

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**EDUARDO CORRÊA NOSSE**

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PADRÃO DE MONITORAMENTO DE  
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO COM RELAÇÃO AO INTERVALO DE  
TEMPO DE AMOSTRAGEM**

**CRICIÚMA**

**2014**

**EDUARDO CORRÊA NOSSE**

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PADRÃO DE MONITORAMENTO DE  
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO COM RELAÇÃO AO INTERVALO DE  
TEMPO DE AMOSTRAGEM.**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Paula Tramontim Pavei

**CRICIÚMA**

**2014**

**EDUARDO CORRÊA NOSSE**

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PADRÃO DE MONITORAMENTO DE  
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO COM RELAÇÃO AO INTERVALO DE  
TEMPO DE AMOSTRAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Controle de Qualidade do Ar.

Criciúma, 01 de dezembro de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.<sup>a</sup> Paula Tramontim Pavei - Mestre - UNESC - Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman - Mestre- UNESC

Prof. Gustavo José Deibler Zambrano - Eng. Ambiental - UNESC

**Dedico este trabalho aos meus pais, por todo carinho e amor que me foi dado, além das oportunidades que estes me proporcionaram ao longo da vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos familiares, em especial aos meus pais, Vera e Eduardo, pelo incentivo e apoio nos estudos, e por todo o carinho e amor que me foi concedido ao longo de meus anos de vida. Ao meu pai ainda, gostaria de agradecer a disponibilização de seu tempo e vasto conhecimento na área para elaboração deste trabalho.

A minha orientadora Paula Tramontim Pavei, por ter aceitado me guiar perante a elaboração deste trabalho e ter disponibilizado parte de seu tempo e conhecimento para isto.

Ao meu supervisor de campo Renan Migotto Perin, pela contribuição na elaboração deste trabalho.

Ao Instituto Ambiental Catarinense – Divisão de Poluentes Atmosféricos, pela oportunidade de realizar o estágio obrigatório e disponibilização de todos os equipamentos e infraestrutura a fim de que eu pudesse realizar as etapas necessárias para elaboração do trabalho.

Aos professores Gustavo José Deibler Zambrano e Marta de Souza Hoffman, por aceitarem fazer parte de minha banca de defesa.

Aos colegas, por seguirem junto a mim nesta caminhada acadêmica, e enfrentarem comigo as dificuldades durante essa trajetória.

Aos amigos, por me apoiarem e me proporcionarem momentos ímpares durante toda minha vida.

Por fim, a todos que de alguma maneira vieram a colaborar na elaboração deste trabalho.

**“O que me preocupa não é o grito dos  
maus, mas o silêncio dos bons”.**

**Martin Luther King**

## RESUMO

As partículas totais em suspensão (PTS) são partículas que possuem diâmetro aerodinâmico menor que 50 µm. A poluição do ar causada pelas mesmas pode ocasionar uma série de efeitos à saúde populacional tais como problemas respiratórios, cardiovasculares, intoxicação e até mesmo a morte. Além disso, podem gerar diversos incômodos à qualidade de vida da população. Estas partículas são os poluentes mais comuns, devido ao fato de possuírem diversas fontes antrópicas tais como: processos de combustão e industriais, o uso de veículos, além das diversas fontes naturais como o vento, os vulcões, os vegetais, dentre outros. Frequentemente são feitas reclamações por parte da população a respeito da qualidade do ar relacionada às mesmas, mas ao realizarem-se as medições percebe-se que em muitos casos as concentrações encontradas estão abaixo dos níveis estabelecidos pelas legislações vigentes. Entretanto os monitoramentos seguem normas que estipulam um intervalo de tempo de amostragem de 24 horas, o que impossibilitaria dizer que a população realmente não estaria sujeita a um grau de poluição maior durante certo intervalo de tempo, sendo esta diluída ao longo do período restante. Em função do exposto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia comparativa de monitoramento da qualidade do ar de partículas totais em suspensão, entre o período de coleta de poluentes atmosféricos estabelecidos pelas normas vigentes (24h) e outro intervalo de tempo, visando avaliar a diluição de sua concentração ao longo do período monitorado. Para isto realizou-se um monitoramento destas partículas utilizando-se o método do amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS). O monitoramento realizado utilizou dois equipamentos em paralelo, operando em intervalos de tempo distintos (24 e 12 horas diurnas e noturnas), visando avaliar a diluição das concentrações de partículas totais em suspensão. As concentrações obtidas em todos os intervalos de tempo não extrapolaram os padrões primários diários estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 003/1990, porém estas expressaram uma tendência à ultrapassar a média geométrica anual estabelecida. As concentrações mais altas foram obtidas no monitoramento do período de 12 horas diurnas, sendo que o período de 12 horas noturnas apresentou as menores concentrações. Com isso pode-se concluir que realmente há uma diluição no período noturno. Porém a diminuição nas concentrações não foi proporcional ao decréscimo da contribuição relativa às fontes de emissão. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que as partículas totais em suspensão possuem um tamanho pequeno, o que lhes confere um tempo de detenção relativamente grande na atmosfera, sendo assim, as suas concentrações não estão estritamente ligadas a emissões momentâneas, mas a um histórico de contribuição aliado aos fatores de dispersão dos poluentes. A diluição das concentrações evidenciada chegou a 30,34% comparando-se os valores de 12 horas diurnas aos de 24 horas, desta forma pode-se dizer que no período diurno a população pode realmente estar sujeita a concentrações que extrapolam os limites estabelecidos, mesmo quando o monitoramento aponte concentrações dentro dos limites para o período de 24 horas. Fato este que indica um possível risco à saúde populacional.

**Palavras-Chave:** Poluição atmosférica; Partículas totais em suspensão; Amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS).

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Divisão da atmosfera de acordo com o perfil térmico .....   | 17 |
| Figura 2 - Relação de tamanho de partículas poluentes. ....  | 22 |
| Figura 3 - Entrada de ar no amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS) .....                            | 40 |
| Figura 4 - Equipamento AGV PTS .....   | 41 |
| Figura 5 - Conjunto Porta-Filtro/Motor .....   | 42 |
| Figura 6 – Localização do município de Criciúma .....  | 44 |
| Figura 7- Localização do ponto de monitoramento. ....  | 46 |
| Figura 8 – Equipamentos instalados no ponto de monitoramento.....  | 47 |
| Figura 9 – Vista lateral dos equipamentos com as obras da Via-rápida ao fundo. ....  | 47 |
| Figura 10 – Vista frontal dos equipamentos instalados .....  | 49 |
| Figura 11 – Filtro do AGV PTS usado e novo. ....   | 51 |
| Figura 12 – Carta já utilizada no AGV PTS e com as deflexões analisadas. ....  | 53 |
| Figura 13- Concentrações de PTS (24h) – AGV PTS nº1 .....  | 58 |
| Figura 14– Concentrações de PTS (AGV PTS nº1) e Pluviometria.....  | 59 |
| Figura 15 – Localização do ponto de monitoramento e possíveis fontes de poluição. ....   | 61 |
| Figura 16 - Concentrações de PTS diurno (12 h) – AGV PTS nº2. ....   | 63 |
| Figura 17 - Concentrações de PTS noturno (12 h) – AGV PTS nº2.....   | 65 |
| Figura 18 - Concentração de PTS (24h) – AGV PTS nº2.....   | 67 |
| Figura 19 - Comparativo das concentrações de PTS obtidas nos monitoramentos em paralelo.....   | 68 |
| Figura 20 – Comparativos das concentrações de PTS obtidas em 24 horas e a média dos monitoramentos de 12 horas diurnas e noturnas..... | 69 |
| Figura 21 - Comparativo das concentrações obtidas em 24 horas .....  | 70 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição simplificada da atmosfera em percentual de volume.....                                   | 16 |
| Tabela 2– Padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº. 003 de 1990 .....                                 | 25 |
| Tabela 3 – Novos padrões de qualidade do ar – CETESB 2013.....   | 27 |
| Tabela 4 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (DE nº 59113/2013) ..                             | 28 |
| Tabela 5 - Estrutura do índice de qualidade do ar.....   | 29 |
| Tabela 6 – Padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto nº 14.250 .....                               | 31 |
| Tabela 7 – Padrões Nacionais de Qualidade do ar Ambiente – NAAQS/U.S.EPA ...                                   | 34 |
| Tabela 8 – Dados meteorológicos médios para 24 horas. ....   | 54 |
| Tabela 9 - Dados meteorológicos médios para 12 horas diurnas. ....   | 55 |
| Tabela 10 - Dados meteorológicos médios para 12 horas noturnas. ....   | 56 |
| Tabela 11 – Resultados do monitoramento de 24 horas – AGV PTS nº1. ....  | 57 |
| Tabela 12 – Relação entre os ventos predominantes e as concentrações de 24h<br>obtidas com o AGV PTS nº1. .... | 60 |
| Tabela 13 - Resultados do monitoramento diurno (12 horas) – AGV PTS nº2.....                                   | 62 |
| Tabela 14 – Resultados do monitoramento noturno (12 horas) – AGV PTS nº2.....                                  | 64 |
| Tabela 15 - Resultados do monitoramento de 24 horas – AGV PTS nº2.....   | 66 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGV PTS - Amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)

CO – Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

E – Leste

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

IQAR – Índices de qualidade do ar

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

FMC - Fumaça

MP10 – Material particulado inalável (<10 µm)

MP2,5 – Material particulado inalável (<2,5 µm)

MAA – Média aritmética anual

MGA – Média geométrica anual

mmHg – Milímetros de mercúrio

mm – Milímetros

m<sup>3</sup>/min – Metro cúbico por minuto

N – Norte

NAAQS – National Ambient Air Quality Standards

NBR – denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

NE – Nordeste

NO<sub>x</sub> – Óxidos de nitrogênio

NW – Noroeste

OMS – Organização Mundial da Saúde

O<sub>3</sub> – Ozônio/ Oxidante fotoquímico

PTS – Partículas totais em suspensão

S – Sul

SE – Sudeste

SO<sub>x</sub> – Óxidos de enxofre

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

SO<sub>3</sub> – Trióxido de enxofre

SW – Sudoeste

U.S EPA – Environmental Protection Agency of United States

WHO – World Health Organization

$\mu\text{m}$  – micrometro

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  – micrograma por metro cúbico

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | <b>15</b> |
| 2.1 ATMOSFERA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....  | 15        |
| 2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....  | 18        |
| <b>2.2.1 Partículas totais em suspensão</b> .....   | <b>19</b> |
| 2.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR.....   | 23        |
| <b>2.2.1 Resolução CONAMA nº 003 de 1990</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>2.2.2 Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013 – CETESB</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>2.2.1 Decreto nº 14.250, de 05 de junho de 1981 – Santa Catarina</b> .....   | <b>30</b> |
| <b>2.2.2 Lei Nº 14.675, de 13 de abril de 2009 – Santa Catarina.</b> ....   | <b>32</b> |
| <b>2.2.3 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) – United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA)</b> ..... | <b>33</b> |
| 2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR. ....  | 35        |
| <b>2.3.1 Método de amostrador de grandes volumes para partículas totais em suspensão (AGV PTS).</b> .....                   | <b>39</b> |
| <b>2.3.2 Norma ABNT NBR 9587</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....  | <b>44</b> |
| 3.1 AREA DE ESTUDO – SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO PONTO DE MONITORAMENTO .....  | 44        |
| 3.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR .....  | 48        |
| <b>3.2.1 Coleta de Dados</b> .....  | <b>48</b> |
| <b>3.2.2 Análise e tratamento de dados</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS</b> .....   | <b>54</b> |
| 4.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR .....  | 54        |
| 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO AR EM DIFERENTES PERÍODOS DE MONITORAMENTO. ....                                    | 67        |
| <b>5 CONCLUSÃO</b> .....  | <b>72</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>74</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial e o aumento da população fizeram com que a demanda por energia, bens de consumo, alimentos e demais fatores necessários para a sobrevivência e evolução humana se elevasse significativamente. Essa necessidade de expansão dos setores produtivos ocasionou um acréscimo na degradação do meio ambiente, de forma que a poluição passou a ser encarada como um problema cotidiano.

Ao falarmos em poluição, logo se imagina a relacionada aos recursos hídricos e ao solo devido à ênfase que estes recebem, e também ao visual impactante ocasionado nos mesmos. Porém, a degradação do meio atmosférico, apesar de menos perceptível, apresenta o mesmo grau de severidade das demais. A água e o solo demonstram mais facilmente o seu grau de deterioração, sendo mais fácil tratá-los e evitar o contato ou consumo destes recursos, quando comparados ao recurso atmosférico. Tomando como exemplo a água o indivíduo pode optar por consumi-la ou não de uma fonte que não lhe pareça confiável, já com o ar não há essa escolha, pois não podemos nos privar de respirar e estamos em constante contato com a atmosfera e com as substâncias nela presentes.

A poluição do ar pode causar uma série de efeitos, dentre eles: toxicidade aos seres vivos, incômodos ocasionados por odores, efeitos sobre as propriedades dos materiais, alterações nas propriedades da atmosfera, efeitos econômicos, dentre outros. Esta pode ainda ocasionar até mesmo mortes, que geralmente ocorrem de forma lenta e discreta, tornando-se preocupante, visto que não desperta na população a real consciência em relação ao problema (LISBOA, 2007a).

Com o intuito de regular e controlar a qualidade do ar foram criadas legislações que limitam as concentrações de poluentes na atmosfera. No Brasil a legislação que possui esse papel é a Resolução CONAMA N.º 003 de 28 de junho de 1990, impondo estes limites de concentrações, possuindo padrões diários (24h), anuais (médias), para oito horas e para uma hora de concentrações máximas permitidas, dependendo do poluente ao qual se pretende monitorar (BRASIL, 1990).

Em se tratando dos poluentes que possuem apenas padrões diários e anuais, como é o caso das partículas totais em suspensão, por muitas vezes é notória a insatisfação da população com relação à qualidade do ar referente a este parâmetro, porém ao realizarem-se tais análises os resultados obtidos se encontram

na maioria das vezes dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Entretanto, percebe-se que algumas atividades, cuja influência é avaliada no monitoramento, possuem regime de trabalho menor do que 24 horas, ou seja, no intervalo no qual atividade não estaria operando, os resultados de concentrações obtidos no monitoramento podem estar sendo diluídos. Cabe salientar que outras contribuições também possuem maior influência apenas durante certo período de tempo, como por exemplo o fluxo de veículos, este que é mais intenso e influente na qualidade do ar nos períodos diurnos. Assim, a população pode estar sujeita a exposição de concentrações elevadas durante apenas determinado período de tempo do dia, sendo posteriormente diluídas no restante do período monitorado. Ressalta-se, porém, que a falta de dados a respeito dessa problemática impossibilita confirmar a real ocorrência deste fato.

Salienta-se que existem equipamentos automáticos para a determinação de partículas totais em suspensão que possibilitam a avaliação das concentrações em intervalos de tempo menores, porém estes possuem um valor muito elevado. Este fato inviabiliza sua utilização na região em virtude dos custos das análises serem muito elevados quando comparados com as manuais, tornando assim este método pouco competitivo quando se considerando as questões financeiras.

A falta de dados a respeito do assunto se torna uma problemática importante, pois este tipo de poluição esta diretamente relacionada à saúde e bem estar da população exposta. Mediante esta lacuna de dados, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia comparativa de monitoramento da qualidade do ar de partículas totais em suspensão, entre o período de coleta de poluentes atmosféricos estabelecidos pelas normas vigentes e outro intervalo de tempo, visando avaliar a diluição de sua concentração ao longo do período monitorado.

Para isto, torna-se importante primeiramente alcançar os objetivos específicos do mesmo, sendo eles:

- Definir o melhor local para monitoramento de partículas totais em suspensão na qualidade do ar, que apresente características que possibilitem o estudo comparativo da diluição;

- Realizar duas séries de monitoramentos da qualidade do ar de partículas totais em suspensão, em paralelo, com intervalos de operação distintos (12 e 24 horas);
- Comparar as concentrações de qualidade do ar de PTS com os limites estabelecidos nas legislações vigentes;
- Avaliar a influência das condições meteorológicas observadas nos dias monitorados nos resultados de monitoramento da qualidade do ar;
- Avaliar a diluição da concentração das partículas totais em suspensão nos diferentes intervalos de tempo realizados.

Possibilitando-se então avaliar a temática proposta, verificando a possível diluição do parâmetro partículas totais em suspensão ao longo do período de monitoramento padrão (24 horas), utilizando como critério comparativo um intervalo de tempo menor de monitoramento (12 horas).

O seguinte trabalho está inserido dentro da linha de pesquisa nº 6 do curso de Engenharia Ambiental a qual se refere ao Controle de Poluição do Ar.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ATMOSFERA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os problemas de poluição atmosférica podem ser evidenciados há muito tempo, apesar de terem sido agravados pelo desenvolvimento industrial que ocasionou um grande aumento das emissões de poluentes na atmosfera.

Há registros de que em Roma, há cerca de 2 mil anos, já haviam reclamações com relação à poluição atmosférica. Ainda no século XIII, foram assinadas as primeiras leis de qualidade do ar na Inglaterra, estas que proibiam o uso do carvão com alto teor de enxofre. Além disso, devido à fumaça e odor produzidos, proibiu-se em Londres a queima de carvão durante o período em que ocorriam as sessões do parlamento (BRAGA et al., 2005).

Ainda segundo Braga et al. (2005), houveram muitos casos críticos relacionados à poluição atmosférica, por exemplo, em 1952 na cidade de Londres, onde cerca de 4 mil pessoas morreram devido à poluição do ar. Esses casos acabaram por aumentar o alerta das organizações competentes em relação a este tipo de poluição, concebendo-a certo destaque.

Antes do aprofundamento no âmbito da poluição atmosférica, é necessário compreender o meio ao qual ela afeta: a atmosfera.

Para Lisboa (2007b, p.2), “a atmosfera nada mais é do que uma mistura de gases, inodora e incolor que forma uma capa delgada ao redor da terra”.

A composição dessa mistura de gases é relativamente constante do nível do solo até cerca de 70 km de altitude, sendo que as pequenas variações apresentadas são geralmente ocasionadas pela presença do vapor d’água (LISBOA, 2007b).

A atmosfera é constituída basicamente por nitrogênio, oxigênio, argônio, dióxido de carbono, vapor d’água e em menor quantidade por outros gases tais como neônio, hélio, e hidrogênio (BRAGA et al., 2005).

A tabela 1 apresenta a composição simplificada da atmosfera, mostrando seus principais gases constituintes com suas respectivas fórmulas químicas e percentuais em volume.

Tabela 1 - Composição simplificada da atmosfera em percentual de volume.

| <b>Componente</b>  | <b>Fórmula Química</b> | <b>% em volume</b> |
|--------------------|------------------------|--------------------|
| Nitrogênio         | N <sub>2</sub>         | 78,11              |
| Oxigênio           | O <sub>2</sub>         | 20,95              |
| Argônio            | Ar                     | 0,934              |
| Dióxido de Carbono | CO <sub>2</sub>        | 0,033              |

Fonte: Braga et al., 2005.

Segundo Botkin e Keler (2000) apud Braga et al. (2005) existem também em porcentagens menores na atmosfera gases como o neônio, hélio, xenônio, hidrogênio, metano, ozônio, dióxido de nitrogênio, entre outros. O vapor d'água também está presente na atmosfera, podendo variar de 1 a 4% em volume da sua mistura total dependendo da temperatura e pressão além de outros fatores.

Braga et al. (2005) ainda relata que a composição atual da atmosfera terrestre formou-se a partir de processos físico-químicos e biológicos que iniciaram há milhões de anos.

Para Zilberman (1997, p.36) a atmosfera pode ser definida como sendo:

[...] um sistema dinâmico que muda continuamente. O movimento físico das massas de ar, cada uma com diferente temperatura, pressão umidade e conteúdos de aerossóis produz clima e variação meteorológica. Sendo um vasto sistema químico reagente, a atmosfera tem como combustíveis a luz solar e compostos altamente energéticos emitidos por seres vivos e por atividades humanas agrícolas ou industriais. Vários tipos de reações químicas ocorrem nela; estas reações mudam do dia para a noite com os elementos químicos que se encontram em uma dada parte da atmosfera.

