

UNIVERSIDADE DE UBERABA
PRÓ-REITORA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA -
MESTRADO PROFISSIONAL

ISAAC FRANCISCO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO
NA REGIÃO CENTRAL DE UBERLÂNDIA**

UBERABA, MG

2018

ISAAC FRANCISCO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO
NA REGIÃO CENTRAL DE UBERLÂNDIA**

Dissertação de mestrado profissional apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade de Uberaba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Química.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Euclides Antônio
Pereira Lima

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. David Maikel
Fernandes

Uberaba

2018

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

Silva, Isaac Francisco da.

S38d Determinação da concentração de material particulado na região central de Uberlândia / Isaac Francisco da Silva. – Uberaba, 2018.

52 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Euclides Antônio Pereira Lima.

Coorientador: Prof. Dr. David Maikel Fernandes.

1. Ar – Poluição. 2. Poluição. 3. Ar – Qualidade. 4. Resíduos. I. Lima, Euclides Antônio Pereira. II. Fernandes, David Maikel. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 363.7392

ISAAC FRANCISCO DA SILVA

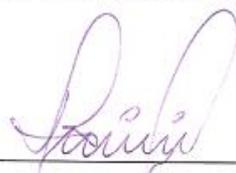
**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO
NA REGIÃO CENTRAL DE UBERLÂNDIA.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

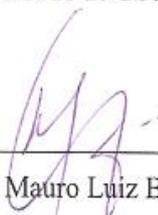
Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovada em: 03/03/2018.

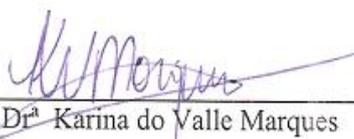
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. David Maikel Fernandes – Co-Orientador
Universidade de Uberaba



Prof. Dr. Mauro Luiz Begnini
Universidade de Uberaba



Prof^a Dr^a Karina do Valle Marques
Universidade Federal de Uberlândia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares, em especial a minha esposa Catarina, meus filhos João Victor e Luís Henrique pela dedicação e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, PPGEQ, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Química da Universidade de Uberaba pelo aprendizado e momentos de alegria.

A Universidade Federal de Uberlândia, pelo apoio que me foi concedido para a realização deste Mestrado.

Ao Professor Dr Euclides Antônio Pereira de Lima e Professor Dr David Maikel Fernandes por seu carinho, atenção, cuidado e dedicada orientação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

O crescimento demográfico no município de Uberlândia segue um ritmo acelerado com média de 3,5% ao ano, enquanto que a média nacional é de 1,4% ao ano. Sua população conta com aproximadamente 700 mil habitantes, sendo a segunda maior cidade de Minas Gerais em termos populacionais e a trigésima em âmbitos nacionais segundo (IBGE, 2017).

Com o referido crescimento da cidade, surgem alguns problemas, dentre eles a poluição provocada pelos veículos. A frota local conta com 448.922 mil veículos de acordo com pesquisa ministério das cidades, departamento nacional de transito, (DENATRAM, 2017).

A qualidade do ar é determinada pela interação entre as fontes de poluição e a atmosfera e pelas condições meteorológicas locais, que influem na dispersão dos poluentes presentes. As principais variáveis meteorológicas que interagem com a concentração do material particulado da atmosfera são: temperatura, precipitação e umidade relativa do ar (Lima, 2007).

Em estudos recentes, a poluição por material particulado tem sido associada ao agravamento da função pulmonar, ao aumento nos sintomas respiratórios e ao aumento das internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares.

Esse estudo apresenta a interação das condições climáticas com a média da concentração do material particulado atmosférico, no período de 2012 a 2017 na região central da cidade de Uberlândia, observando o limite aceitável da concentração deste material em acordo com a legislação federal, estadual e a organização mundial de saúde e apresentando o resultado da qualidade do ar para o período estudado.

Palavras-chaves: Poluição do ar. MP₁₀. PTS. qualidade do ar.

ABSTRACT

Population growth in Uberlândia is accelerating at an average rate of 3.5% per year, while the national average is 1.4% per year. Its population has approximately 700 thousand inhabitants, being the second largest city of Minas Gerais in population terms and the thirtieth in national scope according (IBGE, 2017).

With the mentioned growth of the city, some problems arise, among them the pollution provoked by the vehicles. The local fleet has 448,922 thousand vehicles according to research ministry of the cities, national department of transit, (DENATRAM, 2017).

Air quality is determined by the interaction between sources of pollution and the atmosphere and by local weather conditions, which influence the dispersion of the pollutants present. The main meteorological variables that interact with the concentration of the particulate material of the atmosphere are: temperature, precipitation and relative air humidity (Lima, 2007).

In recent studies, particulate matter pollution has been associated with worsening lung function, increased respiratory symptoms, and increased hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases.

This study presents the interaction of climatic conditions with the average atmospheric particulate matter concentration in the central region of the city of Uberlândia during the period of 2012 to 2017, observing the acceptable limit of the concentration of this material in accordance with federal, state and local laws. the world health organization and presenting the result of air quality for the period studied.

Keywords: Air pollution. MP₁₀. PTS. air quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 ATMOSFERA TERRESTRE.....	15
3.2 TROPOSFERA	15
3.3 ESTRATOSFERA	15
3.4 POLUENTES	16
3.5 FONTES DE POLUIÇÃO	17
3.6 EMISSÕES VEICULARES	18
3.7 MATERIAL PARTICULADO	19
3.8 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	22
3.8.1 LEGISLAÇÃO FEDERAL	22
3.8.2 LEGISLAÇÃO ESTADUAL.....	26
3.9 IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA	28
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 MATERIAIS E METODOS	32
4.2 AGV PTS	34
4.3 AGV MP₁₀.....	39
4.4 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 DADOS METEOROLÓGICOS.....	41
5.2 PTS.....	44
5.3 MP₁₀	49
5.4 QUALIDADE DO AR	55
6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	58
6.1 CONCLUSÃO.....	58
6.2 PERSPECTIVAS FUTURAS	59
7 REFERÊNCIAS	60

LISTA DE SIGLAS E BREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATSDR: Agency for Toxic substances & Disease Registry

AGV : Amostrador de Grande Volume

BDI: Banco de Dados Integrados de Uberlândia

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DENATRAN: Departamento Nacional de Trânsito

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEB: Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

IDH : Índice de Desenvolvimento Humano

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

MGA: Média Geométrica Anual

MP₁₀ : Material Particulado com diâmetro menor que 10 micrômetros

PPGEQP: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química Profissional

PRONAR: Programa de controle da Qualidade do Ar

PTS: Partículas Totais em Suspensão

SIT: Sistema Integrado de transportes

SPL: Substance Priority List

1 INTRODUÇÃO

A introdução de espécies químicas no meio ambiente, em quantidades superiores a capacidade de absorção do meio, levam ao estabelecimento do fenômeno chamado de poluição, sendo o qual resulta em um desequilíbrio com capacidade de afetar a vida do homem, dos animais, dos vegetais e causar danos aos materiais. Os impactos causados pela poluição devem ser considerados pela quantidade total de poluentes, sua natureza química, suas reatividades, sua distribuição e tempo de permanência no ambiente (Brasil, 2012a;).

A qualidade do ar de centros urbanos tem sido tema de grandes discussões, estudos e pesquisas no mundo inteiro, principalmente por estar relacionada a mudanças climáticas e a saúde da humanidade. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, com o acesso tecnológico a vários grupos de classes sociais ascendentes, principalmente ao crescimento populacional e conseqüente aumento do transporte rodoviário e desenvolvimento de parques industriais, grande quantidade de gases e materiais particulados estão sendo lançados a atmosfera (Cetesb, 2013).

Uma das fontes mais significativas de poluição do ar é o lançamento na atmosfera de material particulado, que se refere a partículas ou gotículas suspensas no ar com dimensões menores que 100 μm , emitidas por fontes antropogênicas e naturais. A fonte antropogênica é obtida através da obtenção de energia utilizando a queima de combustível. O processo de combustão constitui grandes fontes de energia e emissão de espécies químicas para a atmosfera. A fonte natural é obtida através de processos de levantamento e transporte de poeiras (Seinfeld e Pandis, 2006).

Essas fontes são responsáveis pela emissão de uma diversidade de substâncias inorgânicas e orgânicas para a atmosfera, onde tais substâncias encontram seu principal meio de transporte, armazenamento e transformações físicas e químicas. Assim, podemos considerar a atmosfera como um grande reator químico que contém, além de oxigênio, que é um composto altamente reativo, uma variedade de compostos em pequenas concentrações, da quais podem atuar como reagentes ou catalisadores, e ainda a energia solar como fonte de energia (Seinfeld e Pandis, 2006).

O material particulado é classificado por seu tamanho, considerando o diâmetro aerodinâmico médio das partículas. As partículas totais em suspensão (PTS) são

partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem em tamanhos menores que 100 μm (Conama, 1990; Brasil, 2012b).

A legislação brasileira em sua Resolução Conama de Número 003 de 28 de junho de 1990 estabelece os padrões de qualidade do ar para concentrações de PTS. Essa legislação considera os padrões primários e secundários para poluentes, onde as concentrações acima do padrão primário definido, poderão afetar a saúde da população, e as concentrações abaixo do padrão secundário o qual prevê o mínimo efeito adverso a população, fauna, flora, materiais e meio ambiente geral. O monitoramento de material particulado (MP_{10}) e previsto nesta resolução, com padrão de 150 μm para o período de 24 h que não pode ser excedido mais de uma vez ao ano, e para longos períodos a média aritmética anual de $50\mu\text{g.m}^3$.

A presença de elementos químicos em grandes quantidades na composição do material particulado atmosférico é um grande problema para a saúde pública e meio ambiente, pois a ATSDR (Agency for Toxic substances & Disease Registry) dos EUA por meio da SPL (Substance Priority List) inclui 275 substâncias que estão listadas com base em uma combinação da frequência, toxicidade e potencial de exposição humana em locais que representam uma ameaça imediata a saúde humana (Atsdr, 2017).

O estudo foi desenvolvido na microrregião de Uberlândia como mostra a Figura 1, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais, no Sudeste do Brasil. Localiza-se a oeste da capital mineira, distando, desta, cerca de 537 quilômetros. Sua população, era de 669.672 habitantes em 2016, sendo o município mais populoso da região do Triângulo Mineiro e o segundo mais populoso de Minas Gerais, depois da capital, Belo Horizonte. Ocupa uma área de 4,1 mil quilômetros quadrados, sendo que 135,3 quilômetros quadrados estão em perímetro urbano.

Com uma taxa de urbanização da ordem de 97,56 por cento, o município contava, em 2009, com 198 estabelecimentos de saúde. O seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), segundo dados de 2010, é de 0,789, considerado "alto" pela Organização das Nações Unidas, sendo o terceiro município com melhor IDH do estado e o 71º do Brasil, estando, inclusive, acima tanto da média estadual quanto nacional, que foram calculadas respectivamente como de 0,731 e 0,699, ainda não atualizado pelo IBGE em 2017. (Ibge, 2016)



Figura 1 – Localização de Uberlândia em Minas Gerias.
Fonte: IBGE (2017)

Apresentando características de um grande centro urbano, Uberlândia é uma cidade muito atrativa e constitui-se no maior polo universitário da região sendo um grande gerador de tecnologias. É detentora do maior centro atacadista da América Latina, conta com um parque industrial significativo com uma localização geográfica estratégica para o escoamento de produtos.

Neste contexto é definido como corredor modal rodoviário para todas as regiões do Brasil, e tem um sistema de ônibus composto por cinco terminais estrategicamente localizados nos principais bairros da cidade, devidamente interligados por ônibus expressos.

A frota municipal no ano de 2017 era de 448.922 veículos, sendo 242.452 automóveis, 116.12 caminhões, 4.650 caminhões trator, 32.947 caminhonetes, 12.938 camioneta, 1340 micro-ônibus, 94.566 motocicletas, 19.432 motonetas, 1.710 ônibus, 392 tratores de roda, 3.281 utilitário, 187 triciclo, 11 *side-car*, 5.588 semi reboque e 16.250 reboque. As avenidas duplicadas e pavimentadas e diversos semáforos facilitam o trânsito da cidade, mas o crescimento no número de veículos nos últimos anos está gerando um tráfego, cada vez mais lento de carros, principalmente na sede do município onde às vezes o congestionamento em algumas grandes vias chega a 2,5 km. Além disso,

tem se tornado difícil encontrar vagas para estacionar no centro comercial da cidade (Denatran, 2017).

O estudo foi desenvolvido com revisão literária no item 3, onde apresenta a revisão bibliográfica, com apresentação dos principais fenômenos que contribuem para o monitoramento e estudos atmosféricos. A metodologia e apresentada no item 4, onde mostra o processo utilizado para coleta, análise e tratamento dos dados, os materiais e equipamentos usados em campo para o PTS e MP₁₀. Os resultados são apresentados no item 5, onde são apresentados os dados obtidos de meteorologia, as concentrações de PTS, MP₁₀ e a qualidade do ar do período estudado. A conclusão e apresentado no item 6 onde mostra conclui os dados observado no estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a concentração do material particulado total (PTS) e respirável (MP₁₀), na estação de monitoramento de ar na região central da cidade de Uberlândia, Minas Gerais no período de 2012 a 2017.

2.2 Específicos

- ✓ Realizar revisão bibliográfica de dados do material particulado PTS e MP₁₀ de 2012 a 2016 do grupo de estudo de pesquisa da qualidade do ar de Uberlândia;
- ✓ Realizar amostragem do material particulado PTS e MP₁₀ no período de 2017;
- ✓ Determinar a concentração do material particulado PTS e MP₁₀;
- ✓ Correlacionar os resultados obtidos com variáveis meteorológicas, com temperatura, umidade relativa e índice pluviométrico;
- ✓ Comparar resultados obtidos com a legislação vigente;
- ✓ Apresentar o índice de qualidade do ar da região central de Uberlândia.

3 REVISÃO LITERATURA

3.1 Atmosfera Terrestre

A atmosfera Terrestre é uma camada de gases localizada ao redor do nosso planeta, mantida pela gravidade da Terra. É um sistema natural dinâmico e complexo, que protege a vida na Terra, absorvendo radiação solar ultravioleta, aquecendo a superfície por meio da retenção de calor, o conhecido efeito de estufa, e reduz os extremos de temperatura entre dia e noite. A análise das suas camadas é fundamental para a compreensão da dispersão dos poluentes atmosféricos, assim como das suas reações. As camadas mais importantes no âmbito da poluição atmosférica são a troposfera e a estratosfera (Derisio, 2012).

3.2 Troposfera

A camada mais próxima à superfície da Terra é conhecida como a troposfera, que se estende do nível do mar a uma altura de cerca de 18 km e contém cerca de 80 por cento da massa da atmosfera global. Esta camada é dividida em subcamadas, de acordo com as suas especificidades. A parte mais baixa da troposfera é chamada Camada Limite Atmosférica (CLA) ou na camada limite planetária (CLP) e estende-se desde a superfície da Terra até cerca de 1,5 a 2,0 km de altura. Nesta camada, a temperatura média varia entre 20°C na parte inferior a -60°C na parte superior, ou seja, diminui com o aumento da altitude até atingir o que se chama a camada de inversão, onde a temperatura passa a aumentar com o aumento da altitude, e que cobre a camada limite atmosférica. A parte superior da troposfera, ou seja, acima da camada de inversão, é chamada de troposfera livre e estende-se até cerca de 18 km do início da troposfera. É na troposfera que se verificam os fenômenos atmosféricos, e grande parte dos fenômenos associados à poluição atmosférica (Derisio, 2012).

