



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Ciência e Tecnologia  
Faculdade de Engenharia

Diego Rafael dos Santos Peixoto

**Análise da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) na área de  
influência do Corredor Viário Transolímpica - RJ**

Rio de Janeiro  
2019

Diego Rafael dos Santos Peixoto

**Análise da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) na área de influência  
do Corredor Viário Transolímpica - RJ**



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

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Simone Lorena Quitério de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes

Rio de Janeiro

2019

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

P379 Peixoto, Diego Rafael dos Santos.  
Análise da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) na  
área de influência do Corredor Viário Transolímpica - RJ / Diego  
Rafael dos Santos Peixoto. – 2019.  
124f.

Orientadora: Simone Lorena Quitério de Souza.  
Coorientador: Júlio Domingos Nunes Fortes.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Poeira - Teses. 3. Ar -  
Poluição - Teses. 4. Rodovias - Teses. 5. Ar - Controle de  
qualidade - Teses. I. Souza, Simone Lorena Quitério de. II.  
Fortes, Júlio Domingos Nunes. III. Universidade do Estado do  
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 614.715

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

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

---

Assinatura

---

Data

Diego Rafael dos Santos Peixoto

**Análise da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) na área de influência  
do Corredor Viário Transolímpica - RJ**

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

Aprovado em 13 de fevereiro de 2019.

Banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Lorena Quitério de Souza (Orientadora)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lilian Bechara Elabras Veiga  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Marco Aurelio Passos Louzada  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josiane Loyola da Silva (suplente)  
Departamento de Físico Química, Instituto de Química da UFRJ

Rio de Janeiro

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Meu maior agradecimento vai aos meus pais que sempre me apoiaram de todas as formas a continuar estudando, sem dúvida devo tudo a eles.

Agradeço também à equipe de professores do PEAMB UERJ pelo conhecimento transmitido, especialmente à Prof. Simone por ter orientado e ajudado no desenvolvimento do meu trabalho.

Agradeço ao meu colega Paulo pela ajuda no desenvolvimento das análises estatísticas.

Também agradeço a minha namorada Kimberly pelo apoio, os momentos de descontração e a felicidade proporcionada no período.

Finalmente, agradeço a Terra Nova empresa que me apoiou nas minhas decisões de estudo e também contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho, e aos professores integrantes da banca que aceitaram me avaliar.

Se você quer chegar onde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz.

*Bill Gates*

## RESUMO

PEIXOTO, Diego Rafael dos Santos. *Análise da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) na área de influência do Corredor Viário Transolímpica - RJ*. 2019. 124 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

A instalação e operação de rodovias traz diversos impactos ambientais, dentre os quais a alteração na qualidade do ar. O material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) é um dos principais poluentes que contribuem para a diminuição da qualidade do ar na área de influência de rodovias. Esse tipo de material particulado pode penetrar nas camadas mais profundas do sistema respiratório e causar problemas de saúde na população exposta ao poluente. Na Transolímpica, um Corredor Viário do Rio de Janeiro, o monitoramento de MP<sub>2,5</sub> foi realizado durante a fase de instalação e operação da via como parte de seu processo de licenciamento ambiental, que tem como órgão licenciador o Instituto Estadual do Ambiente. O presente trabalho analisou a concentração de MP<sub>2,5</sub>, em duas estações de monitoramento da qualidade do ar, no período de outubro de 2014 a outubro de 2018, contemplando as fases de instalação e operação da via. Foi realizada a comparação da concentração de MP<sub>2,5</sub> entre as fases de instalação e operação e com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018 e pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Além disso, a qualidade do ar local foi avaliada e as variáveis meteorológicas foram correlacionadas com a concentração de MP<sub>2,5</sub>. Os resultados mostraram que o limite da Resolução CONAMA N° 491/2018 foi extrapolado 3 dias na fase de instalação e o limite recomendado pela OMS foi violado em 81 dias de amostragem. A comparação entre as fases de instalação e operação da Transolímpica mostrou que durante as obras a concentração de MP<sub>2,5</sub> foi cerca de 24 % maior. A qualidade do ar foi classificada como BOA em ambas as fases. E todas as variáveis se mostraram fracamente correlacionadas com concentração de MP<sub>2,5</sub>. A principal causa levantada para explicar a concentração de MP<sub>2,5</sub> ter se apresentado maior na fase de instalação é o alto fluxo de veículos movidos a diesel no local, em comparação com a fase de operação.

Palavras-chave: Resolução CONAMA N° 491/2018; Qualidade do Ar; MP<sub>2,5</sub>; Obras; Material Particulado Fino; Transolímpica.

## ABSTRACT

PEIXOTO, Diego Rafael dos Santos. *Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentration analysis in the influence area of Transolímpica highway - RJ*. 2019. 124 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The construction and operation of highways results in major environmental impacts, among them change in air quality. Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) is one of the main pollutants that contribute to decrease air quality in highways influenced areas. This particulate matter type can penetrate deep into the respiratory system and cause health problems in the population exposed. At Transolímpica, a highway in Rio de Janeiro, PM<sub>2.5</sub> monitoring was carried out during the road construction and operation of as part of its environmental licensing process, which has as environmental agency the Instituto Estadual do Ambiente. The present study analyzed PM<sub>2.5</sub> concentration in two air quality monitoring stations from October 2014 to October 2018, contemplating road construction and operation phases. PM<sub>2.5</sub> concentration was compared between construction and operation phases and with the World Health Organization (WHO) limits. In addition, local air quality was evaluated and meteorological variables were correlated with PM<sub>2.5</sub> concentration. The results showed that the Resolução CONAMA N° 491/2018 limit of was extrapolated 3 days in construction phase and the recommended WHO limit was violated in 81 days of sampling. The comparison between the Transolímpica construction and operation phases showed that during the construction MP<sub>2.5</sub> concentration was about 24 % higher. The air quality was classified as GOOD in both phases. All variables were poorly correlated with MP<sub>2.5</sub> concentration. The main cause raised to explain the higher MP<sub>2.5</sub> concentration in construction phase is the high flow of diesel-powered vehicles in place, compared to the operating phase.

Keywords: Resolução CONAMA N° 491/2018; Air Quality; PM<sub>2.5</sub>; Construction; Fine; Particulate matter; Transolímpica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1: Representação gráfica do conceito de Impacto ambiental com foco no entendimento do ambiente como dinâmico.....	17
Figura 1-2: Traçado do Corredor Viário Transolímpica. ....	30
Figura 1-3: Principais etapas do processo de licenciamento ambiental da Transolímpica.....	35
Figura 1-4: Comparação de tamanhos de partículas de 2,5 $\mu$ m e 10 $\mu$ m de diâmetro. ....	37
Figura 1-5: Representação esquemática das áreas de depósito de material particulado proveniente de combustão no sistema respiratório.....	39
Figura 1-6: Equação de cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr).....	43
Figura 2-1: Representação espacial das novas bacias aéreas geradas a partir das curvas de nível de 100 metros com dados digitais e das antigas bacias aéreas antigas geradas a partir de cartas topográficas.....	45
Figura 2-2: Gráfico comparativo de precipitação acumulada (mm) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá. ....	46
Figura 2-3: Gráfico comparativo da temperatura média (°C) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá. ....	47
Figura 2-4: Gráfico comparativo da umidade relativa (%) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá. ....	47
Figura 2-5: Localização geográfica da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Rio Grande. ....	49
Figura 2-6: Localização geográfica da Estação de Monitoramento da Qualidade do Bosque da Boiuna. ....	50
Figura 2-8: Amostrador de Grande Volume do tipo AGV MP <sub>2,5</sub> .....	52
Figura 2-9: AGV MP <sub>2,5</sub> , com a porta aberta, e seus componentes.....	54
Figura 2-10: Desenho esquemático da cabeça de separação do AGV MP <sub>2,5</sub> .....	56
Figura 2-11: Base do AGV MP <sub>2,5</sub> (sem cabeça). ....	60
Figura 2-12: Conjunto porta-filtro/CVV/motoaspirador. ....	61
Figura 2-13: Kit de ensaio instalado no AGV MP <sub>2,5</sub> .....	63
Figura 2-14: Exemplo de planilha de cálculo (Excel) da geração da relação de ensaio.....	64

Figura 2-15: Dessecador tipo armário utilizado na preparação dos filtros.....	65
Figura 2-16: Balança do tipo Shimadzu modelo AUY220 utilizada para a pesagem dos filtros de fibra de vidro. ....	66
Figura 2-17: Modelo de formulário de registro de dados de amostragem do AGV MP <sub>2,5</sub> .....	67
Figura 2-18: Planilha de cálculo de amostragem do AGV MP <sub>2,5</sub> . ....	69
Figura 3-1: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018	75
Figura 3-2: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de operação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018..	77
Figura 3-3: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018 .....	79
Figura 3-4: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018 .....	81
Figura 3-5: (A) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de MP <sub>2,5</sub> na fase de instalação. (B) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de MP <sub>2,5</sub> na fase de operação.....	83
Figura 3-6: (A) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de MP <sub>2,5</sub> na fase de instalação. (B) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de MP <sub>2,5</sub> na fase de operação.....	84
Figura 3-7: Teste de Mann-Whitney aplicado aos dados de concentração de MP <sub>2,5</sub> das EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande.....	85
Figura 3-8: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> entre as fases de instalação e operação na EMQA Bosque da Boiuna.....	85
Figura 3-9: Comparação da concentração de MP <sub>2,5</sub> entre as fases de instalação e operação na EMQA Rio Grande.....	86
Figura 3-10: Correlação entre a concentração de MP <sub>2,5</sub> (MP <sub>25</sub> ) e as variáveis meteorológicas na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.....	93

Figura 3-11: Correlação entre a concentração de $MP_{2,5}$ (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.....	93
Figura 3-13: Correlação entre a concentração de $MP_{2,5}$ (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Rio Grande durante a fase de operação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.....	94
Figura 3-15: Análise de agrupamentos na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação, considerando a concentração de $MP_{2,5}$ (MP25) e as variáveis meteorológicas.....	97
Figura 3-16: Análise de agrupamentos na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação, considerando a concentração de $MP_{2,5}$ (MP25) e as variáveis meteorológicas.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-2: Teste de Shapiro-Wilk aplicado aos dados de concentração de $MP_{2,5}$ ..	83
Tabela 3-3: Índices de qualidade do ar (IQAr) de acordo com a CETESB (2018) ....	90
Tabela 3-4: Índice de Qualidade do Ar (IQAr) durante as fases de instalação e operação nas EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande.....	91
Tabela 7-1: Concentração diária de $MP_{2,5}$ na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação.....	114
Tabela 8-1: Concentração diária de $MP_{2,5}$ na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação .....	118
Tabela 9-1: Concentração diária de $MP_{2,5}$ na EMQA Rio Grande durante a fase de operação .....	121

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	13
OBJETIVO.....	15
1. REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
1.1. Impactos ambientais de rodovias .....	16
1.1.1. Impactos ambientais.....	16
1.1.2. Fase de implantação .....	19
1.1.3. Fase de operação.....	21
1.2. Licenciamento ambiental.....	25
1.2.1. Licenciamento ambiental da Transolímpica.....	29
1.3. Qualidade do ar e efeitos ambientais .....	35
1.3.1. Qualidade ambiental do ar.....	35
1.3.2. Material particulado (MP).....	36
1.3.3. Efeitos da poluição do ar por MP <sub>2,5</sub> .....	38
1.4. Legislação de padrões de qualidade do ar.....	40
2. METODOLOGIA .....	44
2.1. Caracterização da área de estudo .....	44
2.1.1. Bacia aérea .....	44
2.1.2. Condições climáticas da região .....	45
2.1.3. Estações de monitoramento da qualidade do ar .....	48
2.2. Equipamentos de monitoramento da qualidade do ar .....	52
2.2.1. Amostradores de Grande Volume .....	52
2.2.2. Estrutura e funcionamento do AGV MP <sub>2,5</sub> .....	53
2.3. Processo de monitoramento .....	61
2.3.1. Calibração do CVV .....	62
2.3.2. Preparação dos filtros.....	65
2.3.3. Programação dos AGV MP <sub>2,5</sub> .....	66
2.3.4. Início da amostragem .....	66
2.3.5. Após a amostragem.....	67
2.3.6. Análise dos filtros coletados .....	68
2.3.7. Manutenção dos AGV MP <sub>2,5</sub> .....	69
2.4. Método de monitoramento .....	70

2.4.1. Fase de instalação.....	70
2.4.2. Fase de operação.....	70
2.5. Análise dos dados.....	71
2.5.1. Teste de normalidade.....	72
2.5.2. Teste de <i>Mann-Whitney</i> .....	72
2.5.3. Correlação de <i>Spearman</i> .....	73
2.5.4. Análise de agrupamentos.....	73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
3.1. Concentração de material particulado na EMQA Rio Grande.....	74
3.1.1. Fase de instalação.....	74
3.1.2. Fase de operação.....	76
3.2. Concentração de material particulado na EMQA Bosque da Boiuna.....	78
3.2.1. Fase de instalação.....	78
3.2.2. Fase de operação.....	80
3.3. Análise da concentração de $MP_{2,5}$ entre as fases de instalação e operação da Transolímpica.....	82
3.4. Índice de Qualidade do Ar (IQA <sub>r</sub> ).....	89
3.5. Correlação entre a concentração de $MP_{2,5}$ e as variáveis meteorológicas.....	92
4. CONCLUSÃO.....	99
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE A – Concentração de $MP_{2,5}$ na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação.....	111
APÊNDICE B – Concentração de $MP_{2,5}$ na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação.....	114
APÊNDICE C – Concentração de $MP_{2,5}$ na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação.....	118
APÊNDICE D – Concentração de $MP_{2,5}$ na EMQA Rio Grande durante a fase de operação.....	121

## INTRODUÇÃO

O ar é um dos principais recursos ambientais fundamentais para a existência da vida humana na Terra e também um dos mais impactados negativamente por atividades antrópicas. A poluição atmosférica é um problema mundial grave que não respeita fronteiras e causa a morte de milhões de pessoas todos os anos, apesar disso, a sociedade pouco se importa com esse problema, pois o ar é abundante e invisível (BRAGA et al., 2005).

Os poluentes atmosféricos se dividem em gasosos e particulados e podem ser classificados em primários quando são diretamente lançados no ar e secundários quando são originados a partir de reações que ocorrem na atmosfera (PHILIPPI JR et al., 2014). Dentre os diversos tipos de material particulado, as partículas com diâmetro de até 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ) são de particular interesse para estudiosos na área de qualidade do ar, uma vez que conseguem penetrar profundamente no sistema respiratório, possuindo um grande potencial para causar doenças respiratórias e cardiovasculares, principalmente (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

O  $\text{MP}_{2,5}$  é composto por uma mistura de vários componentes orgânicos e inorgânicos, como gases, metais, poeira e pólen, tendo como principais fontes de emissão atividades antrópicas tais como: indústrias de transformação, queima de carvão mineral e o tráfego de veículos automotores (KIM; KABIR; KABIR, 2015).

A legislação a nível federal que regulamenta os padrões de qualidade do ar estabelecendo os limites de emissões de poluentes é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA Nº 491/2018, que revogou a Resolução CONAMA Nº 03/1990 e o itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução CONAMA Nº 05/1989. Essa resolução, lançada em novembro de 2018, além de inovar ao incluir o  $\text{MP}_{2,5}$  como poluente legislado, estabelece como limite intermediário de exposição a concentração média diária de 60  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (CONAMA, 2018).

Um dos principais aspectos ambientais associados a empreendimentos rodoviários são as emissões atmosféricas, que podem ter como consequência a alteração da qualidade do ar na área de influência de uma rodovia, tanto durante as obras quanto na fase de operação. O material particulado figura como um dos principais contribuintes para a poluição do ar associada a rodovias.

A Transolímpica é um Corredor Viário de 26 km de extensão que liga a Barra da Tijuca a Deodoro. A via, que começou a ser construída em 2012 e foi inaugurada em 2016, teve seu processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Esse órgão ambiental exigiu a implantação do Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar da Transolímpica, como uma das medidas mitigadoras desde a fase de instalação do empreendimento. Esse Programa consiste no monitoramento da qualidade do ar, especificamente, de material particulado de até 10  $\mu\text{m}$  e até 2,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro aerodinâmico durante as fases de obras e de operação da via.

Portanto, torna-se relevante analisar a concentração de material particulado de até 2,5  $\mu\text{m}$  obtida na área de influência direta da Transolímpica durante as fases de instalação e operação. Este trabalho é composto por 4 capítulos: o capítulo 1 aborda uma revisão bibliográfica sobre o tema de estudo; o capítulo 2 trata da metodologia aplicada para a realização do trabalho; o capítulo 3 apresenta e discute os resultados obtidos pelo estudo realizado; e o capítulo 4 traz as conclusões e recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## OBJETIVO

Comparar a qualidade do ar na área de influência direta do Corredor Viário Transolímpica, por meio da análise da concentração de  $MP_{2,5}$ , no período de outubro de 2014 a outubro de 2018 em duas estações de monitoramento da qualidade do ar (EMQA) com perfis distintos.

### Objetivos específicos

- Analisar a concentração de material particulado ( $MP_{2,5}$ ) nas fases de implantação e de operação do Corredor Viário Transolímpica;
- Comparar e analisar as concentrações de material particulado ( $MP_{2,5}$ ) amostradas durante o período das obras e na fase de operação do Corredor Viário Transolímpica, tendo como base os limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Resolução CONAMA N° 491/2018;
- Avaliar a qualidade do ar na área de influência direta do Corredor Viário Transolímpica, numa região onde predominam as fontes móveis (EMQA Rio Grande) e em outra próxima ao canteiro das obras de implantação da Transolímpica (EMQA Boiuna);
- Correlacionar as concentrações de material particulado ( $MP_{2,5}$ ) amostradas durante o período das obras e na fase de operação do Corredor Viário Transolímpica, com parâmetros meteorológicos.

## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1. Impactos ambientais de rodovias

#### 1.1.1. Impactos ambientais

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental é:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

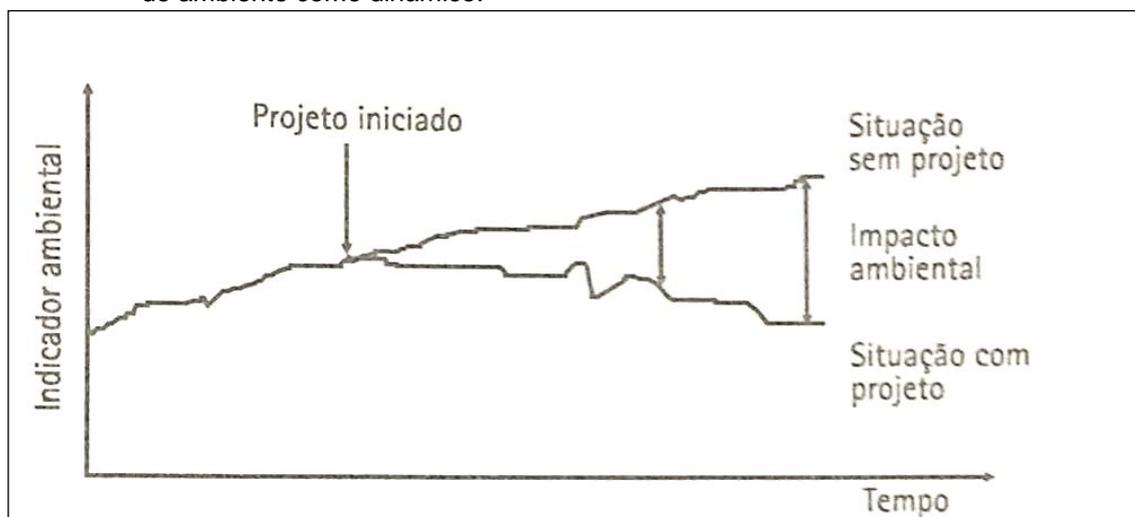
IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

(Art. 1º, CONAMA Nº 001/86)

Entretanto, Sánchez (2013) argumenta que esta definição é, na verdade, a definição de poluição, já que trata sobre “qualquer forma de matéria ou energia” como agente causador da alteração ambiental, dessa forma, de acordo com o autor, o conceito de impacto ambiental é: “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocados por ação humana” (SÁNCHEZ, 2013). Resumindo, o impacto ambiental é a diferença de uma variável ambiental entre uma situação com e sem a ocorrência da atividade humana (Figura 1-1).

Figura 1-1: Representação gráfica do conceito de Impacto ambiental com foco no entendimento do ambiente como dinâmico.



Fonte: Sánchez (2013).

É importante ressaltar que o termo “processos naturais ou sociais” é usado para refletir o caráter dinâmico do ambiente e que impacto ambiental é resultado de uma ação humana, ou seja uma consequência. Dessa forma, a emissão de material particulado derivada de uma erupção vulcânica, não se caracteriza como impacto ambiental. Além disso, o impacto ambiental não deve ser associado exclusivamente a consequências negativas de uma atividade, já que também pode se manifestar de forma positiva (SÁNCHEZ, 2013).

De acordo com Wathern (2004), o impacto ambiental pode ser descrito com uma mudança em um parâmetro ambiental ao longo de um período de tempo em uma área específica resultante de uma atividade, humana, comparada a situação que ocorreria caso a atividade não fosse desenvolvida.

Definição semelhante, que reflete bem o conceito proposto por Wathern (2004), está presente na legislação portuguesa (Decreto-Lei N° 69/2000), que tem a seguinte redação:

conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área (situação de referência), resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar (Art. 2º, alínea j, Decreto-Lei N° 69/2000).

Outro conceito fundamental a ser destacado é o de aspecto ambiental, que de acordo a ABNT NBR 14:001/2015 é definido como “elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente”. O aspecto ambiental é o meio pelo qual a causa (atividade humana) gera uma

consequência (impacto ambiental). Dessa forma, um exemplo clássico é o de uma indústria, que é uma atividade humana, que durante sua operação gera emissões gasosas (aspecto ambiental) que pode resultar na alteração da qualidade do ar (impacto ambiental) (SÁNCHEZ, 2013).

A instalação, fase de obras, e a operação de rodovias causam impactos ambientais negativos, que precisam ser controlados para que torne esse tipo de empreendimento viável em relação ao componente ambiental.

Em relação a parâmetros ecológicos as rodovias causam impactos significativos, como: perda e fragmentação de habitats, ocasionando isolamento de populações e a longo prazo perda de biodiversidade; criação de novos habitats para espécies oportunistas e/ou generalistas e para espécies exóticas e/ou invasoras; aumento da mortalidade por atropelamento, reduzindo a densidade das populações locais; alteração dos níveis de ruído e luz, poluição visual e aumento de atividades humanas, o que pode ocasionar a redução na abundância e riqueza de espécies que habitam as adjacências; e aumento da contaminação ambiental, por metais e substâncias tóxicas, que podem se acumular na biomassa e nos compartimentos terrestres e aquáticos (KARLSON; MÖRTBERG; BALFORS, 2014)

Daigle (2010), em sua revisão sobre impactos ambientais, agrupa os impactos ambientais resultantes de rodovias considerando os seus efeitos sobre: solo, água, vida selvagem aquática e habitat; e vida selvagem terrestre e habitat.

Os efeitos sobre o ambiente aquático envolvem morte de peixes, interrupção nos padrões de migração de anfíbios e répteis, alteração no fluxo de rios e aumento da ocorrência de peixes exóticos. Em relação ao solo, pode ocorrer a sua compactação e conseqüentemente perda de produtividade, alteração de seu pH e da estrutura de comunidades vegetais, aumento da erosão e carreamento de sedimentos e nutrientes para rios e alagados (DAIGLE, 2010).

Para o ambiente terrestre os principais impactos ambientais são: aumento da mortalidade e lesões de espécimes por atropelamento, fragmentação de habitat, aumento da contaminação por produtos químicos, aumento do nível de ruído ambiental e aumento das emissões de poluentes (DAIGLE, 2010).

### 1.1.2. Fase de implantação

De acordo com Sánchez (2013), empreendimentos rodoviários causam os seguintes impactos ambientais negativos na fase de instalação:

- Alteração da qualidade das águas superficiais;
- Alteração das propriedades físicas e biológicas do solo;
- Alteração da qualidade do ar;
- Alteração do ambiente sonoro;
- Destruição e fragmentação de habitats da vida selvagem;
- Perda e afugentamento de espécimes da fauna;
- Bloqueio ou restrição de movimento através da rodovia;
- Alteração ou perda de sítios arqueológicos e outros elementos do patrimônio cultural;
- Impacto visual.

Fogliatti et al. (2004), cita dentre os diversos impactos ambientais negativos associados à implantação de rodovias os seguintes:

- Proliferação de vetores indesejáveis como ratos, serpentes e mosquitos;
- Poluição das águas superficial e subterrânea;
- Contaminação do solo;
- Aumento da poluição atmosférica;
- Comprometimento dos ecossistemas;
- Início e/ou aceleração de processos erosivos com assoreamento de cursos d'água;
- Perda de espécies vegetais com consequente perda de áreas de abrigo, alimentação e reprodução, prejudicando o habitat natural da fauna;
- Evasão da fauna e da flora;
- Aumento do nível de ruído;

- Riscos de acidentes;
- Desvio de tráfego e bloqueio de ruas;
- Conflitos com a comunidade.

Já o manual rodoviário de conservação, monitoramento e controle ambiental do DNIT (BRASIL, 2005) cita que na fase de implantação de rodovias as seguintes atividades causam impactos ambientais negativos:

- Instalação e desmobilização de canteiros de obras;
- Desmatamento e limpeza de terrenos;
- Tráfego de veículos pesados;
- Terraplenagem, empréstimos e bota-fora.

As atividades de instalação e desmobilização de canteiros envolvem a montagem e desmontagem de estruturas administrativas, oficinas, pátio para estacionamento de veículos e usinas misturadoras de concreto e/ou asfalto (BRASIL, 2005). Essas atividades podem apresentar como consequências: aumento da ocorrência de doenças e vetores, poluição da água superficial e subterrânea, poluição do ar e degradação de áreas (BRASIL, 2005; REZENDE; COELHO, 2015).

O desmatamento e limpeza de terrenos envolve, principalmente, a remoção da vegetação nativa e/ou exótica existente, o que pode gerar: erosão do solo, assoreamento de corpos hídricos, escorregamento de taludes, incêndios e proliferação de vetores (BRASIL, 2005; REZENDE; COELHO, 2015)

O tráfego de veículos pesados a serviço das atividades de obra, para movimentação de equipamentos, maquinários, carregamento de insumos e materiais, pode causar erosão de estradas, levantamento de material particulado (poeira) e aumento dos níveis de ruído ambiental (BRASIL, 2005; REZENDE; COELHO, 2015).

As atividades de terraplenagem envolvem o tráfego intenso de veículos pesados e a movimentação de grandes volumes de solo. A terraplenagem, junto com a implantação de áreas de empréstimo e bota-fora podem ocasionar os seguintes impactos ambientais: poluição do ar, aumento dos níveis de ruídos e vibrações, erosão do solo e assoreamento de corpos hídricos, degradação de áreas

exploradas e acidentes ocorrentes na detonação (BRASIL, 2005; REZENDE; COELHO, 2015).

### 1.1.3. Fase de operação

Em relação à fase de operação, Sánchez (2013) lista os seguintes impactos ambientais negativos:

- Alteração da qualidade do ar;
- Alteração do ambiente sonoro;
- Alteração da qualidade das águas superficiais;
- Contaminação do solo e águas subterrâneas;
- Estresse sobre a vegetação natural;
- Perda de espécimes da fauna por atropelamento;
- Valorização / desvalorização imobiliária.

Segundo Fogliatti et al. (2004), a operação de rodovias pode gerar impactos ambientais negativos tais como:

- Ruídos e vibrações próximos;
- Poluição do ar;
- Poluição das águas superficial e subterrânea;
- Acidentes;
- Incêndios;
- Escorregamentos de taludes ou encostas, queda de pedras e de blocos de rocha.

Na fase de operação de rodovias, o manual rodoviário de conservação, monitoramento e controle ambiental do DNIT (BRASIL, 2005), traz como principais alterações negativas no meio ambiente:

- Aumento dos níveis de ruídos e vibrações;
- Poluição do ar;
- Poluição da água;

- Problemas de segurança da comunidade.

Goonetilleke, Wijesiri e Bandala (2017), no livro *Environmental Impacts of Road Vehicles*, consideram a poluição do ar, por conta das emissões veiculares, o principal impacto ambiental em rodovias, além disso, os autores citam a poluição sonora, as alterações climáticas, a poluição da água e do solo.

#### 1.1.3.1. Ruído

As principais fontes de ruído ambiental são os transportes rodoviário, aeroviário e ferroviário, sendo as rodovias as fontes mais comuns (HANSELL; CAI; GULLIVER, 2017). O tráfego de veículos em rodovias produz níveis de ruídos significativos que podem afetar a população que reside no entorno da via, locais sensíveis como escolas e hospitais, sítios históricos e a fauna silvestre (BRASIL, 2005).

Os ruídos do tráfego podem se apresentar de três formas, de acordo com suas fontes: ruídos de movimento, referente ao contato do pneu com o pavimento, atritos das rodas com os eixos, ruídos da transmissão, entre outros; ruídos ocasionais, provenientes de buzinas, frenagens, troca de marchas, entre outros; funcionamento dos maquinismos, relacionados com entrada de ar e saída do escapamento, sistema de arrefecimento e ventilação, funcionamento do motor, entre outros (BRASIL, 2005).

O nível de ruído total proveniente de uma rodovia e seus efeitos variam de acordo com vários fatores, tais como: fluxo do tráfego, que envolve velocidade, volume, composição, entre outros; condições operacionais, presença ou não de impedimentos que alteram a velocidade; e o ambiente local, presença de cortes, aterros, características do pavimento, entre outros (BRASIL, 2005).

Em relação aos impactos sobre a qualidade de vida, o ruído ambiental é bem caracterizado como causador de perturbação e distúrbios do sono, bem como impactos a longo prazo na saúde. Já existem evidências de que ruídos provenientes de rodovias, em níveis maiores que aproximadamente 50 dBA (decibel com sistema

de ponderação A), podem contribuir na hipertensão e arteroesclerose coronariana (HANSELL; CAI; GULLIVER, 2017).

Um estudo realizado com 66 jovens na China mostrou que a exposição aguda a ruídos provenientes de tráfego rodoviário está associada com um aumento na pressão sanguínea sistólica e diastólica, sugerindo que a exposição a ruído aumenta o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares (CHANG et al., 2015).

#### 1.1.3.2. Vibrações

O deslocamento de veículos na via produz vibrações que são transmitidas ao ar e ao solo e se propagam em todas as direções. Essas vibrações são causadas por irregularidades no pavimento que fazem com que a os veículos se desloquem por meio de pequenos saltos; pelo funcionamento dos veículos, que possuem vibração própria, causada pelo funcionamento do motor; e pela movimentação normal dos veículos e movimentos bruscos, causados pelo fechamento das portas, por exemplo (BRASIL, 2005).

Os efeitos das vibrações podem ser tornar significativos caso comprometam estruturas como de casas e prédios ou equipamentos de precisão como os utilizados em laboratórios, hospitais e centros de pesquisa (BRASIL, 2005).