Esses movimentos físicos de massas de ar assim como as diversas condições meteorológicas possuem influência direta na dispersão dos poluentes atmosféricos, conforme explica CETESB (2014a, s.p.):

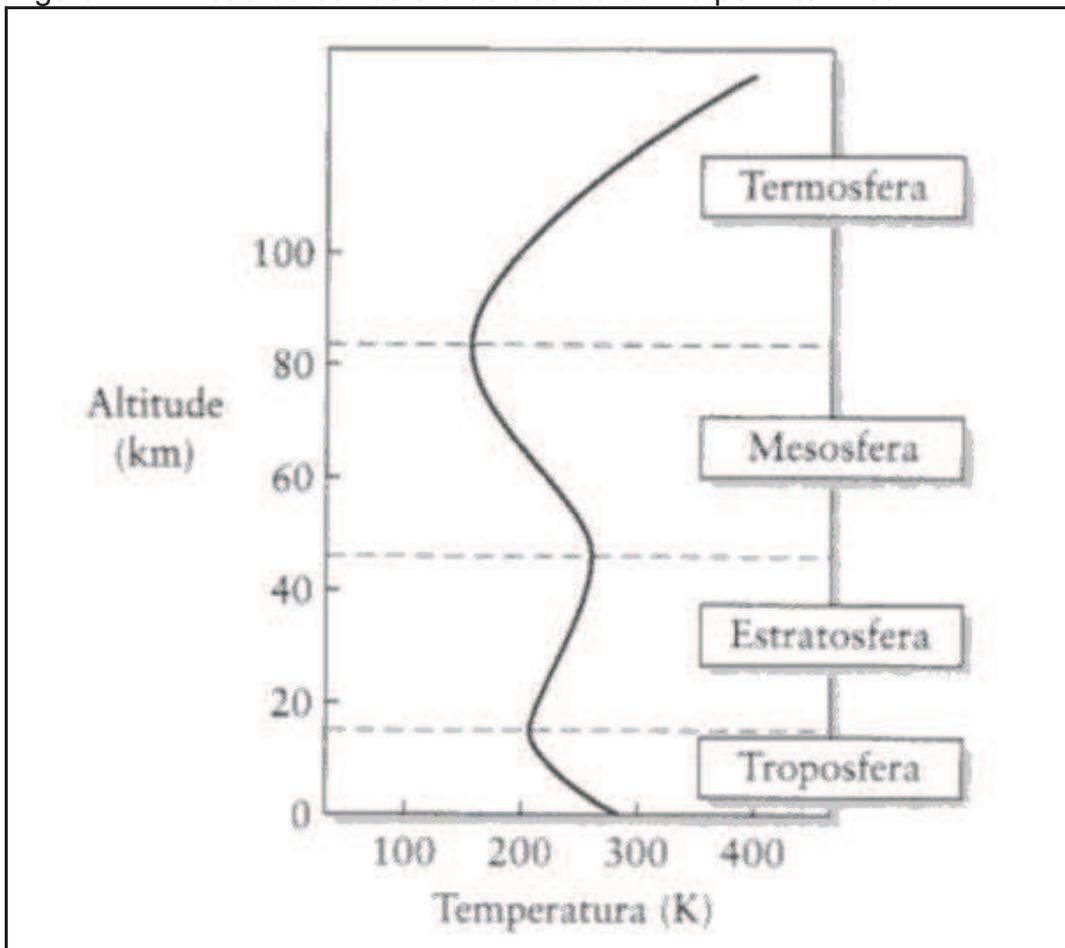
A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude.

A CETESB (2014a) ainda define inversão térmica como uma camada de ar quente formada sobre a cidade, que acaba por aprisionar o ar e impedir que ele se disperse juntamente com os poluentes.

A atmosfera pode ser dividida em quatro camadas principais conforme o seu perfil de temperatura, são elas: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera.

A troposfera é a camada que tem contato direto com o solo da Terra, é nela onde ocorre a maior parte dos fenômenos atmosféricos. Esta possui uma espessura que varia de 5 km (polos) até 18 km (equador). É na troposfera onde se encontram 80% dos gases presentes na atmosfera, sendo que a sua variação de temperatura é inversamente proporcional ao da altitude (VESILIND e MORGAN, 2011). As demais camadas e seus perfis de temperatura podem ser visualizados na figura 1.

Figura 1 - Divisão da atmosfera de acordo com o perfil térmico



Fonte: Vesilind e Morgan, 2011.

Ainda segundo Vesilind e Morgan (2011, p. 272), “excetuando-se os problemas do aquecimento global e da depleção de ozônio estratosférico, os demais problemas de poluição atmosférica ocorrem na troposfera”, sendo assim, esta camada será o ambiente de estudo deste trabalho, pois é nela onde ocorrem os principais fenômenos de dispersão do poluente que será utilizado como objeto de estudo (material particulado – partículas totais em suspensão).

Sabendo que a atmosfera é uma camada composta por diversos gases e que envolve a Terra, pode-se então deduzir que a poluição atmosférica é aquela que atua diretamente nesta camada alterando suas propriedades naturais.

Conforme Art (2001, p.419), entende-se por poluição do ar:

Contaminação do ar por substâncias que interferem direta ou indiretamente na saúde e conforto humanos, diminuem a segurança pela redução de visibilidade ou prejudicam a propriedade corroendo o metal ou pedra. Embora a poluição do ar seja produzida geralmente pela atividade humana, inclui também substâncias naturais como pólen, poeira e emissões vulcânicas.

Essas substâncias citadas, responsáveis por ocasionarem a poluição atmosférica, são denominadas poluentes atmosféricos.

## 2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo com Brasil (1990, s.p.):

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:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

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

Para CETESB (2010, p.9), poluente atmosférico é definido como:

Toda e qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, possa alterar suas condições normais levando à ocorrência de efeitos deletérios reais ou potenciais. Poluentes atmosféricos em forma de matéria podem ser classificados inicialmente em função do estado físico, em dois grupos: material particulado; gases e vapores.

Além de serem classificados de acordo com seu estado físico, os poluentes ainda podem ser classificados de acordo com a sua origem, de forma a dividirem-se também em dois grupos: Poluentes Primários e Poluentes Secundários. Sendo que os Poluentes Primários são os que se apresentam na atmosfera na mesma forma a qual são emitidos pelas fontes. Já os Poluentes Secundários são

aqueles que resultam da reação de um ou mais poluentes primários na atmosfera, ou ainda por constituintes normais atmosféricos, podendo ou não haver a interferência da foto ativação (LISBOA, 2007b).

Um poluente pode ter diversas origens, que chamamos de “fontes”. Estas podem consistir em emissões feitas diretamente na atmosfera (pelas chaminés das fábricas, pelos tubos de escapamento dos automóveis, etc.) ou resultar da transformação química de componentes no ar. (MOUVIER, 1997, p. 6).

Ainda segundo Mouvier (1997) estas fontes distinguem-se em naturais (emissões ocasionadas pela vegetação, oceanos, vulcões, plantas, etc.) e as fontes antrópicas, ou seja, aquelas ocasionadas pela atividade humana (processos industriais, agricultura, automóveis, etc.)

Os poluentes podem também ser classificados de acordo com a sua classe química, dividindo-se em orgânicos e inorgânicos (CETESB, 2010).

Segundo Braga et al. (2005) e CETESB (2014a), os principais poluentes do ar são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos, oxidantes fotoquímicos, material particulado (no qual se encontram as classificações: partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10), partículas inaláveis finas (MP2,5) e fumaça (FMC) ), asbestos (amianto), metais, gás fluorídrico (HF), amônia (NH<sub>3</sub>), gás sulfídrico, pesticidas e herbicidas, substâncias radioativas, calor e som.

Dentre estes, alguns se destacam por serem considerados poluentes padronizados no Brasil, ou seja, são poluentes previstos na resolução do CONAMA nº 003 de 1990 possuindo assim limites de concentração na atmosfera definidos. São eles: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (BRASIL, 1990).

O parâmetro partículas totais em suspensão receberá uma abordagem mais aprofundada devido ao fato de ser o objeto de estudo deste trabalho.

### **2.2.1 Partículas totais em suspensão**

Define-se material particulado o conjunto de poluentes constituídos por poeiras, fumaças e qualquer material sólido ou líquido que possua a capacidade de

manter-se em suspensão na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho (CETESB, 2014a).

Ainda conforme a CETESB (2014a) o material particulado pode ser classificado em:

- Partículas totais em suspensão (PTS): São as partículas que possuem o diâmetro aerodinâmico menor que 50  $\mu\text{m}$ . Uma parte destas partículas é inalável (menor que 10  $\mu\text{m}$ ) podendo causar problemas à saúde. Já a outra parte que possui um diâmetro aerodinâmico maior, pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.
- Partículas inaláveis (MP10): são as partículas que possuem o diâmetro aerodinâmico menor que 10  $\mu\text{m}$ . Dependendo do tamanho destas partículas (variando de 0 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro aerodinâmico), podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.
- Partículas inaláveis finas (MP2,5): são as partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 2,5  $\mu\text{m}$ . Devido ao seu pequeno tamanho conseguem penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.
- Fumaça (FMC): é a parte do material particulado em suspensão que é proveniente dos processos de combustão. Para a determinação da fumaça é utilizado o método de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

Pode-se perceber que as Partículas Totais em Suspensão apesar de não serem classificadas como as partículas mais prejudiciais à saúde da população, acabam englobando as demais classificações que por sua vez são potencialmente causadoras de efeitos nocivos à saúde. Sendo assim, pode ser considerado um parâmetro importante na análise da interferência da qualidade do ar na saúde e qualidade de vida populacional.

Dentre os principais efeitos ocasionados pelos materiais particulados pode-se citar: incomodo à população, diminuição da visibilidade, doenças

pulmonares (asma, bronquites, etc.), corrosão, interferência na fotossíntese das plantas, dentre outros (LISBOA, 2007a).

Segundo a United States Agency Environmental Protection – U.S.EPA (2014b), alguns estudos ainda relacionam à exposição ao material particulado, principalmente as partículas mais finas, a vários problemas. Dentre eles pode-se citar a morte prematura de pessoas com problemas de coração ou pulmão, arritmia cardíaca, ataques do coração, agravamento de problemas de asma, decréscimo nas funções do pulmão e aumento nos sintomas respiratórios tais como irritação nas vias respiratórias, tosse e dificuldade em respirar. Sendo que as pessoas com problemas de coração e pulmão, crianças e idosos são os grupos mais suscetíveis aos efeitos relacionados à poluição atmosférica por material particulado.

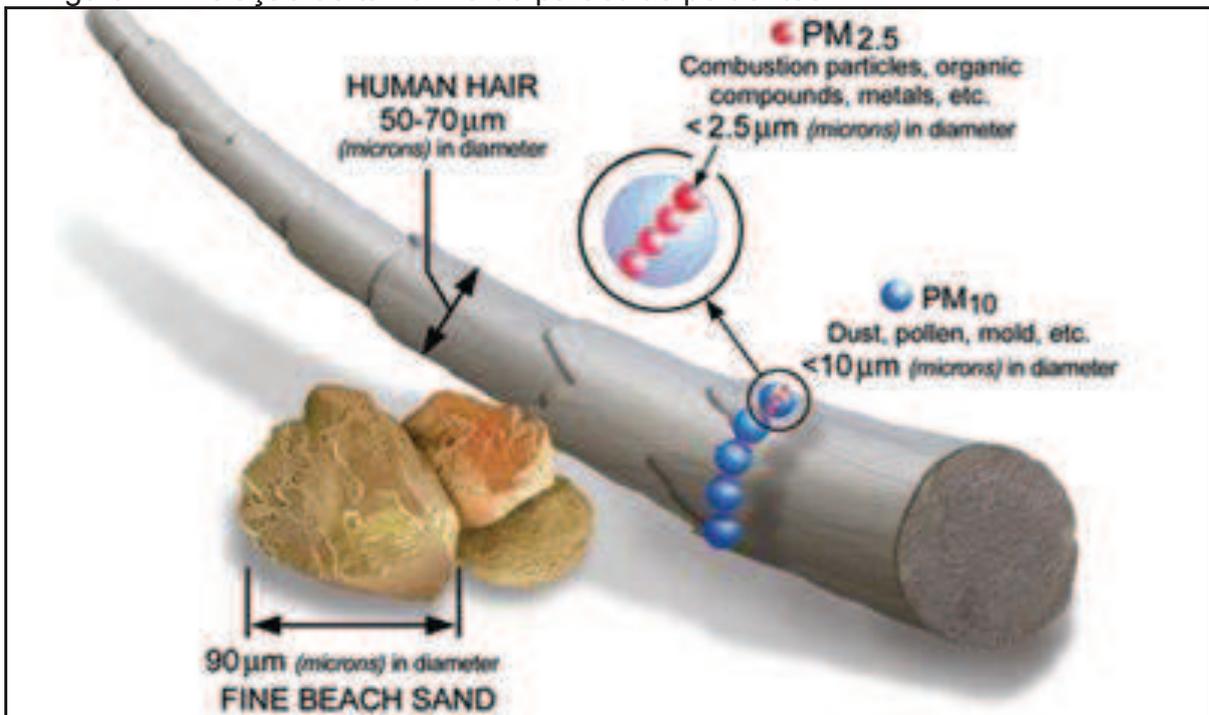
Além dos problemas respiratórios e cardiovasculares ocasionados pela inalação do material particulado, podem ocorrer diversos outros problemas devido à associação do material particulado com metais tóxicos e outras substâncias. Os metais tóxicos possuem características cumulativas nos organismos e quando associados ao material particulado mesmo em baixas concentrações podem ocasionar o aparecimento de sinais de intoxicações crônicas quando a exposição ocorrer em um longo período (HOINASKI, 2010).

A Organização Mundial da Saúde (World Health Organization – WHO) ainda alerta que apenas no território Europeu a exposição ao material particulado (MP) é responsável pelo decréscimo de cerca de 1 ano na expectativa de vida da população. Este fato se deve principalmente ao aumento dos riscos de doenças cardiovasculares, respiratórias e câncer de pulmão (WHO, 2014)

Para a CETESB (2014a, s.p) “o tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores os efeitos provocados”.

Para melhor compreensão pode-se analisar a figura 2, a qual compara tamanho das partículas poluentes em termos de diâmetro aerodinâmico (areia fina de praia, partículas inaláveis finas (MP<sub>2,5</sub>) e partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>)) com o diâmetro de um fio de cabelo humano.

Figura 2 - Relação de tamanho de partículas poluentes.



Fonte: U.S EPA, 2014a.

Analisando esta imagem percebe-se o quão fina são as partículas em questão, sendo as partículas inaláveis finas de 20 a 28 vezes menores que o diâmetro de um fio de cabelo e as partículas inaláveis de 5 a 7 vezes menores que o mesmo fio em questão. Assim pode-se entender o porquê destas partículas conseguirem chegar tão profundamente em nossos sistemas respiratórios (U.S. EPA, 2014d).

Segundo Lisboa (2007b), o tempo que uma partícula pode permanecer na atmosfera depende do seu tamanho, do peso seu específico e da velocidade de movimento do ar.

Para Gomes (2010) as partículas podem ser removidas naturalmente da atmosfera por ação da gravidade, processo o qual é chamado de sedimentação. Para as partículas esféricas em queda livre, a velocidade terminal se dá pela lei de Stokes, regida pela seguinte equação:

$$V = 2 \cdot (d - d_f) \cdot R^2 \cdot g / 9 \cdot \mu$$

Onde os valores do raio (R), aceleração da gravidade (g), viscosidade do meio ( $\mu$ ), densidade da partícula (d) e densidade do fluido ( $d_f$ ), são utilizados para calcular a velocidade terminal (V) da partícula.

Ainda seguindo Gomes (2010) as chuvas possuem um efeito significativo na remoção de partículas presentes no ar ambiente, pois ao cair ela arrasta os poluentes consigo, sendo esta remoção denominada deposição húmida.

O material particulado possui diversas fontes de emissão, tornando-o um poluente bastante comum. Dentre as principais fontes naturais pode-se citar a atividade vulcânica, o vento (ressuspensão de partículas sólidas no continente e partículas líquidas no oceano), os vegetais (pólen e compostos orgânicos voláteis), os vírus e bactérias. Já dentre as atividades antrópicas destacam-se os processos de combustão e industriais, o uso de veículos (que além da emissão pelo cano de descarga também atuam na ressuspensão da poeira presente no solo), as construções e o manejo do solo para fins agricultáveis (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2004).

A CETESB (2014a, s.p.) ainda lista como principais fontes deste poluente as seguintes:

[...] veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

A U.S.EPA (2014a) também elenca como principais fontes de emissões de material particulado nos Estados Unidos as queimadas, a poeira, a agricultura, a queima de combustíveis, a mobilidade e processos industriais.

## 2.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Visando controlar a poluição do ar decorrente da emissão destes poluentes na atmosfera, foram criados padrões de qualidade do ar.

De acordo com Lisboa e Kawano (2007), os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo da concentração que um poluente possa estar presente na atmosfera garantindo assim a proteção da saúde e do bem estar da população. Estes limites baseiam-se em estudos científicos que relacionam os níveis de concentração destes poluentes com os seus efeitos, e são definidos com o propósito de proporcionarem uma margem de segurança adequada.

Estes padrões ainda são definidos pela resolução CONAMA nº 003/90 da seguinte forma:

São 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. (BRASIL, 1990, s.p.).

No Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela resolução CONAMA n.º 003 de 28 de junho de 1990, sendo que alguns estados possuem legislação própria, esta que pode ser até mais restritiva como é o caso do estado de São Paulo. As legislações deste estado são estabelecidas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), referência nacional em termos de legislações ambientais, principalmente em se tratando de qualidade do ar (CETESB, 2014b).

O estado de Santa Catarina possuía uma legislação que estabelecia padrões de qualidade do ar (Decreto nº 14250, de 05 de junho de 1981), porém este decreto foi revogado com a aprovação do novo Código Estadual do Meio Ambiente (Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009), sendo que esta no que tange aos padrões de qualidade do ar reporta-se à legislação nacional (SANTA CATARINA, 2009).

Cabe ressaltar que as legislações brasileiras que abordam poluição atmosférica e qualidade do ar, seja ela no âmbito estadual ou federal, baseiam-se principalmente nas legislações que vigoram nos Estados Unidos e são estabelecidas pela United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (BRAGA et al., 2005).

### **2.2.1 Resolução CONAMA nº 003 de 1990.**

A resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990 estabelece os padrões de qualidade do ar, delimitando as concentrações máximas que determinados poluentes podem estar presentes na atmosfera.

Conforme o Brasil (1990, s.p.), os padrões de qualidade do ar dividem-se em dois grupos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

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

Dentre todos os poluentes atmosféricos apenas alguns possuem limites de concentração na atmosfera estabelecidos pela resolução CONAMA nº 003 de 1990, são eles: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (BRASIL, 1990).

A tabela 2 relaciona os poluentes elencados com seus respectivos padrões (primários e secundários) e com o tempo de amostragem.

Tabela 2– Padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº. 003 de 1990

| <b>Parâmetro</b>               | <b>Tempo de Amostragem</b> | <b>Padrão Primário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> | <b>Padrão Secundário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |
|--------------------------------|----------------------------|--|--|
| Partículas totais em suspensão | 24 horas <sup>1</sup>      | 240  | 150  |
|                                | MGA <sup>2</sup>           | 80   | 60   |
| Fumaça                         | 24 horas <sup>1</sup>      | 150  | 100  |
|                                | MAA <sup>3</sup>           | 60   | 40   |
| Partículas inaláveis           | 24 horas <sup>1</sup>      | 150  | 150  |
|                                | MAA <sup>3</sup>           | 50   | 50   |
| Dióxido de enxofre             | 24 horas <sup>1</sup>      | 365  | 100  |
|                                | MAA <sup>3</sup>           | 80   | 40   |
| Monóxido de carbono            | 1 hora <sup>1</sup>        | 40.000 (35 ppm)  | 40.000 (35 ppm)  |
|                                | 8 horas <sup>1</sup>       | 10.000 (9 ppm)   | 10.000 (9 ppm)   |
| Dióxido de nitrogênio          | 1 hora                     | 320  | 190  |
|                                | MAA <sup>3</sup>           | 100  | 100  |
| Ozônio                         | 1 hora <sup>1</sup>        | 160  | 160  |

Fonte: Brasil, 1990.

1- Não deve ser excedida mais de uma vez por ano

2- Média Geométrica Anual

3- Média Aritmética Anual

Além das normas federais alguns estados possuem legislações próprias que abordam o tema poluição atmosférica, dentre elas destaca-se o estado de São Paulo que possui uma legislação que pode ser considerado referência a nível nacional. Estas foram elaboradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e possui padrões mais restritivos que os das normas federais, possuindo também parâmetros que ainda não foram adotados pelo CONAMA como é o caso das partículas inaláveis finas (MP2,5).

### 2.2.2 Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013 – CETESB

Os padrões de qualidade do ar do estado de São Paulo foram estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 8468/76, antes mesmo dos padrões nacionais que só foram estabelecidos em 1990 pela Resolução CONAMA 003/90 (CETESB, 2014b).

Porém a evolução dos estudos técnicos e científicos acabou conduzindo a uma revisão dos padrões de qualidade do ar nos países da União Europeia e nos Estados Unidos. Em 2005, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou um documento, no qual constava uma revisão dos valores guias para os padrões de qualidade do ar. Estes visavam à proteção da saúde da população e estavam embasados nos novos conhecimentos adquiridos neste período (CETESB, 2014b).