3.3 Estratosfera

A estratosfera é a segunda maior camada da atmosfera da Terra, logo acima da troposfera, e abaixo da mesosfera. Apresenta estratificação na temperatura, com as

camadas superiores mais quentes e as camadas inferiores mais frias. Isto está em contraste com a troposfera, próximo à superfície da Terra, que é mais frio nas zonas altas e mais quente à superfície terrestre. A fronteira da troposfera com a estratosfera, é a tropopausa, onde se verifica essa inversão térmica. A estratosfera situa-se entre cerca de 10 km e 50 km de altitude acima da superfície nas latitudes moderada, enquanto nos pólos começa em cerca de 7 km de altitude. É nesta camada que se encontra a camada de ozônio, entre os 15 e os 35 km (Derisio, 2012).

3.4 Poluentes

Os poluentes do ar provêm de diversas fontes, como fábricas, veículos motorizados, no caso de emissões provocadas pela atividade humana, podendo igualmente provir de meios naturais, como no caso de incêndios florestais, ou das poeiras dos desertos.

Os poluentes são normalmente classificados como primários ou secundários.

Poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos no ambiente, como no caso dos gases dos automóveis. Como exemplos os óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV) e partículas finas ou inaláveis. Estas podem ser uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, presentes na atmosfera, líquidos ou sólidos, como poeira, fumaça, fuligem, pólen e partículas do solo. O tamanho das partículas está diretamente ligado ao seu potencial para causar problemas de saúde, sendo classificadas de acordo com o seu tamanho: PTS – partículas com diâmetro equivalente inferior a 100 µm, PM₁₀ - partículas com diâmetro equivalente inferior a 10µm (Cetesb, 2013).

As fontes primárias mais importantes das substâncias supra citadas são o transporte rodoviário (25%), processos de não-combustão (24%), instalações de combustão industriais e processos (17%), combustão comercial e residencial (16%) e o poder público de geração (15%). As partículas com menos de 10 µm de diâmetro podem penetrar profundamente no pulmão e causar sérios danos à saúde. E os poluentes secundários são resultantes de transformações físicas e químicas dos poluentes primários na atmosfera (Cetesb, 2013).

3.5 Fontes de Poluição

As fontes de poluição atmosférica são variadas e classificadas como antropogênicas ou naturais, dependendo das causas das suas emissões, ou de acordo com a sua especificidade e dispersão territorial e temporal (Derisio, 2012).

Segundo (Derisio 2012), as fontes Antropogênicas, são poluição gerada por carros, fábricas, aerossóis, evaporação de químicos voláteis, emissão de poeiras como se verifica nas indústrias de madeiras e extração de mineira.

As fontes Naturais, são poluição gerada por meio das emissões provenientes de vulcões, metanos emitidos naturalmente por animais, fumos e fuligem de incêndios florestais e domésticos.

As fontes de poluição podem ser classificadas de acordo com sua caracteriza de emissão como:

- Fontes Estacionárias – Emissões provenientes de fontes fixas, como centrais elétricas e termoelétricas, instalações de produção, incineradores, fornos industriais e domésticos, aparelhos de queima e fontes naturais como vulcões ou incêndios florestais.
- Fontes Móveis – Emissões provenientes de fontes em movimento, como o Tráfego do modal rodoviário, modal aéreo, modal marítimo e fluvial, incluindo as emissões sonoras e térmicas.
- Fontes em Área – Emissões localizadas numa área específica, sendo que no caso de emissões difusas, com uma distribuição homogênea. São exemplo os grandes complexos industriais, que ocupam uma determinada área.
- Fontes em Linha – Emissões associadas a fontes móveis. Os veículos automotores, por exemplo, são uma fonte móvel; contudo, ao longo de vias rodoviárias constituem uma fonte em linha.

- Fontes Pontuais – Emissões de casos especiais de fontes emissoras, cuja análise e tratamento apresentam particularidades específicas, como no caso da chaminé de uma central térmica, os incêndios florestais.

3.6 Emissões Veiculares

A maioria das cidades modernas tem sérios problemas ambientais ligados às emissões de partículas aéreas disseminadas pelo tráfego rodoviário e outras fontes antropogênicas. O efeito resultante sobre a saúde humana urbana depende de uma mistura complexa de fatores que inclui a concentração, tamanho e composição de partículas no ar, a distribuição de poluentes no tempo e no espaço e a condição física do habitante na localidade (Moreno *et al.*, 2015).

Os veículos componentes das frotas das grandes cidades que utilizam motores a combustão interna podem ser divididos em duas categorias principais, de acordo com o ciclo termodinâmico dos motores: ciclo Otto e ciclo Diesel, cujas diferenças se concentram essencialmente na taxa de compressão, na forma de injeção do combustível e na ignição (Lima, 2007).

Atualmente a gasolina comercializada no Brasil é obrigatoriamente acrescida de 27% de etanol, com a finalidade de reduzir o nível de emissão de poluentes e melhorar a limpeza do motor de acordo com a agência nacional de petróleo (ANP, 2018).

O óleo utilizado como combustível nos motores do ciclo diesel também teve modificações em sua composição reduzindo as emissões veiculares, principalmente com relação ao seu teor de enxofre, responsável pelas altas taxas de emissão de SO₂ (ANP, 2018)

O material particulado é emitido principalmente pelo tubo de escapamento do veículo a partir da queima do combustível e seus aditivos, porém pode ser originado do desgaste de outros componentes como pneus e freios. A emissão de partículas pelos veículos movidos a álcool é inferior à emissão pelos veículos movidos à gasolina e diesel, visto que a queima de etanol não tende a formação de fuligem ou outro tipo de partícula (Lima, 2007).

Nos últimos seis anos, a frota de Uberlândia vem crescendo de forma considerável, conforme mostra a Figura 02. Entre o período de 2012 a 2017 foi registrado pelo departamento nacional de trânsito, um aumento de 16% na frota, sendo em dezembro, um total de 448.922 unidades (Denatran, 2017).

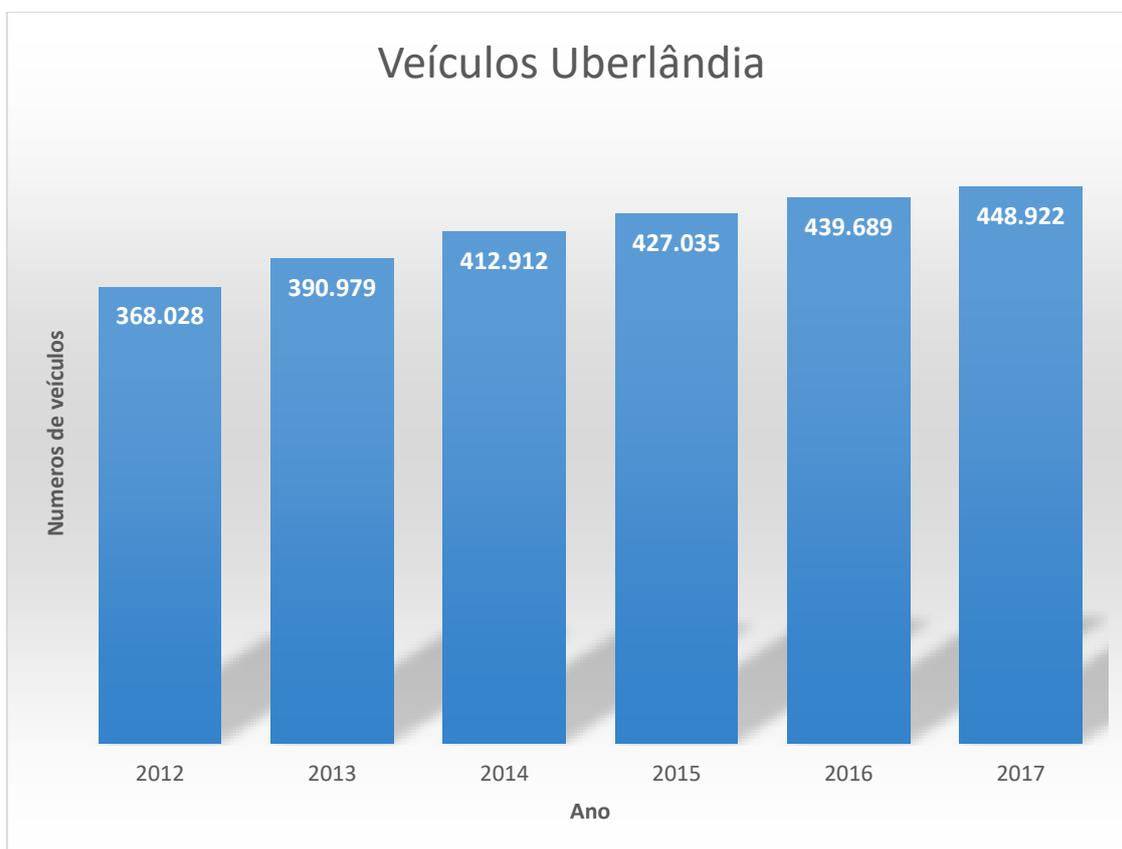


Figura 2: Crescimento da frota veicular Uberlândia 2012 a 2017
Fonte: DENATRAN 2018.

3.7 Material Particulado

Dada esta complexidade inerente e uma correspondente falta de consenso entre os pesquisadores sobre quais características de MP se relacionam mais estreitamente com os efeitos sobre a saúde, o ato de medir as concentrações médias de poluentes em estações de monitoramento, oferece apenas um guia geral para as variações reais nas concentrações de partículas no ar e composições inaladas por pessoas que se deslocam pela cidade. A Tabela 1 demonstra as características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera de acordo com a CETESB (Cetesb, 2018).

Tabela 1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais sobre saúde	Efeitos Gerais sobre meio ambiente
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, na faixa de tamanho <100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados, poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa.	Quanto menor o tamanho da partícula maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonar, asma e bronquite.	Danos a vegetação Deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
		Fontes naturais: Pólen aerossol e solo.		
Partículas Inaláveis Grosseira (MP ₁₀)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, na faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotivos aerossol secundário (formado na atmosfera)	Aumento do atendimento hospitalar e mortes prematuras	Danos a vegetação Deterioração da visibilidade e contaminação do Solo.

Fonte: CETESB,2017.

A Tabela 2 demonstra a comparação entre alguns padrões internacionais de concentração de material respirável, podemos verificar a equivalência entre os padrões nacionais e da agencia americana (USEPA).

Tabela 2 – Comparação entre padrões internacionais de MP₁₀.

Instituição	Descrição	Critério e medição	Concentração (µg/m ³)
OMS	Padrão primário MP ₁₀	Média 24 horas	50
USPEA	Padrão primário MP ₁₀	Media Anual ^a	50
	Padrão primário MP ₁₀	Media 24 horas ^b	150
Brasil	Padrão primário MP ₁₀	Media Anual ^c	50
	Padrão primário MP ₁₀	Media 24 horas ^d	150
	Padrão secundário MP ₁₀	Media Anual ^c	50
	Padrão secundário MP ₁₀	Media 24 horas ^d	150

Fonte: (Celli, 1999)

Observa-se na Tabela 2, que o critério de medição pela USPEA, o padrão primário é cumprido pela média anual de 24 horas, num período de três anos que não excedam o limite e para o padrão primário da média 24 horas será a média tri-anual das concentrações de 24 horas. No Brasil, o padrão primário e secundário para média anual, não deve ser excedido mais de uma vez por ano e para a média de 24 horas, não deve ser excedido mais de uma vez por ano.

A poluição atmosférica é reconhecida como fonte de possíveis agravos à saúde. Estudos tem demonstrado uma clara associação entre o aumento da concentração dos poluentes atmosféricos, especialmente o material particulado proveniente de resíduos de exaustão de motores movidos a hidrocarbonetos, com morbidade e mortalidade respiratória e cardíaca na população geral, em grandes centros urbanos com excesso de material particulado no ar (Trindade, 2011).

A Tabela 3 demonstra as frações do material particulado respirável, sendo definida como a fração de material particulado suspenso no ar constituída por partículas de diâmetro aerodinâmico menor que 10µm, capaz de penetrar além dos bronquíolos terminais e se depositar na região de troca de gases dos pulmões, causando efeito adverso nesse local.

Tabela 3 – Frações do Material Particulado.

Característica	MP₁₀
Diâmetro aerodinâmico	10 µm
Formação	Quebras mecânicas (moagem, esmagamento, abrasão de superfície, etc.) Suspensão de poeira.
Composição	Poeira ressuspendida do solo, cinzas de combustão. Óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe) CaCO ₃ , NaCl, polén, esporos fúngicos fragmentos vegetais e animais.
Solubilidade	Pouco solúveis e não Higroscópicos
Fontes	Ressuspensão de poeira industrial e do solo. Suspensão por atividades ligadas ao solo (mineração, Agricultura, transito). Construção e demolição, fontes biológicas, combustão incompleta de carvão e óleos.
½ vida na atmosfera	Muitas horas
Distância de dispersão	Menos de um a dez metros

Fonte: (Celli, 1999).

3.8 Legislação Ambiental

O processo de adaptação ou modificação no ambiente natural, com objetivo de adequá-lo às necessidades individuais ou coletivas, gera um ambiente variado e de complexidade distinta em escalas diversas. Neste contexto, o homem é o grande agente transformador do ambiente natural, promovendo adaptações nas mais variadas localizações climáticas, geográficas e topográficas. Com a maneira de gerir a utilização desses recursos é o fator importante que pode acentuar ou minimizar os impactos decorrente da utilização sem controle.

Com objetivo de conservar a natureza, a manutenção e o equilíbrio ecológico, a regulamentação para controlar as diversas formas de poluição e ainda garantir o desenvolvimento tecnológico e econômico no país, consta os princípios e normas jurídicas que disciplinam as relações do homem com o meio ambiente, o qual denominamos legislação ambiental que desenvolve nas três esferas legislativas do país. Sendo a legislação Federal, legislação Estadual e legislação Municipal (Philippi *et al.*, 2004).

3.8.1 Legislação Federal

A legislação federal apresentada neste trabalho, é fundamental para o controle de poluição e qualidade do ar.

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 é a lei fundamental e suprema do Brasil, servindo de parâmetro de validade a todas as demais espécies normativas, situando-se no topo do ordenamento jurídico. Em seu artigo 225, descreve a proteção do meio ambiente e a conservação dos recursos naturais.

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Artigo 225 - CF (Brasil, 1988)

A Política Nacional do Meio ambiente, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à

vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

O Fundo Nacional de Meio Ambiente Lei nº 7.797 de 10 de julho de 1989, tem por objetivo desenvolver os projetos que visem ao uso racional e sustentável de recursos naturais, incluindo a manutenção, melhoria ou recuperação da qualidade ambiental no sentido de elevar a qualidade de vida da população brasileira.

A resolução do CONAMA nº1, de 23 de janeiro de 1986, considerou a necessidade de estabelecer as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental, como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, onde considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, altera direta ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Resolução do CONAMA nº 018 de 6 de dezembro de 1990, estabelece, limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW e superiores.

Resolução do CONAMA nº 005 de 15 de junho de 1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do País de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a uma melhoria na qualidade do ar, o atendimento aos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

Resolução do CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, que define os padrões de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Nesta resolução entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com

os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora e prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A Tabela 4, demonstra os padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA 03/90 de acordo com o poluente, tempo de amostragem, padrões aceitáveis e método de medição.

Tabela 4 – Padrões de qualidade do ar.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método Medição
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Partículas Totais em Suspensão (MP ₁₀)	24 horas ¹ MGA ²	150 50	150 50	Separação inercial filtração

1 – não deve ser excedido mais que uma vez no ano

2 – média geométrica anual

Fonte: Resolução CONAMA 03/90

A Tabela 5, demonstra os critérios para episódios agudos da poluição do ar, que atingidos pode colocar a saúde da população em risco sendo dividido em três categorias, atenção, alerta e emergência de acordo com a resolução CONAMA 03/90.

