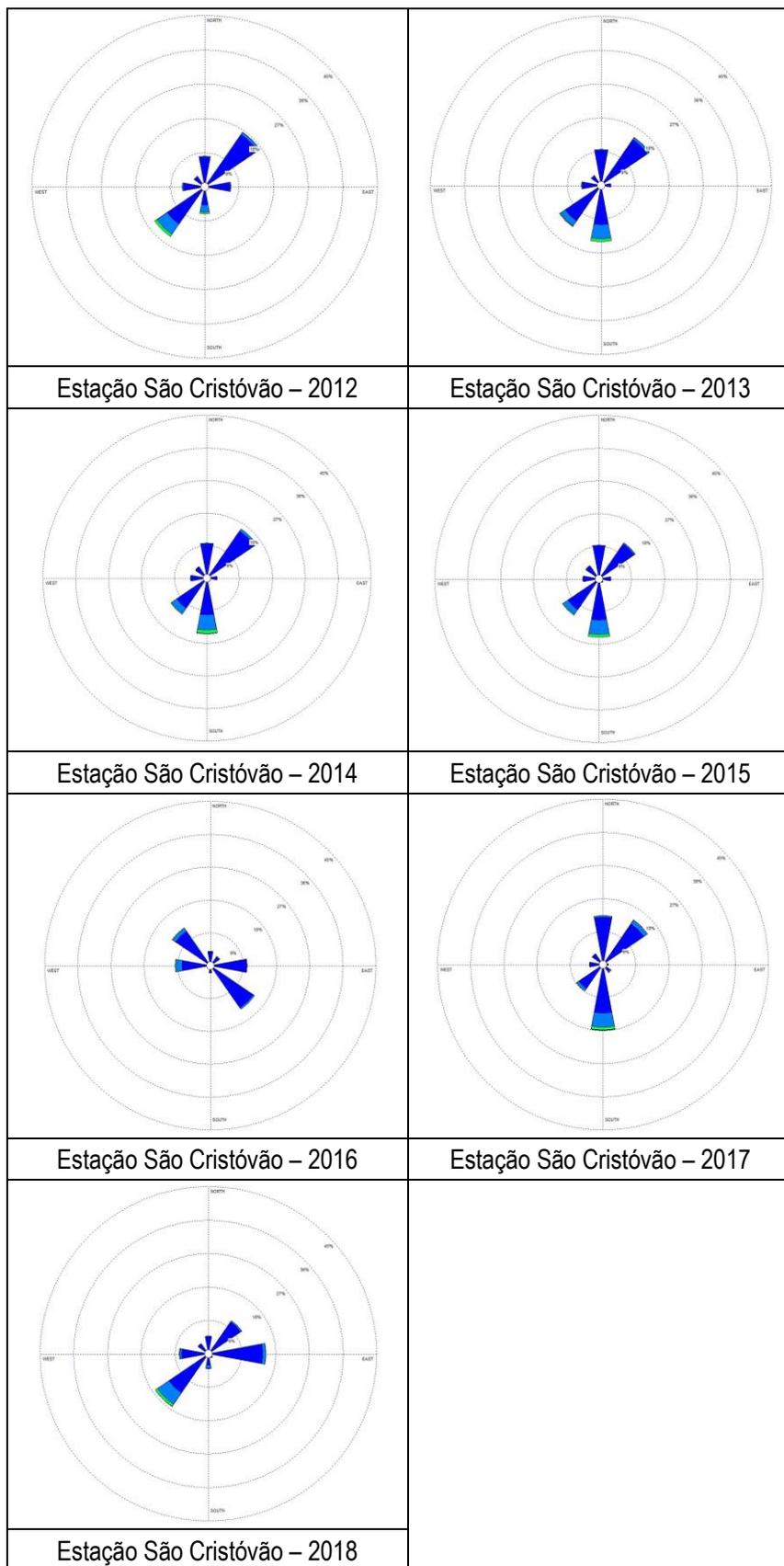


Figura 9.10 – Rosa dos ventos na Estação São Cristóvão entre 2012 e 2018

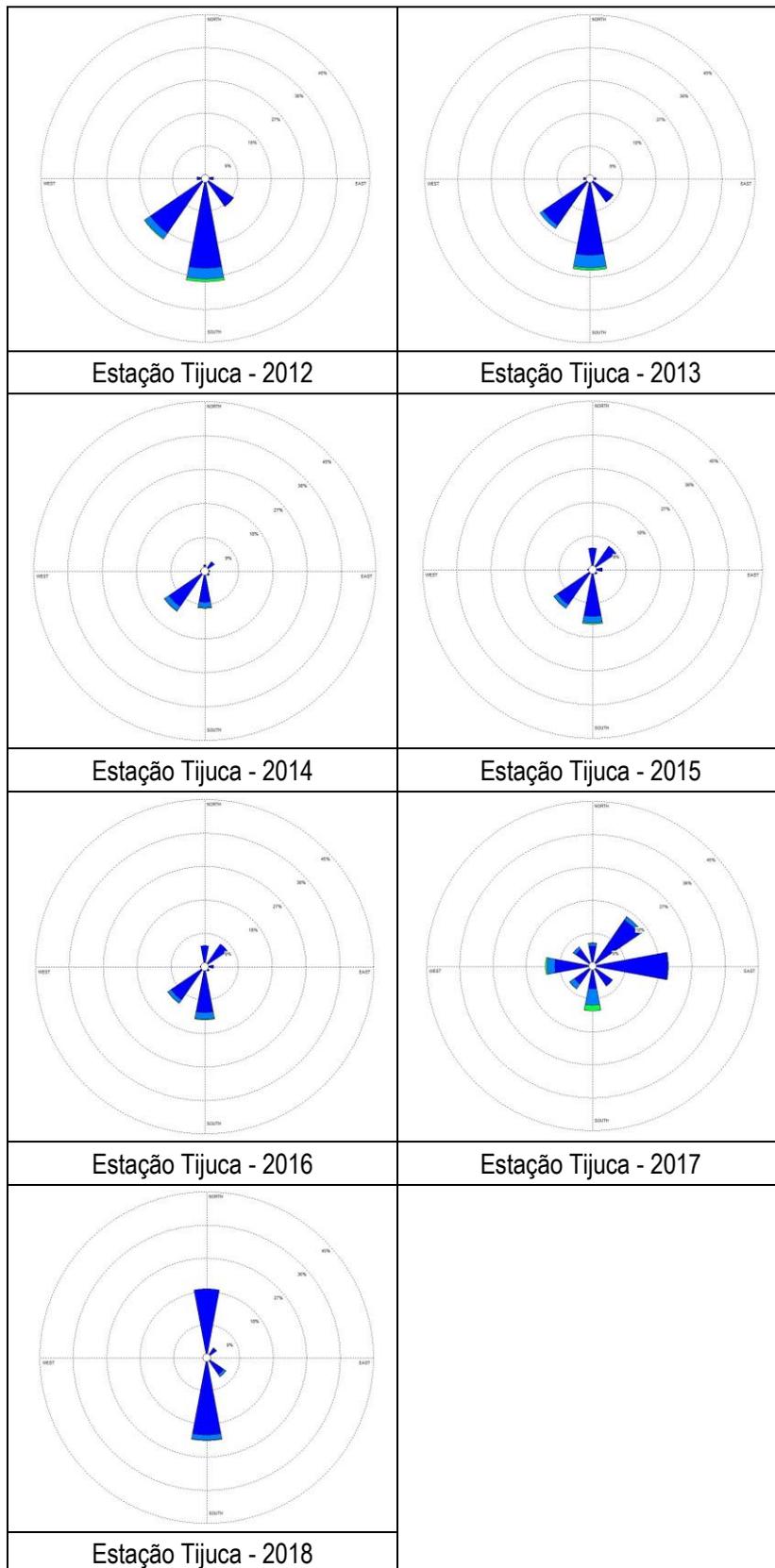


Figura 9.11 – Rosa dos ventos na Estação Tijuca entre 2012 e 2018

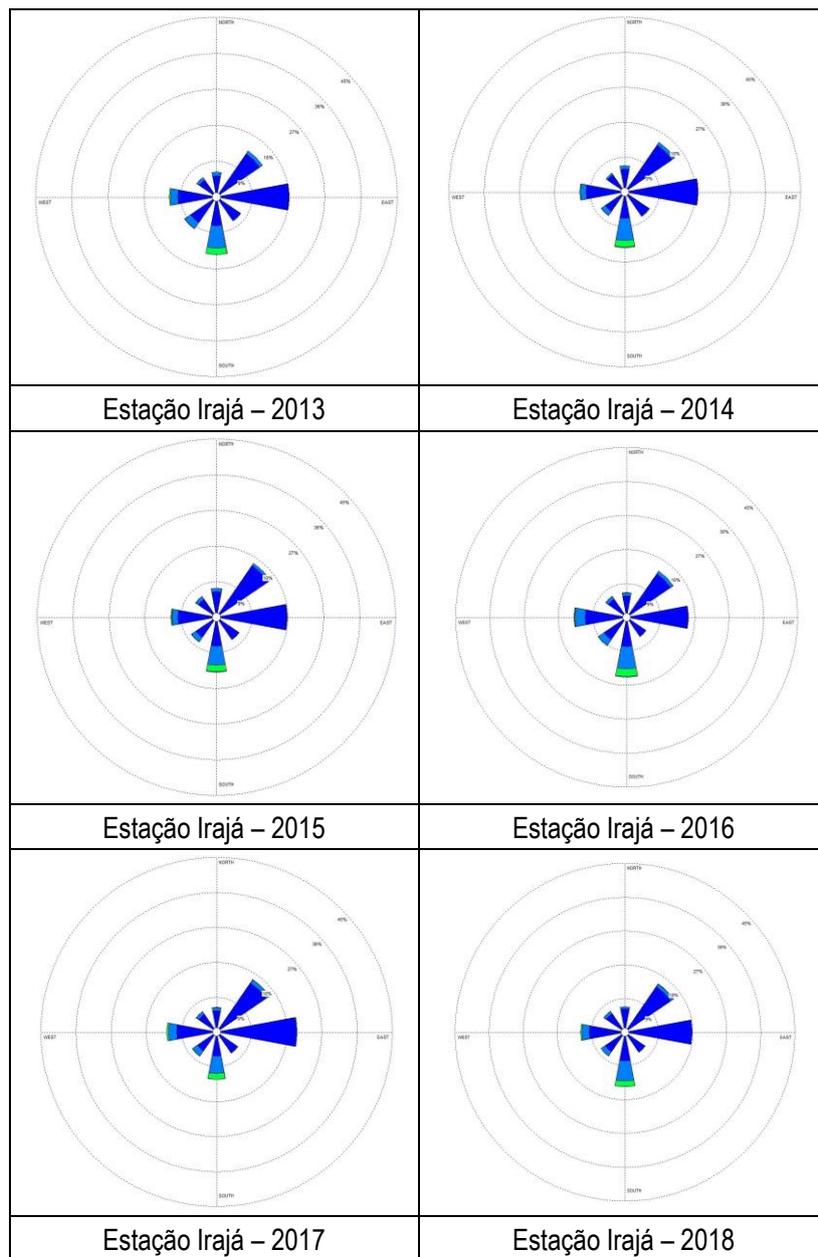


Figura 9.12 – Rosa dos ventos na Estação Irajá entre 2012 e 2018

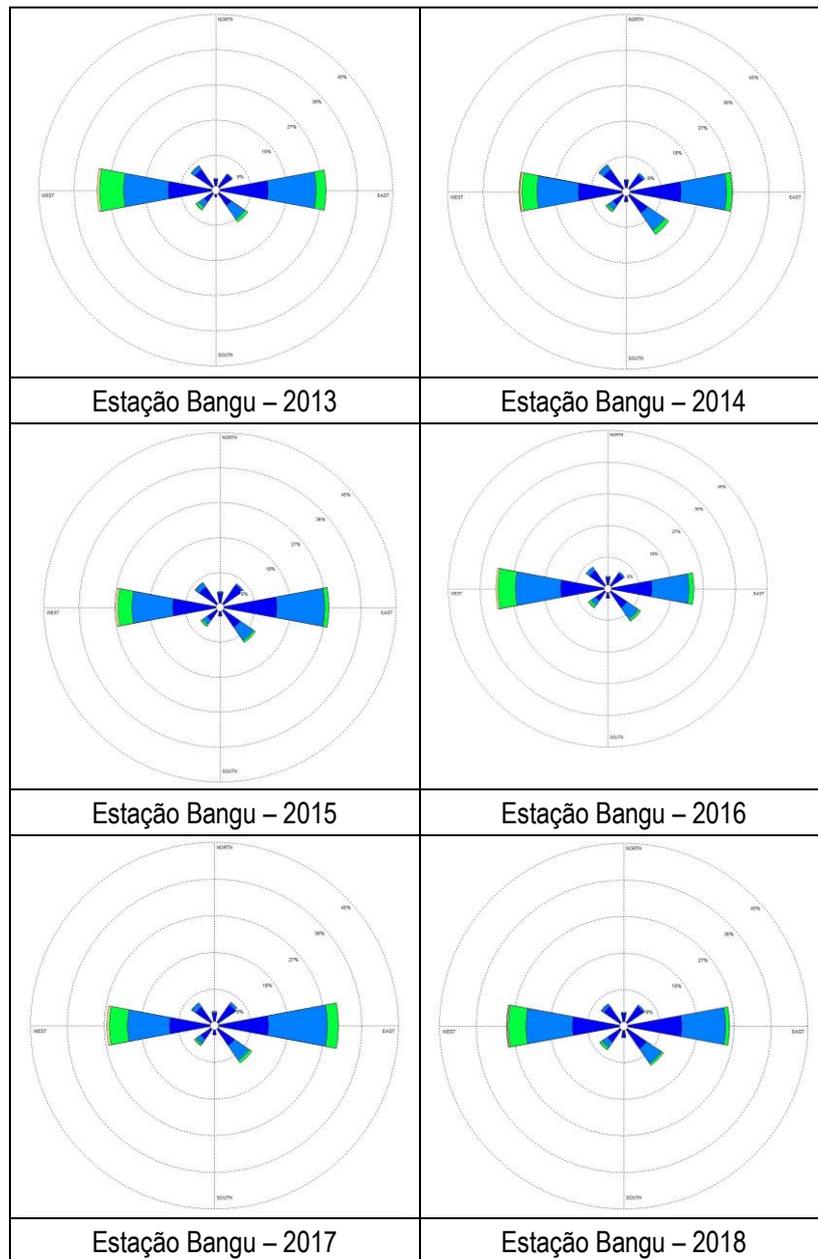


Figura 9.13 – Rosa dos ventos na Estação Bangu entre 2012 e 2018

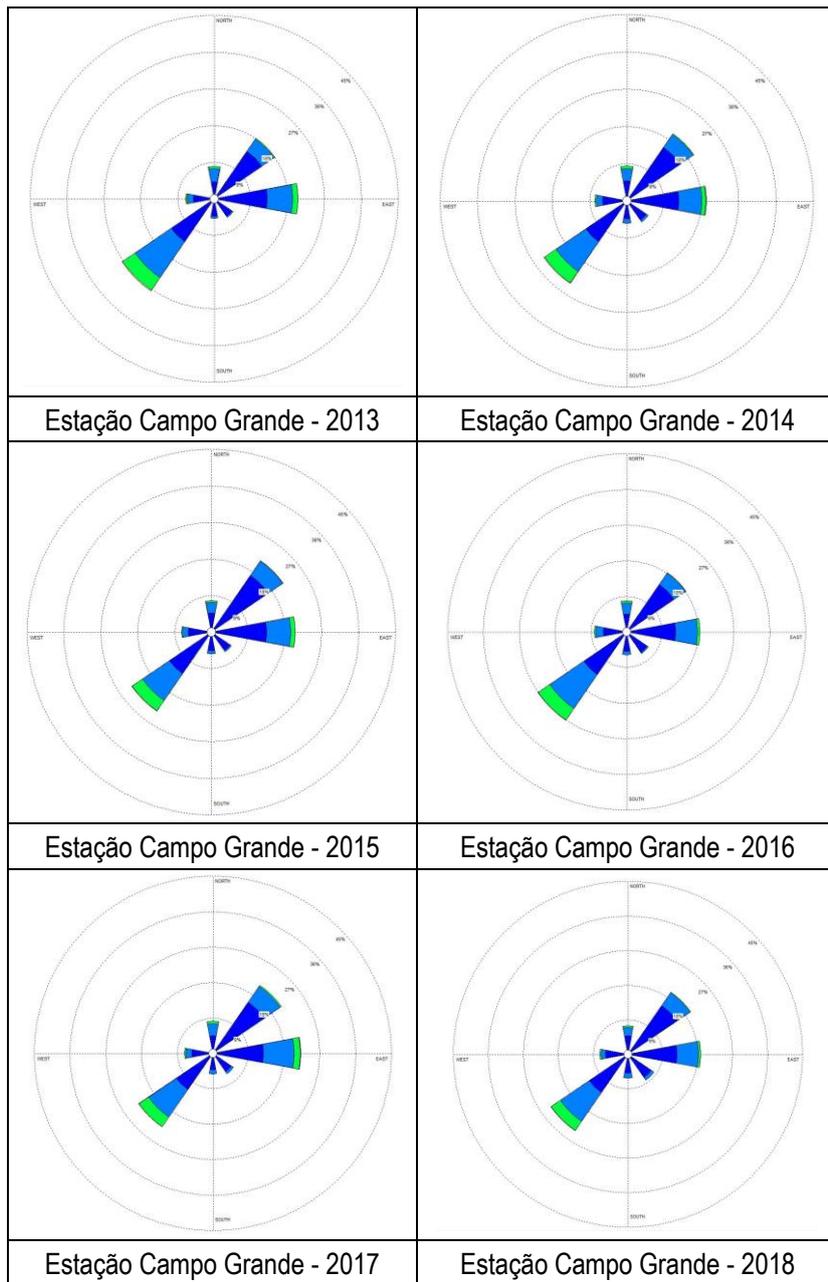


Figura 9.14 – Rosa dos ventos na Estação Campo Grande entre 2012 e 2018

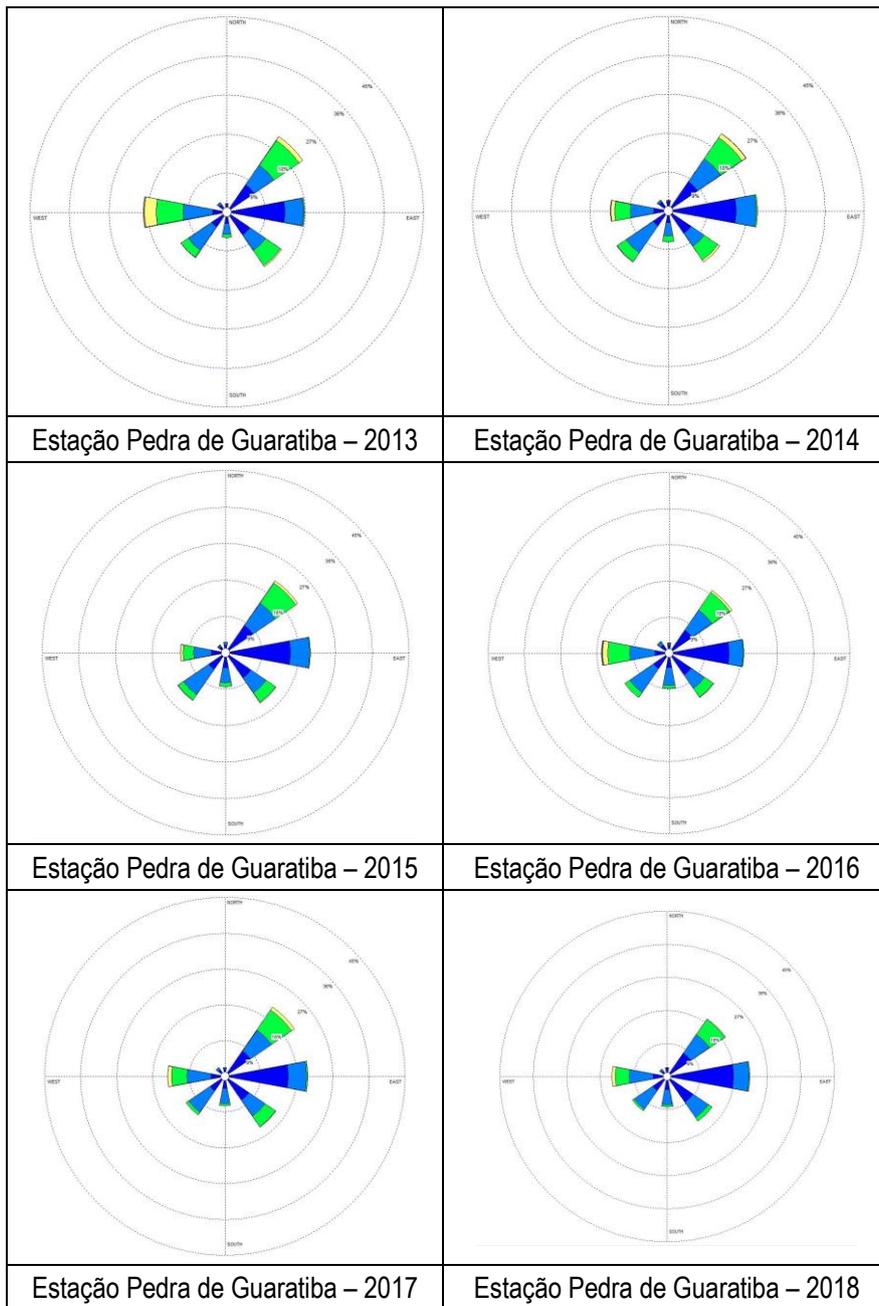


Figura 9.15 – Rosa dos ventos na Estação Pedra de Guaratiba entre 2012 e 2018

