



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**BIOMONITORAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS  
CAMPOS, UTILIZANDO *TRADESCANTIA PALLIDA*  
-CAMPAÑA 2007-**

Victória Tertuliana de Araújo Bellaparte Zanato  
(UNIVAP, Bolsista PIBIC/CNPq).  
E-mail: [victoria.zanato@cptec.inpe.br](mailto:victoria.zanato@cptec.inpe.br)

**ORIENTADORES**

Dr<sup>a</sup> Maria Paulete Martins Pereira Jorge (DMA/INPE, Orientador)  
[maria.paulete@cptec.inpe.br](mailto:maria.paulete@cptec.inpe.br)

**COLABORADORES**

Adriano Capelo (UNIVAP)  
Engly Barbosa (UNIVAP)  
Laiane Pereira (UNIVAP)

**Julho de 2008**

## **AGRADECIMENTOS**

Á DEUS toda a glória. Agradeço primeiramente a DEUS pela oportunidade de poder trabalhar em tamanho projeto, a meus queridos pais Zanato e Nanci que são a base para minha vida, pelo apoio, educação e criação, pela ajuda tanto financeira como espiritual aos meus queridos avós Renaldo e Zulmira pela companhia e cuidado.

Às Dra. Maria Paulete Pereira Martins Jorge e Rauda Lucia Mariani pela oportunidade de desenvolver a pesquisa junto a elas, pela dedicação, orientações, incentivo, o cuidado em compartilhar seus conhecimentos durante a realização deste estudo e por todo o crescimento profissional, postura e amadurecimento, que obtive neste tempo de pesquisa.

Aos amigos e companheiros Delzuita, Eveline, Sara, Sheila, Monique, Sergio e Thiago estagiários e voluntários que estiveram comigo em todo andamento, desenvolvimento do projeto, podendo assim contar com eles de todas as formas.

Ao Adriano, Engly e Laiane que também estiveram presentes em importantes momentos do desenvolvimento da pesquisa e que acrescentaram muito neste projeto.

Agradeço pela paciência e colaboração de todos os amigos e familiares que me ajudaram no desenvolvimento de tal pesquisa, conquistando assim mais maturidade e experiência na área de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de 1 ano de bolsa de iniciação científica.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudo, conhecimento, amadurecimento profissional e utilização de suas instalações.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado durante o ano de 2007 em continuidade à campanha de biomonitoramento da qualidade do ar de 2006, em São José dos Campos-SP. O trabalho foi feito com a colaboração da FUNDHAS - Fundação Hélio Augusto de Souza, através de 20 de suas unidades, envolvendo aproximadamente 2000 adolescentes nas atividades de educação ambiental. Além de São José dos Campos, também com o distrito de São Francisco Xavier, foram incluídos os municípios de Monteiro Lobato, e Ilhabela, com o Colégio São João Ilhabela. Como bioindicador foi utilizada a planta *Tradescantia Pallida*, popularmente conhecida como Coração Roxo, sensível aos poluentes oxidantes. Quando exposta à poluição do ar, a *Tradescantia Pallida* sofre mutações genéticas em suas células, formando micronúcleos (MCN), que podem ser observados através de um microscópio ótico. As plantas foram expostas em 21 locais e as inflorescências foram coletadas quinzenal ou semanalmente, dependendo do ponto, e armazenadas em uma solução de ácido acético para sua conservação, com a contagem dos micronúcleos sendo efetuados num prazo máximo de até dois meses. Observa-se que a região Sudeste está no 1º lugar no ranking das regiões mais poluídas, a região Oeste como a segunda região mais poluída, e em 3º lugar vem à região Norte. O Distrito de São Francisco Xavier apresentou resultados compatíveis com os valores típicos de local isento de poluição, resultado diferente do obtido na campanha de 2006, quando foram obtidos altas porcentagens de micronúcleos em São Francisco Xavier.

## ABSTRACT

This work was done during the year 2007 in the continuity of biomonitoring campaign of air quality, 2006 held in Sao Jose dos Campos-SP. The work was done with the collaboration of FUNDHAS – Fundação Hélio Augusto de Souza, through 20, its units, involving approximately 2000 adolescents in activities of environmental education. Besides Sao Jose dos Campos, also in the district of Saint Francis Xavier, were included the municipalities Monteiro Lobato, and Ilhabela, with the College São João Ilhabela. The *Tradescantia Pallida*, popularly known as the Purple Heart, was used as bioindicator plant sensitive to pollutants oxidants. When exposed to air pollution, the *Tradescantia Pallida* suffer genetic mutations in their cells, forming micronuclei (MCN), which can be seen through an optical microscope. The plants were exposed in 21 places, and the flowers were collected fortnightly or weekly, depending on the point, and in an acetic acid solution for their conservation, and counting micronuclei were made within a maximum period of up to two months. The southeast region was the most polluted, the west region was the second most polluted region, and in third place comes the north region. The District of Sao Francisco Xavier, showed results consistent with the values typical of area free from pollution, in disagree with the 2006 campaign, when Sao Francisco Xavier presented high percentage of micronucleous.

## SUMÁRIO

<b><i>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</i></b>	<b>8</b>
Objetivos.....	9
<b><i>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</i></b>	<b>10</b>
2.1 Biomonitoramento – <i>Tradescantia Pallida</i> .....	10
2.2 Poluição do ar.....	12
2.2.1 Contaminantes e fontes de poluição do ar.....	12
2.2.2 Padrões de qualidade do ar.....	18
2.2.3 Condições Meteorológicas.....	25
2.2.4 Efeitos da poluição na saúde e no ambiente.....	28
<b><i>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</i></b>	<b>34</b>
3.1 Área de estudo.....	34
3.2 Ponto de exposição do Bioindicador.....	35
3.3 Procedimento de amostragem.....	36
3.4 Procedimento para a análise do Bioindicador.....	37
<b><i>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS.....</i></b>	<b>41</b>
<b><i>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....</i></b>	<b>45</b>
<b><i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i></b>	<b>47</b>
<b><i>ANEXO I – Fotos células tétrades.....</i></b>	<b>48</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Feição da planta <i>Tradescantia pallida</i> .....	10
<b>Figura 2:</b> Fase tétrade das células mães de grãos de pólen com a presença de um micronúcleo.....	11
<b>Figura 3:</b> Representação esquemática da duração e morfologia geral de cada estágio da meiose das células mãe do grão de pólen de <i>Tradescantia</i> .....	11
<b>Figura 4:</b> Vulcão” El Chichon”, México 1993. ....	14
<b>Figura 5:</b> Emissões Industriais e veiculares.....	15
<b>Figura 6:</b> Degradação de monumento pela poluição atmosférica.....	32
<b>Figura 7:</b> Regiões Geográficas de São José dos Campos.....	34
<b>Figura 8:</b> Fase pré-floração da espécie <i>tradescantia Pallida</i> .....	36
<b>Figura 9:</b> Fase pós-floraçã da espécie <i>Tradescantia</i> .....	36
<b>Figura 10:</b> Pote solução ácido acético.....	37
<b>Figura11:</b> Inflorescência após tempo mínimo de 24 horas imergida na solução.....	37
<b>Figura 12:</b> Divisão dos gomos e botões da inflorescência, sendo que através de dois gomos são obtidos três ou mais botões (quatro botões á direita e três a esquerda da figura) e dois botões grandes ao centro da figura.....	38
<b>Figura 13:</b> Botão da espécie <i>tradescantia pallida</i> sendo manuseado para extração do material interno.....	38
<b>Figura 14:</b> Aplicação do carmim e maceração.....	39
<b>Figura 15:</b> Materiais necessários para análises de MCN.....	40
<b>Figura 16:</b> Microscópio binocular utilizado para contagem da tétrade e para as análises de MCN.....	40
<b>Figura 17:</b> Mapa da Distribuição da freqüência de MCN (%) na área urbana do Município de São José dos Campos- SP. Resultados referentes à Campanha de Biomonitoramento em 2006, utilizando a <i>Tradescantia pallida</i> .....	43

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Valor de padrões para poluentes citados.....	19
<b>Tabela 2 :</b> Qualificação do ar.....	20
<b>Tabela 3:</b> Alterações na saúde de acordo com o grau de poluição.....	21
<b>Tabela 4:</b> Estimativas de emissões das fontes de poluição do ar no município de São José dos Campos.....	24
<b>Tabela 5:</b> Poluentes atmosféricos, processos e efeitos.....	30
<b>Tabela 6:</b> Resultados referentes á utilização da <i>Tradescantia Pallida</i> - Campanha de Biomonitoramento 2007.....	41

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Pluviosidade em São José dos Campos-SP 2007, período de março á dezembro.....	44
---	----

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O ambiente dos grandes centros urbanos, devido à elevada concentração de indústrias e intenso tráfego veicular, apresenta uma atmosfera complexa formada de inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas, incluindo substâncias com características mutagênicas e carcinogênicas, como benzeno, metais pesados, hidrocarbonetos e outros (Skov et al.,2001; Colvile et al,2001). O potencial de risco decorrente dessa exposição ainda não é completamente conhecido, mas diversos estudos epidemiológicos mostram correlações significativas entre diferentes níveis de poluição do ar e efeitos agudos e crônicos na saúde humana. (WHO 2000; Saldiva et al.,1995 e Wilson et al 2004). A Organização Mundial de Saúde, considerando as novas evidências dos efeitos dos poluentes na saúde da população, mantém comitês para revisão sistemática dos Padrões de Qualidade do Ar dos poluentes regulamentados (WHO 2006).

São José dos Campos pode ser considerado um centro urbano de elevado potencial de poluição atmosférica por 4 razões: possui uma frota veicular licenciada, em torno de 202 mil veículos; é cortado no sentido transversal pela Rodovia Presidente Dutra onde circulam 80 mil veículos/dia; situa-se entre os dois maiores pólos urbanos do país (SP e RJ) abrigando extenso e variado parque industrial, com mais de 900 indústrias; e está numa região topográfica de vale que favorece inversões térmicas e conseqüente baixa dispersão atmosférica.

Atualmente o monitoramento da poluição do ar em São José dos Campos é feito pela Cetesb que monitora automaticamente a concentração de ozônio (O<sub>3</sub>), do material particulado com diâmetros menores que 10µm (PM10) e de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (Cetesb, 2006). No Estado de São Paulo a Cetesb gerencia 29 estações automáticas de amostragem, sendo 23 na região metropolitana e outras 6 no interior e litoral. A caracterização de todo o Vale do Paraíba fica restrita à apenas uma estação localizada em São José dos Campos (Cetesb, 2006). A instalação e manutenção de uma rede de monitoramento exigem elevados investimentos e necessitam mão de obra especializada, além da necessidade de constante adequação aos novos métodos sugeridos pelos órgãos internacionais. Os sistemas de monitoramento atuais, geralmente deficitários em termos



quantitativos, não contemplam todas as substâncias poluentes e não fornecem um quadro dos efeitos sincrônicos da complexa mistura dos componentes atmosféricos.