Tabela 5 Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas Totais em Suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	375	625	875
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	250	420	500

Fonte: COMAMA, 003/90

Importante referenciar neste trabalho, o estado de São Paulo como sendo pioneiro na regulamentação do índice de material particulado de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, através do Decreto Estadual nº 59113/2013 o qual estabelece que a administração da qualidade do

ar, efetuada através de padrões de qualidade do ar, observados os seguintes critérios de Metas Intermediárias – (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, alinhados com os princípios do desenvolvimento sustentável e os Padrões Finais (PF) – Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica conforme demonstra a Tabela 6:

Tabela 6 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar

Poluente	Tempo de Amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas					
Totais em	24 horas	-	-	-	240
Suspensão (PTS)	MGA	-	-	-	80
Partículas					
Totais em	24 horas	120	100	75	50
Suspensão (MP ₁₀)	MGA	40	35	30	20

Fonte: CETESB, 2013

As Metas Intermediárias devem ser obedecidas em 3 (três) etapas, assim determinadas:

1. Meta Intermediária Etapa 1 – (MI1) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;
2. Meta Intermediária Etapa 2 – (MI2) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;
3. Meta Intermediária Etapa 3 – (MI3) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas

totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3 (Cetesb, 2013).

Resolução do CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990, que define, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (setenta megawatts) e superiores.

Resolução do CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Onde os limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte conforme estabelecido nos anexos desta Resolução.

3.8.2 Legislação Estadual

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) tem como missão formular e coordenar a política estadual de proteção e conservação do meio ambiente, gerenciamento dos recursos hídricos e articular as políticas de gestão dos recursos ambientais, visando ao desenvolvimento sustentável no Estado de Minas Gerais.

O Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) é formado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), pelos Conselhos Estaduais de Política Ambiental (COPAM) e de Conselho Estaduais de Recursos Hídricos (CERH) e pelos órgãos vinculados: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), responsável pela qualidade ambiental no Estado, no que corresponde à Agenda Marrom, Instituto Estadual de Florestas (IEF) responsável pela Agenda Verde e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que responde pela Agenda Azul.

O artigo 3º da Lei Estadual nº 12.583, de 17 de julho de 1997 (Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 18/07/1997) dispõe ser finalidade da FEAM realizar estudos e pesquisas sobre qualidade do ar. O inciso III do artigo 26 do Estatuto da FEAM aprovado pelo Decreto Estadual nº 39.489, de 13 de março de 1998 (Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 14/03/1998) determina que compete à Divisão de Qualidade do Ar propor normas, parâmetros e padrões de qualidade do ar.

A Deliberação Normativa COPAM nº 01, de 26 de maio de 1981, considera padrão de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, se ultrapassados, poderão causar poluição ou degradação ambiental.

Essas medidas de qualidade do ar deverão ser corrigidas para temperatura de 25°C e pressão absoluta de 760 mm de mercúrio e atender aos padrões descrito no Art. 2º desta Deliberação Normativa.

Art. 2º - Ficam estabelecidos para todo o território do Estado de Minas Gerais os seguintes padrões de qualidade do ar:

a) Partículas em suspensão:

a.1. uma concentração média geométrica anual de 80 microgramas por metro cúbico;

a.2. uma concentração máxima diária de 240 microgramas por metro cúbico; que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

a.3. Método de Referência: método do amostrador de grandes volumes ou método equivalente.

A Tabela 7, demonstra o padrão e qualidade do ar no estado de Minas Gerais de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 01/81.

Tabela 7 – Padrão de qualidade do ar Minas Gerias.

Poluente	Tempo de amostragem ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de Medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ¹	240	Amostrador de grandes volumes
	MGA ²	80	
Partículas inaláveis	24 horas ¹	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA ²	50	

1 – Não deve exceder mais que uma vez ao ano¹

2 – Média Geométrica Anual²

Fonte: SEMAD, 2017

3.9 Impactos à saúde humana

Até o presente momento, sabe-se que o material particulado possui ações deletérias sobre as vias aéreas superiores e inferiores, sendo causadora de impactos negativos a saúde humana, cujo grau de incidência e de periculosidade depende da concentração dos materiais particulados em suspensão, assim como dos poluentes envolvidos e condições físicas e tempo de exposição pessoas.

O maior fator de risco está relacionado a partículas finas, inaladas que penetram no sistema respiratório e cardiovascular. Estudos recentes mostram que crianças sujeitas a níveis elevados de poluição atmosférica têm maior prevalência de sintomas respiratórios, sofrem uma diminuição da capacidade pulmonar com um aumento de episódios de doença respiratória (Grimalt, 2001).

As partículas de maior interesse para saúde pública são as chamadas partículas inaláveis, ou seja, aquela que têm poder de penetração maior que 50% no trato respiratório médio e inferior. Essas partículas tem o diâmetro aerodinâmico equivalente menor que 10 micrômetros (diâmetro aerodinâmico equivalente representa o diâmetro de uma partícula de densidade unitária 1g/cm^3) (Grimalt, 2001).

Os padrões de qualidade do ar variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que, por sua vez, dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade do Estado de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta está heterogeneidade e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais. A OMS também preconiza que o processo de estabelecimento de padrões visa atingir as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública (Cetesb, 2013).

Em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113/13, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por

intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo.

A Tabela 8 mostra a qualificação do ar, que está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade ou meta intermediária em vigor, será sempre utilizada como referência de qualidade do ar.

Tabela 8 – Qualidade do ar e efeitos à saúde.

Qualidade do ar e efeitos à saúde		
Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 – 40	
N2 – Moderada	41 – 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 – Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (2017)

4 METODOLOGIA

A qualidade do ar é determinada pela interação entre fontes de poluição e a atmosfera e pelas condições meteorológicas locais, que influem na dispersão dos poluentes presentes (Cetesb, 2013).

O clima da região de Uberlândia é do tipo A_w , isto é, tropical quente e úmido com inverno frio e seco. Neste trabalho será evidenciada a influência do clima na concentração de partículas totais em suspensão no período de 2012 a 2017, com apresentação das variáveis meteorológicas, que interagem mais intimamente com a concentração do material particulado da atmosfera, isto é, a temperatura do ar, a precipitação e a umidade relativa do ar (Lima, 2007).

Para realizar a amostragem das partículas, foram utilizadas as referências metodologias estabelecidas pela norma ABNT-NBR 13412/1995 para o MP_{10} , ABNT-NBR 9547/1997 para o PTS.

A Figura 3 mostra os setores de bairro da cidade de Uberlândia, onde localiza o setor central, local do ponto de amostragem.

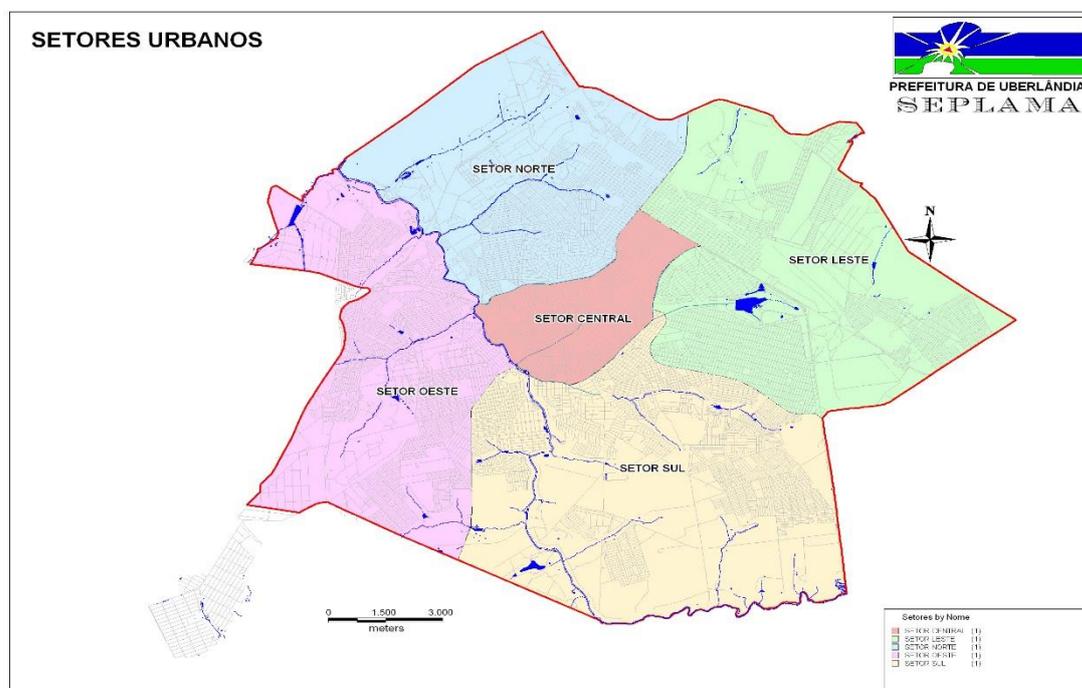


Figura 3: Setores Urbanos de Uberlândia

Fonte: PMU,2016.

A metodologia para do ponto de amostragem, foi escolhida, avaliando um local com maior circulação de veículos automotores e maior concentração de pessoas por área. O local foi considerado a base da estatística BDI (Banco de Dados Integrados de Uberlândia) do SIT (Sistema Integrado de Transportes), onde o terminal central tem uma média anual no período de 2012 a 2017 de 63.242.955 passageiros registrados no local (Settran, 2017).

A Figura 4 mostra o local onde foi instalado o ponto de coleta da amostra do material particulado, com referência a cidade de Uberlândia, no período de 2012 a 2017. Essa estação, faz parte do grupo de pesquisa de qualidade do ar da Universidade Federal de Uberlândia.

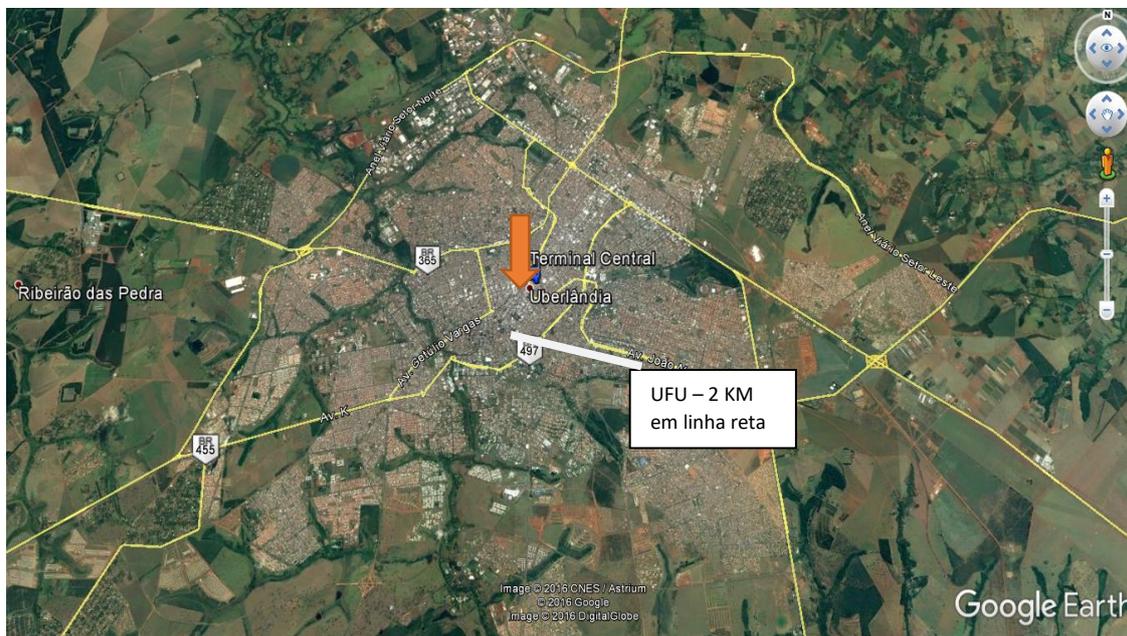


Figura 4 – Vista área da cidade de Uberlândia e localização Terminal Central.
Fonte: Google Earth, 2017.

A Figura 5 mostra o ponto fixo de amostragem na confluência das Avenida João Pinheiro e Avenida João Naves de Ávila.



Figura 5 – Vista aérea localização amostragem terminal central de Uberlândia.
Fonte: Google Maps, 2017.

A Figura 6 mostra a foto dos mostradores utilizados no ponto de coleta, da esquerda para a esquerda PTS, MP₁₀.



Figura 6 –Foto do Ponto de Amostragem 1 AGV-PTS; AGV MP₁₀.
Fonte: Autor, 2017.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nas normas norte-americanas *Environmental Protection Agency* (EPA), e nacionais editadas pela ABNT, e também com base na legislação brasileira, a frequência de amostragem utilizada para o monitoramento de material particulado por AGV-PTS são de 6 em 6 dias (Derisio, 2012).

A determinação dessa frequência é uma forma de obrigar que os monitoramentos sejam realizados em dias alternados, de maneira que haja uma melhor representatividade das amostragens ao longo do ano (Fronidizi, 2008).

Neste estudo, para as amostragens de PTS e MP₁₀, a frequência utilizada para o monitoramento de material particulado foi realiza de 3 em 3 dias.

Os materiais utilizados neste estudo são:

1. Filtro para amostragem de partículas - filtro de fibra de vidro conhecido como tipo “padrão”, identificado pela Ref. GFA (Whatman), com eficiência de mais de 99,9 % (teste do FDO - Ftalato de Dioctil para partículas de 0,3 μm , com porosidade nominal $<1 \mu\text{m}$, espessura 026 mm, peso da folha de 203x254 mm de 2,73 g, baixa reação a material

corrosivo, baixa higroscopia, resistente a temperaturas de até 540 °C e resistente a tensões, não se rompendo facilmente com o manuseio. A figura 7 mostra o filtro instalado para amostragem e a Figura 8 o filtro após amostragem, que será removido e colocado em uma caixa térmica com sílica para secagem.



Figura 7 – Filtro para amostragem
Fonte: Autor,2017



Figura 8 – Filtro para amostragem
Fonte: Autor,2017

Cada filtro recebe um número de série e realizado uma inspeção visual para analisar, furos, material solto, descoloração, não uniformidade do filtro e é realizado a pesagem de um lote para duração de três meses. Os filtros devem ser pesados numa balança analítica com resolução de pelo menos 0,1 mg. Cada balança usada nos procedimentos de pesagem deve ser identificada por um número e ter sua calibração anual (Dias, 2016).

2. Registrador contínuo de vazão - O registrador de vazão é na realidade um transdutor de pressão que funciona instalado no amostrador, o ar deslocado pelo motoaspirador é comprimido ao passar pelo furo no fundo do cilindro de alojamento do motor, exercendo uma pressão que é transmitida ao transdutor através de uma mangueira. No transdutor, a pressão movimenta um fole que, por sua vez, movimenta uma pena sobre uma carta gráfica. Assim, quanto maior for a vazão, maior será a pressão, e quanto maior for esta, maior será a deflexão da pena sobre a carta. Tem-se assim uma ligação entre a vazão e a deflexão da pena. Resta então apenas dar para cada deflexão, de 0 a 10 na carta, o valor correspondente da vazão. Consegue-se isto fazendo-se o ensaio do registrador com um padrão de transferência de vazão (Dias, 2016).

A figura 9 mostra a carta do registrador contínuo de vazão instalado para amostragem e a Figura 10 a carta do registrador contínuo de vazão após amostragem.