9.4. Médias anuais de poluentes atmosféricos observados na rede MonitorAr-Rio

Quadro 9.8 – Média anual de Partículas Inaláveis (MP10) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018

Média Anual de Partículas Inaláveis – MP ₁₀ (µg/m ³)							
Estação	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	41,5	33,1	35,1	34,5	30,3	25,6	31,8
Copacabana	54,5	54,2	53,2	55,5	60,8	55,0	47,5
São Cristóvão	37,5	36,4	39,6	35,2	28,4	29,9	28,9
Tijuca	35,5	30,0	35,1	35,6	35,2	30,7	30,6
Irajá	37,7	37,6	41,1	37,9	41,6	33,7	36,7
Bangu	32,9	29,2	49,7	40,8	36,5	32,7	32,2
Campo Grande	36,5	35,3	33,3	35,5	37,4	32,1	29,8
Pedra de Guaratiba	34,1	31,0	36,4	34,9	33,2	35,2	32,4

Nota: Padrão primário para média anual de Partículas Inaláveis (MP₁₀) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90: 50 µg/m³

Quadro 9.9 – Média anual de Dióxido de Enxofre (SO₂) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018

Média Anual de Dióxido de Enxofre – SO ₂ (µg/m ³)							
Estação	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Centro	7,3	7,1	5,5	4,6	ND	ND	ND
Copacabana	6,3	4,0	3,2	3,4	2,2	2,7	3,6
São Cristóvão	11,4	8,5	7,2	7,2	7,3	7,8	10,1
Tijuca	5,8	4,2	3,0	3,6	3,0	3,2	4,1
Irajá	3,9	2,5	3,3	3,3	2,9	ND	ND
Bangu	2,4	1,5	1,4	3,3	2,0	5,0	4,2
Campo Grande	2,0	1,4	2,1	2,0	2,5	ND	4,4

Nota: Padrão primário para média anual de Dióxido de Enxofre (SO₂) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90: 80 µg/m³

ND – Não disponível