O Biomonitoramento é uma técnica que permite avaliar a qualidade do ar em áreas extensas, utilizando organismos vivos que respondem à poluição ambiental alterando suas funções ou acumulando toxinas. As respostas das plantas podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através da apresentação de cloroses, necroses, quedas de folhas ou diminuição no seu crescimento, como podem ocorrer em nível genético, como é o caso da *Tradescantia pallida*. Essa espécie pode indicar o grau de concentração de poluentes oxidantes, através da contagem dos micronúcleos (mutações genéticas) que são separados (“refugados”) pelas células mães de grãos de pólen, caso a planta esteja sob efeitos de poluentes. Ou seja, o número de micronúcleos separados na célula é proporcional à concentração de poluentes. Trata-se de uma metodologia com padronizações nacionais e internacionais (Klumpp et al, 2004; Carreras et al, 2006; Sant’anna 2003) já bastante utilizada principalmente em áreas extensas porque permite um maior número de amostragens com baixo custo operacional, o que é ideal para avaliação prévia dos pontos mais susceptíveis ou de maior concentração.

Em 2006, foi realizada a primeira campanha de Biomonitoramento em São José dos Campos, projeto que contemplou 38 pontos distribuídos no Município.

Nesse trabalho são apresentados os resultados da segunda campanha de Biomonitoramento em São José dos Campos, realizada em 2007, utilizando a espécie vegetal *Tradescantia Pallida* como bioindicador. Nesse ano a FUNDHAS- Fundação Hélio Augusto de Souza, tornou-se parceira do nosso projeto, ficando responsável pela replicação das mudas e todas as suas Unidades de Ensino receberam as plantas para biomonitoramento, envolvendo mais de 2000 alunos.

## **Objetivos**

Dar continuidade ao Programa de Biomonitoramento da Qualidade do Ar em São José dos Campos, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe. O biomonitoramento utiliza como principal ferramenta de estudo a Planta *Tradescantia Pallida*. A primeira campanha teve como objetivo principal identificar as áreas mais susceptíveis à poluição atmosférica, e nosso trabalho tem por objetivo observar da evolução temporal da qualidade do ar segundo os mesmos bioindicadores.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Biomonitoramento - *Tradescantia pallida*

O Biomonitoramento é uma técnica que permite avaliar a qualidade do ar em áreas extensas, utilizando organismos vivos que respondem à poluição ambiental alterando suas funções ou acumulando toxinas. As respostas das plantas podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através da apresentação de cloroses, necroses, quedas de folhas ou diminuição no seu crescimento, como podem ocorrer em nível genético, como é o caso da *Tradescantia pallida*, figura 1, popularmente conhecida.

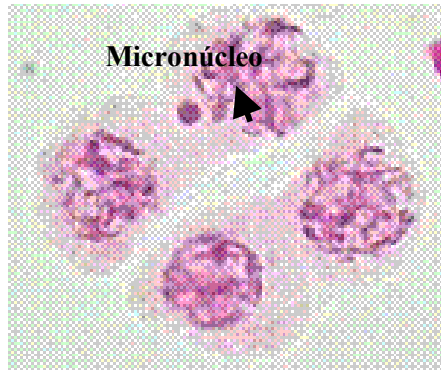


**Figura 1:** Feições da planta *Tradescantia pallida*

Essa espécie pode indicar o grau de concentração de poluentes oxidantes, através da contagem dos micronúcleos (mutações genéticas) que são separados (“refugados”) pelas células mães de grãos de pólen, caso a planta esteja sob efeitos de poluentes. Ou seja, o número de micronúcleos separados na célula é proporcional à concentração de poluentes. Trata-se de uma metodologia com padronizações nacionais e internacionais (Klumpp et al, 2004; Carreras et al, 2006; Sant’Anna 2003) já bastante utilizada principalmente em áreas extensas pois permite um maior número de amostragens com baixo custo operacional, o que é ideal para avaliação prévia dos pontos mais susceptíveis ou de maior concentração.

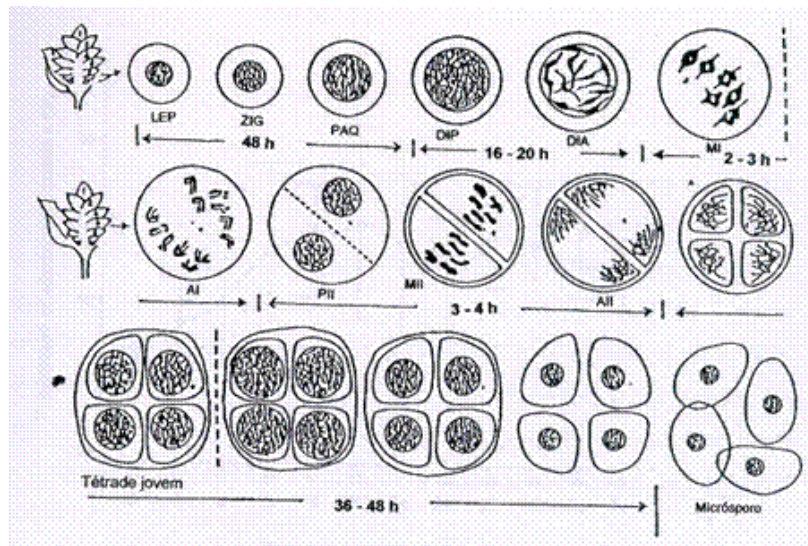
O protocolo para análise da *Tradescantia pallida* - Trad-MCN (Sant’Anna,2003) recomenda contagem de 300 tétrades em cada lâmina preparada para a verificação do número de micronúcleos presentes nas células. Os micronúcleos são fragmentos de

cromossomos que se apresentam como pequenas estruturas arredondadas que são produzidas durante a meiose das células-mãe do grão de pólen. Com a exposição a agentes mutagênicos, a frequência de micronúcleos (MCN) aumenta permitindo avaliação do grau de contaminação do ambiente. A figura 2 ilustra uma célula na fase de tétrade com um micronúcleo.



**Figura 2:** Fase tétrade das células mães de grãos de pólen com a presença de um micronúcleo.

Abaixo na figura segue uma demonstração das fases do desenvolvimento do grão de pólen da espécie *Tradescantia pallida*.



**Figura 3:** Representação esquemática da duração e morfologia geral de cada estágio da meiose das células mãe do grão de pólen de *Tradescantia*.

## **Poluição do Ar**

### **- Contaminantes e fontes de poluição do ar**

O ar que respiramos é formado por muitos componentes químicos. Os componentes principais do ar são o nitrogênio ( $N_2$ ), o oxigênio ( $O_2$ ) e o vapor d'água ( $H_2O$ ). No ar também encontramos pequenas quantidades de muitas outras substâncias, como o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), argônio (Ar), hélio (He), hidrogênio (H) e metano ( $CH_4$ ).

As atividades humanas têm provocado um efeito prejudicial na composição do ar que respiramos. A queima de combustíveis fósseis e outras atividades industriais modificam a sua composição devido à introdução de contaminantes, incluindo dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e material particulado. Todos esses poluentes podem ser gerados por fontes naturais, porém as atividades humanas têm aumentado significativamente sua quantidade no ar que respiramos.

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar que pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna, à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os contaminantes do ar podem ter um efeito sobre a saúde e o bem estar dos seres humanos. Podem também afetar as plantas, os animais e materiais como metais, construções civis. Os poluentes atmosféricos ou os contaminantes do ar são classificados pelo seu estado físico em: particulados e gasosos e estes em orgânicos e inorgânicos. Entre os principais contribuintes para as emissões de particulados estão os processos e operações industriais vinculados a atividades da construção civil, mineração e queimadas. Já os transportes e a indústria em geral são as principais fontes de poluentes gasosos. Os poluentes também podem ser classificados como primários ou secundários. Os primários, considerados como principais, são emitidos diretamente na atmosfera. Monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrogênio (NO e  $NO_2$ ) e hidrocarbonetos (HC) são exemplos de poluentes primários. Existem mais de 60 hidrocarbonetos identificados na atmosfera, com tendência a aumentar à medida que os limites de detecção das técnicas analíticas vão diminuindo. Os hidrocarbonetos, ou compostos orgânicos voláteis (COV's) têm

como principais fontes, combustíveis parcialmente queimados ou não queimados emitidos pelos veículos automotores, depósitos e evaporação de derivados de petróleo.

Os poluentes secundários, igualmente poluidores, são formados por reações fotoquímicas envolvendo alguns dos poluentes primários e os constituintes naturais da atmosfera. O ozônio ( $O_3$ ) é representativo desse tipo de poluente, vindo a ser um produto de reações entre os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e os compostos orgânicos voláteis (COV's), na presença de luz solar. Não é sempre possível classificar os poluentes como sendo primários ou secundários, alguns poluentes podem ser primários se emitidos de determinada forma e tornar-se secundários, devido a reações que venham a ocorrer posteriormente à emissão.

A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento. O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são: material particulado (MP), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), ozônio ( $O_3$ ), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ).

### **Fontes de poluição atmosférica**

A atmosfera pode ser considerada como um local onde, permanentemente, ocorrem reações químicas. Ela absorve uma grande variedade de sólidos, gases e líquidos provenientes de fontes, tanto naturais como produzidas pelo homem (antrópicas), que podem se dispersar, reagir entre si, ou com outras substâncias já presentes na atmosfera.

As fontes que emitem contaminantes ou poluentes atmosféricos podem ser classificadas também como fontes móveis (transportes, por exemplo) ou fontes fixas (produção industrial, extração mineral e produção agrícola).

### **Fontes naturais:**

A poluição natural é originada por fenômenos biológicos e geoquímicos. Entre as fontes naturais podemos apontar o solo, a vegetação (polinização), os oceanos, vulcões e fontes naturais de líquidos, gases e vapores, descargas elétricas atmosféricas, etc.



Um vulcão pode lançar partículas a 20-30 km de altura. As partículas que chegam aos níveis mais altos têm diâmetro de aproximadamente  $1\ \mu\text{m}$  e permanecem de 2 a 12 anos na estratosfera antes de cair na troposfera, onde são rapidamente lavadas.

Um vulcão emite óxidos de nitrogênio e de enxofre,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SCO}$  (sulfeto de carbonila), cinzas e partículas sólidas.

**Figura 4 :** Vulcão “El Chichon”, México, 1983.

O solo emite  $\text{N}_2\text{O}$  (desnitrificação),  $\text{NH}_3$  (processos aeróbicos) e gases redutores, como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  (fermentação anaeróbica em zonas úmidas, como pântanos, arrozais, bosques úmidos, etc);

Os oceanos são armazéns químicos, importantes fontes de emissão de componentes atmosféricos. Variações de temperatura na superfície do mar modificam as concentrações de uma grande diversidade de gases dissolvidos:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CS}_2$  (dissulfeto de carbono)  $\text{SCO}$ ,  $\text{ClCH}_3$  (cloro de metila), etc.