#### 1.1.3.3. Segurança da comunidade

A segurança da comunidade se refere às interações entre os veículos que circulam na rodovia com os que estão de passagem e com os pedestres. Os principais problemas relacionados com a segurança incluem risco de acidentes e presença de congestionamentos (BRASIL, 2005). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde e do Banco Mundial, anualmente morrem cerca de 1,2 milhão de pessoas em todo o mundo devido a acidentes em vias públicas e mais de 50 milhões ficam feridas, por isso, os acidentes decorrentes do trânsito são um dos principais fatores de risco à vida e à saúde humana (OMS, 2004).

#### 1.1.3.4. Poluição da água

A contaminação da água a partir de atividades de operação de rodovias se dá por 3 fatores: instalações ao longo da rodovia, que gerem despejo de efluentes sanitários, graxas e óleos; precipitação de resíduos sólidos, hidrocarbonetos, aldeídos, assim como outros materiais sólidos como borracha de pneus e lonas de freios; e acidentes com cargas perigosas (BRASIL, 2005).

Além disso, as emissões atmosféricas derivadas de rodovias contribuem para a deposição seca e úmida de poluentes sobre a superfície de corpos hídricos próximos. Os poluentes na forma gasosa e de partículas são derivados das emissões de escapamento, vazamentos de combustíveis e lubrificantes, componentes como pneus, freios e rodas, e desgaste da rodovia (GOONETILLEKE; WIJESIRI; BANDALA, 2017).

#### 1.1.3.5. Poluição do ar

Em áreas urbanas um dos impactos ambientais resultantes da operação de rodovias é a poluição do ar proveniente do tráfego de veículos em rodovias (MUGICA et al., 2009; PERRONE et al., 2012). No ambiente urbano, carros de particulares, os chamados carros de passeio são as principais fontes de emissões atmosféricas, principalmente em áreas metropolitanas que sofrem com congestionamentos (BEL; HOLST, 2018).

Segundo dados do Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FEEMA, 2004), o transporte rodoviário é o principal responsável pela poluição do ar no município do Rio de Janeiro, uma vez que os motores a combustão de veículos são fontes que contribuem de forma significativa para a poluição atmosférica (INEA, 2016).

As emissões atmosféricas provenientes da queima incompleta de combustíveis fósseis e derivados do petróleo produzem poluentes de duas formas:

gasosa e particulada. Os principais poluentes gasosos são: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), aldeídos, material particulado (MP), carbono elementar (C), hidrocarbonetos totais (HCT), metano (CH<sub>4</sub>) e hidrocarbonetos não metano (INEA, 2016). Já as partículas, chamadas coletivamente de material particulado possuem, principalmente, diâmetros de até 2,5µm, o material particulado fino, e de até 10µm, o particulado grosseiro (BEL; HOLST, 2018).

As consequências da poluição do ar por material particulado são: alteração da visibilidade nas estradas, podendo causar acidentes; efeitos sobre a saúde, como tosse, irritação dos olhos; e alteração da qualidade de vida, deposição de partículas sobre roupas e alimentos (BRASIL, 2005; FINLAYSON-PITTS, 2010; SEINFELD; PANKOW, 2003).

Em suma, os principais efeitos da poluição do ar proveniente da operação de rodovias se manifestam: na saúde da população exposta, por meio de alergias, doenças pulmonares e intoxicações; na biota, perda de folhagem, deposição de resíduos, morte e fuga de espécimes de fauna, etc; nos monumentos e sítios históricos, antropológicos, culturais, por meio de corrosão e deposição; nos investimentos de terceiros, por meio de fumaça, deposição de resíduos e corrosão (BRASIL, 2005; FINLAYSON-PITTS, 2010; KIM; KABIR; KABIR, 2015).

## 1.2. Licenciamento ambiental

O Licenciamento Ambiental no Brasil tem início por influência dos ideais mundialmente difundidos na Conferência de Estocolmo, em 1972, pois os órgãos internacionais de fomento, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Banco Mundial, começaram a exigir a elaboração de estudos ambientais para liberação do financiamento de grandes obras, como a Usina Hidrelétrica de Sobradinho (BA) no rio São Francisco (DIAS, 2011; FONSECA; SÁNCHEZ; RIBEIRO, 2017).

Entretanto, o processo de licenciamento ambiental só começou a se encorpar como instrumento efetivo de gestão ambiental de fato, quando os órgãos ambientais estaduais foram criados, tendo destaque os órgãos pioneiros dos estados de São

Paulo e Rio de Janeiro, a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico (CETESB), em 1968, e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), em 1975, respectivamente. Ambos os órgãos nasceram com o objetivo principal de combater a poluição industrial, nos compartimentos, ar, água e solo, estruturando o chamado Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP), que posteriormente, em 2009, evoluiu para o Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) (PHILIPPI JR et al, 2014).

Em 1981, com a promulgação da Lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, é feita a primeira menção explícita ao licenciamento ambiental na legislação ambiental brasileira. O inciso IV do art. 9° cita o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981).

O licenciamento ambiental de acordo com o texto do art. 1º, inciso I, da Resolução CONAMA N° 237/1997, que dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, consiste no:

procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (BRASIL, 1997).

O resultado final do processo de licenciamento ambiental é a emissão ou não de uma licença ambiental. Juridicamente, Édis Milaré (2013) conceitua a licença como um ato administrativo vinculado e definitivo, ou seja, o Poder Público tem que fornecê-la obrigatoriamente, desde que estejam atendidos todos os requisitos legais pertinentes, não havendo discricionariedade por parte do Órgão Público. Portanto, diferente de uma autorização, uma vez que o empreendedor comprove o atendimento de todas as exigências legais não pode ser negado o seu direito de executar determinada atividade, com base na discricionariedade (MILARÉ, 2013).

Licença Ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA N° 237, de 19 de dezembro de 1997, é:

ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser

obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (CONAMA, 1997).

Nessa definição aparecem as palavras condição e restrição, ambas remetem às famosas condicionantes de licença ambiental, que como a própria palavra sugere são condições que devem, necessariamente, serem seguidas pelo empreendedor para que a licença ambiental emitida pelo órgão competente seja válida.

As licenças ambientais segundo o art. 8º da Resolução CONAMA N° 237/97 podem ser de três tipos:

I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI) – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO) – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Parágrafo único - As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

A nível estadual o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), possui um sistema de licenciamento ambiental com mais 5 tipos de licença ambiental, são elas: Licença Ambiental Simplificada (LAS), Licença Prévia e de Instalação (LPI), Licença de Instalação e de Operação (LIO), Licença Ambiental de Recuperação (LAR) e Licença de Operação e Recuperação (LOR) (RIO DE JANEIRO, 2009).

O processo de licenciamento ambiental, geralmente, segue o disposto no art. 10 da Resolução CONAMA N° 237/97, com as seguintes etapas:

I - Definição pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais, necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida;

II - Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes, dando-se a devida publicidade;

III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias;

IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, uma única vez, em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente;

VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, decorrentes de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

VII - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;

VIII - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.

A promulgação da Lei Complementar N° 140, de 8 de dezembro de 2011 (LC 140/2011), trouxe um pouco mais de clareza sobre as competências relacionadas ao licenciamento ambiental. A partir dessa Lei a competência do licenciamento foi desmembrada entre os órgãos das esferas federal, estadual e municipal, utilizando critérios de amplitude dos impactos provenientes da atividade ou empreendimento, porte do empreendimento e potencial poluidor, de modo que uma única esfera seja responsável por um licenciamento.

Segundo o Capítulo III da LC 140/2011:

- a) Compete à União licenciar atividades ou empreendimentos que se desenvolvam ou localizem entre o Brasil e um país limítrofe, entre dois ou mais estados, em Terras Indígenas, entre outros (inciso XIV, art. 7°).
- b) Aos municípios compete licenciar atividades ou empreendimentos que causem impacto de âmbito local (inciso XIV, art. 9°).

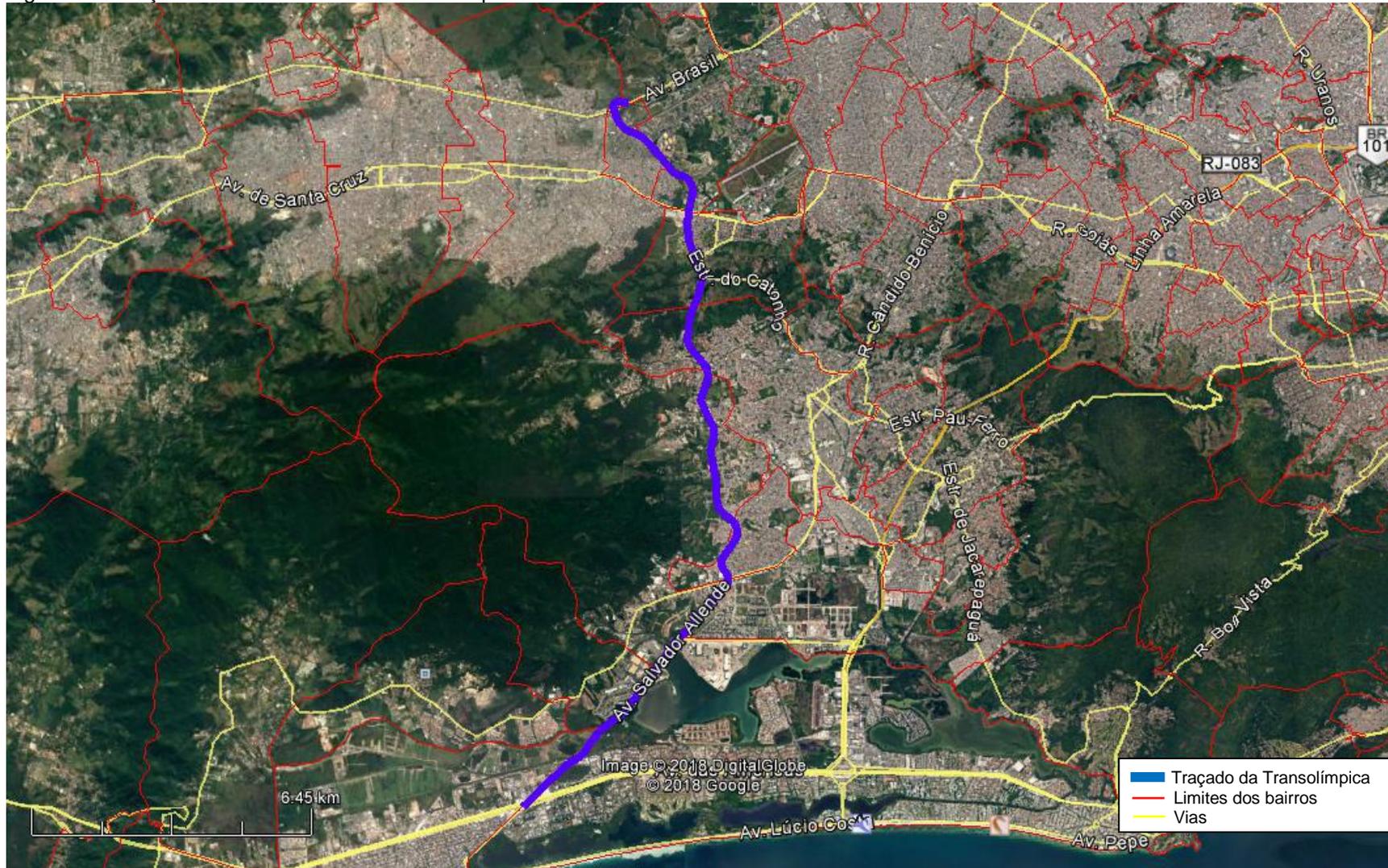
c) Aos Estados cabe o licenciamento de atividades ou empreendimentos que não constem como competência da União e dos municípios (inciso XIV, art. 8º).

#### 1.2.1. Licenciamento ambiental da Transolímpica

No dia 04 de julho de 2012 começaram as obras do Corredor de ônibus expresso BRT (*Bus Rapid Transit*) chamado Transolímpica e no dia 09 de agosto de 2016 o Corredor foi inaugurado (G1, 2012, 2016).

A Transolímpica (Figura 1-2) é considerada um dos principais legados Olímpicos no campo da mobilidade urbana. A via, que possui 26 quilômetros de extensão, liga a Barra da Tijuca a Deodoro por meio de duas pistas com três faixas de rolamento cada, destinadas a veículos e com duas faixas cada, destinadas aos ônibus do sistema BRT. Há restrição de tráfego apenas para cargas perigosas e veículos que tenham mais do que 4,5 metros de altura. Seu traçado possui 18 estações e 3 terminais e tem 13 quilômetros sobre administração e operação, por concessão de 35 anos, da Concessionária Via Rio S.A. (VIA RIO [s.d]).

Figura 1-2: Traçado do Corredor Viário Transolímpica.



Fonte: Adaptado de Peixoto (2018).

De acordo com o art. 2º, I da Resolução CONAMA N° 001, de janeiro de 1986, que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental, o licenciamento ambiental de estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento depende da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA (CONAMA, 1986).

O EIA e o RIMA são estudos fundamentais para avaliar os impactos relacionados com a implantação e operação de empreendimentos efetiva ou potencialmente poluidores, compondo o processo de licenciamento ambiental.

Por isso, em 25 de março de 2011, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, empreendedor responsável pela Transolímpica, abriu o processo administrativo de licenciamento ambiental (E-07/502.825/2011) da Transolímpica junto ao Instituto Estadual do Ambiente, por meio do requerimento da licença prévia (INEA, 2013).

No processo de requerimento da licença prévia, o INEA emitiu a Instrução Técnica CEAM N°10/2011 que trata sobre a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para as obras de implantação do Corredor Viário Transolímpica. A instrução técnica forneceu os critérios para a elaboração do estudo abordando os itens obrigatórios de seu conteúdo, em conformidade com a Resolução CONAMA N° 01/86, a Lei Estadual 1.356/88 e a Diretriz DZ 041 R.13 (INEA, 2011).

O EIA e o RIMA foram concluídos em maio de 2012 pela empresa MRS Estudos Ambientais e foram protocolados junto ao INEA no mesmo ano. O órgão ambiental aceitou o estudo para análise em julho de 2012. No dia 22 de outubro de 2012 foi realizada a Audiência Pública para que fossem feitas considerações e manifestações acerca do empreendimento (INEA, 2013).

Apesar do Grupo de Apoio Técnico Especializado (GATE) do Ministério Público do Rio de Janeiro (MPRJ) ter emitido o Parecer Técnico-Jurídico N° 008/2012, em outubro de 2012, apontando uma série de omissões, inconsistências e incorreções no EIA, que segundo o órgão, impediriam a correta previsão e avaliação dos impactos socioambientais do empreendimento, o INEA atestou a viabilidade ambiental do empreendimento emitindo o Parecer Técnico de licença prévia CEAM N° 06/2013 (MPRJ, 2012). Esse Parecer, além de concluir sobre a viabilidade ambiental do Corredor

Viário, contém a análise do EIA, as manifestações da Audiência Pública, as manifestações ou anuências de órgãos públicos, as medidas mitigadoras e condicionantes ambientais relativas aos impactos ambientais identificados (INEA, 2013).

Posteriormente, no dia 11 de março de 2013, a licença prévia, LP N° IN022622, foi emitida pelo INEA aprovando a implantação do Corredor Transolímpica. Essa licença possuía 07 condicionantes específicas, dentre elas, destaca-se, o item 5.18 da condicionante N° 5 que solicitava a apresentação de:

Projeto de monitoramento do material particulado inalável (PM-10), nas seguintes localidades: Condomínio Bosque da Boiúna, Condomínio Golden Dreams, Curicica e Estrada dos Bandeirantes. O monitoramento deverá ser feito em cada ponto com dois amostradores de partículas inaláveis (PM-10), que funcionarão continuamente, em dias alternados, de maneira de cobrir todos os dias da semana por um período de 24 horas, inclusive no período de pré-obra (três meses antes do início das obras) até a conclusão do corredor expresso.

A licença prévia também previu no seu item 5.1 da condicionante N° 5:

O detalhamento dos programas propostos no EIA/RIMA, que deverão ser apresentados com metas e cronogramas previstos até a sua operação, bem como todas as restrições e condições contidas nessa licença ambiental.

Atendendo esse item, a empresa MRS Estudos Ambientais Ltda elaborou o Plano Básico Ambiental (PBA) da Transolímpica. No documento foram apresentados 16 Programas Ambientais, são eles:

- Programa de Gestão Ambiental (PGA);
- Programa Ambiental de Construção (PAC);
- Programa de Controle de Ruídos;
- Programa de Gerenciamento de Efluentes (PGE);
- Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS);
- Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar;
- Programa de Levantamento de Passivos;
- Programa de Compensação Ambiental;
- Programa de Recuperação Paisagística;
- Programa de Compensação de Supressão Vegetal;
- Programa de Afugentamento e Resgate de Fauna;
- Programa de Comunicação Social;
- Programa de Educação Ambiental (PEA);
- Programa de Mitigação de Impactos no Sistema Viário;
- Programa de Auxílio à População Desapropriada; e
- Programa de Prospecção e Monitoramento Arqueológico.

No dia 14 de março de 2013 foi requerida junto ao INEA a licença de instalação do Corredor Transolímpica e no 18 de abril de 2013 foi emitido, pelo INEA, o Parecer Técnico de licença de instalação N° 18/13 referente ao

processo E-07/0023178/2013. No Parecer o INEA analisou todos os Programas Ambientais listados no PBA, fazendo as considerações consideradas necessárias. Além disso, o órgão ambiental verificou se foram cumpridas todas as condicionantes ambientais presentes na licença prévia LP N° IN022622 (INEA, 2013).

Após análise, a equipe técnica do INEA, deferiu a concessão da licença de instalação (LI) do Corredor Viário Transolímpica, considerando que os impactos ambientais do empreendimento poderiam ser mitigados, desde que fossem cumpridas integralmente todas as condicionantes estipuladas e que o empreendimento contribuía positivamente para o desenvolvimento da cidade do Rio de Janeiro.

No dia 19 de abril de 2013 foi emitida a licença de instalação, LI N° IN022989 do empreendimento, válida por 4 anos e contendo 43 condicionantes ambientais. Ressalta-se a condicionante N° 34, que trata sobre o monitoramento de material particulado, a saber:

Iniciar no prazo máximo de 30 (trinta) dias, as ações de monitoramento da qualidade do ar nos 4 (quatro) pontos de amostragens, com a operação de dois amostradores de partículas inaláveis (PM10), que funcionarão continuamente, em dias alternados, de maneira a cobrir todos os dias da semana, por um período de 24 horas, até a conclusão das obras do corredor expresso. Os resultados das ações de monitoramento da qualidade do ar deverão ser apresentados mensalmente ao órgão ambiental.

Após a licença de instalação ser emitida, de acordo com o rito normal do processo de licenciamento ambiental, deveria ser requerida a licença de operação (LO). Entretanto, no ano de 2015, antes mesmo da conclusão das obras da Transolímpica, a Secretaria Municipal de Obras do Rio de Janeiro, apresentou o Ofício N° 356/SMO/GAB ao INEA solicitando a emissão de uma declaração ou certidão de inexigibilidade de licenciamento para operação da Via. Tal solicitação foi justificada com base em diversos motivos como: a principal fonte de poluição atmosférica não ser a Via em si e sim os veículos que iriam trafegar por ela; e a ausência de licença de operação em outras vias expressas da cidade, como a Linha Amarela, Transoeste, entre outras.

O INEA, em resposta no ano de 2016, por meio de um Parecer Jurídico indeferiu a solicitação realizada mediante o Ofício N° 356/SMO/GAB, devido a uma série de pontos abordados. Um dos principais motivos foi que apesar da fonte de poluição da Via durante a operação serem os veículos que trafegam por ela e não a Transolímpica em si, eles quando reunidos em grande número

em uma determinada área, diariamente, por um longo período de tempo, terão um potencial poluidor significativo.

Em agosto de 2016, as obras para instalação do Corredor Viário Transolímpica foram finalizadas e no dia 26 do mesmo mês foi celebrado o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC.INEA.05/16 –TRANSOLÍMPICA) entre o INEA e a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, representada por sua Secretaria Municipal de Obras, conforme o processo administrativo N° E-07/002.08512/2016.

O referido Termo de Ajustamento de Conduta<sup>1</sup>, TAC.INEA.05/16, tem validade de 2 anos e traz como obrigação da Compromissada, neste caso a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, cumprir as medidas estabelecidas no Plano de Ação presente no documento, tendo como principais pontos a saber:

- Requerer a Licença de Operação do Empreendimento junto ao INEA;
- Atender ao plano de monitoramento da qualidade do ar proposta no Plano Básico Ambiental (PBA) durante a operação do empreendimento;
- Manter e operar a rede semiautomática de monitoramento da qualidade do ar durante a fase de operação, conforme Programação Anual de Amostragens estabelecido pelo INEA. Cada ponto de monitoramento deverá ser composto por uma estação semiautomática de medição de material particulado em suspensão na atmosfera, na fração PM10 e PM2,5. Os resultados do monitoramento da qualidade do ar deverão atender a representatividade estatística mínima de 75% de dados válidos, para cada parâmetro;
- Enviar mensalmente os resultados do monitoramento à Central Telemétrica da GEAR/INEA, via FTP (*File Transfer Protocol*);
- Manter programa de monitoramento e controle do atropelamento da fauna silvestre e sinantrópica.

Atualmente, a Transolímpica encontra-se em funcionamento sem Licença de Operação emitida até o momento e as exigências presentes no Plano de Ação do TAC estão sendo cumpridas pela Concessionária Via Rio S.A., responsável por administrar a Transolímpica e pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

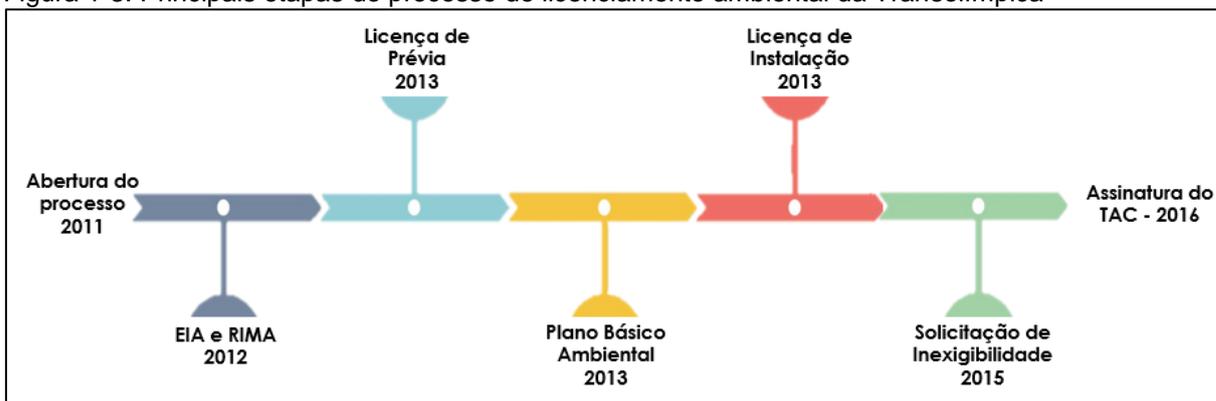
No dia 26 de agosto de 2018 terminaram os 2 anos de validade do TAC e apesar de ter sido solicitada um Termo Aditivo para o presente TAC o mesmo ainda não foi assinado.

A figura a seguir (Figura 1-3) resume as principais etapas do processo de licenciamento ambiental da Transolímpica.

---

<sup>1</sup> Termo de Ajustamento de Conduta consiste em um acordo celebrado entre o poder público e o empreendedor, visando impedir a continuidade da situação de ilegalidade, reparar o dano ao direito coletivo e evitar ações judiciais (MILARÉ, 2013).

Figura 1-3: Principais etapas do processo de licenciamento ambiental da Transolímpica



### 1.3. Qualidade do ar e efeitos ambientais

#### 1.3.1. Qualidade ambiental do ar

A qualidade ambiental é citada diversas vezes no texto da Política Nacional do Meio Ambiente, Lei N° 6.938/81, como, por exemplo, no seu Art. 2° o qual trata a qualidade ambiental como condição para propiciar a vida, tal como a Constituição Federal de 1988 trata o meio ambiente ecologicamente equilibrado como essencial à sadia qualidade de vida. Para isso, a Lei N° 6.938/81 traz em seu Art. 9°, inciso I, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental como um instrumento (BRASIL, 1981).

Um dos principais problemas ambientais é a poluição, definida como a introdução no ambiente de qualquer forma de matéria ou energia que possa afetar negativamente o homem ou outros organismos (SÁNCHEZ, 2013).

Em relação ao ar, a poluição é considerada um problema global que acomete, principalmente, as metrópoles, uma vez que possuem grandes concentrações de poluentes na atmosfera. Poluente do ar pode ser conceituado como qualquer gás ou partícula que em concentrações altas o suficiente pode ser danoso à vida, ao ambiente natural ou artificial. Esses poluentes podem se originar tanto de fontes naturais como antrópicas (PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006).

A Resolução CONAMA N° 491/2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, no art 2º, inciso I, considera poluente atmosférico:

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

Os poluentes de origem antrópica podem ser provenientes tanto de fontes fixas, indústrias, usinas geradoras de energia e fazendas como de fontes móveis representadas por qualquer tipo de transporte que queime combustível fóssil, como carros, caminhões, navios, trens, etc (PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006).

A EPA (*Environmental Protection Agency*), órgão ambiental dos Estados Unidos, designa seis poluentes primários, ou seja, poluentes que são emitidos para a atmosfera diretamente a partir de várias fontes, são eles:

- Monóxido de Carbono;
- Hidrocarbonetos;
- Dióxido de enxofre;
- Óxidos de nitrogênio;
- Chumbo; e
- Material Particulado.

Como o presente estudo terá como foco o material particulado esse poluente será mais abordado no item 1.3.2.

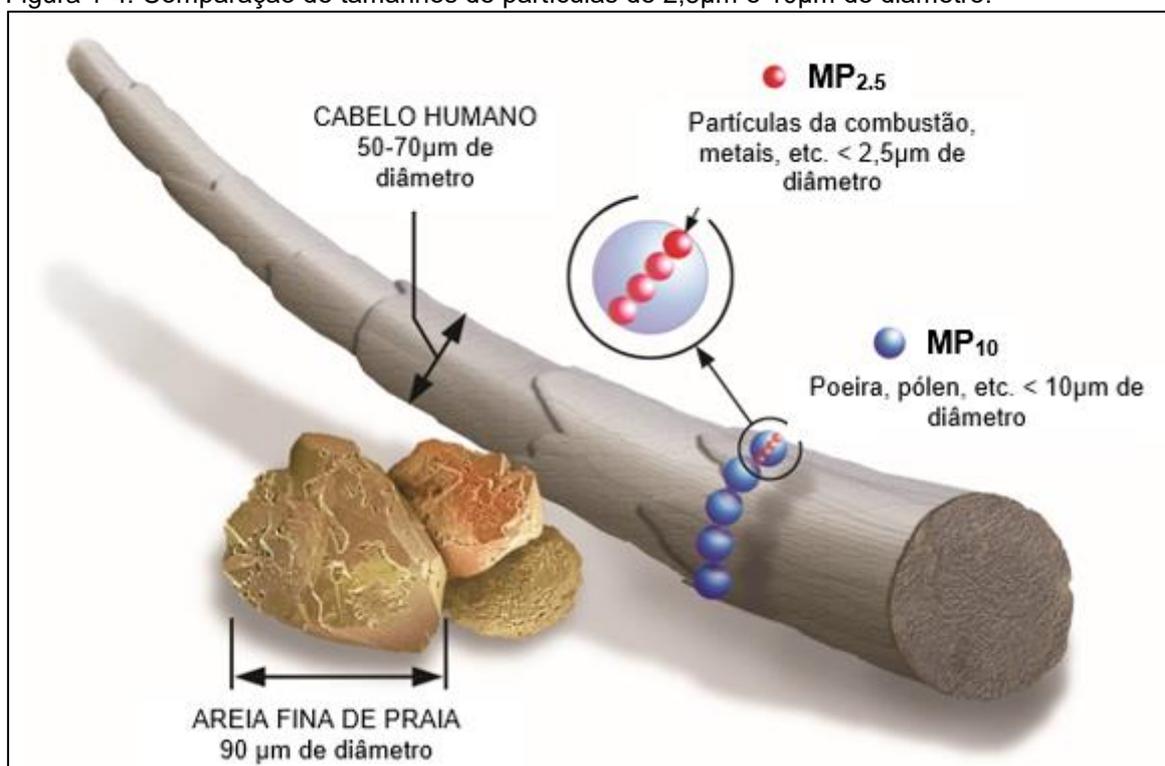
### 1.3.2. Material particulado (MP)

O material particulado (MP) consiste em uma mistura de partículas sólidas e gotículas encontradas em suspensão no ar. Algumas dessas partículas podem ser observadas a olho nu, como a poeira e a fumaça e outras apenas usando microscópios (EPA, 2016).

O MP é distribuído em quatro classes com base no diâmetro aerodinâmico ( $d_a$ ) das partículas, são elas: MP<sub>0,1</sub>, com diâmetro  $\leq 100\text{nm}$  conhecidas como ultrafinas; MP<sub>2,5</sub>, com diâmetro  $\leq 2,5\mu\text{m}$ , as partículas finas; MP<sub>10</sub>, chamado material particulado grosseiro, apresentando partículas com

diâmetro  $\leq 10\mu\text{m}$ ; e PTS, as Partículas Totais em Suspensão de diâmetro  $\leq 50\mu\text{m}$  (JUDA-REZLER; REIZER; OUDINET, 2011). As partículas de  $\text{MP}_{2,5}$  a título de comparação possuem um diâmetro cerca de 30 vezes menor do que o diâmetro de um fio de cabelo humano (Figura 1-4).

Figura 1-4: Comparação de tamanhos de partículas de  $2,5\mu\text{m}$  e  $10\mu\text{m}$  de diâmetro.



Fonte: Adaptado de EPA, 2016.

A composição do material particulado se apresenta bastante diversificada, dependendo da fonte. Partículas orgânicas derivam da queima de combustíveis fósseis, como tráfego de veículos ou aquecimento residencial, já as partículas inorgânicas, são provenientes de poeira e agricultura (BOURDREL et al., 2017).

Além disso, o MP pode carregar em sua superfície uma série de compostos e substâncias químicas, como metais, sais marinhos, íons inorgânicos solúveis em água, como os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), entre outros (CHERNYSHEV et al., 2018; LOYOLA et al., 2012a; MING et al., 2017; SOSA et al., 2017).

As partículas grossas (PTS e  $\text{MP}_{10}$ ) são produzidas por fontes naturais tais como o desgaste mecânico de materiais da crosta terrestre, como solo e rochas, o aerossol marinho e pólen; e fontes antrópicas, como a poeira de

estradas, os desgastes dos pneus e sistemas de freio dos veículos e atividades industriais como, por exemplo, as indústrias de carvão, cimentos, mineração e concreto (KIM et al., 2014; NAN JIANG et al., 2017).

As partículas finas (MP<sub>2,5</sub>), por sua vez, têm como fontes, principalmente atividades antrópicas, como as emissões veiculares, industriais e queima de biomassa. Esse tipo de MP é comumente carregado de compostos tóxicos, como metais e compostos inorgânicos (HOU et al., 2018; TAO et al., 2017; ZHANG et al., 2015).

A Resolução CONAMA N° 491/2018 conceitua MP<sub>2,5</sub> como 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.