Sendo assim, em 2008 a CETESB iniciou a revisão de seus padrões de qualidade do ar, baseando-se nessas novas diretrizes fornecidas pela OMS, o que acabou resultando no Decreto Estadual nº 59.113, publicado em 23 de abril de 2013. Este decreto estabeleceu novos padrões de qualidade do ar através de um conjunto de metas gradativas e progressivas, visando à diminuição da poluição atmosférica a fim de atingir níveis desejáveis de qualidade do ar (CETESB, 2014b).

O Decreto Estadual nº 59113/2013 estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo será efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, observados os seguintes critérios:

- I. Metas Intermediárias - (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;
- II. 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. (CETESB, 2014b, s.p.).

A tabela 3 apresenta os poluentes e seus novos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113/2013, assim como o tempo de amostragem determinado para os mesmos. Os valores que se apresentam em **negrito** correspondem aos padrões de qualidade do ar vigentes.

Tabela 3 – Novos padrões de qualidade do ar – CETESB 2013.

| <b>Poluente</b>                                 | <b>Tempo de Amostragem</b> | <b>MI1<br/>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> | <b>MI2<br/>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> | <b>MI3<br/>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> | <b>Padrão Final</b> |
|---|----------------------------|--|--|--|---------------------|
| Partículas inaláveis (MP <sub>10</sub> )        | 24 horas                   | <b>120</b>   | 100  | 75   | 50                  |
|   | MAA <sup>1</sup>           | <b>40</b>  | 35   | 30   | 20                  |
| Partículas inaláveis finas (MP <sub>2,5</sub> ) | 24 horas                   | <b>60</b>  | 50   | 37   | 25                  |
|   | MAA <sup>1</sup>           | <b>20</b>  | 17   | 15   | 10                  |
| Dióxido de enxofre                              | 24 horas                   | <b>60</b>  | 40   | 30   | 20                  |
|   | MAA <sup>1</sup>           | <b>40</b>  | 30   | 20   | -                   |
| Dióxido de nitrogênio                           | 1 hora                     | <b>260</b>   | 240  | 220  | 200                 |
|   | MAA <sup>1</sup>           | <b>60</b>  | 50   | 45   | 40                  |
| Ozônio  | 8 horas                    | <b>140</b>   | 130  | 120  | 100                 |
| Monóxido de carbono                             | 8 horas                    | -  | -  | -  | <b>9ppm</b>         |
| Fumaça*   | 24 horas                   | <b>120</b>   | 100  | 75   | 50                  |
|   | MAA <sup>1</sup>           | <b>40</b>  | 35   | 30   | 20                  |
| Partículas totais em suspensão (PTS)            | 24 horas                   | -  | -  | -  | <b>240</b>          |
|   | MGA <sup>2</sup>           | -  | -  | -  | <b>80</b>           |
| Chumbo** (Pb)                                   | MAA <sup>1</sup>           | -  | -  | -  | <b>0,5</b>          |

Fonte: CETESB, 2013.

1- Média Aritmética Anual

2- Média Geométrica Anual

\*- Parâmetros auxiliares à serem utilizados em apenas casos específicos, à critério da CETESB

\*\* - a ser monitoram em locais específicos, à critério da CETESB.

As metas intermediárias deverão ser obedecidas em três etapas (MI1, MI2 e MI3). A meta intermediária 1 (MI1) possui os valores de concentração de poluentes que deverão ser respeitados à partir do dia 24 de abril de 2013. Já os valores da meta intermediária 2 (MI2) devem ser respeitados subsequentemente ao MI1, e entrarão em vigor apenas após avaliações realizadas nesta primeira etapa. Posteriormente valerão as concentrações estabelecidas pela meta intermediária 3 (MI3) seguidas dos Padrões Finais (PF), seguindo o mesmo procedimento das etapas iniciais (CETESB, 2014b).

Para os poluentes que não possuem metas intermediárias estabelecidas, os padrões finais são aplicados desde o período inicial de vigor da norma, como ocorrem nos casos dos poluentes monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo (CETESB, 2014b).

Esta legislação ainda estabelece critérios para episódios agudos de poluição do ar. Estes critérios levam em conta não somente os níveis de concentração ultrapassados, mas também as condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes. Sendo que esses níveis críticos de poluição podem ser classificados em: Atenção, Alerta e Emergência (CETESB, 2014b).

A tabela 4 relaciona as concentrações dos poluentes e seus tempos de amostragem com suas respectivas classificações em termos de níveis críticos de poluição (atenção, alerta e emergência) estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113/2013.

Tabela 4 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (DE nº 59113/2013)

| <b>Parâmetros</b>   | <b>Atenção</b> | <b>Alerta</b> | <b>Emergência</b> |
|---|----------------|---------------|-------------------|
| Partículas inaláveis finas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24h | 125            | 210           | 250               |
| Partículas inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24h       | 250            | 420           | 500               |
| Dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24h         | 800            | 1.600         | 2.100             |
| Dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1h       | 1.130          | 2.260         | 3.000             |
| Monóxido de carbono (ppm) - 8h                                | 15             | 30            | 40                |
| Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 8h                      | 200            | 400           | 600               |

Fonte: CETESB, 2013.

O Decreto apresenta ainda índices de qualidade do ar, que consiste em uma ferramenta para facilitar a divulgação dos resultados de qualidade do ar obtida, sendo utilizados valores adimensionais e classificações qualitativas, além de cores. Estes se mostram importantes na comunicação com a população devido ao fato de que apenas as concentrações não conseguem ilustrar claramente como se encontra a qualidade do ar no ambiente o qual estes estão inseridos. Recebem índices de qualidade do ar os poluentes: partículas inaláveis (MP10), partículas inaláveis finas (MP2,5), fumaça (FMC), ozônio ( $\text{O}_3$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) (CETESB, 2014b).

A tabela 5 correlaciona as concentrações dos poluentes contidos neste decreto com suas respectivas classificações (boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima) e cores atribuídas no índice de qualidade do ar.

Tabela 5 - Estrutura do índice de qualidade do ar

| Qualidade      | Índice    | MP10<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>24h | MP2,5<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>24h | O <sub>3</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>8h | CO<br>(ppm)<br>8h | NO <sub>2</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>1h | SO <sub>2</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>24h |
|----------------|-----------|---|--|--|-------------------|---|--|
| N1 - Boa       | 0 - 40    | 0 - 50                                      | 0 - 25                                       | 0 - 100  | 0 - 9             | 0 - 200   | 0 - 20   |
| N2 - Moderada  | 41 - 80   | >50 - 100                                   | >25 - 50                                     | >100 - 130   | >9 - 11           | >200 - 240  | >20 - 40   |
| N3- Ruim       | 81 - 120  | >100 - 150                                  | >50 - 75                                     | >130 - 160   | >11 - 13          | >240 - 320  | >40 - 365  |
| N4- Muito Ruim | 121 - 200 | >150 - 250                                  | >75 - 125                                    | >160 - 200   | >13 - 15          | >320 - 1130   | >365 - 800   |
| N5- Péssima    | >200      | >250  | >125   | >200   | >15               | >1130   | >800   |

Fonte: CETESB, 2013.

A classificação do índice de qualidade do ar BOA corresponde aos valores-guia para exposição em curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, estes que coincidem com o padrão final (PF) estabelecido no decreto nº 59.113/2013 (CETESB,2014b).

O cálculo destes índices é realizado para todos os poluentes monitorados, sendo que para efeito de divulgação utiliza-se aquele que possuir o índice mais alto, caracterizando o pior caso (CETESB, 2014b).

Esta classificação ainda relaciona os índices e os efeitos da qualidade do ar à saúde, sendo uma classificação genérica haja vista que cada poluente específico possui diferentes efeitos à saúde.

Cabe salientar que as partículas totais em suspensão (PTS) não se encontram presentes nos critérios para episódios agudos e nos índices de qualidade do ar, ambos estabelecidos pelo decreto nº 59.113/2013, pois a CETESB o considera um parâmetro auxiliar, e as partículas de PTS que possuem potencial para ocasionar efeitos à saúde já são contemplados nos parâmetros partículas inaláveis (MP10), partículas inaláveis finas (MP2,5) e fumaça (FMC).

### 2.2.1 Decreto nº 14.250, de 05 de junho de 1981 – Santa Catarina

O decreto nº 14.250 tem por objetivo regulamentar os dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental (SANTA CATARINA, 1981).

A respeito da qualidade do ar este decreto possuía uma grande importância para o estado de Santa Catarina, pois estabelecia os padrões de qualidade do ar estaduais, as metodologias oficiais de monitoramento, as correções das concentrações, e ainda estabelecia padrões de emissão de fumaça e odor, padrões para sons e padrões de ruídos. Além disso, dava recomendações a respeito da frequência do monitoramento dos poluentes e tecia uma série de considerações às quais proibiam ou regulamentavam atividades potencialmente poluidoras (SANTA CATARINA, 1981). Estas podem ser evidenciadas nos seguintes artigos presentes neste decreto:

Art. 25 - É proibida a queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou de qualquer outro material combustível, desde que cause degradação da qualidade ambiental, na forma estabelecida no artigo 3º.

Art. 26 - É proibida a instalação e o funcionamento de incineradores domiciliares, prediais e industriais, de qualquer tipo, exceto os incineradores hospitalares e congêneres.

Art. 27 - Nos casos em que fizer necessário, poderá ser exigido:

I - a instalação e operação de equipamentos automáticos para medição das quantidades de poluentes emitidos;

II - a comprovação da quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos, através de realização de amostragem em chaminés;

III - construção de plataforma e outros requisitos necessários à realização de amostragens em chaminés. (SANTA CATARINA, 1981, p. 10).

Com relação à qualidade do ar, esta estabelecia padrões para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), e oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>), sendo que para os parâmetros partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre a legislação recomendava uma amostragem por um período de 24 horas a cada 6 dias. Já para os parâmetros monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos o monitoramento seria contínuo (SANTA CATARINA, 1981).

A tabela 6 apresenta os poluentes e seus respectivos padrões de qualidade do ar estabelecidos por este decreto, assim como o tempo de amostragem determinados para os mesmos.

Tabela 6 – Padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto nº 14.250

| <b>Parâmetro</b>               | <b>Tempo de Amostragem</b> | <b>Padrão Primário<br/>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |
|--------------------------------|----------------------------|--|
| Partículas totais em suspensão | 24 horas <sup>1</sup>      | 240  |
|                                | MGA <sup>2</sup>           | 80   |
| Dióxido de enxofre             | 24 horas <sup>1</sup>      | 365  |
|                                | MAA <sup>3</sup>           | 80   |
| Monóxido de carbono            | 1 hora <sup>1</sup>        | 40.000   |
|                                | 8 horas <sup>1</sup>       | 10.000   |
| Oxidantes fotoquímicos         | 1 hora <sup>1</sup>        | 160  |

Fonte: SANTA CATARINA, 1981.

1 - Não pode ser ultrapassada mais de uma vez por ano

2 - Média geométrica anual

3 - Média Aritmética anual

O decreto ainda previa que as medidas obtidas devem ser corrigidas para temperatura de 25°C (vinte e cinco graus Celsius) e pressão de 760 mmHg (setecentos e sessenta milímetros de mercúrio), sendo que para a determinação das concentrações dos poluentes à fim de comparação com os devidos padrões deve-se utilizar as metodologias de análise e amostragem presentes no mesmo ou em normas dele decorrentes, seguindo também os critérios pré-estabelecidos de localização dos pontos de amostragem (SANTA CATARINA, 1981).

Eram estabelecidas nesta norma as seguintes metodologias para análise de concentração de poluentes na atmosfera (qualidade do ar):

I - para partículas em suspensão: Método de Amostrador de Grandes Volumes, ou equivalentes;

II - para dióxido de enxofre: Método de Pararosanilina ou equivalente;

III - para monóxido de carbono: Método de Absorção de Radiação Infravermelho não dispersivo, ou equivalente; e

IV - para oxidantes fotoquímicos (como Ozona): Método da Luminescência Química, ou equivalente.

Parágrafo Único - Consideram-se Métodos Equivalentes todos os Métodos de Amostragem de Análise que, testados, forneçam respostas equivalentes aos métodos de referência, no que tange às características de confiabilidade, especificidade, precisão, exatidão, sensibilidade, tempo de resposta, desvio de zero, desvio de calibração e de outras características consideráveis ou convenientes. (SANTA CATARINA, 1981, p. 11).

Esta norma possuía um papel importante, pois complementava a legislação nacional e norteava em alguns quesitos os quais esta não abordava como

é o caso da frequência de monitoramento. Porém com a instituição do novo Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009) esta lei foi revogada, passando a valer as orientações estabelecidas por este.

### **2.2.2 Lei Nº 14.675, de 13 de abril de 2009 – Santa Catarina.**

A Lei nº 14.675 institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências, de forma a visar à proteção e a melhoria da qualidade ambiental no território do estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2009).

No que tange a qualidade do ar esta apresenta um retrocesso, pois não possui padrões de qualidade do ar como a legislação em vigor anteriormente, obrigando os órgãos estaduais a se reportarem à legislação federal. Deixando assim a cargo do CONSEMA o estabelecimento de padrões adicionais aos existentes no âmbito federal, conforme o exposto no artigo 179:

Art. 179. A definição dos padrões de qualidade do ar deve ser aquela prevista em normas federais, cabendo ao CONSEMA estabelecer padrões adicionais aos existentes no âmbito federal. (SANTA CATARINA, 2009, p. 64).

Além disso, esta legislação não estabelece padrões para sons e ruídos, para emissão de odores, e tão pouco para frequência do monitoramento dos padrões de qualidade do ar e metodologias de análise das concentrações dos poluentes, deixando novamente a cargo das legislações federais o estabelecimento destes critérios (SANTA CATARINA, 2009). Vale ressaltar que a legislação nacional não possui orientações quanto à frequência do monitoramento.

No que diz respeito à queima de resíduos sólidos ao ar livre, a proibição permanece, com exceção apenas dos casos regulamentados em norma federal ou queimas de pequeno impacto ambiental que sejam admitas no âmbito das legislações municipais (SANTA CATARINA, 2009).

No caso do tratamento térmico dos resíduos sólidos a proibição é retirada, sendo permitida a instalação e o funcionamento de incineradores, executando-se os domiciliares e prediais de qualquer tipo. Porém esta legislação elenca uma série de exigências para o licenciamento dos mesmos (SANTA CATARINA, 2009).

Ainda segundo Santa Catarina (2009, p.78) para fins de licenciamento destes incineradores deve ser exigido:

- I - monitoramento da qualidade do ar na região onde se encontra o incinerador;
- II - instalação e operação de equipamentos automáticos para medição das quantidades de poluentes emitidos;
- III - comprovação da quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos, através de realização de amostragem em chaminés; e
- IV - instalação e operação de equipamentos ou sistemas de tratamento dos efluentes gasosos resultantes, para controle dos poluentes atmosféricos emitidos pelas chaminés.

Esta ainda proíbe o jateamento de areia no estado de Santa Catarina visando à proteção da qualidade do ar e a melhoria nas condições do ambiente de trabalho (SANTA CATARINA, 2009).

### **2.2.3 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) – United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA)**

A Lei do Ar limpo (Clean Air Act), implementada em 1990 nos Estados Unidos, forçou a Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente (United States Environmental Protection Agency – U.S. EPA) a criar os padrões nacionais de qualidade do ar ambiente (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS) para os poluentes considerados danosos à saúde humana e ao meio ambiental (U.S. EPA, 2014c).

Os padrões de qualidade do ar desta legislação também estão divididos em primários e secundários. Os primários visam à proteção da saúde pública, incluindo à proteção aos grupos mais sensíveis, como é o caso dos asmáticos, crianças e idosos. Já os padrões secundários levam em conta o bem-estar populacional, e incluem a proteção contra o decréscimo de visibilidade, danos aos animais, plantações e materiais (U.S. EPA, 2014c).

Esta legislação estabelece os padrões de qualidade do ar primários e secundários para os seis principais poluentes elencados: monóxido de carbono (CO), chumbo (Pb), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), parâmetros partículas inaláveis (MP10), partículas inaláveis finas (MP2,5) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Também estipula os tempos de amostragem (tempo da média) e tece comentários a respeito dos padrões de cada poluente, conforme pode ser visualizado na tabela 7.

Tabela 7 – Padrões Nacionais de Qualidade do ar Ambiente – NAAQS/U.S.EPA

| Poluente                                 | Primário/<br>Secundário                         | Tempo<br>da<br>média    | Nível                  | Comentário  |   |
|--|---|-------------------------|------------------------|---|---|
| Monóxido de carbono (CO)                 | Primário  | 8 horas                 | 9 ppm                  | Não exceder mais de uma vez ao ano.   |   |
|  |   | 1 horas                 | 35 ppm                 |   |   |
| Chumbo (Pb)                              | Primário e Secundário                           | Rolling 3 month average | 0.15 µg/m <sup>3</sup> | Não deve ser excedido.  |   |
| Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) | Primário  | 1 hora                  | 100 ppb                | 98% das máximas concentrações diárias, em uma média de 3 anos.                  |   |
|  | Primário e Secundário                           | Anual                   | 53 ppb                 | Média anual.  |   |
| Ozônio (O <sub>3</sub> )                 | Primário e Secundário                           | 8 horas                 | 0.075 ppm              | Quatro maiores concentrações anuais de 8 horas diárias, em uma média de 3 anos. |   |
| Partículas                               | Partículas Inaláveis Finas (MP <sub>2,5</sub> ) | Primário                | Anual                  | 12 µg/m <sup>3</sup>  | Média Anual, calculada através da média dos últimos 3 anos.   |
|  |   | Secundário              | Anual                  | 15 µg/m <sup>3</sup>  | Média Anual, calculada através da média dos últimos 3 anos.   |
|  | Primário e Secundário                           | 24 horas                | 35 µg/m <sup>3</sup>   | 98% das máximas concentrações diárias, em uma média de 3 anos                   |   |
|  | Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> )        | Primário e Secundário   | 24 horas               | 150 µg/m <sup>3</sup>   | Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano, resultado obtido pela média de ultrapassagens dos últimos 3 anos. |
| Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ).   | Primário  | 1 horas                 | 75 ppb                 | 99% das máximas concentrações diárias, em uma média de 3 anos.                  |   |
|  | Secundário                                      | 3 horas                 | 0.5 ppm                | Não exceder mais de uma vez ao ano.   |   |

Fonte: U.S. EPA, 2014c.

Percebe-se que novamente as partículas totais em suspensão não estão presentes como principal poluente, devido à sua substituição pelos parâmetros partículas inaláveis finas (MP<sub>2,5</sub>) e partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>) por estas possuírem um tamanho menor e estarem fortemente ligadas à questões de saúde pública (U.S. EPA, 2014c).

Isto não quer dizer que o parâmetro partículas totais em suspensão (PTS) não possa mais ser utilizado como avaliação da qualidade do ar, já que este acaba por englobar os dois outros padrões supracitados e ainda consta na legislação nacional brasileira. A ausência deste parâmetro nos padrões de qualidade do ar norte-americanos indica que há uma tendência na substituição também na legislação nacional, esta que tem por princípio seguir os padrões internacionais. Fato este que já pode ser evidenciado nos padrões estabelecidos pela CETESB, um dos órgãos de referência nacional no quesito poluição atmosférica.

Percebe-se que as legislações, tanto nacionais quanto internacionais, estabelecem claramente os limites de concentrações de poluentes para a qualidade do ar. Porém para a obtenção de dados de concentração, a fim de comparação com a legislação, é necessário um método de coleta dos mesmos. Este método de coleta de dados é conhecido como monitoramento da qualidade do ar.

### 2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.

Segundo Schnelle e Brown (2001) o monitoramento da qualidade do ar é uma ferramenta utilizada para obter as concentrações de determinados poluentes na atmosfera. Os dados obtidos através de uma rede de monitoramento podem ser usados para diversos fins, dentre eles:

- Estabelecer e avaliar medidas de controle;
- Avaliar os parâmetros de modelagem da difusão atmosférica;
- Determinar áreas e períodos cuja poluição atmosférica se encontra em níveis perigosos;
- Fornecer dados para sistemas de alerta de emergência.

Para Alvares Jr., Lacava e Fernandes (2002) dentre os objetivos típicos de uma rede de monitoramento destacam-se:

- A criação de uma base científica para desenvolver estratégias e ajudar na priorização das ações de controle da poluição;
- Avaliar a eficácia das ações que visam controlar a poluição;
- Avaliar as tendências da qualidade do ar, o que permite identificar locais que futuramente terão problemas com a poluição do ar;
- Determinar os níveis de exposição da população a determinados poluentes e avaliar os efeitos causados por essa poluição;
- Avaliar se as concentrações dos poluentes estão em conformidade com os padrões legais;
- Fornecer informações para a população quanto à qualidade do ar;
- Fornecer informações necessárias para o gerenciamento da qualidade do ar;

- Identificar as principais fontes de poluição, e avaliar o impacto das mesmas.