Em geral, a contaminação proveniente de fenômenos naturais é assimilada pela natureza, que possui mecanismos físicos e químicos suficientes para absorver os contaminantes emitidos.

### **Fontes antrópicas :**

O ser humano através da atividade industrial e urbana, joga resíduos à atmosfera, de forma incontrolada e constante, em amplas zonas do planeta. Mais de 65 mil produtos químicos, provenientes de uma variedade de atividades antrópicas são lançadas diariamente na atmosfera.



**Figura 5** :Emissões industriais e veiculares.

**As principais fontes antrópicas são procedentes do tráfego veicular, das indústrias e de queimadas não naturais.**

Fontes industriais:

Quanto às fontes industriais, a quantidade e qualidade do poluente emitido por este tipo de fonte dependem de vários fatores interdependentes da fabricação. Influem no tipo e concentração do poluente expelido, em razão do processo industrial, as matérias primas e os combustíveis envolvidos no processo, o produto fabricado, o próprio processo e as suas operações, a eficiência dos trabalhos de processamento e o grau das medidas acauteladoras contra a poluição.

Ex: Um alto-forno de fundição de ferro emite 9kg de material particulado por tonelada carregada.

Queima de combustíveis fósseis:

Os poluentes do ar originam-se principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis, para fins de transporte, aquecimento e produção industrial. Aproximadamente 80% dos contaminantes gasosos na atmosfera são formados durante

a queima de combustíveis fósseis. A fonte emissora poderá ser ESTACIONÁRIA ou MÓVEL. Ambas utilizam como matéria prima, o carvão, óleos minerais, gases liquefeitos de petróleo, álcool, etc.

A poluição depende da eficiência da combustão e do percentual de enxofre “S” no combustível. O carvão mineral apresenta poluição elevada. Em comparação com o óleo combustível apresenta +370% de CO; +68% de SO<sub>2</sub>; +1500% de material particulado.

Emissões veiculares:

As emissões originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas nas seguintes categorias:

- emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo (subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento);
- emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível);
- emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante);
- emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- ressuspensão de partículas de poeira do solo e
- emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível (associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível). Durante o manuseio do petróleo e seus derivados há emissões por evaporação. É visível este fenômeno ao enchermos o tanque do automóvel. O uso em grande escala de etanol hidratado e gasolina (mistura de etanol-gasolina e etanol-gasolina-metanol) reduziu as emissões de CO na atmosfera, porém aumentou a emissão de aldeídos.

As emissões veiculares são também influenciadas pela fluidez do trânsito. Uma diminuição da velocidade média de percurso acarreta um aumento das emissões para a mesma quilometragem percorrida.



Alguns dos principais produtos da combustão em veículos automotores são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não ou parcialmente oxidados (HC), aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e material particulado (MP). O ozônio troposférico ( $\text{O}_3$ ), outro importante poluente, tem a sua formação associada à presença de HC e  $\text{NO}_x$ .

A Região Metropolitana de São Paulo, com cerca de 2000 indústrias de alto potencial poluidor e uma frota de aproximadamente 7,4 milhões de veículos sofre com elevadas concentrações de poluentes na atmosfera. De acordo com as estimativas de 2005, essas fontes de poluição são responsáveis pelas emissões para a atmosfera, dos seguintes poluentes: 1,46 milhão de t/ano de monóxido de carbono (CO), 354 mil t/ano de hidrocarbonetos (HC), 317 mil t/ano de óxidos de nitrogênio (NOX), 28 mil t/ano de material particulado total (MP) e 12 mil t/ano de óxidos de enxofre (SOX). Desses totais os veículos são responsáveis por 97% de HC, 96% NOX, 40% de MP e 42% de SOX.

A contribuição relativa de cada fonte de poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo pode ser visualizada no gráfico abaixo, onde se observa que os veículos automotores são as principais fontes de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais (HC) e óxidos de nitrogênio (NOX). Para os óxidos de enxofre (SOX), as indústrias e os veículos são importantes fontes e no caso das partículas inaláveis (MP10) contribuem ainda outros fatores como a ressuspensão de partículas do solo e a formação de aerossóis secundários.

“Nos EUA, desde 1963, quando o sistema de ventilação positiva do cárter foi instalado, os automóveis têm sido projetados com equipamentos de controle da poluição do ar, o que proporcionou uma diminuição das emissões dos tanques de gasolina, carburadores, alívios do cárter e do cano de escapamento. Para estes controles trabalharem efetivamente, é necessário que o motor seja regulado e o carburador esteja ajustado adequadamente. De um motor regulado inadequadamente resultará altas emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos, além de uma baixa economia de combustível do veículo. Se a relação ar/combustível for muito alta, quantidades maiores de óxido de nitrogênio serão emitidas, enquanto uma relação ar/combustível baixa aumentará a quantidade de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos, bem como o consumo de combustível. Carros mal mantidos significam alto consumo de combustível, desperdício de dinheiro e maior emissão de poluentes”.

A continuidade do modelo de desenvolvimento urbano que privilegia o transporte individual, através da difusão do automóvel, além de agredir o meio

ambiente, reduz a acessibilidade dos cidadãos aos centros de emprego e moradia, principalmente das camadas mais pobres.

### **- Padrões de Qualidade do Ar**

Padrão de qualidade ambiental é um limite legal, abaixo do qual considera-se como condição aceitável em relação aos impactos ao meio ambiente. O estabelecimento de limites de tolerância aos níveis de contaminação atmosférica é necessário para assegurar à comunidade uma condição de ar que não represente riscos à saúde e que não comprometa a qualidade de vida. Assim, o estabelecimento de padrões serve de referência quantitativa para realização de balanços entre o total de emissão de poluentes, sujeito às variáveis de dispersão (concentração local), e os níveis aceitáveis (padrões), determinando a necessidade ou não do controle.

Através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 o IBAMA estabeleceu os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados em 1976. Estes padrões foram submetidos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 28/06/90 e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90. Os padrões brasileiros de qualidade do ar são classificados em padrões primários e secundários. Os padrões primários podem ser entendidos como os níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. 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. Eles podem ser entendidos como os níveis desejáveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de longo prazo.

Os padrões estabelecidos pelo CONAMA contemplam: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono, ozônio e fumaça. Para cada um desses poluentes são definidos padrões primários e secundários, a partir dos valores anuais (média anual), diários (valor de 24 horas) e por períodos de algumas horas. Além disso, existem níveis de qualidade do ar para cada 24 horas, que servem de padrões de concentração para a elaboração de Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar (resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90). De acordo com a Resolução CONAMA nº 03/90, as concentrações médias de 24 horas não devem ultrapassar o padrão primário diário mais do que um dia

no ano. O nível de emergência não deve ser atingido em hipótese alguma, pois é um limite de grande risco à saúde. Por isso, em cada um dos limites anteriores (atenção e alerta) é preciso tomar uma série de providências para impedir que a poluição continue aumentando. A tabela 1 mostra o valor desses padrões para os poluentes citados.

Poluente	Padrão	Valor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Material particulado (partículas totais em suspensão)	padrão primário - média geométrica anual	80
	padrão primário - valor de 24 horas	240
	padrão secundário - média geom. anual	60
	padrão secundário - valor de 24 horas	150
	nível de atenção	375
	nível de alerta	625
	nível de emergência	875
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	padrão primário - média geométrica anual	80
	padrão primário - valor de 24 horas	365
	padrão secundário - média geom. anual	40
	padrão secundário - valor de 24 horas	100
	nível de atenção	800
	nível de alerta	1600
	nível de emergência	2100
Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	padrão primário - média geométrica anual	100
	padrão primário - valor de 24 horas	120
	padrão secundário - média geom. anual	100
	padrão secundário - valor de 24 horas	190
	nível de atenção	1.130
	nível de alerta	2.260
	nível de emergência	3.000
Monóxido de carbono (CO)	padrão primário - valor de 1 hora	40.000 (35 ppm)
	padrão primário - valor de 8 horas	10.000 (9 ppm)
	padrão secundário - valor de 1 hora	40.000 (35 ppm)
	padrão secundário - valor de 8 horas	10.000 (9 ppm)
	nível de atenção - valor de 8 horas	15 ppm
	nível de alerta - valor de 8 horas	30 ppm
	nível de emergência - valor de 8 horas	40 ppm
Oxidantes foto-químicos (ozônio)	padrão primário - valor de 1 hora	160
	padrão secundário - valor de 1 hora	160
	nível de atenção - valor de 1 hora	200
	nível de alerta - valor de 1 hora	800
	nível de emergência - valor de 1 hora	1.200
Partículas inaláveis	padrão primário - média aritmética anual	50
	padrão primário - valor de 24 horas	150
	padrão secundário - média arit. anual	50
	padrão secundário - valor de 24 horas	150
	nível de atenção - valor de 24 horas	250
	nível de alerta - valor de 24 horas	420
	nível de emergência - valor de 24 horas	500

Fumaça	padrão primário - média aritmética anual	60
	padrão primário - valor de 24 horas	150
	padrão secundário - média arit. anual	40
	padrão secundário - valor de 24 horas	100
	nível de atenção - valor de 24 horas	250
	nível de alerta - valor de 24 horas	420
	nível de emergência - valor de 24 horas	500

**Tabela 1:** Padrões de Qualidade do Ar para os poluentes regulamentados.

Índices de qualidade do ar:

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Esse índice é utilizado desde 1981, e foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida no Canadá e EUA. Os parâmetros considerados para a estrutura do índice são as concentrações dos poluentes regulamentados, isto é, os poluentes que já possuem padrões de qualidade estipulados pela Organização Mundial de Saúde (OMS): dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>); partículas totais em suspensão (PTS); partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>); monóxido de carbono (CO); ozônio (O<sub>3</sub>) e - dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Para cada parâmetro medido é calculado um índice. A través do índice obtido o ar recebe uma qualificação, uma espécie de nota, como mostra a tabela abaixo:

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

**Tabela 2:** Qualificação do Ar. Fonte: [www.Cetesb.sp.gov.br](http://www.Cetesb.sp.gov.br).

Para efeito de divulgação utiliza-se o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. Esta qualificação do ar está associada com efeitos sobre a saúde, independentemente do poluente em questão, conforme tabela abaixo:

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

**Tabela 3:** Efeitos na saúde segundo os índices de qualidade do ar.

A gestão qualidade do ar em uma determinada região compreende as atividades relacionadas com a proteção da saúde e preservação do ambiente, estabelecendo critérios e normas de qualidade do ar; controle das fontes emissões de antrópicas específicas e desenvolvimento de estratégias de controle, implementação e operação das mesmas. Nesse sentido, é necessário que a unidade gestora possua um levantamento completo das maiores atividades poluidoras e mantenha um sistema de vigilância contínuo da qualidade do ar.