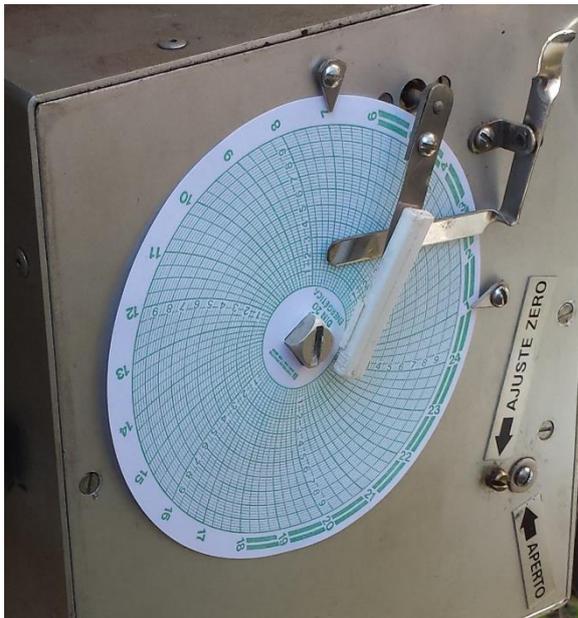


Figura 9 – Carta para amostragem
Fonte: Autor,2017

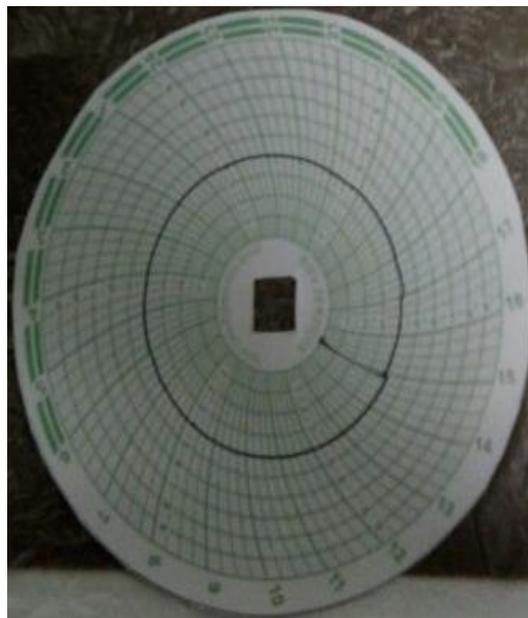


Figura 10 – Carta para amostragem
Fonte: Autor,2017

4.2 Amostragem AGV PTS

O AGV PTS, instalado no terminal Central de Uberlândia, é um equipamento da Universidade Federal de Uberlândia, da faculdade de engenharia química, que faz parte do grupo de pesquisa da qualidade do ar, com início em 2003.

A metodologia utilizada no Brasil é a NBR 9547. O material particulado em suspensão no ar ambiente é determinado pela concentração total por meio da utilização do amostrador de grande volume. O método consiste em succionar o ar ambiente para o interior de um abrigo, através de um motoaspirador, passando por um filtro de vidro, a uma vazão de 1,1 a 1,7 m³/min, por um período de 24 horas corridas (cerca de 2.000 m³/dia), bem como a geometria da entrada da casinhola, dependendo de acordo com a vazão operacional do amostrador, bem como da velocidade e da direção do vento, favorecem a coleta de partículas de até 25-50 µm (diâmetro aerodinâmico). Os filtros empregados são específicos de fibra de vidro para uma eficiência mínima de 99% para a coleta de partículas FDO (Ftalato de Dioctil) de 0,3 µm, tipo padrão, retangular, com medidas de 203 x 254 mm baseados no método da US EPA-ENERGETICA (Dias, 2016).

A amostragem é realizada com um filtro limpo, identificado numericamente e pesado, e a carta gráfica que são colocados no equipamento. A carta gráfica tem função apenas de registrar eventuais anormalidades durante a operação de amostragem, e por este motivo é conhecido como registrador contínuo de eventos. Então anota-se a leitura inicial do horômetro do aparelho e transcorridas 24 horas retira-se a carta gráfica e o filtro sujo com cuidado e anota-se a leitura final do horômetro (Dias, 2016).

O filtro “sujo” é colocado em um recipiente contendo sílica gel para a estabilização da umidade e, posteriormente, é pesado numa balança analítica, com aproximação de um décimo de miligrama (0,1 mg) a sua massa seca final. A concentração de partículas em suspensão no Ar ambiente é então gravimetricamente determinada, relacionando-se a massa retida no filtro e o volume de ar succionado (Dias, 2016).

A concentração de PTS é obtida por meio da Equação (1):

$$PTS = (10^6) \frac{Ml}{Vp} \quad (1)$$

Onde:

PTS = concentração de partículas totais em suspensão, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ml = ganho líquido de PTS no filtro durante a amostragem, g

Vp = volume total de amostrado em unidade padrão de volume, m^3 padrão

10^6 = fator de conversão, $\mu\text{g}/\text{g}$

Na Equação 1, Ml é a diferença entre o peso final do filtro (com coleta), Mf , e o peso inicial do filtro (limpo, sem coleta), Mi , pesados com uma balança com precisão de 0,1 mg. (Lima, 2007)

Por sua vez, Vp é dado pela somatória

$$Vp = \sum_1^n (Q_{pi})(\Delta t) \quad (2)$$

onde:

Vp = volume total de ar que passa pelo filtro no tempo decorrido da amostragem (normalmente de 24 horas), em unidade padrão de volume, m^3 padrão

n = número de intervalos durante a amostragem recomenda 24 intervalos
 Q_{pi} = vazão média, no intervalo i , corrigida para as condições padrão, m^3 padrão/min.
 Δt = tempo decorrido de amostragem em cada intervalo. Para $n = 24$, $\Delta t = 60$ min.

O volume é dado de maneira indireta: vazão x tempo. A vazão varia ao longo da amostragem e é obtida por meio de uma correlação com a deflexão da pena no registrador. O volume é obtido dividindo-se a carta gráfica de registro em intervalos de tempo (24 intervalos de 1 hora cada), calculando-se o volume de ar para cada intervalo (vazão média em cada intervalo multiplicada pelo respectivo tempo do intervalo) e, finalmente, totalizando-se os vários volumes individuais dos segmentos (Lima, 2007).

A Figura 11, mostra a foto do AGV PTS instalado no terminal central de Uberlândia.



Figura 11 – AGV PTS
Fonte: Autor 2017

A amostragem utiliza o formulário de campo, para registro dos ensaios, com os seguintes dados a ser registrados, número do filtro, nome do responsável executante, data inicial e data final do registro, hora inicial e hora final do registro e leitura inicial e final do horômetro. Os dados meteorológicos são retirados da estação meteorológica da UFU.

A Figura 12 mostra o filtro limpo (1-Filtro), o formulário de amostragem para preenchimento em campo (2- Formulário de campo) e a carta gráfica do registrador contínuo de vazão (3-Carta).

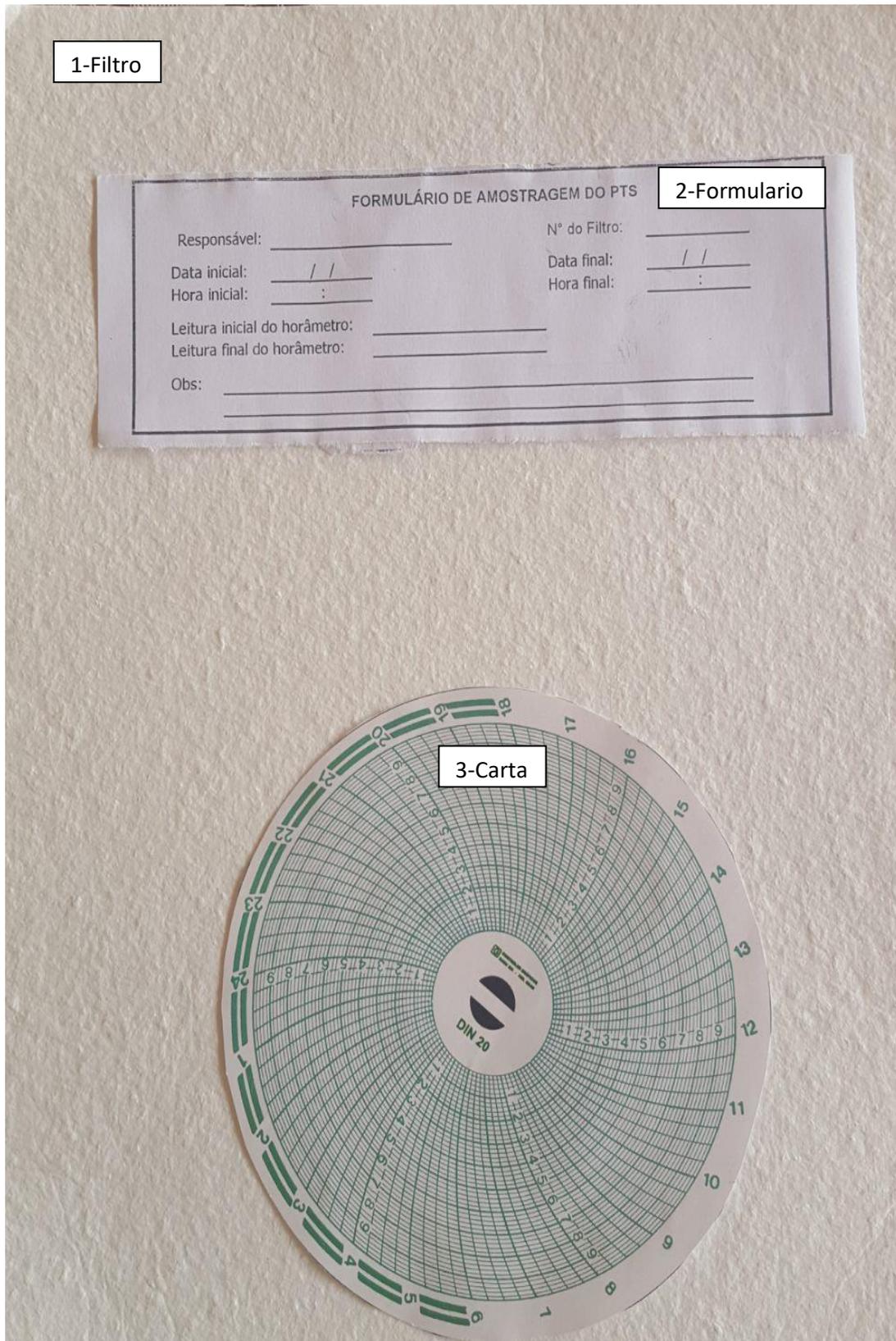


Figura 12- Filtro Amostra AGV PTS realizado 08/06/2017
Fonte: Autor, 2017

A Figura 13 mostra o filtro pós coleta (1-Filtro), o formulário de amostragem pós preenchimento em campo (2- Formulário de campo) e a carta gráfica do registrador contínuo de vazão pós amostragem (3-Carta), realizado em 09/06/2017.

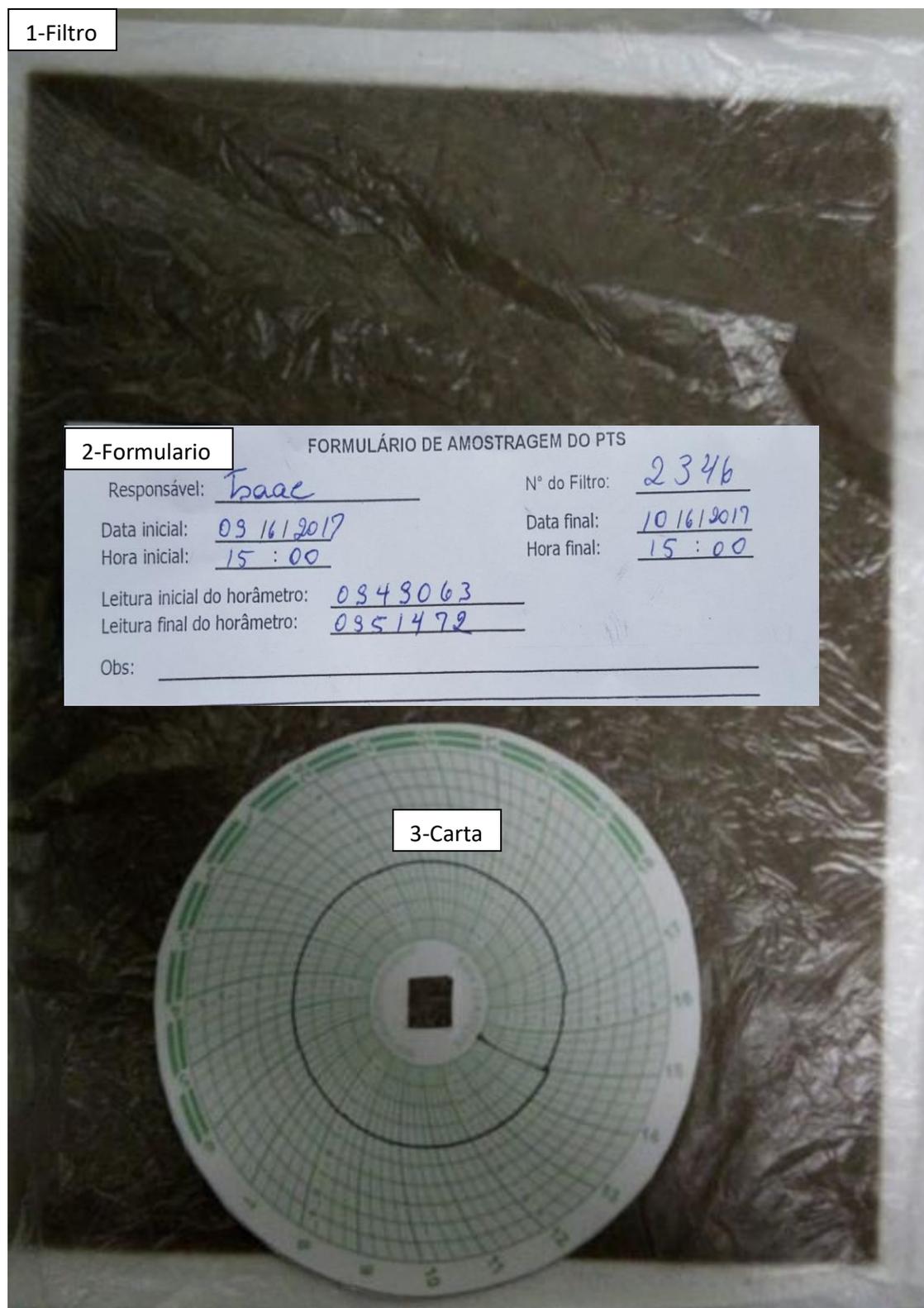


Figura 13 - Filtro Amostra AGV PTS realizado 09/06/2017

Fonte: Autor, 2017

4.3 AGV MP₁₀

O AGV MP₁₀, equipamento da Universidade Federal de Uberlândia, faculdade de engenharia química, instalado no terminal Central de Uberlândia para medição de partículas finas, utiliza o mesmo sistema de captação de partículas conforme definido no manual de operação da empresa energética, fabricante do equipamento.

A vazão imprimida pelo equipamento é de 1,13 m³/min., e a geometria da entrada da cabeça de separação para a coleta e para partículas com diâmetro aerodinâmico ≤ 10 µm. As partículas são coletadas num filtro de fibra de vidro, conforme descrito (Lima, 2007).

Por exigência de norma, todos os filtros empregados para amostras, são específicos para uma eficiência mínima de 99 por cento para a coleta de partículas FDO (Dias, 2016).