O monitoramento sistemático da qualidade do ar é uma ferramenta importante na gestão deste recurso. Os resultados obtidos fornecem subsídios para as escolhas de ações de controle prioritárias que devem ser implantadas pelo órgão ambiental, visando sempre à proteção da saúde da população e a prevenção dos impactos da poluição atmosférica ao meio ambiente em geral (IAP, 2014).

Embora possa parecer óbvio, a definição prévia dos objetivos do monitoramento da qualidade do ar, de maneira bem clara, é crucial pois é com base neles que se define o design da rede de monitoramento, ou seja, suas características em termos de localização das estações, o tipo de poluente a ser medido, o tipo de equipamento utilizado, os custos envolvidos, etc. Objetivos que não estejam bem definidos podem resultar em custos excessivos e/ou informações insuficientes para um diagnóstico efetivo da qualidade do ar ambiente. (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002, p. 133).

Estes objetivos devem nortear a definição das características da rede a ser implantada tais como o número de pontos, os poluentes a serem monitorados, a escolha do tipo de equipamento, o tipo de rede de monitoramento (fixas ou móveis), dentre outras. Porém outros três fatores também possuem papel determinante na decisão de tais características, são eles: os custos envolvidos, os recursos humanos necessários e o tempo necessário para a implantação e operação desta rede (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

De acordo com Schnelle e Brown (2001) o monitoramento pode ser realizado em redes fixas ou móveis. As redes fixas operam com estações permanentes ou de longa duração nas quais ocorrem geralmente análises simultâneas entre os diversos pontos da rede de monitoramento. Já as redes móveis são compostas de equipamentos móveis, geralmente locados em trailers ou estações móveis. Usualmente os monitoramentos móveis não ocorrem simultaneamente, pois o mesmo equipamento é utilizado em diversos pontos.

Para Alvares Jr., Lacava e Fernandes (2002) a escolha do local das estações de monitoramento devem levar em conta os objetivos, a exposição da população, a escala espacial de representatividade, as principais fontes de emissão e também os fatores como as condições meteorológicas, características topográficas, a existência de dados anteriores de qualidade do ar, a modelagem de

qualidade do ar, e a infraestrutura e proteção dos equipamentos contra atos de vandalismo ou que venham a depredar o mesmo. Sendo que em diversos casos é comum que nas estações de monitoramento da qualidade do ar seja incluso o monitoramento dos parâmetros meteorológicos, tais como o vento, temperatura e a umidade. Ressalta-se que o local de medição dos poluentes ainda deve obedecer a critérios específicos para que a medição dos poluentes seja válida.

Dependendo da abrangência das redes de monitoramento da qualidade do ar estas podem ser classificadas conforme sua escala espacial em: locais, regionais, nacionais, transnacionais e mundiais (GOMES, 2010).

Existem diversos métodos de monitoramento de qualidade do ar, Lisboa e Kawano (2007) comentam que a escolha da metodologia de monitoramento deve levar em conta, além dos padrões legais, os recursos que estes necessitarão para sua aquisição, operação e manutenção.

Várias metodologias e equipamentos foram desenvolvidos para detectar a quantidade de material particulado e de gases tóxicos presentes no ar atmosférico. Estes equipamentos possuem sensores eletroquímicos que são responsáveis pelo monitoramento dos gases tóxicos. Como qualquer equipamento de medição, a confiabilidade dos valores obtidos depende da sensibilidade e da precisão do equipamento. (LISBOA; KAWANO, 2002, p. 22)

Ainda segundo Lisboa e Kawano (2007) estas metodologias de monitoramento dividem-se em: amostradores passivos, amostradores ativos, amostradores automáticos, sensores remotos e bioindicadores.

Os amostradores passivos são aqueles que obtêm amostras por meio de difusão molecular, utilizando um equipamento que utiliza um material absorvente/adsorvente durante um período de tempo previamente definido. Sendo que este material é levado para análise laboratorial após a realização da amostragem (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002; LISBOA; KAWANO, 2007).

No caso dos amostradores ativos um volume de ar é sugado por uma bomba e passa através de um material coletor, podendo este ser um coletor químico ou físico, durante um determinado período de tempo. Esta coleta pode ocorrer por meio de absorção, adsorção, impactação, filtração, difusão, reação ou ainda por uma combinação de dois ou mais destes processos citados. Este método é comumente utilizado para medir material particulado (MP) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), existem

também alguns métodos ativos capazes de monitorar dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e chumbo (Pb) (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Os analisadores automáticos são equipamentos que possuem a capacidade de fornecer medidas de concentrações em uma resolução temporal relativamente alta (normalmente médias de 30 minutos ou 1 hora). Estes utilizam princípios eletro-ópticos, ou seja, é realizada uma medição da propriedade ótica do gás que entra no equipamento, onde a mesma é correlacionada com a concentração do poluente que esta sendo medida. O princípio eletro-óptico utilizado irá variar conforme o poluente o qual terá sua concentração avaliada (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Os sensores remotos são equipamentos que fornecem informações de concentração de poluentes em pontos que estejam distantes dos equipamentos, utilizando uma técnica chamada espectroscopia. Este método obtém dados de concentração através da integração de uma fonte de luz e de um receptor ao longo de um determinado caminho óptico. Estes equipamentos podem ser úteis na obtenção de medidas de concentrações verticais na atmosfera (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Já os bioindicadores consistem na utilização de seres vivos (em geral plantas) para a obtenção das concentrações de poluentes no ar. O uso deste tipo de monitoramento possui um baixo custo, se tornando assim uma alternativa viável, porém a sua utilização possui uma série de limitações (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Apesar de grande variedade de metodologias de monitoramento a escolha irá depender principalmente da legislação, esta que determina as metodologias oficiais para a determinação da concentração de cada poluente. A resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990, estipula que em nível nacional as metodologias padrões para análise dos poluentes são:

- Partículas totais em suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente.
- Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.
- Partículas inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.

- Dióxido de enxofre - Método de Pararonasilina ou Método Equivalente.
- Monóxido de carbono - Método do Infravermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.
- Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.
- Dióxido de nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente. (BRASIL, 1990.)

Percebe-se então que o método utilizado neste trabalho para quantificar as partículas totais em suspensão será o de amostrador de grandes volumes (AGV), seguindo os padrões da metodologia oficial, excetuando-se no fator tempo de amostragem, a fim de comparação com os padrões estabelecidos.

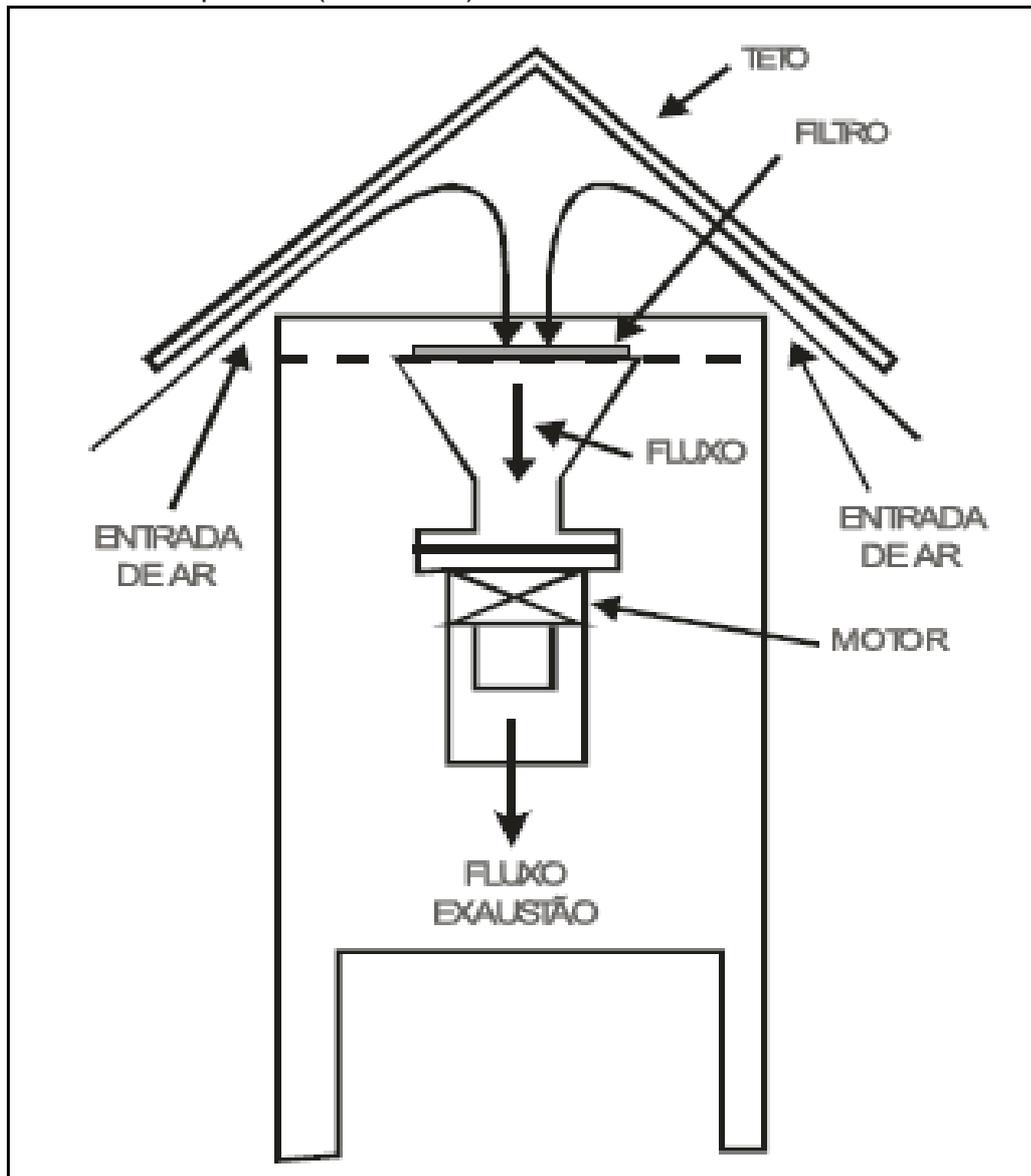
### **2.3.1 Método de amostrador de grandes volumes para partículas totais em suspensão (AGV PTS).**

O método de amostrador de grandes volumes para partículas totais em suspensão (AGV PTS) consiste na utilização de uma bomba a qual coleta certa quantidade de ar ambiente através de um filtro, instalado dentro de uma casinhola, com uma vazão que deve respeitar a faixa de  $1,1\text{m}^3/\text{min}$  até  $1,7\text{m}^3/\text{min}$ . Esta vazão, juntamente com o formato da casinhola, acaba por favorecer a coleta de partículas com até  $25\text{-}50\mu\text{m}$  (diâmetro aerodinâmico) (DIAS, 2012).

O filtro então é recolhido e levado para o laboratório para pesagem, esta que também ocorre antes de sua utilização, obtendo-se assim a massa do poluente em questão. O volume de ar amostrado é calculado através das vazões médias medidas e do tempo de amostragem, sendo posteriormente corrigido para condições padrões ( $25^\circ\text{C}$ ,  $760\text{ mmHg}$ ). A concentração de partículas totais em suspensão é obtida pela divisão da massa das partículas coletadas pelo volume de ar amostrado corrigido, obtendo-se assim um resultado expresso em microgramas por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Vale ressaltar que a correção das concentrações obtidas para as condições de referencia é uma exigência da norma (DIAS, 2012).

Para melhor entendimento do funcionamento do equipamento as figuras 3, 4 e 5 fornecem uma visualização simplificada do funcionamento do AGV PTS e de seus principais componentes.

Figura 3 - Entrada de ar no amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS)

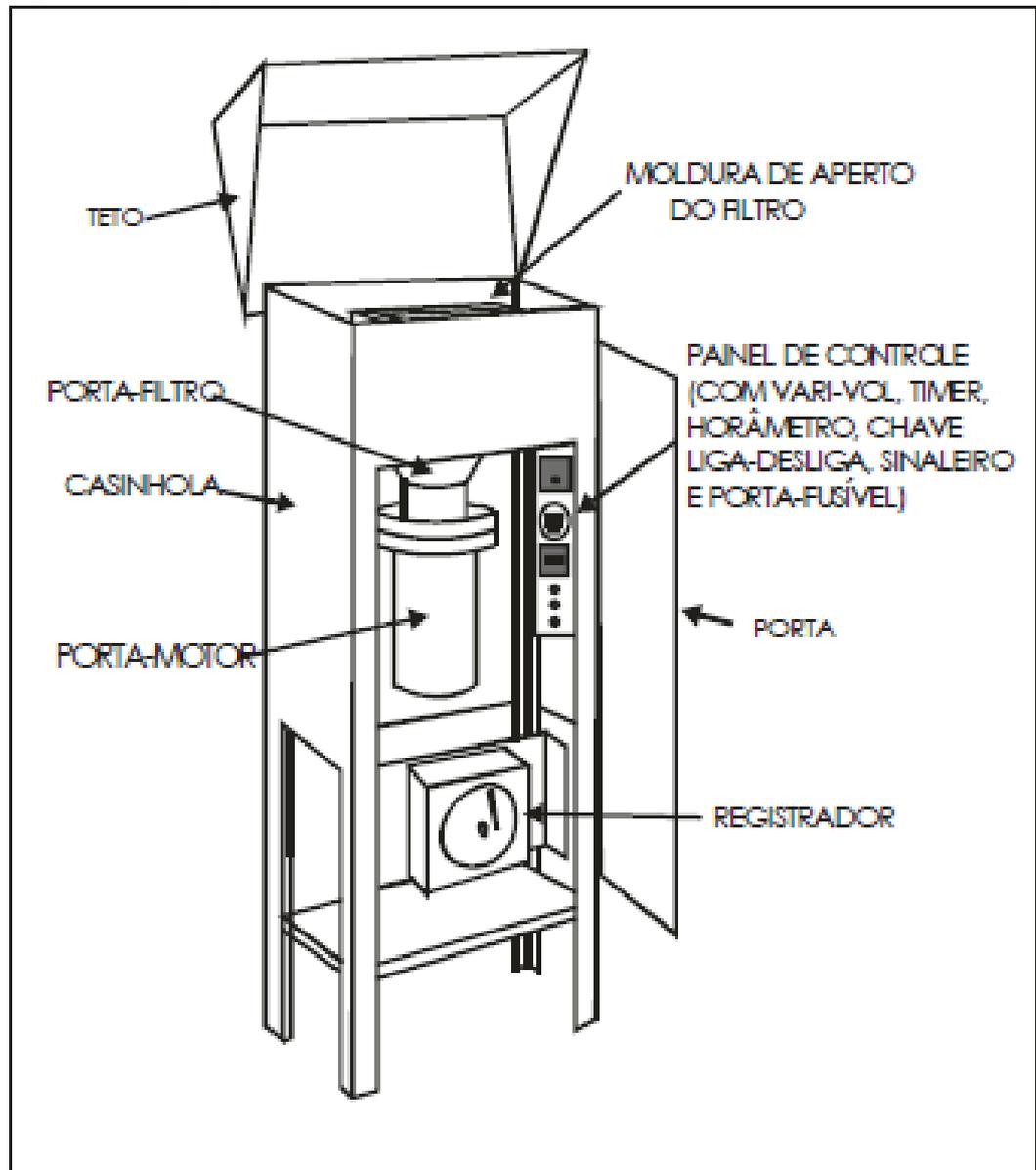


Fonte: DIAS, 2012.

Percebe-se que o ar é submetido a um fluxo ascendente antes de passar pelo filtro. Esse percurso em que o ar é submetido, juntamente com a vazão controlada, possui o papel de selecionar o tamanho das partículas que chegarão até o filtro e se depositarão no mesmo (DIAS, 2012).

A figura 4 fornece um esquema mais detalhado das componentes básicas do equipamento contendo também a interface operacional tais como o painel de controle e o registrador.

Figura 4 - Equipamento AGV PTS



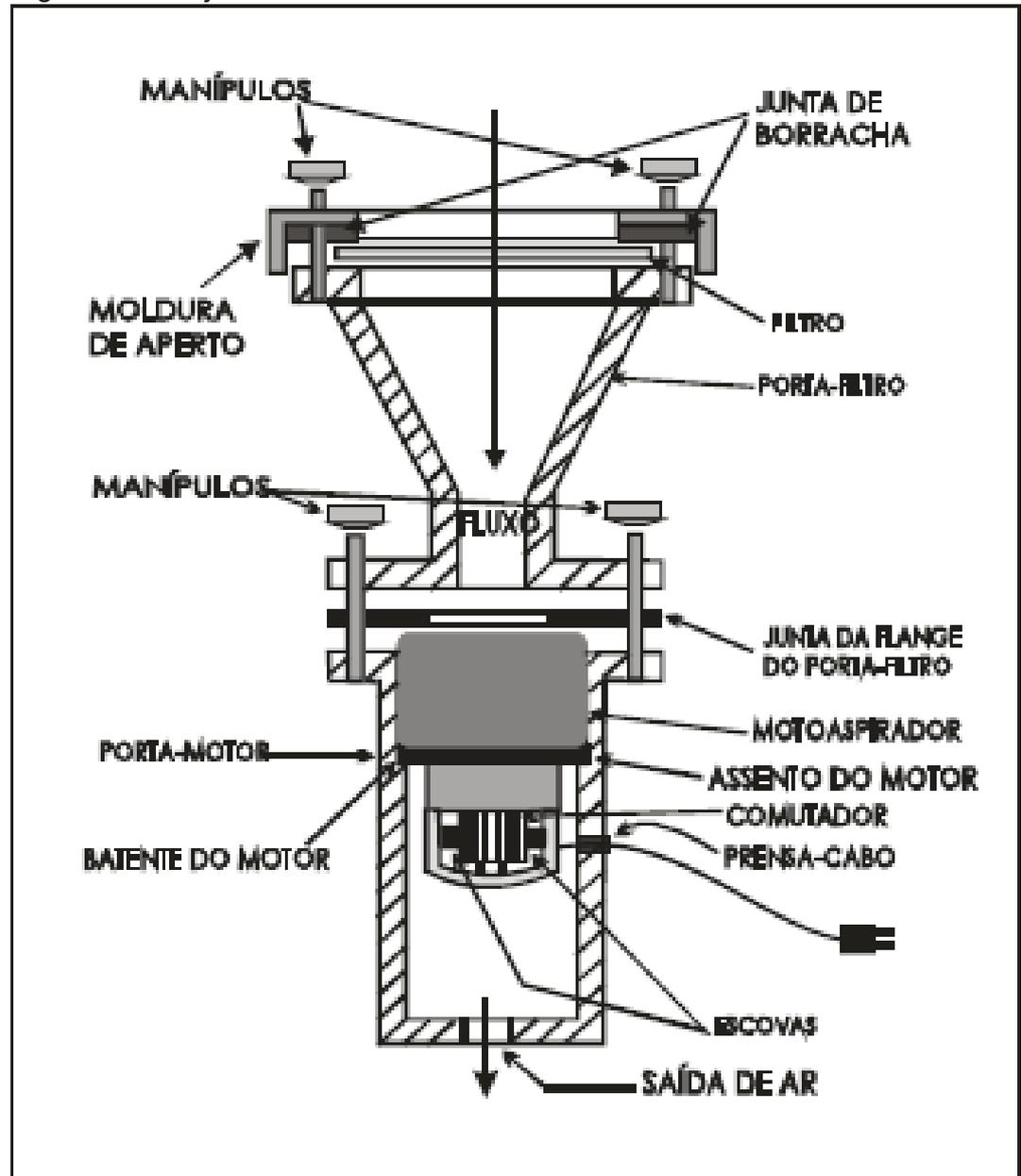
Fonte: DIAS, 2012.

O painel de controle permite o controle indireto da vazão do equipamento através da variação da tensão de operação do mesmo, utilizando o vari-vol (variador de tensão). O registrador também possui um papel importante na obtenção das concentrações, pois é através da análise dos valores obtidos no mesmo (deflexão

impressa na carta) que é possível realizar o cálculo que determina a vazão de operação do equipamento (DIAS, 2012).

Já na figura 5 é possível visualizar o conjunto porta-filtro/motor o qual se encontra dentro da casinhola e é responsável pela sucção do ar e pela coleta das partículas.

Figura 5 - Conjunto Porta-Filtro/Motor



Fonte: DIAS 2012

Ao contrário dos equipamentos automáticos, os dados obtidos com o mesmo ainda necessitam ser tratados em laboratório para a obtenção das concentrações, o que torna o processo um pouco mais demorado.

Apesar de possuir certa complexidade o AGV PTS possui um princípio de funcionamento relativamente simples, seguindo todas as especificações estabelecidas pela norma NBR 9587 da ABNT.