As estratégias de controle são as ações que devem ser realizadas para manter a qualidade do ar num nível aceitável para o bem estar da população e do ambiente em geral:

- 1º) Possuir um sistema contínuo de monitoramento da qualidade do ar. O monitoramento é fundamental para detectar os possíveis agravos decorrentes ou de excessos nas emissões ou problemas decorrentes da dispersão atmosférica.
- 2º) Manter uma estimativa dos níveis existentes de emissões das fontes fixas e móveis e projeções para os futuros níveis de emissão. É o inventário das fontes, que

deve ser atualizado anualmente. O inventário é um dos fatores fundamentais para avaliação da capacidade de suporte de um município ou região.

3º) Determinação do grau de melhoria requerido para cumprir as normas de qualidade do ar. Compara-se o nível atual e futuro da qualidade do ar. Utilizando modelos matemáticos que incluem dados de dispersão, o inventário das emissões, características físicas do local e projeções do crescimento da população, indústria, transporte, é possível o estabelecimento da redução necessária para cumprir com as normas de qualidade do ar.

## **Medidas da qualidade do ar**

### **1) Rede de Monitoramento**

Como já visto, a qualidade do ar de uma determinada região, não é reflexo somente do somatório das emissões diárias, mas pode ser acumulada pelas condições atmosféricas e efeitos do transporte de outras regiões, ou sofrer dispersão. Logo o sistema de gestão precisa manter um monitoramento contínuo da qualidade do ar para definir a capacidade de saturação da área, fornecendo suporte às tomadas de decisão relativas ao licenciamento de atividades poluidoras e as eventuais ações de controle necessárias.

A CETESB possui estações automáticas em toda Região Metropolitana de São Paulo, Cubatão, Campinas, São José dos Campos, Sorocaba e Paulínia, além de estações móveis, que são utilizadas em estudos temporários [http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_automatica\\_localizacao.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_automatica_localizacao.asp). Esta rede, ligada a uma central de computadores por via telefônica, registra ininterruptamente as concentrações dos poluentes na atmosfera. Estes dados são processados com base nas médias estabelecidas por padrões legais e nas previsões meteorológicas, que indicam as condições para a dispersão dos poluentes. Eles são disponibilizados de hora em hora na internet, e em boletim diário, elaborado às 16 horas, apresentando a situação das últimas 24 horas. Esse boletim é divulgado na Internet e enviado para a imprensa em geral. Com base nessas informações é possível determinar as ações previstas na Legislação Ambiental, quando os padrões de qualidade do ar forem ultrapassados e apresentarem

níveis que prejudiquem a saúde pública. São disponibilizados via internet, os índices de qualidade do ar e as respectivas concentrações de partículas inaláveis, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e ozônio. Algumas estações, como a de São José dos Campos, por exemplo, ainda não estão completas, disponibilizando somente a concentração de alguns poluentes.

### **Inventário de fontes poluentes:**

O inventário das fontes de emissão de poluição atmosférica constitui um dos instrumentos de planejamento dos mais úteis para um órgão ambiental, uma vez que define qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras do ar e fornece informações sobre as características das fontes, definindo localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões. Um inventário de fontes pode ser feito de diversas maneiras, de acordo com a disponibilidade de dados e recursos. Uma metodologia proposta pelo Emission Inventory Improvement Program da US-EPA (United States Environmental Protection Agency) para fontes estacionárias, é através do monitoramento contínuo de emissões, medição expedita de fontes, balanço de massa, fatores de emissão, análise de combustível, modelos de estimativa de emissões e julgamento de engenharia. Quando não há disponibilidades de dados, as informações são obtidas através de estimativas com base nos processos de licenciamento ou diretamente do empreendedor, por meio do envio de questionários, para a aplicação de métodos recomendados pela EPA para o cálculo das emissões pretendido. No caso de fontes móveis, como a de emissões veiculares, deve-se considerar, para cada via, a contagem do fluxo de veículos leves e pesados, número de faixas das vias, tamanho da via, velocidade média horária, discriminação do fluxo por dias úteis e/ou feriado e fim

de semana e etc. Outra abordagem considera a frota veicular, e o cálculo das emissões é estimado a partir da idade, quilometragem percorrida e tipo de combustível utilizado.

A Cetesb em no Relatório Anual de 2005, apresenta as estimativas de emissão de fontes de poluição do ar para a Região Metropolitana de São Paulo e para São José dos Campos, e as contribuições relativas das fontes em termos de tipo de poluentes.

**Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar no município de São José dos Campos em 2005<sup>1</sup>**

FONTE DE EMISSÃO			EMIÇÃO (1000 t/ano)				
			CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
M Ó V E I S  F I X A		GASOLINA C <sup>2</sup>	18,66	1,93	1,15	0,17	0,14
	TUBO DE ESCAPAMENTO DE VEÍCULOS	ÁLCOOL I FLEX	5,98	0,66	0,37	--	--
		DIESEL <sup>3</sup>	9,31	1,47	6,67	0,15	0,36
		TÁXI	nd	nd	nd	nd	nd
		MOTOCICLETA E SIMILARES	9,52	1,27	0,07	0,02	0,09
	CÁRTER E EVAPORATIVA	GASOLINA C	--	3,49	--	--	--
		ÁLCOOL	--	0,45	--	--	--
		MOTOCICLETA E SIMILARES	--	0,81	--	--	--
		PNEUS <sup>4</sup>	0,24	--	--	--	0,24
	OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA	GASOLINA C	--	nd	--	--	--
ÁLCOOL		--	nd	--	--	--	
	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (5 indústrias inventariadas)	0,74	1,10	4,60	11,97	1,92	
<b>TOTAL</b>			<b>44,21</b>	<b>11,18</b>	<b>12,86</b>	<b>12,31</b>	<b>2,59</b>

1 - Utiliza-se o mesmo perfil de idade da frota da FMSP

2 - Gasolina C: gasolina contendo 22% de álcool anidro e 600ppm de enxofre (massa)

3 - Diesel: tipo metropolitano com 1100ppm de enxofre (massa)

4 - Emissão composta para o ar (partículas) e para o solo (microgração)

nd - não disponível

**Tabela 4:** Estimativas de Emissão das Fontes de Poluição do Ar no Município de São José dos Campos em 2005.



## - Transporte e dispersão

A poluição atmosférica pode ser caracterizada pelos seguintes fatores: intensidade, continuidade e efetividade. A intensidade é o fator quantitativo da poluição; a continuidade, a permanência de sua ação nociva por dificuldades de eliminação; e a efetividade, a ação real sobre os seres vivos existentes no meio ambiente. Para combater a poluição atmosférica se faz necessário conhecer e compreender todo o seu processo.

O processo de poluição atmosférica se inicia com a emissão dos poluentes pelas fontes, sendo transportados pelas massas de ar até que atinjam um receptor. Essas massas de ar são influenciadas por variáveis que interferem no fenômeno de dispersão, resultando numa maior ou menor concentração.

O transporte e dispersão de contaminantes do ar sofrem as influências das condições meteorológicas locais e das variações climáticas, tanto globais como regionais. Em escala mundial, o movimento das grandes massas de ar é um dos parâmetros mais significativos, enquanto a nível local os principais fatores são o vento e estabilidade atmosférica (movimentos verticais), que definem a turbulência atmosférica. Além das condições meteorológicas, fatores como distância da fonte de emissão ao receptor; propriedades físicas e químicas dos poluentes e condições topográficas devem ser consideradas.

### **Condições meteorológicas**

Situações meteorológicas distintas, mas com idênticas produções de poluentes, poderão apresentar concentrações atmosféricas completamente diferentes, devido à influência das condições da atmosfera. O regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a opacidade, a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a ocorrência de chuvas são alguns fatores climáticos locais, que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. Em situações de calmaria, por exemplo, ocorre estagnação do ar, proporcionando, um aumento nas concentrações dos poluentes.

As implicações diretas da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à indução desta na formação de oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. Indiretamente, um maior período de insolação pode induzir a um maior aquecimento da

superfície, do que pode resultar o surgimento de movimentos verticais localizados, transferindo energia para a atmosfera, além do que criando turbulência e mistura dos poluentes nos baixos níveis.

A temperatura do ar constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes. Temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem aos movimentos verticais termicamente induzidos, o que permite a manutenção de poluentes atmosféricos em níveis mais baixos.

A estabilidade atmosférica é que determina a capacidade do poluente de se expandir verticalmente. Em situações estáveis na atmosfera, cria-se uma barreira ao deslocamento vertical dos poluentes. Quando ocorre o fenômeno da inversão térmica, a capacidade de dispersão fica bem limitada. A inversão térmica acontece quando uma camada de ar quente se instala acima de camadas mais frias próximas da terra. Em geral, a atmosfera esfria a medida em que aumenta a altitude, porém devido ao movimento das massas de ar ou pelo tipo de incidência dos raios solares sobre a Terra, o fenômeno da inversão térmica ocorre; e com ele, todos os poluentes que estão presentes no ar e mais próximos do solo ficam ali confinados. A dispersão dos poluentes, neste caso, dependerá do regime do vento.

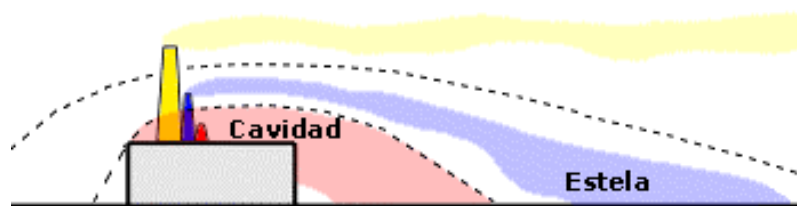


As condições atmosféricas estáveis se apresentam quando o ar mais quente está acima do ar mais fresco, inibindo a mistura vertical. É a chamada “inversão térmica”.

A umidade e a precipitação também podem ou não favorecer a formação de outros contaminantes secundários agressivos. A precipitação também é responsável pela remoção de poluentes da atmosfera. Em situações de chuvas mais intensas e persistentes percebe-se uma “limpeza” da atmosfera.