A concentração de partículas de até 10 µm em suspensão no ar ambiente, MP₁₀, é computada dividindo-se a massa de partículas coletada pelo volume de ar amostrado e é expressada em microgramas por metro cúbico (µg/m³):

$$C_{MP10} = (10^6) \frac{M_l}{V_p} \quad (3)$$

Onde:

C_{MP10} = concentração de partículas MP₁₀ em suspensão, µg/m³

M_l = ganho líquido de MP₁₀ no filtro durante a amostragem, g

V_p = volume total de amostrado em unidade padrão de volume, m³ padrão

10^6 = fator de conversão, µg/g

Na Equação 3, M_l é a diferença entre o peso final do filtro com coleta, M_f , e o peso inicial do filtro limpo, sem coleta, M_i , pesados com uma balança com precisão de 0,1 mg.

Por sua vez, V_p é dado pela expressão

$$V_p = (\overline{Q_p})(t) \quad (4)$$

Onde

V_p = volume total de ar amostrador em unidade padrão de volume, m³ padrão

$\overline{Q_p}$ = vazão média do amostrador corrigida para as condições padrão, m³ padrão/min.

t = tempo decorrido de amostragem, min.

$\overline{Q_p}$ é obtida pela correlação seguinte:

$$\overline{Q_p} = \overline{Q_r} \left(\frac{P_3}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_3} \right) \quad (5)$$

onde:

$\overline{Q_p}$ = vazão volumétrica padrão média para o período de amostragem, m³/min.

$\overline{Q_r}$ = vazão volumétrica real média para o período de amostragem, m³/min.

P_3 = pressão barométrica ambiente média durante o período de amostragem, mm Hg

T_3 = temperatura ambiente média durante o período de amostragem, K

P_p = pressão barométrica padrão, 760 mmHg

T_p = temperatura padrão, 298 K

A Figura 14, mostra a foto do AGV MP₁₀ instalado no terminal central de Uberlândia.



Figura 14 – AGV MP₁₀

Fonte: Autor, 2017

Os filtros para as amostras e após amostras são visualmente iguais aos das Figuras 12e 13, sendo possível diferencia-los pela identificação numérica e variação de massa.

4.4 Parâmetros Meteorológicos

As variáveis climáticas de maior relevância na determinação da qualidade do ar de um dado local são a precipitação, a umidade relativa do ar e a temperatura. Esses parâmetros são aferidos pelos equipamentos da estação meteorológica da UFU como mostra a Figura 15, foto da estação, que se localiza a 2Km em linha reta do ponto fixo de coleta da amostra, sendo os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia.



Figura 15 – Estação meteorológica automática de Uberlândia.
Fonte INMET, 2017.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Dados meteorológicos de Uberlândia

A análise adequada da qualidade do ar só é possível por meio do entendimento da interação entre os fatores climáticos e os níveis de concentração de partículas. A caracterização do clima da cidade de Uberlândia no período de janeiro de 2012 a

dezembro de 2017 foi feita mediante a organização dos dados referentes à variação dos índices de precipitação, umidade relativa e temperatura.

A Figura 16, mostra o índice pluviométrico que influencia qualitativamente os níveis de concentração de material particulado.

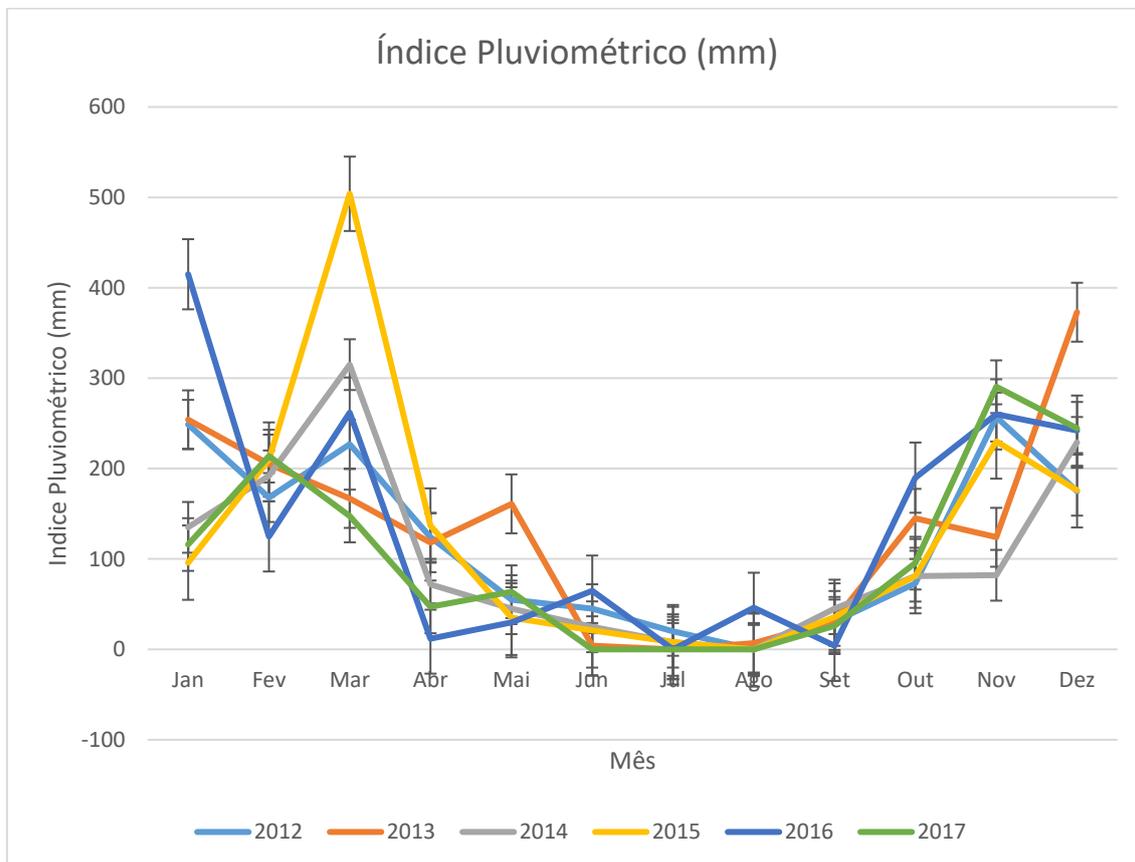


Figura 16: Índice Pluviométrico (mm) de 2012 a 2017.

O índice pluviométrico é bem definido, sendo observado um período mais chuvoso, que ocorre nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro e um período mesmo chuvoso, que ocorre nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

Quando a umidade relativa é mais alta, as partículas se aglomeram e sedimentam mais facilmente, sendo removidas por deposição. Neste período de estudo foi observado maior índice nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. E o período com menor índice de umidade, ocorreu nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro. A Figura 17, mostra a umidade relativa, que tem efeito semelhante do índice pluviométrico.

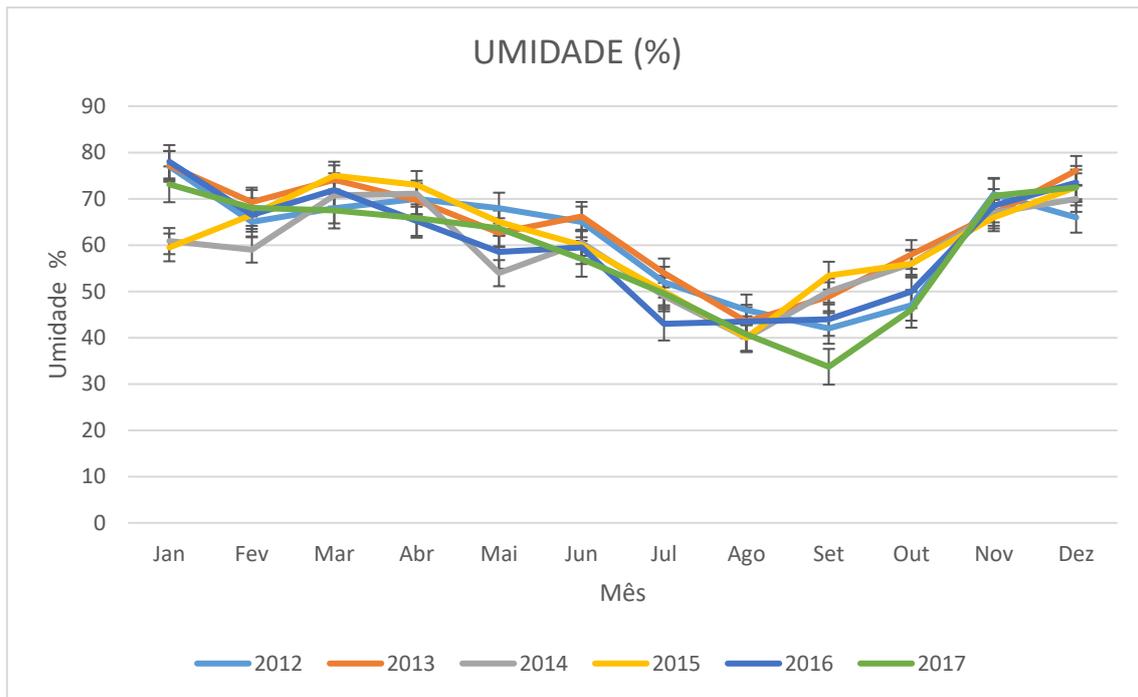


Figura 17: Média umidade relativa (%) de 2012 a 2017.

A Figura 18 mostra a variação da temperatura, que provoca oscilações no grau de poluição, assim como os demais parâmetros analisados. Do ponto de vista da estabilidade atmosférica, o perfil de temperatura exerce importante influência sobre a condição de diluição dos poluentes, visto que na camada inferior da atmosfera as temperaturas mais altas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes que arrastam os poluentes para os níveis mais elevados da atmosfera promovendo sua diluição.

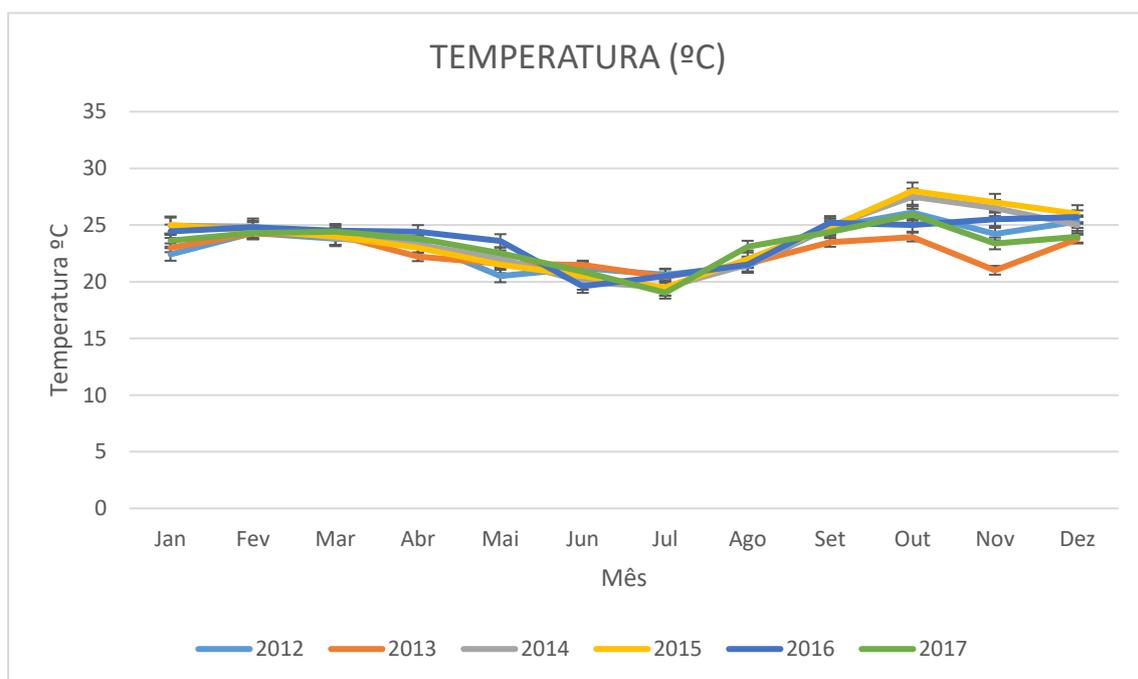


Figura 18: Temperatura média (°C) de 2012 a 2017.

O período de maior temperatura, ocorre nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, setembro, outubro, novembro e dezembro. E o com menor temperatura, que ocorre nos meses de maio, junho, julho e agosto.

A Tabela 9 apresenta o tratamento estatístico dos dados climatológicos para o período estudado.

Tabela 9 – Estatística descrita para os dados climatológicos 2012 a 2017.

Parâmetro	Pontos	Média	IC	IC	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio	Erro
			-95%	+95%				Padrão	Padrão
Temperatura (°C)	72	23,3	22,8	23,7	23,8	23,8	28	2,0	0,23
Umidade Relativa (%)	72	60,8	58,2	63,3	65	65	78	11,1	1,30
Índice pluviométrico (mm)	72	123,8	97,3	150,2	89	0	504	114,4	13,4

Fonte: Autor, 2018

Nesta pesquisa foram observados 72 pontos com fonte de dados do INMET. A variável ambiental, demonstrado na Tabela 9, a temperatura registrada neste período de 2012 a 2017, teve uma média de 23,3°C com uma mínima de 23,8°C e máxima de 28°C. Os intervalos de confiança de 95% para os dados avaliados indicam valores próximos a média. Isto se deve ao desvio padrão que também não foi elevado nas variáveis.

Índice pluviométrico é uma medida em milímetros, resultado do somatório da quantidade da precipitação de água (chuva) num determinado local durante um dado período de tempo, que neste período teve uma média anual de 123,8 mm, com mínimas de 0 mm e máxima de 504 mm, o que colaborou com uma umidade relativa do ar alta.

A umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação) com média de 60,8% para o período com ocorrência mínima de 65% e máxima de 78%.

5.2 Partículas Totais em Suspensão

Os resultados de concentrações de material particulado em suspensão, obtidos utilizando-se os amostradores de grandes volumes para partículas totais (AGV-PTS) no período de 2012 a 2017 na estação de monitoramento apresentado na Figura 6, onde pode-

se observar o perfil das concentrações de PTS com referência ao padrão primário e secundário da resolução CONAMA 03/90.

A Figura 19 mostra a concentração média anual das partículas totais suspensas no período de 2012 a 2017.

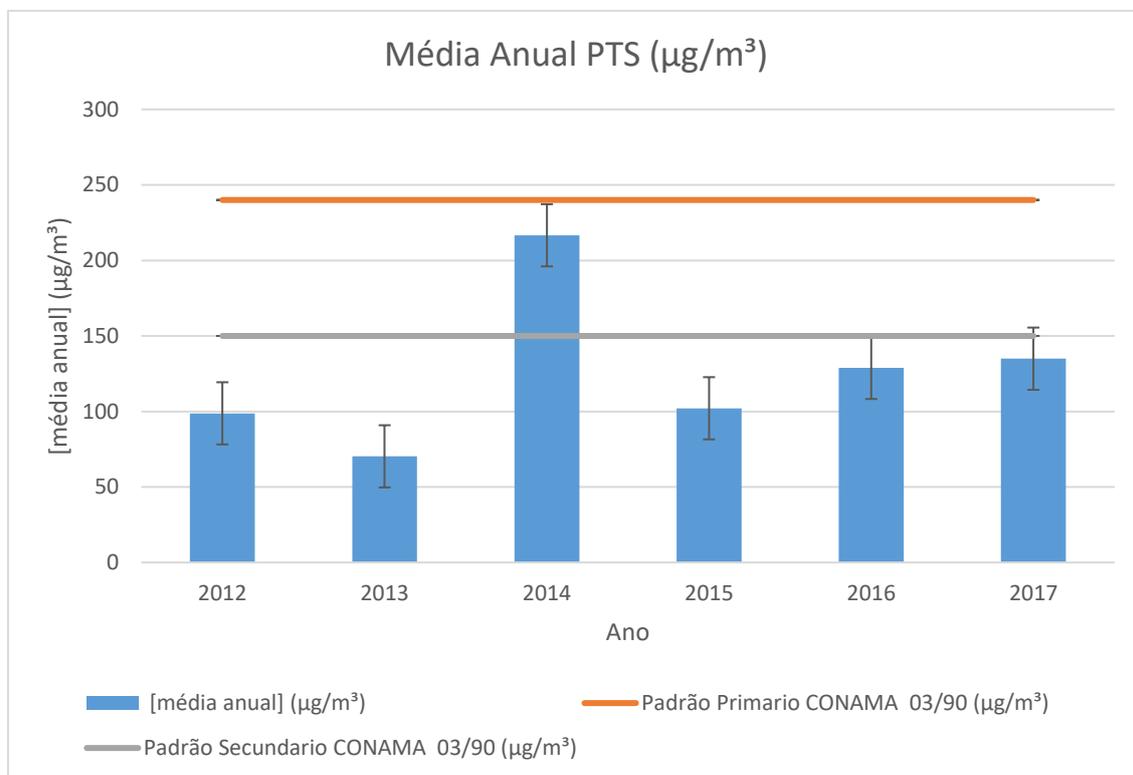


Figura 19 – Resultado da concentração de PTS comparação CONAMA 03/90

Observando a Figura 19, é possível definir a média anual em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado, avaliado no período de 2012 a 2017.