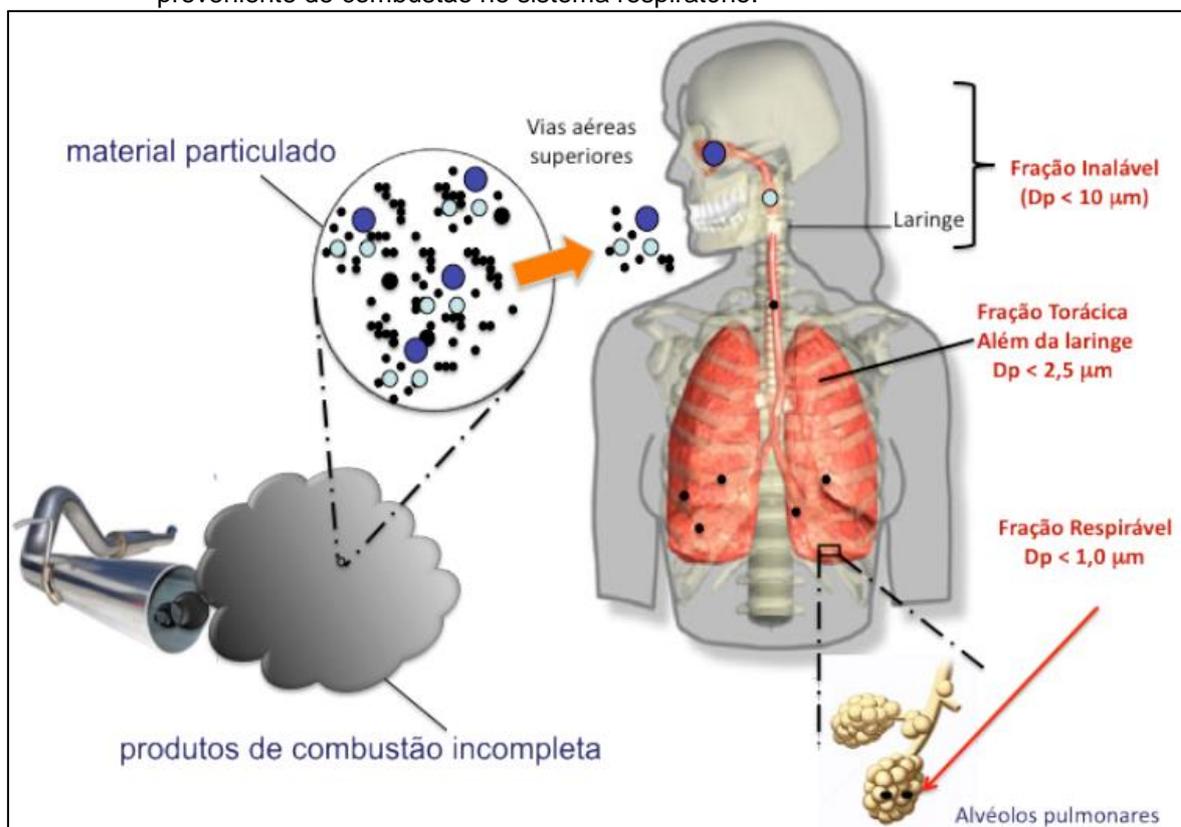
### 1.3.3. Efeitos da poluição do ar por MP<sub>2,5</sub>

Em áreas urbanas a combustão e as emissões relacionadas ao tráfego de veículos representam as principais fontes primárias de emissão de material particulado para a atmosfera (SQUIZZATO et al., 2017).

Estudos mostram que as partículas finas correspondentes ao MP<sub>2,5</sub>, em 2010, foram responsáveis por mais de 3 milhões de mortes prematuras por ano no mundo (CESARI et al., 2018). No ano de 2015, segundo dados do estudo realizado pela *Global Estimated Deaths* foram estimadas 6,5 milhões de mortes causadas por fatores de risco relacionados à poluição do ar (LANDRIGAN et al., 2017).

Quando o MP<sub>2,5</sub> entra em contato com as vias respiratórias pode alcançar regiões profundas do pulmão (Figura 1-5), causando sérios problemas de saúde. Os efeitos adversos têm sido atribuídos ao potencial toxicológico dos compostos químicos associados às partículas (MING et al., 2017).

Figura 1-5: Representação esquemática das áreas de depósito de material particulado proveniente de combustão no sistema respiratório.



Fonte: GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011.

A exposição às partículas em suspensão no ar pode levar a uma série de efeitos na saúde, principalmente, problemas respiratórios e cardíacos. As exposições por longo período, como as de pessoas que vivem durante anos próximas a locais com altos níveis de material particulado em suspensão têm sido associadas a problemas como redução da função pulmonar, desenvolvimento de bronquite crônica e até a morte prematura. Já as exposições de curta duração, relativas a horas ou dias podem agravar doenças pulmonares, causando crises de asma e bronquite aguda, assim como aumentar a susceptibilidade a infecções respiratórias (USEPA, 2003).

De acordo com estudos epidemiológicos realizados em países da União Europeia, o aumento da concentração de material particulado está diretamente relacionado com o aumento da mortalidade da população, para  $MP_{2,5}$  há uma diminuição de 8,6 meses de vida em média (XING et al., 2016).

Um estudo conduzido por Zanobetti et al. (2009) demonstrou que quando a concentração diária de  $MP_{2,5}$  aumentou  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  a taxa de

prevalência de doenças respiratórias aumentou 2,07% em comunidades dos Estados Unidos.

Liang et al. (2018), a partir de um estudo com séries temporais, concluíram que a exposição aguda a  $MP_{2,5}$ , em Hong Kong de 2011 a 2015, aumentou o risco de mortalidade e perda de anos de vida por infarto agudo do miocárdio (LIANG; QIU; TIAN, 2018).

Em 2013, um estudo de meta análise indicou que com um aumento anual de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  na concentração de  $MP_{2,5}$  há um aumento médio de 11% na mortalidade associada a doenças cardiovasculares (BOURDREL et al., 2017).

Nos Estados Unidos, pesquisadores utilizaram testes com modelos matemáticos para estimar, que no mundo, a poluição do ar por  $MP_{2,5}$  contribui para aproximadamente 3,2 milhões de casos de diabetes. De acordo com o estudo, o risco de diabetes é significativo mesmo em concentrações de  $MP_{2,5}$  recomendadas pela Organização Mundial da Saúde ( $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (MPH et al., 2017).

No Brasil, um estudo realizado por Requia et al. (2016), encontrou uma correlação significativa entre o risco de desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias e a exposição a emissões veiculares, as quais têm como um dos principais poluentes o material particulado ( $MP_{2,5}$ ). O estudo associou, através de análises estatísticas, as emissões veiculares (material particulado, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, metano, e hidrocarbonetos não metano) com os dados de admissões hospitalares por conta de doenças cardiovasculares de 5570 municípios, no período de 2001 a 2012.

#### 1.4. Legislação de padrões de qualidade do ar

Segundo o inciso II, do art. 2º da Resolução CONAMA N° 491/2018, padrão de qualidade do ar é:

um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.

Em se tratando da qualidade do ar, os Estados Unidos (EUA) por meio da sua agencia ambiental, *Environmental Protection Agency* (EPA), foi o país

pioneiro na definição de padrões de poluentes no ar. A Lei chamada de *Clean Air Act*, de 1990 definiu padrões primários e secundários para assegurar a qualidade do ar (EPA, 2018).

De acordo com a última revisão, realizada pela EPA em 2012, no *National Ambient Air Quality Standard* para  $MP_{2,5}$ , o padrão anual de concentração é  $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Enquanto o padrão diário, obtido pela média de 24 horas, permanece com a concentração máxima de  $35 \mu\text{g m}^{-3}$  (EPA, 2017).

Na União Europeia a Diretiva 2008/50/EC do Conselho Europeu estabeleceu limites de exposição e metas de redução relativas à concentração de  $MP_{2,5}$ . Segundo essa legislação até 2015 os países membros da União Europeia deveriam ter como limite a concentração média anual de  $MP_{2,5}$  de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  e até o ano de 2020 o limite anual permitido deve ser de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  (MARCO; BO, 2013).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) atualizou em 2005 suas Diretrizes de Qualidade do Ar que são consideradas referências sobre as consequências para a saúde da exposição à poluição atmosférica. Após análise de estudos epidemiológicos sobre efeitos adversos para saúde em decorrência da exposição de curta e longa duração a  $MP_{2,5}$ , especialistas da OMS indicaram os valores limites de concentração para que não ocorram efeitos adversos na saúde (KRZYZANOWSKI; COHEN, [s.d.]). O limite de concentração média anual de  $MP_{2,5}$  estabelecido pela OMS é de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ , enquanto o limite de concentração média diária (24 horas) é de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ . Apesar dos limites recomendados, a OMS ressalta que não há valor de referência que ao ser atingido irá fornecer total proteção à saúde humana (Air quality in Europe-2017 report, [s.d.]; KRZYZANOWSKI; COHEN, [s.d.]).

No Brasil, a nível federal, os limites de emissões de poluentes atmosféricos eram estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 3, de 28 de junho de 1990, que dispunha sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional da Qualidade do Ar (PRONAR). Essa Resolução não estabelecia padrões de concentração para  $MP_{2,5}$ , apenas para o  $MP_{10}$  (CONAMA, 1990).

O estado do Rio de Janeiro não possui legislação própria sobre padrões de emissões atmosféricas. Já o estado de São Paulo por meio do Decreto Estadual N° 59.113/2013 estabeleceu como padrão de concentração média

anual para  $MP_{2,5}$  o valor de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  e como padrão de concentração média diária (24 horas) o valor  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  (CETESB [s.d]).

No dia 19 de novembro de 2018 foi editada a Resolução CONAMA N° 491/2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar e revoga a Resolução CONAMA N° 03/1990. Essa nova legislação, que tem como referência os valores guia de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no ano de 2005, introduziu a nível federal padrões de emissões de  $MP_{2,5}$ . Para o período de 24 horas o padrão de qualidade do ar intermediário, vigente, é de  $60 \mu\text{g m}^{-3}$ , enquanto o padrão de concentração média anual é de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  (CONAMA, 2018). Cabe ressaltar, que a referida Resolução traz esses valores como Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-1), ou seja, padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas, que foram adotados quando a mesma entrou em vigor. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-2, PI-3) e Final (PF) serão adotados, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, de acordo com o texto dessa legislação (Tabela 1-1). O PF anual e diário irão seguir os valores recomendados pela OMS.

Tabela 1-1 Padrões de emissão de  $MP_{2,5}$  instituídos pela Resolução CONAMA N° 491/2018

Poluente	Período de referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )			
Material particulado - $MP_{2,5}$	24 horas	60	50	37	25
	Anual	20	17	15	10

Além disso, essa nova legislação ainda traz a seguinte equação de cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr):

Figura 1-6: Equação de cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

$$\text{IQAr} = I_{\text{ini}} + \frac{(I_{\text{fin}} - I_{\text{ini}})}{(C_{\text{fin}} - C_{\text{ini}})} (C - C_{\text{ini}})$$

Onde:

$I_{\text{ini}}$  = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

$I_{\text{fin}}$  = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

$C_{\text{ini}}$  = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

$C_{\text{fin}}$  = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

$C$  = Concentração medida do poluente

Fonte: Resolução CONAMA N° 491/18

De acordo com os órgãos ambientais do Rio de Janeiro, a Secretaria Municipal de Conservação e Meio Ambiente do Rio de Janeiro (SECONSERMA) e o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o Índice de Qualidade do Ar (IQAr) é um indicador sintético que visa orientar o público em geral para as condições do ar atmosférico com os dados provenientes das estações de monitoramento. Essa metodologia tem como base as recomendações da CETESB, órgão ambiental do estado de São Paulo que vem monitorando a qualidade do ar desde 1980 (RIO DE JANEIRO, 2012).

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado por meio de levantamento bibliográfico, análise documental e de dados secundários relativos à concentração de material particulado nas fases de implantação e operação do Corredor Viário Transolímpica. Os documentos e dados foram obtidos a partir do acervo da empresa Terra Nova Escritório de Projetos Sociais e Ambientais, responsável pela gestão ambiental das obras de implantação do Corredor Viário Transolímpica.

### 2.1. Caracterização da área de estudo

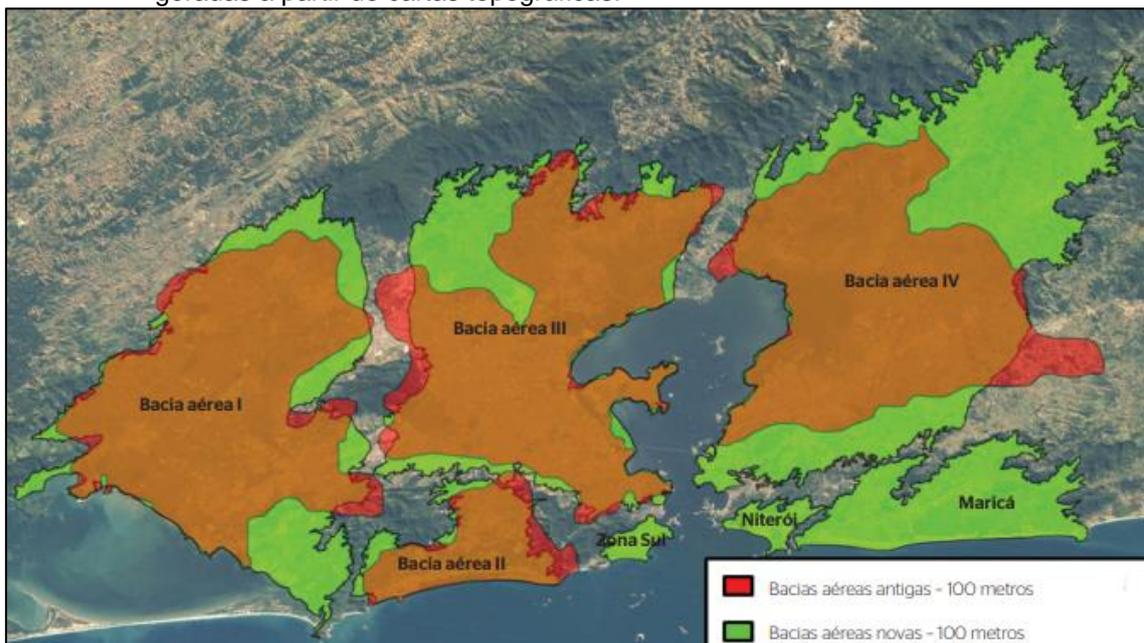
Para este estudo foi considerada a área de influência direta do Corredor Viário Transolímpica descrita para o meio físico como as sub-bacias do rio dos Passarinhos, do rio do Guerenguê, do Arroio Fundo/Rio Grande e dos rios Acari/Pavuna/Meriti, de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (MRS, 2012).

#### 2.1.1. Bacia aérea

De acordo com Martins et al. (2014) o termo bacia aérea deriva do conceito bacia hidrográfica, que em se tratando de ar representa uma área em que fatores como relevo e correntes de vento e a concentração de poluentes determinam a extensão dos impactos ambientais, derivados de atividades humanas, sobre a qualidade do ar.

Segundo este estudo, que propôs uma alteração da extensão das bacias aéreas, a área de estudo encontra-se localizada na Bacia Aérea II (Figura 2-1) que compreende os bairros de Jacarepaguá e Barra da Tijuca e possui uma área de, aproximadamente, 182 km<sup>2</sup> (MARTINS et al., 2014).

Figura 2-1: Representação espacial das novas bacias aéreas geradas a partir das curvas de nível de 100 metros com dados digitais e das antigas bacias aéreas antigas geradas a partir de cartas topográficas.



Fonte: Martins et al. (2014)

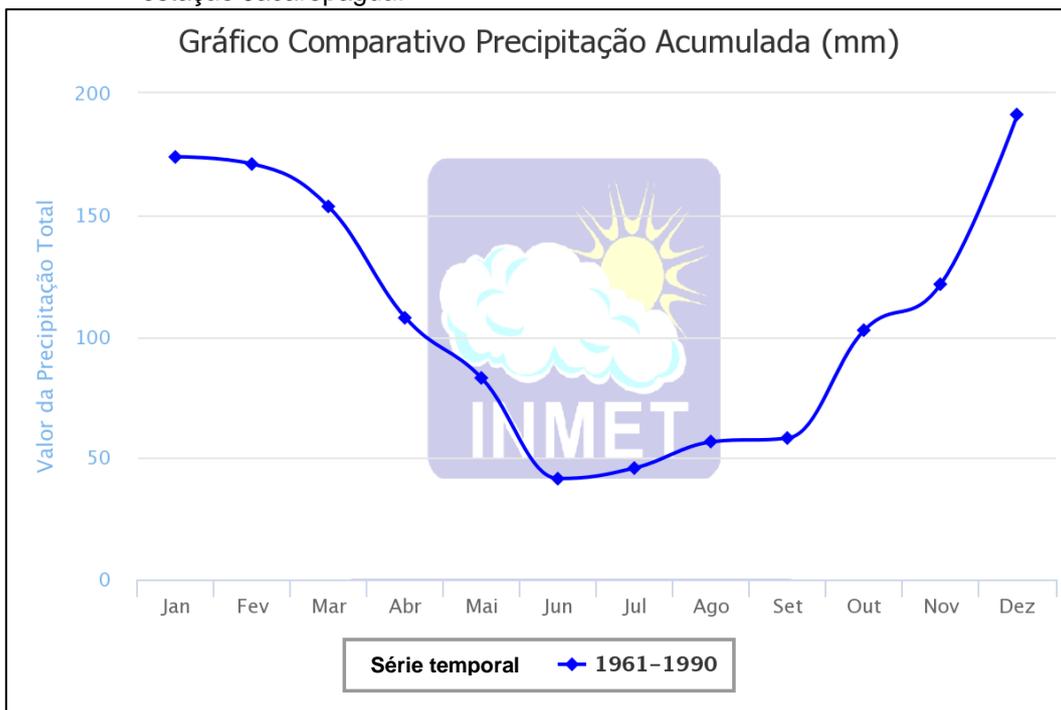
### 2.1.2. Condições climáticas da região

A cidade do Rio de Janeiro é limitada por três maciços, o Maciço da Tijuca que separa as zonas norte e sul, o Maciço da Gericinó-Mendanha, localizado ao norte e o Maciço da Pedra Branca, localizado na porção oeste da cidade (PEREIRA et al., 2009).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o município do Rio de Janeiro se enquadra predominantemente como clima do tipo Am, tropical de monção (ALVARES et al., 2013). O clima de característica quente e úmido, com temperatura variando entre 20°C e 27°C, faz com que os meses mais quentes sejam de novembro a abril e os mais frios de maio a outubro (CÂMARA et al., 2009). A precipitação é mais frequente nos meses de dezembro a março, já o período seco corresponde aos meses de junho a setembro (CÂMARA et al., 2009).

Na área de influência direta do Corredor Transolímpica a precipitação acumulada, entre os anos de 1961 a 1990, variou de 41,50mm em junho a 191,40mm em dezembro (Figura 2-2), atingindo o maior volume nos meses de verão e o menor volume nos meses de inverno.

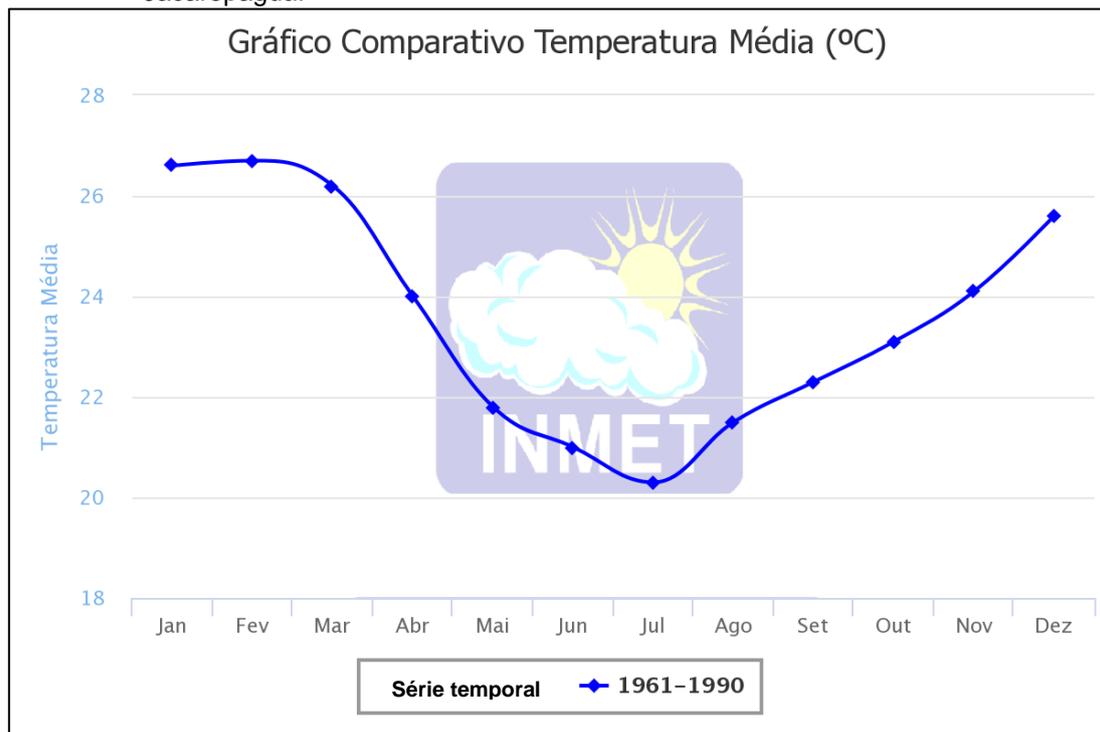
Figura 2-2: Gráfico comparativo de precipitação acumulada (mm) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

A temperatura média medida na estação Jacarepaguá entre os anos de 1961 e 1990 varia em torno de 19°C a 26°C (Figura 2-3), sendo a maior temperatura média observada no verão, em janeiro e a menor temperatura média observada no inverno em julho.

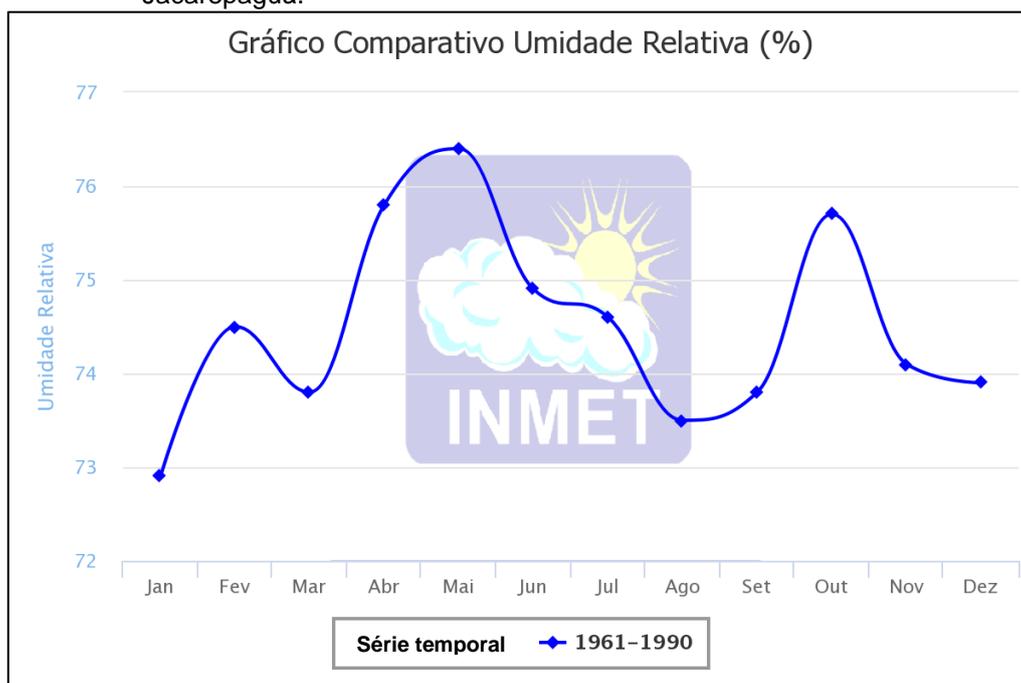
Figura 2-3: Gráfico comparativo da temperatura média (°C) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

Em relação umidade relativa do ar (Figura 2-4) a série histórica de 1961 a 1990 mostra que este parâmetro é bastante variável, na área de influência da Transolímpica, atingindo seus maiores valores no mês de maio (>76%) e os menores valores no mês de janeiro (<73%).

Figura 2-4: Gráfico comparativo da umidade relativa (%) entre 1961 e 1990, na estação Jacarepaguá.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

### 2.1.3. Estações de monitoramento da qualidade do ar

De acordo com o Plano Básico Ambiental (PBA) da Transolímpica, elaborado pela empresa MRS Estudos Ambientais, o Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar tem como objetivo:

O monitoramento da presença das partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis (PI) no período anterior às obras (uma coleta antes do início) e ao longo destas, nos locais mais sensíveis ao impacto, como no Condomínio Bosque da Boiúna, Condomínio Golden Dreams, Curicica e Estrada dos Bandeirantes (MRS, 2013)

Por isso, durante o processo licenciamento ambiental do Corredor Viário Transolímpica, que liga a Avenida Brasil, na altura de Deodoro à Avenida Salvador Allende, na Barra da Tijuca, o INEA estabeleceu a partir da condicionante N° 34 da Licença de Instalação (LI N° IN022989) a necessidade de se:

Iniciar no prazo máximo de 30 (trinta) dias, as ações de monitoramento da qualidade do ar nos 4 (quatro) pontos de amostragens, com a operação de dois amostradores de partículas inaláveis (PM10), que funcionarão continuamente, em dias alternados, de maneira a cobrir todos os dias da semana, por um período de 24 horas, até a conclusão das obras do corredor expresso. Os resultados das ações de monitoramento da qualidade do ar deverão ser apresentados mensalmente ao órgão ambiental (Condicionante N° 34 da LI N° IN022989).

Adicionalmente, como resultado de uma reunião realizada com a Gerência de Qualidade do Ar do INEA (GEAR), no dia 04 de julho de 2013 foi emitida a Notificação N°GEAR1NOT/01025088, solicitando ao empreendedor providências relativas à aquisição de quatro amostradores de partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>) e quatro amostradores de partículas respiráveis (MP<sub>2,5</sub>), bem como determinando que o funcionamento dos equipamentos fosse contínuo, em dias alternados, de maneira a cobrir todos os dias da semana por um período de 24 horas.

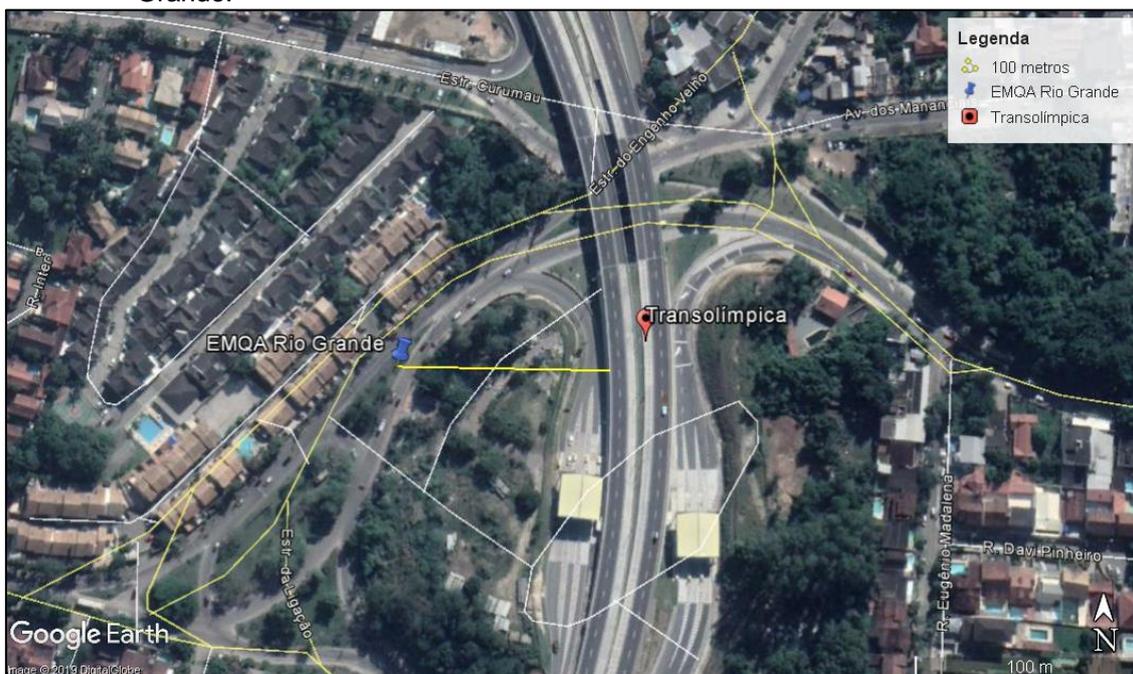
Para este estudo serão abordados apenas o amostradores de partículas respiráveis (MP<sub>2,5</sub>), pois além de monitorarem as partículas que têm maior impacto sobre a saúde humana, esses equipamentos permaneceram instalados nos mesmos pontos durante as fases de implantação e operação da

via. Já os amostradores de partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) foram instalados em pontos diferentes de acordo com o andamento do traçado das obras.

Os quatro equipamentos para amostragem das partículas de  $2,5\mu m$  foram divididos entre dois pontos, de modo que um par ficasse em cada ponto. Os pontos de monitoramento escolhidos foram o Condomínio *Golden Dreams* e o Condomínio Bosque da Boiuna, pois tais locais, segundo o Plano Básico Ambiental, são mais sensíveis ao impacto ambiental negativo proveniente das emissões de  $MP_{2,5}$  (MRS, 2013).

O ponto do Condomínio *Golden Dreams* está localizado na Estrada do Rio Grande, no canteiro central em frente ao Condomínio e é chamado de Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Rio Grande (EMQA Rio Grande). Esse ponto ( $22^{\circ}55'10.67''S$   $43^{\circ}23'55.61''O$ ) dista cerca de 100 metros do traçado da Transolímpica (Figura 2-5).

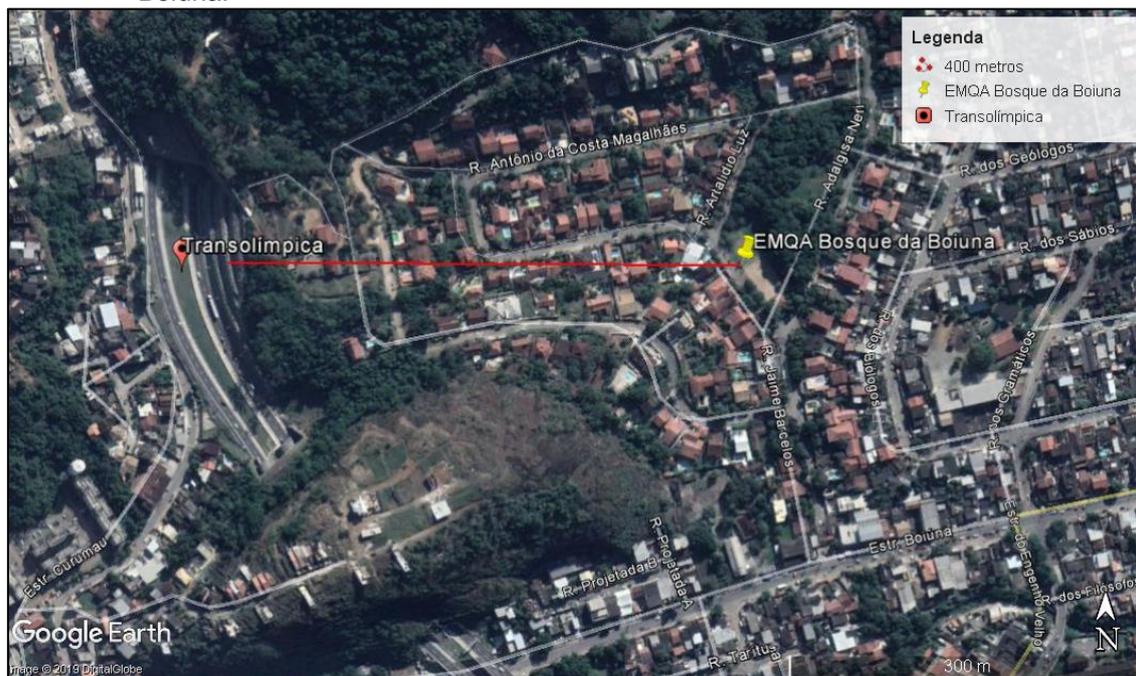
Figura 2-5: Localização geográfica da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Rio Grande.