### **Distância da fonte de emissão ao receptor:**

Geralmente quanto menor a distância entre a fonte de emissão e o receptor, maior será a concentração de poluentes encontrada nas proximidades deste receptor, porém há casos, onde a utilização de técnicas que ajudam a dispersão são fundamentais. Em se tratando de uma fonte fixa, o uso de chaminés ou torres de descarga são as mais conhecidas. Geralmente as chaminés são projetadas considerando o histórico de circulação da área. Quanto mais alta a torre, maior probabilidade de dispersão dos contaminantes sem afetar a população local. A emissão visível de uma chaminé é denominada pluma. A altura da pluma depende da velocidade e do empuxo dos gases emitidos. As forças naturais fazem com que a pluma adquira velocidade vertical. A figura seguinte mostra os efeitos da altura da chaminé e dos arredores imediatos sobre a forma da pluma. Quanto mais baixa a chaminé, maior probabilidade da pluma ser afetada pela cavidade formada pelo edifício próximo a chaminé. À medida que aumenta a altura da chaminé, a pluma se afasta do edifício. A forma e direção da pluma também dependem das forças verticais e horizontais da atmosfera. As condições instáveis na atmosfera produziram uma pluma ondulante, ao passo que condições estáveis produziram uma pluma reta. Os contaminantes emitidos pelas chaminés podem transportar-se a longas distâncias. Em geral, a concentração diminui à medida que se afasta do ponto de descarga e são dispersas pelo vento e outras forças naturais. Geralmente as chaminés são projetadas considerando o histórico de circulação da área. Quanto mais alta a torre, maior probabilidade de dispersão dos contaminantes sem afetar a população local.



### **Tipos de construções**

As edificações alteram a topografia original, contribuindo para modificar a velocidade, direção ou intensidade do vento. Desta forma, prédios altos e alinhados podem modificar o fluxo de ar, provocar seu encanamento ou criar espaços sem aeração

suficiente, causando acúmulo de poluentes. Com um mesmo volume de tráfego e mesmas condições meteorológicas, mas com vias de ocupação bastante diferentes, têm-se concentrações de poluentes com muita variação.

### **Condições topográficas**

A topografia de uma região pode modificar a velocidade e direção do fluxo de ar, que quanto mais intenso maior será o volume de ar disponível para a diluição dos poluentes. Regiões elevadas favorecem as condições de ventilação, enquanto que regiões situadas em vales tendem a acumular mais poluentes. Regiões com vegetação, corpos d'água, cidades, ou outro tipo de cobertura do solo influenciam diretamente nas condições da atmosfera e conseqüentemente na dispersão dos poluentes.

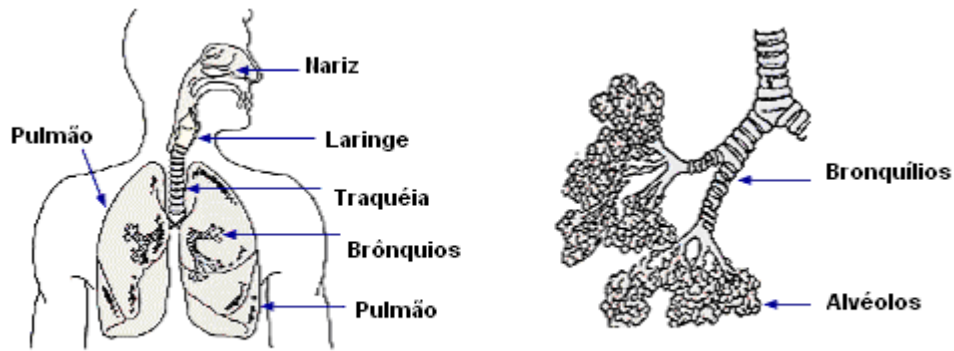
### **Efeitos da poluição na saúde e no ambiente**

Como a poluição do ar afeta nossa saúde

A contaminação do ar tem um efeito direto sobre a saúde humana. Em casos extremos até a morte em função do excesso de indústrias concentradas em locais com características geográficas e meteorológicas que propiciam a concentração de poluentes. Por exemplo, um episódio de contaminação do ar em Donora, Pensilvânia, nos Estados Unidos, em 1948, ocasionou 20 mortes e mais de 5.000 enfermos.

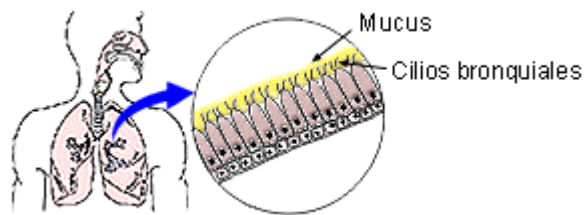
A exposição a poluentes do ar pode causar efeitos agudos (curto prazo) e crônicos (longo prazo) na saúde. Normalmente os efeitos agudos são imediatos e reversíveis quando cessa a exposição ao contaminante. Os efeitos agudos mais comuns são irritação dos olhos, dores de cabeça e náuseas. Os efeitos crônicos demoram a se manifestar, porém tendem a ser irreversíveis. Os efeitos crônicos na saúde incluem a diminuição da capacidade pulmonar e câncer nos pulmões.

Em relação à saúde humana, o sistema respiratório é o mais prejudicado. As figuras seguintes mostram os componentes desse sistema. O ar é inalado pelo nariz que atua como um sistema filtrante primário do corpo.



Os pêlos e as condições mais aquecidas e úmidas do nariz retêm as partículas contaminantes de maior tamanho. Logo o ar passa pela faringe e laringe antes de chegar a parte superior da traquéia. A traquéia se divide em duas partes, os brônquios esquerdo e direito. Cada brônquio, por sua vez se subdivide em compartimentos cada vez menores chamados bronquíolos que contêm milhões de bolsas de ar chamados alvéolos. Os bronquíolos e alvéolos constituem os pulmões.

Os contaminantes do ar tanto gasosos como partículas, pode ter efeitos negativos sobre os pulmões. As partículas sólidas podem impregnar as paredes da traquéia, brônquios e bronquíolos. A maioria dessas partículas são eliminadas dos pulmões mediante ação de limpeza dos cílios, pequenos filamentos nas paredes dos pulmões. Isso é o que acontece quando se tosse.



Entretanto, as partículas menores podem alcançar os alvéolos, onde a eliminação é mais difícil, podendo levar semanas, meses e até anos para completa eliminação. Os poluentes gasosos do ar também podem afetar a função dos pulmões mediante a redução da ação dos cílios. A respiração contínua de ar contaminado diminui a função de limpeza normal dos pulmões, o que pode facilitar a penetração de grande número de partículas até a parte inferior dos pulmões. Os pulmões são os órgãos responsáveis pela absorção do oxigênio do ar e remoção do dióxido de carbono da corrente sanguínea. Os danos causados pela contaminação do ar podem impedir que os pulmões realizem esse

processo e contribuir com a presença de enfermidades respiratórias como a bronquite, asma, enfisema e câncer. Também pode afetar o coração e o sistema respiratório.

Os efeitos sobre a saúde variam de pessoa para pessoa. Os mais afetados são os idosos, lactentes, mulheres grávidas e enfermos crônicos do pulmão e coração. As pessoas que fazem exercícios ao ar livre também estão mais propensas, pois respiram mais rápida e profundamente, o que permite a entradas de mais contaminantes aos pulmões. Os corredores e ciclistas que se exercitam em áreas de tráfego veicular, podem estar causando mais danos que benefícios à sua saúde.

Na Tabela 5 encontram-se os principais poluentes atmosféricos, assim como suas fontes, processos e efeitos.

Poluentes	Fontes	Processos	Efeitos
Óxidos de Enxofre (SOx)	Antropogênicas	Combustão (refinarias, centrais termoelétricas, veículos a diesel) Processos Industriais	Irritação nas vias respiratórias, nos olhos e danos à pele e às plantas Chuvas ácidas
	Naturais	Vulcanismo Processos biológicos	
Óxidos de Nitrogênio (NOx)	Antropogênicas	Combustão (veículos e indústrias)	Aumentam a suscetibilidade à contaminação por vírus e bactérias, contribui na formação do “smog” fotoquímico, afeta o sistema respiratório e podem provocar alterações celulares. Chuvas ácidas
	Naturais	Emissões da vegetação	
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Antropogênicas	Refinarias Petroquímicas Veículos Evaporação de Combustíveis e solventes	Poluição fotoquímica Incluem compostos tóxicos e carcinogênicos
Monóxido de Carbono (CO)	Antropogênicas	Combustão (veículos)	Interferência na capacidade do sangue de oxigenar os tecidos. Danos à percepção, à acuidade visual, à atividade mental e aos reflexos.
	Naturais	Emissões da vegetação	
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Antropogênicas	Combustão	Efeito estufa
	Naturais	Queimadas florestais	
Chumbo (Pb)	Antropogênicas	Gasolina com chumbo Incineração de resíduos	Tóxico acumulativo Anemia e destruição de tecido cerebral
Partículas	Antropogênicas	Combustão Processos industriais Condensação de outros poluentes Extração de minerais	As partículas totais em suspensão ficam retidas no nariz e na garganta, causando irritação nas vias respiratórias e facilitando a propagação de infecções virais e bacterianas. Poeiras inaláveis chegam aos pulmões, agravando casos de doenças respiratória ou do coração. Vetor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos carcinogênicos)
	Naturais	Erosão eólica Vulcanismo	
Hydrocarbonetos	Antropogênicas	Queima incompleta e evaporação dos combustíveis e outros produtos voláteis.	Efeitos narcóticos, mal-estar, dor de cabeça e sonolências. Responsáveis pelo aumento de incidência de câncer no pulmão. Provocam irritação nos olhos, nariz, pele e

			aparelho respiratório.
Ozônio	Naturais e Antropogênicas	Ação da luz solar sobre os hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, resultantes do processo de queima de combustíveis, principalmente por veículos.	Envelhecimento precoce, diminuição da capacidade do organismo de resistir a infecções respiratórias
CFC's e Halons	Antropogênicas	Aerossóis Sistemas de refrigeração Espumas, sistemas de combate a incêndios	Deficiência no transporte de oxigênio pela hemoglobina, irritação dos olhos, nariz e garganta Destruição da camada de ozônio Contribuição para o efeito de estufa

**Tabela 5:** Principais poluentes atmosféricos, fontes, processos e efeitos.

Assim, sabemos que cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentrações distintas, identificados por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do País. Tais efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada.

No inverno, freqüentemente ocorrem dias com baixa umidade do ar e alta concentração de poluentes. Nessas condições, é comum ocorrerem complicações respiratórias devido ao ressecamento das mucosas, provocando sangramento pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos.

Quando a umidade relativa do ar estiver entre 20 e 30%, é melhor evitar exercícios físicos ao ar livre entre 11 e 15 horas; umidificar o ambiente através de vaporizadores, toalhas molhadas, recipientes com água, umidificação de jardins etc; sempre que possível permanecer em locais protegidos do sol ou em áreas arborizadas. Se a umidade estiver entre 20 e 12%, é recomendável suspender exercícios físicos e trabalhos ao ar livre entre 10 e 16 horas; evitar aglomerações em ambientes fechados; e seguir as orientações anteriores. Mas, se a umidade for menor do que 12% é preciso interromper qualquer atividade ao ar livre entre 10 e 16 horas; determinar a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas em recintos fechados; manter umidificados os ambientes internos, principalmente quartos de crianças, hospitais etc. Além dessas medidas é recomendável usar colírio de soro fisiológico ou água boricada para os olhos e narinas e beber muita água.