Quadro 9.10 – Média anual de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) observada na rede MonitorAr-Rio entre 2012 e 2018

Média Anual de Dióxido de Nitrogênio – NO ₂ (µg/m ³)							
Estação	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tijuca	34,5	19,4	49,5	35,8	55,5	ND	38,6
Irajá	50,7	41,8	47,5	39,8	33,8	39,8	39,6
Bangu	22,9	22,0	26,2	21,4	24,9	25,3	22,1
Campo Grande	38,9	33,8	37,1	33,3	26,2	33,7	19,0

Nota: Padrão primário para média anual de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90: 100 µg/m³

ND – Não disponível

9.5. Perfil médio de concentração de CO ao longo do dia

No Centro é observado o perfil médio de concentração do Monóxido de Carbono ao longo do dia, na Estação Centro, considerando as informações obtidas entre 2012 e 2018. Nota-se que as concentrações se elevam em dois horários, no período da manhã e no início da noite, sendo que neste último a concentração é mais acentuada. É importante salientar que estes horários coincidem com a grande movimentação de veículos na região, cujos congestionamentos contribuem para o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos.

As concentrações mais elevadas ocorrem na parte da manhã, às 9h, e o segundo pico na parte da noite, às 21h (Copacabana). As médias não ultrapassaram os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº03/90, de 35 ppm para média de 1 hora e 9 ppm para média de 8 horas.