### **2.3.2 Norma ABNT NBR 9587**

A norma NBR 9587 foi criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1997 com o intuito de especificar o método de ensaio para determinação das concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) utilizando o amostrador de grande volume (AGV). Estão contidas nesta norma as definições básicas relacionadas ao tema a fim de inteirar o leitor a respeito de termos como diâmetro aerodinâmico equivalente e partículas totais em suspensão (PTS) (ABNT, 1997).

Além disso, a norma detalha o princípio desta metodologia, esta que já foi descrito no item anterior (2.3.1 Método de amostrador de grandes volumes para partículas totais em suspensão (AGV PTS)), bem como define a aparelhagem que deve ser utilizada, suas especificações (formato e dimensões), seus componentes (motor, porta filtro, porta motor...), e todo o material necessário (cartas, filtros...) (ABNT, 1997).

Segundo a ABNT (1997) os monitoramentos devem seguir alguns critérios básicos, dentre eles:

- Intervalo de amostragem:  $24h \pm 1h$ ;
- Vazão máxima de amostragem:  $1,1 \text{ m}^3/\text{min}$ ;
- Vazão mínima de amostragem:  $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Ainda constam nesta norma o método de calibração dos equipamentos e as equações utilizadas tanto para a calibração quanto para a obtenção das concentrações de PTS (ABNT, 1997).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 AREA DE ESTUDO – SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO PONTO DE MONITORAMENTO

A área de estudo está situada no município de Criciúma, localizado no extremo sul de Santa Catarina. O mesmo limita-se ao norte com os municípios de Siderópolis, Cocal do Sul e Morro da Fumaça; ao sul com Araranguá e Maracajá; ao leste com Içara; e oeste com Nova Veneza e Forquilha, conforme pode ser visualizado na figura 6. O município está localizado à cerca de 220 km de Florianópolis (capital do estado), encontrando-se próximo ao litoral, possui uma altitude de 46m acima do nível do mar e uma área territorial de 235,627 km<sup>2</sup>, abrigando cerca de 202.395 habitantes segundo dados estimados pelo IBGE para 2010. (CRICIUMA, 2014; CAMARA MUNICIPAL DE CRICIÚMA, 2014).

Figura 6 – Localização do município de Criciúma



Fonte: DE CAMPOS, 2014.

O forte da economia do município é o setor cerâmico sendo o maior produtor nacional e segundo maior produtor mundial de pisos e azulejos. Destacam-

se também os setores metalúrgicos, supermercadistas, de vestuário, carvão, da construção civil e ainda o setor químico. O município ainda se destaca em sua região por ser sede da microrregião do carvão e da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (CRICIUMA, 2014).

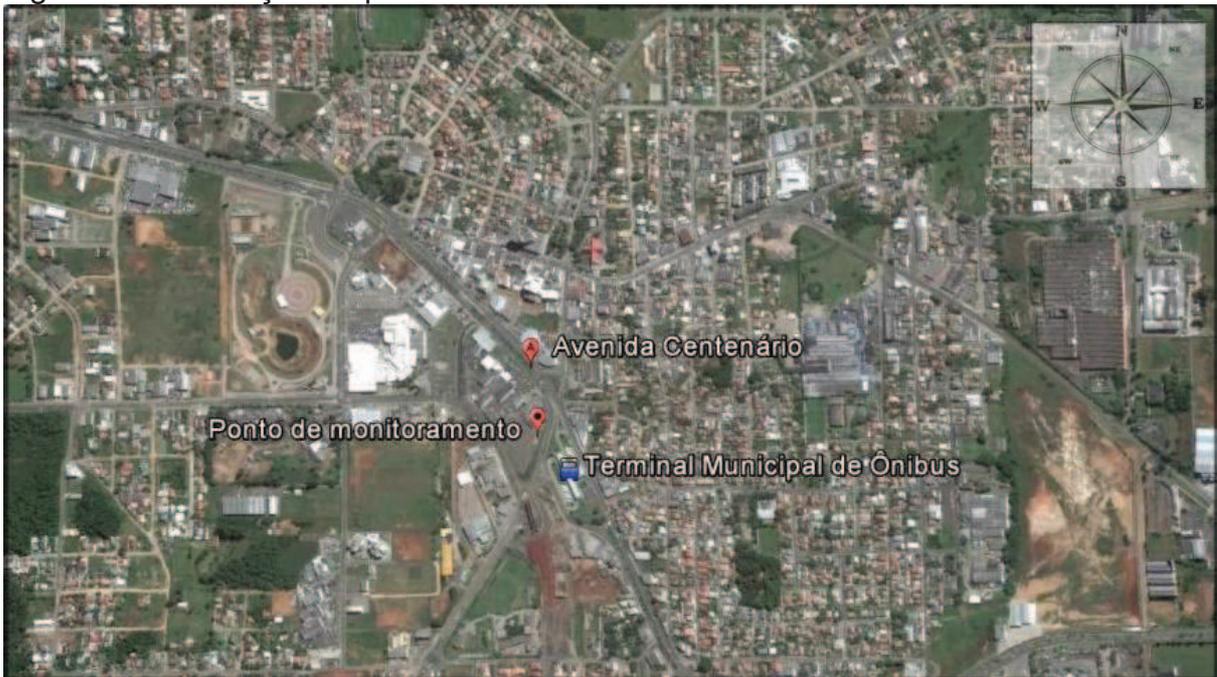
Em relação ao clima o município se encontra em uma região classificada como Subtropical, possuindo temperaturas médias que variam de 15°C à 30°C, sofrendo forte influência do litoral devido à sua proximidade. A máxima intensidade pluviométrica do município ocorre nos períodos verão, enquanto a mínima ocorre nos períodos de inverno, sendo que a pluviosidade média é 120 mm. Quanto aos ventos predominam o nordeste, com rajadas sul principalmente no inverno. (CRICIUMA, 2014; CAMARA MUNICIPAL DE CRICIÚMA, 2014).

Especificamente para o desenvolvimento da pesquisa, a área escolhida para o monitoramento da qualidade do ar situou-se no bairro Próspera, localizado a nordeste do centro do município. O local é de propriedade de uma rádio, e sua seleção deu-se em função da possível influência do fluxo de veículos da Avenida Centenário e do Terminal Municipal de ônibus, localizados próximos ao ponto de monitoramento. Visava-se também avaliar a interferência da obra de uma via denominada Via-rápida, que ligaria o município à BR-101, porém durante quase todo o período de monitoramento esta obra manteve-se parada por problemas judiciais. Outro critério de escolha do ponto de monitoramento foi a disponibilidade de um local seguro, a fim de evitar que os equipamentos fossem depredados.

Cabe salientar que, inicialmente, a pesquisa visava avaliar um local com influência de emissões atmosféricas provenientes de setores econômicos de destaque no município, porém estas atividades não possibilitaram o acesso a seus pátios, devido à preocupação de que os dados obtidos poderiam ser comprometidos. Outra alternativa levantada foi a possibilidade de instalação dos equipamentos nas imediações de algum destes empreendimentos, porém, em função da falta de disponibilidade de um local seguro para tal, esta hipótese foi descartada.

A figura 7 permite visualizar a localização do ponto de monitoramento, e identificar as duas principais potenciais fontes de partículas totais em suspensão que foram consideradas na locação dos pontos, a Avenida Centenário e o Terminal Municipal de ônibus, além de outras possíveis fontes das imediações.

Figura 7- Localização do ponto de monitoramento.



Fonte: Google Earth, 2014.

Percebe-se que por proximidade e também pela predominância de ventos nordeste na região o ponto de monitoramento recebe forte influência da Avenida Centenário, esta que possui um fluxo intenso de veículos (principalmente nos horários de pico entre 7 e 8 horas, 12 e 13 horas e 17 e 18 horas). O terminal de ônibus apesar de não se encontrar em uma posição cujos ventos predominantes da região sejam favoráveis para o carregamento de poluentes até o ponto de monitoramento, também é uma fonte de grande influência se analisarmos sua proximidade com o ponto e sua potencialidade de emissão do poluente monitorado.

As obras da Via-rápida não podem ser visualizadas na figura 7 por serem posteriores à coleta desta imagem por satélite.

Para melhor ilustração da proximidade do ponto de monitoramento com as fontes citadas, a figura 8 apresenta a vista dos equipamentos em uma perspectiva que possibilita a visualização da parte posterior dos mesmos e ao fundo as fontes em questão.

Figura 8 – Equipamentos instalados no ponto de monitoramento



Fonte: Do autor, 2014.

Já a figura 9 mostra a vista lateral dos equipamentos contemplando ao fundo as obras paralisadas da via-rápida.

Figura 9 – Vista lateral dos equipamentos com as obras da Via-rápida ao fundo.



Fonte: Do Autor, 2014.

Percebe-se que as obras da Via-rápida situam-se próximas ao ponto de monitoramento sendo assim uma fonte potencialmente geradora de material particulado, porém com o embargo destas em virtude de problemas jurídicos a sua contribuição durante a maior parte do período de monitoramento se ateve basicamente à ação do vento sobre o material depositado, sendo o mesmo evidenciado ao fundo na figura 9.

Existem também outras possíveis contribuições na área de influência do local monitorado tal como o fluxo intenso de veículos devido à presença de um batalhão da polícia militar, um hospital, um shopping e uma praça municipal. Ainda pode haver também a contribuição das emissões de uma metalúrgica instalada nas imediações.

## 3.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

### 3.2.1 Coleta de Dados

Os dados de concentrações relacionados às partículas totais em suspensão foram coletados pelo método de amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS), já descrito no item 2.3.1 deste trabalho.

Para a realização do estudo utilizaram-se dois amostradores de grande volume para partículas totais em suspensão (AGV PTS), visando avaliar-se a diluição das concentrações de partículas totais em suspensão em função do tempo de monitoramento. O período de monitoramento ocorreu entre os dias 1 e 12 de outubro de 2014.

Os procedimentos realizados nos monitoramentos seguiram os critérios e orientações estipulados pelas normas ABNT NBR 9547 e pelo Manual de operação do AGV PTS fornecido pelo fabricante (ENERGÉTICA) produzido por Dias (2012).

Os dois equipamentos (AGV PTS nº1 e AGV PTS nº2) foram locados e instalados no local do monitoramento seguindo as recomendações do manual de operação do AGV PTS e levando em consideração os ventos predominantes da região em relação às principais fontes identificadas. Estes foram posicionados a uma distância mínima de duas vezes a altura de qualquer barreira física em relação à entrada de ar do amostrador, sendo que os mesmos foram instalados com uma distância de aproximadamente 2,5 metros entre eles e ainda a uma distância mínima

de 2 metros da entrada do amostrador em relação ao nível solo, conforme pode ser evidenciado na figura 10.

Figura 10 – Vista frontal dos equipamentos instalados



Fonte: Do Autor, 2014.

Vale ressaltar que a norma estabelecida no Brasil para determinação de partículas totais em suspensão, utilizando o método do amostrador de grande volume (ABNT NBR 9547/1997), não contém recomendações a respeito da locação e instalação dos AGV PTS, sendo assim o manual de operação do equipamento segue as exigências estabelecidas pela U.S. EPA que é agência de proteção do meio ambiente dos Estados Unidos.

Após a locação e instalação dos mesmos, estes foram calibrados no dia 30 de setembro de 2014, sendo que o monitoramento iniciou apenas no dia seguinte.

A operação dos equipamentos foi realizada entre os dias 1º e 12 de outubro, ambos operando durante este período com uma vazão de amostragem variando entre 1,1 e 1,7 m<sup>3</sup>/min e utilizando um filtro de fibra de vidro com eficiência mínima de 99% para partículas de 0,3 µm de diâmetro, conforme exigência da norma ABNT NBR 9547.

No período compreendido do monitoramento o equipamento AGV PTS nº1 coletou o total de 12 amostras do período de aproximadamente 24 horas, sendo que a troca de filtros era realizada normalmente entre 6 e 7 horas no período da manhã.

Já o AGV PTS nº2 coletou o total de 18 amostras de um período de aproximadamente 12 horas (dia 1 ao dia 9) e 3 amostras de um período de aproximadamente 24 horas (dia 10 ao dia 12). Sendo que para as amostras de 12 horas, os filtros eram trocados duas vezes ao dia, a primeira troca ocorria no período da manhã entre 6 e 7 horas e a segunda troca ocorria entre 18 e 19 horas.

As concentrações obtidas no intervalo de 12 horas utilizando o AGV PTS nº2 tiveram como principal objetivo avaliar a diluição das concentrações ao longo do período de monitoramento, comparando-se as mesmas com as concentrações de 24 horas obtidas no mesmo dia pelo monitoramento realizado em paralelo com o AGV PTS nº1. Já os dados de 24 horas obtidos com o AGV PTS nº2 possibilitaram avaliar se a carga poluente recebida pelo mesmo seria semelhante à recebida pelo AGV PTS nº1.

Coletaram-se também dados meteorológicos do período monitorado (pressão atmosférica, pluviometria, temperatura, direção e velocidade dos ventos, umidade). Os mesmos foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), sendo coletados da estação oficial mais próxima do local de monitoramento, no caso a da EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) de Urussanga. Os referidos dados foram necessários para a realização dos cálculos das planilhas de calibração e de amostragem a fim de obterem-se os dados de vazão dos equipamentos, e também para correlação das condições meteorológicas com as concentrações obtidas no monitoramento.

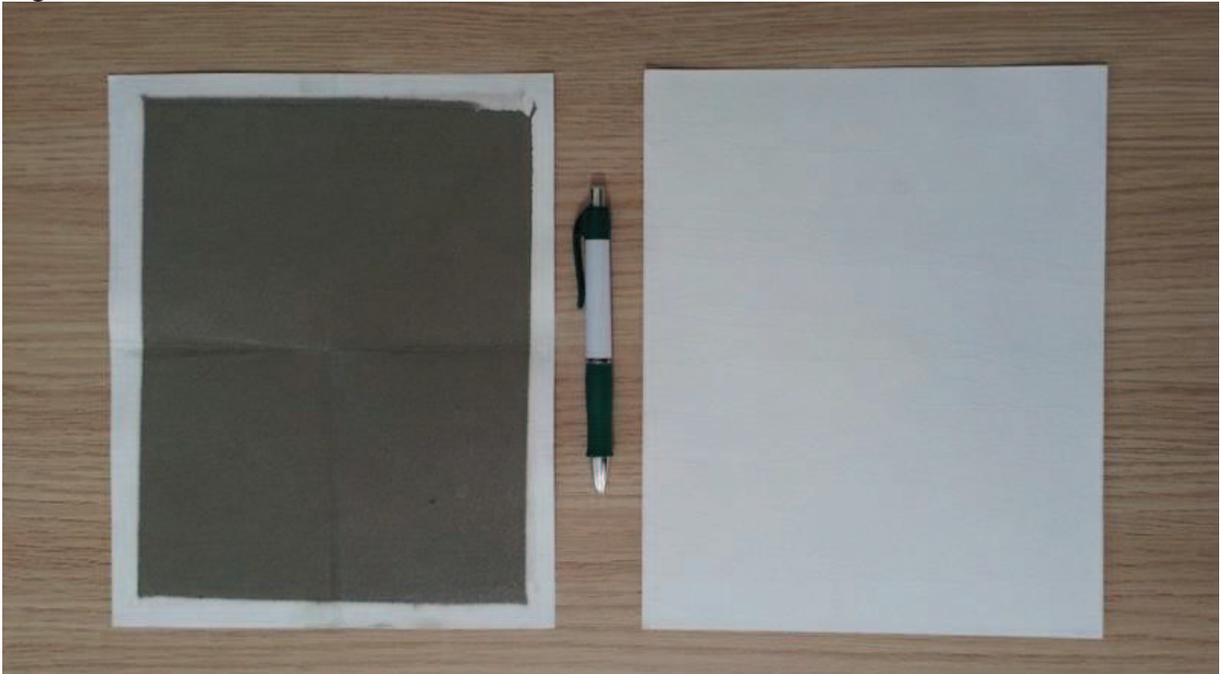
Ressalta-se ainda que em virtude dos três períodos de monitoramento terem sido diferentes, os dados meteorológicos necessitaram ser divididos em grupos, possibilitando assim o seu uso nas planilhas de cada monitoramento. Formaram-se então três grupos de dados meteorológicos: os dados médios de 24 horas, os dados médios de 12 horas nos períodos diurnos e os dados médios de 12 horas nos períodos noturnos.

### 3.2.2 Análise e tratamento de dados

Após a coleta do poluente no monitoramento, os filtros usados foram mantidos 24 horas sob umidade relativa controlada (menor que 50% e com uma margem de oscilação de no máximo 5%) e temperatura controlada (entre 15°C e 30°C podendo variar até 3°C durante o período) em uma estufa contendo sílica-gel e um termômetro digital, seguindo as orientações da ABNT NBR 9547, para que só assim pudessem ser novamente pesados em uma balança analítica utilizando-se 4 casas decimais (exigência da NBR 9547: sensibilidade de 0,1 mg). Obtiveram-se então os pesos do poluente retido nos filtros através da sua diferença de peso, ou seja, o ganho líquido em massa que este obteve durante a coleta das partículas totais em suspensão. Cabe salientar que o procedimento de pesagem anterior à utilização dos filtros na amostragem segue os mesmos requisitos citados acima (controle de temperatura e umidade) (ABNT, 1997; DIAS, 2012).

A figura 11 mostra a comparação de um filtro após o uso no monitoramento de partículas totais em suspensão (esquerda) e um filtro novo (direita).

Figura 11 – Filtro do AGV PTS usado e novo.



Fonte: Do autor, 2014.

Analisando a figura 11 é possível identificar o poluente que ficou retido devido à coloração acinzentada que este confere ao filtro, conforme pode ser evidenciado no filtro usado (esquerda). É possível visualizar também que o filtro novo (direita) encontrasse na sua cor original (branco) com ausência de poluentes. Ressalta-se ainda que as dobras apresentadas no filtro usado são devido ao fato de que o mesmo já se encontrava utilizado e pesado, já que as normas estabelecidas pela ABNT exigem que este não tenha sido dobrado antes de sua utilização.

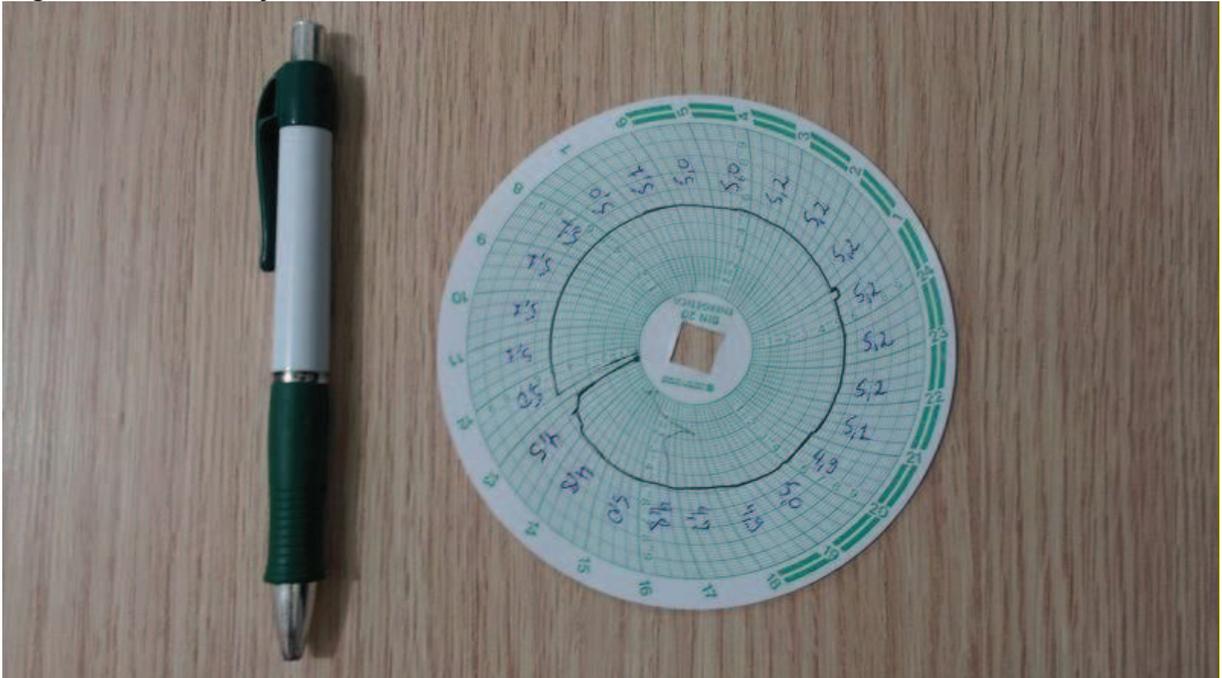
Analisaram-se também as cartas do registrador, os formulários de operação e de calibração, obtendo-se parte das informações necessárias para o cálculo das concentrações de partículas totais em suspensão.