Como a poluição do ar afeta o **ambiente**.

### **Efeitos sobre os materiais**

- abrasão: causada por partículas sólidas de tamanho suficiente e transportadas em alta velocidade.
- deposição e remoção: causada por partículas sólidas e líquidas que se depositam sobre a superfície.
- ataque químico direto: embaciamento da prata pelo gás sulfídrico; destruição de superfícies metálicas pela ação de névoas ácidas.
- ataque químico indireto: caso do dióxido de enxofre absorvido pelo couro é convertido em ácido sulfídrico, que deteriora o couro.
- corrosão eletroquímica: é o mecanismo principal de deterioração de metais ferrosos.

Devemos ainda levar em consideração que a danificação depende da umidade relativa, da temperatura, luz solar, velocidade do vento, etc.



**Figura 6:** Degradação de monumentos pela poluição atmosférica



## **Efeito sobre a vegetação**

- Redução da penetração da luz devido à sedimentação de partículas nas folhas ou por interferência de partículas em suspensão na atmosfera;
- Deposição de poluentes no solo, por sedimentação (partículas grosseiras) ou por carreamento provocado pelas chuvas (gases dissolvidos e partículas finas), permitindo a penetração dos poluentes pelas raízes e alterando as condições do solo.
- Penetração dos poluentes pelos estômatos das plantas.

Qualquer que seja a forma pela qual uma planta tenha sido afetada o efeito poderá ser visível ou não. Os efeitos são: colapso do tecido foliar; alterações da cor normal e alterações do crescimento.

## **Efeitos sobre as propriedades da atmosfera**

Efeitos sobre a visibilidade: os fatores meteorológicos que afetam a visibilidade são:

- altura de inversão e velocidade dos ventos: quanto maior a altura de inversão e quanto maior a velocidade dos ventos, melhor a visibilidade, entretanto em determinadas áreas, velocidades de vento excessivamente altas diminuem a visibilidade pelo levantamento de pó.
- partículas higroscópicas e umidade relativa: sob alta condição de umidade as partículas higroscópicas aumentam de tamanho e reduzem a visibilidade.

Formação de neblinas: sabe-se que as neblinas nas cidades são mais frequentes e mais persistentes que nas áreas circunvizinhas devido à poluição do ar. Estas neblinas em massas de ar poluídas são compostas por gotículas d'água contendo vários produtos químicos dissolvidos, e que estas substâncias favorecem a permanência das gotículas líquidas em condições de subsaturação.

**Sobre as condições de radiação urbana: a quantidade de radiação recebida por uma cidade com poluição é menor do que para uma área sem poluição, sendo que os comprimentos de onda mais curtos são mais seriamente afetados que os mais longos. Há uma excessiva perda de radiação ultravioleta de luz solar, que é o principal fator para a geração de vitamina D, natural no corpo humano.**

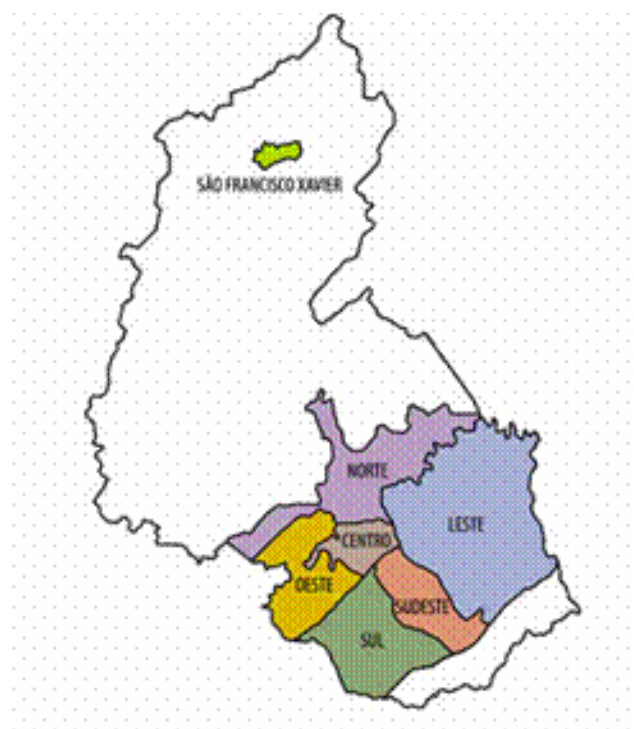
## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

O município de São José dos Campos (23° 10'47'' S, 45° 53'14 O) possui área total de 1099,60 km<sup>2</sup>, altitude média de 600m e clima mesotérmico úmido, com estação seca no inverno e chuvosa no verão (PMSJC, 2006).

A figura 7 mostra a divisão em regiões geográficas e Distrito de São Francisco Xavier.



**Figura 7:** Regiões Geográficas de São José dos Campos

**Fonte:** PMSJC - <http://www.sjc.sp.gov.br/acidade/regioes.asp>

São José dos Campos é a sétima maior cidade do estado de São Paulo, Brasil. Localizado no Vale do Paraíba, São José dos Campos é um importante tecnopólo de material bélico, metalúrgica e sede do maior complexo aeroespacial da América Latina. Aqui estão instaladas importantes multinacionais como Philips, Panasonic, Johnson & Johnson, General Motors (GM), Petrobras, Ericsson, Monsanto, a sede da Embraer entre outras. No setor aeroespacial destaca-se o CTA, o INPE, o IEAV, o IAE e o ITA.

São José dos Campos é servida por uma ampla malha rodoviária, que permite um rápido acesso à capital paulista, Rio de Janeiro, Litoral Norte e Serra da Mantiqueira. A BR-116 - Rodovia Presidente Dutra - divide São José dos Campos ao meio, cortando a cidade no eixo sudoeste-nordeste e é a principal via de acesso ao município.

Com mais de 900 indústrias, rodovias de grande movimento no perímetro urbano, e uma frota de cerca de 230 mil veículos (e crescendo), São José sofre atualmente com graves problemas de poluição.

### **3.2 Pontos de exposição do Bioindicador**

Na campanha 2007, através de um convênio com a FUNDHAS, Fundação Hélio Augusto da Silva, utilizamos como pontos de exposição da *Tradescantia pallida* todas suas Unidades de Ensino. A saber: Unidade Campos dos Alemães (UCA), com envolvimento de 200 alunos, Caic Dom Pedro (CDP) com o envolvimento de 200 alunos, Nova Esperança (UNE) 120 alunos, Novo Horizonte (UNH) 120 alunos, Jardim São José (JSJ) 240, Parque da Cidade (PDC) alunos, São Francisco Xavier (SFX) 180 alunos, Unidade Parque Industrial (240), Unidade Limoeiro-Monsanto (FUM) 120 alunos, Unidade Putim-Embraer (FUE) 240 alunos, Unidade Cephass (FUC) 60 alunos e a Fundação Eugênio de Melo (FEM) envolvendo 120 alunos. Participaram no total, 1997 alunos em 20 pontos de exposição.

Todas essas Unidades de Ensino possuem Departamento de Educação Ambiental e cada Unidade tem um coordenador que ficou responsável pela coleta das inflorescências que foram regularmente enviadas ao INPE para análise. Paralelamente ao trabalho com a *Tradescantia*, cada Unidade citada também utilizou a *Nicotiniana tabaccum*, porém não foi possível o envio das fotografias para análise no INPE devido a falta de infraestrutura para esse trabalho.

Além dos pontos que ficaram sob responsabilidade da Fundhas, tivemos um ponto em São Francisco Xavier, Ilhabela, Monteiro Lobato, CTI (Colégio Técnico Industrial da Universidade do Vale do Paraíba) e Univap Campus Urbanova.

Em Ilhabela o ponto foi colocado no Colégio São João Ilhabela (UIB) com 157 alunos envolvidos. Em Monteiro Lobato (UML) o ponto foi colocado em uma chácara

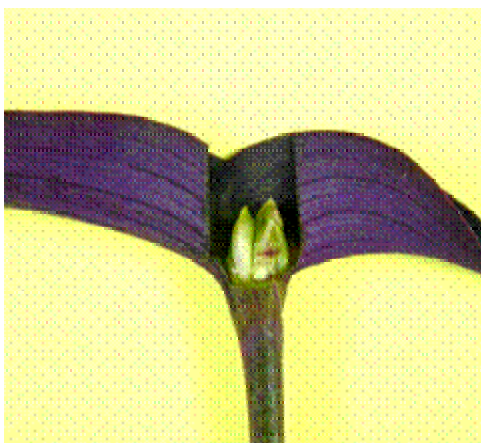
localizada na beira da estrada principal que liga Monteiro Lobato a São José dos Campos.

### 3.3 Procedimentos da amostragem

Em cada um dos pontos foram instaladas duas floreiras com a espécie *Tradescantia pallida*, que receberam o mesmo substrato e foram posicionadas no local de melhor ventilação possível. A manutenção das espécies nas unidades da FUNDHAS ficou sob responsabilidade de cada ponto por cada Unidade de Ensino, nos demais pontos a manutenção ficou sob responsabilidade de estagiários envolvidos no projeto. A replicação das mudas que foram utilizadas na campanha anterior também ficou sob responsabilidade da Fundhas, que possui um viveiro em condições ideais para esse fim.

As espécies foram expostas entre março e novembro de 2007, sendo que para a quantificação dos micronúcleos, foram coletadas quinzenalmente ou semanalmente todas as inflorescências apresentadas, mantendo-as em solução de álcool e ácido acético (3:1) até o momento da análise.

O termo inflorescência se refere à fase pré-floração (botão) da espécie, figura x.



**Figura 8** : Fase pré-floração da espécie *Tradescantia Pallida*



**Figura 9** : Fase pós-floração da espécie *Tradescantia Pallida*

A quantidade de inflorescências coletadas variou de ponto a ponto, pois durante

o tempo de amostragem das plantas, a pluviosidade teve intervalos, o que acabou ocasionando a diminuição da produção de inflorescências, o intervalo de uma semana entre as coletas também ocasionou a perda de inflorescências devido a rápida floração.

É importante ressaltar que a fase específica para observação dos MCN na célula é fase de tétrade, essa fase ocorre ainda na inflorescência.

### 3.4 Procedimento de Análise

Para se iniciar a análise é necessário verificar o tempo que as inflorescências estão imersas em solução de ácido acético, lembrando que o tempo mínimo para imersão é de 24 horas para depois ser feita a análise, as inflorescências podem permanecer imersas na solução por até dois meses, tempo mínimo de armazenagem.