Fonte: Google Earth Pro, 2019.

Já o ponto do Condomínio Bosque da Boiuna está no localizado no interior desse condomínio em uma praça ao lado de um campo de futebol e é chamado de Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Bosque da Boiuna. A EMQA Bosque da Boiuna ( $22^{\circ}54'50.35''S$   $43^{\circ}23'45.08''O$ ) se encontra a uma distância de aproximadamente 400m da Transolímpica (Figura 2-6).

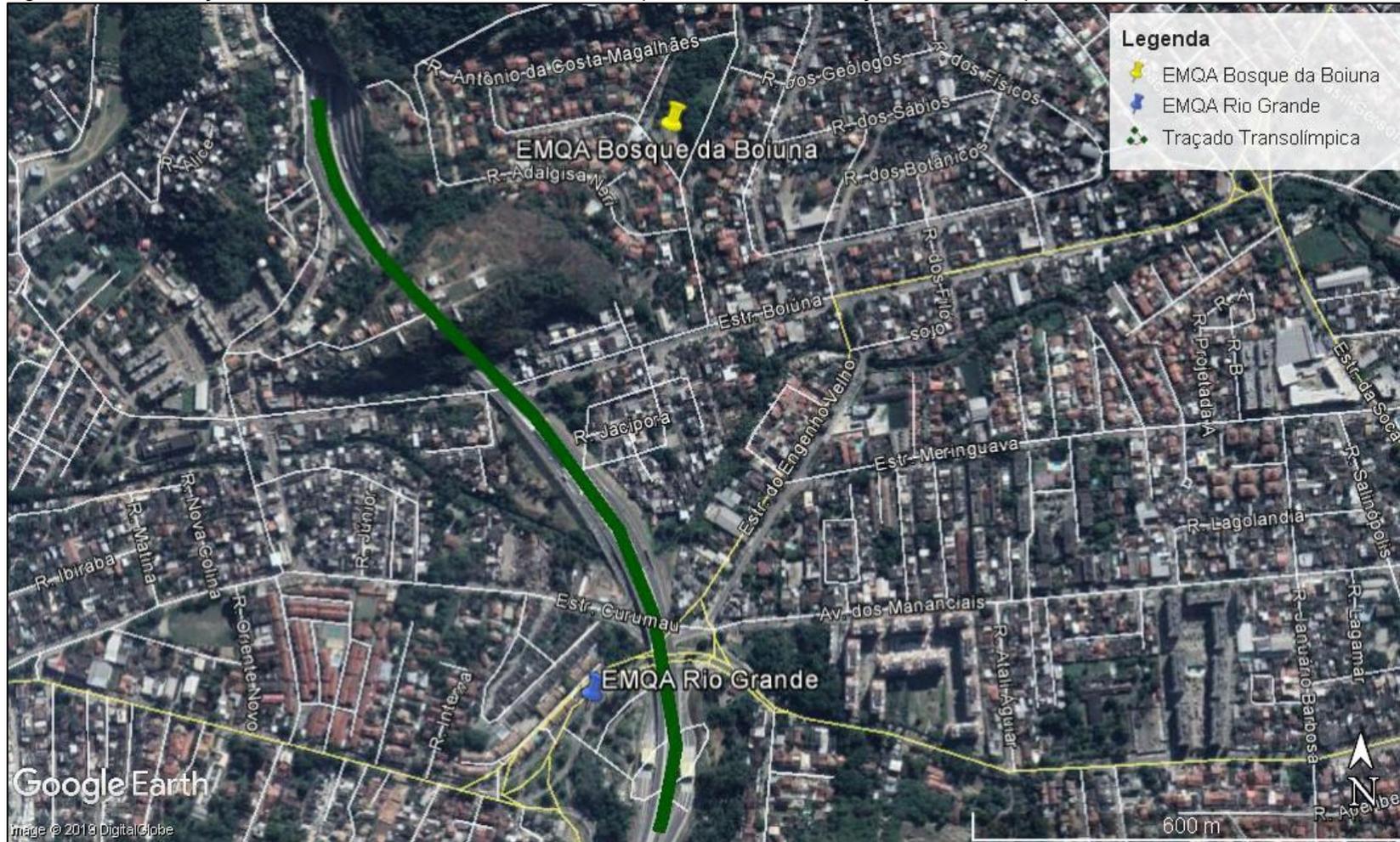
Figura 2-6: Localização geográfica da Estação de Monitoramento da Qualidade do Bosque da Boiuna.



Fonte: Google Earth Pro, 2019.

A Figura 2-7 mostra a localização de ambas as EMQA em relação ao Corredor Viário Transolímpica. A EMQA Bosque da Boiuna está localizada mais distante em relação à Transolímpica do que a EMQA Rio Grande. Além disso, a EMQA Rio Grande se localiza próxima aos locais em que ocorreram atividades de obra, enquanto a EMQA Bosque da Boiuna encontra-se confinada no interior do Condomínio Bosque da Boiuna, que dista cerca de 200 metros de um canteiro de apoio das obras da Transolímpica.

Figura 2-7: Localização da EMQA Rio Grande e da EMQA Bosque da Boiuna em relação à Transolímpica



Fonte: Google Earth Pro, 2019.

## 2.2. Equipamentos de monitoramento da qualidade do ar

### 2.2.1. Amostradores de Grande Volume

Os equipamentos usados para realizar o monitoramento de qualidade do ar foram do tipo Amostrador de Grande Volume (AGV MP<sub>2,5</sub>) (Figura 2-8), fabricados pela empresa Energética Qualidade do Ar, os quais têm capacidade para a determinação da concentração de partículas de até 2,5µm de diâmetro presentes no ambiente.

Figura 2-8: Amostrador de Grande Volume do tipo AGV MP<sub>2,5</sub>.



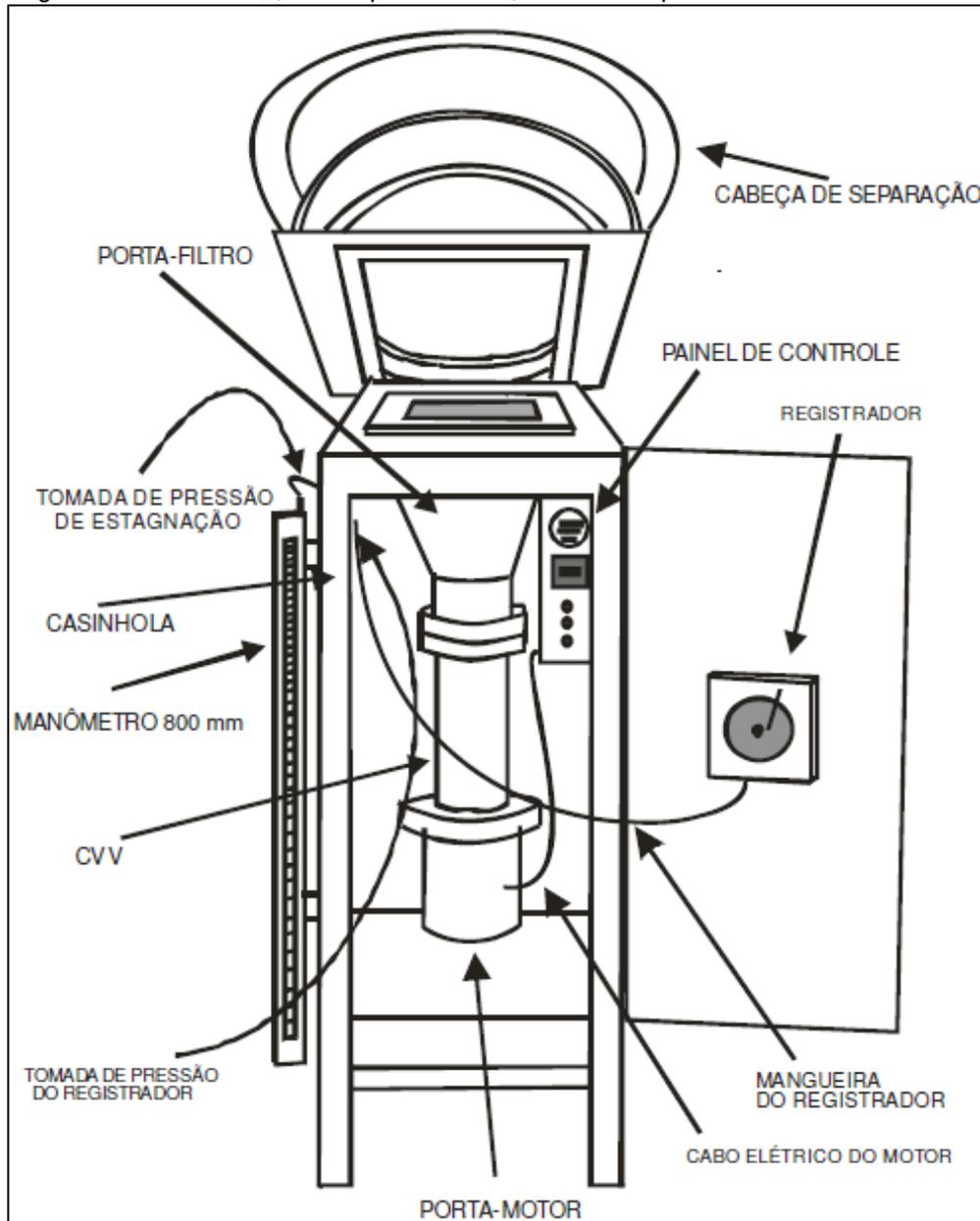
Fonte: Energética Qualidade do Ar [s.d].

O Amostrador de Grande Volume funciona basicamente como um grande aspirador de pó. O equipamento capta uma determinada quantidade de ar que passa por um filtro, com a função de reter partículas, durante o período de 24 horas.

No caso do AGV MP<sub>2,5</sub> a vazão imprimida pelo aparelho fica em torno de 1,13m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> e as partículas coletadas, por conta da geometria da entrada da cabeça de separação, possuem um diâmetro aerodinâmico  $\leq 2,5\mu\text{m}$ . Após o ciclo de monitoramento (24 horas), a partir dos filtros de fibra de vidro, equilibrados (retirada de umidade) e pesados antes (tara) e após (bruto) a amostragem, é possível se determinar o ganho de massa da amostra. A concentração de partículas em suspensão no ar é computada dividindo-se a massa de partículas coletada pelo volume de ar amostrado e expressada em microgramas por metro cúbico de ar ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (DIAS, 2017).

### 2.2.2. Estrutura e funcionamento do AGV MP<sub>2,5</sub>

O equipamento do tipo AGV MP<sub>2,5</sub> possui basicamente 2 componentes (Figura 2-9): a cabeça de separação e a base do amostrador.

Figura 2-9: AGV MP<sub>2,5</sub>, com a porta aberta, e seus componentes.

Fonte: DIAS (2017).

### 2.2.2.1. Cabeça de separação

#### 2.2.2.1.1. Componentes da cabeça

A cabeça de separação AGV MP<sub>2,5</sub> é do tipo impactação inercial, sendo projetada para proporcionar uma vazão de 1,13m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, com eficiência de 50% e um ponto de corte de 2,5µm de diâmetro aerodinâmico. De acordo com o Manual de Operação do equipamento (DIAS, 2017), os componentes principais da cabeça (Figura 2-10) são:

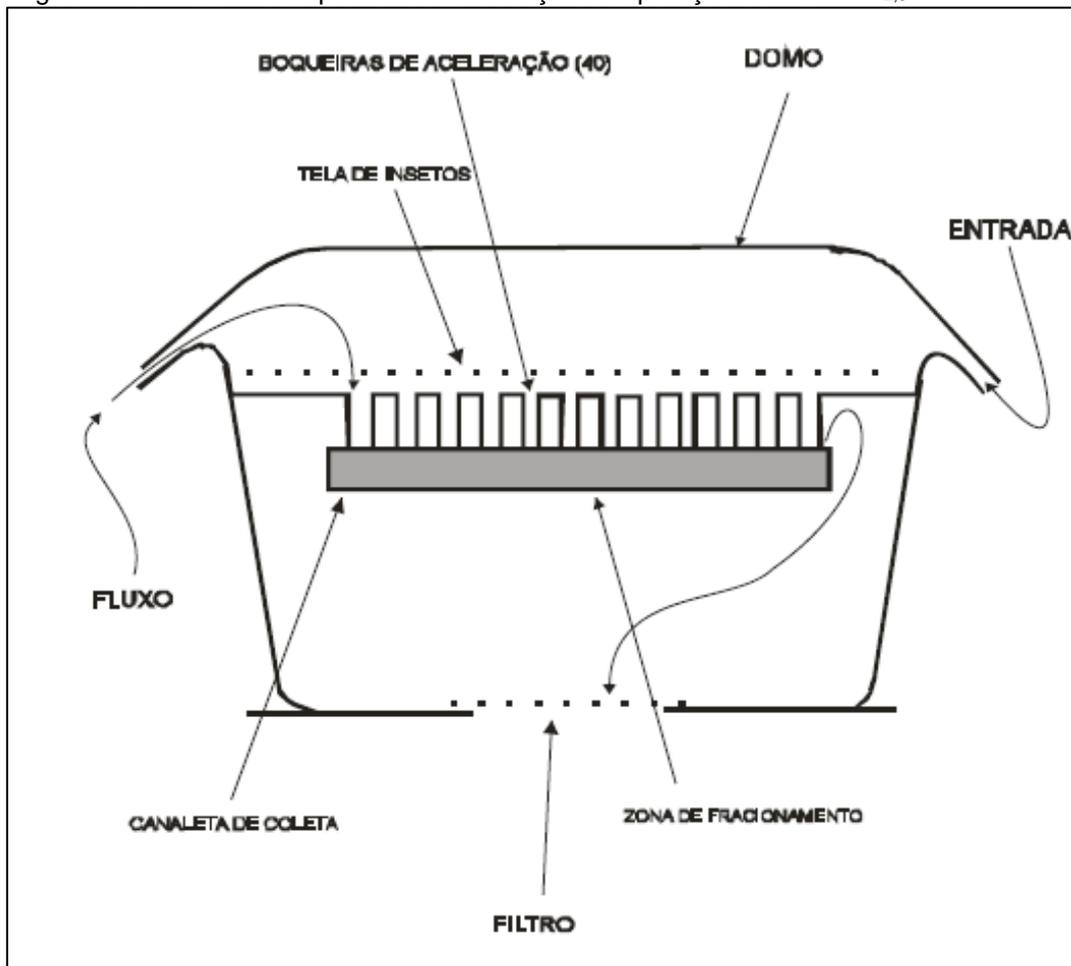
1. Domo, ou chapéu, de alumínio anodizado, fixado no topo da cabeça por 8 espaçadores.
2. Carcaças ou barricas, superior e inferior
3. Módulo MP<sub>2,5</sub>, contendo, de cima para baixo:
4. Tela de retenção de insetos;
5. Placa com 40 tobeiras de aceleração;
6. Canaleta com um anel de impactação no seu interior
7. Anel prendedor, para prender o anel de impactação no interior da canaleta do meio oleoso.

#### 2.2.2.1.2. Funcionamento da cabeça

Inicialmente, o ar é puxado pelo motoaspirador penetrando na cabeça pela abertura periférica do domo e flui para a câmara sob o domo, atravessando a tela de retenção, que tem como função impedir a entrada de insetos e pedaços de material de grande tamanho no sistema de fracionamento. Em seguida, o ar passa por um conjunto de 40 tobeiras de aceleração, formando jatos impactantes sobre o anel de impactação, seja o modelo em material poroso, embebido com um óleo especial. Nesse anel, são retidas partículas com diâmetros maiores que 2,5µm, ou seja, aerossóis. As

partículas  $\leq 2,5\mu\text{m}$  são retiradas da zona de impactação e carreadas em fluxo descendente para o filtro de coleta (DIAS, 2017).

Figura 2-10: Desenho esquemático da cabeça de separação do AGV MP<sub>2,5</sub>.



Fonte: DIAS (2017).

#### 2.2.2.2. Base do amostrador

Segundo o Manual de Operação do AGV MP<sub>2,5</sub> (DIAS, 2017), a base do amostrador, que é envolvida por um abrigo de alumínio anodizado e possui cerca de 110cm de altura, 38cm de largura e 38cm de fundo, tem como constituintes:

- Casinhola de abrigo, de alumínio anodizado, com porta, alças de transporte, furo do ventilador e abraçadeira do porta-filtro;

- Porta-filtro, de fibra de vidro, com telas de inox, juntas de borracha, moldura de aperto do filtro e quatro manípulos de aperto;
- Controlador volumétrico de vazão (CVV), tipo venturi;
- Porta-motor, de fibra de vidro, forma cilíndrica, com motoaspirador;
- Painel de controle, com programador diário e semanal de operação (timer), horômetro, chave liga-desliga, sinaleiro e porta-fusível;
- Registrador contínuo de eventos, com mangueira de tomada de pressão;
- Manômetro de coluna d'água, para tomada da pressão de estagnação (embaixo do filtro);
- Ventilador interno;
- Sistema de alimentação, com cabo de 5 m e tomadas para os plugues do motor do registrador e do ventilador.

#### 2.2.2.2.1. Coroa

Localizada no topo da casinhola, a coroa (Figura 2-11), também constituída de alumínio anodizado, tem como função sustentar a cabeça de separação e o conjunto porta-filtro/CVV/porta-motor (DIAS, 2017).

#### 2.2.2.2.2. Porta-filtro

O porta-filtro (Figura 2-11) consiste em duas telas de inox acopladas a um funil de fibra de vidro e tem como função justamente abrigar o filtro que a coleta de partículas (DIAS, 2017).

#### 2.2.2.2.3. Controlador Volumétrico de Vazão (CVV)

O CVV (Figura 2-12), que fica localizada entre o porta-filtro e o porta-motor (Figura 2-10), é do tipo venturi, não contém peças móveis e já é fabricado para a vazão de projeto do amostrador ( $1,13 \pm 7 \% \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ ) (DIAS, 2017).

#### 2.2.2.2.4. Porta-motor

Representado por um cilindro de fibra de vidro com flange na sua parte superior, um prensa-cabo a meia altura e um furo central no fundo, o porta-motor (Figura 2-11) abriga em seu interior o motor responsável por succionar o ar ambiente (DIAS, 2017).

#### 2.2.2.2.5. Painel de controle

O painel controle (Figura 2-11) é formado pelos seguintes instrumentos e acessórios: timer, horômetro, chave liga-desliga, sinaleiro e porta fusível. A principal função do painel é permitir a programação do monitoramento (DIAS, 2017).

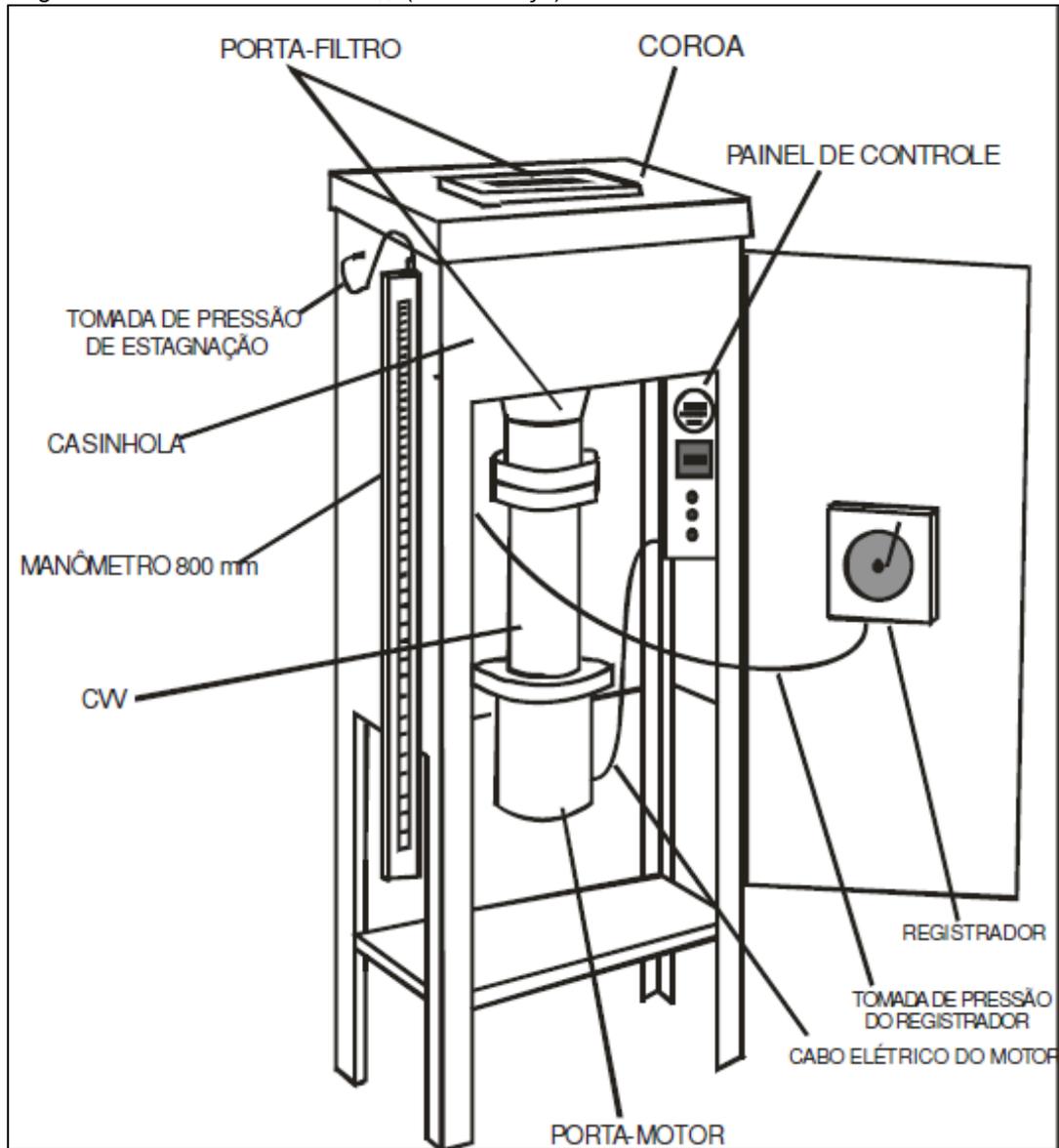
#### 2.2.2.2.6. Manômetro de Coluna d'água, de 800mm

O manômetro (Figura 2-11), que tem como função determinar a pressão de estagnação (embaixo do filtro), é formado por 2 colunas de tubo de vidro em forma de "U" e uma escala com 800mm, fixadas em uma calha de alumínio

anodizado. Em seu interior, o manômetro possui uma mistura de água destilada com um corante para contraste (DIAS, 2017).

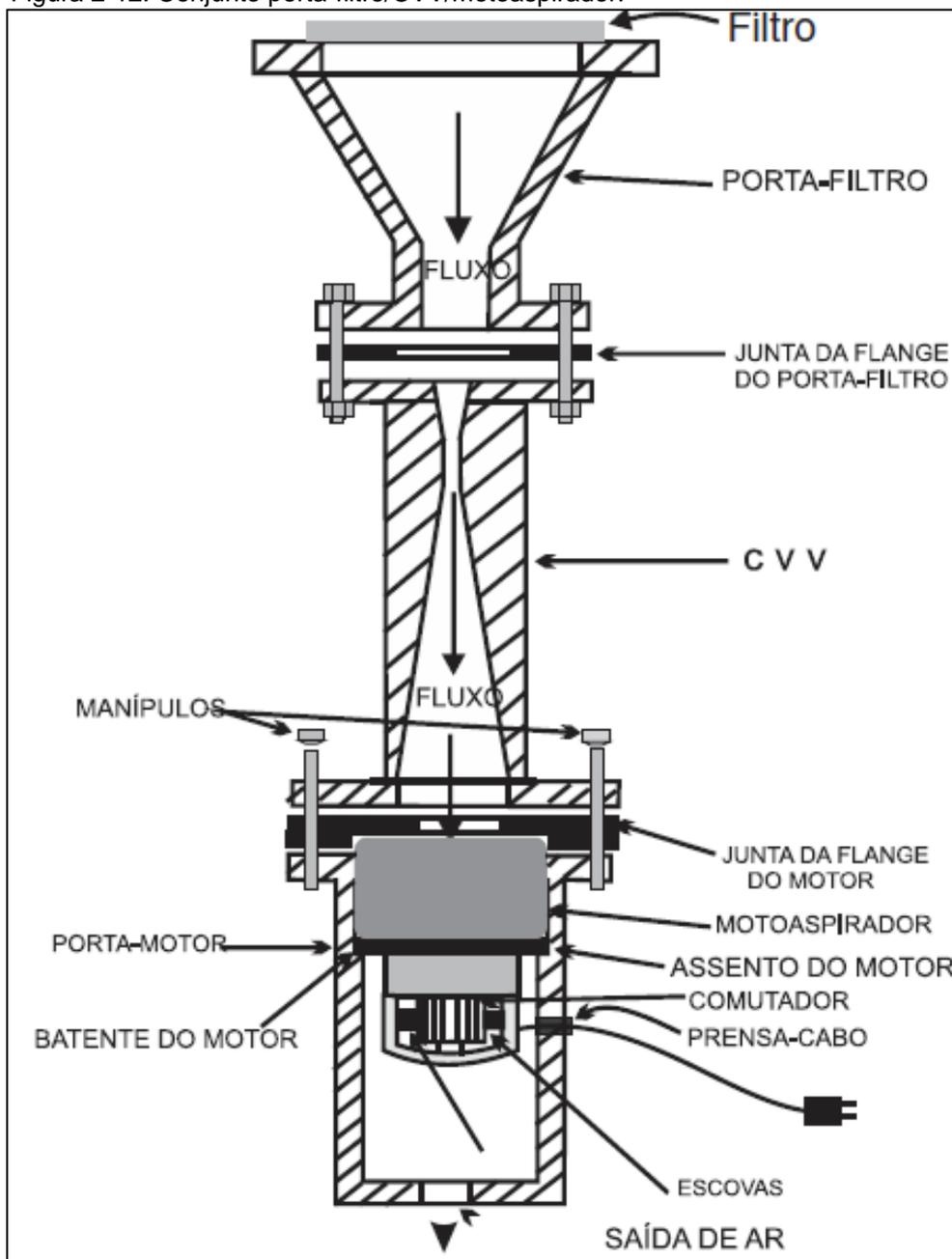
#### 2.2.2.2.7. Registrador Contínuo de Eventos

O registrador (Figura 2-11) tem como função registrar eventuais anormalidades durante a amostragem, como queda de luz. Nesse amostrador, o registrador, que trabalha por expansão do fole, é conectado por meio de uma mangueira, a um adaptador (espigão) localizado na lateral do porta-motor, monitorando a pressão que se cria dentro do motor, a qual, é sempre maior que a pressão atmosférica, quando o equipamento está em funcionamento (DIAS, 2017).

Figura 2-11: Base do AGV MP<sub>2,5</sub> (sem cabeça).

Fonte: DIAS (2017).

Figura 2-12: Conjunto porta-filtro/CVV/motoaspirador.



Fonte: DIAS (2017).

### 2.3. Processo de monitoramento

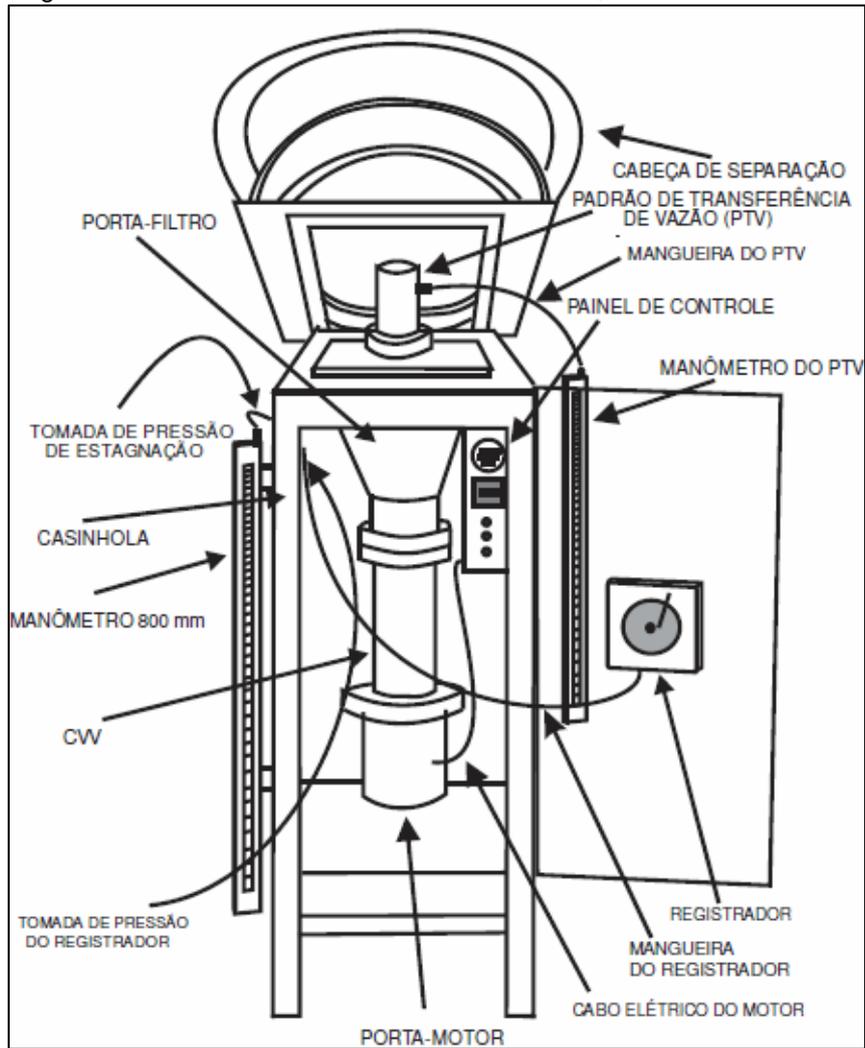
O Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar é executado, de acordo com as orientações do INEA, desde 2013 pela empresa Terra Nova Escritório de Projetos Sociais e Ambientais.