Em São Cristóvão é observada a curva média diária do Monóxido de Carbono na Estação São Cristóvão. O gráfico apresenta o comportamento deste poluente no decorrer do dia, com duas elevações das concentrações das médias de

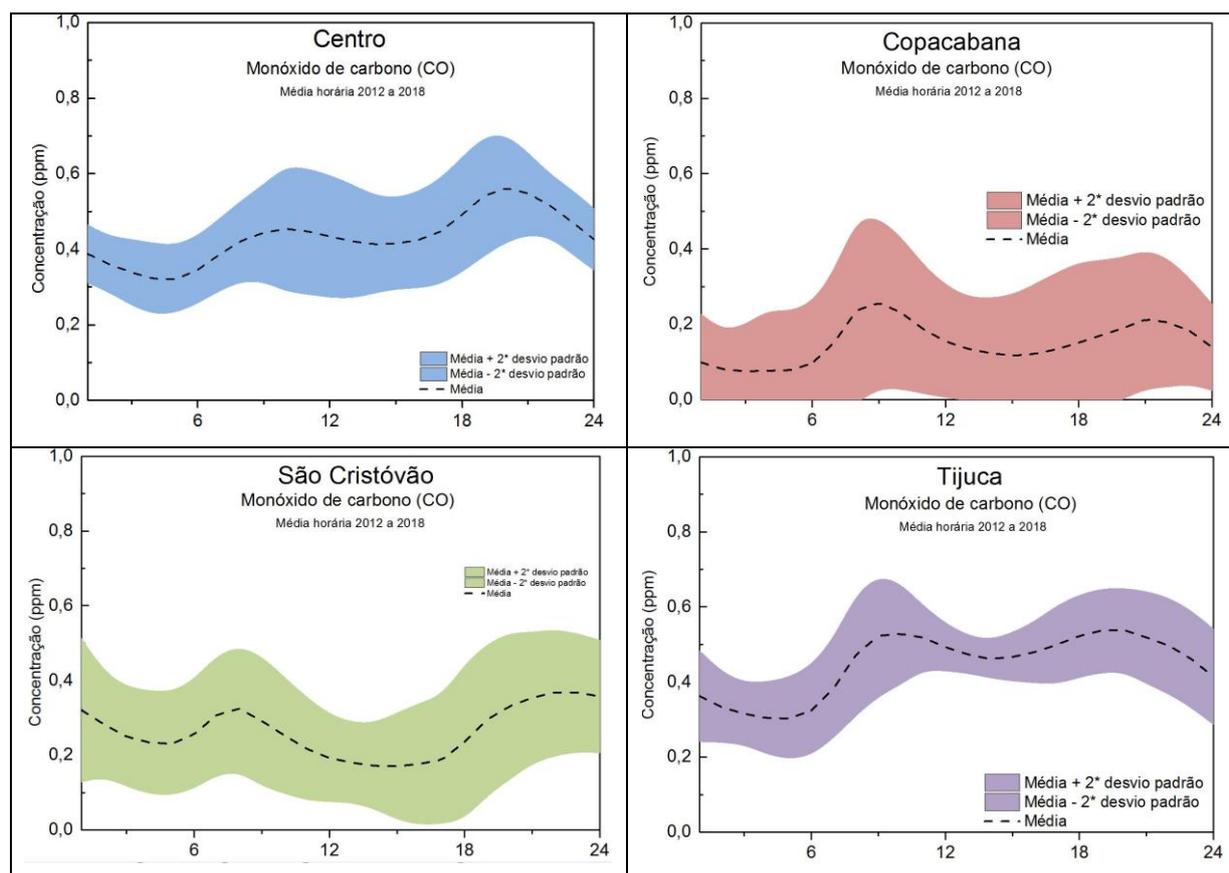
uma hora, uma na parte da manhã e a outra no início da noite, horários típicos de maior tráfego de veículos no entorno da estação.

A curva média horária das concentrações de Monóxido de Carbono observada entre 2012 e 2018 (Tijuca) se eleva em dois horários, no período da manhã e no início da noite, existindo pouca diferença entre os picos observados. É importante considerar que estes horários são de grande movimentação de veículos que trafegam nas vias do entorno da estação de monitoramento.

A curva para o Monóxido de Carbono na Estação Irajá apresenta duas elevações das concentrações das médias de uma hora no decorrer do dia, uma na parte da manhã, às 8h, e a outra na parte da noite, às 21h. Os horários de picos estão associados ao aumento do fluxo de veículos, uma vez que a principal fonte de CO é oriunda de veículos automotores movidos à gasolina.

Observando-se a curva média horária de Monóxido de Carbono, entre 2012 e 2018, na Estação Bangu é possível observar que as concentrações durante o dia se elevam em dois horários, às 9h e às 21h, sendo que no período noturno a concentração é mais acentuada (Bangu).

A curva da média horária de Monóxido de Carbono entre 2012 e 2018, na Estação Campo Grande, mostra que as concentrações dos poluentes se elevam às 8h da manhã e em um segundo período, mais tarde que o horário habitual, às 22h.



