

Denise Pacheco Daris

Qualidade do ar oriunda de tráfego urbano em uma
cidade de porte médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia, sob a orientação da Prof^a Dr^a Luciana Brandli e corientação do Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf e do Prof. Dr. Francisco Dalla Rosa.

Passo Fundo, RS

2015

Denise Pacheco Daris

Qualidade do ar oriunda de tráfego urbano em uma cidade de porte médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia, sob a orientação da Prof^a Dr^a Luciana Brandli e orientação do Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf e do Prof. Dr. Francisco Dalla Rosa.

Data da aprovação: Passo Fundo, 20 de maio de 2015.

Os componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Luciana Londero Brandli, Dr^a
Orientadora

Francisco Dalla Rosa, Dr.
Orientador

Eduardo Pavan Korf, Dr.
Orientador

Marco Aurelio Stumpf Gonzáles, Dr.
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos

Pedro Domingos Marques Prietto, Dr.
Universidade de Passo Fundo – UPF

Rosa Maria Locatelli Kalil, Dr^a
Universidade de Passo Fundo - UPF

Passo Fundo, RS
2015

AGRADECIMENTOS

Durante esse dois anos só tenho a agradecer a todos que passaram pelo meu caminho e que com certeza deixaram um pouco de si, em especial a minha família, minha orientadora Dr^a Luciana Londero Brandli e meus orientadores Dr. Francisco Dalla Rosa, Dr. Eduardo Pavan Korf, por acreditarem que eu era capaz e onde busco inspirações para me tornar melhor em tudo faço e irei fazer daqui para frente. Os momentos de alegria serviram para me permitir acreditar na beleza da vida, e os de sofrimento, serviram para um crescimento pessoal único. É muito difícil transformar sentimentos em palavras, mas serei eternamente grata a vocês, pessoas imprescindíveis para a realização e conclusão deste trabalho.

A CAPES e a UPF, pelo auxílio e apoio concedido, que foi de fundamental importância para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A cidade de Passo Fundo bem como a maioria das cidades convivem com vários tipos de emissões atmosféricas, as quais não possuem formas de controle e monitoramento, podendo gerar diversos tipos de poluentes. Esses poluentes podem causar efeitos agudos e crônicos à saúde humana, além de causarem impactos ambientais locais e globais. Aliado a isto, a maioria das cidades não possui práticas de monitoramento e inventário das emissões poluidoras, sendo de fundamental importância para fornecer informações para se diagnosticar os impactos e assim prover medidas de controle nas fontes geradoras. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a poluição do ar oriunda do tráfego urbano em Passo Fundo, possibilitando ações da sociedade civil, dos governos e das instituições. Para tal, foi monitorado e analisado durante o período de abril de 2014 a março de 2015, por meio de amostrador passivo, a qualidade do ar, através dos poluentes: Óxido de Nitrogênio (NO₂) e Ozônio (O₃), oriundos das emissões veiculares. De acordo com os resultados obtidos, os níveis de poluentes analisados não ultrapassam os valores da legislação vigente, porém, é preciso que haja engajamento comunitário, modificação das atitudes das pessoas e sociedade, uma nova visão e gestão urbana, uma vez que o desenvolvimento socioeconômico deve ocorrer de forma sustentável e ambientalmente seguro. Os dados também revelaram relação entre os poluentes e os fatores meteorológicos, tanto na concentração quanto na dispersão dos poluentes analisados.

Palavras-chave: amostrador passivo, emissões veiculares, poluição atmosférica

ABSTRACT

The Passo Fundo city as well as the most cities has many atmospheric emissions generators that don't have control and monitoring means, which can generate a several types of pollutants. These pollutants can cause acute and chronic effects to the human health, besides causing local and global environmental impacts. Considering that there are a few cities in the world performing monitoring practices and air emissions inventory, it's fundamental the importance of the information to diagnose the impacts and, if necessary, provide control measures in the generating sources. This study aimed to evaluate the air pollution coming from the urban traffic in Passo Fundo, enabling civil society, governments and institutions actions. For this, the air quality was monitored and analyzed, during the period from April 2014 to March in 2015, with passive samplers, through the nitrogen dioxide (NO₂) and ozone (O₃) pollutants that are produced by the vehicle emissions. It was possible to observe the effect of vehicle emissions through the nitrogen dioxide and ozone concentrations which are emitted due the fossil fuel burning and can be associated or not to the ozone production through the photochemical phenomena. The values found meet the provisions of current legislation. The data also showed a connection between the pollutants and meteorological factors.

Keywords: passive sampler, vehicle emissions, air pollution.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes do ar não poluído.....	17
Tabela 2: Tempo de residência e composição de alguns gases na atmosfera.....	19
Tabela 3: Informações gerais da cidade de Passo Fundo	42
Tabela 4: Descrição da localização dos pontos de estudo e fluxo diário de veículos	46
Tabela 5: Localizações geográficas dos pontos Av. Brasil	48
Tabela 6: Coeficientes de difusividade	58
Tabela 7: Dados climáticos ocorridos na semana de monitoramento	60
Tabela 8: Síntese dos resultados encontrados nas comparações poluente x meteorologia	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fontes de Poluição Atmosférica	21
Figura 2: Principais Problemas Ambientais do Mundo.....	36
Figura 3: NO ₂ média e máxima, os valores das médias anuais para o tráfego e em meio urbano	36
Figura 4: Evolução da frota no estado do Rio Grande do Sul.....	43
Figura 5: Distribuição da frota em circulação da Cidade de Passo Fundo.....	44
Figura 6: Fluxograma do trabalho.....	45
Figura 7: Vista superior do ponto 1.....	47
Figura 8: Vista superior do ponto 2.....	47
Figura 9: Vista superior do ponto 3.....	48
Figura 10: Vista superior do ponto 4.....	48
Figura 11: Vista superior do ponto 6.....	48
Figura 12: Vista superior do ponto 5.....	48
Figura 13: Localização dos pontos de análise.....	47
Figura 14: Conjunto de amostradores fixados nos pontos de coleta.....	49
Figura 15: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P3.....	50
Figura 16: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P2.....	50
Figura 17: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P4.....	50
Figura 18: Modelo de amostrador passivo.....	51
Figura 19: Componentes do amostrador passivo utilizado na pesquisa.....	52
Figura 20: Filtros de NO ₂ em solução reagente.....	57
Figura 21: Espectrofotômetro UV/VIS para realização da leitura da absorvância.....	57
Figura 22: Pesagem dos reagentes para preparo das soluções.....	57
Figura 23: Concentração de NO ₂ e a influência da velocidade do vento.....	65
Figura 24: Concentração de NO ₂ e a influência da precipitação.....	66
Figura 25: Concentração de NO ₂ e a influência da insolação.....	67
Figura 26: Concentração de NO ₂ e a influência da temperatura.....	68
Figura 27: Concentração de NO ₂ e a influência da umidade relativa.....	70
Figura 28: Concentração de NO ₂ durante o período de monitoramento.....	62
Figura 29: Comparação dos valores encontrados de NO ₂ com a legislação.....	64
Figura 30: Concentração de O ₃ e a influência da velocidade do vento.....	73
Figura 31: Concentração de O ₃ e a influência da precipitação.....	74
Figura 32: Concentração de O ₃ e a influência da insolação.....	75
Figura 33: Concentração de O ₃ e a influência da temperatura.....	76
Figura 34: Concentração de O ₃ e a influência da umidade relativa.....	76
Figura 35: Concentração do O ₃ ocorrida durante o monitoramento.....	69
Figura 36: Comparação dos valores encontrados de O ₃ com a legislação.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diferentes origens da poluição atmosférica	21
Quadro 2: Efeitos causados pelos diversos poluentes atmosféricos.....	26
Quadro 3: Principais poluentes resultantes da combustão em veículos automotores.....	27
Quadro 4: Padrão primário e padrão secundário estabelecido pela Resolução CONAMA	38
Quadro 5: Especificações de filtros e solução absorvedora para cada poluente	52
Quadro 6: Concentração de NO ₂ durante o período de monitoramento	61
Quadro 7: Concentração do O ₃ ocorrida durante o monitoramento	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problema da Pesquisa	12
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Escopo e Delimitação.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 A Poluição Atmosférica	17
2.2 Fontes Poluidoras	20
2.3 Principais Efeitos da Poluição Atmosférica	22
2.3.1 Efeitos da poluição atmosférica: na atmosfera, no solo e nos corpos d'água	22
2.3.2 Efeitos da poluição atmosférica em materiais.....	23
2.3.3 Efeitos da poluição atmosférica na vegetação.....	23
2.3.4 Efeitos da poluição atmosférica na saúde humana.....	24
2.4 Poluentes atmosféricos veiculares.....	26
2.5 Fatores que influenciam na dispersão dos poluentes.....	31
2.6 Monitoramento do ar.....	32
2.7 Tipos de analisadores de poluentes do ar	32
2.7.1 Amostragem Passiva.....	32
2.7.2 Amostragem ativa	34
2.7.3 Analisadores Automáticos	34
2.7.4 Sensores Remotos	35
2.8 Indicadores da qualidade do ar.....	35
2.9 Legislação brasileira para poluição atmosférica	37
2.10 Alguns estudos relacionados ao monitoramento do ar	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 Cenário da Pesquisa	42
3.2 Delineamento da Pesquisa.....	44
3.3 Amostragem	46
3.3.1 Definição dos Pontos de Amostragem	46
3.3.2 Definição do Período de Coleta	49
3.4 Monitoramento da Qualidade do Ar.....	50
3.4.1 Montagem dos Amostradores	50
3.4.2 Análise e determinação da concentração dos poluentes.....	51
3.4.3 Levantamento dos fatores meteorológicos.....	53
4 RESULTADOS.....	60

4.1 Dados meteorológicos	60
4.2 Monitoramento da qualidade do ar nos pontos de amostragem	61
4.2.1 Resultados do Monitoramento Para o Poluente Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	61
a) Análise Global	61
b) Comparação com a Legislação:	63
c) Verificação com a Meteorologia.....	64
4.2.2 Resultados do Monitoramento Para o Poluente Ozônio – O ₃	70
a) Análise Global	70
b) Comparação com a Legislação	72
c) Verificação com a Meteorologia.....	72
4.2.3 Síntese dos Resultados	77
4.3 Diretrizes	77
5 CONCLUSÃO	79
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem, uma vez que o lançamento de gases e materiais particulados emitidos pelas atividades vulcânicas e tempestades da própria natureza, contribuíram durante milhares de anos ativamente nesse processo. No entanto, as ações do homem intensificam a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes (OLIVEIRA, 1997).

A intervenção humana, até a metade do século XX, não representava uma grande ameaça, porém com o desenvolvimento da produção industrial, o crescente número de veículos e o surgimento do transporte público geraram aumento no nível de poluição do ar, o qual vem se tornando um dos maiores problemas a atormentar a qualidade de vida da sociedade, não somente de países industrializados, mas também dos países em desenvolvimento.

Segundo a Agência Europeia do Ambiente – EEA (2012), os principais problemas ambientais do mundo estão relacionados com desmatamentos florestais, poluição de rios e poluição do ar. Um dos grandes desafios do século XXI consiste em minimizar os efeitos negativos causados principalmente pela poluição atmosférica.

Para Meira et al. (2009), as emissões veiculares carregam grande variedade de substâncias tóxicas que causam impacto não somente à vida humana no aumento de problemas respiratórios e circulatórios, mas também na vida animal e vegetal, no ataque aos materiais causando deterioração de bens culturais, depreciação e desequilíbrio dos recursos naturais, além do efeito estufa e do aquecimento global.

Os principais poluentes atmosféricos são produzidos pela queima incompleta da combustão pelos motores dos veículos, tornando o setor de transporte um dos setores mais complexos na obtenção de redução significativa das emissões, o alto custo das medidas a serem tomadas para a redução das emissões, é o maior problema.

Devido ao crescente aumento das concentrações de substâncias contaminantes no meio aéreo, o monitoramento da poluição atmosférica é fundamental para a prevenção e diminuição do risco dos receptores. Este trabalho aborda tópicos relacionados a poluição atmosférica, emissões veiculares e algumas das principais técnicas de monitoramento para identificar valores ainda não conhecidos de maneira a servir como ferramentas de auxílio a tomadas de decisão e de análise de situações atuais e futuras.

1.1 Problema da Pesquisa

O crescimento populacional e suas necessidades de consumo, o aumento da produção de uma grande variedade de produtos, incluindo a diversidade de indústrias, marcas e modelos de veículos crescem de forma acelerada. Entretanto, a preocupação com o meio ambiente não tem acompanhado o mesmo ritmo e os problemas passaram a ser gerados em grandes dimensões (NOBREGA, 2013).

Paralelamente ao desenvolvimento industrial, houve o crescimento demográfico nas cidades e também aumento da frota de veículos. Porém, este aumento não ocorreu linearmente em relação ao crescimento da população (RODRIGUES, 2006). Em 1950, a população mundial era em torno de 2,6 bilhões de habitantes com uma frota de 50 milhões de automóveis. Em 1988, a população mundial girava em torno de 5,5 bilhões de habitantes, com uma frota de 500 milhões de veículos (RODRIGUES, 2006). Isto é, enquanto a população mundial praticamente dobrou, o número de veículos foi multiplicado por dez.

Apesar do aumento do número de automóveis e do surgimento do transporte coletivo terem trazido muitas vantagens no que diz respeito à utilização total do espaço urbano, estes trouxeram também uma série de patologias para as cidades, como: congestionamentos de veículos, acidentes de trânsito, poluição sonora e atmosférica, desumanização em virtude das grandes áreas destinadas às vias e estacionamentos, prejuízo à saúde e a qualidade de vida da população, baixa eficiência econômica devido à necessidade de grandes investimentos no sistema viário e ao espalhamento das cidades, entre outros (RODRIGUES, 2006).

A poluição atmosférica urbana é considerada um problema ambiental de grande importância, tanto em países em desenvolvimento como nos desenvolvidos. Nos grandes centros urbanos, os meios de transportes como automóveis, ônibus e caminhões são os responsáveis por grande parte da degradação da qualidade do ar.

Estudos realizados por Braga (2003) e Valadares (1997) sobre o tema mostram que na composição do tráfego, os veículos pesados (ônibus e caminhões) são as fontes potencialmente poluidoras. Nos centros urbanos a circulação destes veículos nas vias de tráfego é intensa, principalmente os ônibus, visto que estes são partes integrantes dos sistemas urbanos de transporte coletivo (RODRIGUES et al., 200).

Segundo Rodrigues (2006), o aumento da população e de sua atividade no exercício do progresso, incluindo a busca do conforto, acrescenta componentes na

atmosfera, fontes geradoras de poluição, substâncias nocivas ou que se tornam nocivas quando somadas aos poluentes naturais devido ao aumento da concentração, desencadeando interações, tornando o ar mais poluído.

Os principais poluentes atmosféricos são as substâncias gasosas, sólidas ou líquidas presentes na atmosfera como: material particulado (MP), óxido de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (CH), oxidantes fotoquímicos (O_3) e chumbo. Esses poluentes podem causar efeitos agudos e crônicos a saúde humana, além de causarem vários tipos de impactos ambientais locais e até mesmo globais.

No âmbito internacional, Buenos Aires, apesar de seu nome (*Bons Ares*) não é uma exceção no que diz respeito às emissões do tráfego. Como regra geral, o monitoramento da qualidade do ar na área metropolitana foi assistemático. Só recentemente, as concentrações de monóxido de carbono (CO), o óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3) foram simultaneamente medidos em uma estação de monitoramento contínuo em vários locais na cidade (BOGO et al. 2000).

Em algumas cidades como Salvador, Brasília, Curitiba e na grande Porto Alegre existe algum tipo de monitoramento do ar, geralmente por meio de estações fixas ou móveis. Este não é o caso da cidade de Passo Fundo.

Devido à relevância do tema, e a necessidade de obter informações sobre as atuais condições para fixar indicadores de monitoramento de qualidade do ar na cidade de Passo Fundo, este trabalho investiga a seguinte questão: Quais os valores dos poluentes emitidos por combustão veicular encontrados em uma área sujeitas a grandes volumes de tráfego no município de Passo Fundo?

1.2 Justificativa

As condições atmosféricas e as fontes de poluição identificam a qualidade ambiental de uma localidade ou região, que varia no tempo e no espaço. A carga de poluente no ar depende tanto dos mecanismos de dispersão como de sua produção e remoção, que é resultante de um somatório de fatores geográficos, climáticos e antropogênicos. Seus efeitos, pouco numerosos e diversos, são percebidos pela população através da deterioração de materiais e de doenças, principalmente respiratórias e cardíacas.

Os efeitos da poluição atmosférica são numerosos e diversos, estendendo-se dos toxicológicos aos econômicos, à pessoas, aos materiais, animais e vegetais que sofrem a exposição dos poluentes de forma direta ou indireta. Porém, para se ter uma maior compreensão dos problemas causados pela poluição do ar, é necessária a utilização de ferramentas como o monitoramento para saber onde ocorrem os valores máximos das concentrações de gases e material particulado e quais as concentrações nos locais onde as pessoas estão mais expostas (MIRANDA, 2008).

O monitoramento do ar é realidade nas principais cidades do mundo, porém no Brasil essa prática existe em poucas capitais. Estudo realizado pelo pesquisador Ademilson Zamboni (2014), Coordenador de Relações Institucionais do IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente), revela que apenas nove estados brasileiros têm algum tipo de monitoramento da qualidade do ar e nem todos medem os poluentes mínimos exigidos pela legislação. O pesquisador destaca que há muito o que melhorar, principalmente na ampliação da área de abrangência do monitoramento, hoje restrita à regiões metropolitanas.

A importância do monitoramento da qualidade do ar está em conhecer e quantificar os poluentes atmosféricos, bem como avaliar a qualidade do ar em relação aos limites estabelecidos pela legislação, valores que servem para nortear medidas e políticas públicas na busca pela qualidade de vida e ambiental da população local.

A utilização de indicadores proporciona uma forma de visualizar medir, indicar ou visualizar a condição do sistema. É através deles que se pode constatar a evolução das concentrações dos poluentes e conferir a eficácia dos processos de controle de emissões, uma vez que os indicadores ambientais buscam relatar o estado do meio ambiente, definindo prioridades de planejamento e prevenção ambiental em prol do desenvolvimento sustentável.

Em atenção às emissões e à falta de monitoramento, torna-se necessário fazer um diagnóstico da qualidade do ar. Também é importante ressaltar que nenhum monitoramento oficial (por exemplo, órgãos ambientais) é feito em Passo Fundo ou em cidades vizinhas. Segundo Vieira et al. (2013), estações de monitoramento do ar fixas não são uma realidade comum no Brasil, principalmente em função dos custos associados.

Monitorar a poluição ambiental atmosférica é fundamental para que medidas sejam tomadas em relação à prevenção e diminuição de riscos à saúde, consequentemente melhorando o bem-estar do homem, resultando em benefícios ao meio ambiente, à economia local, municipal e estadual (BUCCO, 2010). O monitoramento de poluentes

atmosféricos e a quantificação de impactos geram informações para a tomada de decisão tanto na gestão urbana quanto ambiental, colaborando para a prevenção de riscos à saúde e trazendo benefícios à sociedade.

Localizada no centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul, na região conhecida como Planalto Médio, Passo Fundo possui uma população superior a 183 mil habitantes, sendo considerada cidade-polo de mais de 100 municípios localizados na região de abrangência. O conglomerado resulta em uma população de aproximadamente um milhão de pessoas (IBGE, 2013).

Pelo centro da cidade de Passo Fundo, que segundo DETRAN 2014, a frota de veículos até novembro de 2014 era de 113.529, esse número causa congestionamento rotineiro no tráfego, resultando em lentidão no trânsito, momento em que os veículos rodam com baixa velocidade e paradas frequentes, ocasionam perda de tempo e consumo de excesso de combustível. Este momento geralmente corresponde ao horário comercial e ao horário de início e término diário das aulas.

Em média, circulam pelo campus da Universidade de Passo Fundo, diariamente 5.000 carros, 300 ônibus de transportes públicos urbanos e 230 ônibus intermunicipais e vans (UPF, 2012).

Frente ao fator emissão veicular, percebeu-se a necessidade de elaborar um diagnóstico de monitoramento da qualidade do ar e verificar a relação com as emissões atmosféricas ocasionadas em pontos críticos do tráfego urbano de Passo Fundo/RS.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar os poluentes dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃) oriundos das emissões do tráfego urbano em Passo Fundo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a qualidade do ar por meio de amostragem passiva;
- b) Relacionar fatores meteorológicos com as concentrações dos poluentes encontrados;
- c) Classificar os níveis de poluição do ar e propor diretrizes para melhoria da sustentabilidade em termos de emissões atmosféricas;

1.4 Escopo e Delimitação

Esta pesquisa ocorreu na área urbana da cidade de Passo Fundo, as amostras foram coletadas em cinco pontos distribuídos no eixo principal de trânsito da Avenida Brasil, selecionados em função do volume de veículos que circulam nesta faixa. Foi analisado um ponto comparativo onde a influência do trânsito é baixa, na universidade da cidade de Passo Fundo, as análises ocorreram por meio de amostrador passivo. Os pontos foram criteriosamente escolhidos conforme detalhado no capítulo de materiais e métodos. A coleta de dados ocorreu durante o período de um ano, o qual contempla variações na época do ano, meses em que há época de maior intensidade de chuva e/ou maior intensidade de sol.

Os poluentes analisados foram Ozônio (O_3) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2) por serem emissões oriundas dos veículos. Esta delimitação foi definida em função dos vários tipos de emissões atmosféricas geradas por diversos tipos de poluentes os quais podem causar efeitos agudos e crônicos a saúde humana, além de causarem impactos ambientais locais e globais.

Dos resultados encontrados foram realizadas análises gráficas de cada poluente individualmente, sem correlação estatística, os valores foram relacionados com informações meteorológicas referentes aos períodos de coleta e os mesmos foram avaliados e comparados com a legislação vigente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo a seguir faz uma revisão bibliográfica de alguns conceitos básicos, porém fundamentais sobre poluição atmosférica para o bom entendimento do texto e ainda uma revisão sobre trabalhos publicados sobre o assunto nos últimos anos.

2.1 A Poluição Atmosférica

A expansão das frotas circulantes associadas às características tecnológicas dos veículos mais antigos e dos combustíveis utilizados acabou por acarretar um aumento preocupante dos níveis de emissões de poluentes no ar (MENDES, 2004). Essa agressão ao meio ambiente precisa ser analisada, pois não fica limitada às localidades e aos corredores por onde se deslocam as frotas veiculares, ao contrário, se estende às regiões vizinhas, em função das circunstâncias e condicionamentos meteorológicos, que em última instância provocam danos regionais e globais (PINTO, 2005).

Segundo Stern (1984), não existe precisão na composição do ar não poluído. A composição estimada dos gases do ar seco troposférico das mais remotas regiões dos oceanos, dos polos, dos desertos e montanhas é apresentada na Tabela 1. Quantidades de outros componentes também estão presentes, como Água (H₂O), gases ou Ozônio (O₃), Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabela 1: Componentes do ar não poluído

Gás	Porcentagem	Ppm	µg/m³
Nitrogênio (N ₂)	78,09	780.900	8,95 x 10 ⁸
Oxigênio (O ₂)	20,94	209.400	2,74 x 10 ⁸
Outros	0,97	9.700	-

Fonte: Stern, 1984.

O Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas – UNEP considera poluição atmosférica toda introdução antropogênica, direta ou indiretamente de substâncias ou energia para o ar, resultando em efeitos prejudiciais de modo a pôr em perigo a saúde humana, danos nos recursos vivos e nos ecossistemas assim como nos bens materiais, pôr em risco ou prejudicar a harmonia do ambiente (UNEP, 2001).