**Figura 10** : Pote com solução (1:3) de ácido acético e álcool.



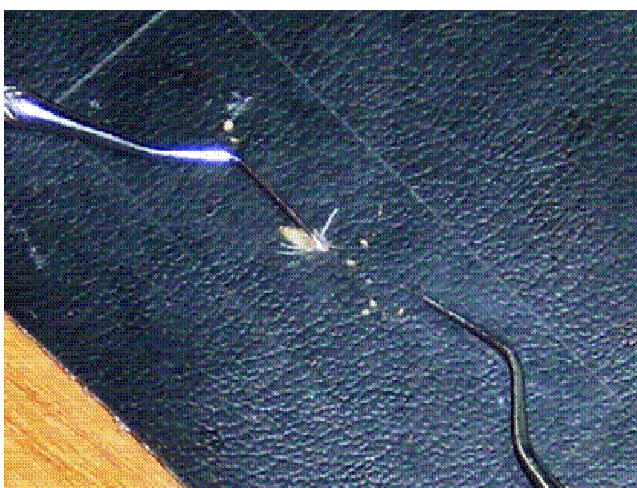
**Figura 11** : Inflorescência após tempo mínimo de vinte quatro horas na solução.

Após 24 horas as inflorescências podem ser analisadas, devem ser retiradas com uma pinça e o ácido acético enxugado com um papel toalha, com a ajuda da sonda exploradora ela deve ser aberta e seus grãos separados de modo a ser possível a identificação de quatro conjuntos. Dois botões maiores e dois conjuntos de gomos menores. Cada um dos dois gomos pequenos é formado por um conjunto de três botões: pequeno, médio e grande (figura 10).



**Figura 12:** Divisão dos gomos e botões da inflorescência, sendo que através de dois gomos são obtidos três ou mais botões (quatro botões á direita e a três a esquerda da figura) e dois botões grandes ao centro da figura

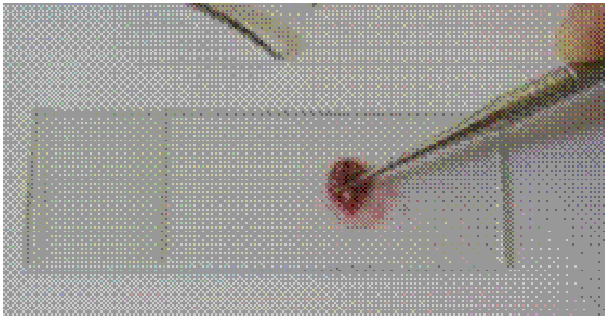
Deve ser selecionado apenas um dos botões que estavam dentro dos dois gomos que foram separados em três ou mais botões. Como definição da metodologia o primeiro botão a ser selecionado é o maior dos médios (do lado direito ou esquerdo), pois provavelmente seja o botão na fase específica de tétrade devido seus tamanho, os outros botões não devem ser descartados, pois caso não haja a fase tétrade, parte-se para um outro botão , depois de selecionado , o botão deve ser transportado para a lâmina, pois na lâmina esse botão será aberto com a ajuda da sonda exploradora com cuidado para não macerar o material interno, como demonstrado na Figura abaixo.



**Figura 13:** Botão da espécie *tradescantia pallida* sendo manuseado para extração do material interno.

Após a retirada deste material devem-se limpar as debris e aplicar o carmim. Após a aplicação do carmim o material é macerado com as sondas exploradoras, figura , e então levado ao microscópio para analisar em que fase do desenvolvimento o grão de pólen se encontra. É importante lembrar que se o botão analisado primeiramente não

estiver na fase tétrade, outros botões desta mesma inflorescência devem ser analisados até que a fase tétrade seja encontrada (quando a fase tétrade não é visível é porque o botão é novo demais ou velho demais).



**Figura 14:** Aplicação do carmim e maceração

Essa identificação da idade do botão é importante para facilitar a localização das tétrades, pois se o botão médio está velho (visualizando-se as tétrades sem a presença do núcleo ou até mesmo somente células dispersas também sem núcleos com aspecto translúcido amarelado) devemos procurar no botão mais novo, menor ao botão analisado anteriormente, e caso contrário se o botão for muito novo (em fase de evolução, meioses ou célula unitárias) passaremos a buscar as tétrades no botão maior ao analisado anteriormente.

Depois de encontrada a fase a tétrade deve-se retirar o material grosso presente na lâmina com cuidado para não retirar o carmim junto, pois as células em fase de tétrade ficam contidas no carmim, em seguida a lamínula deve ser colocada sobre o líquido da lâmina, esta deve ser aquecida rapidamente (para melhor fixação do carmim nas células) e então está preparada para a contagem de tétrade. Se for necessário o armazenamento, um esmalte incolor deve ser passado nas bordas da lamínula para lacrar o material e manter sob refrigeração, contendo um prazo de validade em torno de um mês. Depois de preparada a lâmina levar ao microscópio (40X) e iniciar a contagem da quantidade de micronúcleos por tétrades para cada lâmina. Devem ser observadas pelo menos 300 tétrades. Em cada tétrade, observar se há presença ou não de MCN, no caso da presença este deve ser contado e anotado em uma planilha própria para armazenagem dos dados.

### **Material utilizado para o procedimento da análise**

Os materiais utilizados são apresentados nas figuras a seguir onde na figura , da esquerda para a direita, há um isqueiro (utilizado para aquecer a lâmina), um lápis (para anotações na planilha), o corante carmim (para melhor visualização das células no microscópio), lamínulas de 20x20mm e lâminas tamanho padrão (para manuseio e efetuação das análises), sondas exploradoras e pinças (para manuseio do material). E na figura 14, um microscópio binocular com lentes de aumento de 10X e 40X, necessário para a realização das análises.



**Figura 15:** Materiais necessários para análises de MCN



**Figura 16:** Microscópio binocular utilizado para contagem da tétrade e para as análises de MCN



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

A frequência de MCN foi calculada dividindo o número total de micronúcleos pelo total de tétrades e expresso em %. Os resultados apresentam variabilidade entre os 18 pontos e também em relação ao período de coleta. Numa primeira abordagem, os pontos foram agrupados segundo Regiões Administrativas do Município e os resultados são apresentados na tabela 2. As maiores médias correspondem às regiões Sudeste  $2,69 \pm 2,47$ ; Oeste e Norte, com  $2,49 \pm 2,92$  e  $2,25 \pm 2,21$ , respectivamente. Essas áreas correspondem às áreas com maior trânsito de veículos. As demais regiões também apresentam resultados superiores aos citados em Carreras et al (2006) onde a frequência de MCN em 3 pontos da Cidade de Córdoba, Argentina, mostra valores entre  $2,4 \pm 2,08$  (área mais afastada do centro) e  $4,2 \pm 2,6$  (região central da cidade). Em São Paulo, a frequência de micronúcleos reportada em Sant'Anna (2003) apresenta valores médios entre  $5,6 \pm 0,7$  e  $7,1 \pm 1,0$ , em dois bairros considerados altamente poluídos, Cerqueira César e Congonhas.

**Tabela 6** – Resultados referentes à utilização da *Tradescantia pallida* - Campanha de Biomonitoramento 2007, em São José dos Campos – SP.

Região Administrativa	Nº de pontos com exposição da <i>Tradescantia</i>	Nº de inflorescências analisadas	% média de MCN ( $\pm$ SD)	Valor Máximo	Valor Mínimo
Sudeste	2	47	$2,69 \pm 2,47$	3,17	2,22
Sul	3	87	$1,74 \pm 1,25$	1,93	1,58
Oeste	4	184	$2,49 \pm 2,92$	3,35	1,85
Leste	2	63	$2,08 \pm 0,82$	2,13	2,03
Norte	3	133	$2,25 \pm 2,21$	2,52	1,78
Centro	3	161	$2,11 \pm 1,54$	2,64	1,56

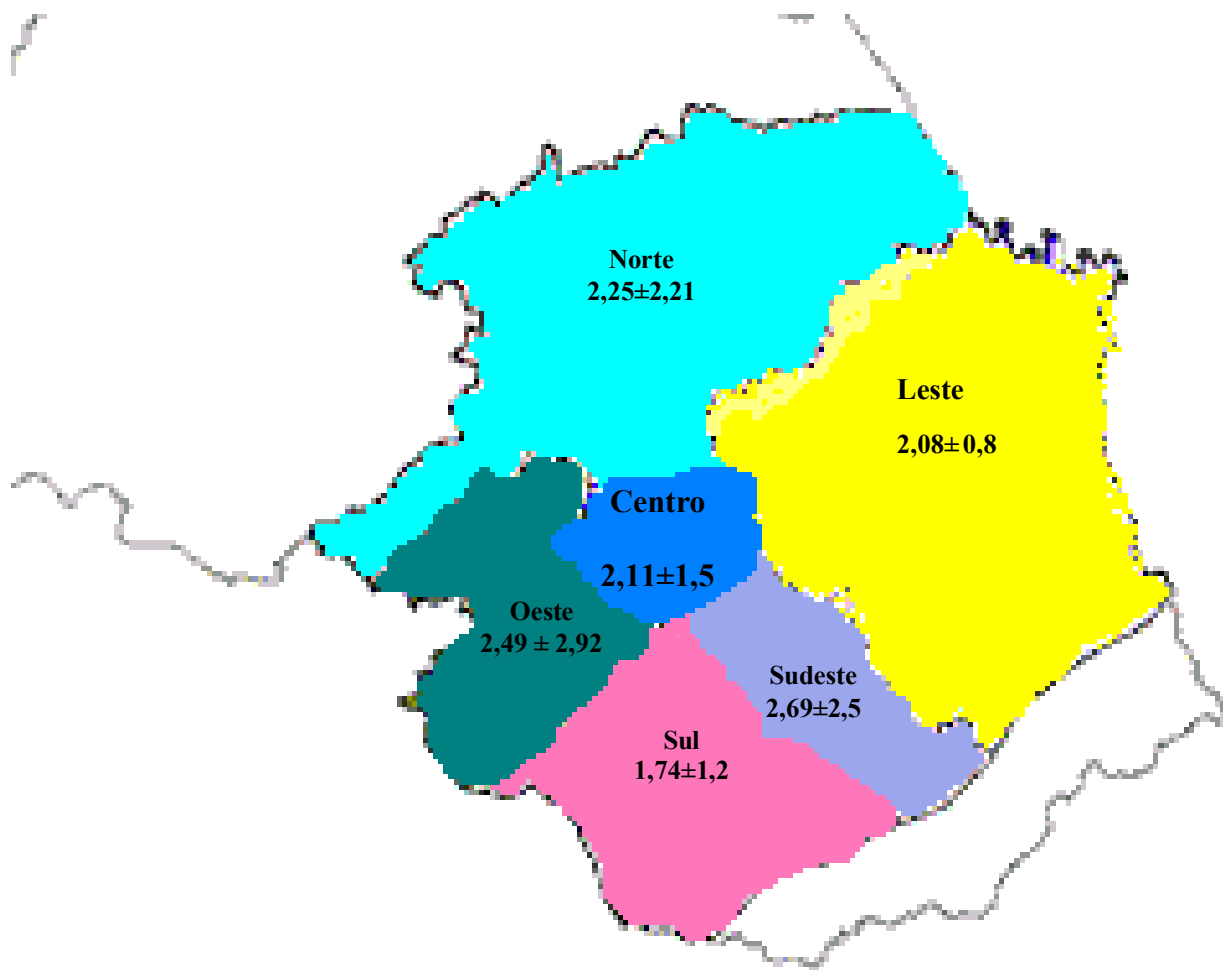
Na campanha de 2007, a região Sudeste vem em 1º lugar no ranking das regiões mais poluídas, a região Oeste como a segunda região mais poluída, já em 3º lugar vem a

região Norte. Na campanha passada, em 2006, a região Centro ficou em primeiro lugar, a região Norte em segundo e a região Leste em terceiro.