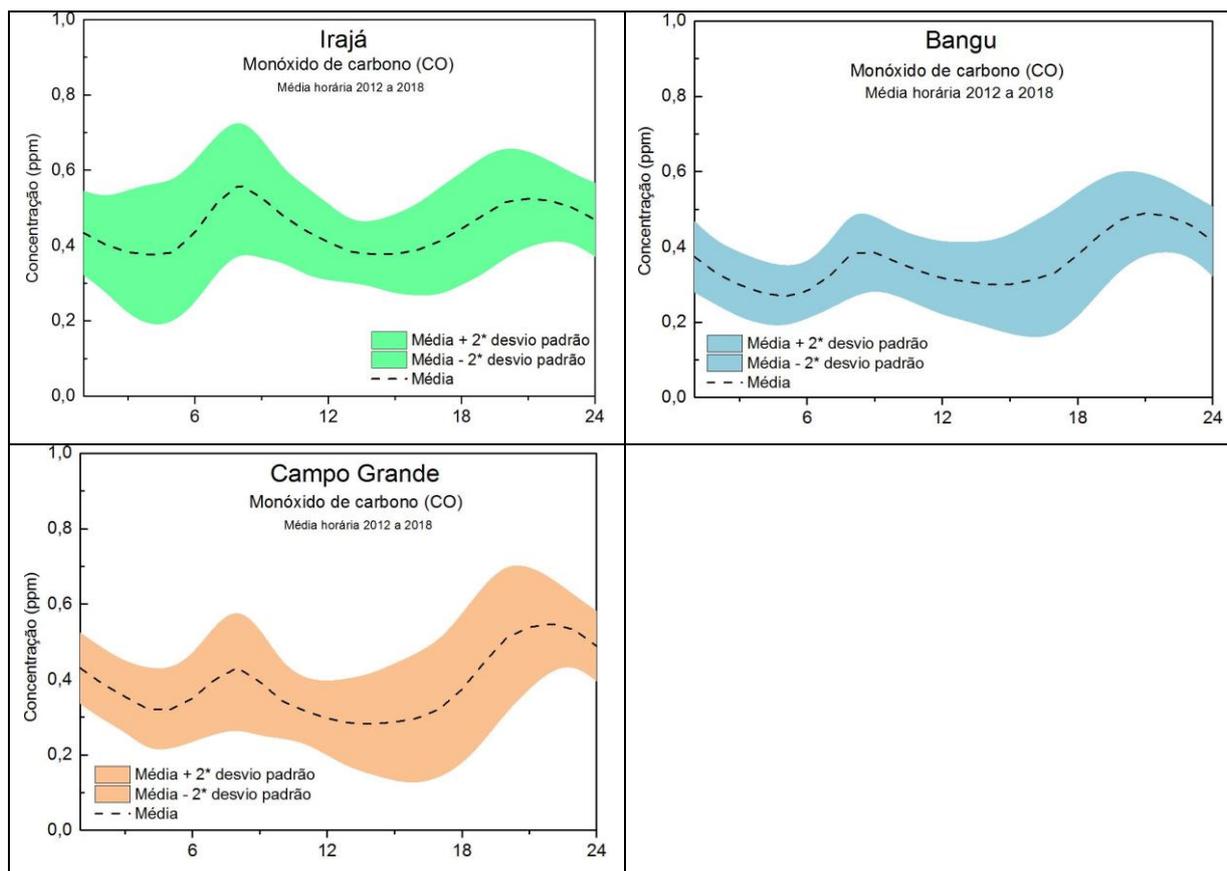


Figura 9.16 – Curva média horária de Monóxido de Carbono entre 2012 e 2018.

9.6. Perfil médio de concentração de SO₂ ao longo do dia

Na Figura 9.17 observa-se que a curva média horária de Dióxido de Enxofre apresenta uma elevação das concentrações no período da manhã na Estação de Copacabana, com o máximo ocorrendo às 9h.

Na Figura 9.17, encontra-se a curva média horária do Dióxido de Enxofre obtida para o período entre 2012 e 2018 na Estação São Cristóvão. Nesta estação, as maiores concentrações estão entre 8h e 15h, com o pico ocorrendo por volta das 11 horas.

O perfil diário das concentrações de Dióxido de Enxofre no período de 2012 a 2018 está apresentado na Figura 9.17. É possível observar que a maior média acontece pela manhã, às 10h, em horário de intenso fluxo de veículos no entorno.

A curva média horária para o Dióxido de Enxofre na Estação Irajá está apresentada na Figura 9.17. As maiores concentrações horárias foram registradas no período entre 10h e 15h, não apresentando dois picos bem definidos. Nesta localidade, os valores obtidos para o Dióxido de Enxofre podem estar associados à grande circulação de veículos pesados movidos a diesel utilizados para o abastecimento do comércio da região e de dois mercados de grande porte situados nas proximidades.

Na Figura 9.17, pode-se observar a curva média horária de Dióxido de Enxofre no período de 2012 a 2018. O poluente na Estação Bangu apresenta uma elevação das concentrações apenas no período da manhã, com máximo às 11h, não se observando outro pico no período da noite.

Como é possível observar pela análise da curva média horária de Monóxido de Carbono na Estação Campo Grande no período considerado (Figura 9.17), as concentrações médias horárias não sofrem grandes variações durante o decorrer do dia, verificando-se apenas um discreto aumento de seus valores no final da manhã, às 11h.