Segundo Mendes (2004), os combustíveis fósseis utilizados pelo homem para os mais diversos fins energéticos, como geração de energia elétrica, transporte e indústrias, têm sido uma das principais fontes causadoras de danos ao meio ambiente (MENDES, 2004).

Nos meios de transporte, os derivados do petróleo como a gasolina e óleo diesel continuam sendo os combustíveis predominantes. A queima de combustíveis fósseis gera impactos ambientais de alcance global como o aumento da concentração de gases do efeito estufa. A nível regional os efeitos são observados através das chuvas ácidas e locais como o aumento da concentração na atmosfera de poluentes de efeitos tóxicos que vêm prejudicando de maneira muito séria a saúde da população (WILLS, 2008).

A chuva ácida, representa a devolução da poluição que o homem cria sobre a superfície terrestre, corresponde aquela chuva em que o pH se apresenta inferior a 5,65. A longo prazo, seus efeitos constituem um importante indicador das condições de degradação do meio ambiente (JESUS, 1996).

De acordo com Baird (2002) e Bucco (2010), outro exemplo conhecido de poluição do ar é o *smog*, um misto de névoa e fumaça, causado principalmente por emissões provenientes de automóveis, que ocorre em muitas cidades do mundo. O *smog* provoca dificuldade respiratória, irritação nos olhos e também redução da visibilidade é o resultado de reações na atmosfera entre certos hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e o ozônio.

A razão pela qual a combinação de nevoeiro e fumaça não é desejada está relacionada ao mau cheiro resultante que, dificulta a respiração e pode causar câncer. Em certos países, ele diminui a visibilidade e dificulta a segurança de seus cidadãos – esta situação é identificada na China, que de acordo com o South China Morning Post, a poluição é intensa e em algumas cidades, a rede de câmeras de vigilância chega a não ter visibilidade (SCMP, 2013).

Países em desenvolvimento como o Chile e países desenvolvidos nos continentes da América e Europa, também sofrem com a poluição. De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS, os veículos podem ser responsáveis pela emissão de 90 a 95% de carbono, 60 a 70% de nitrogênio e hidrocarbonetos provenientes de fontes antropogênicas. Embora o transporte ainda seja considerado o melhor meio de transporte está cada vez mais associado a impactos negativos (LOO, 2002).

Segundo Rocha (2009), existe outro fator importante a se considerar relacionado ao tempo de residência. A atmosfera terrestre contém, além de oxigênio altamente reativo,

diversos compostos em pequenas concentrações que podem atuar como reagentes e/ou catalisadores e como fonte de energia a luz solar, promovendo reações (fotólise). Estas reações dependem de diversos fatores como: temperatura, concentração dos reagentes, reatividade das moléculas entre outros. As velocidades das transformações podem levar minutos, horas e até anos, tal capacidade é conhecida como tempo de residência. Por exemplo, o tempo médio de residência do dióxido de nitrogênio é de um dia, podendo atuar em qualquer direção e distância que o vento levá-lo (ROCHA et al., 2009). Exemplos do tempo de residência de alguns compostos na atmosfera são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Tempo de residência e composição de alguns gases na atmosfera

Compostos	Tempo de residência (a: anos; d: dias)	Composição (ppb: parte por bilhão)
Dióxido de carbono (CO ₂)	4 a	360000
Monóxido de carbono (CO)	0,1 a	100
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 d	0,3
Óxido nitroso (N ₂ O)	85 a	310
Óxido nítrico (NO)	1 d	0,1
Metano (CH ₄)	8 a	1600

Fonte: adaptado de Rocha et al. (2009)

Nos Estados Unidos, em 1955 surgiu a Lei de Controle de Poluição do Ar, primeira legislação federal que envolveu a poluição do ar, em 1963 a Lei do Ar Limpo, primeira legislação federal sobre o controle da poluição do ar, esta sofre importantes alterações em 1990. Em 1967, a Lei de Qualidade do Ar foi promulgada, a fim de expandir as atividades do governo federal. De acordo com esta lei, o processo de execução foi iniciada em áreas sujeitas à poluição do ar de transporte interestadual. Como parte deste processo, o governo federal, pela primeira vez realiza estudos de monitoramento ambiental e inspeções de fontes fixas (EPA, 2013).

Diante da problemática, poluição atmosférica veicular, diversas pesquisas foram realizadas no início da década de 1950 na Califórnia/EUA, os resultados revelaram as primeiras evidências científicas de que os veículos automotores representam uma relevante fonte de poluição do ar que provocava efeitos negativos sobre a saúde e o bem-estar da população (MENDES, 2004).

Devido a esses resultados, em 1961 foi promulgada a primeira legislação no mundo designada especialmente a controlar a emissão de poluentes atmosféricos produzidos por veículos automotores na Califórnia e em 1966, esta manteve o seu pioneirismo, regulamentando os primeiros limites de emissões de gases de escapamento (MENDES, 2004).

Essa tendência de controle das emissões atmosféricas veiculares não ficou limitada aos EUA. O Japão estabeleceu a sua primeira legislação em 1966, os países da Comunidade Econômica Européia, Suécia e Canadá em 1971, Reino Unido e Austrália em 1972 e a Finlândia em 1975 (MENDES, 2004).

Em 1970 foi a vez de o Brasil discutir sobre o tema, levando o Governo Brasileiro a implementar medidas de controle da qualidade do ar através da Portaria GM 0231 de 27.04.72, substituída pela Resolução nº 03 de 28.06.90 do CONAMA, do Decreto Lei nº 1413 de 14 de agosto de 1975, da Lei nº 6.803/1980 e outras que regulamentam o controle de poluentes e emissões em três vias: qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo, incluindo as definições de infrações e sanções, controle de emissões por fontes fixas, e controle de emissões por fontes móveis.

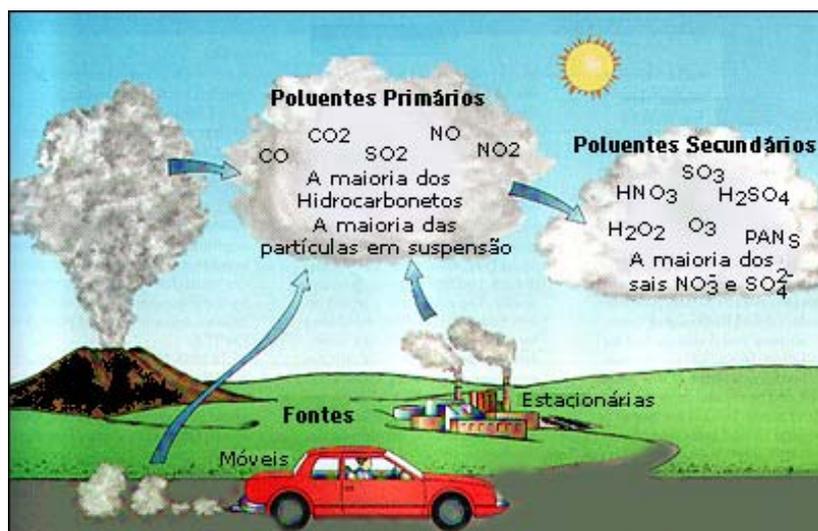
2.2 Fontes Poluidoras

Os poluentes atmosféricos provêm de diversas fontes: fixas (indústrias vulcões e maresia), ou móveis (como trens, aviões, embarcações e veículos automotivos) (BUCCO, 2010) conforme mostra a Figura 1.

Estas fontes podem ser também naturais, urbanas, industriais ou rurais, conforme apresentado no Quadro 1. Nota-se que, retirando-se a poluição de fonte natural, todas as outras são originadas pela ação do homem. Poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos no ambiente, como no caso dos gases dos automóveis, e os secundários resultam de reações dos poluentes primários na atmosfera.

Os veículos automotivos estão entre as maiores fontes de poluição atmosférica, devido à emissão de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Esses poluentes atmosféricos podem ser classificados em função dos impactos causados por suas emissões.

Figura 1: Fontes de Poluição Atmosférica



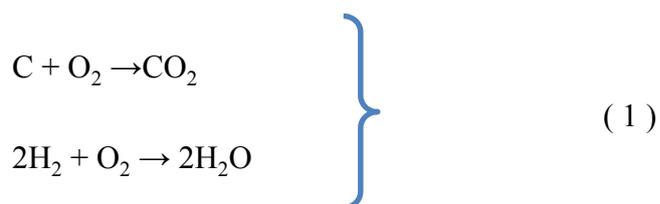
Fonte: Silva, (1998)

Quadro 1: Diferentes origens da poluição atmosférica

Tipo de fonte	Exemplo
Natural	Incêndios florestais, vulcões, tempestades de poeira causadas por ventos fortes e processos biológicos.
Urbana	Emissões veiculares, geração de energia por combustíveis fósseis, queima de lixo, refrigeração e chaminés.
Industrial	Queima de combustíveis fósseis, operações de mineração e refrigeração.
Rural	Produção de poeira por atividades de colheita, emissão de compostos por locais com acúmulo de resíduos animais e/ou solos tratados com biossólidos e volatilização de herbicidas, inseticidas e fungicidas.

Fonte: Artiola et al., (2004)

As fontes móveis consistem de diferentes tipos de veículos, potentes motores usando diferentes tipos de ciclos, uma variedade de combustíveis e emitindo quantidades variadas de simples e complexos poluentes. A equação 1 representa a equação de combustão:



Esta equação tem como produtos: dióxido de carbono e água, que são invisíveis e sem cheiro. O problema ocorre porque o processo também produz outros produtos, os poluentes. Estes podem ser: monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de

nitrogênio, fumaça, metais, aldeídos, ácidos, hidrocarbonetos e muito outros.

Os poluentes causam impactos locais, ou seja, no entorno de onde é realizado o uso do transporte, onde os principais poluentes destes veículos são: monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrogênio (NO_x) e os hidrocarbonetos (HC). Já os movidos a diesel como os ônibus e caminhões, além de emitirem o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC), emitem também óxidos de enxofre (SO_x) e nitrogênio (N), e material particulado (MP) (fuligem) (LISBOA, 2007; NATAN, 2013).

2.3 Principais Efeitos da Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica causa vários efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde e o bem-estar humanos, sobre os animais e a vegetação, sobre os materiais e as construções e sobre a atmosfera, solos e os corpos d'água.

O grau e a extensão destes efeitos dependem da escala de poluição, podendo ocorrer em nível local, regional e global pois afeta todos os setores da sociedade, com diferente intensidade dependendo do nível de desenvolvimento das nações ao redor do planeta. Os efeitos da poluição atmosférica têm a característica de modificar uma condição original ou normal e/ou de intensificar a incidência de outro efeito, causando um prejuízo ou dano.

2.3.1 Efeitos da poluição atmosférica: na atmosfera, no solo e nos corpos d'água

A poluição do ar diminui a visibilidade principalmente através de partículas suspensas, por interferirem na incidência solar. A presença principalmente de partículas de sulfato, assim como de nitrato, além de cinzas finas volantes e aerossóis orgânicos, podem levar a formação de neblina atmosférica (VALLERO, 1973).

A poluição pode também gerar ocorrência de chuva ácida que é responsável por afetar o pH de solos e lagos, sendo que os lagos são os que mais sofrem seus efeitos, principalmente em regiões com a presença de neve. A deposição ácida fica imobilizada na neve e quanto ocorre o degelo, toda essa acidez acaba por ter destino nos lagos, superando a capacidade de neutralização do sistema aquático (VALLERO, 1973).

Outras alterações que ocorrem são o efeito estufa e o surgimento do buraco na camada e ozônio. Gases como o CO₂, CH₄ e NO₂, são conhecidos como gases estufa, pois eles absorvem calor permitindo que a temperatura da terra seja propícia à vida, porém

com o aumento da emissão destes por via antrópica, a temperatura da terra acaba sofrendo um aumento desfavorável a vida. Já o buraco da camada de ozônio surge quando poluentes também emitidos pelo homem, acabam por interferir nas reações que formam esta camada, de forma que em vez de as reações produzirem ozônio, acabam por gerar óxidos e oxigênio molecular, fazendo com que ocorra um enfraquecimento da camada (LISBOA, 2007).

2.3.2 Efeitos da poluição atmosférica em materiais

Entre os danos causados em materiais, os mais preocupantes são os provocados a redes e equipamentos elétricos, unidades de armazenamento, além de monumentos e construções históricas. Pesquisas realizadas nas últimas décadas em vários países permitiram que fossem quantificados e entendidos os mecanismos de degradação destes poluentes (KUCERA; FITZ, 1995).

A acidificação provocada pelos poluentes é a principal causa da deterioração de materiais. Os efeitos causados geram principalmente perdas econômicas, além de perdas culturais, provocadas pelos danos a patrimônios históricos (KUCERA; FITZ, 1995).

2.3.3 Efeitos da poluição atmosférica na vegetação

Existem três principais formas de os poluentes afetarem a vegetação. A primeira consiste na redução da penetração de luz pela ocorrência de sedimentação de partículas nas folhas ou pela turbidez provocada por partículas ainda suspensas. A segunda quando os poluentes sedimentam no solo ou são carreados pelas chuvas e acabam por penetrar pelas raízes das plantas. A terceira é a penetração direta dos poluentes pelos estômatos das plantas (LISBOA, 2007).

Os efeitos dos poluentes na vegetação podem ser divididos em agudos, que são os danos causados por uma grande concentração em um curto espaço de tempo, ou crônicos, que são os causados pelo contato da planta com uma pequena quantidade de poluente ao longo de um período maior. Esses danos resultam em diversas alterações, tais como: eliminação de espécies mais sensíveis, redução na diversidade, remoção seletiva das espécies dominantes, diminuição no crescimento e na biomassa, aumento da suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças e surgimento de injúrias foliares (CETESB, 2012a).

2.3.4 Efeitos da poluição atmosférica na saúde humana

Segundo Habermann e Gouveia (2011), estudos epidemiológicos têm encontrado associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos de origem veicular e os efeitos adversos à saúde, como o aumento no número de internações hospitalares, aumento da mortalidade, diminuição da expectativa de vida, entre outros.

Geralmente estes estudos são realizados em áreas urbanas onde a principal fonte de poluição do ar são os veículos automotores. Segundo levantamento que investigou sete capitais brasileiras, cerca de 5% do total de óbitos por causas respiratórias entre idosos (≥ 65 anos) e crianças (≤ 5 anos) a cada ano podem ser atribuídos à poluição atmosférica, com grande contribuição das fontes veiculares (NOBREGA, 2013).

Globalmente os principais sistemas do corpo humano que são atingidos pelos poluentes atmosféricos são o respiratório, circulatório e reprodutivo, sendo que o principal poluente que os afeta é o material particulado. A poluição atmosférica pode gerar alterações bioquímicas e respostas celulares nesses três sistemas.

O sistema respiratório é agredido por ser diretamente exposto, porém os efeitos dessa agressão podem ser sistêmicos, resultando no agravamento de várias doenças, podendo até levar a morte. Com o aumento de indivíduos nos centros urbanos, o número de pessoas expostas à poluição atmosférica é cada vez maior, dessa forma o número de pessoas enfermas devido a essa poluição também aumentará (FERNANDES et al., 2010).

Os efeitos atribuídos à poluição atmosférica variam desde uma simples irritação nos olhos até o caso de morte. Em geral os efeitos agravam doenças preexistentes, tornando as pessoas mais suscetíveis às infecções ou ao desenvolvimento de doenças respiratórias crônicas (PIRES, 2005).

Segundo França (2001), através da análise dos estudos realizados em diversos centros urbanos, pode-se concluir que:

- As concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. A maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos;
- A mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica;

- As populações mais vulneráveis são as crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratórias;
- O material particulado inalável, com dimensão inferior a 10 μm e mais recentemente 2,5 μm , é apontado como o poluente mais frequentemente relacionado com danos à saúde;
- Sinais, cada vez mais evidentes, mostram ser os padrões de qualidade do ar inadequados para a proteção da população mais susceptível à poluição atmosférica. Vários estudos demonstraram ocorrência de efeitos mórbidos em concentrações abaixo dos padrões de qualidade do ar;
- A mortalidade por doenças cardiovasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável, o poluente frequentemente associado;
- Estudos experimentais e toxicológicos têm dado sustentação aos resultados encontrados em estudos epidemiológicos.

A Organização Mundial de Saúde estima que a poluição atmosférica por material particulado (MP₁₀) contribui com cerca de 800 mil mortes prematuras a cada ano. No entanto, Anderson e Thundiyil (2011), em seus estudos mostram que a relação é mais profunda e muito mais complicada do que se pensava inicialmente.

Nos últimos anos têm sido reconhecidos efeitos tóxicos da poluição sobre a saúde cardiovascular. A exposição a altas concentrações de material particulado aumenta o risco de arritmia. Estudos mais recentes têm relatado uma associação entre a poluição por material particulado com risco de hospitalização em pacientes com insuficiência cardíaca (CASTRO et al., 2009).

Embora os efeitos do material particulado sobre a saúde sejam maiores para problemas respiratórios do que para óbitos por doenças cardiovasculares, o número de mortes atribuíveis ao MP é muito maior para doenças cardiovasculares do que por motivos respiratórios, devido à maior prevalência de doenças cardiovasculares na população em geral (NOBREGA, 2013).

Segundo Yatera et al., (2008), estudos epidemiológicos têm mostrado uma forte associação entre a exposição ao material particulado < 10 μm de diâmetro (MP) e o aumento de morbidade e mortalidade cardiovascular.

O Quadro 2 apresenta um panorama dos efeitos causados pelos poluentes atmosféricos, conforme discutidos anteriormente.

Quadro 2: Efeitos causados pelos diversos poluentes atmosféricos

POLUENTES	EFEITOS
Óxidos de Enxofre SO_x (Exposição de 20 µg/m ³ 24 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Irritações do aparelho respiratório e olhos. - aumento da mortalidade de doentes sensíveis quando a concentração de SO₂ é elevada juntamente com a de MP. - aumento da resistência pulmonar a passagem do ar, rinite. - redução da resistência às pragas. - ressecamento e descoloramento dos tecidos das folhas. - alteração do processo fotossintético. - corrosão em metais. - descoloração de pinturas. - enfraquecimento e descoloração da superfície dos couros. - torna o papel quebradiço. - redução da resistência à tensão e formação de manchas em tecidos. - desbotamento de corantes.
Material Particulado MP (tempos de vida de 7 a 30 dias)	<ul style="list-style-type: none"> - incomodo a população. - diminuição da visibilidade. - doenças pulmonares. - corrosivo. - interfere na fotossíntese das plantas.
Monóxido de Carbono CO (Dose de 35ppm para 8 horas de trabalho e 200ppm para 15 minutos nível máximo)	<ul style="list-style-type: none"> - aumento do nível de carboxiemoglobina do sangue levando a stress, deficiência na capacidade psicomotora, dor de cabeça, tontura, alucinação, depressão, asfixia e morte.
Dióxido de Carbono CO₂ (Exposição de 10ppm/hora)	<ul style="list-style-type: none"> - influencia a longo prazo no aumento da temperatura da terra e fenômenos relacionados. - asfixia e morte.
Dióxido de Nitrogênio NO₂	<ul style="list-style-type: none"> - tosse e catarro, dor no peito, edema pulmonar, irritação dos olhos, taquicardia.
Ozônio O₃	<ul style="list-style-type: none"> - irritação dos olhos e mucosas e provoca doenças respiratórias crônicas.

Fonte: Adaptado de Lisboa (2007)

2.4 Poluentes atmosféricos veiculares

Nas últimas décadas vem sendo observada uma queda na emissão de poluentes lançados pelos veículos; apesar disso, as fontes móveis ainda se constituem como uma das principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas. O

crescimento da frota veicular também leva a uma menor capacidade de fluidez no trânsito, o que acarreta na formação de congestionamentos, maior tempo despendido no deslocamento, conseqüentemente, aumenta a queima de combustíveis, gerando mais poluição (HABERMANN et al., 2011).

O transporte rodoviário é importante, porém preocupante em algumas áreas urbanas, especialmente ao lado de estradas movimentadas (HOLGATE et al., 1999). No entanto, como resultado de controles sobre os níveis de enxofre permitidos em combustíveis automotivos introduzidas em meados da década de 1990, tanto nos EUA como na União Européia (UE, 2014).

Na UE, os novos limites para o teor de enxofre do diesel e da gasolina foram acordadas no ano de 2000. Estas restrições não foram introduzidas principalmente para reduzir as emissões de SO₂ dos transportes rodoviários, mas para facilitar a redução das emissões de outros poluentes (AFIF, 2008).

Os poluentes associados à emissão de origem veicular são resultados da combustão do combustível ou de sua evaporação. Os tipos de combustíveis mais comuns utilizados em transporte são: gasolina para veículos leves (automóveis) e o óleo diesel para os veículos pesados (ônibus e caminhões). Outros combustíveis são utilizados em veículos leves, como o álcool (etanol e metanol), gás natural veicular (GNV) e gás liquefeito de petróleo (GLP) (ONURSAL; GAUTAM, 1997). O quadro 3 apresenta a emissão dos principais poluentes resultantes da combustão em veículos automotores.

Quadro 3: Principais poluentes resultantes da combustão em veículos automotores.

Classificação	Poluente	Sigla
Primários	Dióxido de carbono	CO ₂
	Monóxido de carbono	CO
	Hidrocarbonetos	HC
	Dióxido de enxofre	SO ₂
	Óxido de nitrogênio	NO _x
	Materiais particulados	MP

Secundários	Dióxido de nitrogênio	NO ₂
	Ozônio	O ₃

Fonte: Nobrega, 2013

O monóxido de carbono (CO) resulta da combustão incompleta de combustíveis com carbono em veículos automotores. Uma vez emitidos para atmosfera, o CO é oxidado à CO₂, sendo os veículos automotores as principais fontes de emissões de monóxido de carbono de origem antropogênica (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

O CO ocorre em concentrações mais altas quando da partida do motor frio, em marcha lenta, nos sinais de trânsito e interseções rodoviárias e em engarrafamentos. Resultando na consequência de os motores serem a principal fonte de emissão de CO para a atmosfera. As concentrações do monóxido de carbono na atmosfera urbana dependem da densidade do tráfego das ruas, da manutenção do motor e das condições meteorológica (NOBREGA, 2013).

O dióxido de carbono (CO₂) é emitido em diversos processos naturais e, por isso, não é considerado um poluente. No entanto, sua grande quantidade na atmosfera prejudica o equilíbrio do planeta (NOBREGA, 2013).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) referem-se a vários compostos químicos gasosos, formados pela combinação de oxigênio com o nitrogênio. Essas combinações são formadas, principalmente, nas câmaras de combustão de motores de veículos onde, além do combustível, também existe ar que contém grandes quantidades de nitrogênio e oxigênio que, devido a altas temperaturas existentes se combinam formando os NO_x (SHER, 1998).

O óxido de nitrogênio (NO_x) desempenha um papel importante na formação de ozônio, aldeídos e compostos nitrogenados. A oxidação do NO na atmosfera ocorre pela oxidação com o ozônio:



O NO₂, formado na presença de luz solar ($\lambda \leq 430 \text{ nm}$), é dissociado:

$h\nu$ = energia fotoquímica da radiação ultravioleta (ou um fóton)



e o oxigênio atômico reage com o oxigênio do ar regenerando o ozônio:

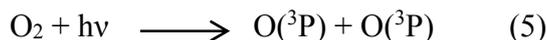


Se as taxas de formação e destruição forem iguais, as reações 2 e 4 descrevem um estado estacionário, onde os níveis de ozônio tendem a permanecer em um nível mais baixo, pois são consumidos e gerados na mesma velocidade.