### 2.3.1. Calibração do CVV

Após a instalação dos AGV nos pontos de monitoramento, deve ser realizada a calibração do CVV dos equipamentos como preconiza o Manual de Operação do Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até  $2,5\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ).

A calibração é realizada com um *kit* de ensaio fornecido pela Energética Qualidade do Ar que contém: um padrão de transferência de vazão, devidamente ensaiado; um manômetro de coluna d'água com 0 a 400mm na escala; as placas de 8, 9, 10, 13 e 18 furos, a placa adaptadora; e a mangueira flexível. Além disso, no processo também é utilizada uma estação meteorológica portátil modelo *Kestrel* 2500 para aferir a pressão barométrica e a temperatura local.

O procedimento de calibração do CVV é realizado seguindo os passos 1 a 12 do **item 4.33, Geração de Relação de Ensaio para o Amostrador**, do Manual de Operação do Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até  $2,5\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ), que consistem, basicamente, na instalação do *kit* de ensaio nos amostradores (Figura 2-12) e aferição dos dados da pressão diferencial no filtro ( $dH_f$ ), lidos no manômetro de 800 mm e da pressão diferencial do sistema de ensaio ( $dH_c$ ), lidos no manômetro de 400 mm (DIAS, 2017). Esses dados são lançados na planilha de geração da relação de ensaio (Figura 2-14), fornecida pela Energética Qualidade do Ar, gerando como resultado a relação de ensaio do CVV, que deve possuir um fator de correlação  $r \geq 0,99$ , e a vazão operacional com a nova relação de ensaio.

Figura 2-13: Kit de ensaio instalado no AGV MP<sub>2,5</sub>.

Fonte: DIAS (2017).

Figura 2-14: Exemplo de planilha de cálculo (Excel) da geração da relação de ensaio.

AGV MP <sub>2,5</sub> - GERAÇÃO DA RELAÇÃO DE ENSAIO Planilha de Cálculo									Número:	0041/09		
									Data:	15/10/09		
									Executante:	Aldo		
									Conier.:	José		
DADOS DO EQUIPAMENTO												
AGVCVV Nº	0345		CABMP <sub>2,5</sub> Nº	0200		CVV Nº	0240					
DADOS GERAIS												
Local:	Energética			Data:	15/10/09		Hora:	13:15				
DADOS AMBIENTAIS												
Pressão atmosférica durante o ensaio:									P <sub>2</sub> (mmHg)	756		
Temperatura ambiente durante o ensaio:									T <sub>2</sub> (°C):	26	T <sub>2</sub> (K):	299
Identificação dos padrões de pressão e temperatura:												
Barômetro nº			BAR-002			Data de validade:			04/08/10			
Termômetro nº			TER-009			Data de validade:			26/10/10			
DADOS DO PADRÃO DE TRANSFERÊNCIA DA VAZÃO (PTV):												
Identificação:						151		Último ensaio:			03/09/09	
Relação de calibração (da regressão linear):												
Inclinação a <sub>1</sub> :						1,8430		Intercepto b <sub>1</sub> :		-0,0240	Correl. r <sub>1</sub> :	0,9990
TABELA DE DADOS E RESULTADOS:												
Nº Placa	dH <sub>c</sub> (no orifício do PTV)			dH <sub>f</sub> (no filtro)				P <sub>0</sub> -P <sub>2</sub> -dH <sub>f</sub> mmHg	(Y) P <sub>0</sub> /P <sub>2</sub>	Q <sub>r</sub> (PTV) Vazão (b) m³/min	Q <sub>r</sub> (PTV) T <sub>2</sub> ⁰,⁵	
	p/cima	p/baixo	total	p/cima	p/baixo	total	total					
	cm H <sub>2</sub> O			cm H <sub>2</sub> O								mmHg
18	6,20	6,10	12,30	9,60	9,40	19,00	13,96	742,04	0,9815	1,2098	0,0700	
13	6,00	5,80	11,80	14,40	14,00	28,40	20,87	735,13	0,9724	1,1852	0,0685	
10	5,80	5,70	11,50	20,40	20,00	40,40	29,68	726,32	0,9607	1,1702	0,0677	
9	5,60	5,40	11,00	25,30	25,00	50,30	36,96	719,04	0,9511	1,1448	0,0662	
8	5,30	5,20	10,50	31,00	30,00	61,00	44,82	711,18	0,9407	1,1187	0,0647	
Vazão Operacional:							42,40	31,15	724,85	0,9588		
a) mmHg = 10 X cmH <sub>2</sub> O/13,6												
b) $Q_r(PTV) = \frac{1}{a_1} \left( \sqrt{dH_c \frac{T_2}{P_2}} - b_1 \right)$												
Relação de Ensaio do CVV :												
$Y = a_2 X + b_2, \text{ onde } X = \frac{Q_r(PTV)}{(T_2)^{0,5}} \text{ e } Y = \frac{P_0}{P_2}$												
Inclinação da reta (a <sub>2</sub> ):											7,9262	
Intercepto da reta (b <sub>2</sub> ):											0,4269	
Fator de correlação (r <sub>2</sub> ):											0,9939	
Para cálculos posteriores da vazão do amostrador:												
$Q_r = \frac{1}{a_2} \left( \frac{P_0}{P_2} - b_2 \right) \sqrt{T_2}$												
Vazão operacional com a nova Relação de Ensaio =											1,1603	m³/min

Fonte: Adaptado de DIAS (2017).

### 2.3.2. Preparação dos filtros

Os filtros utilizados para amostragem no AGV MP<sub>2,5</sub> foram de fibra de vidro do tipo padrão *Whatman GF/A*. Esses filtros, antes da pesagem e equilíbrio, são inspecionados visualmente visando verificar a presença de defeitos como: furos, imperfeições e descoloração. Os filtros com defeito identificados são descartados.

Após a inspeção os filtros são equilibrados, ou seja, colocados em um dessecador (Figura 2-15) onde são mantidos por pelo menos 24 horas antes de serem pesados. O ambiente do dessecador proporciona uma atmosfera com umidade relativa de cerca de 40%, devido a presença de sílica-gel, e temperatura média entre 15°C e 30°C.

Figura 2-15: Dessecador tipo armário utilizado na preparação dos filtros.



Fonte: Adaptado de DIAS (2017).

Finalizada a etapa de equilibrção os filtros são pesados em uma balança analítica Shimadzu modelo AUY220 (Figura 2-16) e o valor de peso é lançado em uma planilha de controle de pesagem.

Figura 2-16: Balança do tipo Shimadzu modelo AUY220 utilizada para a pesagem dos filtros de fibra de vidro.



Fonte: O autor, 2018.

### 2.3.3. Programação dos AGV MP<sub>2,5</sub>

### 2.3.4. Início da amostragem

Os AGV são programados um dia antes do ciclo de amostragem de 24 horas. Durante a programação o filtro novo (identificado e já pesado) é colocado no porta-filtro, o amostrador é ligado e são aferidas, no manômetro de 800mm, a pressão diferencial inicial  $dHfi$  para cima e para baixo e então o amostrador é desligado. Em seguida a carta gráfica é instalada e os ponteiros do relógio são ajustados. O próximo passo é programar o amostrador, no *timer*,

para ligar as 00:00 do dia seguinte e desligar as 23:59 desse mesmo dia, além anotar o valor do horâmetro. Finalmente, utilizando a estação meteorológica portátil modelo *Kestrel* 2500 são aferidas a pressão barométrica e a temperatura no local. Todas as informações são registradas no formulário de registro de dados de amostragem (Figura 2-17).

Figura 2-17: Modelo de formulário de registro de dados de amostragem do AGV MP<sub>2,5</sub>.

AGV MP <sub>2,5</sub> – AMOSTRAGEM			
Formulário de Registro de Dados		Numero:	09/005
		Data:	29/10/09
		Executante:	José
		Conferente:	Maria
DADOS DO EQUIPAMENTO			
AGVCVV Nº	0345	CABMP <sub>2,5</sub> Nº	0200
CVV Nº	0240		
LOCAL E PERIODO DE AMOSTRAGEM			
Local:	Energética	Nº estação	E1
Período nominal de amostragem:	24	horas	
Período de amostragem:	Data – início:	29/10/09	Data – final:
	Hora – início:	23:59	Hora – final:
		30/10/09	23:59
DADOS AMBIENTAIS			
Pressão barom. média ( $P_m$ ou $P_s$ ):		mmHg	Temp. média ( $T_m$ ou $T_s$ ):
Nota: os valores médios acima podem ser obtidos de uma estação meteorológica			
Pressão barom. CONAMA ( $P_s$ ):	760	mmHg	Temp. CONAMA ( $T_s$ ):
			25
DADOS DO ÚLTIMO ENSAIO DO AMOSTRADOR			
Parâmetros da reta de ensaio:	$a_2 =$	7,9262	$b_2 =$
			0,4269
Data do último ensaio ou verificação:	20/10/09	$r_2 =$	0,9939
DADOS (LEITURAS) DO CAMPO			
Pressão diferencial no filtro (cm H <sub>2</sub> O):	Inicial (dH <sub>i</sub> ):	Final (dH <sub>f</sub> ):	
	p/cima	p/baixo	p/cima
	21,4	21,0	
Leitura do horâmetro (h/100):	Inicial:	53,73	Final:
Leitura média da carta gráfica (D):			
DADOS DO FILTRO			
Nº Filtro:	09/0002	Peso inicial (g):	2,8231
		Peso final (g):	
CONTROLE DA QUALIDADE			
Amostrador reensaiado (ou verificado) conforme programação?	Sim	X	Não
Traçado da pena na carta indicando anormalidade?	Sim		Não

Fonte: Adaptado de DIAS (2017).

### 2.3.5. Após a amostragem

No dia após o ciclo de 24 horas amostragem, o amostrador é ligado para ser aferida a pressão diferencial final  $dH_f$  para cima e para baixo, é anotado o valor final de horâmetro e retirada a carta gráfica. Posteriormente, com o amostrador desligado, o filtro é retirado do porta-filtro e armazenado em um envelope de papel.

### 2.3.6. Análise dos filtros coletados

Os filtros coletados após a amostragem de 24 horas são colocados no dessecador e lá permanecem por um período de 48 horas para equilíbrio. Uma vez equilibrados os filtros são pesados em uma balança analítica *Shimadzu* modelo AUY220 e o valor de peso é lançado em uma planilha de controle de pesagem.

Para quantificação da concentração de material particulado amostrado durante as 24 horas em cada filtro, os valores de peso inicial e final do filtro, de pressão barométrica, de temperatura, de pressão diferencial inicial e final para cima e para baixo, de leitura inicial e final do horômetro e leitura média da carta gráfica são lançados na planilha de cálculo de amostragem (Figura 2-18) desenvolvida pela Energética Qualidade do Ar. Ao final é obtido a concentração de material particulado no ar em  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Figura 2-18: Planilha de cálculo de amostragem do AGV MP<sub>2,5</sub>.

AGV MP <sub>2,5</sub> - AMOSTRAGEM				Número:	09/005	
Planilha de Cálculo				Data:	29/10/09	
				Digitador:	Jose	
				Coletante:	Maria	
<b>DADOS DO EQUIPAMENTO</b>						
AGV/CVV N°	0345	CABMP <sub>2,5</sub> N°	0200	CVV N°	CVV-0240	
<b>LOCAL E PERÍODO DE AMOSTRAGEM</b>						
Local:	Energética - Rio			N° Estação:	E1	
Período nominal de amostragem:	24	horas				
Período de amostragem	Data-início:	29/10/09	Data-final:	30/10/09		
	Hora-início:	23:59	Hora-final:	23:59		
<b>DADOS AMBIENTAIS</b>						
Pressão barom. Média (P <sub>3</sub> ou P <sub>2</sub> ):	758	mmHg	Temp.média (T <sub>3</sub> ou T <sub>2</sub> ):	27	°C	
Pressão barom. CONAMA (P <sub>2</sub> ):	760	mmHg		25	°C	
<b>DADOS DO ÚLTIMO ENSAIO DO AMOSTRADOR</b>						
Dados da reta de ensaio:	a <sub>2</sub>	7,9262	b <sub>2</sub>	0,4269	r <sub>2</sub>	
Data do último ensaio ou verificação:	20/10/09					
<b>DADOS (LEITURAS) DO CAMPO</b>						
Pressão diferencial no filtro (cm H <sub>2</sub> O):	Inicial (dH <sub>1</sub> ):			Final (dH <sub>1</sub> ):		
	p/cima	p/baixo	total	p/cima	p/baixo	total
	21,4	21,0	42,4	21,9	21,7	43,6
Leitura do horâmetro:	Inicial:	53,73	Final:	77,73		
Leitura média da carta gráfica (D):	5,5					
<b>DADOS DO FILTRO</b>						
N° do filtro:	09/0002	Peso inicial (g):	2,8231	Peso final (g):	2,8975	
<b>CALCULOS</b>						
Pressão diferencial média (dH <sub>1</sub> ), em cm H <sub>2</sub> O [(dH <sub>1</sub> + dH <sub>1</sub> )/2]					-	43,0
Pressão diferencial média (dH <sub>1H<sub>2</sub></sub> ), em mmHg [(dH <sub>1H<sub>2</sub></sub> - dH <sub>1</sub> )/1,13]					-	31,6
Pressão de estagnação (P <sub>1</sub> ), em mmHg [P <sub>2</sub> - P <sub>3</sub> - dH <sub>1H<sub>2</sub></sub> ]					-	726,4
Taxa de pressão média (P <sub>2</sub> / P <sub>3</sub> )					-	0,958
Vazão média nas condições reais (Q <sub>r</sub> ), em m <sup>3</sup> /min - obtida da equação da reta					-	1,161
Vazão média nas condições padrão (Q <sub>p</sub> ), em m <sup>3</sup> /min [Q <sub>r</sub> (P <sub>2</sub> /P <sub>3</sub> )(T <sub>3</sub> /T <sub>2</sub> )]					-	1,150
Período de amostragem (t), em minutos					-	1440
Volume nas condições padrão (V <sub>p</sub> ), em m <sup>3</sup> , [V <sub>p</sub> =(Q <sub>p</sub> )(t)]					-	1.656,61
Peso líquido do material particulado (MP), em g, [M <sub>1</sub> - M <sub>2</sub> - M <sub>3</sub> ]					-	0,0744
Concentração de material particulado no ar (C <sub>MP2,5</sub> ), em µg/m <sup>3</sup> [C <sub>MP2,5</sub> = (M)/(10 <sup>6</sup> )V <sub>p</sub> ]					-	44,91
<b>CONTROLE DA QUALIDADE</b>						
Q <sub>r</sub> entre 1,05 e 1,21 m <sup>3</sup> /min?	Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>		
Amostrador calibrado (ou verificado) conforme programação?	Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>		
Registrador de eventos acusou alguma anomalia?	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input checked="" type="checkbox"/>		
Algum evento incomum durante a amostragem?	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input checked="" type="checkbox"/>		

Fonte: Adaptado de DIAS (2017).

### 2.3.7. Manutenção dos AGV MP<sub>2,5</sub>

A manutenção e limpeza dos AGV MP<sub>2,5</sub> é realizada mensalmente, conforme as instruções do Manual de Operação do Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até 2,5µm (MP<sub>2,5</sub>).

## 2.4. Método de monitoramento

### 2.4.1. Fase de instalação

O Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar na fase instalação começou em novembro de 2013 e foi finalizado em agosto de 2016. Nesse período foram emitidos e encaminhados ao INEA 34 Relatórios de Atendimento à Condicionante N° 31 da Licença de Instalação, LI N° IN031517. Os relatórios, que eram emitidos mensalmente pela empresa executora do Programa, além de conter as concentrações diárias de material particulado amostrado, também traziam as condições meteorológicas diárias durante o mês de monitoramento. Os dados meteorológicos eram provenientes da Estação Meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá – Roberto Marinho, onde eram registrados os seguintes parâmetros: temperatura média (°C), umidade relativa média (%), precipitação total (mm), pressão média no nível da estação (hPa), direção do vento máximo (°) e velocidade do vento máximo (Kt).

Durante a fase de obras da Transolímpica, os amostradores funcionaram, tal como exigido pelo INEA, continuamente durante todos os dias da semana, com amostragens de 24 horas. Nesse caso eram utilizados 2 amostradores em cada Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar para que cada um funcionasse em dias alternados. A programação dos equipamentos, bem como a colocação de filtros novos e retirada dos filtros contendo o material coletado era realizada todos os dias.

### 2.4.2. Fase de operação

O Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar na fase operação começou em setembro de 2016 e continua sendo executado atualmente. Até o mês de outubro de 2018 foram emitidos 26 Relatórios do Programa de

Monitoramento da Qualidade do Ar na fase operação. Assim como na fase de instalação os relatórios de qualidade do ar referentes a monitoramento na fase de operação da via são emitidos mensalmente pela empresa executora do Programa, a Terra Nova Escritório de Projetos Sociais e Ambientais. O conteúdo dos relatórios é composto pelas concentrações de material particulado amostrado durante 24 horas, além das condições meteorológicas diárias no período de abrangência do relatório. Os dados meteorológicos são provenientes da Estação Meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá – Roberto Marinho, onde são registrados os seguintes parâmetros: temperatura média (°C), umidade relativa média (%), precipitação total (mm), pressão média no nível da estação (hPa), direção do vento máximo (°) e velocidade do vento máximo (Kt).

Durante a operação da via, o monitoramento, segundo exigência do INEA, é realizado de 6 em 6 dias durante o período de 24 horas em cada uma das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar. A programação dos equipamentos, e a colocação de novos filtros é realizada, preferencialmente, no dia anterior ao da amostragem. Após a amostragem, o filtro contendo o material coletado é retirado e levado ao laboratório.

## 2.5. Análise dos dados

Os dados de concentração de material particulado das EMQA Boiuna e Rio Grande foram organizados de seis em seis dias no período de 14 de outubro de 2014 a 28 de outubro de 2018. Esses dados foram comparados entre si e com a os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) utilizando o *software* Microsoft Excel 2013. Para a análise estatística descritiva e multivariada foi utilizado o *software* R Studio.

Além disso, foi realizado o pré-processamento dos dados por autoescalamento e os dias em que os equipamentos apresentaram problemas de funcionamento acarretando em tempos de amostragem inferiores ou superiores a 24 horas foram desconsiderados, atribuindo o valor zero à concentração de  $MP_{2,5}$  equivocadamente obtida.

### 2.5.1. Teste de normalidade

Para verificar se o conjunto de dados de concentração de  $MP_{2,5}$  segue uma distribuição normal foi utilizado o teste de *Shapiro-Wilk* (MOHD RAZALI; BEE WAH, 2011; SHAPIRO; WILK, 1965). Esse teste foi aplicado aos dados correspondentes as fases de instalação e operação nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna, onde:

$H_0: p > \alpha$ : os dados seguem uma distribuição normal;

$H_1: p \leq \alpha$ : os dados não seguem uma distribuição normal.

### 2.5.2. Teste de *Mann-Whitney*

Para comparar as populações de dados das fases de instalação e operação foi utilizado o teste de *Mann-Whitney* para cada EMQA, onde:

$H_0: p > \alpha$ : não há diferença estatisticamente significativa na concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação;

$H_1: p \leq \alpha$ : há diferença estatisticamente significativa na concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação.

*Mann-Whitney* é um teste não paramétrico usado para comparar as funções de distribuição de uma variável de escalar ordinal em duas populações independentes. É utilizado, ainda, como alternativa ao teste *t-Student*, quando os pressupostos do teste *t* não são cumpridos (HART, 2001; MANN; WHITNEY, 1947). Os pressupostos do teste de *Mann-Whitney* são:

- As observações a partir de ambos os grupos são independentes.
- As observações são variáveis ordinais ou contínuas.
- Sob a hipótese nula, a distribuição a partir de ambos os grupos é a mesma.

- Sob a hipótese alternativa, os valores das amostras tendem a exceder os dos outros:  $P(X > Y) + 0.05 P(X = Y) > 0.05$ .

### 2.5.3. Correlação de *Spearman*

A correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  foi analisada a partir do coeficiente de correlação de *Spearman* ( $\rho$ ) que mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais, usando apenas a ordem das observações. Esse coeficiente é uma medida de correlação não-paramétrica aplicada a populações que não apresentam distribuição normal e a variáveis intervalares (SPEARMAN, 1904). Os valores do coeficiente de *Spearman* variam entre -1 e 1, onde:

$\rho = 1$ : correlação positiva perfeita entre as duas variáveis, ou seja, quando uma aumenta a outra também aumenta.

$\rho = -1$ : correlação negativa perfeita entre as duas variáveis ou seja, quando uma aumenta a outra sempre diminui.

### 2.5.4. Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos ou *Cluster Analysis* foi utilizada para agrupar variáveis similares considerando as variáveis meteorológicas e a concentração de  $MP_{2,5}$  nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna nas fases de instalação e operação. Foi adotado o método de Ward que usa como medida de similaridade a distância euclidiana quadrática. A análise de agrupamentos tem como objetivo de propor uma estrutura que reconhece a existência de grupos levando em conta algum critério de homogeneidade (REGAZZI, 2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Concentração de material particulado na EMQA Rio Grande

##### 3.1.1. Fase de instalação

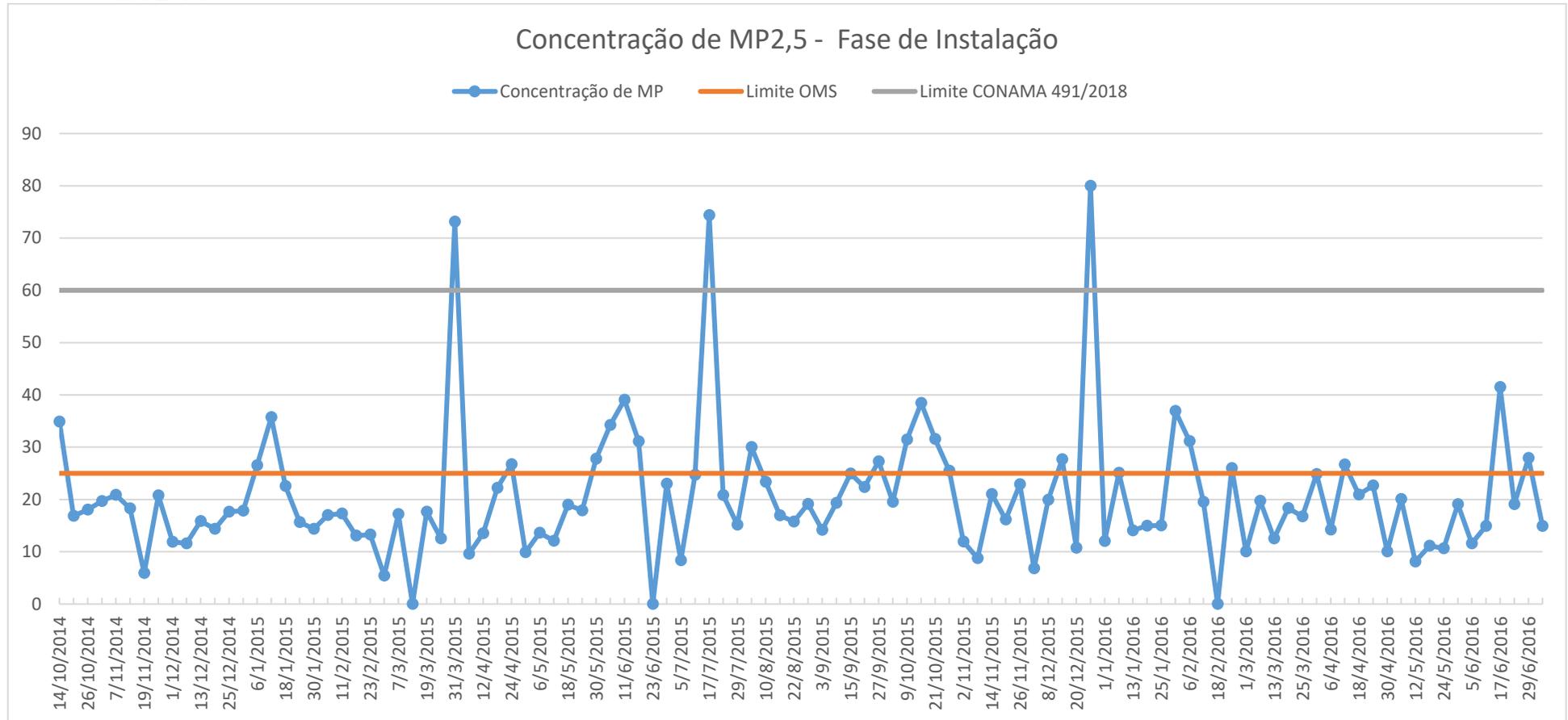
A série de dados de concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de instalação do Corredor Viário Transolímpica totalizou 106 amostragens realizadas durante 24 horas entre os dias 14/10/2014 e 05/07/2016. A tabela de dados encontra-se no APÊNCIDE A.

Ao comparar os valores diários de concentração de  $MP_{2,5}$  obtidos com os limites estabelecidos pela OMS,  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ , e estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018,  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  (Figura 3-1), é possível verificar que em 25 dias de amostragem o limite da OMS foi ultrapassado, enquanto que o padrão estabelecido pela CONAMA N° 491/2018 foi extrapolado apenas em 3 dias durante o período analisado.

Na fase de instalação o maior valor de concentração atingido foi de  $79,98 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 26/12/2015, sendo 1,3 vezes superior ao padrão estabelecido pela CONAMA e 3,2 vezes maior que o limite da OMS. E, o menor valor de concentração de  $MP_{2,5}$  foi de  $5,44 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 01/03/2015.

Considerando o único ano completo, 2015, durante o período analisado, a média anual de concentração de  $MP_{2,5}$  foi de  $20,93 \mu\text{g m}^{-3}$ . Esse valor encontra-se acima do padrão limite estipulado pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e também do padrão recomendado pela OMS ( $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Figura 3-1: Comparação da concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018



### 3.1.2. Fase de operação

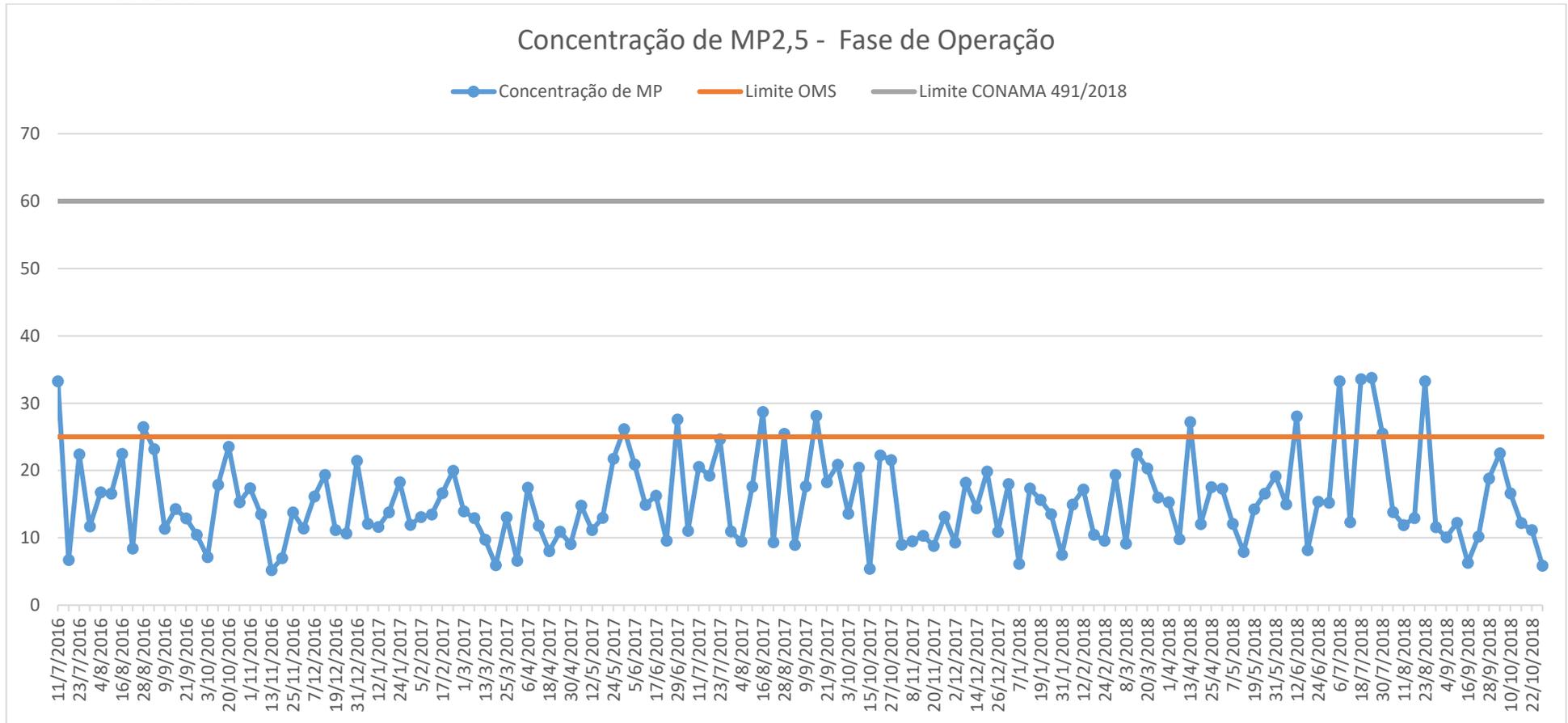
Na fase de operação a série de dados de concentração de  $MP_{2,5}$  no período de 11/07/2016 a 28/10/2018 totalizou 140 amostragens de 24 horas. A tabela de dados encontra-se no APÊNCIDE B.

A comparação dos valores diários de concentração de  $MP_{2,5}$ , obtidos durante o monitoramento realizado na fase de operação, com os limites estabelecidos pela OMS,  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ , e estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018,  $60 \mu\text{g m}^{-3}$ , (Figura 3-2) mostra que em nenhum dia o padrão estabelecido pela CONAMA N° 491/2018 foi extrapolado, entretanto o limite estabelecido pela OMS foi ultrapassado em 14 dias de amostragem.

Nesse período o maior valor de concentração obtido foi de  $33,76 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 24/07/2018, sendo aproximadamente 1,4 vezes maior que o limite da OMS e o menor valor de  $5,22 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 13/11/2016.