Em acordo com a legislação CONAMA 03/90, o padrão primário para concentração média de 24 horas de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano. Observamos que neste período não foi excedida a média.

Observamos que o padrão secundário, de acordo com o limite definido pela CONAMA 03/90, concentração média de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve exceder mais de uma vez por ano, foi excedida no ano de 2014.

Os padrões estaduais de qualidade do ar de São Paulo que é referência em estudo de qualidade do ar, conforme Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013 (CETESB) a concentração média de 24 horas de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano, observamos que não foi excedida durante esse período.

De acordo com os padrões estaduais de qualidade do ar de Minas Gerais conforme Deliberação Normativa COPAM nº 01, de 26 de maio de 1981, (SEMAD) determinam que a concentração média de 24 horas de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano, observa-se que não foi excedida durante esse período.

Os resultados dos dados experimentais da análise estatística descritiva da concentração de material particulado total para o período de 2012 a 2017, e apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise estatística descritiva para PTS 2012 a 2017.

Estatísticas	PTS
	Verão 2012/2017
Números de pontos	6
Média Aritmética ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	125,2
Int. Confiança (-95%)	108,8
Int. Confiança (+95%)	141,6
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	115,46
Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70,3
Máxima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	216,6
Desvio padrão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,5
Coefficiente de variação	40,2
Variância	2545,8
Curtose	2,3
Assimetria	1,3

Fonte: autor ,2018

No período de seis anos, a média aritmética ficou em $125,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, observa-se que a média ficou abaixo do padrão secundário da concentração média de 24 horas que de acordo com legislação que é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mesmo com uma mínima de $70,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e uma máxima de $216,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o desvio ficou com $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 20 mostra os resultados das médias das concentrações de particulados totais (PTS) em comparação ao índice pluviométrico no período do estudo.

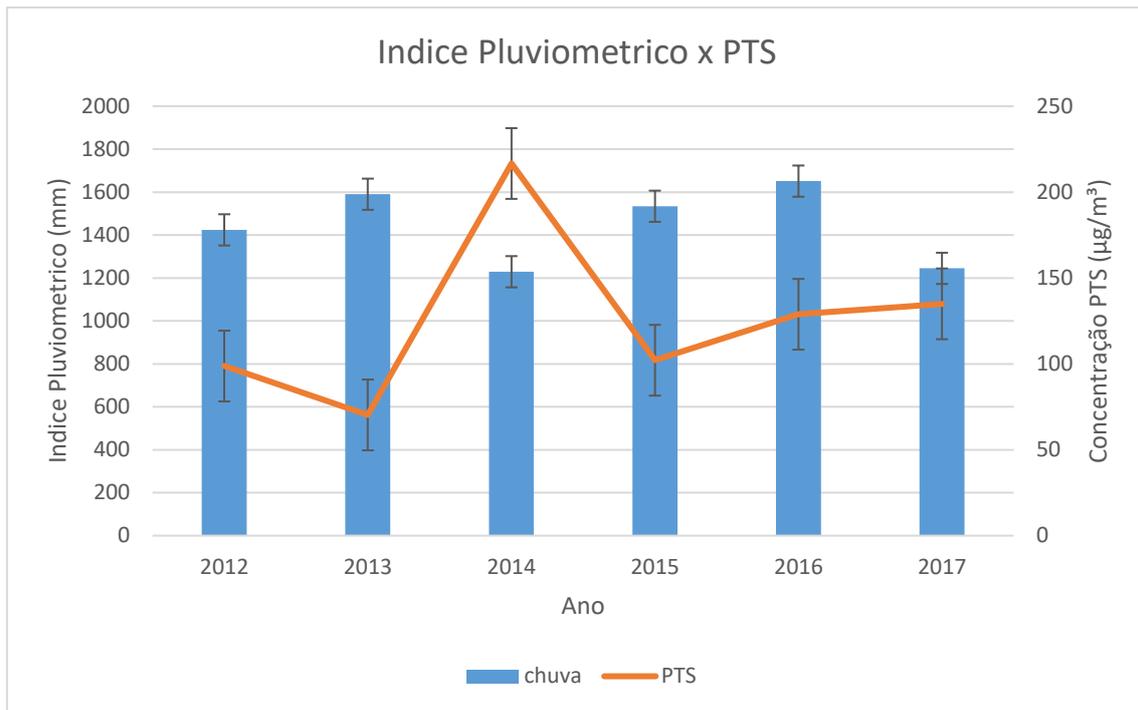


Figura 20 – Média índice pluviométrico e concentração PTS.

Neste período observa-se que o menor índice pluviométrico, ocorreu em 2014, no qual foi registrado o maior índice médio de concentração de partículas, sendo ultrapassado a média definida pela legislação ambiental.

A Figura 21 apresenta os resultados de médias das concentrações de particulados totais (PTS) plotados conjuntamente com a umidade relativa.

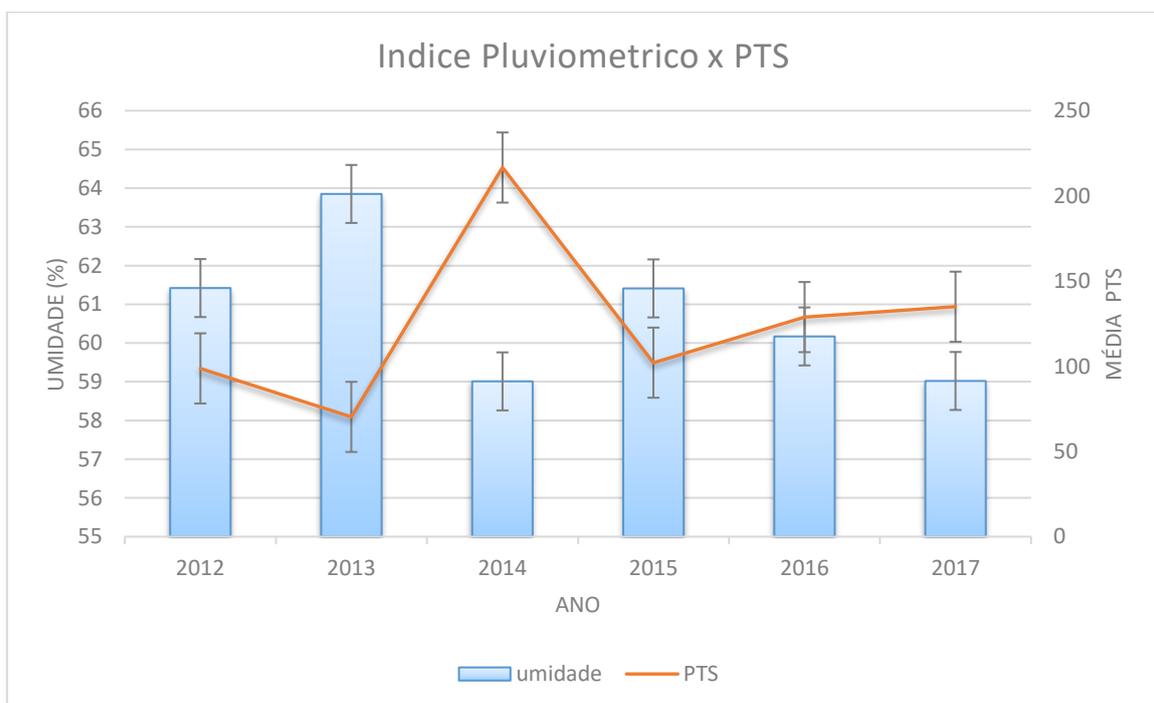


Figura 21 – Média umidade relativa e concentração PTS.

O período que foi registrado o maior índice médio de concentração de partículas ocorreu em 2014, período o qual, observou-se a menor média da umidade relativa.

A Figura 22 mostra os resultados de médias das concentrações de particulados totais (PTS) plotados conjuntamente com a temperatura.

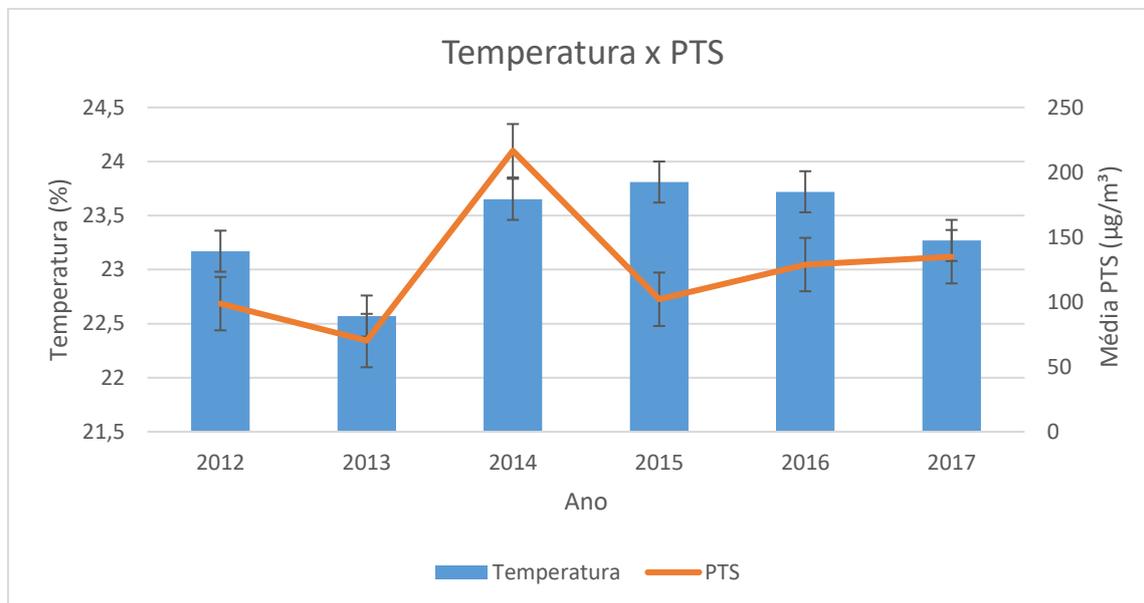


Figura 22 – Média Temperatura e concentração PTS.

Pode-se observar que o perfil de temperatura exerce importante influência sobre a condição de diluição dos poluentes, visto que na camada inferior da atmosfera as temperaturas mais altas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes que arrastam os poluentes para os níveis mais elevados da atmosfera promovendo sua diluição, porém a variação da temperatura na região é pequena, sendo possível ser analisado essa variação juntamente com a combinação dos demais dados, o que resulta em dois períodos distintos climatológicos.

Observa-se um período seco, com alto índice de umidade e períodos de alto índice precipitação e temperatura, que ocorre nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. E um período úmido com baixo índice umidade, períodos de baixo índice de precipitação e temperatura, que ocorre nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

A Figura 23 mostra os resultados da tendência das médias das concentrações de particulados totais (PTS) com a temperatura, umidade e precipitação.

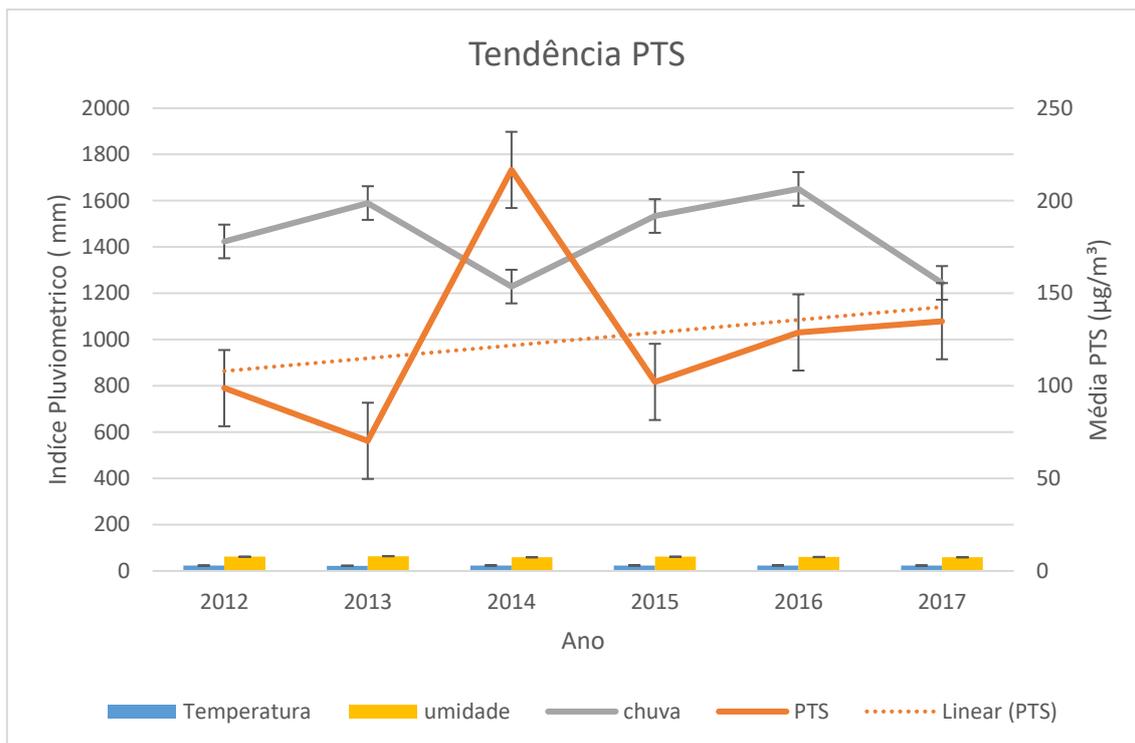


Figura 23 – Tendência das médias PTS.

Observa-se pela Figura 23, que as concentrações obtidas foram comparadas com os limites recomendados pela legislação em suas frações de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para o padrão secundário que não deve ser excedida uma vez por ano para as áreas residenciais. Além do material particulado foram obtidos dados para temperatura, umidade relativa e precipitação. As médias obtidas para concentrações de PTS, com método gravimétrico, o qual fornece os resultados confiáveis, mostra uma tendência de aumento do nível de concentração de partículas no período de 2014, sendo esse o período crítico de concentração de particulados, onde verifica o menor índice de chuva no período estudado e como consequência excedeu os padrões de qualidade do ar em acordo a Resolução Conama 003/90, onde define as concentrações de poluentes atmosféricos, que pode afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população e a materiais e ao meio ambiente em geral.