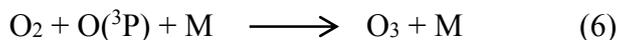
A emissão direta de NO₂ para atmosfera é relativamente pequena. A rápida oxidação do óxido nítrico (NO) que ocorre na atmosfera constitui-se na principal fonte de NO₂ atmosférico. Como é produzido principalmente pela oxidação fotoquímica de NO, níveis máximos de NO₂ ocorrem normalmente no meio da manhã nas zonas de intenso movimento de veículos.

Entre as diversas combinações de poluentes, o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) são os mais importantes na poluição atmosférica. De toda emissão atmosférica de óxido de nitrogênio, 90% se dá na forma de NO. Este, no ar, é gradualmente oxidado para formar dióxido de nitrogênio (NO₂), em um período de minutos ou horas (ONURSAL; GAUTAM, 1997). É um gás de cor que pode variar do amarelo ao marrom, dependendo de sua concentração na atmosfera, tem cheiro forte e irritante e, devido à sua alta taxa de oxidação, é tóxico e corrosivo (GODISH, 2004).

O ozônio é uma camada de cerca de vinte quilômetros de espessura da estratosfera e encontra-se em uma região situada entre vinte a quarenta quilômetros de altitude da atmosfera. Essa camada de ozônio protege a Terra dos raios solares nocivos como um escudo. A molécula de oxigênio (O₂) absorve luz ultravioleta produzindo átomos de oxigênio:



O átomo de oxigênio reage com a molécula de oxigênio (O₂) formando o O₃:



O ({}³P) = representação do estado fundamental do átomo do oxigênio;

M = ar (N₂ ou O₂ ou outra molécula que absorva a energia vibracional em excesso da reação) (GODISH, 2004).

Ocorre a fotodissociação do ozônio por luz visível e ultravioleta produzindo oxigênio molecular:



O átomo de oxigênio reage com o ozônio e produz oxigênio molecular:



Na troposfera, a fotodissociação do NO_2 , em comprimento de onda de 280 a 430 nm, é fonte primária de $\text{O}({}^3\text{P})$, reação 3. E a reação do $\text{O}({}^3\text{P})$ com O_2 produz O_3 , na troposfera limpa, como reação 4, e tem a rápida conversão do NO para regenerar o NO_2 conforme reação 2.

Na União Europeia para a melhoria do níveis do ozônio, Cox (2003) destaca a necessidade de programas de monitoramento extensivos e intensivos para determinar níveis de exposição crítica de longo prazo.

O dióxido de enxofre (SO_2) é um poluente primário resultante principalmente do processo de combustão dos combustíveis que contêm enxofre, como os óleos combustíveis pesados.

Os veículos que utilizam gasolina emitem baixas concentrações de SO_2 , pois em sua composição apresenta um teor muito baixo de enxofre. A contribuição de emissões significantes é através de veículos que usam óleo diesel, pois o teor de enxofre é muito superior ao da gasolina (VIEIRA, 2009).

Na atmosfera, SO_2 pode reagir com oxigênio e transformar-se em SO_3 , que reage com a umidade do ar e forma o ácido sulfuroso (H_2SO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), sob a forma de gotículas, que podem ser transportados pelo vento a mais de centenas de quilômetros, antes de caírem sob a forma de deposição ácida (chuva ácida) (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

O material particulado (MP) são partículas inaláveis formadas por uma mistura heterogênea de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, que continuamente estão variando em tamanho: partículas inaláveis finas – $\text{MP}_{2,5}$ ($<2,5 \mu\text{m}$) partículas inaláveis grossas (2,5 a $10 \mu\text{m}$); e composição química em um espaço de tempo.

As fontes emissoras desses poluentes são as mais variadas: os veículos, as chaminés industriais, as usinas termelétricas, as queimas e os processos de incineração em geral. Fontes naturais também emitem partículas na atmosfera, como o pólen das flores, vulcões e a própria poeira depositada nas ruas pelos ventos e veículos. Conforme sua origem, as partículas carregam variadas substâncias tóxicas e cancerígenas que potencializam seus efeitos danosos sobre o meio ambiente e a saúde (YANAGI, 2010).

Segundo Nobrega (2013), as medidas das concentrações de MP na atmosfera têm objetivos tanto científico quanto de regulamentação. Estudos de caráter científico buscam, em geral, relacionar composição química e faixa de tamanho, com vistas à

identificação das fontes do MP, ao entendimento das transformações químicas na atmosfera e ao provimento de subsídios para uma melhor compreensão dos efeitos adversos do MP à saúde humana e para as ações de controle ambiental.

Nas últimas décadas, a influência das atividades humanas no aumento das concentrações de MP na atmosfera vem recebendo maior atenção também devido a sua contribuição como forçante negativa no balanço energético global e nas mudanças das propriedades físicas das nuvens (NOBREGA, 2013).

2.5 Fatores que influenciam na dispersão dos poluentes

A condição meteorológica é um fator fundamental na dispersão dos poluentes atmosféricos, ou seja, a estabilidade atmosférica que está associada aos movimentos ascendentes e descendentes de volume de ar (QUALAR, 2010).

As características do ambiente, influenciam na dispersão dos poluentes, afetam diretamente a direção e o transporte dos poluentes. As principais características naturais do ambiente que têm influência na dispersão de poluentes são a velocidade e a direção do vento, estabilidade atmosférica, altitude, topografia e obstáculos.

De acordo com Oliveira (1998), a concentração de um determinado poluente depende da quantidade emitida em um determinado volume e do grau de ventilação da área para diluí-lo e, a quantidade de poluentes emitidos depende do tipo e do número de fontes poluidoras.

O vento consiste na movimentação do ar na atmosfera. De acordo com Godish (2004), os ventos horizontais são caracterizados por sua velocidade e direção. A velocidade do vento é afetada pela pressão horizontal e por gradientes de temperatura (maior gradiente de pressão implica maior velocidade do vento) e de atrito, que é proporcional à rugosidade da superfície da Terra (por exemplo: prédios em áreas urbanas, campos em área rural) (KAWANO, 2003).

A atmosfera terrestre está em constante movimento, principalmente como resultado da travessia da luz solar que gera um balanço térmico não uniforme. Assim os parâmetros meteorológicos variam consideravelmente com a localização, altitude e tempo (STERN et al., 1984).

2.6 Monitoramento do ar

Para Frondizi e Kalyva (2008) o monitoramento do ar pode ser dividido basicamente em dois grupos:

1. Monitoramento das emissões: trata-se de medição da concentração, ou da taxa de emissão dos poluentes que estão sendo emitidos por dutos e chaminés;
2. Monitoramento da qualidade do ar: está dedicada a medir e quantificar as concentrações dos poluentes no ar do ambiente, onde as pessoas, animais e plantas estão expostas, podendo afetar a saúde e aos materiais.

O monitoramento da qualidade do ar fornece informações para a identificação do grau de exposição dos receptores, portanto tem como objetivo identificar os padrões de qualidade do ar, proteger a saúde e o bem-estar humanos. Esse monitoramento pode ser realizado por meio de medições por equipamentos automáticos, amostragens ativas, eficientes, normalmente de custo elevado ou utilizando amostradores passivos, simples, de fácil operação e baixo custo, porém sem resultados instantâneos.

2.7 Tipos de analisadores de poluentes do ar

2.7.1 Amostragem Passiva

Uma das alternativas viáveis sob o ponto de vista prático e econômico é o uso de amostradores passivos, também conhecidos como monitores ou dosímetros passivos construídos a partir de materiais de baixo custo e que não necessitam de energia elétrica (TAO et al., 2008). São dispositivos capazes de fixar poluentes gasosos ou vapores da atmosfera, a uma taxa controlada por processos físicos, tais como difusão e permeação não envolvendo o movimento ativo do ar através do amostrador, ou seja, não necessitam de uma bomba de sucção para forçar o ar a ser amostrado, daí a denominação “passivo” (BROWN, 1995).

O surgimento do dosímetro passivo ocorreu em 1927 por Gordon & Lowe, porém sua utilização só foi difundida em 1973 quando Palmes & Gunnison estabeleceram suas bases teóricas e desenvolveram um amostrador difuso em forma de tubo para SO₂. Desta data em diante, uma grande variedade de amostradores em sido descritos e comercializados.

Amostradores passivos são definidos como aqueles amostradores simples, que não utilizam energia elétrica, são pequenos e fáceis de transportar, não necessitam manutenção, calibração ou pessoal capacitado para operar. Podem ser construídos em forma de tubo ou emblema, com capacidade de fixar compostos gasosos por meio de substrato químico podem ser utilizados em ambientes abertos ou fechados, não apresentam ruído, podem ser deixados a campo durante longos períodos (BUCCO, 2010).

Os amostradores passivos, devido as suas características, podem ser adequados não apenas para o monitoramento da exposição pessoal em ambiente de trabalho, mas também para aplicações ambientais externas, inclusive em áreas remotas onde não há disponibilidade de energia elétrica e portanto, outras técnicas não podem ser usadas (HAFKENSCHIED, 1996).

Cao e Hewitt (1991), explicam que a amostragem ocorre naturalmente por difusão molecular durante tempo definido. No equipamento de amostragem consta tubo, disco amostrador passivo ou cartucho, contendo suporte absorvente que é exposto as concentrações do ambiente. Após a amostragem o tubo é levado ao laboratório para amostragem.

O processo de funcionamento é realizado por meio da difusão molecular do gás a partir da região de concentração mais alta para a mais baixa. Esse fenômeno é descrito pela Lei de Fick, em que o fluxo do gás é proporcional ao gradiente da concentração (KAWANO, 2007).

Por outro lado, estes amostradores apresentam algumas desvantagens, não oferecem concentrações instantâneas, não estão disponíveis comercialmente para um grande número de componentes atmosféricos, não são adequados para particulados, não distinguem entre os episódios transitórios de alta ou baixa taxa de concentração em um determinado período (CAMPOS et al., 1999).

O monitoramento do ar utilizando amostradores passivos é uma ferramenta importante no levantamento da poluição de séries históricas, no mapeamento de áreas com influência urbana, industrial, rural e locais distantes (RODRIGUES, 2006). Porém a dificuldade do monitoramento decorre do fato dos poluentes geralmente se encontrarem em concentrações baixas na atmosfera, devido aos processos de dispersão e diluição (CRUZ e CAMPOS, 2008).

2.7.2 Amostragem ativa

A amostragem ativa pode ser realizada como amostragem contínua, descontínua e sem pré-concentração. A amostragem contínua é baseada na combinação adequada e automatizada dos sistemas de amostragem e análises através de analisadores ou monitores, tendo como vantagem os resultados em curto espaço de tempo.

As amostragens descontínuas são realizadas por métodos de amostragens não automatizados, com tempo estabelecido e sendo as análises do material coletado realizada em laboratório.

As amostragens sem pré-concentração utilizam bolsas plásticas, tendo limitações em relação ao volume da amostra coletado podendo ser insuficiente no caso de baixas concentrações (MONTREAL, 2007).

2.7.3 Analisadores Automáticos

O funcionamento do analisador automático ocorre a partir da entrada de ar em uma câmara de reação, onde a propriedade ótica do gás pode ser medida diretamente ou ocorre uma reação química, produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente. A concentração do poluente é determinada por um detector de luz que produz um sinal elétrico proporcional a concentração, para cada poluente é utilizado um diferente principio eletroóptico. Esse tipo de equipamento pode ser utilizado em unidades (estações) fixas ou móveis e fornece dados em média a cada 30 ou 60 minutos, gerando um grande volume de dados diariamente, sendo necessário o uso de sistema de aquisição de dados e computadores para processá-los (LISBOA e KAWANO, 2007).

Os analisadores automáticos de uma forma geral são os mais utilizados para o monitoramento. Poucas são as cidades brasileiras que possuem um sistema regular de monitoramento e controle da qualidade do ar. Muitas delas como São Paulo e interior (Campinas, Presidente Prudente, Taubaté, por exemplo), Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Fortaleza, Brasília, Cuiabá e Curitiba (Araucária e Colombo), estas operam com estações automáticas de amostragem, possibilitando maior quantidade de dados.

Alguns autores que utilizaram analisadores automáticos em seus estudos: em um estudo realizado na cidade de Buenos Aires para monitorar as condições atmosféricas da

cidade, foram utilizadas estações simultâneas de monitoramento contínuo, distribuídas no centro da cidade para medir as concentrações de monóxido de carbono (CO), o óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃).

Outro exemplo, pode ser citado na Franca, onde um estudo realizado em 6 cidades, analisando a qualidade do ar de 108 escolas, usou estação de monitoramento automática com a utilização do software STREET.

Em Boston nos EUA o monitoramento foi realizado com a utilização de estação de monitoramento móvel, instrumento portátil que faz medição de partículas ultra finas. O equipamento utilizado na Coreia foi um equipamento móvel automático que faz leitura de 5 em 5 minutos resultando em uma média/dia.

2.7.4 Sensores Remotos

Os sensores remotos podem funcionar na faixa ultravioleta ou próximo ao infravermelho. Seu uso mais freqüente é para medição de hidrocarbonetos e monóxido de carbono que são liberados pelo escapamento dos veículos. Por meio de um feixe infravermelho que é enviado ao longo de uma faixa de tráfego pode ser calculado quanto deste feixe passa pelos gases emitidos pelo escapamento a concentração dos poluentes. A utilidade maior destes equipamentos é detectar veículos que estão trafegando em más condições, porém não substituem outras formas de controle e a variedade de poluentes que são detectados é muito limitada (LISBOA; KAWANO, 2007).

2.8 Indicadores da qualidade do ar

A necessidade do desenvolvimento de indicadores e seu uso como ferramenta são indispensáveis para uma gestão. Um “indicador” é um parâmetro que serve para monitorar o modelo de desenvolvimento adotado.

A escolha de indicadores de qualidade do ar recai sempre sobre um grupo de poluentes considerados os principais universalmente: dióxido de enxofre (SO₂), poeira em suspensão (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂). A razão da escolha destes parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente e à saúde.

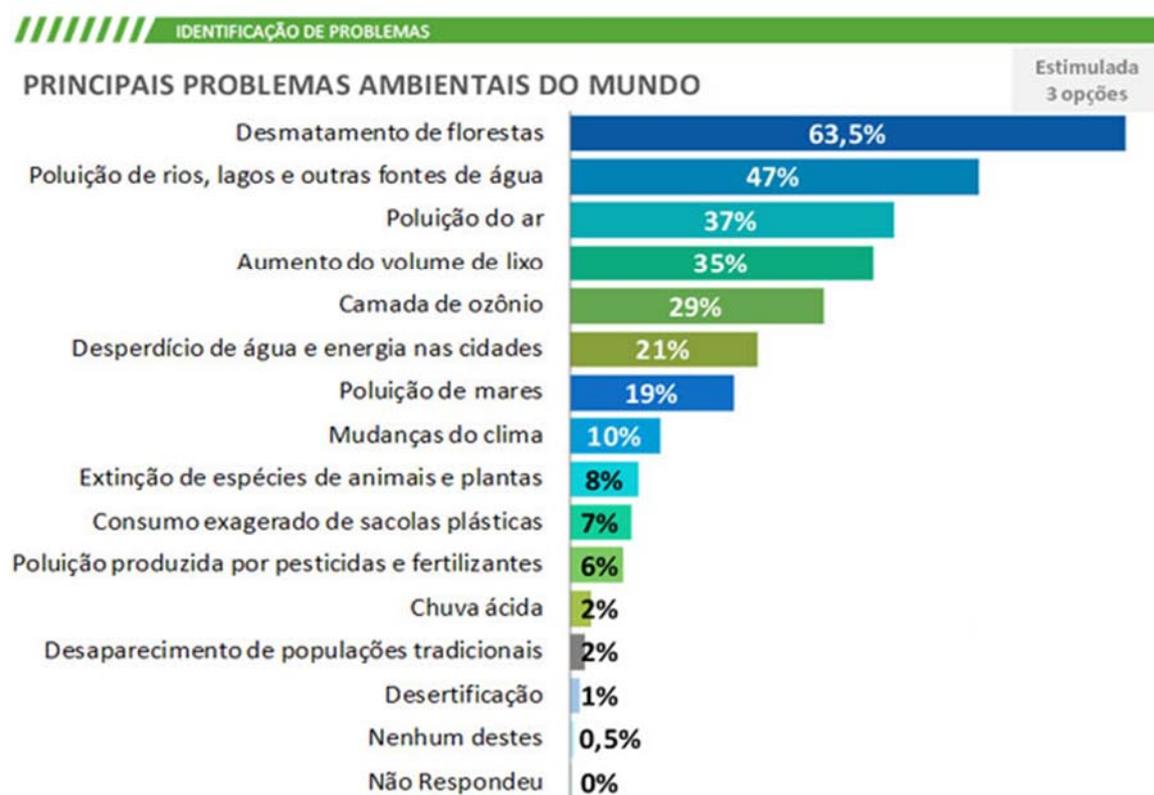
Conforme Malheiros (2009), os resultados de um estudo realizado na região de Paris, onde se procurou relacionar os efeitos da poluição do ar com impactos na saúde

pública, demonstrou uma associação estatisticamente significativa entre certos indicadores de contaminação atmosférica e estado de saúde. O estudo mostra que para diferentes níveis de dióxido de enxofre, fumaça preta, dióxido de nitrogênio e ozônio, há um aumento no número de atendimento por asma, problemas das vias respiratórias baixas, dor de cabeça, transtornos respiratórios e outros.

Para a Agência Europeia do Ambiente (AEA, 2012), os principais problemas de poluição do mundo estão relacionados ao desmatamento de florestas, poluição de rios, lagos e outras fontes de água e a poluição do ar conforme apresentado na Figura 2.

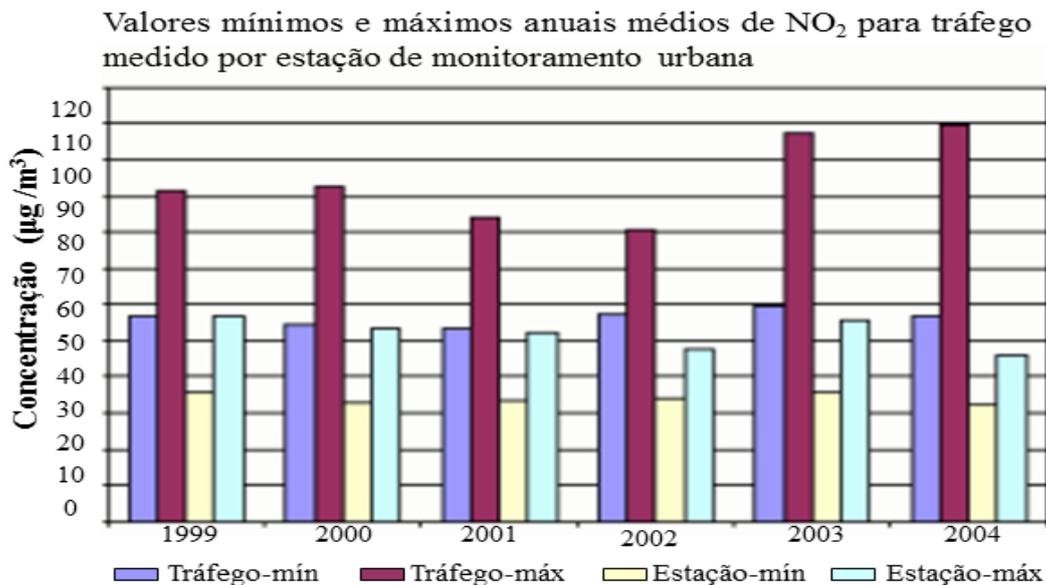
Na Figura 3 pode-se observar a variação da emissão de NO₂ pelos transportes na União Europeia, durante os anos de 1999 a 2004, a maior concentração do poluente encontra-se no momento do tráfego máximo.

Figura 2: Principais Problemas Ambientais do Mundo



Fonte: Agencia Europea do Ambiente, 2012.

Figura 3: NO₂ média e máxima, os valores das médias anuais para o tráfego e em meio urbano.



Fonte: Agencia Europea do Ambiente, 2012

2.9 Legislação brasileira para poluição atmosférica

No Brasil, assim como na maioria dos países que contam com legislações específicas para o meio ambiente, o controle da poluição do ar é regulamentado em três vias: qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo, incluindo as definições de infrações e sanções, controle de emissões por fontes fixas, e controle de emissões por fontes móveis (PEREIRA, 2007).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA 003/90 (BRASIL, 1990) é a principal legislação brasileira que estabelece padrões de qualidade do ar, apresenta padrões de qualidade do ar para os poluentes, dividindo-os em padrão primário e padrão secundário.

Os padrões primários referem-se as concentrações de poluentes que quando ultrapassados podem afetar a saúde da população. Estes valores devem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração, tratando-se de metas de curto e médio prazo. Já os padrões secundários consistem nas concentrações abaixo das quais é previsto o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população ou seja, fauna, flora e meio ambiente em geral. Trata-se do padrão ideal, constituindo-se em uma meta de longo prazo. Os padrões secundários são utilizados apenas em locais especiais, como áreas de preservação, sendo que para os demais locais aplica-se o padrão primário, a não ser que

essa tenha sido classificada como padrão secundário (CETESB, 2012b).

O Quadro 4 apresenta os padrões nacionais de qualidade do ar para os poluentes abordados na resolução CONAMA 003/90 (BRASIL, 1990) considerando que: LA – Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano, MGA – média geométrica anual; MAA média aritmética anua.

Quadro 4: Padrão primário e padrão secundário estabelecido pela Resolução CONAMA

Poluente	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	LA	MGA	MAA	LA	MGA	MAA
Partículas totais em suspensão	240	80	-	150	60	-
Partículas inaláveis	150	-	50	150	-	50
Fumaça	150	-	60	100	-	40
Dióxido de enxofre	365	-	80	100	-	40
Dióxido de nitrogênio	320	-	100	190	-	100
Monóxido de carbono	40.000	-	-	40.000	-	-
Ozônio	160	-	-	160	-	-

CONAMA 003/90 (BRASIL, 1990)

Esta resolução aborda sobre padrões de qualidade do ar de uma forma geral, porém existem outras resoluções que estabelecem padrões de qualidade do ar de forma mais específica. A Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1989, institui o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR, com objetivo de promover uma melhoria na qualidade do ar, o atendimento aos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas. A Resolução CONAMA 018/86 (BRASIL, 1986), institui o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), estabelecendo níveis específicos de emissões para veículos automotores, uma vez que estes consistem na principal fonte móvel de poluição atmosférica.

O controle da emissão de gases e materiais particulados poluentes por veículos automotores está previsto também no Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.

Segundo Pereira (2007) vê-se, portanto, que o controle da emissão de gases e material particulado poluentes por fontes móveis - veículos automotores - está amplamente regulamentado pela legislação ambiental brasileira. Desde 1986, vem sendo implementado o PROCONVE, um amplo programa de redução de emissões de poluentes

por esses veículos, o que levou à atualização tecnológica dos motores fabricados e utilizados no Brasil.

Uma prova da eficácia do PROCONVE é que os veículos automotores fabricados a partir de 1993, ano em que começou a ser empregada em grande escala no Brasil o sistema de injeção eletrônica de combustíveis, emitem menos de um décimo de poluentes de seus similares fabricados na década de 1980 (PEREIRA, 2007).