Considerando o único ano completo, 2017, durante o período analisado, a média anual de concentração de  $MP_{2,5}$  foi de  $15,07 \mu\text{g m}^{-3}$ . Esse valor encontra-se abaixo do padrão limite estipulado pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Apesar da diminuição no valor de concentração nesta fase em comparação com a fase de instalação, a média anual ainda permanece cerca de 1,5 vez acima do padrão recomendado pela OMS ( $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Figura 3-2: Comparação da concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de operação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018



## 3.2. Concentração de material particulado na EMQA Bosque da Boiuna

### 3.2.1. Fase de instalação

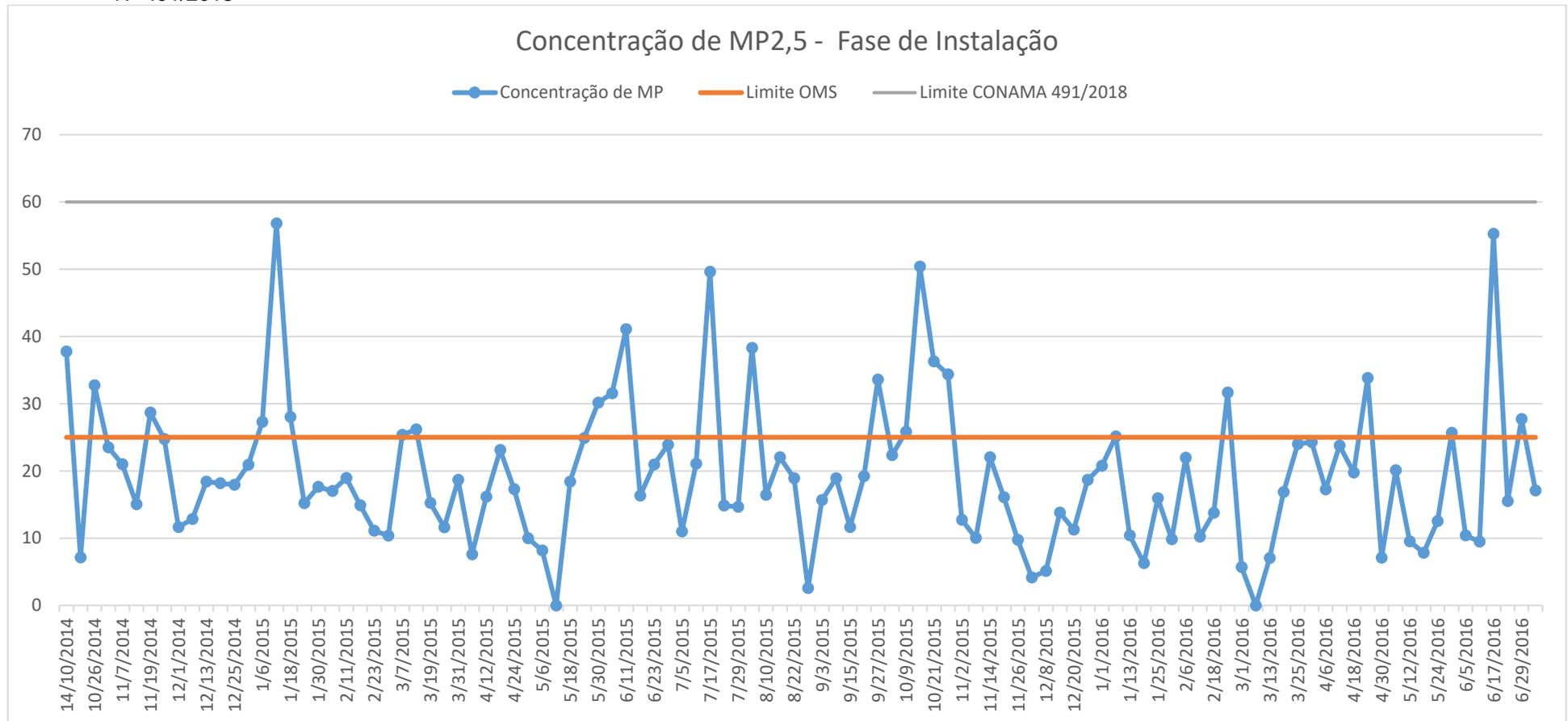
Na EMQA Bosque da Boiuna, os dados de concentração de  $MP_{2,5}$ , na fase de instalação, totalizaram 106 amostragens de 24 horas durante o período de 14/10/2014 a 05/07/2016. A tabela de dados encontra-se no APÊNCIDE C.

A comparação dos dados de monitoramento de concentração de  $MP_{2,5}$  com os limites estabelecidos pela OMS ( $25 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ( $60 \mu\text{g m}^{-3}$ ), mostram que em 24 dias amostrados houve extrapolação do limite de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  recomendado pela Organização Mundial da Saúde, no entanto em nenhum dos dias foi ultrapassado o valor limite de  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  estipulado pela Resolução CONAMA N° 491/2018 (Figura 3-3).

Nesta fase o maior valor de concentração de  $MP_{2,5}$  atingido foi de  $56,82 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 12/01/2015, sendo aproximadamente 2,3 vezes superior ao limite da OMS enquanto o menor valor foi de  $2,58 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 28/08/2015.

Considerando o único ano completo, 2015, durante o período analisado, a média anual de concentração de  $MP_{2,5}$  foi de  $20,43 \mu\text{g m}^{-3}$ . Esse valor encontra-se um pouco acima do padrão limite estipulado pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e também do padrão recomendado pela OMS ( $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Figura 3-3: Comparação da concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018



### 3.2.2. Fase de operação

Na fase de operação do Corredor Viário Transolímpica a série de dados de concentração de  $MP_{2,5}$  totalizou 140 amostragens realizadas durante 24 horas, na EMQA Bosque da Boiuna, compreendendo o período de 11/07/2016 a 28/10/2018. A tabela de dados encontra-se no APÊNCIDE D.

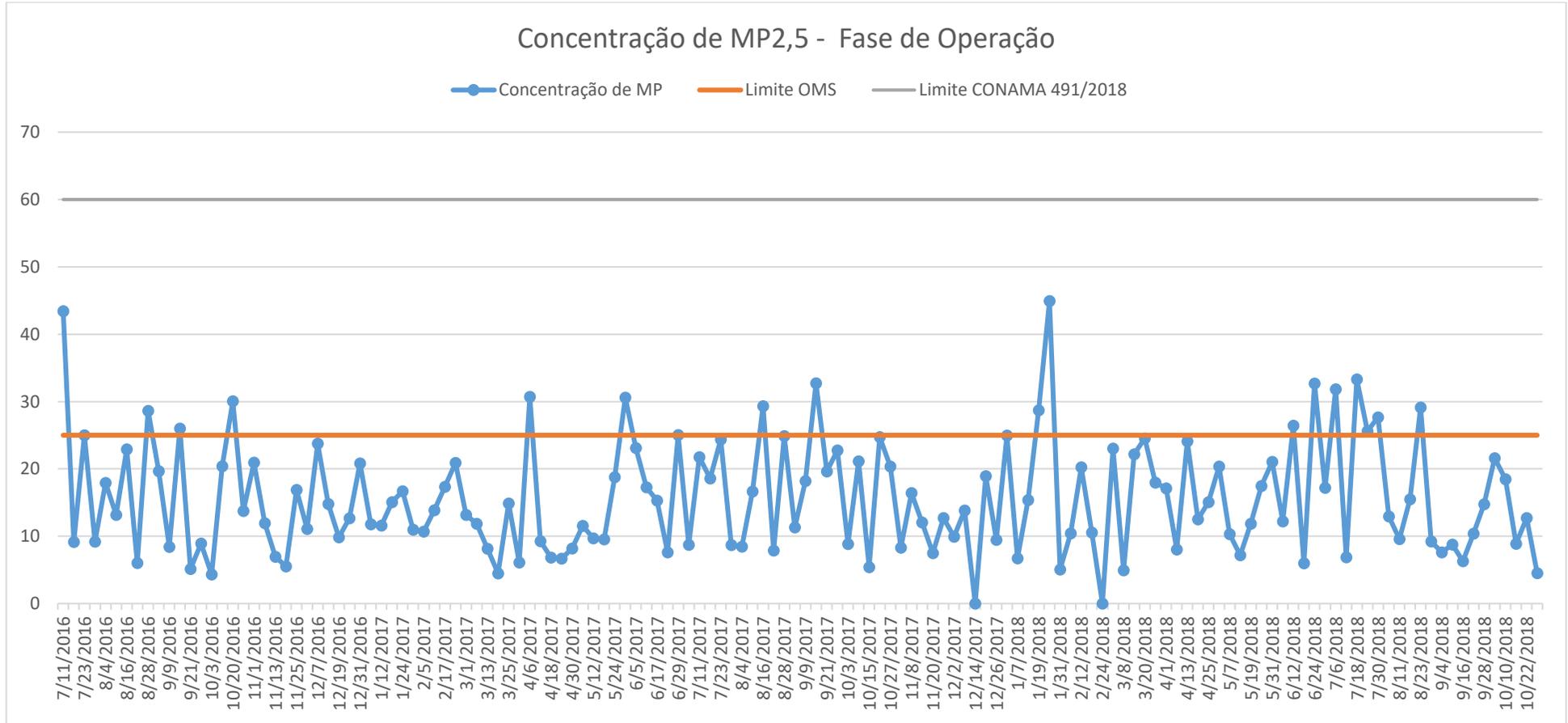
Comparando os dados de concentração de  $MP_{2,5}$ , com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018 e pela Organização Mundial de Saúde é possível constatar que em 18 dias de amostragem a concentração de  $MP_{2,5}$  foi maior que  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ , limite estabelecido pela OMS. Entretanto, em nenhum dos dias amostrados o valor de concentração extrapolou o limite fixado pela Resolução CONAMA N° 491/2018, ou seja,  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  (Figura 3-4).

Durante essa fase o maior valor de concentração obtido na EMQA Bosque da Boiuna foi de  $44,93 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 25/01/2018, sendo aproximadamente 1,8 vezes maior que o limite da OMS e o menor valor de  $4,34 \mu\text{g m}^{-3}$ , no dia 03/10/2016.

Considerando o único ano completo, 2017, durante o período analisado, a média anual de concentração de  $MP_{2,5}$  foi de  $14,93 \mu\text{g m}^{-3}$ . Esse valor encontra-se abaixo do padrão limite estipulado pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Assim como na EMQA Rio Grande, apesar da diminuição no valor de concentração nesta fase em comparação com a fase de instalação, a média anual ainda permanece cerca de 1,5 vez acima do padrão recomendado pela OMS ( $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Ressalta-se que segundo a OMS apesar dos padrões recomendados não há valor limite que ao ser atingido fornece total proteção à saúde humana. Dessa forma, além de continuar o monitoramento, é importante que sejam adotadas políticas públicas de redução das emissões de poluentes, não apenas o material particulado, como o incentivo ao uso de veículos com tecnologias menos poluentes.

Figura 3-4: Comparação da concentração de MP2,5 na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação com os limites da OMS e da Resolução CONAMA N° 491/2018



### 3.3. Análise da concentração de $MP_{2,5}$ entre as fases de instalação e operação da Transolímpica

A concentração média diária de  $MP_{2,5}$  na fase de instalação variou de  $19,3 \mu\text{g m}^{-3}$  na EMQA Bosque da Boiuna até  $20,4 \mu\text{g m}^{-3}$  na EMQA Rio Grande. Enquanto que na fase de operação a concentração média diária de  $MP_{2,5}$  variou de  $15,6 \mu\text{g m}^{-3}$  na EMQA Bosque da Boiuna a  $15,5 \mu\text{g m}^{-3}$  na EMQA Rio Grande (Tabela 3-1). Tal diferença entre as EMQA na fase de instalação se deve a localização das mesmas. A EMQA Rio Grande fica muito mais próxima de áreas onde ocorreram atividades de obra para a construção da via, enquanto a EMQA Bosque da Boiuna fica mais isolada dentro de um condomínio residencial.

Tabela 3-1: Estatística descritiva para as concentrações de  $MP_{2,5}$  nas fases de instalação e operação do Corredor Viário Transolímpica, nas EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande

<b>Estatística Descritiva (<math>\mu\text{g m}^{-3}</math>)</b>	<b>EMQA Bosque da Boiuna Instalação</b>	<b>EMQA Bosque da Boiuna Operação</b>	<b>EMQA Rio Grande Instalação</b>	<b>EMQA Rio Grande Operação</b>
Mínimo	2,58	4,34	5,44	5,22
Média	19,3	15,6	20,4	15,5
Máximo	56,82	44,93	79,98	33,76

Visando verificar se os conjuntos de dados de concentração de  $MP_{2,5}$  obtidos nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna nas fases de instalação e operação seguem a distribuição normal foi aplicado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*. O teste mostrou que há uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a distribuição desses dados e a distribuição normal padrão, em ambas as EMQA (Tabela 3-2). Tal fato pode ser evidenciado também observando os gráficos Quantil-Quantil (Figuras 3-5 e 3-6) a seguir para cada EMQA, onde é

possível observar que os dados não seguem um padrão linear, indicando que a distribuição não é normal.

Tabela 3-2: Teste de *Shapiro-Wilk* aplicado aos dados de concentração de  $MP_{2,5}$

Teste de Shapiro-Wilk	EMQA Bosque da Boiuna Instalação	EMQA Bosque da Boiuna Operação	EMQA Rio Grande Instalação	EMQA Rio Grande Operação
W	0,92441	0,89128	0,76177	0,94106
p-valor	1,864e <sup>-05</sup>	1,079e <sup>-08</sup>	1,441e <sup>-11</sup>	1,244e <sup>-05</sup>

Figura 3-5: (A) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de instalação. (B) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de operação.

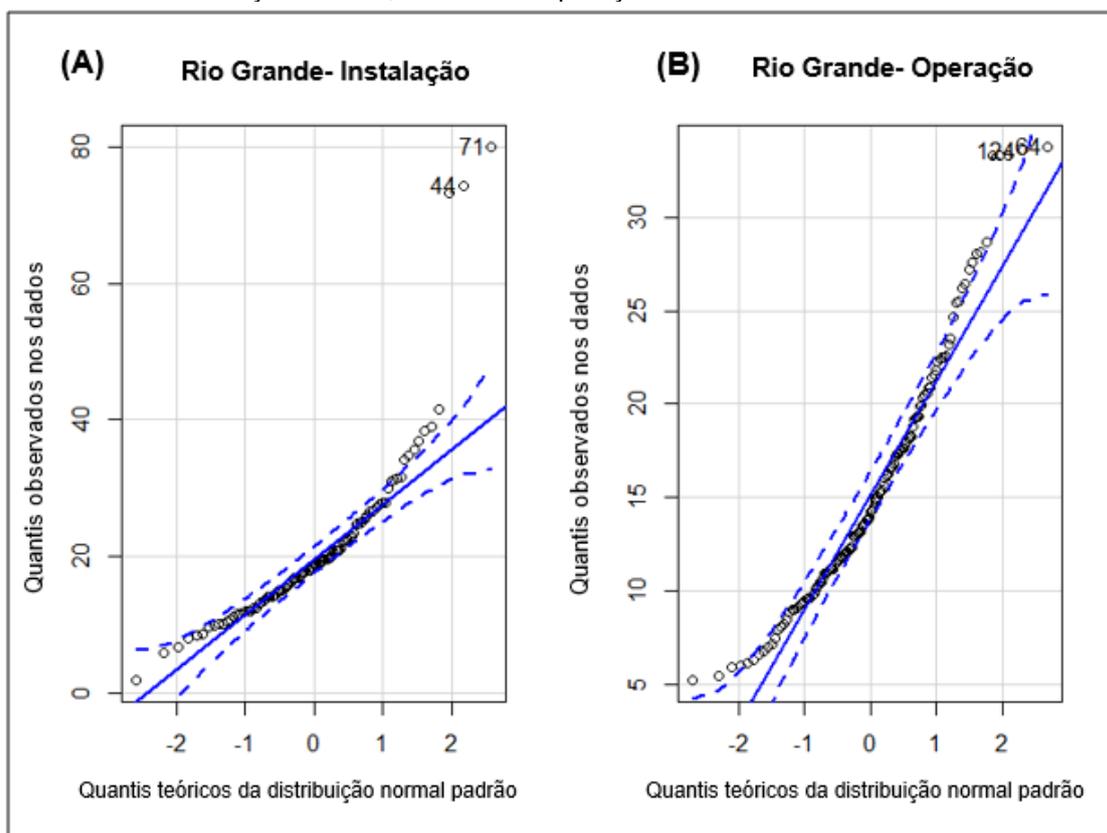
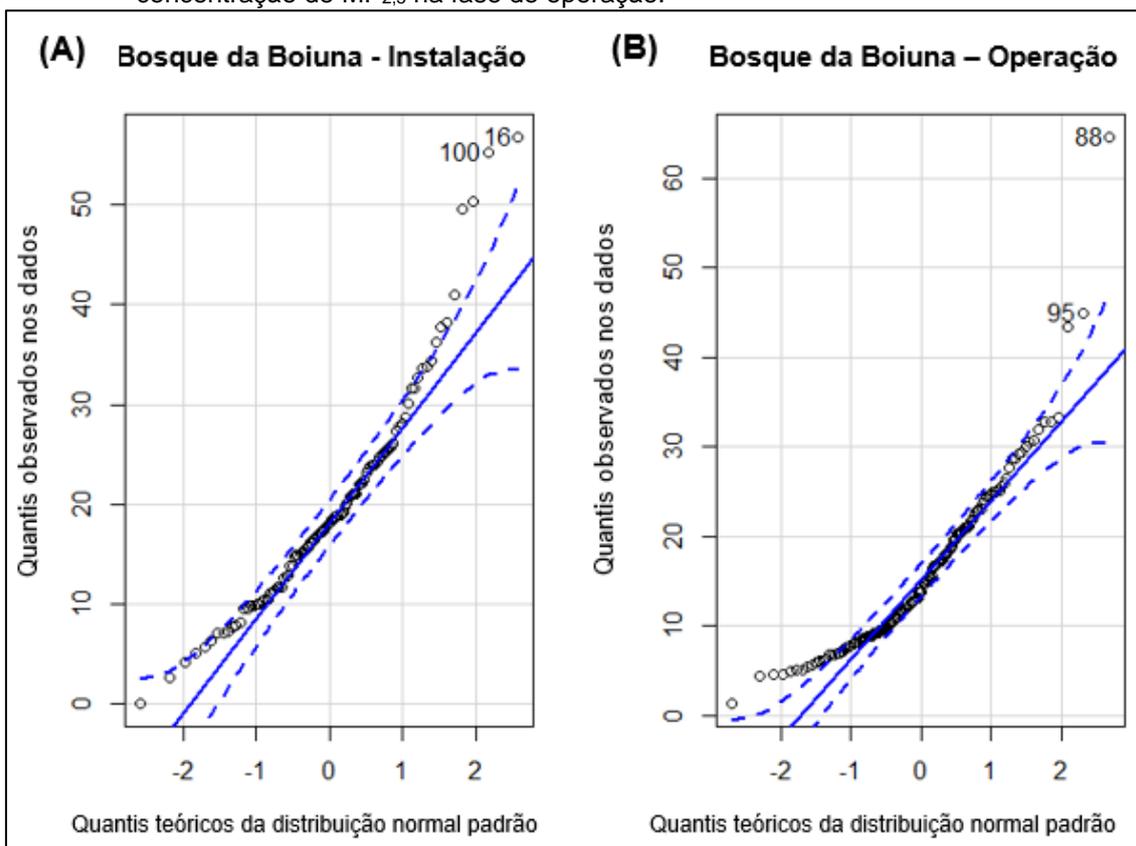


Figura 3-6: (A) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de instalação. (B) Gráfico Quantil-Quantil da normal para os dados de concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de operação.



Já para verificar se a diferença na concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação é significativa foi aplicado o teste de hipótese não paramétrico de *Mann-Whitney* (Tabela 3-7). O resultado desse teste mostrou que há uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre os dados de das fases de instalação e operação, tanto na EMQA Rio Grande, quanto na EMQA Bosque da Boiuna.

Os gráficos (Figuras 3-8 e 3-9) mostram que na fase de instalação a concentração de  $MP_{2,5}$  é cerca de 24 % maior quando comparada com o valor de concentração obtido na fase de operação. Esse padrão se mantém nos 2 pontos de amostragem, EMQA Bosque da Boiuna e EMQA Bosque da Boiuna.

Figura 3-7: Teste de *Mann-Whitney* aplicado aos dados de concentração de  $MP_{2,5}$  das EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande.

Teste de Mann-Whitney	EMQA Bosque da Boiuna Instalação x Operação	EMQA Rio Grande Instalação x Operação
W	8777	9479
p-valor	0,003816	1,369e <sup>-05</sup>

Figura 3-8: Comparação da concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação na EMQA Bosque da Boiuna

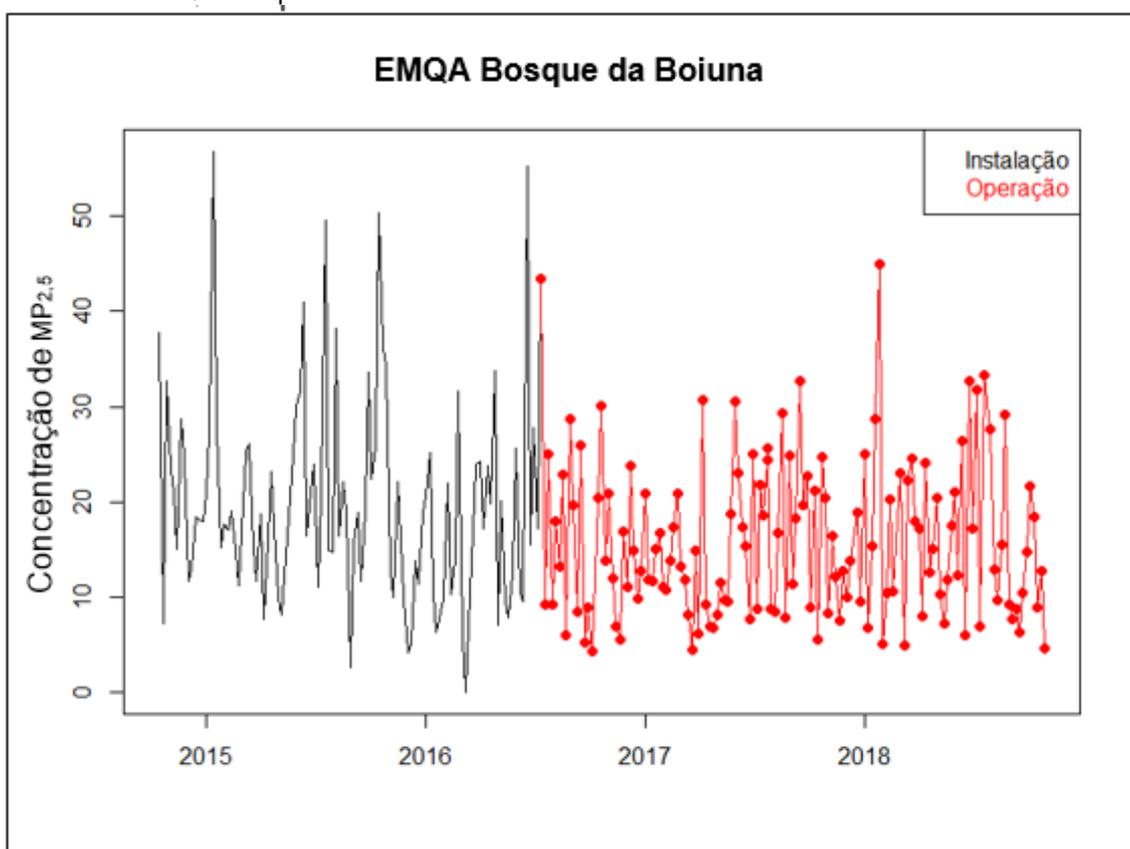
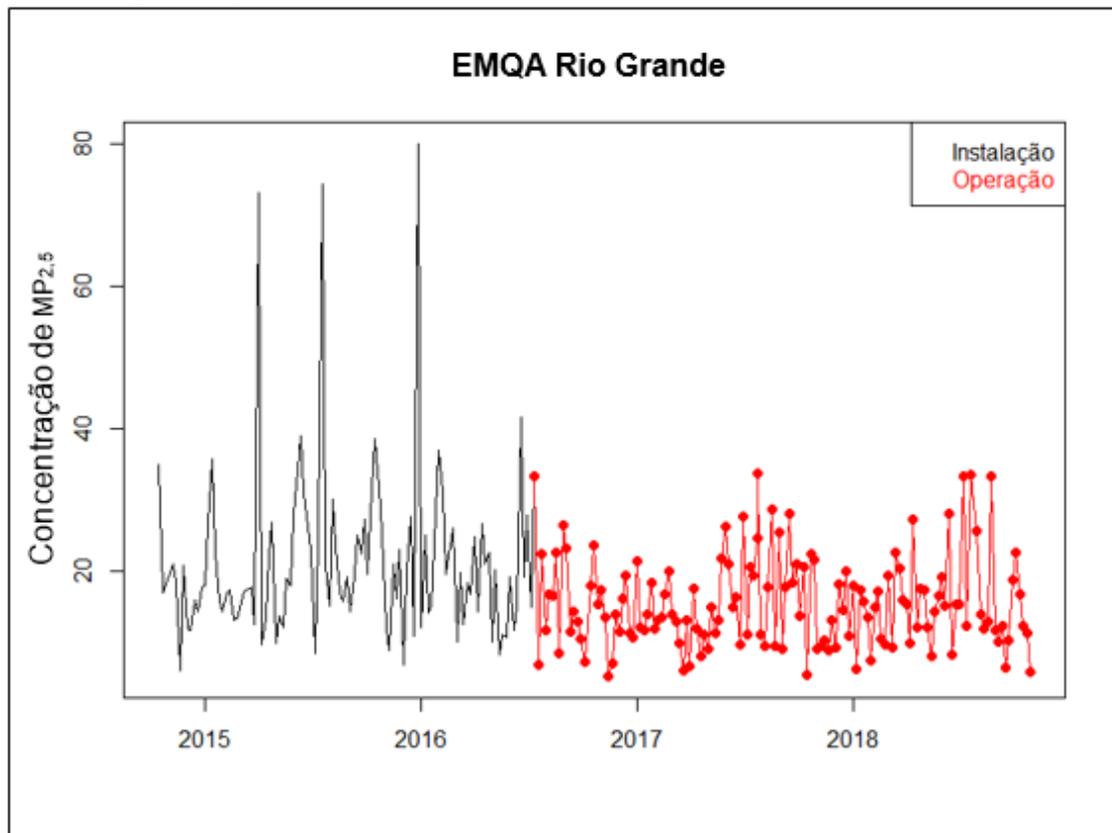


Figura 3-9: Comparação da concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação na EMQA Rio Grande



Ao analisar os gráficos que comparam a concentração de  $MP_{2,5}$  entre as fases de instalação e operação do Corredor Viário Transolímpica, considerando as EMQA Boiuna e Rio Grande, é possível notar claramente que durante as obras de implantação da Transolímpica a concentração de material particulado fino foi maior do que quando a via começou a operar. Os picos de concentração também foram maiores durante a fase de instalação.

A hipótese mais provável para explicar essa diferença observada é de que apesar das obras realmente gerarem mais partículas de diâmetro maior que  $2,5 \mu m$ , o fluxo de caminhões e veículos pesados movidos a diesel é muito grande na fase de instalação o que certamente contribui para as altas concentrações de  $MP_{2,5}$  encontradas em ambas as EMQA nessa fase em comparação ao período de operação analisado (CHOWDHURI; GUPTA, 2017; JUDA-REZLER; REIZER; OUDINET, 2011).

Entretanto, a emissão de material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) é comumente associada as atividades como: indústrias de transformação, escapamento de veículos automotores, principalmente os movidos a diesel, desgaste de pneus e de componentes do sistema de freio dos veículos (HOU et al., 2018; LOYOLA

et al., 2012b; PANT; HARRISON, 2013; SQUIZZATO et al., 2017; TAO et al., 2017; ZHANG et al., 2015). Para atividades de obra ou construção civil a literatura cita a emissão de partículas grossas, com diâmetro aerodinâmico maior do que 10  $\mu\text{m}$ , como o principal contribuinte para a alteração da qualidade do ar na área de influência das obras (KINSEY et al., 2004; MASSOUD et al., 2011; HARRISON, 2013; PHETRAWECH; THEPANONDH, 2017).

Estudos que abordam o monitoramento de  $\text{MP}_{2,5}$  durante atividades de construção civil em rodovias são escassos. Entretanto, um estudo realizado na rodovia Hosur, em Bangalore, na Índia, no ano de 2016, obteve a concentração de 128  $\mu\text{g m}^{-3}$  de  $\text{MP}_{2,5}$  na vizinhança mais próxima, 50 metros de distância, da obra. O monitoramento foi realizado durante um mês no nível do solo. A concentração mais próxima do que foi encontrado na Transolímpica foi 99  $\mu\text{g m}^{-3}$  a 500 metros do local de construção (CHOWDHURI; GUPTA, 2017).

Já Kinsey et al. (2004), caracterizou a emissão fugitiva de material particulado derivada da lama e da poeira depositadas em uma rodovia pavimentada próxima a uma área de construção na região metropolitana da cidade do Kansas – EUA. O monitoramento feito na *115th Street*, no ano 2000, mostrou, a partir de dados de análises químicas e tamanho das partículas, que a maior parte do  $\text{MP}_{2,5}$  coletado, provavelmente, está relacionada com a emissão do escapamento de veículos leves movidos à gasolina, e não com a ressuspensão de poeira carregada para a rodovia.

Registros da concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  próximos a rodovias em operação são mais comuns. Ginzburg et al. (2015), analisaram as concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  em um ponto localizado a 149 m da beira da *Capital Beltway (I-495/I-95)*, em Maryland – EUA, no período de 2009 a 2012, e obtiveram o valor médio de 13  $\mu\text{g m}^{-3}$  considerando a medição de 24 horas. Esse valor é bem próximo ao encontrado em ambas as EMQA na fase de operação da Transolímpica.

Em Taiwan, Chen et al. (2015) analisaram a concentração de material particulado em uma cabine de Polícia a cerca de 50 m de uma rodovia, no período de dezembro de 2013 a janeiro de 2014. Os resultados mostraram que a concentração diária média de  $\text{MP}_{2,5}$  no período foi de 61  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Na Itália, um estudo realizado por Squizzato et al. (2017), na cidade de Treviso mostrou que a concentração de  $\text{MP}_{2,5}$ , obtida no período de dezembro

de 2012 a dezembro de 2013, em um ponto de monitoramento localizado a cerca de 200 m da rodovia SR515 Noalese, foi de  $55 \mu\text{g m}^{-3}$ .

É importante ressaltar, que a alteração da qualidade do ar ou o aumento da poluição atmosférica aparecem na literatura como um dos impactos ambientais associados a instalação e operação de rodovias (BRASIL, 2005; REZENDE; COELHO, 2015). Dessa forma, tais impactos ambientais são comuns em rodovias, o que corrobora a necessidade de que haja um Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar, tanto na fase de instalação quanto na fase de operação desses empreendimentos, visando mensurar a concentração dos poluentes na atmosfera e quando necessário adotar medidas de controle para que os impactos sejam mitigados.

Na fase de instalação, a principal medida de controle adotada para minimizar a resuspensão e emissão de material particulado foi implantar lava-rodas nos canteiros de obras, cobrir as carroceiras dos caminhões com lona e umectar as vias próximas a canteiros e área de intervenção da obra. O cumprimento de tais medidas era supervisionado pela empresa responsável pela gestão ambiental das obras, Terra Nova Escritório de Projetos Sociais e Ambientais, e fiscalizadas pelo órgão licenciador, o INEA. Além disso, mensalmente foram enviados relatórios referentes ao cumprimento Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar, que incluía ações de mitigação, como umectação de vias.

Em relação à fase de operação da Transolímpica causa surpresa o fato do Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento não considerar a alteração da qualidade do ar como impacto ambiental esperado para a fase de operação. Dados do último relatório anual de qualidade do ar, realizado pelo INEA, referente ao ano de 2015, citam que na região metropolitana do Rio de Janeiro, 77 % das emissões atmosféricas são oriundas de fontes veiculares (INEA, 2016), o que reforça a necessidade de monitoramento na via, com o objetivo de entender o quanto ela contribui para a poluição do ar local.