Para a realização dos cálculos, o primeiro procedimento foi o preenchimento das planilhas de calibração utilizando os dados obtidos na calibração juntamente com os dados meteorológicos. A partir desta etapa geraram-se então coeficientes de uma reta que foram utilizados nas planilhas de amostragem possibilitando o cálculo das vazões de operação do equipamento através da correlação da deflexão da carta do registrador com a diferença de pressão impressa pelo motor.

Posteriormente foram calculados os volumes de ar amostrados nos monitoramentos realizados a partir das vazões medidas e do tempo de amostragem. Para este cálculo utilizaram-se planilhas que trabalham com os coeficientes supracitados, os dados meteorológicos, os intervalos de tempo de amostragem obtido através dos horâmetros e os valores de deflexão analisados nas cartas do registrador dos equipamentos, sendo que os valores obtidos de vazão ainda foram corrigidos para as condições-padrão conforme exigência da norma ABNT NBR 9547 (ABNT, 1997).

Na figura 12 é possível visualizar uma das cartas que foram utilizadas no monitoramento contendo as deflexões já analisadas.

Figura 12 – Carta já utilizada no AGV PTS e com as deflexões analisadas.



Fonte: Do autor, 2014.

Percebe-se que o trabalho de análise das deflexões é feita de forma manual, estando assim as deflexões sujeitas a análise do avaliador.

Cruzaram-se então os dados do peso do poluente retido com o volume coletado pelo equipamento durante o respectivo período de monitoramento, obtendo-se assim as concentrações dos poluentes ao longo do período monitorado em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Após o tratamento dos dados e obtenção das concentrações foram elaboradas tabelas para exposição dos dados e figuras a fim de possibilitar uma melhor visualização e comparação.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Para a interpretação dos resultados das concentrações obtidas no monitoramento se faz necessário primeiramente o conhecimento dos dados meteorológicos que foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme exposto anteriormente no item 3.2.1 Coleta de Dados.

Estes dados foram obtidos realizando-se as médias dos valores coletados no site do INMET e através da análise da predominância dos ventos. A título de conhecimento os dados são disponibilizados no referido site de hora em hora, totalizando 24 valores para cada parâmetro por dia, sendo que os valores apresentados são resultado do cálculo das médias destes dados coletados.

A tabela 8 apresenta os dados relativos às médias das condições meteorológicas (temperatura, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e umidade) no período de 24 horas em que os monitoramentos ocorreram. Os dados relativos às direções do vento estão representados pelas suas siglas em inglês: N (norte), NE (nordeste), NW (noroeste), E (leste), S (sul), SE (sudeste), SW (sudoeste) e W (Oeste).

Tabela 8 – Dados meteorológicos médios para 24 horas.

| DATA     | Temperatura<br>[°C] | Patm<br>[mmHg] | Precipitação<br>[mm] | Vento   |           | Umidade<br>[%] |
|----------|---------------------|----------------|----------------------|---------|-----------|----------------|
|          |                     |                |                      | Direção | Vel.[m/s] |                |
| 01/10/14 | 18,4                | 761,8          | 0,6                  | S       | 0,6       | 85             |
| 02/10/14 | 16,5                | 768,4          | 0,0                  | SE      | 0,6       | 80             |
| 03/10/14 | 17,2                | 769,6          | 0,0                  | E       | 1,0       | 71             |
| 04/10/14 | 19,0                | 766,7          | 0,0                  | NE      | 2,5       | 62             |
| 05/10/14 | 20,5                | 764,6          | 0,0                  | NE      | 3,1       | 53             |
| 06/10/14 | 21,2                | 761,7          | 0,0                  | NE      | 1,6       | 58             |
| 07/10/14 | 22,6                | 759,3          | 0,0                  | SW      | 0,8       | 69             |
| 08/10/14 | 23,0                | 757,1          | 0,0                  | SW      | 0,7       | 72             |
| 09/10/14 | 25,9                | 754,4          | 0,0                  | NW      | 1,0       | 65             |
| 10/10/14 | 25,9                | 756,7          | 0,6                  | S       | 1,3       | 63             |
| 11/10/14 | 19,8                | 760,1          | 3,4                  | SE      | 0,5       | 89             |
| 12/10/14 | 23,1                | 757,1          | 6,2                  | SW      | 0,6       | 86             |

Fonte: INMET, 2014.

Analisando os fatores mais influentes nas concentrações de PTS na tabela 8 percebe-se que no período o qual ocorreram os monitoramentos não houve grande incidência de precipitação, estando presente de forma significativa apenas nos dois últimos dias de monitoramento (11 e 12/10), aparecendo também nos dias 01 e 10/10, porém com pouca representatividade.

Em termos de direção dos ventos, a análise nos permite afirmar que foram predominantes durante este intervalo de tempo o nordeste (04 a 06/10) e Sudoeste (7, 8 e 12/10), sendo que as velocidades variaram de 0,6 a 3,1 m/s. Já no que dizem respeito às temperaturas, estas variaram de 16,5 (02/10) a 25,9°C (09 e 10/10) possuindo uma média geral de 21,1 °C.

Para a realização dos cálculos das concentrações dos períodos de 12 horas foi necessária a divisão destes dados meteorológicos diários em 2 grupos, realizando-se assim as médias dos períodos diurnos e noturnos. Estas novas médias obtidas representam melhor as condições ambientais na qual foram realizadas as medições nestes períodos. A partir destes dados foram elaboradas novas tabelas seguindo o mesmo padrão da tabela 8 em termos de parâmetros apresentados e notação dos dados.

A tabela 9 apresenta os dados meteorológicos médios referentes às 12 horas diurnas.

Tabela 9 - Dados meteorológicos médios para 12 horas diurnas.

| DATA     | Temperatura<br>[°C] | Patm<br>[mmHg] | Precipitação<br>[mm] | Vento   |           | Umidade<br>[%] |
|----------|---------------------|----------------|----------------------|---------|-----------|----------------|
|          |                     |                |                      | Direção | Vel.[m/s] |                |
| 01/10/14 | 20,8                | 758,9          | 0,6                  | S/SW/W  | 1,0       | 84             |
| 02/10/14 | 17,9                | 767,6          | 0,0                  | SE      | 1,1       | 71             |
| 03/10/14 | 18,9                | 770,0          | 0,0                  | E       | 1,7       | 60             |
| 04/10/14 | 20,2                | 767,3          | 0,0                  | NE      | 3,0       | 57             |
| 05/10/14 | 21,9                | 765,2          | 0,0                  | NE      | 3,6       | 47             |
| 06/10/14 | 23,1                | 762,7          | 0,0                  | NE      | 2,6       | 49             |
| 07/10/14 | 25,5                | 759,5          | 0,0                  | N       | 1,5       | 52             |
| 08/10/14 | 26,3                | 758,0          | 0,0                  | N/E/SE  | 1,3       | 56             |
| 09/10/14 | 28,2                | 754,5          | 0,0                  | NW      | 1,5       | 53             |

Fonte: INMET, 2014.

Neste período percebe-se que as médias das temperaturas se apresentam maiores devido à contribuição do Sol, sendo que estas variaram de 17,9 (02/10) a 28,2°C (09/10), possuindo uma média de 22,5°C.

Os ventos predominantes neste período foram nordeste (04, 05 e 06/10), sendo que suas velocidades seguiram a mesma tendência de aumento da temperatura quando comparados às médias de 24 horas, com a velocidade média máxima registrada no dia 05/10 (3,1 m/s) e mínima em 01/10 (1,0 m/s).

A tabela 10 apresenta os dados meteorológicos médios referentes às 12 horas noturnas.

Tabela 10 - Dados meteorológicos médios para 12 horas noturnas.

| DATA     | Temperatura<br>[°C] | Patm<br>[mmHg] | Precipitação<br>[mm] | Vento   |           | Umidade<br>[%] |
|----------|---------------------|----------------|----------------------|---------|-----------|----------------|
|          |                     |                |                      | Direção | Vel.[m/s] |                |
| 01/10/14 | 15,9                | 764,7          | 0,0                  | S       | 0,2       | 87             |
| 02/10/14 | 15,1                | 769,3          | 0,0                  | SW      | 0,0       | 90             |
| 03/10/14 | 15,5                | 769,3          | 0,0                  | W       | 0,3       | 81             |
| 04/10/14 | 17,9                | 766,1          | 0,0                  | NE      | 2,1       | 68             |
| 05/10/14 | 19,2                | 763,9          | 0,0                  | NE      | 2,7       | 59             |
| 06/10/14 | 19,2                | 760,7          | 0,0                  | N/NE    | 0,7       | 67             |
| 07/10/14 | 19,6                | 759,1          | 0,0                  | SW      | 0,1       | 85             |
| 08/10/14 | 19,6                | 756,3          | 0,0                  | SW      | 0,0       | 88             |
| 09/10/14 | 23,5                | 754,4          | 0,0                  | NW      | 0,5       | 77             |

Fonte: INMET, 2014.

Neste período a ausência de Sol provocou uma queda nas temperaturas médias, a média mais baixa ocorre em 02/10 (15,1 °C) e a mais alta em 09/10 (23,5 °C), sendo a temperatura média em todo período de 18,4°C.

Os ventos também se apresentam mais amenos sendo que a maior velocidade média é de 2,1m/s (05/10) e a menor de 0,0 m/s (02/10), predominando novamente o nordeste e sudoeste.

Estes dados apresentados são de extrema importância, pois além de serem necessários para a realização dos cálculos do monitoramento possuem uma relação direta com os valores de concentrações obtidos no monitoramento de partículas totais em suspensão. Feita a apresentação destes dados é possível então iniciarmos a apresentação dos dados relativos às concentrações obtidas.

Os resultados obtidos com o monitoramento das partículas totais em suspensão serão apresentados na forma de tabelas e figuras.

A tabela 11 apresenta os resultados obtidos no intervalo de 24 horas no monitoramento realizado, com o equipamento AGV PTS nº1, entre os dias 1º e 12 de outubro de 2014.

Tabela 11 – Resultados do monitoramento de 24 horas – AGV PTS nº1.

| Data     | Tempo de amostragem [h] | Volume de ar [m <sup>3</sup> ] | Vazão Média [m <sup>3</sup> /min] | PTS [µg/m <sup>3</sup> ] | IQA     |
|----------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| 01/10/14 | 24,00                   | 2.194,89                       | 1,52                              | 77,82                    | BOA     |
| 02/10/14 | 24,00                   | 2.221,09                       | 1,54                              | 180,09                   | REGULAR |
| 03/10/14 | 23,81                   | 2.197,78                       | 1,54                              | 165,58                   | REGULAR |
| 04/10/14 | 24,00                   | 2.180,34                       | 1,51                              | 95,40                    | REGULAR |
| 05/10/14 | 23,85                   | 2.187,23                       | 1,53                              | 80,56                    | REGULAR |
| 06/10/14 | 23,94                   | 2.188,91                       | 1,52                              | 97,22                    | REGULAR |
| 07/10/14 | 24,00                   | 2.176,05                       | 1,51                              | 175,04                   | REGULAR |
| 08/10/14 | 23,68                   | 2.212,27                       | 1,56                              | 170,37                   | REGULAR |
| 09/10/14 | 24,00                   | 2.233,21                       | 1,55                              | 189,50                   | REGULAR |
| 10/10/14 | 23,99                   | 2.250,08                       | 1,56                              | 160,26                   | REGULAR |
| 11/10/14 | 24,00                   | 2.337,50                       | 1,62                              | 57,11                    | BOA     |
| 12/10/14 | 24,00                   | 2.241,41                       | 1,56                              | 102,26                   | REGULAR |

Fonte: Do autor, 2014.

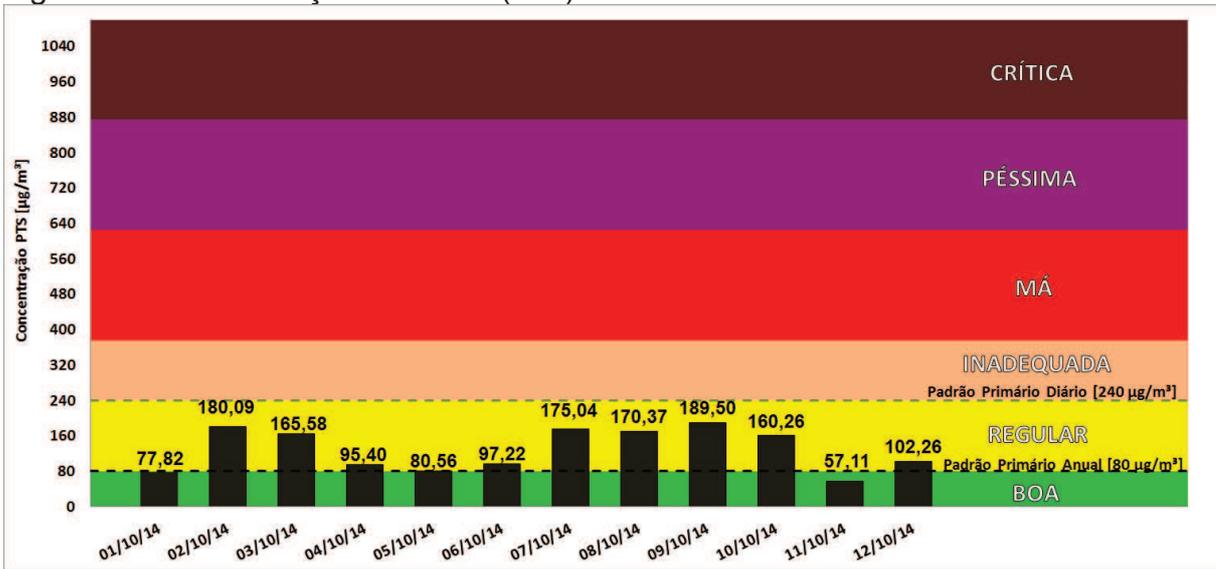
A análise dos resultados nos permite afirmar que este monitoramento realizado cumpre o tempo de amostragem estipulado pelas normas ABNT (24±1h) e as vazões indicadas pelo fornecedor do equipamento (entre 1,1 e 1,7 m<sup>3</sup>/min).

Observa-se também que os valores de concentrações obtidos não extrapolam a concentração limite do padrão primário (240 µg/m<sup>3</sup>) estabelecida pela Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho 1990, sendo que a maior concentração obtida foi de 189,50 µg/m<sup>3</sup> no dia 09/10. Porém se realizarmos o cálculo de média geométrica com os resultados destas concentrações teremos como resultado o valor de 120,28 µg/m<sup>3</sup>, este que expressa uma tendência a ultrapassar a média geométrica anual estabelecida pela mesma Resolução que é de 80 µg/m<sup>3</sup>.

Já se compararmos estes mesmos valores com as concentrações limites dos padrões secundários também estabelecidos pelo CONAMA (150 µg/m<sup>3</sup>), 6 dos 12 dias de monitoramento se encontrariam acima dos limites diários (02, 03, 07, 08, 09 e 10/10).

Para melhor avaliação dos dados pode-se observar a figura 13 que além de apresentar os valores e compará-los com os padrões ainda correlaciona os mesmos com os Índices de qualidade do ar (IQAR) – CETESB.

Figura 13- Concentrações de PTS (24h) – AGV PTS nº1



Fonte: Do autor, 2014.

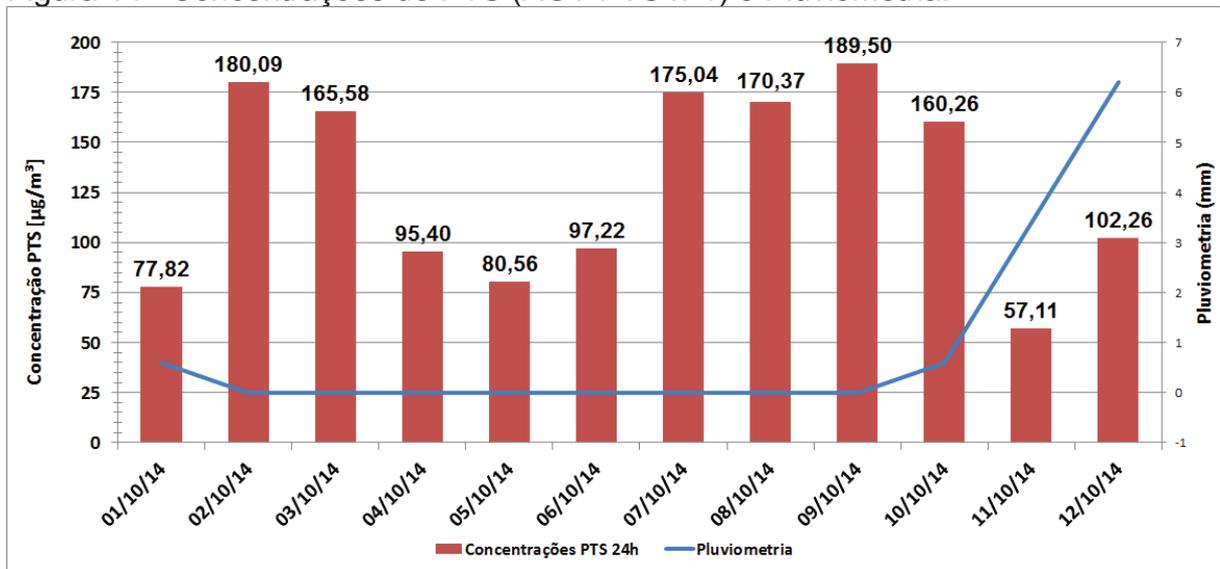
Percebe-se que apesar de não extrapolar os limites diários dos padrões primários estabelecidos pelo CONAMA a qualidade do ar se encontra em níveis não desejáveis quando avaliados em relação ao Índice de qualidade do ar, já que em se tratando de um recurso que possui uma ligação direta com a saúde populacional espera-se que todos os resultados de concentrações obtidos possuam uma qualidade considerada BOA.

Lembrando que a classificação do índice de qualidade do ar BOA corresponde aos valores-guia para exposição em curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (CETESB, 2013).

A referida qualidade ocorreu em apenas dois dias, ou seja, 1 e 11 de outubro, nos demais dias a qualidade do ar é considerada REGULAR.

Visando avaliar a influência da pluviometria nas concentrações de partículas totais em suspensão, elaborou-se a figura 14 que relaciona os valores de concentrações obtidas no equipamento AGV PTS nº1 no intervalo de 24 horas com os valores de precipitação coletados do período em que o monitoramento ocorreu.

Figura 14– Concentrações de PTS (AGV PTS nº1) e Pluviometria.



Fonte: Do autor, 2014.

Apesar da pouca evidência de precipitação no período de monitoramento observa-se uma relação inversa entre a pluviometria e as concentrações obtidas, exceto pelo dia 12 outubro no qual a pluviometria aumenta e a concentração também. O fato assegura a afirmação de Gomes (2010) de que as concentrações tendem a diminuir com o aumento da pluviometria, devido ao fato de que esta arrasta as partículas do ar consigo ocasionando o fenômeno da deposição húmida.

Conforme a CETESB (2014a) a ressuspensão de partículas do solo é uma das principais fontes de PTS, sendo que com a presença de chuva o solo acaba ficando úmido, evitando que as partículas presentes no mesmo sofram o processo de ressuspensão, contribuindo também consideravelmente para a redução das concentrações deste poluente na atmosfera.

Outro fator que possui interferência direta com os valores de concentrações obtidas são os ventos predominantes. Esta relação por sua vez depende diretamente das suas direções e velocidades, dependendo também da posição das potenciais fontes poluidoras.

A tabela 12 nos permite realizar um comparativo das concentrações obtidas com as características dos ventos predominantes durante os períodos de monitoramento.

Tabela 12 – Relação entre os ventos predominantes e as concentrações de 24h obtidas com o AGV PTS nº1.

| Data     | PTS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Ventos  |                  |
|----------|----------------------------------|---------|------------------|
|          |                                  | Direção | Velocidade [m/s] |
| 01/10/14 | 77,82                            | S       | 0,6              |
| 02/10/14 | 180,09                           | SE      | 0,6              |
| 03/10/14 | 165,58                           | E       | 1,0              |
| 04/10/14 | 95,40                            | NE      | 2,5              |
| 05/10/14 | 80,56                            | NE      | 3,1              |
| 06/10/14 | 97,22                            | NE      | 1,6              |
| 07/10/14 | 175,04                           | SW      | 0,8              |
| 08/10/14 | 170,37                           | SW      | 0,7              |
| 09/10/14 | 189,50                           | NW      | 1,0              |
| 10/10/14 | 160,26                           | S       | 1,3              |
| 11/10/14 | 57,11                            | SE      | 0,5              |
| 12/10/14 | 102,26                           | SW      | 0,6              |

Fonte: Do autor, 2014.