2.10 Alguns estudos relacionados ao monitoramento do ar

Silva em 2006, realizou monitoramento do ar da cidade de Florianópolis do poluente monóxido de carbono para representar a poluição atmosférica por ser emitido por todos os combustíveis veiculares e por indicar a presença de outros poluentes no meio ambiente.

Foram coletadas 43 amostras durante os meses de abril a agosto de 2005, com aparelhos de alta precisão cedidos pela Universidade de Londres. Os resultados mostraram que as concentrações de monóxido de carbono estavam bem abaixo do valor máximo de 35 ppm, padrão de qualidade do ar para exposição de 1 hora, estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Em outra pesquisa, Campos et al. (2006) apresentaram o resultado do monitoramento realizado com a participação dos alunos de graduação junto à equipe do LAQUAM (Laboratório de Química Analítica Ambiental do Departamento de Química Analítica do IQ/UFBA) para os poluentes atmosférico SO₂, NO₂ e O₃ utilizando amostradores passivos, em áreas urbanas e área urbana com influência industrial.

Foram utilizadas como pontos de amostragem as residências dos próprios estudantes e/ou proximidades, em cada ponto de amostragem, foi exposto um conjunto de amostradores passivos, para cada um dos três gases medidos, durante o período de exposição de duas semanas, a uma altura aproximada de 2,0 m do solo.

O monitoramento realizado mostrou que as concentrações dos poluentes monitorados não ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente (Resolução CONAMA 003/90), apresentando níveis compatíveis com aqueles conhecidos anteriormente através de métodos ativos para atmosferas de áreas semelhantes.

Bucco (2010) construiu e validou um modelo de amostrador passivo para detectar os poluentes atmosféricos NO₂ e O₃, utilizou placas de Petri de polietileno, contendo um

filtro de fibra de vidro impregnado com solução absorvedora específica para cada gás. Conjuntos de 2, 3 e 4 amostradores passivos foram expostos no período de setembro de 2009 a maio de 2010, por um tempo mínimo de exposição para cada poluente de 24 horas e máximo de 264 horas.

As leituras dos amostradores passivos foram comparadas com as dos equipamentos automáticos, contínuos, da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da Praça Ouvidor Pardini em Curitiba, Paraná, onde os amostradores foram expostos. O uso do amostrador passivo para determinação de poluição por NO₂ mostrou-se válido, a eficiência na obtenção dos resultados foi confiáveis para o fim proposto.

Vieira et al. (2013), utilizando amostradores passivos instalados no Campus I da Universidade de Passo Fundo, entre o período de Julho a Outubro de 2012, em locais que possuem diferentes fontes de poluição, sendo na sua maioria fontes fixas, analisou os poluentes atmosféricos NO₂, SO₂ e O₃, e comparou os resultados obtidos com a legislação. Os amostradores passivos apresentaram-se como uma técnica de fácil aplicação, economicamente viável.

Em outro estudo, Bieringer et al. (2013) demonstra uma metodologia melhorada ideal para equipamento de monitorização da qualidade do ar dentro deste contexto complexo e desafiador. A metodologia envolve:

- a) a utilização de um registro climatológico para melhor representar a gama de condições meteorológicas representativas;
- b) redução do registro climatológico completo em um subconjunto de padrões meteorológicos característicos e frequências associadas de ocorrência,
- c) redução de escala e diagnóstico dos campos de fluxo de vento de construção da área urbana para cada padrão meteorológico característico;
- d) transporte atmosférico e dispersão (AT & D) simulações para cada padrão meteorológico, utilizando um modelo específico de dispersão de partículas;
- e) a combinação de concentrações/doses para cada padrão meteorológico com sua frequência associada de ocorrência/mapas espaciais para limites de concentração prescritos ou normas.

O método aplicado é flexível e pode ser projetado para captar as distribuições espaciais que se alteram em função da hora do dia e efeitos climáticos sazonais.

Raysony et al. (2013) investigaram o impacto da poluição atmosférica relacionada ao tráfego urbano em crianças asmáticas e seus efeitos em quatro escolas de ensino fundamental em El Paso, Texas. Três escolas foram localizados em uma área de alta

densidade de tráfego e uma escola em uma área de baixa densidade de tráfego. O estudo analisou concentrações no ambiente interno e externo de material particulado (MP), carbono (BC), dióxido de ozônio (NO₂), orgânicos voláteis (COV) durante o período de 01 de Março e 04 de Junho de 2010.

Quadro 5: Padrão primário e padrão secundário estabelecido pela Resolução CONAMA

Autor	Amostrador	Poluente	Local
Silva, 2006	automático	CO	Florianópolis
Campos, 2006	passivo	SO ₂ , NO ₂ e O ₃	Salvador
Bucco, 2010	passivo	NO ₂ e O ₃	Curitiba
Vieira, 2013	passivo	SO ₂ , NO ₂ e O ₃	Passo Fundo
Raysony, 2013	automático	MP, CO, NO ₂ e O ₃	Texas
Bieringer, 2013	automático	metodologia	Boulder

Fonte: Autor, (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrita toda metodologia adotada para as análises laboratoriais e os procedimentos adotados para a caracterização da área de estudo, definição dos pontos de amostragem e período do monitoramento.

3.1 Cenário da Pesquisa

O estudo foi realizado na cidade de Passo Fundo, localizada no centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul, região de clima temperado com característica subtropical úmido, com temperatura média anual de 17,5°C e umidade relativa do ar de 72% (média anual) (IBGE, 2014) conforme informações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Informações gerais da cidade de Passo Fundo

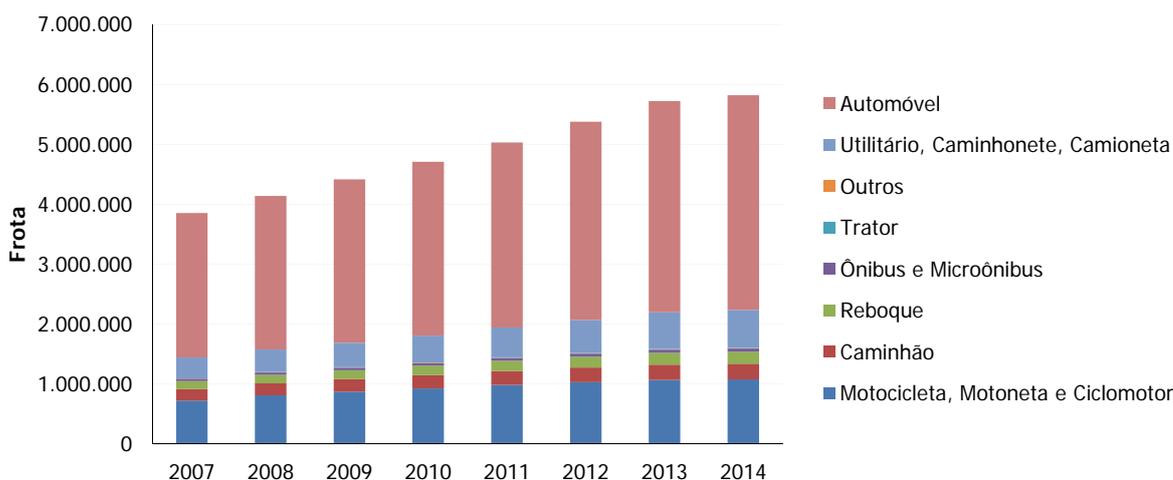
Dados Principais	
Área	783,40 km ²
População	195.620 habitantes
Relevo	plano
Altitude	687m
Latitude	28° 15' 46" Sul
Longitude	52° 24' 24" Oeste
Fuso horário	Brasília
Clima	temperado com característica subtropical úmido
Pluviosidade	1.787,8mm/ano
Temperatura média verão	26,3
Temperatura média inverno	13,2
Umidade relativa do ar	72%
Vento	predominante nordeste

Fonte: IBGE, 2014

O município é considerado cidade-pólo de mais de 100 municípios na região de abrangência. O conglomerado resulta em uma população de aproximadamente um milhão de pessoas (IBGE, 2013). Seus acessos compreendem a BR 285, RS 135, RS 153, RS 324, e BR 386.

Conforme dados do Departamento Estadual de Trânsito do Estado do Rio Grande do Sul (DETRAN, 2014), há um crescimento anual significativo na frota de veículos no estado do Rio Grande do Sul. Esta evolução está apresentada na Figura 4.

Figura 4: Evolução da frota no estado do Rio Grande do Sul



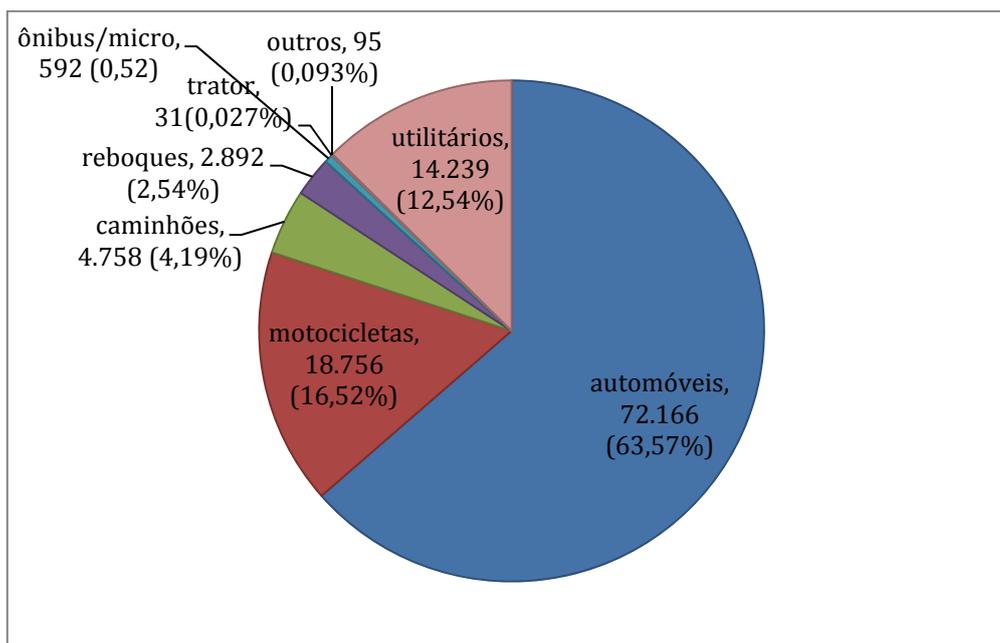
FONTE: DETRAN, 2014

Na cidade de Passo Fundo, até novembro de 2014, a frota em circulação era em torno de 113.529 veículos conforme pode-se observar na Figura 5. A distribuição da frota em atuação de Passo Fundo, demonstra que a maioria são automóveis (63,57%) que, segundo classificação do Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul, são os veículos automotores destinados ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor, seguido das motocicletas que representam 16,52%, e dos utilitários que correspondem a 12,54% e são veículos mistos.

O Sistema viário municipal, da cidade de Passo Fundo está composto por: rodovias federais e estaduais, estrada interdistrital, estradas municipais e rede ferroviária; já o sistema viário urbano é composto por: trechos de rodovias federais e estaduais, eixos viários, vias principais, binários, vias de ligação, vias locais, cicloviárias e vias de pedestres. Sendo as rodovias federais e estaduais e os trechos destas, a concentração dos grandes volumes de tráfego de média e longa distância, de passagem e a ligação dos sistemas viários urbanos, rurais e regionais.

A cidade de Passo Fundo conta com uma frota aproximadamente de 150 ônibus utilizados no transporte coletivo que circulam em todas as vias do município. Além do transporte coletivo urbano, circulam também pela cidade de Passo Fundo, mais especificamente nos trechos de rodovias federais e estaduais que atravessa a cidade, ônibus de linhas estaduais, inter estaduais e ônibus que transportam estudantes das cidades vizinhas, aumentando para mais de 200 ônibus diários, somente neste eixo.

Figura 5: Distribuição da frota em circulação da Cidade de Passo Fundo no ano de 2014.



FONTE: DETRAN, 2015

3.2 Delineamento da Pesquisa

Trata-se de uma pesquisa desenvolvida a partir da abordagem quantitativa a qual permitiu o conhecimento e monitoramento da qualidade do ar oriunda das emissões atmosféricas através medição dos poluentes Dióxido de Nitrogênio e Ozônio, oriundos do tráfego urbano na cidade de Passo Fundo durante o período de doze meses.

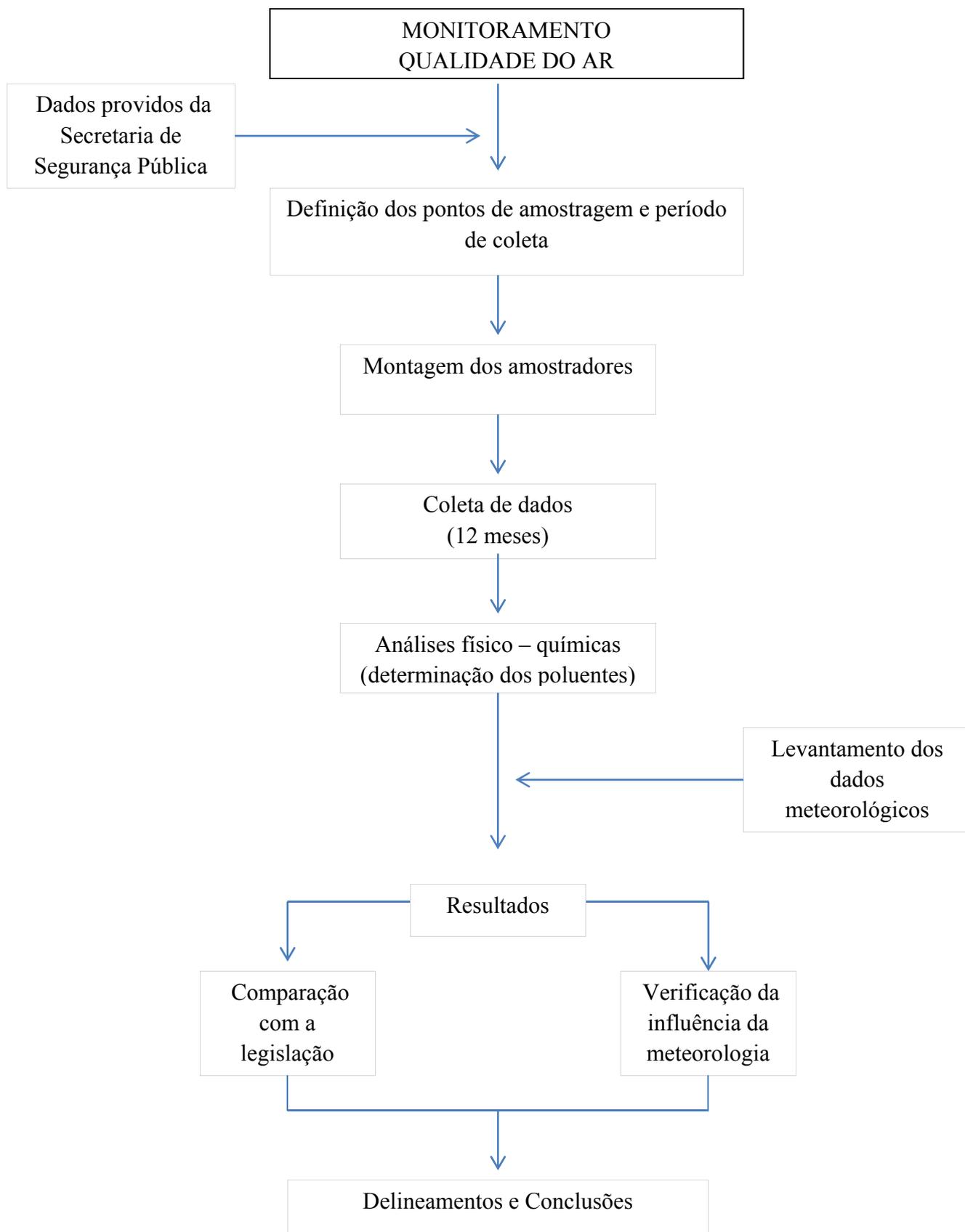
Para a realização da pesquisa, foi utilizado um modelo de amostrador passivo, sendo assim necessário o conhecimento dos procedimentos de montagem do equipamento e das técnicas para realização das análises laboratoriais.

Foram também realizadas reuniões com a Prefeitura de Passo Fundo, representada pela Secretaria de Segurança Pública a qual disponibilizou dados de contagem de veículos a qual é realizada automaticamente nos semáforos e redutores de velocidades instalados em diversos pontos na cidade de Passo Fundo. Estes dados auxiliaram na de definição dos pontos de monitoramento.

A pesquisa contou com o apoio de um grupo de colaboradores que participaram diretamente das análises laboratoriais.

A Figura 6 apresenta o fluxograma da pesquisa.

Figura 6: Fluxograma da pesquisa



3.3 Amostragem

3.3.1 Definição dos Pontos de Amostragem

Para a escolha dos pontos de medição, optou-se por uma área sujeita a grandes volumes de tráfego de veículos nas vias da cidade de Passo Fundo, em que foram considerados os seguintes aspectos:

1. Pontos em uma situação onde os efeitos negativos do tráfego sobre as pessoas são críticos;
2. Vias com uso residenciais e comerciais para avaliar se há impacto dos níveis de concentração dos poluentes sobre as pessoas;
3. Desconsiderados pontos com influência de outras fontes que afetam os níveis de concentração como: indústrias não foram considerados;
4. Pontos com controlador eletrônico de velocidade e/ou semáforo para facilitar o controle do tráfego através da contagem dos veículos;
5. Pontos de grande fluxo de veículos (Tabela 4) selecionados através dos relatórios fornecidos pela Prefeitura Municipal de Passo Fundo – Secretaria de Segurança Pública.

Tabela 4: Descrição da localização dos pontos de estudo e fluxo diário de veículos

Ponto	Local	Fluxo de veículos
		(média/dia)
P1	Avenida Brasil x Posto Ipiranga Boqueirão (IE)	7.535
P2	Avenida Brasil x Avenida Sete de Setembro (Bella Cita)	5.916
P3	Avenida Brasil x Rua Bento Gonçalves (Banco do Brasil)	6.440
P4	Avenida Brasil x Rua Fagundes dos Reis (Praça Tochetto)	5.790
P5	Avenida Brasil x Rua Ângelo Preto (Bourbon)	6.070
P6	Universidade de Passo Fundo	20

Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo (2014)

Desta forma, foram selecionados seis pontos de estudo os quais estão representados na Figura 13, cinco deles são localizados no centro da cidade de Passo Fundo, ao longo da extensão da principal avenida do município, Avenida Brasil, áreas sujeitas a grandes volumes de tráfego de veículos.

Figura 7: Localização dos pontos de análise



Fonte: autor (2015)

De maneira comparativa, foi monitorado um ponto de controle na Universidade de Passo Fundo, localizado em uma via interna de acesso secundário, onde o fluxo de veículos é baixo (Tabela 4).

Pode ser observado nas figuras 7 a 12 a vista superior dos pontos de monitoramento e seu entorno, e na Tabela 5, a localização geográfica dos mesmos. Os pontos estão distribuídos em uma extensão de 7,5 km, e foram identificados como P1 – IE; P2 – Bella Citá; P3 – Banco do Brasil; P4 – Praça Tochetto; P5 – Hipermercado Bourbon e P6 – UPF.

Figura 8: Vista superior do ponto 1



Fonte: google maps (2015)

Figura 9: Vista superior do ponto 2



Fonte: google maps (2015)

Figura 10: Vista superior do ponto 3



Fonte: google maps (2015)

Figura 11: Vista superior do ponto 4



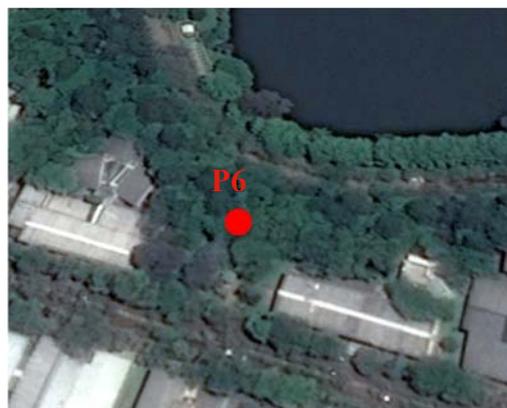
Fonte: google maps (2015)

Figura 12: Vista superior do ponto 5



Fonte: google maps (2015)

Figura 13: Vista superior do ponto 6



Fonte: google maps (2015)

Tabela 5: Localizações geográficas dos pontos Av. Brasil

Ponto	Latitude	Longitude
P1	28°16'04.22"S	52°25'21.34"O
P2	28°15'43.92"S	52°24'35.28"O
P3	28°15'38.30"S	52°24'24.66"O
P4	28°15'34.59"S	52°24'17.07"O
P5	28°15'10.42"S	52°23'42.74"O
P6	28°13'54.18"S	52°22'48.64"O

Fonte: Prefeitura municipal de Passo Fundo (2014)

3.3.2 Definição do Período de Coleta

O monitoramento com o amostrador passivo foi realizado por um período de doze meses, iniciando no mês de abril/2014 e concluído em março/2015. A exposição dos amostradores nos pontos de coleta ocorreu sempre na primeira semana de cada mês.

O conjunto de amostradores (Figura 14) foi fixado nos pontos a uma altura aproximada de 2 metros (Figura 15, 16 e 17), permanecendo expostos ao ambiente de segunda a sexta feira, representando um período aproximado de 100 horas. Na semana seguinte realizavam-se as análises laboratoriais para identificação da concentração dos poluentes NO_2 e O_3 no prédio Biotecnologias (G2), laboratório de análises de Engenharia Ambiental na Universidade de Passo Fundo.

Figura 14: Conjunto de amostradores fixados nos pontos de coleta



Fonte: Autor, (2014).

Figura 15: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P2



Fonte: Autor, (2014).

Figura 16: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P4



Fonte: Autor, (2014).

Figura 17: Ponto de coleta com conjunto de amostradores P3



Fonte: autor (2014)

3.4 Monitoramento da Qualidade do Ar

3.4.1 Montagem dos Amostradores

a) Construção dos amostradores passivos para os poluentes NO_2 e O_3 .

A configuração do amostrador passivo foi baseada naquele descrito por Campos et al. (2006) apresentado na Figura 18.

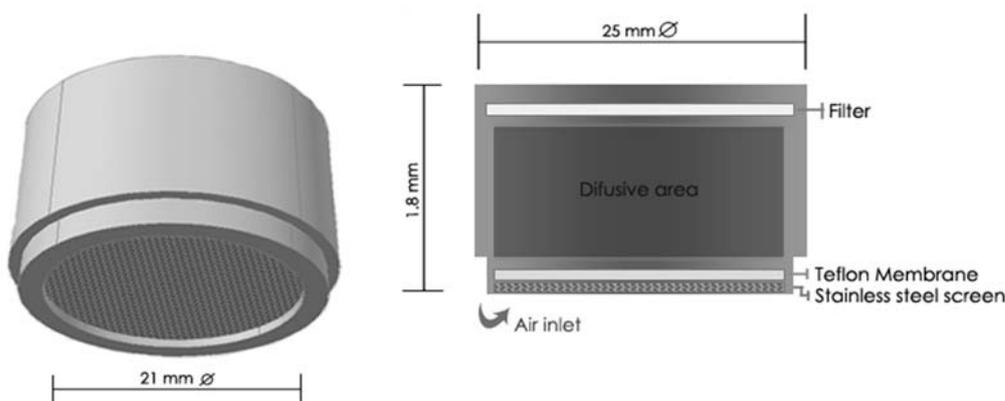
O amostrador é formado por um corpo cilíndrico, fechado no fundo por uma tela de aço

inox, seguida de uma membrana de teflon para evitar transporte convectivo que produz erros positivos na concentração do poluente determinado, um espaço onde ocorre a difusão, e na parte superior, um filtro de celulose impregnado com a solução absorvedora específica para cada poluente.