Dessa forma, é notória a importância do processo de licenciamento ambiental para assegurar o cumprimento da legislação ambiental e, conseqüentemente, minimizar a ocorrência de danos ao ambiente e à saúde da população. E mesmo com uma gestão ambiental sendo realizada, e fiscalização atuante, os limites de emissão de  $\text{MP}_{2,5}$  estabelecidos pela OMS foram ultrapassados.

### 3.4. Índice de Qualidade do Ar (IQA)

A análise da qualidade do ar foi realizada a partir do Índice de Qualidade do Ar (IQA), calculado para a EMQA Bosque da Boiuna e para a EMQA Rio Grande, nas fases da instalação e operação, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 491/2018. A Equação 1 mostra como foi feito o cálculo do IQA.

Equação 1: Cálculo do IQA para  $MP_{2,5}$

$$I_{MP_{2,5}} = I_i + \frac{(I_f - I_i)}{(C_f - C_i)} (C - C_i)$$

Onde:

$I_{MP_{2,5}}$  = índice para o poluente  $MP_{2,5}$ .

$I_f$  = valor do IQA máximo da faixa onde o poluente  $MP_{2,5}$  se encontra

$I_i$  = valor do IQA mínimo da faixa onde o poluente  $MP_{2,5}$  se encontra

$C_f$  = valor máximo da faixa de concentração onde o poluente  $MP_{2,5}$  se encontra

$C_i$  = valor mínimo da faixa de concentração onde o poluente p se encontra

$C$  = concentração média do poluente  $MP_{2,5}$

Para comparar os IQA obtidos com padrões de qualidade do ar foram considerados os valores dispostos pela CETESB em seu relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo (CETESB, 2017), uma vez que o Rio de Janeiro não possui legislação para  $MP_{2,5}$  e a Resolução CONAMA 491/2018 não traz os Índices de Qualidade do Ar recomendados a nível nacional. Os valores de IQA de referência da CETESB estão descritos na Tabela 3.3 a seguir.

Tabela 3-3: Índices de qualidade do ar (IQAr) de acordo com a CETESB (2018)

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fumaça (µg/m <sup>3</sup> )	Significado
<b>N1 - BOA</b>	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20	0 - 50	
<b>N2 - MODERADA</b>	41-80	>50 - 100	>25 -50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40	>50 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
<b>N3 - RUIM</b>	81-120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365	>100 - 150	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
<b>N4 - MUITO RUIM</b>	121-200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13-15	>320 - 1130	>365 - 800	>150 - 250	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
<b>N5 - PÉSSIMA</b>	>200	> 250	>125	> 200	> 15	> 1130	>800	> 250	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Em ambas as EMQA tanto na fase de instalação quanto na fase de operação o IQAr encontra-se com qualidade N1 considerada BOA (Tabela 3-4), segundo os parâmetros da CETESB (2018).

Assim como a concentração de  $MP_{2,5}$ , os valores do IQAr na fase de instalação são cerca de 24% maiores do que na fase de operação em ambas as EMQA. Isso também mostra que as obras influenciam na emissão de material particulado de diâmetro até 2,5  $\mu m$  e, conseqüentemente, diminuem a qualidade do ar.

Tabela 3-4: Índice de Qualidade do Ar (IQAr) durante as fases de instalação e operação nas EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande

	<b>EMQA Bosque da Boiuna Instalação</b>	<b>EMQA Bosque da Boiuna Operação</b>	<b>EMQA Rio Grande Instalação</b>	<b>EMQA Rio Grande Operação</b>
IQAr	30,88	24,96	32,64	24,80

No estado de São Paulo, o relatório de qualidade do ar elaborado pela CETESB (2018) mostra que nos últimos cinco anos (2013, 2014, 2015, 2016 e 2017) a qualidade do ar nas estações automáticas da região metropolitana tem sido registrada como BOA em mais 70% das amostragens em todos os anos.

No estado do Rio de Janeiro não é calculado o IQAr, entretanto, o último relatório anual de qualidade do ar, realizado em 2016, tendo como referência o ano de 2015, aponta que na estação Cidade de Deus, a mais próxima da Transolímpica, a concentração de  $MP_{2,5}$  atingiu o valor máximo de 18  $\mu g m^{-3}$  (INEA, 2016).

O presente estudo não avaliou o impacto da qualidade do ar local com implantação da Transolímpica, considerando o  $MP_{2,5}$ , pois não foi realizada uma campanha de monitoramento antes do início das obras da via. Apesar disso, é provável que o ar na região tenha melhorado uma vez que a operação de uma via expressa tende a aumentar a velocidade de deslocamento dos veículos, diminuir a ocorrência de engarrafamentos, encurtar distâncias e neste caso, devido a implantação do sistema de BRT, também a diminuir a quantidade de veículos na rua (MALHEIROS et al., 2017).

Segundo estimativas realizadas por Malheiros et al. (2017), a operação da Transolímpica reduzirá a emissão de poluentes, principalmente, devido à diminuição de 40% nas distâncias de deslocamento e da quantidade de ônibus

circulantes na região. Para MP total (emissões de escapamento e de desgaste de pneus, freios e pista) foi estimada uma redução de emissões de 48,8%.

Resultados semelhantes foram encontrados na Cidade do México, onde a introdução do sistema BRT teve um impacto positivo nas emissões de poluentes, inclusive particulados, para a atmosfera no curto prazo. A redução da concentração de  $MP_{10}$  variou de 7,3 a 9,2% dependendo da área da cidade (BEL; HOLST, 2018).

### 3.5. Correlação entre a concentração de $MP_{2,5}$ e as variáveis meteorológicas

Considerando que as concentrações de poluentes na atmosfera são influenciadas por características meteorológicas e topográficas locais, como pondera Braga et al. (2005), foi avaliada a correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  ( $MP_{25}$ ) e as seguintes variáveis meteorológicas: velocidade do vento (Vel), precipitação (Chuva), umidade relativa do ar (Ur) e temperatura (Temp).

Os gráficos do coeficiente de correlação de *Spearman* (Figuras 3-10 a 3-13) mostram que todas as variáveis apresentaram um padrão de correlação fraca com a concentração de  $MP_{2,5}$ .

Figura 3-10: Correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.

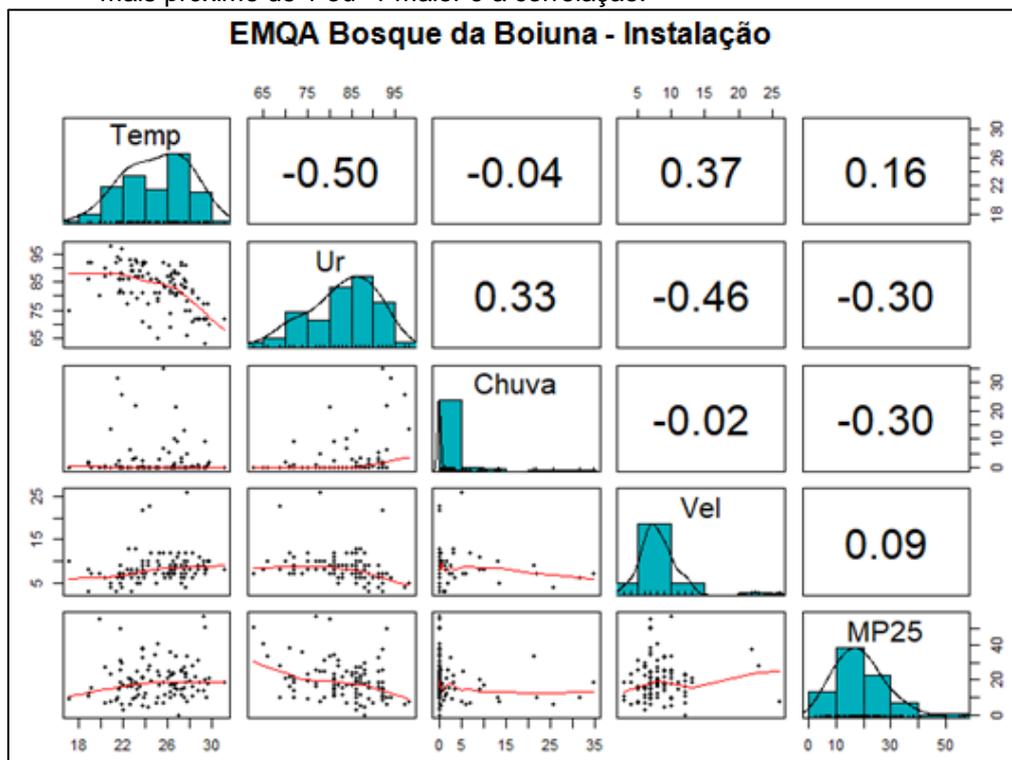


Figura 3-11: Correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.

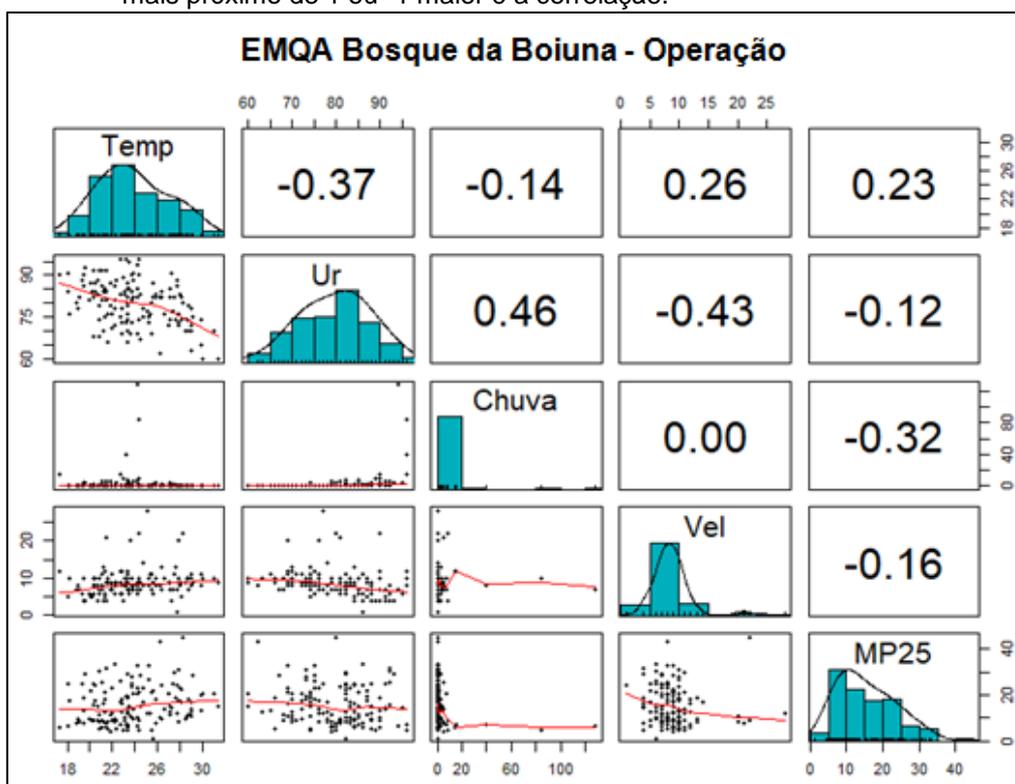


Figura 3-12: Correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.

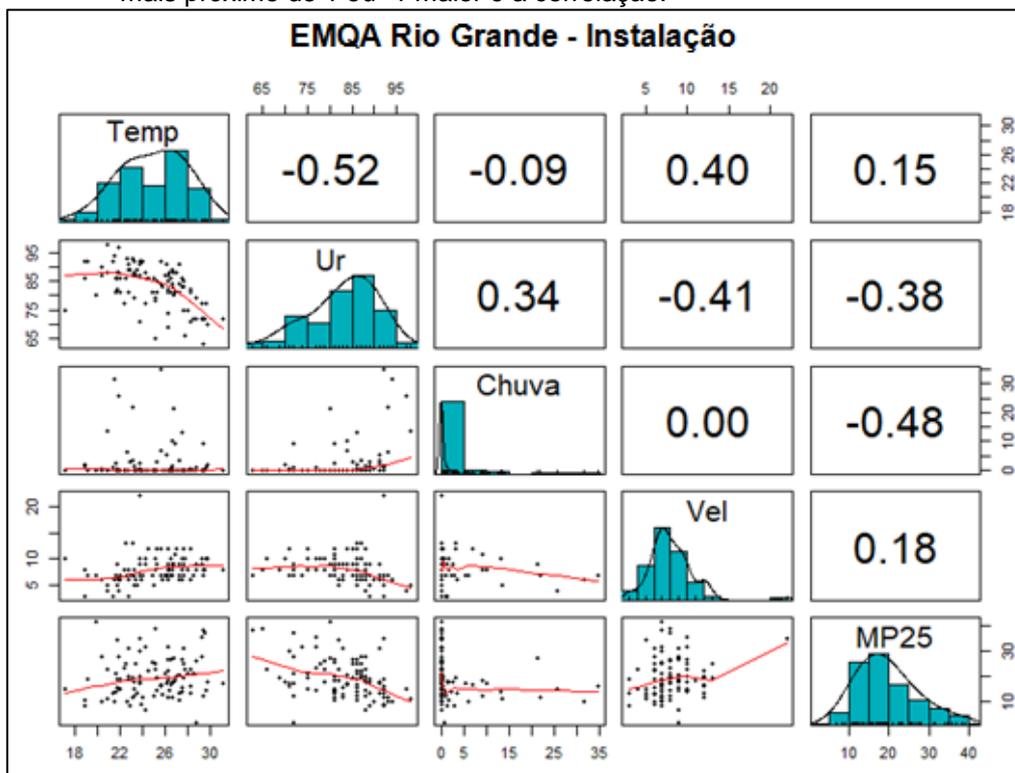
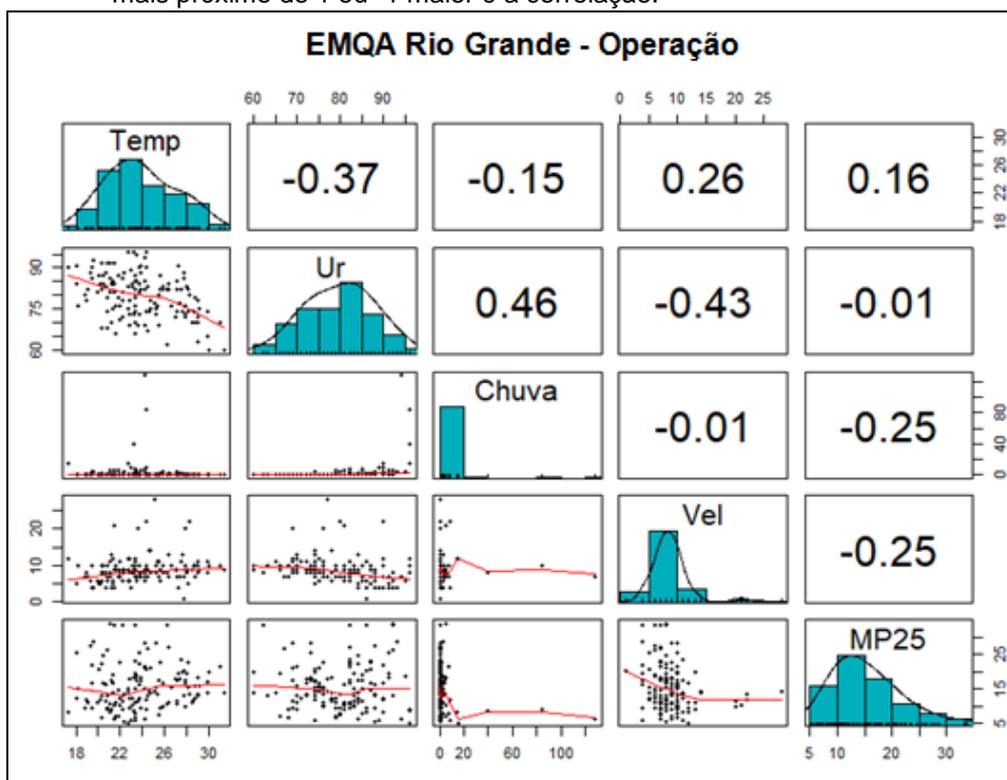


Figura 3-13: Correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  (MP25) e as variáveis meteorológicas na EMQA Rio Grande durante a fase de operação da Transolímpica. Valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.



A variável meteorológica que apresentou maior coeficiente de correlação com a concentração de MP<sub>2,5</sub> (MP25) foi a precipitação atmosférica (Chuva) para as EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna. A correlação entre MP25 e Chuva apresentou um padrão inverso, ou seja, a concentração de MP<sub>2,5</sub> tende a diminuir com o aumento dos valores de precipitação em ambas as fases e EMQA. O maior valor de coeficiente de correlação de *Spearman* encontrado foi na EMQA Rio Grande na fase da instalação, indicando que nessa fase a concentração de MP<sub>2,5</sub> esteve mais associada a precipitação pluviométrica.

Temp apresentou um padrão de correlação positiva com MP25 nas fases de instalação e operação tanto na EMQA Bosque da Boiuna quanto na EMQA Rio Grande. Já Ur exibiu um padrão de correlação negativa com MP25, em ambas as EMQA nas fases de instalação e operação.

Apenas a velocidade do vento (Vel) não mostrou um padrão comum a todas EMQA nas fases de instalação e operação da via.

Em geral, a ocorrência de precipitação pluviométrica, o aumento da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da temperatura tendem a dispersar e diluir os poluentes e, conseqüentemente, diminuir sua concentração na atmosfera (MONTE et al., 2016).

Guerra et al. (2011), encontraram resultados semelhantes para precipitação analisando as concentrações de MP<sub>2,5</sub> nas Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo. O estudo demonstrou que as variáveis meteorológicas que possuem relacionamento direto com a concentração dos poluentes de forma geral são a velocidade do vento e a precipitação, sendo ambas inversamente associadas com a concentração de MP<sub>2,5</sub>.

A fraca correlação entre a concentração de MP<sub>2,5</sub> e as variáveis meteorológicas pode ser explicada pela distância entre a estação meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá, cujos dados foram obtidos e as EMQA. Essa distância, de cerca de 8 km, diminui a probabilidade de registro das variações climáticas locais nos pontos onde ocorreu o monitoramento.

A análise de agrupamentos mostrou que nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna, tanto na fase de instalação quanto na fase de operação as variáveis formaram dois grupos distintos (Figuras 3-14 a 3-17). O primeiro é formado pelas variáveis mais associadas ao MP<sub>2,5</sub>, indicando uma correlação de fraca a média. E o segundo grupo formado apenas pela variável umidade

relativa ( $U_r$ ), com uma distância de ligação maior, o que indica uma menor similaridade com as demais variáveis.

É possível observar que a distância de ligação entre temperatura e  $MP_{2,5}$ , assim como precipitação e velocidade do vento é pequena havendo assim uma maior similaridade. E essas em relação a umidade, com uma distância de ligação maior, indicando uma menor similaridade. A correlação do  $MP_{2,5}$  com temperatura, precipitação e velocidade dos ventos, podem indicar o transporte do poluente, por proximidade de vias trafegáveis, em ambas EMQA e nas duas fases (GUERRA et al., 2011; MONTE et al., 2016).

Figura 3-14: Análise de agrupamentos na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação, considerando a concentração de MP2,5 (MP25) e as variáveis meteorológicas.

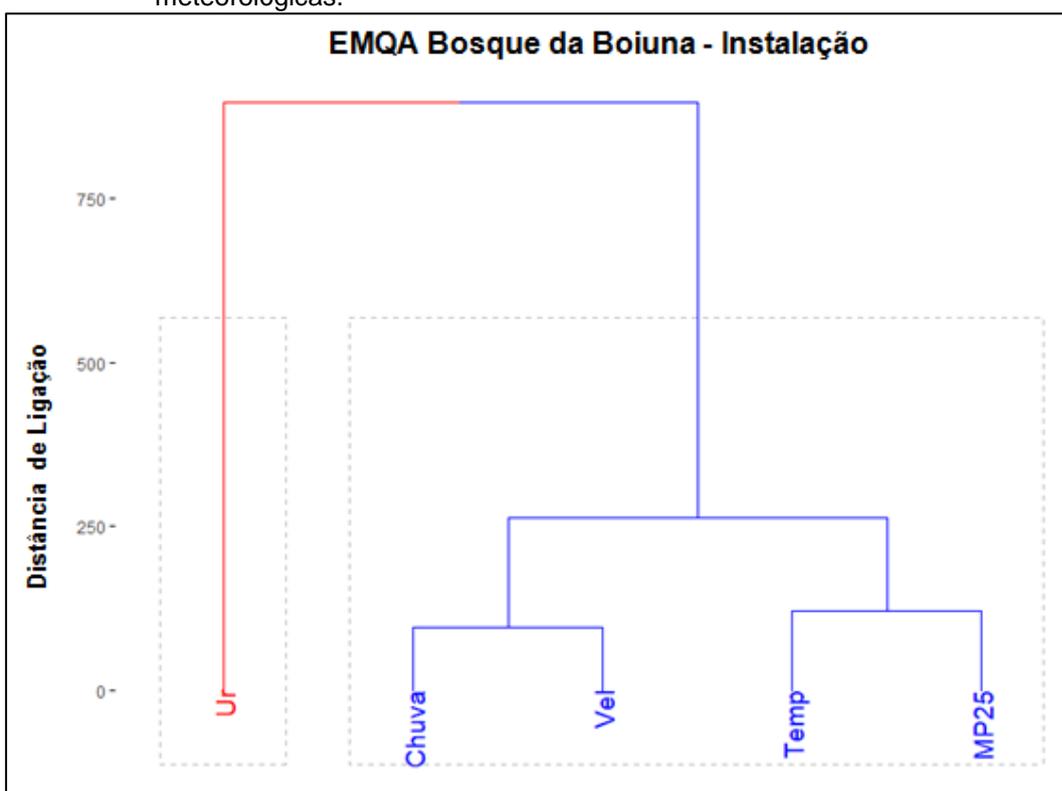


Figura 3-15: Análise de agrupamentos na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação, considerando a concentração de MP2,5 (MP25) e as variáveis meteorológicas.

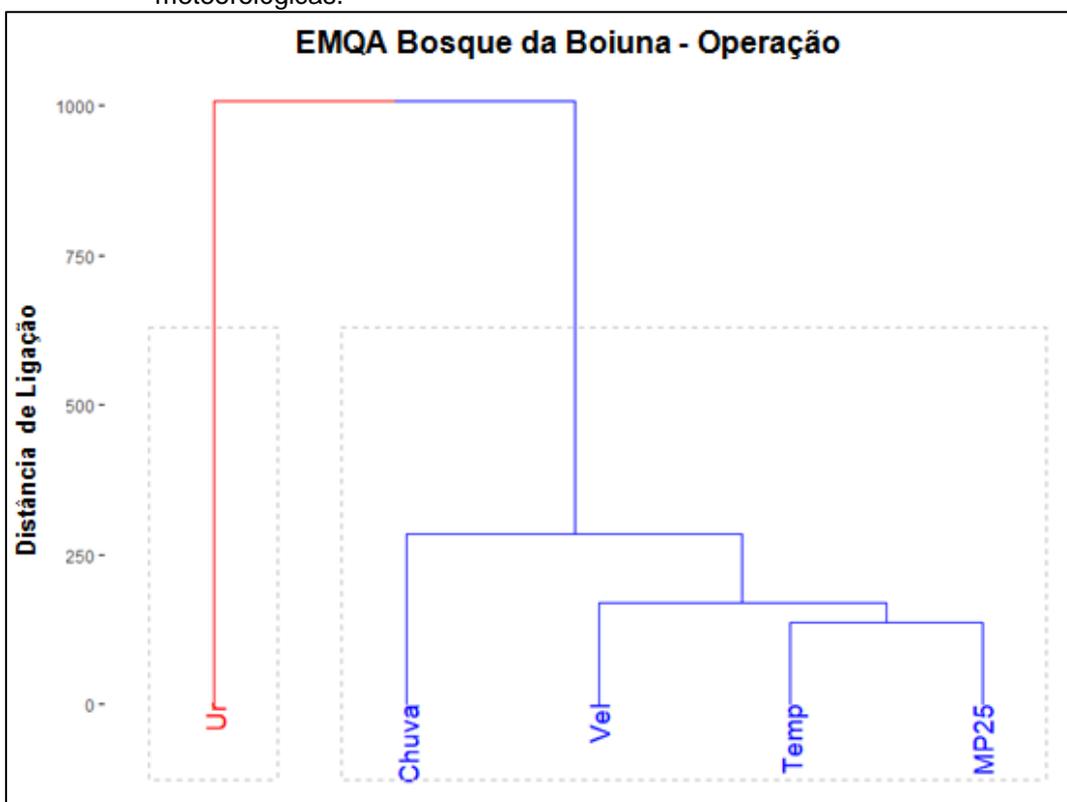


Figura 3-16: Análise de agrupamentos na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação, considerando a concentração de MP2,5 (MP25) e as variáveis meteorológicas.

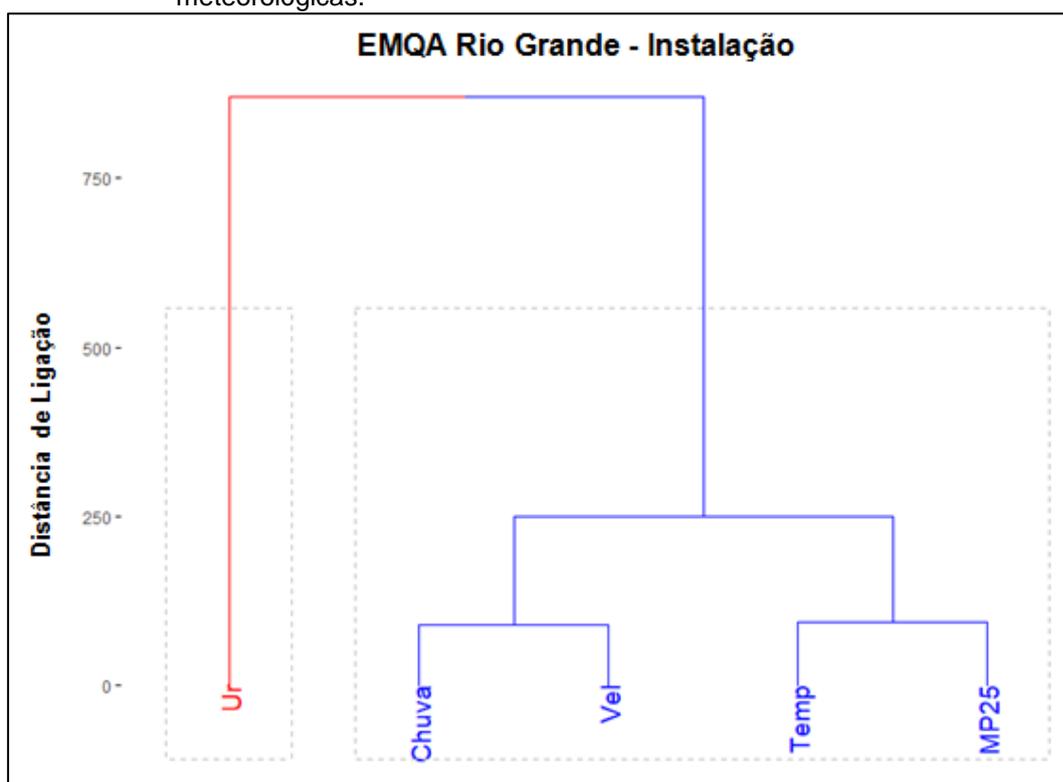
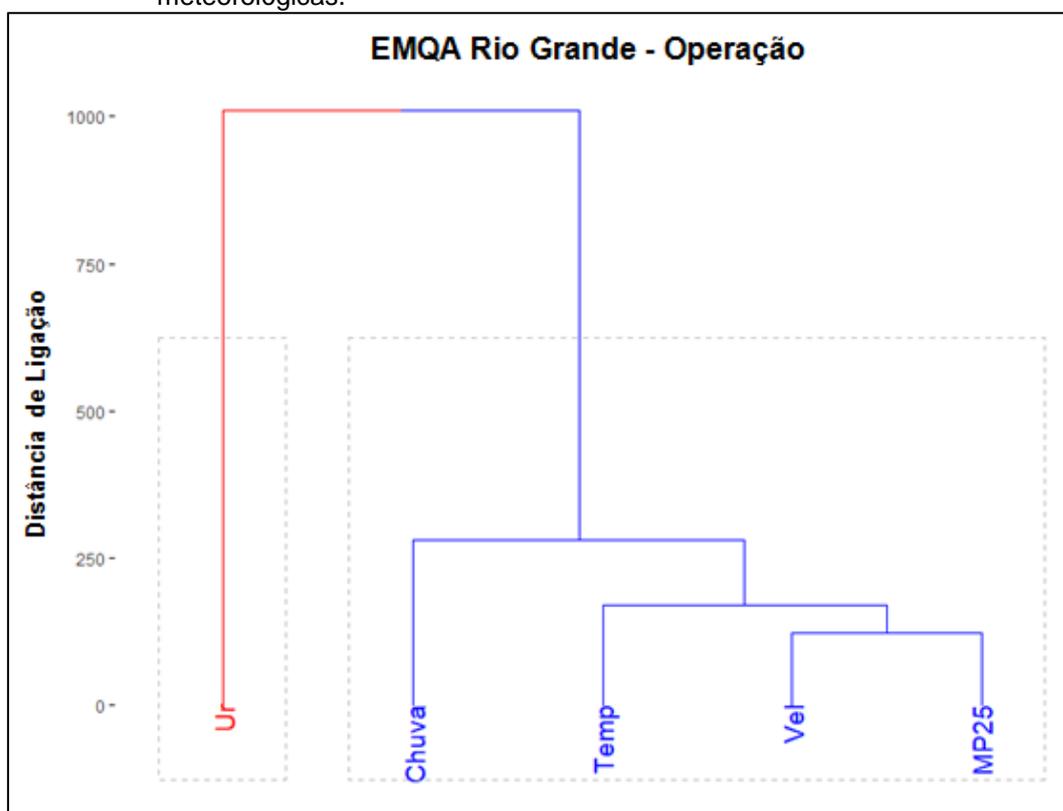


Figura 3-17: Análise de agrupamentos na EMQA Rio Grande durante a fase de operação, considerando a concentração de MP2,5 (MP25) e as variáveis meteorológicas.



#### 4. CONCLUSÃO

Durante o período de 14 de outubro de 2014 a 28 de outubro de 2018, em três dias foram registrados valores acima do limite de concentração de  $MP_{2,5}$  estabelecido pela Resolução CONAMA N° 491/2018, de  $60 \mu\text{g m}^{-3}$ . Isso aconteceu apenas na EMQA Rio Grande, durante a fase de instalação. Entretanto, o padrão estabelecido pela OMS foi extrapolado em 81 dias de amostragem no total, considerando as fases de instalação e operação da Transolímpica nas EMQA Rio Grande e Boiuna.

O maior valor de concentração de  $MP_{2,5}$  atingido foi de  $79,98 \mu\text{g m}^{-3}$ , na EMQA Rio Grande, durante a fase de instalação, no dia 26/12/2015.

A concentração de  $MP_{2,5}$  na fase de instalação apresentou uma diferença estatisticamente significativa quando comparada com a fase de operação da Transolímpica. Para ambas as EMQA avaliadas a concentração de  $MP_{2,5}$  foi maior na fase obras. A principal hipótese para explicar esse resultado é que apesar das obras gerarem mais  $MP_{10}$  o fluxo de veículos, em especial os movidos a diesel, é muito maior na fase de obras do que na fase de operação da via.