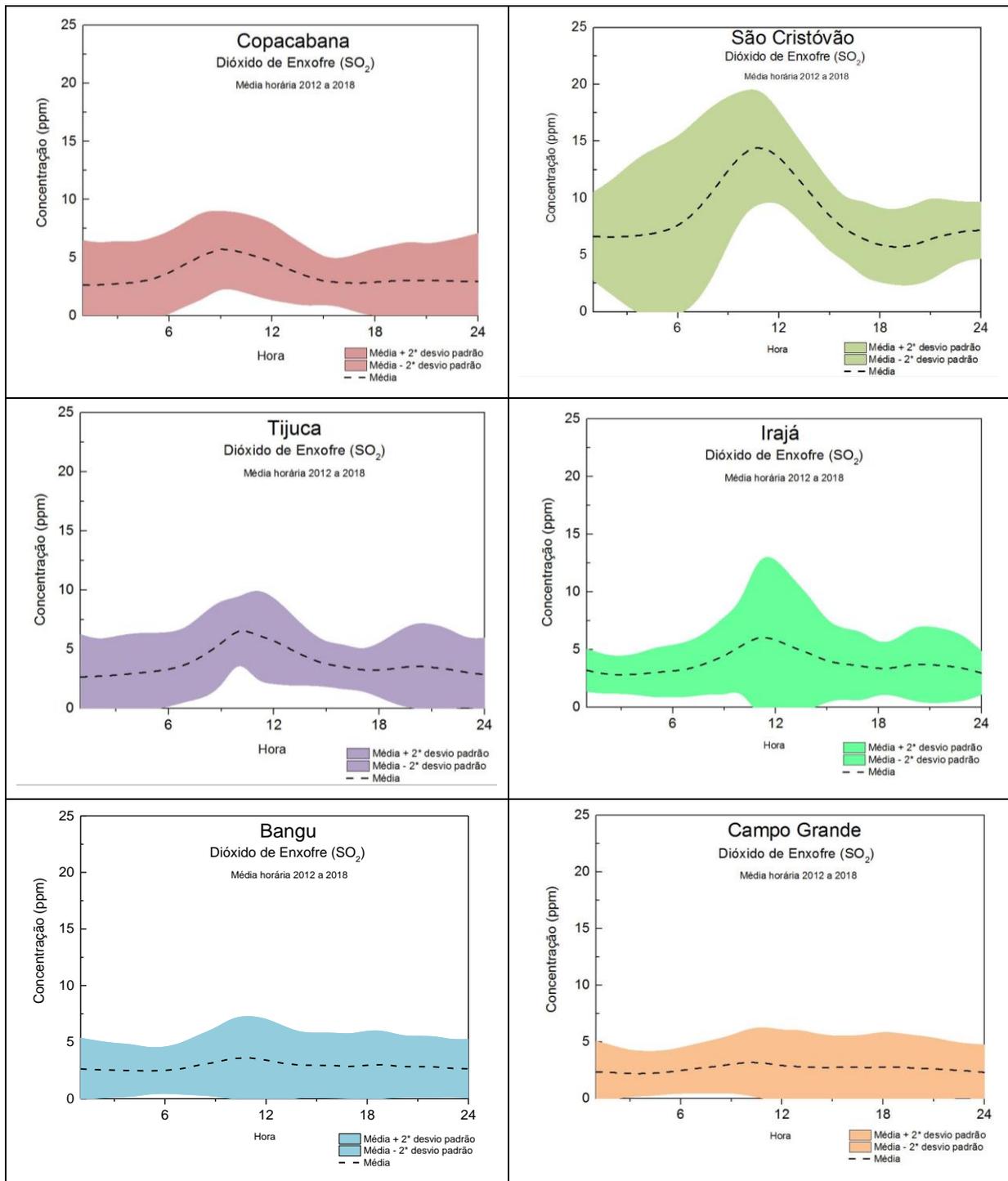


Figura 9.17 – Curva média horária de Dióxido de Enxofre entre 2012 e 2018.

10. Bibliografia

SMAC. Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro, Relatório da Rede MonitorAr-Rio 2011-2012. Rio de Janeiro, 2013

SOARES, L.M. et al.- **Avaliação do impacto na qualidade do ar após implantação do BRS no Rio de Janeiro**

Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 08, n. 02, p. 203 - 220, jul-dez 2018. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.** Brasília – DF, 1990.

OMS, **WHO Air guidelines global update –Reported in a Working Group meeting.** 2005.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE). Brasília, 1986.

PONTES, A. S.; ROTUNNO FILHO, O. C. ; Pimentel, L.C.G. . Impacto das Emissões de Atividades Portuárias sobre a Qualidade do Ar: Avaliação do Impacto das Emissões Atmosféricas provenientes do Porto do Rio de Janeiro, Brasil.. 1ª. ed. Saarbrücken, Germany: OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2016. v. 1. 380p.

INEA. **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro 2009.** Rio de Janeiro, 2009. 108 p.

INEA. **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro 2015.** Rio de Janeiro, 2016. 197 p.

LINS, I. B. et al. **Projeção Populacional 2013-2020 para a Cidade do Rio de Janeiro: uma aplicação do método AiBi** Rio de Janeiro: IPP/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2013.