Abaixo detalham-se os materiais componentes dos amostradores.

- Cilindro de polietileno de 12 mm de altura e 21 mm de diâmetro;
- Tela de aço inox (0,08 x 0,125 mm);
- Membrana de Teflon (Millipore, PTFE, 0,5 μm de poro, 25 mm de diâmetro, hidrofóbica e lisa);
- Filtro de celulose, para poluente NO_2 (Whatman 40);
- Filtro de papel de fibra de vidro, para poluente O_3 ;
- Fundo do amostrador (25 mm de diâmetro);
- Suporte frontal (diâmetro interno de 21 mm).

Figura18: Modelo de amostrador passivo



Fonte: Campos et al. (2006)

b) Procedimento de montagem dos amostradores para os poluentes NO_2 e O_3

Para minimizar a interferência de partículas e difusão turbulenta, uma membrana de Teflon (Millipore, PTFE, 0,5 μm de poro, 25 mm de diâmetro, hidrofóbica lisa) é usada na entrada de ar. Esta membrana é protegida de danos mecânicos por uma tela de aço inox (0,08 x 0,125 mm) 16mm. Após o espaço de difusão encontrasse um filtro de celulose (Whatman 40), para o poluente NO_2 e um filtro de papel de fibra de vidro para o poluente O_3 , previamente embebido na solução onde permanece em dessecador por 24 horas, é

neste filtro que o gás é fixado. O quadro 5 informa a solução absorvedora para impregnação de cada poluente, juntamente com o filtro específico.

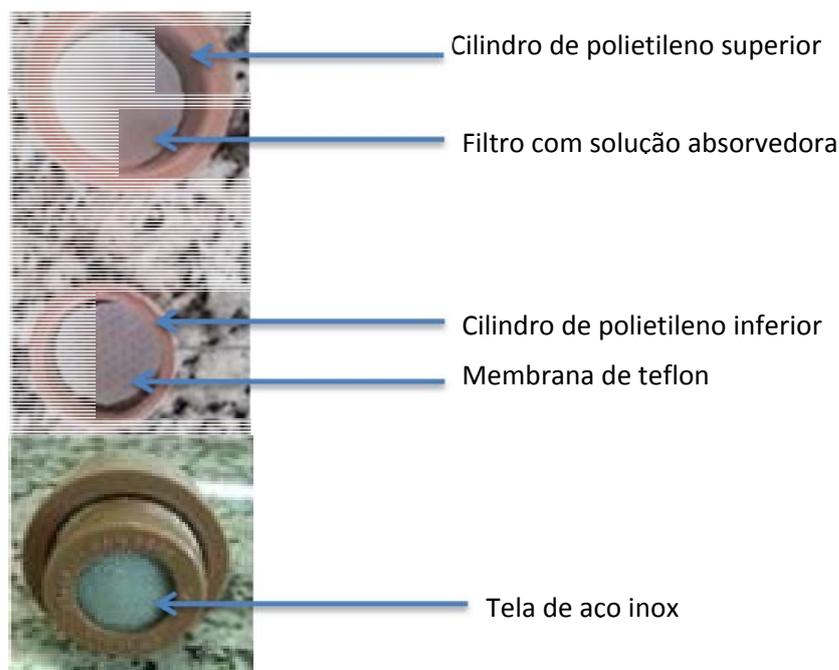
Quadro 5: Especificações de filtros e solução absorvedora para cada poluente

Poluente	Filtro	Solução absorvedora
NO_2	Filtro de celulose (Whatman 40)	8,3 g de KI + 1,12 g de KOH, dissolvidos em 100 mL de metanol.
O_3	Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)	Deve ser amassado 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada e despejado em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. Descansar a solução por 24h e dissolver 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, dilui-se para 100 mL.

Fonte: BUCCO (2010)

Estes amostradores possibilitam a reutilização de todas as suas partes com a exceção do filtros e o uso das diferentes soluções absorvedoras para impregnação. Para ambos poluentes os filtros foram fixados ao fundo do amostrador passivo. Todas as partes do amostrador após cada utilização foram lavadas com água destilada e álcool etílico, sendo posteriormente secas em estufa à 50°C. A Figura 19 representa o amostrador passivo utilizado na pesquisa.

Figura 19: Componentes do amostrador passivo utilizado na pesquisa



Fonte: Autor (2014)

3.4.2 Análise e determinação da concentração dos poluentes

As análises foram realizadas conforme os seguintes métodos:

- Método utilizado para análise do NO₂: recomendado por Griess-Saltzman (SALTZMAN, 1954) modificado, que se baseia na espectrofotometria colorimétrica UV/VIS e;
- Método utilizado para análise de O₃: recomendado por Bucco (2010) e baseia-se em espectrofotometria colorimétrica UV/VIS.

a) Análise do NO₂

O método utilizado para análise do NO₂ será o recomendado por Griess-Saltzman (SALTZMAN, 1954) modificado, que se baseia na espectrofotometria molecular UV/VIS. Para SO₂, método utilizado será o proposto por Rossete et al. (2010), e para análise de O₃ método recomendado por Bucco (2010) e baseia-se em espectrofotometria.

Soluções Necessárias:

Solução estoque: 0,0203 g de nitrito de sódio diluídos em água destilada. □

Solução reagente: 5,0g de sulfanilamide dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adiciona-se 0,05 g de NEDA (N-1-naftil-etilenodiamina) e dilui-se para 1L (BUCCO, 2010).

Materiais necessários

- Espectrofotômetro;
- Microtubo;
- Filtro de celulose para impregnação (Whatman 40);
- Balão de fundo chato;
- Balança analítica;
- Papel alumínio.

Reagentes necessários

- KI (Iodeto de potássio);
- KOH (Hidróxido de potássio);
- NaNO₂ (Nitrito de sódio);
- H₃PO₄ (Ácido fosfórico) (85%);

- $C_6H_8O_2N_2S$ (Sulfanilamida);
- Água destilada;
- $C_{12}H_{14}N_2 \cdot 2HCl$ NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina);

Solução absorvedora para impregnação nos filtros

8,3 g de KI + 1,12 g KOH diluídos em 100 mL de metanol.

Com a solução absorvedora, pipeta-se 200 μ L da mesma no filtro de celulose. O mesmo deve ficar em torno de 48h em dessecador de sílica gel, para posteriormente ser instalado o amostrador nos locais desejados. Depois de prontos os amostradores podem ser lacrados com papel laminado e guardados na geladeira até o momento de sua exposição.

O período de exposição dos amostradores deve ser de 5 dias. Posteriormente deve-se realizar as análises com o filtro que foi realizada a impregnação da solução absorvedora.

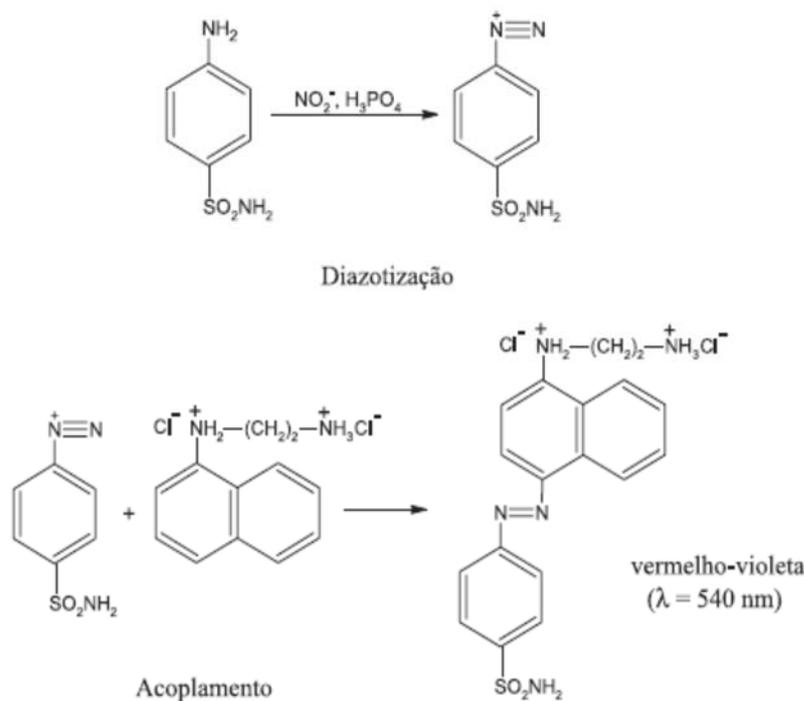
Solução necessária para análise

Solução reagente: 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adiciona-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e dilui-se para 1L (BUCCO, 2010).

Análise da concentração de NO_2 presente nos filtros

Após o período de exposição, cada filtro deve ser transferido para um microtubo e então adiciona-se 1,5 mL da solução reagente. Aguarda-se 15 minutos e então a absorbância é lida em espectrofotômetro no comprimento de onda de 540 nm. O íon nitrito extraído em condições ácidas causa a diazotização da sulfanilamida (4-aminobenzenossulfonamida) e o produto é acoplado com o dicloreto de N-(1-naftil)-etilenodiamina, segundo as reações apresentadas na Figura 37.

Figura 20: Análise de NO_2 , reações químicas envolvidas.



Fonte: CAMPOS et al. 2006.

Análise O₃

Este método foi utilizado por Bucco (2010) e baseia-se em espectrofotometria.

Soluções Necessária:

As soluções serão armazenadas em vidro âmbar e em refrigeração (4°C), podendo ser estocadas por até um mês nestas condições. As soluções devem ser utilizadas em temperatura ambiente e são as seguintes:

Solução estoque O₃: Dissolve-se 6,4 g de iodeto de potássio e 1.2692 g de iodo até 1000 ml. É recomendado misturar os reagentes com uma pequena quantidade de água e diluí-los e então diluir a solução para 1000 ml. Deve-se esperar um dia antes de usar. 1 ml dessa solução equivale a 240 µg de ozônio (SHECHTER, 1973).

Solução absorvedora de O₃: Deve-se amassar 5,0 g de amido em 20ml de água destilada e despejar em 50 ml de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. A solução descansa por 24 h e à esta mistura dissolveu-se 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 ml.

c) Solução reagente O₃: Dissolvem-se 10,0 g de iodeto de potássio em aproximadamente 500 ml de água destilada e dilui-se para 1 litro.

Materiais necessários

- Filtro de papel de fibra de vidro para impregnação (GF 50/A);

- Vidro âmbar
- Papel alumínio
- Espectrofotômetro
- Balão de fundo chato
- Balança analítica

Reagentes necessários

- Água destilada
- KI (Iodeto de potássio)
- Amido
- K_2CO_3 (Carbonato de potássio)
- I_2 (Iodo)

Solução Absorvedora para impregnação nos filtros

Deve-se amassar 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada e despejar em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. A solução descansa por 24h e a esta mistura dissolve-se 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 mL.

Com a solução absorvedora, pipeta-se 1 ml da mesma no filtro de papel de fibra de vidro. O mesmo deve ficar em torno de 48h em dessecador de sílica gel, para posteriormente ser instalado nos locais desejados. Depois de prontos os amostradores podem ser lacrados com papel laminado e guardados na geladeira até o momento de sua exposição. O período de exposição dos amostradores deve ser de 5 dias. Posteriormente deve-se realizar as análises com os filtros que foram realizadas as impregnações da solução absorvedora.

Análise da concentração de O_3 presente nos filtros

Para a determinação da concentração de O_3 presente nos filtros, o filtro deve ser colocado em um balão de fundo chato de 100 mL, adiciona-se 25 mL de iodeto de potássio 1% e então é tampado e sacudido por 1 minuto até desintegração do filtro. Depois, a solução é filtrada e mede-se rapidamente no comprimento de onda de 366 nm. A intensidade da cor (marrom) diminui rapidamente devido à luz e ao calor.

As Figura 21, 22 e 23 representam alguns dos passos da análise laboratorial.

Figura 21: Filtros de NO_2 em solução reagente



Fonte: Autor (2015)

Figura 22: Espectrofotômetro UV/VIS para realização da leitura da absorvância



Fonte: Autor (2015)

Figura 23: Pesagem dos reagentes para preparo das soluções



Fonte: Autor (2015)

A determinação da concentração dos poluentes calculados expressa o resultado médio diário. Segundo Campos et al. (2006), a concentração média dos gases na atmosfera durante o período de exposição do amostrador passivo é calculada pela integração da primeira lei de difusão de Fick, apresentada na Equação 2:

$$C - C_0 = \frac{ml}{DA_t} \quad (2)$$

Onde C é a concentração externa (ambiente) do gás ($\mu\text{g m}^{-3}$), C_0 é a concentração do gás na superfície de coleta ($\mu\text{g m}^{-3}$), m é a massa total coletada (μg), acumulada sobre o filtro, D é o coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \text{h}^{-1}$), A é a área da seção transversal do percurso de difusão (m^2), t é o tempo de amostragem (h) e L é o comprimento do percurso difusivo (m). Se um meio de coleta eficiente for utilizado, a concentração do gás na superfície do coletor (C_0) pode ser assumida como zero e a Equação 2 se reduz a:

$$C - C_0 = \frac{ml}{DA_t} \quad (3)$$

Os coeficientes de difusão podem ser obtidos na literatura, Massaman (1998) apresenta valores de coeficientes difusivos recomendados para os dois poluentes. Esses valores estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes de difusividade

Gás	Coefficiente de difusividade (m^2/h)
O ₃	0,3999
NO ₂	0,3769

Fonte: Massaman (1998)

3.4.3 Levantamento dos fatores meteorológicos

Foram avaliados os seguintes fatores meteorológicos: temperatura, precipitação, umidade relativa, velocidade do vento e insolação sendo avaliado os dados médios para temperatura e velocidade e valores acumulados durante a semana de monitoramento para os demais fatores.

Os dados foram fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2015), por meio de relatórios com registros diários da Estação de Monitoramento 83914, do Laboratório de Meteorologia Aplicada à Agricultura da Embrapa Trigo de Passo Fundo.

4 RESULTADOS

O capítulo 4 apresenta os dados climáticos e os resultados obtidos nas análises laboratoriais e suas relações com a meteorologia, legislação e a relação dos valores com o ponto de coleta e o fluxo de veículos.

4.1 Dados meteorológicos

Os resultados obtidos tiveram uma referência comparativa somente com estudos similares, uma vez que não se tem informações das concentrações monitoradas nos mesmos pontos.

Os poluentes associados à emissão de origem veicular são resultados da queima de combustíveis ou de sua evaporação. Os poluentes primários emitidos pelos veículos automotores incluem o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os materiais particulados (MP). Os poluentes secundários associados às emissões dos veículos automotores incluem o dióxido de nitrogênio (NO_2), o ozônio (O_3) entre outros (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

O monitoramento da poluição do ar mediu os valores dos poluentes NO_2 e O_3 envolvendo a medição da poluição nas escalas de tempo e espaço, gerando um diagnóstico da situação atmosférica em que se encontra a área em estudo, podendo servir como base para qualquer programa de gerenciamento da poluição atmosférica que venha a ser implantado na cidade de Passo Fundo.

Os parâmetros meteorológicos podem ser observados na Tabela 7 e representam a ocorrência dos dados durante a semana de monitoramento de cada mês. Nas representações gráficas os dados foram considerados como parâmetros comparativos. Cabe salientar que os parâmetros levantados refletem valores que possuem variabilidade em relação à área urbana de Passo Fundo. No entanto, estes valores foram avaliados, pois considerou-se mais importante ter valores aproximados do que nenhum valor.

Tabela 7: Dados climáticos ocorridos na semana de monitoramento

	T°C	PP (mm)	UR %	Vel vento (km/h)	Sentido	Insolação (h)
Abril/14	16,05 – 29,40	5,05	75,00	9,94 – 11,911	SE	39,65
Mai/14	7,85 – 23,46	48,70	82,55	7,11 – 14,40	NE	24,60
Junho/14	3,14 – 21,26	17,84	81,35	6,05 – 10,66	NE	34,75
Julho/14	10,48 – 25,53	17,50	83,55	6,60 – 17,05	NW	20,55
Agosto/14	19,60 – 22,61	0,25	79,85	8,32 – 12,98	NE	24,40
Setembro/14	11,43 – 24,91	50,86	79,20	8,05 – 14,21	SE	16,40
Outubro/14	18,05 – 22,22	102,84	80,65	9,26 – 16,26	NE	24,00
Novembro/14	25,42 – 34,18	6,08	65,80	8,87 – 17,94	NW	40,65
Dezembro/14	13,37 – 30,05	11,91	65,20	10,72 – 24,05	NE	36,85
Janeiro/15	22,79 – 27,74	143,16	87,25	3,39 – 12,30	NE	14,70
Fevereiro/15	15,13 – 30,39	11,10	77,20	8,41 – 13,34	SE	44,10
Março/15	27,86 – 30,05	9,65	78,85	4,95 – 12,58	NE	27,45

Fonte: EMBRAPA, 2015

Analisando-se os dados da tabela 7, pode-se observar que os valores máximos e mínimos de temperatura variam entre 3,14°C no mês de junho a 34,18°C no mês de novembro durante o período de monitoramento, a menor precipitação foi de 0,25 mm no mês de agosto e a maior de 143,16 mm no mês de janeiro. Esta também é a semana de monitoramento que apresentou maior acúmulo com relação a umidade relativa do ar que foi de 87,25% e a menor umidade ocorreu no mês de dezembro com 65,20%.

A velocidade do vento teve variação entre 3,39 km/h no mês de janeiro a 24,05 km/h no mês de dezembro. Verifica-se que direção observada do vento em todos os meses foi predominantemente nordeste (NE), porém com oscilação a noroeste (NW) e sudeste (SE). A insolação teve seu menor pico no mês de janeiro com 14,70 h/semana, mês que apresentou maior acúmulo de precipitação e maior pico no mês de fevereiro, com um total de 44,10 h/semana.

Na sequência encontram-se os resultados (média por semana) para os poluentes Dióxido de Nitrogênio e Ozônio, uma análise global, verificação com a legislação e a comparação com a meteorologia, durante o período de amostragem por fim apresentam-se as diretrizes sugeridas a partir dos dados obtidos neste trabalho, respectivamente.

As médias semanais encontradas para cada poluente encontram-se no anexo.

4.2 Monitoramento da qualidade do ar nos pontos de amostragem

4.2.1 Resultados do Monitoramento Para o Poluente Dióxido de Nitrogênio – NO₂

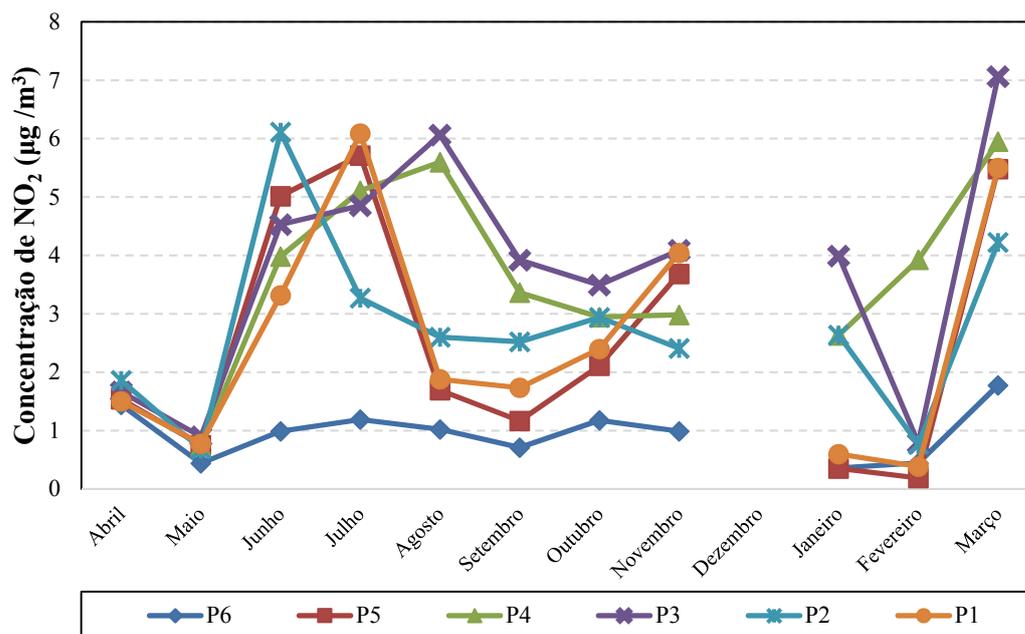
a) Análise Global

O Quadro 6, assim como a Figura 24, apresentam os resultados da concentração média de NO₂ encontrada durante o período da pesquisa para todos os pontos de monitoramento. Para análise dos resultados foi desconsiderado o resultado do mês de dezembro/14, por ter apresentado um resultado atípico e que possivelmente refletiu um erro analítico, considerando a época do ano com baixo fluxo de veículos e tendência de comportamento dos demais meses. No mês de abril/14, não foi encontrado o amostrador no ponto de amostragem P4.

Quadro 6: Concentração de NO₂ durante o período de monitoramento

VALORES ENCONTRADOS DO POLUENTE NO₂/PONTO						
	P1(µg/m ³)	P2(µg/m ³)	P3(µg/m ³)	P4(µg/m ³)	P5(µg/m ³)	P6(µg/m ³)
Abril/14	1,50	1,85	1,66	-	1,53	1,44
Mai/14	0,77	0,68	0,89	0,73	0,75	0,44
Junho/14	3,31	6,11	4,53	3,98	5,01	0,98
Julho/14	6,09	3,26	4,81	5,10	5,71	1,18
Agosto/14	1,87	2,56	6,06	5,59	1,69	1,02
Setembro/14	1,73	2,52	3,92	3,36	1,16	0,70
Outubro/14	2,39	2,93	3,49	2,94	2,11	1,17
Novembro/14	4,04	2,40	4,08	2,98	3,68	0,98
Dezembro/14	3,92	6,48	9,78	8,85	11,27	1,91
Janeiro/15	0,59	2,63	3,90	2,63	0,35	0,36
Fevereiro/15	0,38	0,76	0,78	3,92	0,18	0,44
Março/15	5,49	4,22	7,06	5,94	5,47	1,77

Fonte: Autor (2014)

Figura 24: Concentração de NO₂ durante o período de monitoramento

Fonte: Autor (2015)

Os meses de abril/14 e maio/14 foram os meses que apresentam os menores valores para o poluente NO₂ durante o período de monitoramento, seguidos pelos meses de janeiro/15 e fevereiro/15. Este fato que pode estar relacionado com a velocidade do vento que nos dois primeiros meses apresentaram 11,54 km/h e 12,52 km/h, e para o mês de janeiro/15, o fato pode ser explicado por ter sido o mês que apresentou a menor velocidade de vento 3,64 km/h porém, maior volume de chuva, com precipitação acumulada na semana de monitoramento de 143,16mm.

Na pesquisa realizada por Bucco (2010) com amostrador passivo, na área urbana da cidade de Curitiba, a maior concentração horária de NO₂ foi em abril/10 de 80,0 µg/m³ considerado valor de “qualidade boa”. Comparando-se com esta pesquisa, verifica-se que os valores são bem menores, uma vez que refletem a qualidade do ar de uma cidade de menor porte do que Curitiba. Campos et al. (2006) realizou, em Salvador, uma pesquisa com amostrador passivo, encontrou os valores variando na faixa de concentração de 2,3 a 11 µg/m³ para NO₂, muito próximos aos desta pesquisa.