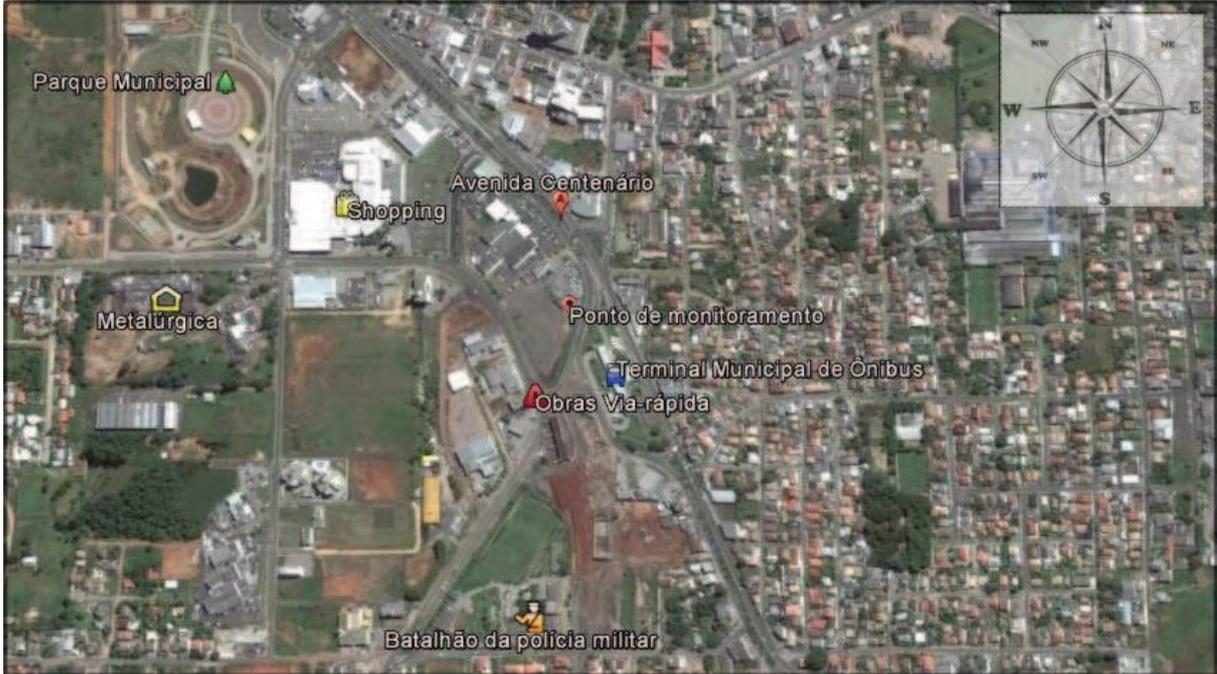
Analisando a tabela 12 percebe-se que os 5 maiores valores de concentrações foram obtidos nos dias em que os ventos predominantes foram:

- Sudoeste (SW): dias 07 e 08/10;
- Noroeste (NW): dia 09/10;
- Leste (E): dia 03/10;
- Sudeste (SE): dia 02/10.

Porém se observarmos a velocidade média dos ventos percebemos que esta não é muito expressiva variando entre 0,5 e 3,1 m/s, de forma que sua influência pode acabar se tornando menor devido a esta baixa intensidade.

A figura 15 nos permite uma melhor correlação dos dados apresentados na tabela 12 com as posições das potenciais fontes de emissão de partículas totais em suspensão identificadas na região.

Figura 15 – Localização do ponto de monitoramento e possíveis fontes de poluição.



Fonte: Do autor, 2014.

É possível afirmar através da análise da figura 15 que para os dias nos quais predominaram os ventos sudoeste (SW) e que se obtiveram os valores de concentração 175,04 (07/10) e 170,04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (08/10) há uma possível contribuição das obras da via-rápida e do material armazenado pela mesma, conforme foi evidenciado na figura 9.

Para o dia 09/10 cuja predominância do vento foi noroeste (NW) e o valor de concentração obtido foi o maior encontrado em todo o período de monitoramento de 24 horas com o AGV PTS nº1 (189,50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pode-se atribuir esta concentração a uma possível influência da movimentação de veículos no parque municipal, no shopping, e ao longo do trajeto da Avenida Centenário.

Nos dias em que predominou os ventos leste (E) e sudeste (SE) (03 e 02/10) nos quais as concentrações obtidas foram respectivamente de 165,58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 180,09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a hipótese é de que as principais fontes contribuintes tenham sido a Avenida Centenário e o Terminal Municipal de Ônibus.

Já em relação aos dados obtidos com o equipamento AGV PTS nº2, estes foram divididos em 3 (três) grupos:

- Dados de monitoramento de 12 horas no período diurno;
- Dados de monitoramento de 12 horas no período noturno;

- Dados do monitoramento de 24 horas.

Nesta etapa, estes 3 grupos serão apresentados de forma separada a fim de facilitar sua visualização e interpretação.

O primeiro a ser apresentado será o monitoramento de 12 horas no período diurno, na tabela 13 é possível visualizar as concentrações obtidas neste intervalo de tempo de monitoramento com o AGV PTS nº2.

Tabela 13 - Resultados do monitoramento diurno (12 horas) – AGV PTS nº2.

| Data     | Tempo de amostragem [h] | Volume de ar [m <sup>3</sup> ] | Vazão Média [m <sup>3</sup> /min] | PTS [µg/m <sup>3</sup> ] | IQA     |
|----------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| 01/10/14 | 12,00                   | 999,86                         | 1,39                              | 111,72                   | REGULAR |
| 02/10/14 | 11,83                   | 1.040,58                       | 1,47                              | 191,53                   | REGULAR |
| 03/10/14 | 11,60                   | 1.007,53                       | 1,45                              | 223,32                   | REGULAR |
| 04/10/14 | 11,92                   | 1.014,20                       | 1,42                              | 134,10                   | REGULAR |
| 05/10/14 | 11,72                   | 1.000,99                       | 1,42                              | 98,40                    | REGULAR |
| 06/10/14 | 11,68                   | 989,51                         | 1,41                              | 137,24                   | REGULAR |
| 07/10/14 | 12,00                   | 1.015,79                       | 1,41                              | 169,62                   | REGULAR |
| 08/10/14 | 11,60                   | 962,30                         | 1,38                              | 186,32                   | REGULAR |
| 09/10/14 | 11,66                   | 1.002,01                       | 1,43                              | 224,05                   | REGULAR |

Fonte: Do autor, 2014.

Neste caso é possível verificar que propositalmente o tempo de amostragem não segue as exigências estabelecidas pela ABNT (24±1h), sendo adotado o intervalo de tempo de 12 horas com uma margem de 30 minutos. Já em se tratando de vazão média do equipamento, pode-se afirmar que esta se encontra dentro da faixa estipulada pelo fabricante para a coleta do poluente em questão (entre 1,1 e 1,7 m<sup>3</sup>/min).

Observa-se que da mesma forma que os dados apresentados anteriormente, nenhum dos valores de concentração obtidos no intervalo de 12 horas no período diurno extrapola a concentração limite do padrão primário (240 µg/m<sup>3</sup>) estabelecida pela Resolução do CONAMA, sendo que neste período a maior concentração foi obtida também no dia 09/10 (224,05 µg/m<sup>3</sup>). Porém novamente se realizarmos o cálculo de média geométrica o resultado encontrado foi de 157,97 µg/m<sup>3</sup>, valor este que também expressa uma tendência a ultrapassar a média geométrica anual estabelecida pela mesma Resolução que é de 80 µg/m<sup>3</sup>.

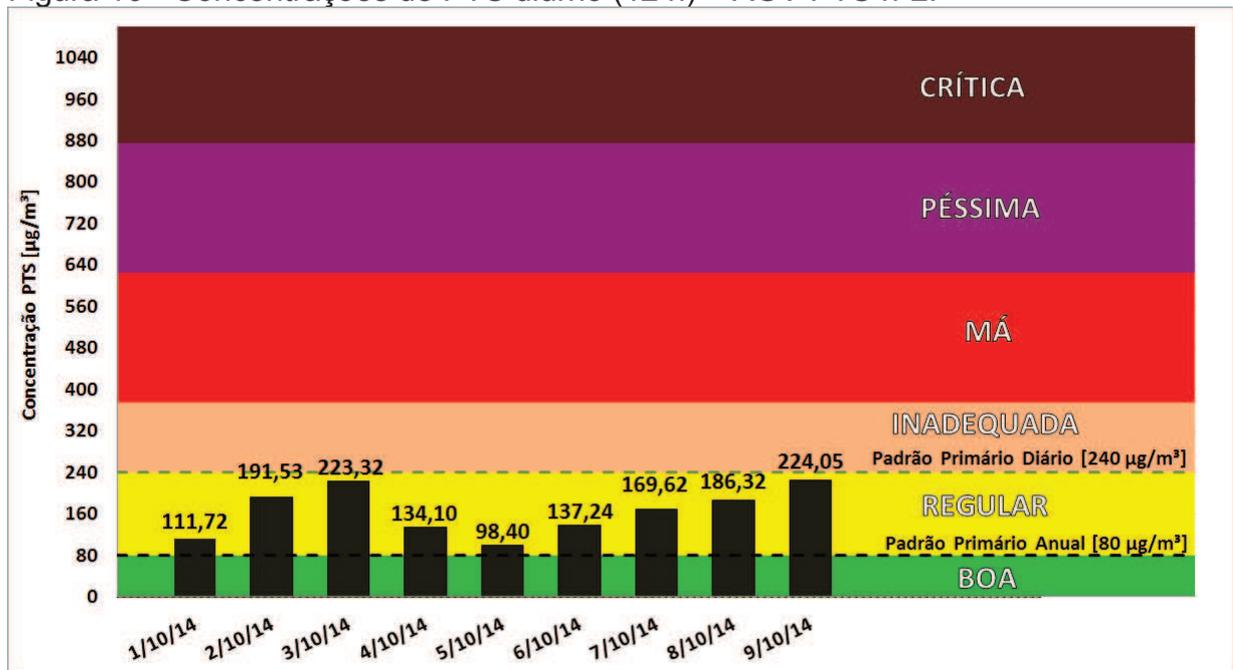
Já se compararmos os valores de concentrações obtidos com as concentrações limites dos padrões secundários também estabelecidos pelo

CONAMA ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 5 dos 9 dias de monitoramento se encontrariam acima dos limites (02, 03, 07, 08, e 09/10).

Vale ressaltar que por não cumprir o intervalo de tempo de amostragem (24 horas) indicado pela legislação e pelas normas ABNT, as comparações com os padrões estabelecidos não possuem valor legal, sendo realizadas apenas para efeito ilustrativo deste estudo de caso.

Para melhor visualização do conteúdo exposto na tabela 13 utilizaram-se os dados contidos na mesma para a elaboração da figura 16, esta que além de expor os resultados de concentrações graficamente, ainda os compara com os padrões primários estabelecidos pela Resolução do CONAMA e com o Índice de qualidade do ar (IQAR) - CETESB.

Figura 16 - Concentrações de PTS diurno (12 h) – AGV PTS nº2.



Fonte: Do autor, 2014.

Neste caso nenhum dos valores obtidos se enquadra na classificação BOA do Índice de Qualidade do ar, sendo todos os valores enquadrados como de qualidade REGULAR.

Este fato é preocupante, pois é neste período onde há maior movimentação de pessoas nos arredores do ponto de monitoramento. Lembrando novamente que a classificação do índice de qualidade do ar BOA corresponde aos valores-guia para exposição em curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde – OMS (CETESB, 2014b).

Mediante estas evidências pode-se afirmar que as concentrações de partículas totais em suspensão durante o período de monitoramento poderiam estar afetando significativamente a saúde populacional mesmo que exposta em curto prazo, conforme indica o estudo da OMS que estabelece os valores-guia para este tipo de exposição.

Na tabela 14 é possível visualizar as concentrações obtidas no intervalo de 12 horas no período noturno de monitoramento com o AGV PTS nº2.

Tabela 14 – Resultados do monitoramento noturno (12 horas) – AGV PTS nº2.

| Data     | Tempo de amostragem [h] | Volume de ar [m <sup>3</sup> ] | Vazão Média [m <sup>3</sup> /min] | PTS [µg/m <sup>3</sup> ] | IQA     |
|----------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| 01/10/14 | 12,00                   | 1.051,77                       | 1,46                              | 47,35                    | BOM     |
| 02/10/14 | 12,00                   | 1.038,02                       | 1,44                              | 181,40                   | REGULAR |
| 03/10/14 | 12,00                   | 1.036,40                       | 1,44                              | 116,65                   | REGULAR |
| 04/10/14 | 12,00                   | 1.025,73                       | 1,42                              | 57,81                    | BOM     |
| 05/10/14 | 12,00                   | 1.025,97                       | 1,42                              | 52,93                    | BOM     |
| 06/10/14 | 12,00                   | 1.038,69                       | 1,44                              | 65,66                    | BOM     |
| 07/10/14 | 11,96                   | 1.021,40                       | 1,42                              | 188,76                   | REGULAR |
| 08/10/14 | 12,00                   | 1.058,93                       | 1,47                              | 168,09                   | REGULAR |
| 09/10/14 | 12,00                   | 1.056,65                       | 1,47                              | 177,45                   | REGULAR |

Fonte: Do autor, 2014.

Novamente verifica-se que o tempo de amostragem não segue as exigências estabelecidas pela ABNT (24±1h) sendo adotado o intervalo de tempo de 12 horas com uma margem de 30 minutos. Em termos de vazão média do equipamento, estas novamente encontram-se dentro da faixa estipulada pelo fabricante para a coleta do poluente em questão (entre 1,1 e 1,7 m<sup>3</sup>/min).

O maior valor de concentração obtida neste período foi de 188,76 µg/m<sup>3</sup> (dia 07/10). Sendo assim, da mesma forma que nos demais monitoramentos, nenhum dos valores obtidos de concentração extrapolam a concentração limite do padrão primário (240 µg/m<sup>3</sup>) estabelecida pela Resolução do CONAMA. Porém quando realizado o cálculo de média geométrica o resultado da concentração é de 101,40 µg/m<sup>3</sup>, novamente expressando uma tendência a ultrapassar a média geométrica anual estabelecida pela mesma Resolução que é de 80 µg/m<sup>3</sup>.

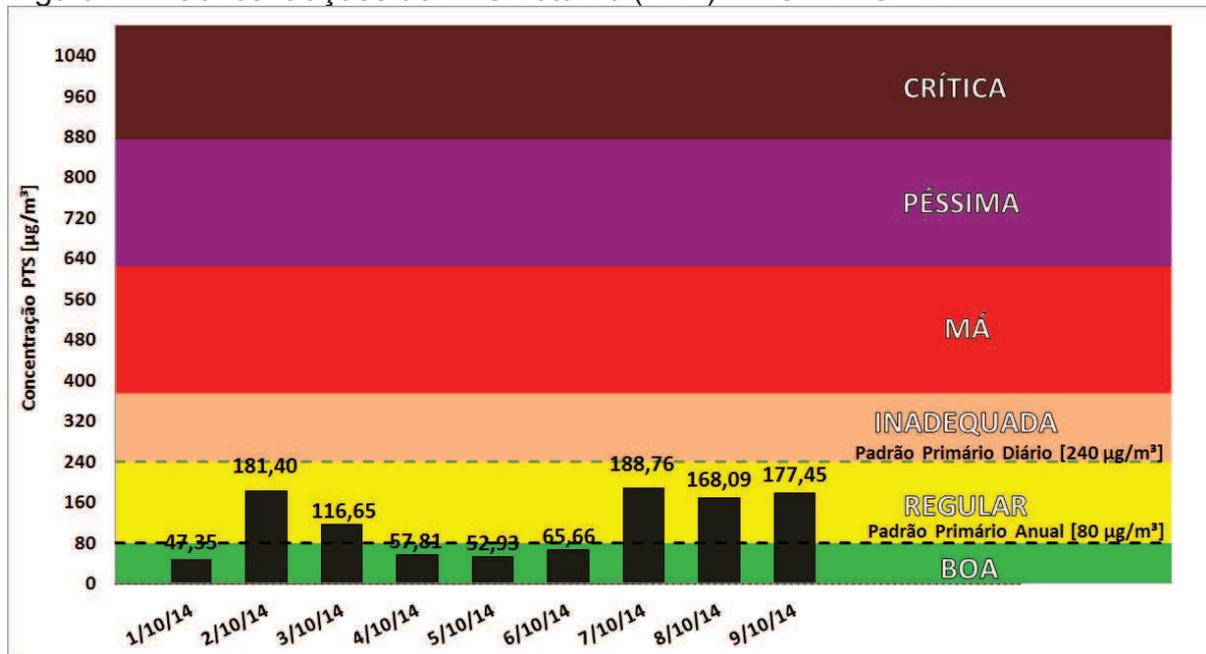
Já se compararmos os valores de concentrações obtidos com as concentrações limites dos padrões secundários também estabelecidos pelo

CONAMA ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 4 dos 9 dias de monitoramento se encontrariam acima dos limites (02, 07, 08, e 09/10).

Vale ressaltar novamente que por não cumprir o intervalo de tempo de amostragem (24 horas) indicado pela legislação e pelas normas ABNT, as comparações com os padrões estabelecidos não possuem valor legal, sendo realizadas apenas para efeito ilustrativo deste estudo de caso.

A figura 17 permite uma melhor visualização dos resultados das concentrações contidos na tabela 14, e ainda os compara com os padrões primários estabelecidos pela Resolução do CONAMA e com o Índice de qualidade do ar (IQAR) - CETESB.

Figura 17 - Concentrações de PTS noturno (12 h) – AGV PTS nº2



Fonte: Do autor, 2014.

Dentre os 3 monitoramentos realizados em paralelo, entre os dias 1 e 9 de outubro, este foi o que apresentou o maior número de concentrações que se enquadram na faixa de qualidade do ar BOA (1/10 e entre os dias 4 e 6/10), sendo que nos demais dias a qualidade do ar também foi classificada como REGULAR.

É neste período também onde a maioria das fontes de emissões de partículas totais em suspensão cessam ou diminuem significativamente sua contribuição, sendo esta a possível causa da redução dos valores de concentrações obtidos.

A tabela 15 apresenta os dados obtidos das concentrações no intervalo de 24 horas no monitoramento realizado com o equipamento AGV PTS nº2.

Tabela 15 - Resultados do monitoramento de 24 horas – AGV PTS nº2.

| <b>Data</b> | <b>Tempo de amostragem [h]</b> | <b>Volume de ar [m<sup>3</sup>]</b> | <b>Vazão Média [m<sup>3</sup>/min]</b> | <b>PTS [µg/m<sup>3</sup>]</b> | <b>IQA</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------|------------|
| 10/10/14    | 23,99                          | 2.077,30                            | 1,44                                   | 169,45                        | REGULAR    |
| 11/10/14    | 24,00                          | 2.103,29                            | 1,46                                   | 59,24                         | BOA        |
| 12/10/14    | 24,00                          | 2.049,38                            | 1,42                                   | 105,93                        | REGULAR    |

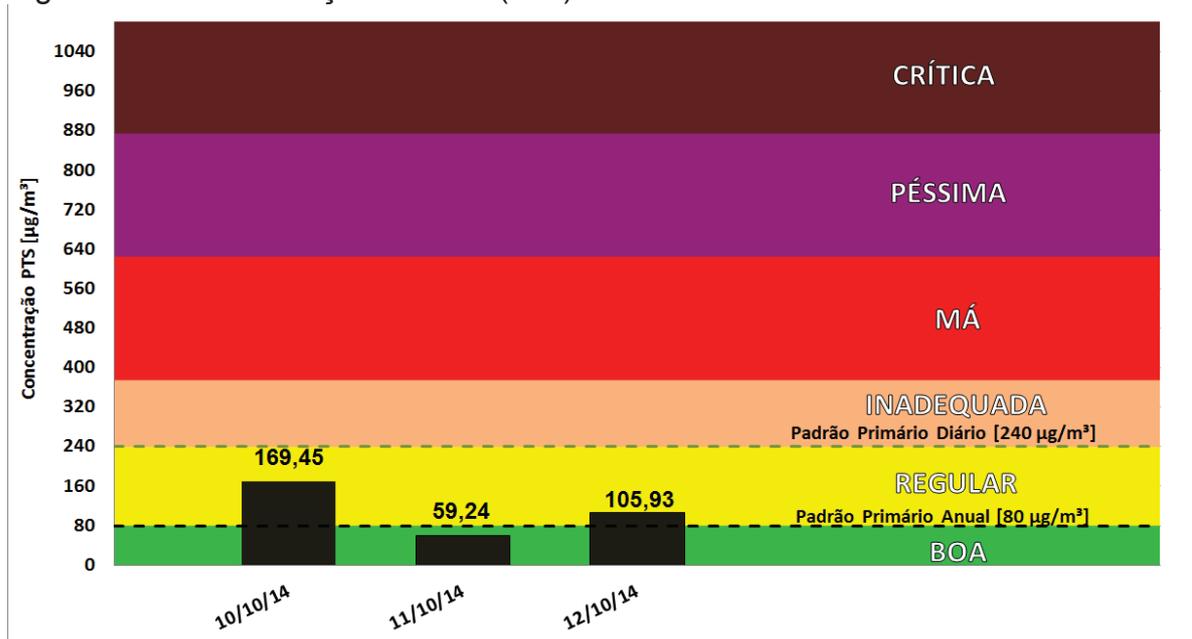
Fonte: Do autor, 2014.