5.3 Partículas Inaláveis MP₁₀

As concentrações medias diárias resultantes das amostragens das partículas inaláveis de MP₁₀, da estação de monitoramento foram agrupadas em um gráfico, mostrando o perfil das concentrações medias de 24 horas do MP₁₀ no período de 2012 a 2017.

A Figura 24 mostra a média de concentração de MP₁₀, comparando com os padrões primários e secundários definidos na CONAMA 03/90 e no padrão final da CETESB.

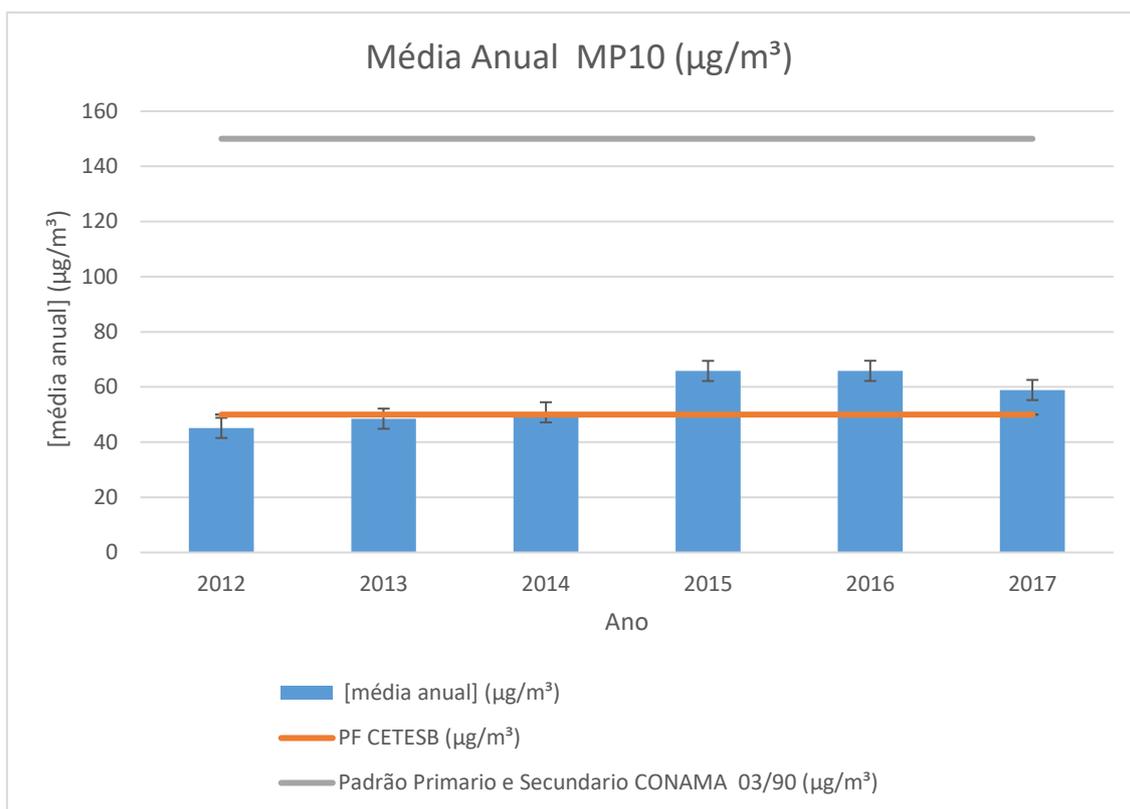


Figura 24 – Média da concentração MP₁₀ 2012 a 2017.

Para o período de 2012 a 2017 observa-se que a concentração média de 24 horas não ultrapassou o padrão diário da concentração de material particulado inalável MP₁₀ referente à norma do CONAMA 03/90, sendo definido como padrão primário e secundário de 150 µg/m³, estando dentro dos padrões definidos pela norma Federal.

Os padrões estaduais de qualidade do ar de São Paulo, que é referência em estudo de qualidade do ar, conforme Decreto Estadual nº 59113/13 (CETESB), a concentração do padrões finais (PF) são aplicados em etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, média de 24 horas de 50 µg/m³, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

Observa-se que para essa meta de qualidade do ar foi excedida durante esse período. Podemos ressaltar que nesta legislação estadual, e definida em 3 etapas para chegar no padrão final, tendo sido plotado na Figura 24, somente o maior índice ou índice final. As demais metas Intermediárias devem ser obedecidas conforme as etapas determinadas em meta intermediária etapa 1, meta intermediária etapa 2, meta intermediária etapa 3 e o padrão final conforme Tabela 6.

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3.

Observa-se que o padrão final descrito do Decreto Estadual nº 59113/13 (CETESB) é o mesmo definido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), sendo considerado o índice primário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme observado na Figura 24.

No ano de 2014, o valor padrão para partículas para o período de acordo com a média anual, definido pela CETESB, ficou no limite do padrão anual o que com a margem de erro pode ser considerado crítico pois ultrapassou o índice primário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que desperta uma atenção, caso não seja feita alguma medida mitigadora, em pouco tempo, principalmente com o crescimento populacional e dos veículos, esse valor pode ser ultrapassado, o que ocorreu nos anos seguintes.

Durante os anos de 2015, 2016 e 2017, o valor padrão da média global anual foi ultrapassado de acordo com a legislação da CETESB e OMS, assim pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), poderiam apresentar sintomas como tosse seca e cansaço, despertando aqui uma grande preocupação com a saúde da população exposta a essa concentração de particulados, pois o local da amostra é uma área comercial onde várias pessoas laboram 8 horas diárias sendo exposto a essas concentrações.

Os Padrões Estaduais de Qualidade do Ar de Minas Gerais, utiliza o Padrão Primário e Secundário, concentração média de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano, observamos que não foi excedida neste período de 2012 a 2017, para o MP_{10} .

Durante o período de maio a setembro, de acordo com os dados meteorológico, é o período mais seco do ano na região, sendo considerados os demais períodos como períodos úmidos, devido a sua concentração de umidade relativa e índice pluviométrico.

Como as condições climáticas desfavoráveis à remoção de poluentes no período seco, esse mesmo intervalo anual pode ser considerado o mais crítico, onde verificou as maiores concentrações de MP_{10} no ano.

Na Figura 25 são apresentados os resultados obtidos 2012 a 2017 dividido em períodos úmidos e secos comparados ao padrão anual aceitável.

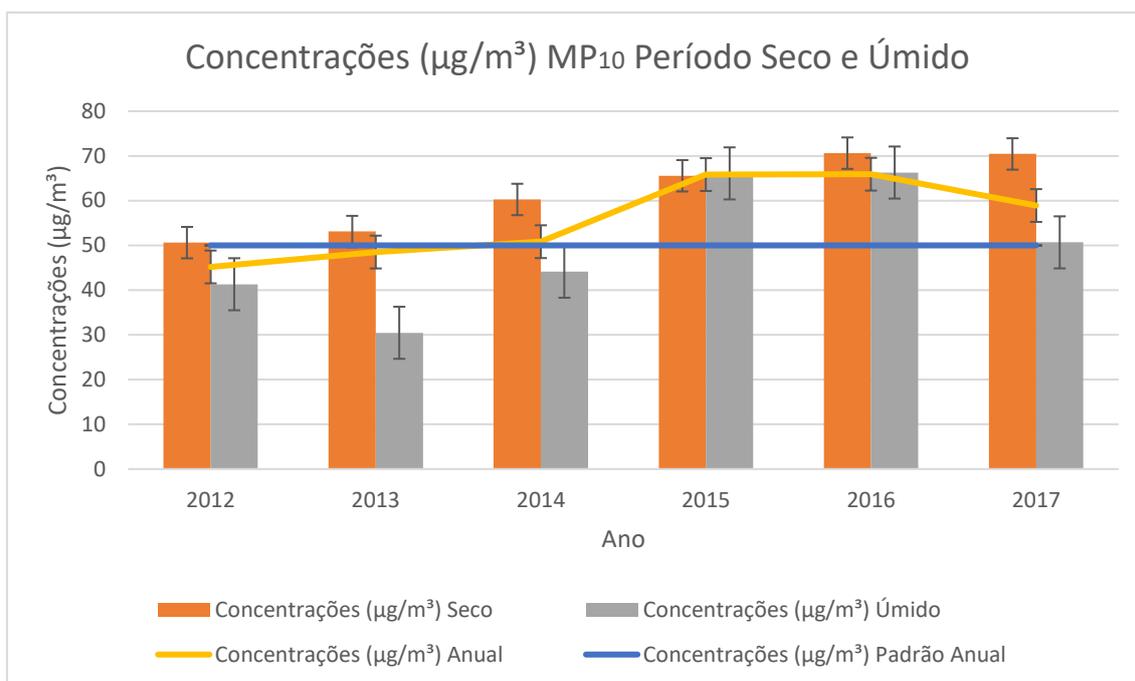


Figura 25 – Média da concentração MP₁₀ período seco e úmido.

Os resultados dos dados da análise estatística descritiva da concentração de material particulado para o período de 2012 a 2017, estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Análise estatística descritiva para MP₁₀ 2012 a 2017.

Estatísticas	MP ₁₀
	Verão 2016/2017
Números de pontos	6
Média Aritmética (µg/m³)	56,2
Int. Confiança(-95%)	48,6
Int. Confiança(+95%)	63,8
Mediana (µg/m³)	55,1
Mínimo (µg/m³)	45,1
Máxima (µg/m³)	68,0
Desvio padrão (µg/m³)	9,5
Coefficiente de variação	16,8
Variância	90,2
Curtose	-2,2
Assimetria	0,1

Fonte: Autor,2018.

A Figura 26 mostra as médias das concentrações de material particulados (MP_{10}) plotados conjuntamente com o índice pluviométrico.

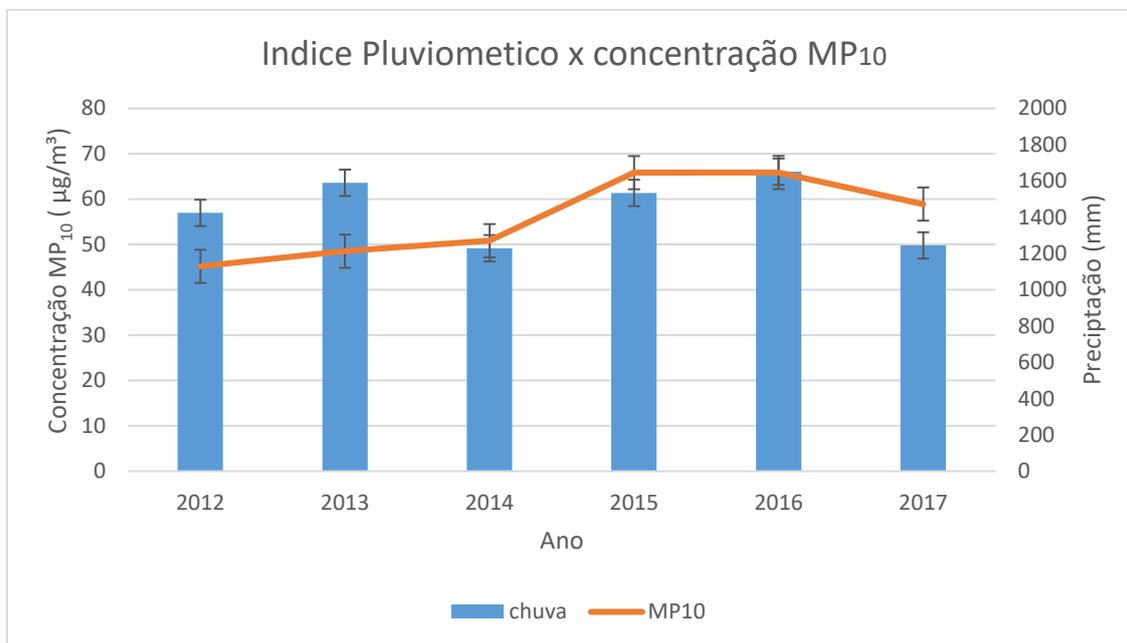


Figura 26 – Média índice pluviométrico e concentração MP_{10} .

No ano de 2014 o índice pluviométrico teve a menor variação pluviométrica da pesquisa durante o período avaliado, sendo que, este aspecto ambiental contribuiu para o aumento da concentração de particulados no ano.

No ano de 2017 foi o segundo ano com menor índice pluviométrico, mas conforme a Figura 26, nos anos de 2015 e 2016 a concentração de material particulado teve um alto índice, o que nos leva a verificar que somente o índice pluviométrico sozinho não é capaz de interferir na dispersão deste particulado. Dessa forma, deve-se verificar a umidade relativa e a temperatura, bem como outros dados meteorológicos como velocidade do vento, pressão atmosférica e radiação solar.

Na cidade de Uberlândia, as variações climatológicas podem ser divididas em dois períodos distintos de acordo com a temperatura, umidade relativa e índice pluviométrico. Os períodos são classificados em período úmido e período seco, sendo o período seco o mais crítico para a qualidade do ar, devido a uma redução do índice pluviométrico, baixa umidade relativa e redução da média da temperatura, sendo os fatores que contribuíram de forma direta, para o aumento médio da concentração do material particulado.

A Figura 27 mostra as médias das concentrações de material particulados (MP_{10}) plotados conjuntamente com a umidade relativa.

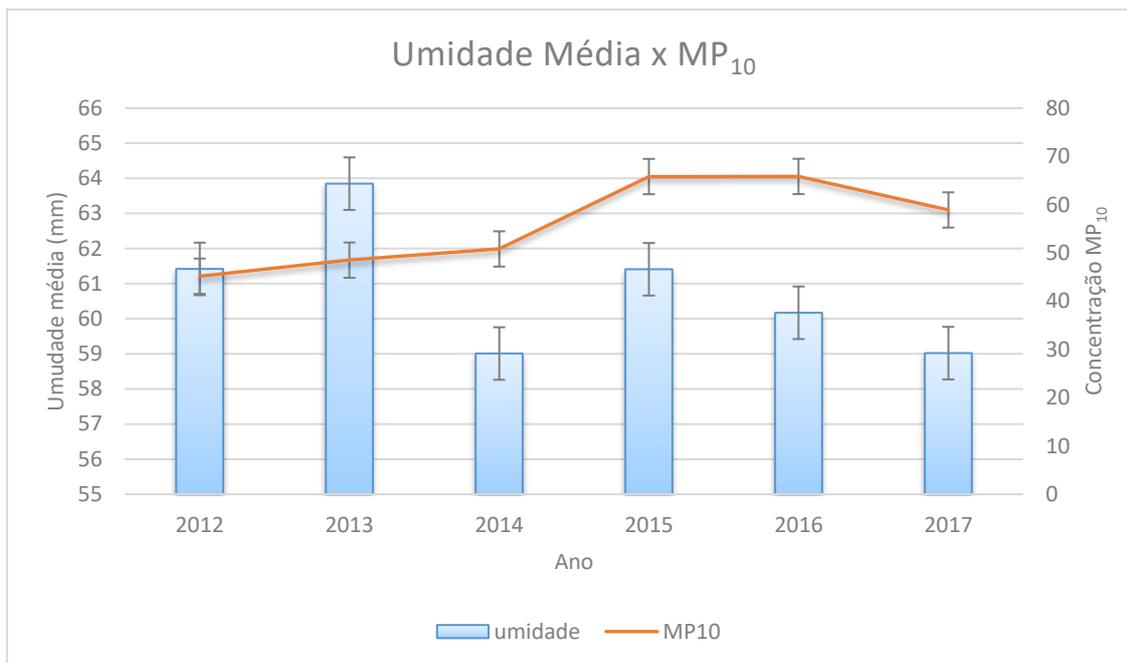


Figura 27- Média umidade relativa e concentração MP₁₀

No período de 2014 a 2017 a média da umidade relativa se manteve abaixo de 61%, o que resultou no maior índice médio da concentração de particulado neste período, sendo ultrapassado a média global anual de acordo com a legislação da CETESB, assim pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), poderiam apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.