Outra pesquisa realizada por Vieira (2012) que monitorou a qualidade do ar no campus da Universidade de Passo Fundo com o uso de amostradores passivos identificou para o mesmo poluente NO₂, uma variação na concentração de 0,11 a 3,10 µg/m³ para os meses de Agosto/12, Setembro/12 e Outubro/12. Comparando os mesmos meses de pesquisa, os valores se mantêm muito próximos aos de Vieira (2012), porém um pouco

maiores como no mês agosto/14 para os pontos P3 o qual apresentou valor de $6,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e P4 com valor de $5,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que pode ser atribuído à existência de maior fluxo de veículos no período.

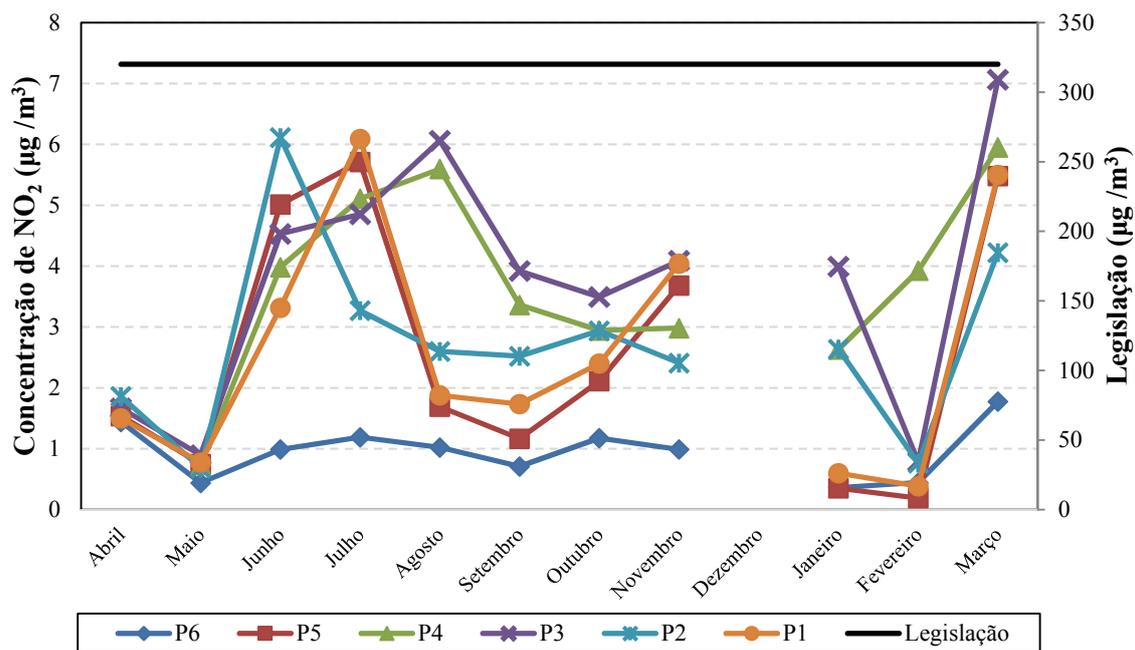
Segundo Kuriyama (1997), o NO_2 é considerado um gás tóxico na baixa troposfera, resultante da queima dos combustíveis fósseis como os veículos automotores que constitui a principal fonte de emissão, segundo Perkauskas e Mikelinskiene (1998). Os níveis de concentração desse poluente variam com a hora do dia, com a estação do ano e com os fatores meteorológicos. Geralmente as concentrações máximas ocorrem nos horários matinais e vespertinos e são atribuídos às emissões de origem veicular, o que possivelmente é o motivo pelas maiores concentrações obtidas nos pontos de elevado fluxo de veículo e presença de congestionamento, conforme pode ser observado nos pontos 3 e 4.

Observa-se também uma certa ocorrência das maiores concentrações do poluente NO_2 para o P3 durante o período de monitoramento. Esse fato pode estar relacionado a localização do ponto, pois ele encontra-se em um corredor urbano e em seu entorno existem grandes edifícios comerciais e residenciais. Além disso, esse ponto pode ser caracterizado como um dos pontos onde há congestionamento em função da grande concentração de ônibus, tornando o fluxo dos veículos em alguns horários mais lentos, gerando maior queima de combustível e conseqüentemente maior concentração do poluente no ar.

b) Comparação com a Legislação:

No gráfico da Figura 25 estão representados os valores encontrados para o poluente NO_2 durante o período do monitoramento e a comparação com a legislação.

A concentração máxima registrada durante o período de monitoramento para o poluente NO_2 foi de $11,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de dezembro. Os valores encontrados mostram que não houve violação dos limites primário e secundário da qualidade do ar, estabelecido pela legislação brasileira vigente, resolução CONAMA 003/90 (BRASIL, 1990), a qual fixa como valor Primário 1- concentração média aritmética anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 2 – concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

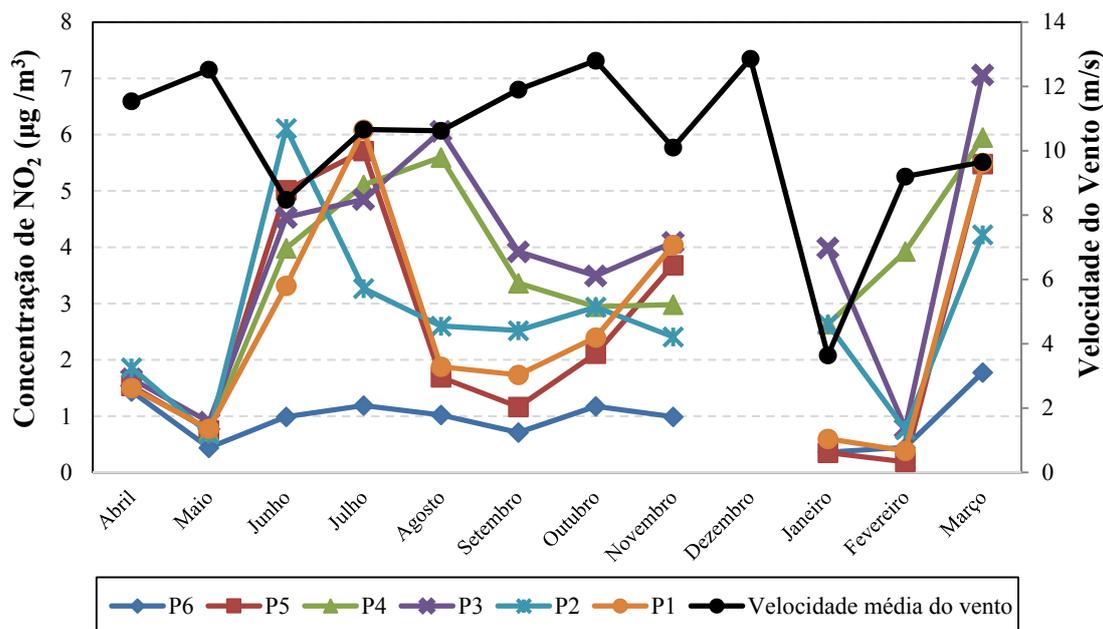
Figura 25: Comparação dos valores encontrados de NO₂ com a legislação

Fonte: Autor (2015)

Os valores de concentração do poluente NO₂ encontrados estão classificados como sendo de qualidade “Boa” conforme o Índice de Qualidade do Ar – IQA, utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010), que padroniza a variação de 0 – 50 µg/m³ para esta classe.

c) Verificação com a Meteorologia

A Figura 26 apresenta para todos os pontos de monitoramento, os resultados da concentração média de NO₂ encontrada durante o período da pesquisa e sua relação com a velocidade do vento.

Figura 26: Concentração de NO₂ e a influência da velocidade do vento

Fonte: Autor (2015)

Nota-se que o mês de outubro/14, seguido do mês de maio/14 e abril/14, foram os meses que apresentaram menor concentração do poluente respectivamente. Segundo Rocha et al. (2009), o tempo médio de resistência do dióxido de nitrogênio é de um dia, podendo atuar em qualquer direção e distância que o vento levá-lo. Esse fato pode ter contribuído para a dispersão das partículas ocorrido em função da alta velocidade do vento registrada no período, pois a dispersão do poluente pode ser facilitada em função das características do ambiente e da velocidade do vento, que no mês de outubro foi de 12,8 km/h, maio foi de 12,52 km/h e no mês de abril de 11,54 km/h.

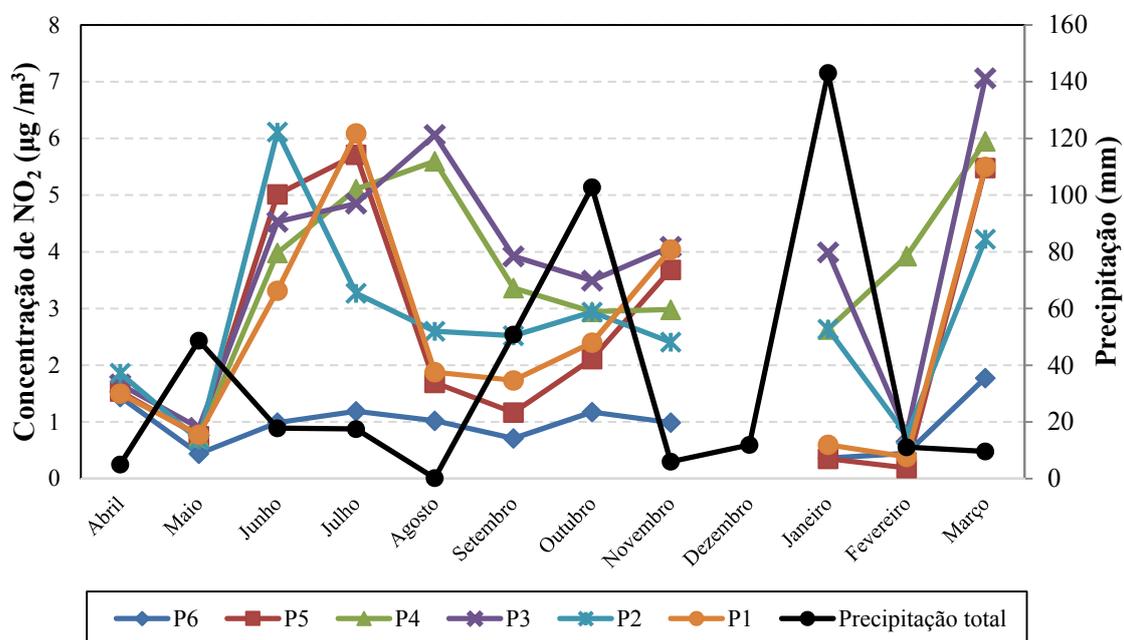
Além disso, o sentido do vento predominantemente foi noroeste, o que também contribui para a dispersão das partículas, pois Segundo Martins (1993), o conhecimento da direção predominante dos ventos e velocidades médias que estes ocorrem num determinado local podem auxiliar no estudo de zoneamento urbano como a instalação de indústrias, de modo que não prejudiquem as áreas residenciais. Neste caso, a direção predominante nordeste, mostra que os valores encontrados para os poluentes existentes no centro urbano de Passo Fundo dispersam no sentido de um local com baixa concentração P6, localizado na UPF em Passo Fundo, para os demais pontos, os quais apresentaram maior concentração, por influência direta da poluição oriunda exclusivamente da área urbana, mostrando que a área industrial da cidade, localizada à montante da área urbana, não é influenciada por essa poluição.

Também pode ser observado para os meses de julho/14, agosto/14, setembro/14 e outubro/14 uma mesma tendência de influência da velocidade do vento na dispersão dos poluentes, uma vez que a velocidade do vento vai aumentando de julho (10,66 km/h) até outubro (12,8 km/h) fazendo com que a concentração do poluente nos pontos seja diminuída. Esse comportamento está relacionado com o que menciona Oliveira (1998), que a concentração de um determinado poluente depende da quantidade emitida em um determinado volume e do seu grau de ventilação ou dispersão do ambiente.

Comparando os pontos que apresentaram maior concentração durante estes meses, observa-se que os pontos P1 e P3 tiveram redução na concentração. A redução da concentração no P1 para o mês de julho que foi de $6,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $2,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de outubro e a redução para o P3 foi de $4,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $3,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos mesmos meses, respectivamente.

Nos resultados demonstrados na Figura 27, o gráfico da concentração média de NO_2 encontrada para todos os pontos durante o período de monitoramento e sua relação com a precipitação.

Figura 27: Concentração de NO_2 e a influência da precipitação



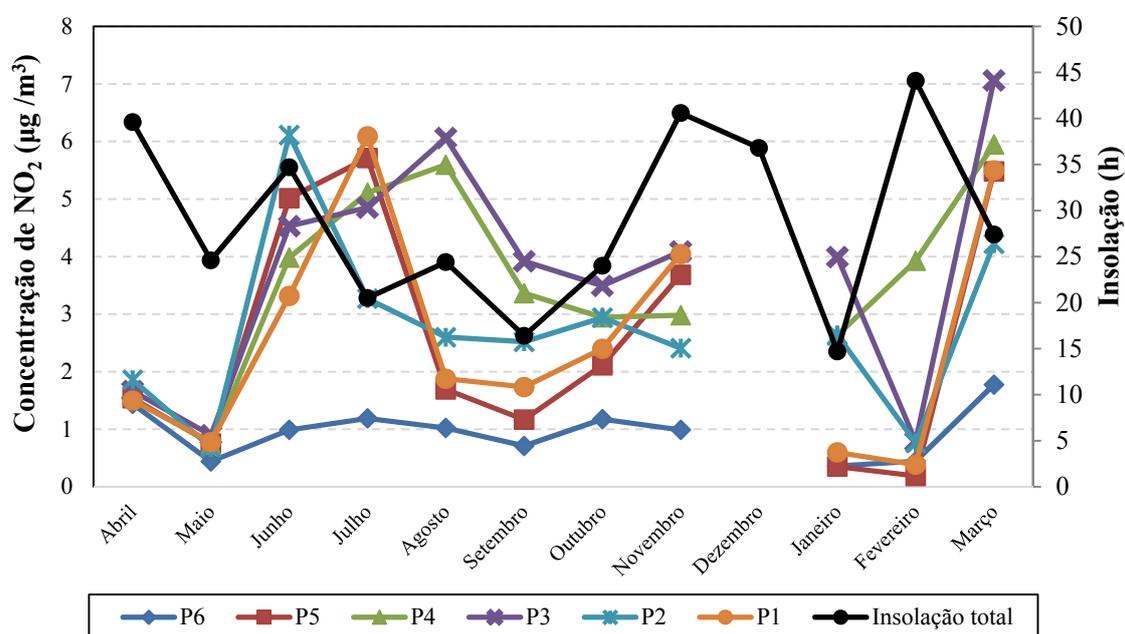
Fonte: Autor (2015)

Pode-se observar na Figura 27 que houve menor concentração de poluente no pontos dos meses que apresentaram maiores valores de precipitação que ocorrido durante o período de monitoramento foram nos meses de maio/14 com 48,7 mm, outubro/14 com

102,8 mm e janeiro/15 com 143,1 mm. O mesmo comportamento pode ser observado inversamente pois, nos meses onde houve menor precipitação, há maior concentração do poluente NO_2 para a maioria dos pontos. Isso corrobora com a explicação dada por Farias (2012) que explica que a precipitação pode funcionar como o principal removedor do poluente do ar, por deposição úmida (FARIAS, 2012).

A Figura 28 mostra o gráfico da concentração média de NO_2 encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a insolação.

Figura28: Concentração de NO_2 e a influência da insolação



Fonte: Autor (2015)

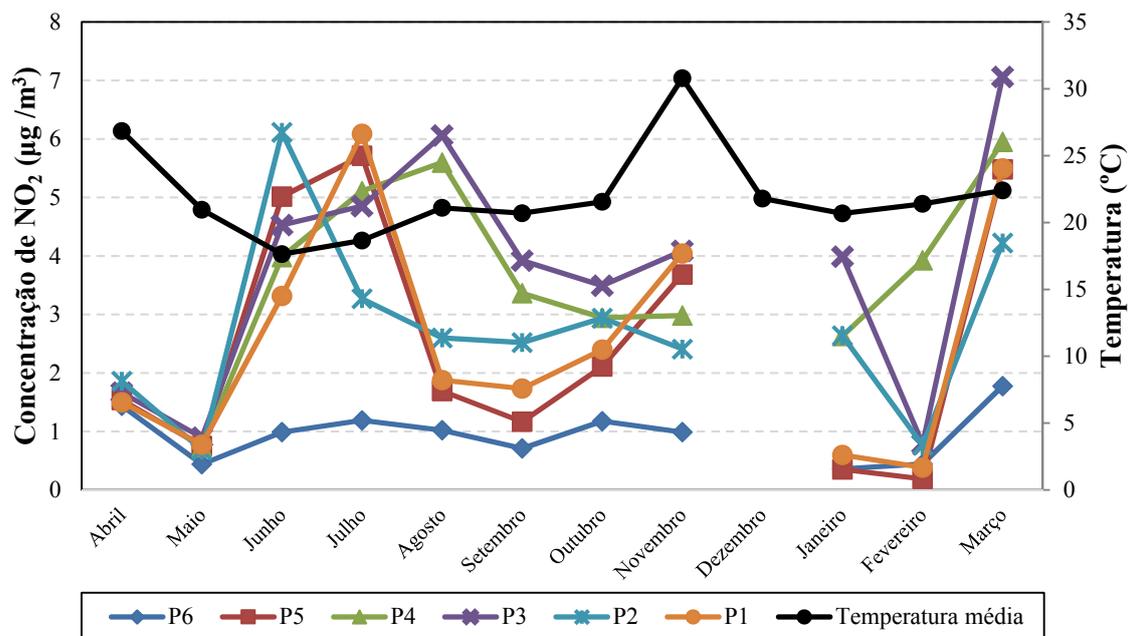
Os níveis de NO_2 observados na atmosfera do ambiente externo mostraram uma tendência geral na qual as concentrações tendem a diminuir em períodos de maior insolação, fato que pode ser observado nos meses de abril/14, novembro/14 e fevereiro/14, onde a insolação é de 39,6, 40,6 e 44,1 horas/semana, respectivamente. Segundo Finlayson (1986), o dióxido de nitrogênio em presença de luz solar participa de reações com compostos orgânicos voláteis formando ozônio, podendo ser esta a causa da redução das concentrações de NO_2 .

Da mesma forma, o mês de fevereiro/15 foi o mês de maior incidência de insolação, um total de 44 horas na semana que ocorreu o monitoramento. Como era

esperado, este mês apresentou os menores valores de NO₂, relacionando com o mesmo comportamento anteriormente relatado.

A Figura 29 mostra o gráfico da concentração média de NO₂ encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a temperatura.

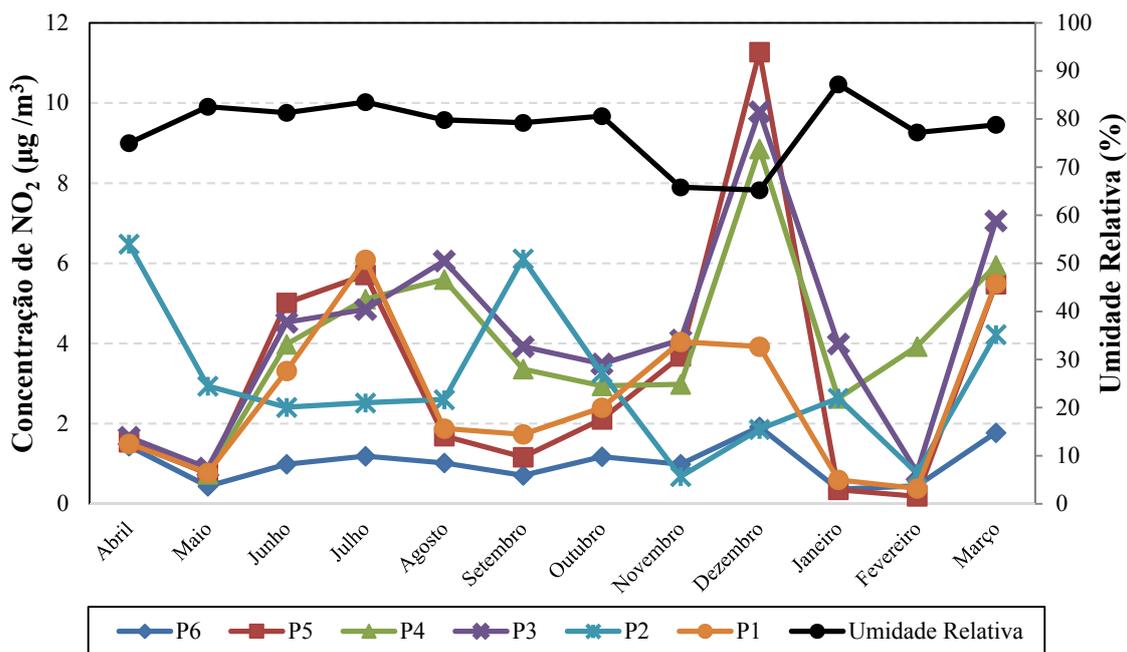
Figura29: Concentração de NO₂ e a influência da temperatura



Fonte: Autor (2015)

Pode-se observar uma tendência de menores valores do poluente como nos meses de abril/14 e novembro/14 para as maiores temperaturas 26,8 °C e 30,8 °C consecutivamente. Segundo Godisch (2004), a alta temperatura pode favorecer as reações fotoquímicas de transformação do dióxido de nitrogênio oriundo das emissões veiculares em ozônio (GODISH, 2004).

A Figura 30 mostra o gráfico da concentração média de NO₂ encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a umidade relativa. Aparentemente não se observou relação entre a concentração monitorada e a umidade relativa.

Figura 30: Concentração de NO₂ e a influência da umidade relativa

Fonte: Autor (2014)

Pode-se observar que a umidade relativa não teve influência para os valores de NO₂ encontrados. Este gás pode participar na atmosfera de uma série de reações fotoquímicas, por ex., na formação do “smog” fotoquímico, que reduz a visibilidade, pode também reagir com a umidade do ar formando o ácido nítrico, contribuindo assim para a formação de chuva ácida, porém as concentrações encontradas atualmente não favorecem tais ocorrências. Segundo Who (1997), o NO₂ e seus produtos formados, como o ácido nítrico com a presença da umidade do ar, constituem um gás agressivo ao trato respiratório e a presença no ambiente está relacionada a casos de infecções respiratórias.