A qualidade do ar avaliada a partir do Índice de Qualidade do Ar (IQA) foi classificada como BOA tanto na fase de instalação, quanto na fase de operação da Transolímpica para ambas as EMQA, segundo os parâmetros da CETESB (2018).

A correlação entre a concentração de  $MP_{2,5}$  e as variáveis meteorológicas se mostrou fraca de forma geral, sendo a precipitação pluviométrica a variável com maior valor de coeficiente de correlação de *Spearman*. Precipitação e umidade relativa do ar apresentaram correlação negativa com a concentração de  $MP_{2,5}$ . Enquanto que a temperatura exibiu correlação positiva com a concentração de  $MP_{2,5}$ , já a velocidade do vento não mostrou um padrão comum de correlação com  $MP_{2,5}$ .

Para trabalhos futuros recomenda-se: comparar a concentração de  $MP_{2,5}$  durante as fases de instalação e operação com dados de concentração de  $MP_{2,5}$  do período antes da instalação; estimar qual a fonte de emissão do

material particulado coletado durante as fases de instalação e operação da Transolímpica; e relacionar os dados de concentração de  $MP_{2,5}$  durante a fase de operação com o fluxo de veículos de vias próximas. Neste trabalho houveram tentativas de análise dos dados de  $MP_{2,5}$  antes da instalação da via, porém os mesmos apresentavam defasagem em alguns períodos o que inviabilizou o uso.

Finalmente, espera-se que este trabalho sirva de material de consulta para estudantes e interessados na área, além de uma fonte de conhecimento da concentração de  $MP_{2,5}$  na área de influência direta da Transolímpica.

## REFERÊNCIAS

*Air quality in Europe-2017 report*. [s.d.].

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BEL, G.; HOLST, M. Evaluation of the impact of Bus Rapid Transit on air pollution in Mexico City. *Transport Policy*, v. 63, n. January, p. 209–220, 2018.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm). Acesso em: 04 nov. 2018.

BRASIL. *Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011*. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LCP/Lcp140.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp140.htm). Acesso em: 05 mar. 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual rodoviário de conservação, monitoramento e controle ambientais*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

BOURDREL, T. et al. Effets cardiovasculaires de la pollution de l'air. *Archives of Cardiovascular Diseases*, v. 110, n. 11, p. 634–642, 2017.

CÂMARA, F. P.; GOMES, A. F.; SANTOS, GUALBERTO TEIXEIRA DOS;

CÂMARA, D. C. P. Clima e epidemias de dengue no Estado do Rio de Janeiro. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 42, n. 2, p. 137–140, 2009.

CESARI, D. et al. Seasonal variability of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> composition and sources in an urban background site in Southern Italy. *Science of the Total Environment*, v. 612, p. 202–213, 2018.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Qualidade do Ar. Padrões de Qualidade do Ar*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em: 08 out. 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017*. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2018/05/relatorio-qualidade-ar-2017.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CHANG, L.-T. et al. Short-term exposure to noise, fine particulate matter and nitrogen oxides on ambulatory blood pressure: A repeated-measure study. *Environmental Research*, v. 140, p. 634–640, 1 jul. 2015.

CHEN, Y.-C. et al. Particulate matter exposure in a police station located near a highway. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 12, n. 11, 2015.

CHERNYSHEV, V. V. et al. Morphologic and chemical composition of particulate matter in motorcycle engine exhaust. *Toxicology Reports*, v. 5, n. January, p. 224–230, 2018.

CHOWDHURI, A.; GUPTA, C. K. Assessment of particulate matter (PM) concentrations at a typical construction site in Bangalore, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, v. 6, n. 2, p. 14-18, 2017.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 24 fev. 2018.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº 003, de 28 de julho de 1990*. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acesso em: 16 abr. 2018.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997*. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

CONAMA - *Conselho Nacional de Meio Ambiente*. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/11/2018&jornal=515&pagina=155&totalArquivos=178>. Acesso em: 17 dez. 2018.

DAIGLE, P. A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: A literature review. *BC Journal of Ecosystems and Management* 10(3):65–89, 2010.

DIAS, R. *Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

DIAS, J. W. C. *Manual de Operação do Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até 2,5µm (MP<sub>2,5</sub>)*. Energética Qualidade do Ar, 2017. Disponível em: <http://www.energetica.ind.br/produto/agv-mp25/>. Acesso em: 06 mar. 2018.

Energética Qualidade do Ar. *AGV MP-2,5 Amostrador de Grande Volume*. Disponível em: <http://www.energetica.ind.br/produto/agv-mp25/>. Acesso em: 07 mar. 2018.

EPA. *United States Environmental Protection Agency. Particulate Matter (PM) Pollution*, 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>. Acesso em: 18 abr. 2018.

EPA. *United States Environmental Protection Agency. What are the Air Quality Standards for PM?* 2017. Disponível em:

<https://www3.epa.gov/region1/airquality/pm-aq-standards.html>. Acesso em: 08 out. 2018

EPA. *United States Environmental Protection Agency. Overview of the Clean Air Act and Air Pollution*, 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview>. Acesso em: 30 ago. 2018.

FEEMA. Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

FINLAYSON-PITTS, B. J. *Atmospheric chemistry*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 15, p. 6566–7, 13 abr. 2010.

FOGLIATTI, M.C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. *Avaliação de Impactos Ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.

FONSECA, A.; SÁNCHEZ, L. E.; RIBEIRO, J. C. J. Reforming EIA systems: A critical review of proposals in Brazil. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 62, p. 90–97, 2017.

GINZBURG, H. et al. Monitoring study of the near-road PM2.5 concentrations in Maryland. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2015.

GOONETILLEKE, A.; WIJESIRI, B.; BANDALA, E. R. *Environmental Impacts of Road Vehicles*. [s.l: s.n.].

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels: A Brief Review. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 434–445, 2011.

GUERRA, F.P.; MIRANDA, R.M. (2011) *Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM2,5 na RMRJ e na RMSP*. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. Anais.

G1. *Começam as obras de construção da Transolímpica no Rio*. Data: 04/07/2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2012/07/comecam-obras-de-construcao-da-transolimpica-no-rio.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

G1. *Transolímpica é inaugurada no Rio com viagens gratuitas de BRT*. Data: 09/07/2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/07/transolimpica-e-inaugurada-no-rio-com-viagens-gratuitas-de-brt.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

HANSELL, A.; CAI, Y. S.; GULLIVER, J. Cardiovascular Health Effects of Road Traffic Noise. *Issues in Environmental Science and Technology* n°. 44. Environmental Impacts of Road Vehicles: Past, Present and Future. The Royal Society of Chemistry, 2017.

HART, A. Mann-Whitney test is not just a test of medians: differences in spread can be important. *BMJ (Clinical research ed.)*, v. 323, n. 7309, p. 391–3, 18 ago. 2001.

HOU, C. et al. Characteristics and aging of traffic-derived particles in a highway tunnel at a coastal city in southern China. *Science of The Total Environment*, v. 619–620, p. 1385–1393, 2018.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. *Instrução Técnica CEAM N° 10/2011 - Instrução técnica para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para as obras de implantação do corredor viário denominado transolímpica, de responsabilidade da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro*, 2011.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Diretoria de Licenciamento Ambiental – DILAM. *Parecer Técnico de Licença Prévia - CEAM N° 06/13, 2013*.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Diretoria de Licenciamento Ambiental – DILAM. *Parecer Técnico de Licença de Instalação N° 18/13, 2013*.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. *Inventário de emissões de fontes veiculares: região metropolitana do Rio de Janeiro*, 2016. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter/documents/document/zwew/mti3/~edisp/inea0127421.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2018.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. *Relatório da qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro – ano base 2015*. 2016. Disponível em: [http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter\\_dimfis\\_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edisp/inea0131852.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edisp/inea0131852.pdf). Acesso em: 17 jan. 2019.

JUDA-REZLER, K.; REIZER, M.; OUDINET, J. P. Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, v. 45, n. 36, p. 6557–6566, 2011.

KARLSON, M.; MÖRTBERG, U.; BALFORS, B. Road ecology in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 2014.

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

KIM, Y. H. et al. An investigation into the relationship between the major chemical components of particulate matter in urban air. *Chemosphere*, v. 95, p. 387–394, 2014.

KINSEY, J. S. et al. Characterization of the fugitive particulate emissions from construction mud/dirt carryout. *Journal of the Air and Waste Management Association*, v. 54, n. 11, p. 1394–1404, 2004.

KRZYZANOWSKI, M.; COHEN, A. Update of WHO air quality guidelines. [s.d.].  
LANDRIGAN, P. J. et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, v. 6736, n. 17, 2017.

LIANG, H.; QIU, H.; TIAN, L. Short-term effects of fine particulate matter on acute myocardial infarction mortality and years of life lost: A time series study in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, v. 615, p. 558–563, 2018.

LOYOLA, J. et al. Trace metals in the urban aerosols of Rio De Janeiro city. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2012b.

MALHEIROS, A. L.; PERAZZOLI, D. L.; VENTURA, L. M. B.; JAEN, M. Avaliação do benefício ambiental da implantação da TransOímpica na redução das emissões atmosféricas. *Revista dos Transportes Públicos*. a. 39, 2017.

MANN, H. B., WHITNEY, D. R. *On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other*, v. 18, 50-60, 1947.

MASSOUD, R.; SHIHADDEH, A. L.; ROUMIÉ, M.; YOUNESS, M.; GERARD, J.; SALIBA, N.; ZAAROUR, R.; M.; FARAH, W.; SALIBA, N. A. Intraurban variability of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in an Eastern Mediterranean city. *Atmospheric Research*. Vol. 101, p. 893–901, 2011.

MARCO, G.; BO, X. Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation. *Advances in Climate Change Research*, v. 4, n. 1, p. 50–59, 25 mar. 2013.

MARTINS, E. M. et al. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 19, n. spe, p. 43–50, 2014.

MILARÉ, Édis. *Direito do Ambiente*. 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2013.

MING, L. et al. PM<sub>2.5</sub> in the Yangtze River Delta, China: Chemical compositions, seasonal variations, and regional pollution events. *Environmental Pollution*, v. 223, p. 200–212, 2017.

MPRJ. Ministério Público do Estado Rio de Janeiro. Grupo de Apoio Técnico Especializado (Gate Ambiental). *Parecer Técnico-Jurídico N° 008/2012*. Análise de EIA/RIMA apresentado pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro para obtenção da Licença Prévia para implantação do BRT Transolímpica, situado na cidade do Rio de Janeiro. Processo INEA N° E-07/502.825/11, 2012.

MRS. MRS Estudos Ambientais. *Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Corredor Viário Transolímpico*. Maio de 2012.

MRS. MRS Estudos Ambientais. *Plano Básico Ambiental – PBA da Ligação Transolímpica*. Março de 2013.

MOHD RAZALI, N.; BEE WAH, Y. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. [s.l.: s.n.]. v. 2

MPH, B. et al. The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM<sub>2-5</sub> air pollution. *Articles Lancet Planet Health*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.thelancet.com/](http://www.thelancet.com/)>. Acesso em: 8 out. 2018.

MUGICA, V. et al. PM composition and source reconciliation in Mexico City. *Atmospheric Environment*, v. 43, n. 32, p. 5068–5074, 2009.

NAN JIANG et al. Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source profiles of fugitive dust in Zhengzhou, China. *Aerosol Air Qual. Res*, v. In Press, p. 314–329, 2017.

OMS - Organização Mundial da Saúde. *Informe Mundial sobre Prevención de los Traumatismos Causados por el Tránsito*, 2004. Organização Mundial de Saúde. Banco Mundial. Genebra, Suíça. Disponível em: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/world\\_report/summary\\_es.pdf](http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_es.pdf). Acesso em: 04 dez. 2018.

PANT, P.; HARRISON, R. M. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, v. 77, p. 78–97, 2013.

PEIXOTO, D. R. S. *Análise do Estudo de Impacto Ambiental do Corredor Viário Transolímpica* – RJ. 2018. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência, e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2018.

PEPPER, I.L; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. *Environmental and Pollution Science*, 2 ed. Elsevier, 2006.

PEREIRA DERECHYNSKI, C. et al. *CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO*. v. 241, p. 24–38, 2009.

PERRONE, M. G. et al. Sources of high PM<sub>2.5</sub> concentrations in Milan, Northern Italy: Molecular marker data and CMB modelling. *Science of the Total Environment*, v. 414, p. 343–355, 2012.

PHETRAWECH, T.; THEPANONDH, S. Evaluation of resuspension of road dust in a cement industrial complex area. *International Journal of GEOMATE*, v. 12, n. 33, 2017.

PHILIPPI JR, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. *Curso de Gestão Ambiental*. 2 ed. Barueri: Manole, 2014.

PORTUGAL. *Decreto-Lei nº. 69, de 3 de maio de 2000*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2000/05/102A00/17841801.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

REGAZZI, A. J. *Análise multivariada*. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática. Apostila de disciplina. Viçosa, 166p., 2001.

REQUIA, W. J. et al. *Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors*. 2016.

REZENDE, E. N.; COELHO, H. A. Impactos ambientais decorrentes da construção de estradas e suas consequências na responsabilidade civil. *Revista do Mestrado em Direito*, v. 9, n. 2, p. 155–180, 2015.

Rio de Janeiro. *Decreto nº 42.159, de 02 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental -SLAM e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=158541>. Acesso em: 18 dez. 2018.

RIO DE JANEIRO (Município). Secretaria de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro. *Relatório Da Rede De Monitoramento Monitor Ar-Rio 2011-2012*. Qualidade Do Ar Na Cidade Do Rio De Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3252594/4114836/RelatorioMonitorar20112012.pdf>. Acesso em 10 jan. 2019.

SÁNCHEZ, L.E. *Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos*, 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). *Biometrika*, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SOSA, B. S. et al. Human health risk due to variations in PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub> and associated PAHs levels. *Atmospheric Environment*, v. 160, 2017.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*. 15 (1): 72–101, 1904.

SEINFELD, J. H.; PANKOW, J. F. ORGANIC ATMOSPHERIC PARTICULATE MATERIAL. *Annual Review of Physical Chemistry*, v. 54, n. 1, p. 121–140, out. 2003.

SQUIZZATO, S. et al. Urban air quality in a mid-size city — PM<sub>2.5</sub> composition, sources and identification of impact areas: From local to long range contributions. *Atmospheric Research*, v. 186, p. 51–62, 2017.

TAO, J. et al. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> at urban and suburban areas of the Pearl River Delta region, south China - With emphasis on ship emissions. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 1559–1570, 2017.

USEPA. Particle Pollution and Your Health. n. September, p. 2, 2003.

XING, Y. F. et al. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, v. 8, n. 1, p. E69–E74, 2016.

VIA RIO. A CONCESSIONÁRIA VIARIO: viabilizadora próxima sustentável. Disponível em: <https://viario.com.br/>. Acesso em: 05 mar. 2018.

WATHERN, P. *Environmental impact assessment: theory and practice*, 2004. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BtkhD-6zG\\_wC&oi=fnd&pg=PA10&dq=Environmental+Impact+Assessment:+Theory+and+Practice&ots=4a2z9rwchR&sig=PK1-XspG8psu2vMK0YipJ3Dj9A#v=onepage&q=Environmental%20Impact%20Assessment%3A%20Theory%20and%20Practice&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BtkhD-6zG_wC&oi=fnd&pg=PA10&dq=Environmental+Impact+Assessment:+Theory+and+Practice&ots=4a2z9rwchR&sig=PK1-XspG8psu2vMK0YipJ3Dj9A#v=onepage&q=Environmental%20Impact%20Assessment%3A%20Theory%20and%20Practice&f=false). Acesso em: 16 abr. 2018.

MONTE, E Z.; ALBUQUERQUE, T. T. A.; REISEN, V. A.; Impactos das Variáveis Meteorológicas na Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil Impacts of Meteorological Variables on Air Quality in The Region of. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2016, p. 546–554.

ZANOBETTI, A. et al. Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions. *Environmental Health*, v. 8, n. 1, p. 58, 21 dez. 2009.

ZHANG, Z. et al. Characteristics and applications of size-segregated biomass burning tracers in China's Pearl River Delta region. *Atmospheric Environment*, v. 102, n. 101, p. 290–301, 2015.

## APÊNDICE A – Concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação

Tabela 0-1: Concentração diária de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de instalação

<b>Data</b>	<b>Concentração</b>	<b>Observação</b>
14/10/2014	37,78	
20/10/2014	7,15	
26/10/2014	32,74	
01/11/2014	23,5	
07/11/2014	21,01	
13/11/2014	15,06	
19/11/2014	28,7	
25/11/2014	24,76	
01/12/2014	11,64	
07/12/2014	12,84	
13/12/2014	18,4	
19/12/2014	18,17	
25/12/2014	17,96	
31/12/2014	20,94	
06/01/2015	27,31	
12/01/2015	56,82	
18/01/2015	28,04	
24/01/2015	15,21	
30/01/2015	17,65	
05/02/2015	17,03	
11/02/2015	18,97	
17/02/2015	14,88	
23/02/2015	11,11	
01/03/2015	10,38	
07/03/2015	25,36	
13/03/2015	26,16	
19/03/2015	15,24	
25/03/2015	11,6	
31/03/2015	18,67	
06/04/2015	7,6	
12/04/2015	16,17	
18/04/2015	23,14	
24/04/2015	17,29	
30/04/2015	9,98	
06/05/2015	8,16	
12/05/2015	0	HI-VOL apresentou problema
18/05/2015	18,41	

24/05/2015	24,89	
30/05/2015	30,15	
05/06/2015	31,55	
11/06/2015	41,07	
17/06/2015	16,34	
23/06/2015	20,95	
29/06/2015	23,89	
05/07/2015	11,01	
11/07/2015	21,07	
17/07/2015	49,62	
23/07/2015	14,84	
29/07/2015	14,67	
04/08/2015	38,3	
10/08/2015	16,45	
16/08/2015	22,04	
22/08/2015	18,9	
28/08/2015	2,58	
03/09/2015	15,67	
09/09/2015	18,91	
15/09/2015	11,66	
21/09/2015	19,23	
27/09/2015	33,59	
03/10/2015	22,36	
09/10/2015	25,81	
15/10/2015	50,38	
21/10/2015	36,29	
27/10/2015	34,37	
02/11/2015	12,73	
08/11/2015	10,02	
14/11/2015	22,03	
20/11/2015	16,09	
26/11/2015	9,77	
02/12/2015	4,14	
08/12/2015	5,11	
14/12/2015	13,81	
20/12/2015	11,27	
26/12/2015	18,67	
01/01/2016	20,75	
07/01/2016	25,14	
13/01/2016	10,4	
19/01/2016	6,28	
25/01/2016	15,93	
31/01/2016	9,82	
06/02/2016	21,97	
12/02/2016	10,23	
18/02/2016	13,79	

24/02/2016	31,67	
01/03/2016	5,71	
07/03/2016	0	HI-VOL apresentou problema
13/03/2016	7,05	
19/03/2016	16,85	
25/03/2016	24,01	
31/03/2016	24,29	
06/04/2016	17,24	
12/04/2016	23,79	
18/04/2016	19,76	
24/04/2016	33,82	
30/04/2016	7,1	
06/05/2016	20,1	
12/05/2016	9,51	
18/05/2016	7,83	
24/05/2016	12,55	
30/05/2016	25,66	
05/06/2016	10,41	
11/06/2016	9,47	
17/06/2016	55,26	
23/06/2016	15,5	
29/06/2016	27,71	
05/07/2016	17,11	

## APÊNDICE B – Concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação

Tabela 0-1: Concentração diária de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Bosque da Boiuna durante a fase de operação

<b>Data</b>	<b>Concentração</b>	<b>Observação</b>
11/07/2016	43,44	
17/07/2016	9,17	
23/07/2016	25	
29/07/2016	9,18	
04/08/2016	17,93	
10/08/2016	13,17	
16/08/2016	22,9	
22/08/2016	6,03	
28/08/2016	28,63	
03/09/2016	19,67	
09/09/2016	8,44	
15/09/2016	26	
21/09/2016	5,15	
27/09/2016	8,91	
03/10/2016	4,34	
14/10/2016	20,39	
20/10/2016	30,05	
26/10/2016	13,74	
01/11/2016	20,94	
07/11/2016	11,95	
13/11/2016	6,94	
19/11/2016	5,52	
25/11/2016	16,89	
01/12/2016	11,08	
07/12/2016	23,76	
13/12/2016	14,8	
19/12/2016	9,84	
25/12/2016	12,69	
31/12/2016	20,82	
06/01/2017	11,77	
12/01/2017	11,59	
18/01/2017	15,08	
24/01/2017	16,7	
30/01/2017	10,98	
05/02/2017	10,72	
11/02/2017	13,87	

17/02/2017	17,34	
23/02/2017	20,89	
01/03/2017	13,18	
07/03/2017	11,87	
13/03/2017	8,15	
19/03/2017	4,49	
25/03/2017	14,86	
31/03/2017	6,12	
06/04/2017	30,7	
12/04/2017	9,26	
18/04/2017	6,83	
24/04/2017	6,7	
30/04/2017	8,18	
06/05/2017	11,56	
12/05/2017	9,71	
18/05/2017	9,53	
24/05/2017	18,77	
30/05/2017	30,59	
05/06/2017	23,09	
11/06/2017	17,28	
17/06/2017	15,32	
23/06/2017	7,61	
29/06/2017	25,02	
05/07/2017	8,72	
11/07/2017	21,75	
17/07/2017	18,59	
23/07/2017	24,39	
29/07/2017	8,7	
04/08/2017	8,47	
10/08/2017	16,65	
16/08/2017	29,31	
22/08/2017	7,87	
28/08/2017	24,88	
03/09/2017	11,32	
09/09/2017	18,21	
15/09/2017	32,74	
21/09/2017	19,63	
27/09/2017	22,77	
03/10/2017	8,84	
09/10/2017	21,13	
15/10/2017	5,43	
21/10/2017	24,74	
27/10/2017	20,35	
02/11/2017	8,3	
08/11/2017	16,42	
14/11/2017	12,07	

20/11/2017	7,51	
26/11/2017	12,72	
02/12/2017	9,92	
08/12/2017	13,84	
14/12/2017	0	HI-VOL apresentou problema
20/12/2017	18,92	
26/12/2017	9,47	
01/01/2018	24,96	
07/01/2018	6,72	
13/01/2018	15,37	
19/01/2018	28,7	
25/01/2018	44,93	
31/01/2018	5,07	
06/02/2018	10,44	
12/02/2018	20,25	
18/02/2018	10,54	
24/02/2018	0	HI-VOL apresentou problema
02/03/2018	23,02	
08/03/2018	4,94	
14/03/2018	22,19	
20/03/2018	24,53	
26/03/2018	17,95	
01/04/2018	17,11	
07/04/2018	8,03	
13/04/2018	24,12	
19/04/2018	12,53	
25/04/2018	15,08	
01/05/2018	20,37	
07/05/2018	10,31	
13/05/2018	7,19	
19/05/2018	11,87	
25/05/2018	17,47	
31/05/2018	21,04	
06/06/2018	12,2	
12/06/2018	26,44	
18/06/2018	6	
24/06/2018	32,69	
30/06/2018	17,19	
06/07/2018	31,85	
12/07/2018	6,88	
18/07/2018	33,32	
24/07/2018	25,61	
30/07/2018	27,68	
05/08/2018	12,95	
11/08/2018	9,59	
17/08/2018	15,5	

23/08/2018	29,15	
29/08/2018	9,22	
04/09/2018	7,6	
10/09/2018	8,77	
16/09/2018	6,29	
22/09/2018	10,4	
28/09/2018	14,75	
04/10/2018	21,61	
10/10/2018	18,48	
16/10/2018	8,89	
22/10/2018	12,71	
28/10/2018	4,52	

## APÊNDICE C – Concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação

Tabela 0-1: Concentração diária de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de instalação

<b>Data</b>	<b>Concentração</b>	<b>Observação</b>
14/10/2014	34,86	
20/10/2014	16,86	
26/10/2014	18,02	
01/11/2014	19,7	
07/11/2014	20,86	
13/11/2014	18,3	
19/11/2014	5,91	
25/11/2014	20,79	
01/12/2014	11,86	
07/12/2014	11,57	
13/12/2014	15,85	
19/12/2014	14,35	
25/12/2014	17,66	
31/12/2014	17,84	
06/01/2015	26,55	
12/01/2015	35,75	
18/01/2015	22,58	
24/01/2015	15,65	
30/01/2015	14,36	
05/02/2015	16,99	
11/02/2015	17,29	
17/02/2015	13,1	
23/02/2015	13,26	
01/03/2015	5,44	
07/03/2015	17,18	
13/03/2015	0	HI-VOL apresentou problema
19/03/2015	17,66	
25/03/2015	12,55	
31/03/2015	73,15	
06/04/2015	9,62	
12/04/2015	13,5	
18/04/2015	22,22	
24/04/2015	26,76	
30/04/2015	9,88	
06/05/2015	13,62	
12/05/2015	12,08	

18/05/2015	19,01	
24/05/2015	17,89	
30/05/2015	27,76	
05/06/2015	34,22	
11/06/2015	39,04	
17/06/2015	31,1	
23/06/2015	0	HI-VOL apresentou problema
29/06/2015	22,99	
05/07/2015	8,37	
11/07/2015	24,71	
17/07/2015	74,35	
23/07/2015	20,84	
29/07/2015	15,15	
04/08/2015	30,02	
10/08/2015	23,37	
16/08/2015	16,96	
22/08/2015	15,75	
28/08/2015	19,13	
03/09/2015	14,18	
09/09/2015	19,31	
15/09/2015	24,97	
21/09/2015	22,34	
27/09/2015	27,26	
03/10/2015	19,55	
09/10/2015	31,44	
15/10/2015	38,44	
21/10/2015	31,57	
27/10/2015	25,47	
02/11/2015	11,94	
08/11/2015	8,75	
14/11/2015	21,04	
20/11/2015	16,18	
26/11/2015	22,89	
02/12/2015	6,82	
08/12/2015	19,94	
14/12/2015	27,69	
20/12/2015	10,76	
26/12/2015	79,98	
01/01/2016	12,03	
07/01/2016	25,09	
13/01/2016	14,07	
19/01/2016	14,98	
25/01/2016	14,99	
31/01/2016	36,93	
06/02/2016	31,14	
12/02/2016	19,51	

18/02/2016	0	HI-VOL apresentou problema
24/02/2016	25,98	
01/03/2016	10,04	
07/03/2016	19,75	
13/03/2016	12,51	
19/03/2016	18,33	
25/03/2016	16,74	
31/03/2016	24,87	
06/04/2016	14,2	
12/04/2016	26,69	
18/04/2016	20,93	
24/04/2016	22,66	
30/04/2016	10,05	
06/05/2016	20,07	
12/05/2016	8,12	
18/05/2016	11,14	
24/05/2016	10,64	
30/05/2016	19,07	
05/06/2016	11,57	
11/06/2016	14,9	
17/06/2016	41,49	
23/06/2016	19,07	
29/06/2016	27,91	
05/07/2016	14,93	

## APÊNDICE D – Concentração de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de operação

Tabela 0-1: Concentração diária de MP<sub>2,5</sub> na EMQA Rio Grande durante a fase de operação

<b>Data</b>	<b>Concentração</b>	<b>Observação</b>
11/7/2016	33,26	
17/7/2016	6,73	
23/7/2016	22,4	
29/7/2016	11,71	
4/8/2016	16,77	
10/8/2016	16,56	
16/8/2016	22,49	
22/8/2016	8,43	
28/8/2016	26,46	
3/9/2016	23,17	
9/9/2016	11,36	
15/9/2016	14,28	
21/9/2016	12,91	
27/9/2016	10,49	
3/10/2016	7,17	
14/10/2016	17,9	
20/10/2016	23,53	
26/10/2016	15,32	
1/11/2016	17,4	
7/11/2016	13,49	
13/11/2016	5,22	
19/11/2016	6,99	
25/11/2016	13,78	
1/12/2016	11,42	
7/12/2016	16,17	
13/12/2016	19,35	
19/12/2016	11,16	
25/12/2016	10,68	
31/12/2016	21,44	
6/1/2017	12,11	
12/1/2017	11,62	
18/1/2017	13,78	
24/1/2017	18,26	
30/1/2017	11,95	
5/2/2017	13,1	
11/2/2017	13,5	
17/2/2017	16,66	
23/2/2017	19,97	

1/3/2017	13,95	
7/3/2017	12,94	
13/3/2017	9,75	
19/3/2017	5,97	
25/3/2017	13,05	
31/3/2017	6,6	
6/4/2017	17,48	
12/4/2017	11,81	
18/4/2017	8,04	
24/4/2017	10,94	
30/4/2017	9,07	
6/5/2017	14,8	
12/5/2017	11,18	
18/5/2017	12,97	
24/5/2017	21,76	
30/5/2017	26,17	
5/6/2017	20,89	
11/6/2017	14,92	
17/6/2017	16,25	
23/6/2017	9,6	
29/6/2017	27,6	
5/7/2017	11,05	
11/7/2017	20,57	
17/7/2017	19,26	
23/7/2017	24,67	
29/7/2017	10,97	
4/8/2017	9,47	
10/8/2017	17,62	
16/8/2017	28,7	
22/8/2017	9,34	
28/8/2017	25,46	
3/9/2017	8,96	
9/9/2017	17,66	
15/9/2017	28,11	
21/9/2017	18,28	
27/9/2017	20,85	
3/10/2017	13,61	
9/10/2017	20,45	
15/10/2017	5,41	
21/10/2017	22,27	
27/10/2017	21,58	
2/11/2017	8,99	
8/11/2017	9,51	
14/11/2017	10,33	
20/11/2017	8,81	
26/11/2017	13,14	

2/12/2017	9,32	
8/12/2017	18,19	
14/12/2017	14,43	
20/12/2017	19,86	
26/12/2017	10,89	
1/1/2018	17,99	
7/1/2018	6,16	
13/1/2018	17,35	
19/1/2018	15,66	
25/1/2018	13,54	
31/1/2018	7,48	
6/2/2018	14,96	
12/2/2018	17,2	
18/2/2018	10,49	
24/2/2018	9,59	
2/3/2018	19,36	
8/3/2018	9,15	
14/3/2018	22,5	
20/3/2018	20,33	
26/3/2018	15,98	
1/4/2018	15,31	
7/4/2018	9,81	
13/4/2018	27,19	
19/4/2018	12,07	
25/4/2018	17,55	
1/5/2018	17,31	
7/5/2018	12,08	
13/5/2018	7,91	
19/5/2018	14,27	
25/5/2018	16,58	
31/5/2018	19,18	
6/6/2018	14,99	
12/6/2018	28,06	
18/6/2018	8,19	
24/6/2018	15,38	
30/6/2018	15,21	
6/7/2018	33,27	
12/7/2018	12,32	
18/7/2018	33,57	
24/7/2018	33,76	
30/7/2018	25,51	
5/8/2018	13,84	
11/8/2018	11,91	
17/8/2018	12,93	
23/8/2018	33,28	
29/8/2018	11,59	

4/9/2018	10,07	
10/9/2018	12,27	
16/9/2018	6,31	
22/9/2018	10,19	
28/9/2018	18,82	
4/10/2018	22,58	
10/10/2018	16,63	
16/10/2018	12,2	
22/10/2018	11,18	
28/10/2018	5,87	