A Figura 28 mostra os resultados de médias das concentrações de material particulados (MP₁₀) conjuntamente com a temperatura.

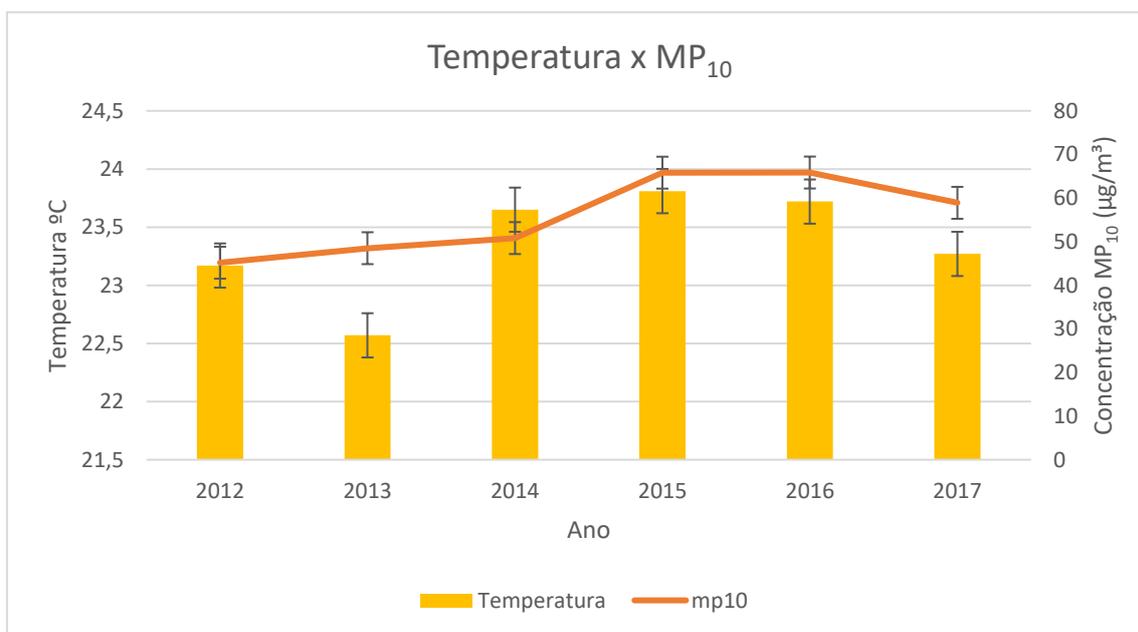


Figura 28: Média temperatura e concentração MP₁₀

A variação da temperatura, que provoca oscilações no grau de poluição deve ser analisado em conjunto com os demais parâmetros climatológicos, sendo sua maior interferência nos períodos secos, com menor índice de temperatura.

A Figura 29 mostra os resultados da tendência das médias das concentrações de particulados totais (PTS) com a temperatura, umidade e precipitação.

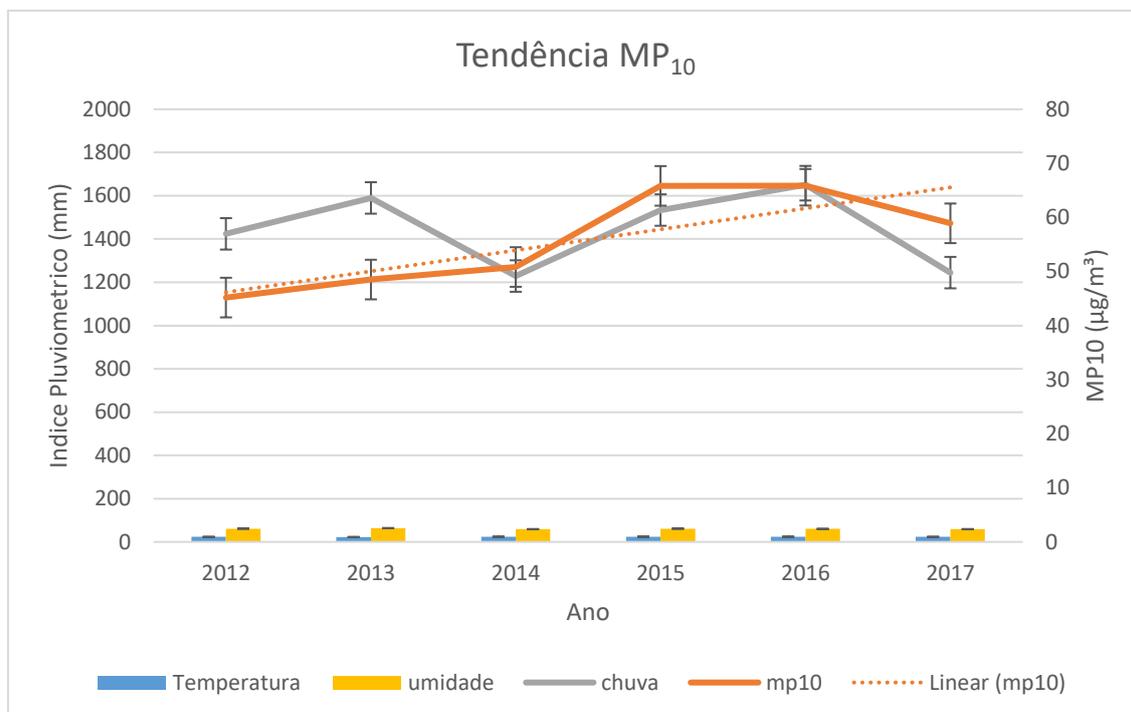


Figura 29: Tendência concentração MP₁₀

Pode-se observar que, o perfil de temperatura e o índice umidade relativa, que tem influência na variação da concentração das partículas, teve uma estabilidade nos períodos estudados. Pelo fato do ano de 2014 ter apresentado o menor índice de chuvas, em relação aos demais, observou-se um aumento do número de partículas.

De acordo com a resolução CONAMA 003/90, para as partículas inaláveis o padrão primário e secundário a concentração média de 24 horas, de 150 µg/m³, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano. Observa-se que não foi ultrapassado esse limite em comparação a essa legislação.

5.4 Qualidade do ar

Os processos industriais e os veículos automotores são, dentre as atividades antrópicas, as maiores causas da introdução de substâncias poluentes à atmosfera, muitas delas tóxicas à saúde humana e responsáveis por danos à flora e aos materiais.

De uma forma geral, a qualidade do ar é produto da interação de um complexo conjunto de fatores dentre os quais destacam-se a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes. Frequentemente, os efeitos da má qualidade do ar não são tão visíveis comparados a outros fatores mais fáceis de serem identificados. Contudo, os estudos epidemiológicos têm demonstrado correlações entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos de morbidade e mortalidade, causadas por problemas respiratórios (asma, bronquite, enfisema pulmonar e câncer de pulmão) e cardiovasculares, mesmo quando as concentrações dos poluentes na atmosfera não ultrapassam os padrões de qualidade do ar vigentes. As populações mais vulneráveis são as crianças, os idosos e as pessoas que já apresentam doenças respiratórias (Ambiente, 2018).

A estrutura do índice de qualidade do ar, tem como referência, o Decreto Estadual nº 59113/13 do Estado de São Paulo, que estabelece os novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo. Essa classificação da qualidade do ar é determinada pelo maior índice, ou seja, o pior caso. Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade ou meta intermediária em vigor, sempre será realizada conforme a Tabela 12.

A Tabela 12 mostra a estrutura do índice de qualidade do ar comparado ao PF CETESB e OMS.

Estrutura do índice e qualidade o ar			
Qualidade	Índice	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 - 100	0 - 50
N2 – Moderada	41 – 80	>100 - 150	>50 – 100
N3 – Ruim	81 – 120	>150 - 240	>100 – 150
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>240 - 375	>150 – 250
N5 – Péssima	>200	>375	>250

Tabela 12: Estrutura do índice de qualidade do ar.

Fonte: Adaptado CETESB, 2018.

Os padrões primários de qualidade do ar, são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população e os padrões secundários são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

O local da amostra está localizado no entorno de área comercial e residencial, não sendo assim uma área industrial produtiva, será observado o padrão secundário como referência para a qualidade do ar para a resolução CONAMA 03/90. Como o objeto e a preservação da saúde, o bem maior da população, conforme definido na constituição federal de 1988, essencial a sadia qualidade de vida, vamos comparar os resultados ao Decreto Estadual nº 59113/13 do Estado de São Paulo, que estabelece limites de acordo com a OMS, onde define o índice de qualidade definido em categorias por tipo de particulado.

Para PTS, foi considerado, como qualidade do ar boa, o índice entre 0 a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para índice moderada entre maior que 100 a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para índice ruim maior que 150 a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para índice muito ruim maior que 240 a $375 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para índice péssimo maior que $375 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Para MP_{10} , foi considerado, como qualidade do ar boa, o índice entre 0 a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para o período de para índice moderada maior que 50 a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para índice ruim maior que 100 a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para índice muito ruim maior que 150 a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para índice péssimo maior que $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Tabela 13 mostra o índice da qualidade do ar na cidade de Uberlândia, de acordo com os dados observado neste estudo, comparado ao Decreto Estadual nº 59113/13 do Estado de São Paulo e a Organização Mundial de Saúde.

Índice de qualidade do ar Uberlândia						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PTS	Boa	Boa	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
MP_{10}	Boa	Boa	Ruim	Moderada	Moderada	Moderada

Tabela 13- Índice de qualidade do ar de Uberlândia

A Tabela 13, apresenta nos períodos de 2012 a 2013 um índice de qualidade do ar boa para o PTS e MP_{10} , em 2014 esse índice para foi ruim para o MP_{10} e moderado para o PTS, onde observa-se, que neste ano foi registrado o período mais seco e condições favoráveis para o aumento da concentração de particulados. Nos anos de 2015 a 2017 o PTS e o MP_{10} foram classificados como moderado, o que alerta para medidas de controle eficazes para estabilizar e reduzir as concentrações de materiais particulados na região central de Uberlândia com objetivo e preservar a saúde da população.

6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1 Conclusão

De acordo com os dados, pode-se apresentar as seguintes considerações finais:

- A média dos parâmetros climatológicos da cidade de Uberlândia no período de 2012 a 2017 teve uma temperatura média de 23,3°C, média de umidade relativa de 60,8% e índice de pluviométrico de 123,8 mm.
- Em comparação a Resolução CONAMA 003/90, observa-se:
 - O Padrão Primário para PTS, atende ao limite definido na legislação federal.
 - O Padrão Secundário para PTS, no ano de 2014 foi acima do limite, os demais anos estudados apresentou concordância com os limites definidos na legislação federal, porém se observa que a concentração destes particulados aumenta anualmente sua concentração na área estudada.
- Em comparação a Deliberação Normativa COPAM 01/81, observa-se:
 - Padrão Primário do PTS está dentro do limite da legislação;
 - Padrão Secundário MP₁₀, está dentro do limite da legislação;
- Em comparação ao Decreto Estadual nº 59113/13 e OMS, a concentração dos padrões finais, observa-se:
 - O índice de qualidade do ar, para o PTS, para o período de 2012, 2013 é classificada como boa;
 - Para o período de 2014 a 2017 é classificada como moderada para PTS, onde foi observado o crescimento da concentração anualmente;
 - O índice de qualidade do ar, para o MP₁₀, para o período de 2012, 2013 e classificada com boa.
 - Foi observado um período crítico para o MP₁₀, em 2014, onde foi classificado como ruim.
 - Nos períodos de 2015 a 2017, para o MP₁₀, teve uma baixa na concentração, porém observa-se um crescimento do índice deste material particulado e a qualidade o ar passou a ser classificada como moderada.

6.2 Perspectivas Futuras

- Desenvolver um estudo para quantificar e monitorar as partículas de 2,5 μm , por ser mais prejudicial a saúde devido ao diâmetro da partícula ser menor o facilita a contaminação da população.
- Desenvolver um estudo da frequência, da distribuição e dos determinantes dos problemas de saúde das populações, relacionado a concentração de material particulado, bem como a aplicar esses estudos no controle dos eventos relacionados ao controle e monitoramento de poluentes e a saúde com um estudo epidemiológico.
- Desenvolvimento de medida mitigadora para discutir políticas de controle de poluição, redução, estabilização e monitoramento para preservação da saúde da população local.

7 REFERÊNCIAS

AMBIENTE, M. D. M. Qualidade do Ar. <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>, 2018. Acesso em: 10/02/2018.

ANP. AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. <http://www.anp.gov.br/wwwanp/>, 2018. Acesso em: 14/02/2018.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. p. Substancie Priority List, 2017. Disponível em: < <https://www.atsdr.cdc.gov/> >. Acesso em: 25/07/2017.

BRASIL. **Constituição da Republica Federativa do Brasil de 1988.** 1988. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm >. Acesso em: 20/09/2017.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - Ibama. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012., Brasília-DF, 2012a. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/> >. Acesso em: 14/04/2017.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - Ibama. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012., Brasília-DF, 2012b. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/> >. Acesso em: 14/04/2017.

CELLI, C. E. **Monitoramento do Material Particulado Respirável na Atmosfera no Centro da Cidade de São Paulo.** SP.UFSCar/DEQ: 1999: 122p p. 1999.

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo.** São Paulo-SP, 2013. Disponível em: < www.cetesb.sp.gov.br >. Acesso em: 24/07/2017.

_____. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
<http://cetesb.sp.gov.br/>, 2018. Acesso em: 14/02/2018.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 03** 28/06/90, 1990. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> >. Acesso em: 24/07/2017.

DENATRAN. Ministério das Cidades Departamento Nacional de Trânsito. site denatran, 2017. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/610-frota-2017> >. Acesso em: 20/06/2017.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo-SP Editora Oficina de textos: 223 p. 2012.

DIAS, J. W. C. **Manual de Operação**. Energética Rio de Janeiro: 2016 2016.

FRONDIZI, C. A. **MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR**. E-PAPERS. Rio de Janeiro - Brazil: 2008: 277 p. 2008.

GRIMALT, J. Stephen T. Holgate, Jonathan M. Samet, Hillel S. Koren and Robert L. Maynard (eds.), **Air Pollution and Health**. An International Journal of Environmental Pollution. Dordrecht. 129: 387-387 p. 2001.

IBGE. **Estimativa da população residente em Uberlândia**. 2016. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=317020> >. Acesso em: 24/07/2017.

LIMA, E. A. P. **Um Estudo Sobre a Qualidade do Ar em Uberlândia: Material Particulado em Suspensão**. PPGEQ/Faculdade de Engenharia Química da UFU, Uberlândia-MG: 148 p. 2007.

MORENO, T. et al. **Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona**. Environmental Research: october 2015. 142: 495-510 p. 2015.

PHILIPPI, A.; ROMÉRO, M. D. A.; COLLET, G. **Curso de gestão ambiental**. Barueri- SP, Manole: 2004: 1045 p. 2004.

SEINFELD, J. H.; PANDIS. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. John Wiley & Sons, New York 2006.

SETTRAN. **ESTATÍSTICAS BDI DOS TRANSPORTES, DADOS TÉCNICOS DO CTA ESTATÍSTICAS**.

http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/17244.pdf:
2017 2017.

TRINDADE, S. H. K. **Efeito das diferentes frações do material particulado proveniente da emissão de motores movidos a óleo diesel sobre o epitélio do palato da rã**. Tese (Doutorado em Otorrinolaringologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Acesso em: Fevereiro 2018.