4.2.2 Resultados do Monitoramento Para o Poluente Ozônio – O₃

a) Análise Global

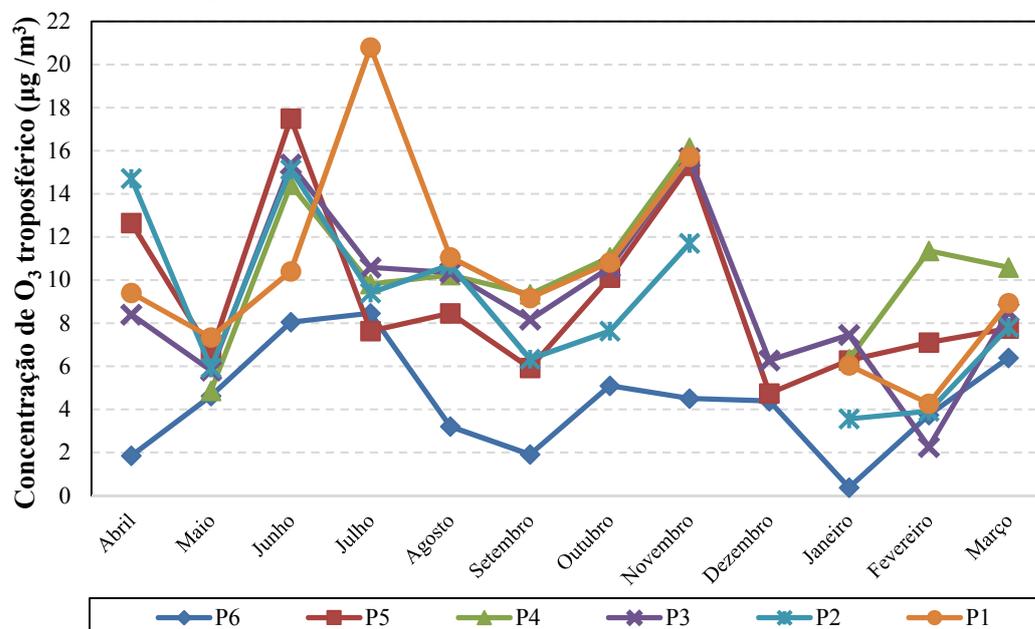
O Quadro 7, assim como na Figura 31, encontram-se os resultados das concentração média de O₃ encontrada durante o período da pesquisa para todos os pontos monitorados. Nos mês de abril/14, não foi encontrado o amostrador junto ao ponto de amostragem.

Para análise dos resultados foi desconsiderado o resultado dos pontos P1, P2 e P4, para o mês de dezembro/14, por se tratar de resultados negativos, atípicos e que possivelmente refletiu um erro analítico.

Quadro 7: Concentração do O₃ ocorrida durante o monitoramento

VALORES ENCONTRADOS PARA O POLUENTE O ₃ /PONTO						
MES	P1(µg/m ³)	P2(µg/m ³)	P3(µg/m ³)	P4(µg/m ³)	P5(µg/m ³)	P6(µg/m ³)
Abril	9,40	14,72	8,40	-	12,65	1,85
Maio	7,34	5,92	5,80	4,86	6,63	4,62
Junho	10,41	15,13	15,37	14,25	17,50	8,04
Julho	20,80	9,40	10,58	9,82	7,63	8,46
Agosto	11,06	12,70	10,35	10,23	8,46	3,20
Setembro	9,17	6,33	8,16	9,34	5,92	1,90
Outubro	10,82	7,63	10,58	11,06	10,11	5,09
Novembro	15,72	11,7	10,66	16,13	15,31	4,50
Dezembro	-	-	6,27	-	4,74	4,39
Janeiro	6,04	3,56	7,45	6,33	6,27	0,37
Fevereiro	4,27	3,91	2,26	11,35	7,10	3,74
Março	8,93	7,81	8,52	10,58	7,75	6,39

Fonte: Autor (2015)

Figura 31: Concentração do O₃ ocorrida durante o monitoramento

Fonte: Autor (2015)

O ponto P5 (Bourbon) e o P1 (IE) em geral foram os pontos que apresentaram as maiores concentrações de ozônio, principalmente nos meses de junho/14 e novembro/14,

certamente em razão destes pontos estarem localizados onde o fluxo de veículos é intenso durante o ano todo.

O mês de fevereiro/15 apresentou os menores valores de concentração para o poluente O_3 na maioria dos pontos, fato que pode ser explicado devido à velocidade do vento neste mês ter sido alta, 9,2 km/h, facilitando a dispersão do poluente.

A formação do ozônio troposférico não teve relação com os demais fatores meteorológicos, pois percebe-se que a umidade relativa média teve os valores próximos ou acima de 80% no período de monitoramento, houve grande incidência de chuva na maioria das semanas monitoradas e a temperaturas manteve-se em média nos 20°C.

Nota-se que nos meses de maio/14, janeiro/15 e fevereiro/15 os valores de ozônio estão em menor concentração para todos os pontos. Pode também ser observada uma certa estabilidade nos meses agosto/14, setembro/14 e outubro/14 e um pico no mês de Junho/14 apresentado pelo P1, ponto de maior fluxo de veículos.

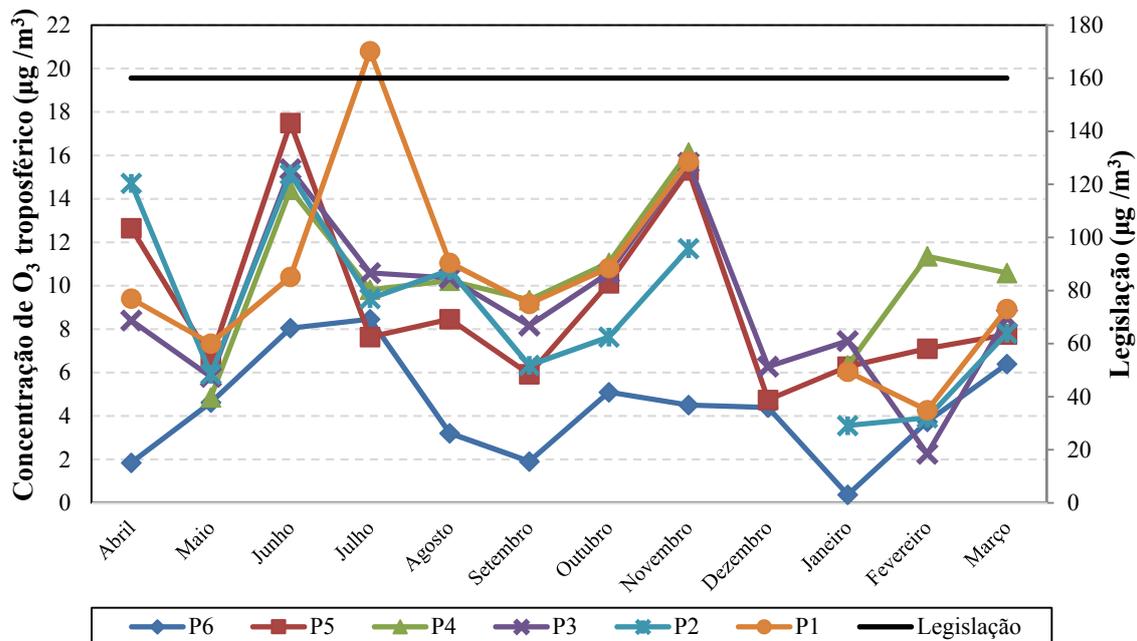
Bucco (2010) em seu estudo encontrou maior concentração média, no mês de novembro/09 com 34,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando com Campos et al. (2010) que realizou a sua pesquisa em área urbana de Salvador e de Curitiba monitorando O_3 com amostradores passivos, os valores estiveram na faixa de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, os quais estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Comparando os valores encontrados nesta pesquisa com os autores, há uma variação um pouco maior entre o mínimo e máximo de 0,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 20,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

O ozônio é um poluente secundário originado a partir de reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera, através de reações iniciadas na presença da luz solar e alta temperatura. É dependente da presença de emissões primárias de NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) (Lyra 2010), podendo, portanto, este ser o fato que explica os maiores valores de O_3 , para os pontos P1 e P5, pois são pontos que apresentam maior presença da luz solar, de acordo com dados fornecidos pela EMBRAPA (2015).

b) Comparação com a Legislação

Na Figura 32 estão representados os valores encontrados para o poluente O₃ durante o período do monitoramento e a comparação com a legislação.

Figura 32: Comparação dos valores encontrados de O₃ com a legislação



Fonte: Autor (2015)

O valor máximo encontrado para O₃ foi de 20,80 µg /m³. Esta concentração encontrada mostra que não houve violação dos limites primário e secundário da qualidade do ar, estabelecido pela legislação brasileira vigente, resolução CONAMA 003/90 (BRASIL, 1990), a qual fixa limite de concentração média para 1 hora de 160 µg /m³ que não deve ser exercida mais de uma vez por ano.

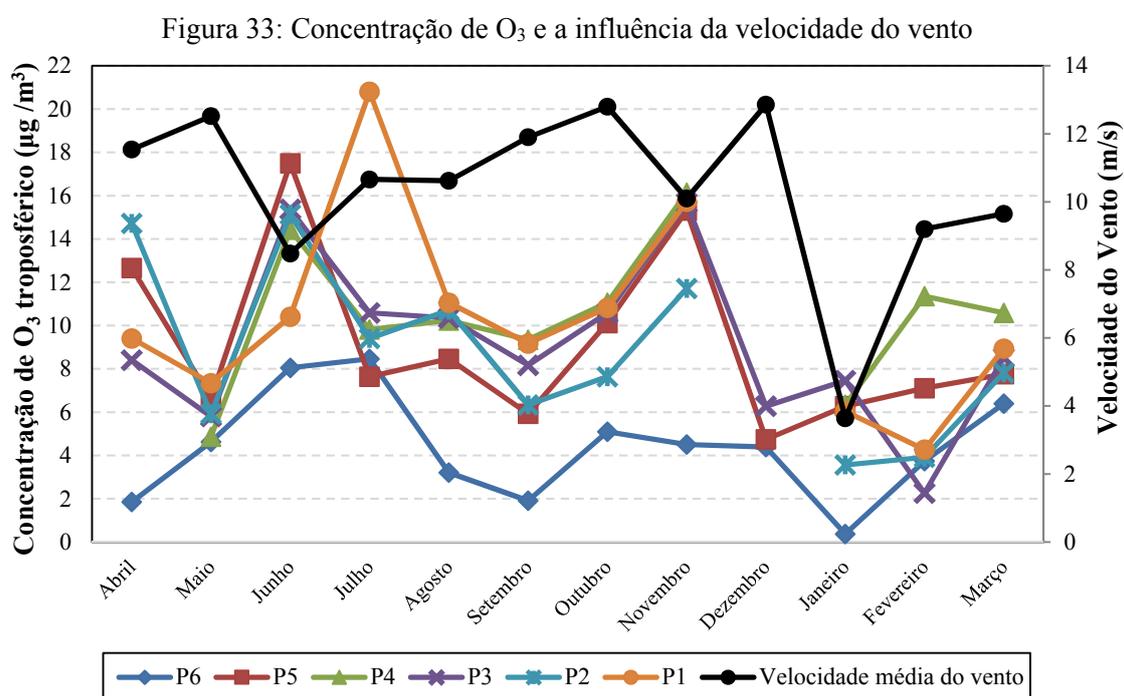
Os valores de concentração do poluente O₃ encontrados estão classificados como sendo de qualidade “Boa” conforme o índice de qualidade do ar – IQA, utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010), que padroniza a variação de 0 – 50 µg /m³ para esta classe.

c) Verificação com a Meteorologia

Analisando as reações de formação do ozônio troposférico pode-se verificar que a radiação solar impulsiona a formação, através da fotoativação de algumas das mais importantes reações envolvendo ozônio e, portanto, se espera que os resultados dependam

da atividade do fluxo solar. Contudo, a intensidade da luz solar é determinada por diversos fatores como latitude, data, hora e condições atmosféricas como a presença de nuvens e poluição. Todavia, é importante ressaltar que o efeito da incidência da radiação solar não é linear, ou seja, tanto a radiação pode contribuir para a formação quanto para o consumo de ozônio. Sendo assim, o acúmulo de O_3 na troposfera é determinado, além da intensidade da radiação, pela disponibilidade de seus precursores como NO_x e hidrocarbonetos (Dallarosa, 2005).

A Figura 33 mostra o gráfico da concentração média de O_3 encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a velocidade do vento.



Fonte: Autor (2015)

Analisando-se os meses de maior intensidade na velocidade do vento como é o caso dos meses de outubro/14, dezembro/14 e maio/14, com valores de 12,8 km/h, 12,8 km/h e 12,5 km/h, respectivamente, verifica-se que estes meses também são os que apresentam menor concentração do poluente durante o período de monitoramento para todos os pontos. Isso mostra que há uma relação com a velocidade do vento, tendo influência na formação do poluente O_3 , pois provoca dissipação das partículas e poluentes resultantes da emissão gerada pelos veículos. Isso é corroborado por Assunção (2002) que menciona que a dispersão de poluentes na atmosfera é condicionada por alguns fatores meteorológicos, tais como: a velocidade e direção dos ventos, a intensidade da

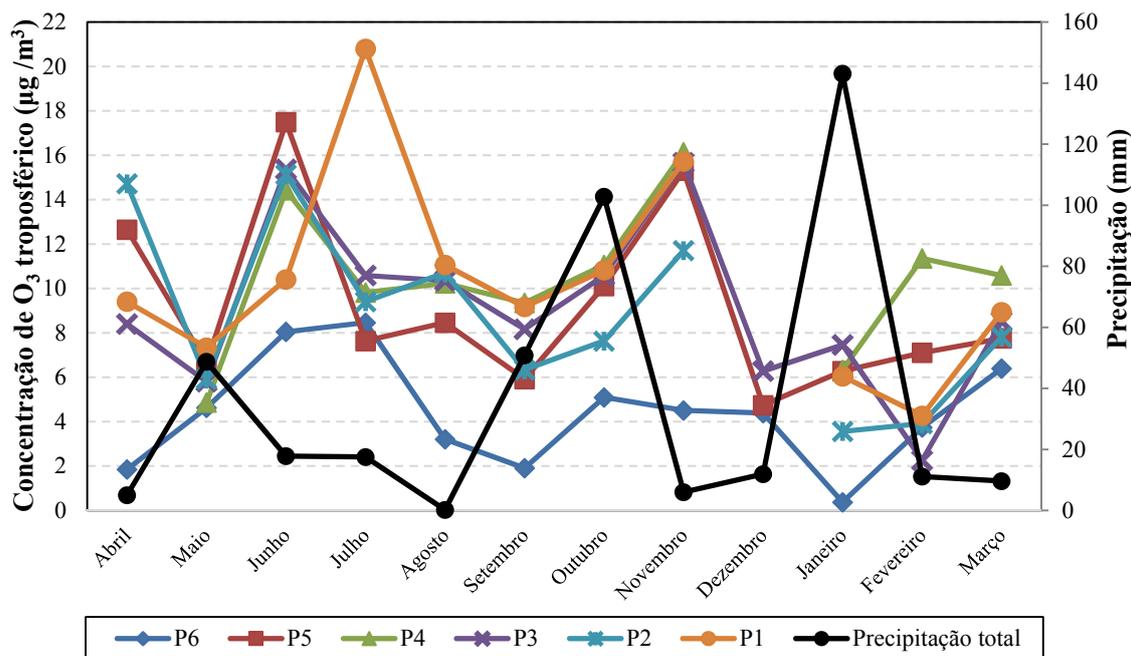
radiação solar, a temperatura, entre outros.

Assim como para o poluente NO₂, também pode-se observar que para os meses de julho/14, agosto/14, setembro/14 e outubro/14 houve uma tendência da influencia da velocidade do vento na dispersão dos poluentes, uma vez que a velocidade do vento vai aumentando de julho (10,66 km/h) até outubro (12,8 km/h) fazendo com que a concentração do poluente nos pontos seja diminuída. Esse comportamento está relacionado com o que menciona Oliveira (1998), que a concentração de um determinado poluente depende da quantidade emitida em um determinado volume e do seu grau de ventilação ou dispersão do ambiente, corroborando com Chu (1995), que comentou que ventos fracos, mas constantes são fatores importantes no transporte, mistura e acúmulo de poluentes na atmosfera, pois conforme demonstrado de Junho/14 podem provocar aumento da concentração dos poluentes.

Além disso, a fraca intensidade dos ventos permite maior tempo de interação e mistura entre NO_x e hidrocarbonetos, favorecendo a formação de picos de concentração de O₃. Estes dados estão de acordo com Hubbard e Cobourn (1999) que indicam a influência de ventos fracos (< 2,7 m/s) para a obtenção de altas concentrações de ozônio na atmosfera.

A Figura 34 mostra o gráfico da concentração média de O₃ encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a precipitação.

Figura 34: Concentração de O₃ e a influência da precipitação



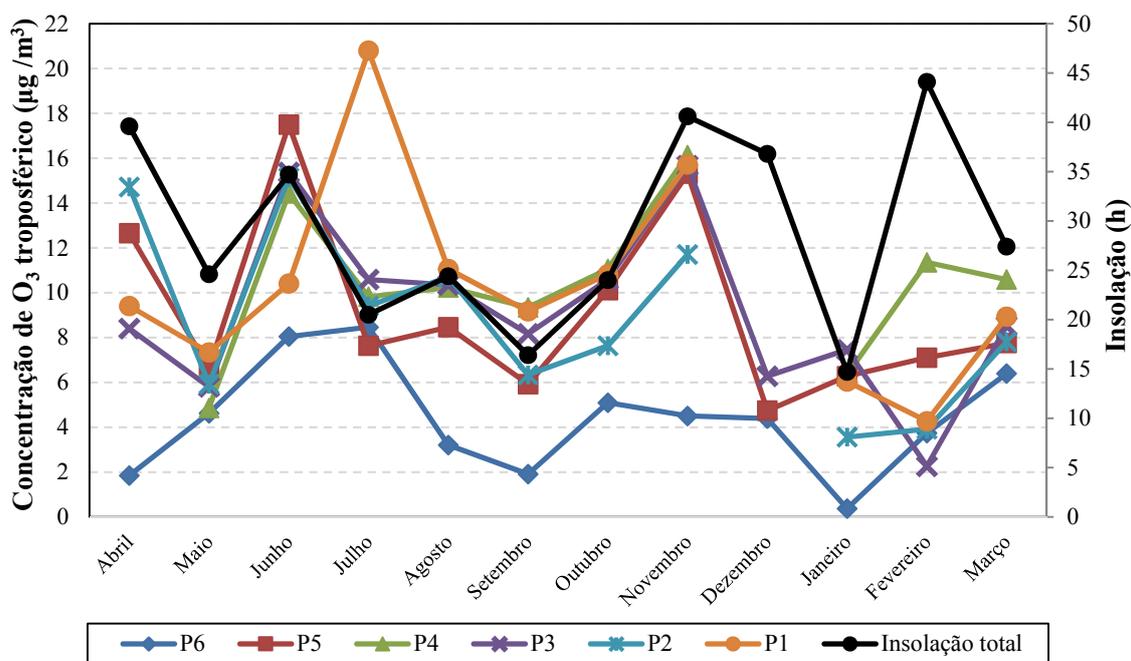
Fonte: Autor (2015)

Percebe-se uma tendência geral para maiores valores de O_3 nos meses em que a precipitação tem menor ocorrência, como é o caso dos meses abril/14, agosto/14 e novembro/14. Estes meses apresentaram acúmulo de 5 mm, 0,2 mm e 6 mm, respectivamente na semana do monitoramento.

Ao contrário disso, no mês de janeiro/15, a semana de monitoramento foi bastante chuvosa, resultando no maior acúmulo de precipitação do período de monitoramento, 143,1 mm e, portanto, como era esperado, pode-se observar que houve neste mês, baixa formação de O_3 , pois de acordo com Williamson (1973), as condições de ventos ou precipitações de chuva, como neste caso, auxiliam na dispersão dos poluentes.

A Figura 35 mostra o gráfico da concentração média de O_3 encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a insolação.

Figura 35: Concentração de O_3 e a influência da insolação



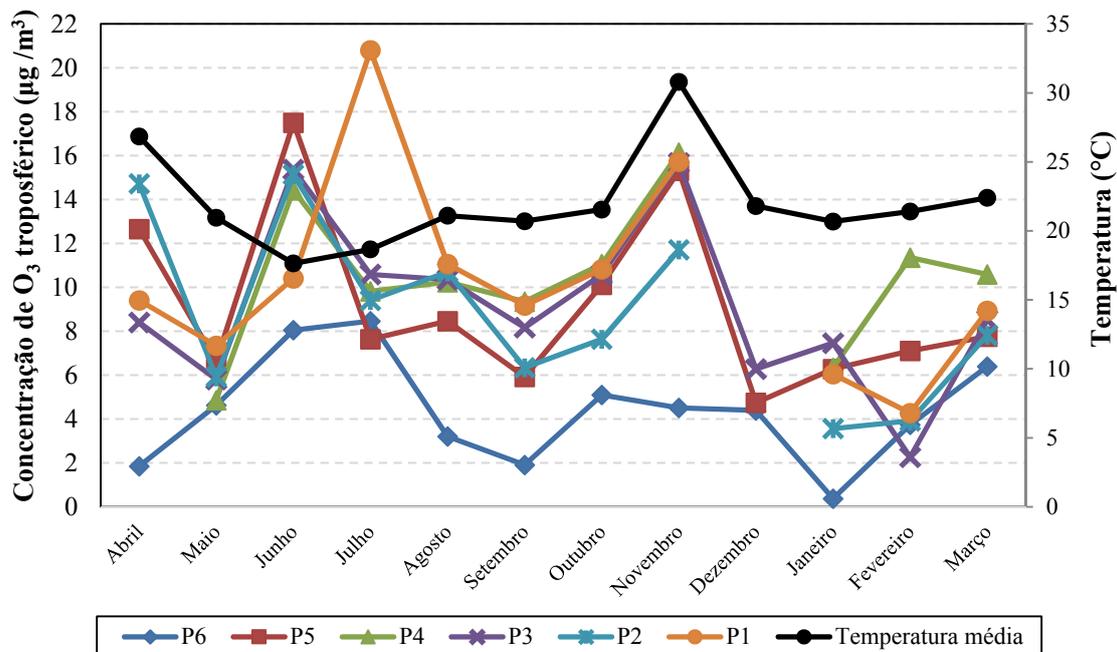
Fonte: Autor (2015)

Observa-se que nos meses de abril/14, novembro/14 e junho/14, com valores de 39,6 horas, 40,6 horas e 34,7 horas de insolação, obtiveram os maiores valores de formação de ozônio. Esse fato pode ser explicado pois, radiação solar também tem influência na poluição, principalmente por ser um dos agentes formadores de ozônio próximo do solo, segundo Stern (1968), pois o O_3 pode ser formado por reações químicas envolvendo os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, na presença de luz solar, próximo

da superfície da Terra. As reações químicas envolvendo a luz solar são chamadas de reações fotoquímicas.

A Figura 36 mostra o gráfico da concentração média de O₃ encontrada durante o período de monitoramento e sua relação com a temperatura.