O total de inflorescências analisadas em 2007 foram 675, enquanto que em 2006, 474. Isso torna a representatividade estatística de 2007 melhor em relação a 2006.

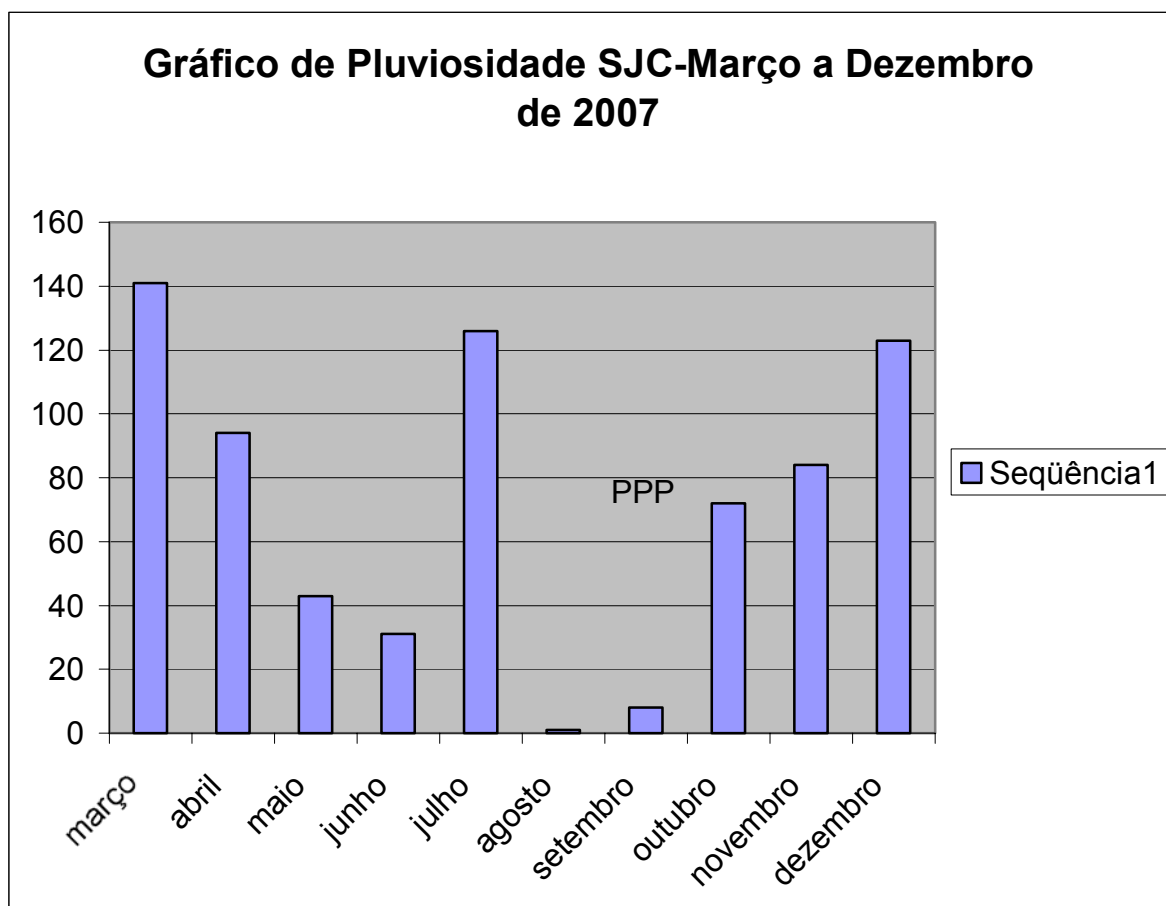
Os pontos de São Francisco Xavier e Ilhabela foram fundamentais para a avaliação atmosférica de poluição, tais municípios são considerados exemplos de qualidade de ar. Ilhabela têm 85% de Mata Atlântica preservada, mas mesmo assim não esta fora da lista de municípios com poluição atmosférica, um exemplo verídico é a análise de uma coleta feita em 11/07/2007 três dias após uma grande queimada, que atingiu um morro, onde foi comprovada a veracidade da planta como bioindicador. A média de micronúcleos para Ilhabela foi de 2,6, da mesma ordem de São José dos Campos. São Francisco Xavier, localizado em uma APA (Área de Proteção Permanente), apresentou valor médio de  $2,52 \pm 1,40$ , durante a campanha de 2007, valores compatíveis com o considerado de controle, ou de fundo, entre 2,0 e 2,3 % de MCN (Sant'Anna, 2003).

A Figura 17 mostra o Mapa da Distribuição da frequência de MCN (%) na área urbana do Município de São José dos Campos-SP, referente à Campanha de Biomonitoramento em 2007, utilizando a *Tradescantia pallida*.



**Figura 17** – Mapa da Distribuição da frequência de MCN(%) na área urbana do Município de São José dos Campos- SP. Resultados referentes à Campanha de Biomonitoramento em 2007, utilizando a *Tradescantia pallida*.

Entre os fatores meteorológicos que influem na concentração de poluentes atmosféricos, a pluviosidade é o que mais contribui para a limpeza da atmosfera. Assim, é importante comparar os episódios de chuva durante o período de biomonitoramento no ano de 2007. O gráfico 1 apresenta esses episódios.



**Gráfico 1:** Dados de Pluviosidade referentes aos meses de março a dezembro de 2007.

Observa-se que o mês de julho foi bastante atípico em precipitação, o que justifica a menor concentração de micronúcleos em 2007, quando comparado com 2006.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

As regiões que obtiveram maior índice de micronúcleos, e que foram caracterizadas como de maior poluição foram as regiões administrativas Sudeste e Oeste. O alto nível de poluição na região Sudeste pode ser atribuído ao aterro sanitário no Torrão de Ouro, enquanto que o alto nível de poluição na região Oeste pode ser atribuído à indústria Monsanto. A região central caracteriza-se pelo alto fluxo de veículos aliado a má circulação atmosférica da região. As demais regiões administrativas e boa parte da região sudeste e uma pequena parte da região Sul apresentaram índices um pouco mais amenos com nível de presença de micronúcleos entre 1,74 e 2,11. A região norte ficou em terceiro lugar provavelmente devido ao transporte de poluentes de regiões mais poluídas por meio da brisa, uma vez que ela não possui alta concentração de indústrias e de veículos.

Apesar das fortes características de São José dos Campos, como centro urbano com altos índices de industrialização, a avaliação da qualidade do ar é feita por uma única estação de monitoramento não considerada representativa do município. Essa estação disponibiliza dados contínuos de concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), material particulado (PM10) e ozônio (O<sub>3</sub>). Os dados revelam constantes ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar estabelecidos para o ozônio e níveis crônicos de exposição desse poluente (elevada frequência de dias com concentrações de ozônio superiores a 120 µg.m<sup>-3</sup>), que é sabidamente prejudicial à saúde humana e ao ambiente. Não existe no município um estudo que relacione os diferentes efeitos da poluição na saúde, principalmente os efeitos da exposição prolongada a níveis consideráveis de poluição.

A necessidade de continuidade desta pesquisa no município revela-se extremamente importante tanto para confirmação da veracidade dos dados obtidos na campanha de 2006, como para definir regiões com os maiores índices de mutações, levando assim a ações que minimizem e controlem os níveis de poluentes atmosféricos.

Também seria importante correlacionar os dados de atendimentos em postos médicos por doenças respiratórias com a presença de poluentes atmosféricos, bem com um estudo mais aprofundado dos poluentes predominantes no município, conhecendo-

se os níveis e os poluentes emitidos por cada indústria, tanto do município como de municípios vizinhos que possam vir a influenciar a atmosfera de São José dos Campos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carreras H. A., Pignata, M.L. & Saldiva, P.H.N., 2006. In situ monitoring of urban air in Córdoba, Argentina using the Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) bioassay. *Atmospheric Environment* 40, 7824-7830.
- Cetesb 2006. Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo–2005/Cetesb-São Paulo. 140p. Série Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISS 0103-4103.
- CETESB. 2007. Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo, 2006. São Paulo: [www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios.asp).
- Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F., 2001. The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* 35, 1537-1565.
- Emissions Inventory-Inventory Improvement Program da US-EPA.
- Klumpp, A., Ansel, W., Klumpp, G., 2004. European Network for the Assessment of Air Quality by the Use of Bioindicator Plants. Final Report. University of Hohenheim, Germany, 168 pp., download from: <http://www.eurobionet.com>.
- Saldiva, P.H.N., Pope, C.A. III, Schwartz, J., Dockery, D., Lichtenfels, A.J.F.C., Salge, J.M., Barone, I.A. & Bohn, G.M. 1995. Air pollution and mortality in elderly people: a timeseries in São Paulo. *Archives of Environmental Health* 50:159-163.
- Santana, E.T.G. 2003. Poluição Atmosférica Urbana na Cidade de São Paulo e Mutagênese: Avaliação de Riscos Utilizando-se Bioindicadores Vegetais do Gênero Tradescantia. 117 p. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.
- Skov, H., Hansen, A.B., Lorenzen, G., Andersen, H.V., Løfstrøm, P., Christensen, C.S., 2001. Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark. *Atmospheric Environment* 35, 2463-2471.
- WHO 2000. Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment – Guideline document. WHO Regional Office for Europe. 32p. Copenhagen, Dinamarca.
- WHO 2006. Air Quality Guidelines. Global update 2005. World Health Organization 2006. 496 p. Copenhagen, Dinamarca. ISBN 9289021926.
- Wilson, A.M., Salloway J. C., Wake C. P. and Kelly T. 2004. Air pollution and the demand for hospital services: a review. *Environment International* 30 (2004) 1109– 1118.

## ANEXO I

**EXEMPLO DE VISUALIZAÇÃO DAS LAMINAS ATRAVÉS DO MICROSCÓPIO AUMENTO DE 40X, EM FASE TÉTRADE.**