Os dados de concentrações obtidos também não extrapolam a concentração limite do padrão primário (240 µg/m<sup>3</sup>) estabelecida pela Resolução do CONAMA. Porém da mesma forma que os demais dados apresentados ao realizarmos o cálculo de média geométrica o resultado encontrado é de 102,07 µg/m<sup>3</sup>, expressando também uma tendência a ultrapassar a média geométrica anual estabelecida pela mesma Resolução que é de 80 µg/m<sup>3</sup>.

Quando se compara as concentrações obtidas com os limites dos padrões secundários também estabelecidos pelo CONAMA (150 µg/m<sup>3</sup>), o dia 10/10 se encontra acima dos limites (169,45 µg/m<sup>3</sup>).

Os dados expostos na tabela 15 podem ser observados na figura 18 que além de apresentar os valores graficamente e compará-los com os padrões primários estabelecidos pela Resolução do CONAMA ainda os correlaciona com o Índice de qualidade do ar (IQAR) - CETESB.

Figura 18 - Concentração de PTS (24h) – AGV PTS nº2



Fonte: Do Autor, 2014.

Neste caso apenas um dia se encontra dentro da faixa de qualidade do ar considerada BOA (11/10), sendo que os demais dias são classificados como de qualidade do ar REGULAR.

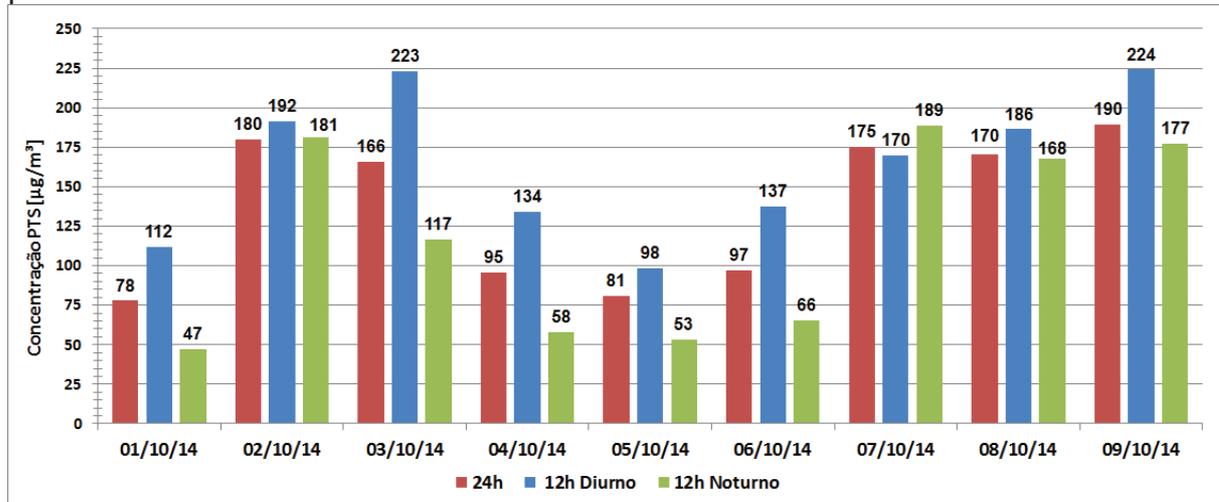
Como citando anteriormente, este monitoramento de 24 horas com o AGV PTS nº 2 tem por objetivo avaliar se os 2 equipamentos operando em paralelo com o mesmo intervalo de tempo de amostragem apresentam concentrações semelhantes.

#### 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO AR EM DIFERENTES PERÍODOS DE MONITORAMENTO.

Para facilitar a correlação dos dados dos monitoramentos foram elaboradas figuras que cruzaram os mesmos de forma a ilustrar a discussão tornando as conclusões facilmente evidenciáveis.

A figura 19 compara as concentrações obtidas de 12 horas nos períodos diurnos e noturnos (AGV PTS nº2) com as concentrações obtidas no período de 24 horas (AGV PTS nº1), entre os dias 1 e 9 de outubro.

Figura 19 - Comparativo das concentrações de PTS obtidas nos monitoramentos em paralelo.



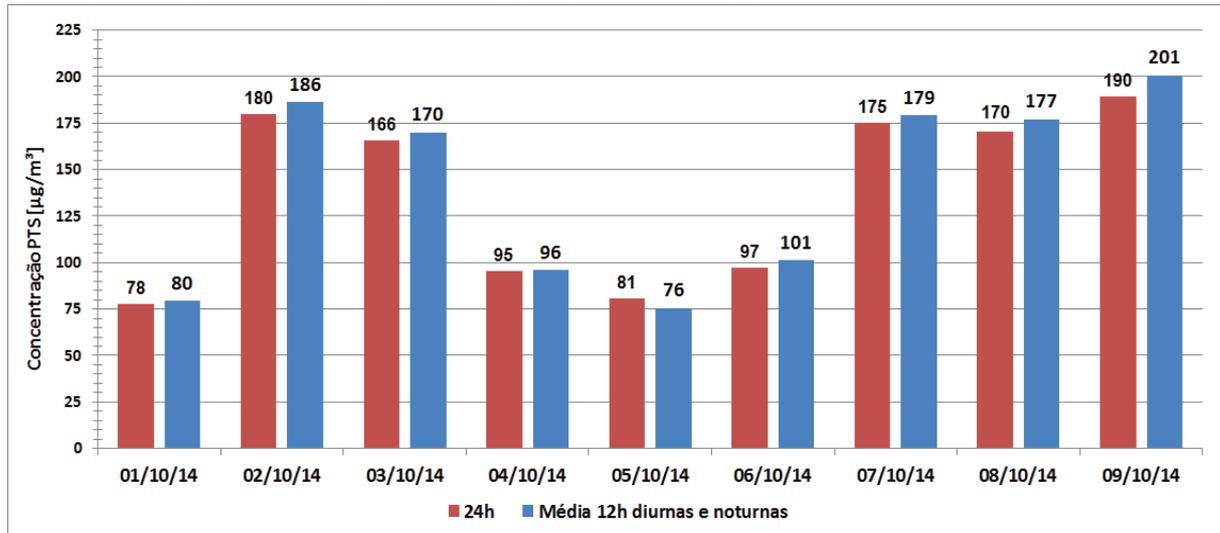
Fonte: Do autor, 2014.

Analisando a figura 19 percebe-se que em grande parte dos dias as maiores médias de concentrações obtidas no monitoramento estão presentes na série de 12 horas no período diurno, e os menores valores médios de concentrações no período noturno, quando comparando as três concentrações obtidas no mesmo dia.

Destaca-se nesta análise o dia 07/10 no qual o maior valor de concentração obtida foi no período noturno, elevando assim também as concentrações obtidas no período de 24 horas, sendo que este fato pode estar atrelado à contribuição significativa de alguma fonte neste período e/ou as condições meteorológicas que podem ter influenciado na dispersão do poluente ou no carreamento do mesmo para a região monitorada.

Os valores apresentados do monitoramento de 24 horas, em geral, correspondem a uma média aproximada dos 2 períodos de 12 horas (diurno e noturno), como pode ser visualizado na figura 20.

Figura 20 – Comparativos das concentrações de PTS obtidas em 24 horas e a média dos monitoramentos de 12 horas diurnas e noturnas.



Fonte: Do autor, 2014.

Com a análise das figuras 19 e 20 é possível afirmar que neste caso houve a diluição das concentrações no período de 24 horas, na qual a maior parte do poluente foi coletado no período diurno, sendo o período noturno responsável pela diluição da amostra. Percebe-se uma diluição significativa nas concentrações, chegando a atingir até 30,34% de redução nas concentrações, como ocorreu no dia 01/10, sendo que a média em todo período de monitoramento foi de 17,68%, quando comparados os valores de 12 horas diurnas com os obtidos em 24 horas.

Sendo assim, durante o período diurno a população realmente pode estar exposta à concentrações acima do limite tolerável, mesmo quando os valores obtidos em 24 horas não ultrapassam os padrões estabelecidos pelo CONAMA. Fato este que pode vir a ocasionar efeitos adversos à saúde da população tais como problemas respiratórios, cardiovasculares e intoxicação conforme evidenciado por Hoinaski (2010) ou até mesmo a morte segundo Lisboa (2007a).

Porém, a diluição evidenciada não foi proporcional ao decréscimo da contribuição relativa às fontes de emissões, considerando-se que no período noturno a maior parte das fontes de emissão cessa ou minimiza muito sua influência.

O fato das concentrações de partículas totais não sofrerem uma queda brusca, mesmo com a forte redução da contribuição, pode ser atribuída ao tamanho destas partículas. Como evidenciado por Lisboa (2007b) e Gomes (2010), a velocidade de sedimentação, assim como o tempo de permanência das partículas na atmosfera, esta diretamente ligada às dimensões das partículas. Portanto, quanto

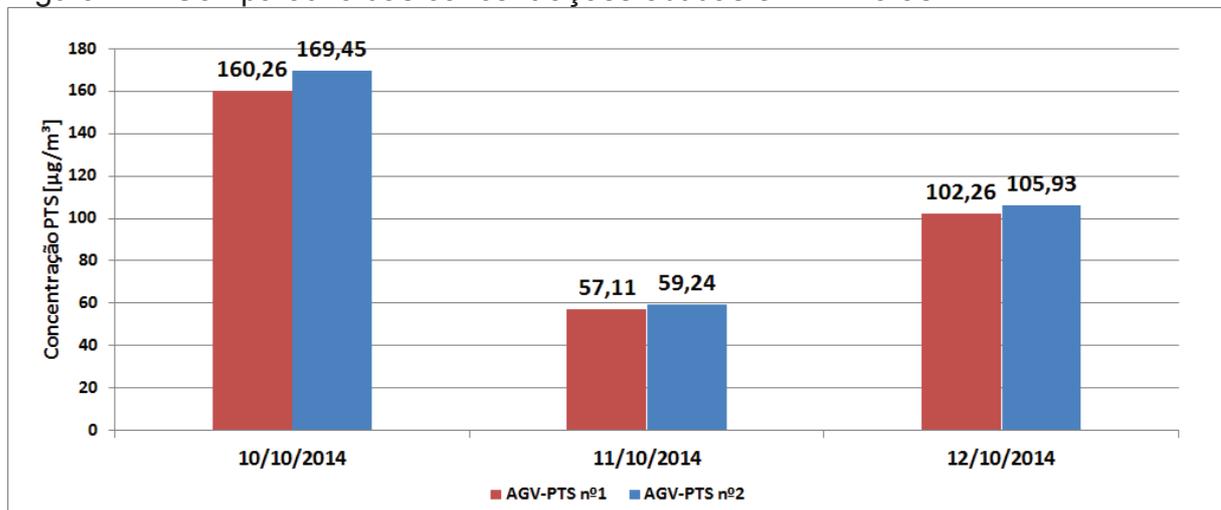
menor a partícula, menor será sua velocidade de sedimentação e maior será seu tempo de suspensão na atmosfera.

Desta maneira, por possuírem um tamanho relativamente pequeno (<50 µm), as partículas totais em suspensão permanecem no ar por um tempo considerável. Isto faz com que as concentrações mantenham-se em níveis relativamente altos mesmo com o término/diminuição da contribuição das fontes. Com isso, pode-se dizer que as concentrações de partículas totais em suspensão não estão ligadas estritamente a uma emissão temporária, mas sim a um histórico de contribuição, além dos fatores de dispersão dos poluentes.

Analisando ainda a figura 20, percebe-se que todas as médias calculadas dos períodos de 12 horas diurnos e noturnos superam os valores de concentrações obtidos em 24 horas com o AGV PTS nº1. Além disso, na figura 19 é possível visualizar que no dia 02 de outubro o valor da concentração obtida do período de 24 horas é inferior aos valores das concentrações obtidas nos dois períodos de 12 horas. Estes fatos podem ser explicados pelo comparativo feito entre os dias 10 e 12 de outubro, que nos permite afirmar que o equipamento AGV PTS nº2 obteve valores de concentração superiores aos do AGV PTS nº1, mesmo quando operados sob as mesmas condições.

A figura 21 compara as concentrações de 24 horas obtidas em paralelo entre os dias 10 e 12 de outubro nos equipamentos AGV PTS nº2 e AGV PTS nº1, visando avaliar a concentração medida nos equipamentos operando no mesmo intervalo de tempo.

Figura 21 - Comparativo das concentrações obtidas em 24 horas



Fonte: Do autor, 2014

Esta diferença nos valores mesmo que pouco relevante pode ser causada por diversos motivos, dentre os quais se podem citar a hipótese de que o AGV PTS nº2 estaria recebendo uma carga poluente um pouco maior devido ao seu posicionamento, ou estar coletando mais poluentes devido à sua vazão impressa.

Quanto à vazão cabe salientar que ambos operaram dentro da margem estipulada pelo fabricante (entre 1,1 e 1,7 m<sup>3</sup>/min), porém existem diversos fatores que alteram a vazão de operação do mesmo, sendo assim muito difícil conseguir as mesmas condições de vazão. Conforme Dias (2012) a vazão impressa afeta diretamente no tamanho das partículas coletadas, podendo o equipamento coletar uma faixa maior ou menor destas dependendo do modo em que opera.

Analisando ainda a figura 21, percebe-se que a maior variação nas concentrações ocorre no dia 10/10 chegando a 5,42% de diferença. Sendo este valor considerado pelo autor aceitável perante a faixa de vazão estipulada pela metodologia (DIAS, 2012).

## 5 CONCLUSÃO

Analisando os dados de concentrações obtidos nos monitoramentos de qualidade do ar de partículas totais em suspensão observou-se que realmente ocorreu uma diluição nas concentrações obtidas no período de 24 horas se comparadas às 12 horas de maior contribuição diária (período diurno). Esta diluição confirma a hipótese levantada, de que a população pode realmente estar sujeita a níveis de poluição que extrapolem as concentrações limites, mesmo em casos que os resultados obtidos no monitoramento de 24 horas não sejam maiores que os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 003/1990.

Perante esta afirmação é possível dizer que mesmo com as concentrações de 24 horas abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, esta pode vir a ocasionar efeitos adversos à saúde da população tais como problemas respiratórios, cardiovasculares, ou até mesmo intoxicação conforme o evidenciado por Hoinaski (2010).

Porém um fato curioso é que a queda nas concentrações durante o período da noite não foi proporcional à redução de contribuição por partes das fontes de partículas totais em suspensão, haja vista que no período noturno estas fontes tendem a diminuir ou cessar suas emissões. A explicação para isto pode estar ligada ao que foi evidenciado por Lisboa (2007b) e Gomes (2010), que a velocidade de sedimentação e o tempo de suspensão das partículas na atmosfera dependem diretamente de suas características físicas (tamanho e densidade). Sendo assim, o fato das partículas totais em suspensão possuírem pequenas dimensões (<50 µm) lhes confere uma pequena velocidade de sedimentação e conseqüentemente um período grande em suspensão na atmosfera. Pode-se dizer então que as concentrações de PTS na atmosfera dependerão não apenas de uma contribuição momentânea, mas de um histórico de emissão/ressuspensão aliado aos fatores de dispersão dos poluentes (condições climáticas/atmosféricas).

Como recomendação para estudos futuros sugere-se um período maior de monitoramento, contemplando as variações meteorológicas ocasionadas pelas diferentes estações do ano, possibilitando a avaliação efetiva do intervalo de tempo de amostragem adotado pela resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990 e estabelecido pela norma ABNT NBR 9547. Recomenda-se também a locação dos pontos de monitoramento em um local que possua maior influência de atividades

industriais cujo período de operação dos processos geradores de emissões atmosféricas corresponda ao intervalo de tempo utilizado como comparativo, ou seja, 12 horas.

Além disso, em posse de um maior número de resultados de concentrações proporcionais ao aumento dos dias monitorados sugeridos, aconselha-se uma avaliação utilizando-se análises estatísticas que possibilitem validar as diluições que serão obtidas.

Sugere-se ainda a realização do mesmo tipo de estudo com diferentes parâmetros relacionados diretamente com a saúde populacional, como é o caso das partículas inaláveis, estas que estão em maior evidência nas legislações internacionais e nos padrões estabelecidos pela CETESB.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547**: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997. 14 p.

ÁLVARES JR., Olímpio de melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. **Emissões atmosféricas**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 373p.

ART, Henry W (Ed). **Dicionário de ecologia e ciências ambientais**. São Paulo: Ed. Melhoramentos, 2001. 583 p.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N.º 003**, de 28 de junho de 1990. “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR”. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 06/08/2014.

CAMARA MUNICIPAL DE CRICIÚMA. **FRAGMENTOS HISTÓRICOS - HISTÓRIA DE CRICIÚMA**. Disponível em: <[http://camara.virtualiza.net/historia\\_criciuma\\_caracteristica.php](http://camara.virtualiza.net/historia_criciuma_caracteristica.php)>. Acesso em: 25/10/2014.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **DECRETO Nº 59.113, DE 23 DE ABRIL DE 2013**. “Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas”. 19p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Poluentes**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 07/08/2014a.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Padrões de qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa%C3%A7%C3%B5es-B%C3%A1sicas/22->>>. Acesso em: 07/08/2014b.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Tecnologia de Controle de Poluição do Ar para Material Particulado, Gases, Vapores e Odores e Verificação de Sistemas**. São Paulo: CETESB, 2010. 103p.

CRICIÚMA. **Perfil do município**. Disponível em: <[http://www.criciuma.sc.gov.br/site/turismo/p/sobre\\_a\\_historia](http://www.criciuma.sc.gov.br/site/turismo/p/sobre_a_historia)>. Acesso em: 15/10/2014.

DE CAMPOS, Darlan P. **Localização de Criciúma**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Crici%C3%BAma#mediaviewer/File:SantaCatarina\\_Municip\\_Criciuma.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Crici%C3%BAma#mediaviewer/File:SantaCatarina_Municip_Criciuma.svg)>. Acesso em: 20/10/2014.

DIAS, Jose Wanderley Coelho. **AGV PTS (Amostrador de Grande Volume Para Partículas Totais em Suspensão)**: Manual de operação. Rio de Janeiro, Energética, 2012. 110 p.

GOMES, João Fernando Pereira. **Poluição atmosférica**: um manual universitário. 2ª ed. Porto: Polindústria, 2010. 176 p.

HOINASKI, Leonardo. **Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>)**. 2010. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2010.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Rede de monitoramento da Qualidade do Ar**. Disponível em:  
<<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=132>> . Acesso em: 09/09/2014.

INMET- INSTUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 15/10/2014.

LISBOA, Henrique de Melo. Efeitos Causados pela Poluição Atmosférica. In: LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal: Ufsc, 2007a. Cap. 3. 34p.

LISBOA, Henrique de Melo. Introdução. In: LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal: Ufsc, 2007b. Cap. 1. 19p.

LISBOA, Henrique de Melo; KAWANO, Mauricy. Monitoramento de Poluentes Atmosféricos. In: LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal: Ufsc, 2007. Cap. 1. 73p.

MOUVIER, Gérard. **A poluição atmosférica**. São Paulo: Ed. Ática, 1997. 104 p

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154 p.

SANTA CATARINA. **Decreto Nº 14.250**, de 5 de julho de 1981. “Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.783 de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental. 36p.

SANTA CATARINA. **LEI Nº 14.675**, de 13 de abril de 2009.” Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.” 92p.

SCHNELLE, Karl B; BROWN, Charles A. **Air pollution control technology handbook**. Boca Raton: Crc Express, 2001. 408p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U.S.EPA. **Basic**

**Information.** Disponível em: < <http://www.epa.gov/pm/basic.html>> Acesso em: 20/08/14a.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U.S.EPA. **Health.** Disponível em: < <http://www.epa.gov/pm/health.html>> Acesso em: 20/08/14b.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U.S.EPA. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).** Disponível em: < <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/>> Acesso em: 20/08/14c.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U.S.EPA. **Particulate Matter.** Disponível em: < <http://www.epa.gov/pm/>> Acesso em: 20/08/14d.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. 438 p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Data and Statistics.** Disponível em: < <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/data-and-statistics>> Acesso em: 01/09/2014

ZILBERMAN, Isaac. **Introdução à Engenharia Ambiental.** Canoas: Ed. Ulbra, 1997. 101 p.