Figura 36: Concentração de O₃ e a influência da temperatura

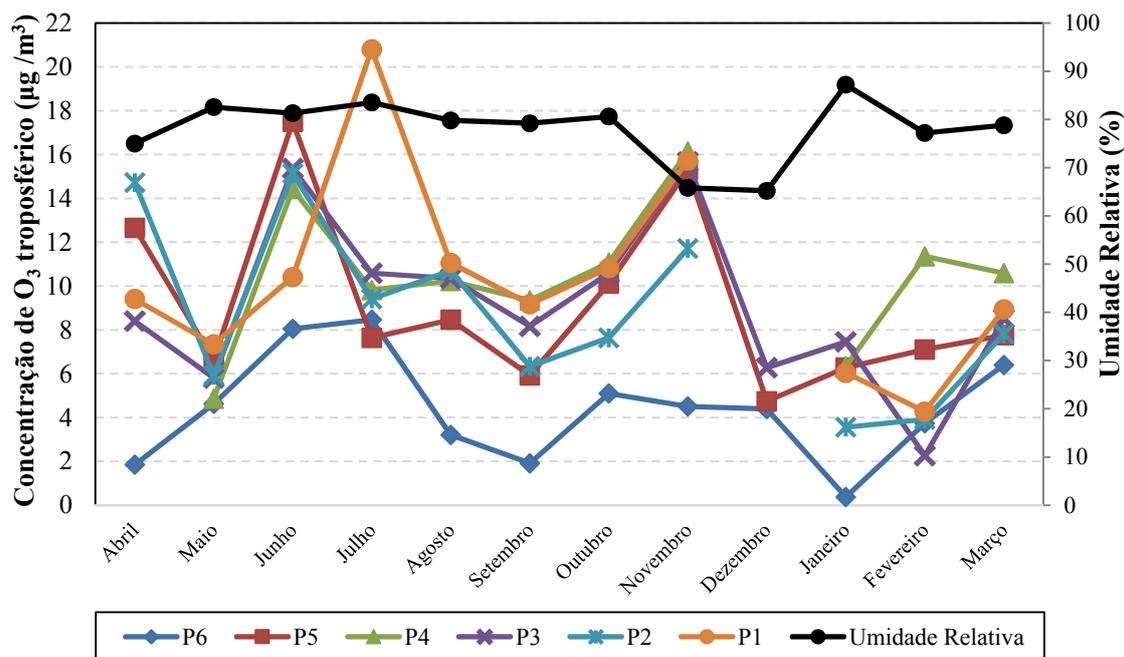


Fonte: Autor (2015)

A ocorrência do O₃ está ligada além de outros fatores, a altas temperaturas. Isso pode ser observado na Figura 35, em que houve a maior ocorrência de O₃ no mês Novembro/14, sendo que mesmo mês ocorreu a maior temperatura, 30,8°C. Maia e Oliveira (1998), observaram que raramente ocorre formação de ozônio em temperaturas abaixo de 21°C, enquanto que em torno dos 32°C, a probabilidade para a ocorrência, passa a ser de 50%.

A Figura 37 mostra o gráfico da concentração média de O₃ encontrada durante o período de monitoramento e influencia da umidade relativa. Aparentemente não se observou relação entre a concentração monitorada e a umidade relativa.

Figura 37: Concentração de O₃ e a influência da umidade relativa



Fonte: Autor (2015)

4.2.3 Síntese dos Resultados

A tabela 8 sintetiza a tendência dos valores encontrados para os poluente

Tabela 8: Síntese dos resultados encontrados nas comparações poluente x meteorologia

	NO ₂	O ₃
Velocidade do vento	Contribui para a dispersão, reduzindo as concentrações do poluente	Contribui para a dispersão, reduzindo as concentrações do poluente
Nível de precipitação	Tem influência na concentração do poluente, quanto maior a precipitação, menor a concentração	Tem influência na concentração do poluente, quanto maior a precipitação, menor a concentração
Insolação	Quanto maior a incidência de insolação, menor a concentração	Quanto maior a insolação, maior a formação do poluente
Temperatura	Menores valores do poluente para maiores temperaturas	As temperaturas elevadas favorecem a formação do poluente.
Umidade relativa	Não foi observada relação significativa	Não foi observada relação significativa

Fonte: Autor (2015)

4.3 Diretrizes

O uso do meio de transporte é uma das principais causas da poluição atmosférica. Embora não seja fácil estabelecer uma relação de causalidade entre fonte emissora e o local onde se faz sentir a contaminação atmosférica, sobretudo quando se trata de componentes gasosos com tempos de resistência na atmosfera e o fator meteorológico, parece cada vez mais inequívoco a utilização do transporte na busca pela melhoria da qualidade do ar.

O coordenador de Programas de Qualidade do Ar do Ministério do Meio Ambiente, Rudolf de Noronha (ESTADÃO, 2009), ressalta que "até cidades que não têm uma frota tão grande acabam afetadas pela poluição veicular, tanto por causa da mobilidade de pessoas quanto pela ação dos ventos, que carregam os poluentes ao se referir sobre a condição crítica para ozônio não apenas na Grande São Paulo, como ao redor das áreas de São José dos Campos [...] incluindo municípios de pequeno porte".

Apesar dos níveis de poluentes estarem de acordo com a legislação, se fazem necessárias ações de monitoramento da qualidade do ar, uma vez que Passo Fundo é considerada cidade pólo regional, atingindo um conglomerado de 100 cidades, com aproximadamente um milhão de pessoas (IBGE, 2013) e compreendendo várias rotas de passagem, com alto fluxo de veículos.

Além disso, municípios de porte médio como Passo Fundo devem garantir que o desenvolvimento socioeconômico ocorra de forma sustentável e ambientalmente seguro, em harmonia com a preservação ambiental, de forma que os recursos naturais sejam utilizados de maneira racional e renovável, evitando-se a degradação do ambiente buscando controlar e manter o nível desejado dos poluentes atmosférico e impactos indesejados na saúde da população.

As medidas de controle da poluição atmosférica variam bastante de uma região para outra, pois variam as fontes, os tipos e as quantidades de poluentes.

Para que se possa ter níveis sustentáveis e uma vida mais saudável, alguns desafios tanto para o poder público como também pela população da cidade de Passo Fundo, de forma coletiva, principalmente ao se referir em transporte, devem ser encarados:

- uma nova forma de pensar e agir, uma nova abordagem da circulação de veículos e de pessoas, pensar coletivamente,
- alternativas para o deslocamento de pessoas e produtos como a incorporação de outras formas de transporte como ciclovias, deslocamentos de pedestres, boas calçadas, priorizar o transporte coletivo, incentivo do uso de meios não motorizados,

- utilização de vias alternativas, desviando o eixo principal de trânsito – Avenida Brasil;
- reformulação gradual do desenho urbano, reconsiderando-se desde a concentração dos poluentes e o estabelecimento de condições para sua dispersão por meio de medidas específicas, entre outros.

Estas ações vêm ao encontro com o Plano Nacional de Mobilidade Urbana (GUIA GPS, 2013), o qual define princípios para o planejamento da mobilidade:

1. Diminuir a necessidade de viagens motorizadas.
2. Repensar o desenho urbano, planejando o sistema viário como suporte da política de mobilidade.
3. Repensar a circulação de veículos, priorizando os meios não motorizados e de transporte coletivo.
4. Desenvolver o uso desses veículos não motorizados, integrando-os à malha de transporte coletivo.
5. Reconhecer a importância do deslocamento dos pedestres.
6. Reduzir os impactos ambientais do transporte urbano que gere poluições sonora, atmosférica e de resíduos.
7. Propiciar mobilidade às pessoas com deficiência e restrição de movimentos.
8. Priorizar o transporte público coletivo.
9. Promover a integração da rede pública de transporte, considerando a demanda e as características da cidade.
10. Estruturar a gestão local, com o fortalecimento do papel regulador dos órgãos gestores do trânsito.

No entanto, em razão do contínuo crescimento urbano, do aumento da população e do fluxo de pessoas entre diferentes lugares, devem-se conciliar políticas públicas para solução dos problemas atuais, com um planejamento estratégico de médio e longo prazo. Neste sentido, a gestão da sustentabilidade deve ser ajustada de maneira que corresponda aos desafios de cada localidade.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são feitas as conclusões referentes aos resultados encontrados e recomendações para trabalhos futuros.

A pesquisa desenvolvida utilizou o método de amostragem passiva por difusão, o qual demonstrou ser vantajoso no cumprimento do objetivo de avaliar a qualidade do ar por meio de amostragem passiva. Apesar de não ser possível identificar os momentos de máxima e mínima concentração, o método demonstrou sua fácil aplicabilidade na obtenção das concentrações médias diárias.

Foi possível observar o efeito das emissões veiculares através das concentrações de dióxido de nitrogênio e ozônio emitidos em decorrência da queima de combustível fóssil, podendo associar ou não à produção de ozônio através de fenômenos fotoquímicos e aos fatores meteorológicos. Por conta deste fatores, observou-se a relação direta entre a concentração dos poluentes, principalmente nos meses de abril/14 e novembro/14, em que maiores concentrações de dióxido de nitrogênio possivelmente desencadearam a formação de Ozônio, por processos fotoquímicos. Nesse sentido, a concentração deste poluente foi favorecida pelas altas temperaturas, conforme observado nos meses de abril/14 e novembro/14 e devido a existência de insolação nos meses de abril/14, novembro/14 e fevereiro/15.

Com relação à velocidade do vento e dispersão, para os dois poluentes observou-se que as maiores velocidades contribuíram para a dispersão e redução das concentrações, como nos meses de maio/14, outubro/14 e dezembro/14. A precipitação também influenciou na concentração dos poluentes, como nos meses de abril/14, agosto/14 e janeiro/15, em que houveram maiores volumes precipitados e reduções nas concentrações monitoradas. A umidade relativa do ar não apresentou influência significativa na concentração ou formação dos poluentes.

No que se refere à análise global, os dados revelam que os pontos monitorados que apresentaram maiores concentrações de NO₂ foram os pontos P3 (Banco do Brasil) e P4 (Praça Tochetto) e para o poluente O₃ foram os pontos P1 (IE – Instituto Educacional) e P5 (Bourbon). Este fato pode estar relacionado a localização dos pontos, pois são pontos que apresentam maior fluxo e congestionamento, o que confirma a relação direta quanto ao nível de concentração de poluentes estudados.

Com relação a legislação, os valores de concentração dos poluentes NO₂ e O₃ encontrados, atendem ao estabelecido no que diz a resolução vigente e encontram-se classificados como qualidade “Boa”, conforme o índice de qualidade do ar – IQA, estabelecido pela CETESB.

Apesar dos níveis de poluentes estarem de acordo com a legislação, se fazem necessárias ações de monitoramento da qualidade do ar, uma vez que Passo Fundo é

considerada cidade pólo regional, atingindo um conglomerado de 100 cidades, com aproximadamente um milhão de pessoas e compreendendo várias rotas de passagem, com alto fluxo de veículos.

Na busca de políticas públicas para o enfrentamento dos problemas relativos ao deslocamento humano, é preciso se constituir uma rede multisetorial integrada para a busca e construção de soluções, criando sinergias entre município, estado e país e entre o público e o privado para que se possa alcançar níveis mais sustentáveis e uma vida mais saudável.

É preciso que haja engajamento comunitário, modificação das atitudes pessoais e sociais, uma nova visão sobre a cidade para os planejadores e gestores urbanos, portanto o desafio das cidades brasileiras para enfrentar o problema da mobilidade urbana para cidades mais sustentáveis, é grande. Além disso, municípios de porte médio como Passo Fundo devem garantir que o desenvolvimento socioeconômico ocorra de forma sustentável e ambientalmente seguro, buscando controlar e manter o nível desejado dos poluentes e evitando-se a degradação do ambiente atmosférico e impactos indesejados na saúde da população.

O meio ambiente é um bem coletivo e cuidar para que a espécie humana continue a evoluir depende não só da aplicação das leis, mas também da consciência de cada um.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar estudo com modelo de amostrador ativo para criar correlações na determinação dos poluentes.

- Monitorar outros poluentes emitidos pelos veículos que causam danos ao ambiente como Material particulado, SO₂, COV, CO e CO₂,
- Estudar a influência da formação dos poluentes dióxido de nitrogênio e ozônio sobre a saúde humana, fauna e a flora exposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. Living in the Environment. Disponível em <<http://qualar.apambiente.pt/>> Acesso em 01 nov. 2013.

ANDERSON, J. O.; THUNDIUIL, J. G. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, Issue 2, p 166-175, jun 2012.

ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L.; BRUSSEAU, M. **Environmental Monitoring and Characterization**, San Diego: Elsevier, 2004.

ASSUNÇÃO, J. V. de,; MALHEIROS, T.F.; Poluição atmosférica. In: Philippi Jr. A, Pelicioni, MCF (ed.). **Educação ambiental e sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2004. Pp 135-174.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BIERINGER, P.E.; LONGMORE, S.; BIEBERBACH, G.; RODRIGUEZ, L. M.; COPELAND, J.; HANNAN, J. A method for targeting air samplers for facility monitoring in an urban environment. **Atmospheric Environment**. 2013.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. M.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana**. São Paulo, n.51, p. 58-71, setembro/novembro 2001.

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

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 003, de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, de 22/08/90, p. 15937-15939, Seção I.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 018, de 06 de maio de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, de 17/06/86, p. 8792-8795, Seção I.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 005, de 05 de agosto de 1993. **Diário Oficial da União**, Brasília, de 31/08/93, p. 12996-12998, Seção I.

BROWN, R. H.; The Use of Diffusive Samplers to Assess Local Air Pollution Problems, **Pure & Appl. Chem.**, 67:1423-1425, 1995.

BUCCO, M. V. S. **Construção e testes de validação de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio e ozônio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial/Meio Ambiente Urbano e Industrial), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CAMPOS, V. P.; SANTOS, L. P.; TAVARES, T. M.; **Desenvolvimento de Amostrador Passivo Para Monitoração Ambiental de SO₂**. Resumo QA-81X, ENQA, Santa Maria, Setembro, 1999.

CAMPOS, V. P.; SANTOS, L. P.; TAVARES, T. M.; **Monitoramento Atmosférico Passivo de SO₂, NO₂ e O₃ em Áreas Urbanas e de Influência Industrial como Prática de Química Ambiental para Alunos de Graduação**. **Quim. Nova**, Vol. 29, No. 4, 872-875, 2006.

CAO, X. L.; HEWITT, C.N.; Application of Passive Simplers to the Monitoring of Low

Concentration Organic Vapours in Indoor and Ambient Air. A Review, Environ. Technol., 12:1055 – 1062, 1991.

CARNEIRO, G. **Aplicação da Geoestatística usando a predição espacial de monóxido de carbono pelo tráfego urbano**. 157 f. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CASTRO, H. A.; CUNHA, M. F.; MENDONÇA, G. A. S.; JUNGER, W. L.; CUNHACRUZ, J.; LEON, A. P. **Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares**, Rio de Janeiro, RJ. Rev Saúde Pública; v. 43, n. 1, p. 26-34. 2009.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissão Veicular**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 12 junho 2014.

CHU, S-H. Meteorological considerations in siting photochemical pollutant monitors. **Atmospheric Environment**, v.29, n. 21, p. 2905-2913, 1995.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO₂, **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n.3, p. 406-411, 2002.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. **Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico**. Química Nova, São Paulo, v. 31, n.5, p. 1180-1189, 2008.

DALLAROSA, B. J., **Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em Área de Atividade de Processamento de Carvão Aplicando Modelos Numéricos**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (139 p.) Abril, 2005.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. DETRAN. **Frota em Circulação no RS**. Disponível em:<<http://www.detran.rs.gov.br>>. Acesso em 10 janeiro 2015.

EEA, European Environment Agency, **Atmospheric Emission Inventory** <<http://www.eea.europa.eu/publications>> /EMEP CORINAIR Guidebook, 3 ed, September, 2012. Acesso em 10 junho 2014.

ESTADAO. **60% dos paulistas vivem em área saturada de poluição veicular**, por Fernanda Aranda. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20090818/not_imp420427,0.php>. Acesso em: 19 agosto 12.

FUPF. **Balanco Social 2010**. Disponível em:<http://www.upf.br/fupf/download/balanco_social_2010/fscommand/UPFBalancoSocial.pdf>. Acesso em: 15 out. 2012.

FERNANDES, J. S.; CARVALHO, A. M.; CAMPOS, J. F.; COSTA, O. L.; FILHO, G.

B. Poluição atmosférica e feitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. Revista Médica Minas Gerais, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010.

FINLAYSON-Pitts, B. J. F.; Pitts Jr., J. N.; Atmospheric Chemistry – **Fundamentals and Experimental Techniques**, John Wiley & Sons: New York, 1986.

FRONDIZI, C. A.; KALYVA, M. **Monitoramento da qualidade do ar – teoria e prática.** Rio de Janeiro: e-papers, p. 276. 2008.

GODISH, T. **Air quality.** 4ª ed. Florida: Lewis Publishers, 2004.

GORDON, C. S.; LOWE, J. T.; **Carbon monoxide detector**, U.S. Patent 1, 644, 014, 1927.

GUIA, GPS Gestão Pública Sustentável, **Programa Cidades Sustentáveis.** Disponível em: <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/>>. Acesso em 04 abril 15.

HABERMANN, M.; MEDEIROS, A. P. P.; GOUVEIA, N. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. **Revista Brasileira de Epidemiologia.** São Paulo, v. 14, n. 1, p. 120-130, Mar. 2011.

HAFKENSCHIED, T. L.; MOWRER, J., Intercomparison of Tube-type Diffusive Sampling for the Determination of Volatile Hydrocarbons in Ambient Air, *Analyst*, 121(9): 1249-1252, 1996.

HOLGATE, S.T., SAMET, J, M., KOREN HS, Maynard RL (1999) **Air pollution and health.** Academic, London.

HUBBARD, M.C., COBOURN, W.G.. An enhanced ozone forecasting model using air mass trajectory analysis. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 4663-4674, 1999.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Cidades, <<http://cidades.ibge.gov>>, Acesso em 21 dezembro 2013.

KAWANO, M. **Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos.** Santa Catarina – SC, 2003. Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia Ambiental Universidade Federal de Santa Catarina – SC).

KUCERA, V.; FITZ, S. Direct and indirect air pollution effects on materials including cultural monuments. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 85, n. 1, p. 153-165, 1995.

LISBOA, H. M. Efeitos causados pela poluição atmosférica. In: LISBOA, H. M. **Controle da poluição atmosférica.** Montreal: ENS/UFSC, 2007, p. 2-33.

LISBOA, H. M.; KAWANO, M. Monitoramento de Poluentes Atmosféricos. In: LISBOA, H. M. **Controle da poluição atmosférica.** Montreal: ENS/UFSC, 2007, p. 2-70.

LOO, B. P. Y. Role of Stated Preference Methods in Planning for Sustainable Urban Transportation: State of Practice and Future Prospects. **Journal of Urban Planning and Development**, Vol. 128, No. 4, December 1, 2002.

MAIA, L. F. P. G.; OLIVEIRA, V. **Avaliação das concentrações de ozônio na cidade do Rio de Janeiro empregando o método dos tubos passivos**. Estudo de Dimensionamento da Rede de Qualidade do Ar da. Cidade do Rio de Janeiro – Parte II, 1999.

MARTINS, D. **O comportamento dos ventos na região de Botucatu, SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola / CEPIAC, 1993. 1413 p.

MASSMAN, W. J. A review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO, and NO₂ in air, O₂ and N₂ near STP. **Atmospheric Environment**, v. 32, n.2, p. 1111-1127, 1998.

MEIRA L.; DUCATI, J. R.; TEIXEIRA, E. C. **Avaliação do Impacto da Resolução Espacial de Modelos Digitais de Elevação Sobre a Estimativa de Formação de Ozônio Superficial Usando Models-3**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.4, p 390-398, 2009.

MENDES, F. E. **Avaliação de programa de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Registros de Emissão e Transferências de Poluentes –RETP. Manual descritivo. v.7, p. 1-72, Mar 2004.

MIRANDA, T., A. **Poluição atmosférica: Causas, consequências e responsabilidades**. Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. 2008.

NATAN, A., COSTA, C. , VIEIRA, J. C. , GRISOLIA, C., J., NUNES, K.; **Sistema de Gestão Ambiental para o Controle da Poluição Atmosférica da Universidade Federal de Alfenas**. UNIFAL-MG. ALFENAS, 2013.

NOBREGA, L. A. **Modelagem da Influência de Poluentes Atmosféricos Veiculares e Fatores Meteorológicos em Afecções Respiratórias**, UFPB. João Pessoa, 2013.

OLIVEIRA, J.L.F., **Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

OLIVEIRA, J. L. F. **Poluição do ar e o setor de transportes rodoviários na cidade do Rio de Janeiro**. X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VII Congresso da Flismet, 1998.

ONURSAL, B., GAUTAM. S.P. **Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American**. World Bank Technical Paper, 1997.

PALMES, E. D.; GUNNISON, A. F.; **Personal Monitoring Device for Gaseous Contaminantes**, An. Ind. Hyg. Assoc. J., 34:78 – 81, 1973.

PINTO, P. M. G. C. **Análise das Emissões Veiculares em Regiões Urbanas e Metodologia para Quantificação de poluentes**. 2005. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciência, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PIRES, D. O. **Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro 2005 VI**, 188 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Planejamento Energético, 2005). Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2005.

PMPF. Prefeitura Municipal de Passo Fundo. **Mapa do Perímetro Urbano**. Disponível em: <<http://pmpf.rs.gov.br>> Acesso em 12 dez. 2014.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROSSETE, A. L. R. M. et al. Determinação de enxofre em amostras vegetais por oxidação via seca em meio alcalino com detecção espectrofotométrica. **Química Nova**, v. 34, n.2, p. 341-343, 2011.

RODRIGUES, F.; FARIA, C.A.; MAGALHÃES, M. D. C. **Assessment of Noise Levels in Terminals at Bus Stations**. In: Anais do congresso de engenharia de controle de ruído – Internoise. Rio de Janeiro, Brazil, 2005a.

RODRIGUES, F. **Analysis of noise in urban bus station: development of models of prediction**. 136 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2006.

SALTZMAN, B. E. Colorimetric microdetermination of nitrogen dioxide in the atmosphere. **Analytical Chemistry**, v. 26, n. 12, p. 1949-1955, 1954.

SCMP. SOUTH CHINA MORNING POST. **Security fears china surveillance cameras are blinded thick smog?** Disponível em <<http://www.scmp.com/new>>. Acesso em 06 nov. 2013.

SHER, E. **Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines**. London: Elsevier Press, Mar 1998.

SILVA, G. C.; GOLDNER, L. G., “**Trafego e meio ambiente: Avaliacao dos niveis de monoxido de carbono e ruido nas areas urbanas de florianopolis**”. III Encontro Ibero-Americano de Unidades de Ambientais do Setor de Transportes-1998.

STERN, A. C. et al. **Fundamentals of air pollution**. Academic Press, San Diego, California, 1984.

STERN, A. C. (ed.). **Air Pollution**, 2 ed., New York, Academic Press, NY, 1968.

TAO, S. et al. (2008). A directional passive air sampler for monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air mass. **Environmental Pollution**, Vol. 156, pp. 435-441.

UNITED NATIONS. Development. Disponível em < <http://www.un.org/gsp/>> Acesso em 12 junho 2014.

VALADARES, V. M., **Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte – MG**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina.

VALLERO, D. **Fundamentals of air pollution**, 4^a ed, San Diego: Elsevier, 1973.

VIEIRA, L. C.; KORF, E. P.; BRANDLI, L. L.; Air Quality Monitoring Using Passive Samplers in a Brazilian University. In; 16th Conference of the European Roundtable Consumption and Production (ERSCP) & 7th Conference of the Environmental Management for Sustainable Universities (EMSU), 2013, Intanbul – Turquia. Conference ERSCP-EMSU, 2013.

WILLS, W. **O aumento da influência energética nos veículos leves e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa – Cenário brasileiro entre 2000 e 2030**. 2008. f.155. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YATERA, K.; HSIEH, J.; HOGG, J. C.; TRANFIELD, E.; SUZUKI, H.; SHIH, C. H.; BEHZAD, A. R.; VICENT, R.; VAN EEDEN, S. F. **Particulate Matter Air Pollution Exposure Promotes Recruitment of Monocytes Into Atherosclerotic Plaques**. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. v. 294, n. 2, p.944-53. Epub Dec 2007. Feb 2008.

WHO – World Health Organization; **Environmental Health Criteria 188. Nitrogen Oxides**, Geneva, 1997.

YANAGI, Y. **Estudo da influência do material particulado na incidência e mortalidade por câncer na cidade de São Paulo**. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Programa de Pós-graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

WILLIAMSON, S. J. **Fundamentals of Air Pollution**, Addison-Wesley Pub.Co., Reading, MA, 1973.

WOLTERBEEK, B. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. **Environmental Pollution**, v. 120, p. 11-21, 2002.