



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**BIOMONITORAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS
CAMPOS, UTILIZANDO *TRADESCANTIA PALLIDA*
-CAMPAÑA 2008-**

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

ORIENTADORES

Dr^a Maria Paulete Pereira Martins (DMA/INPE, Orientador)
maria.paulete@cptec.inpe.br

Colaboradores

Franklin Velardes Rosário (INPE/CPTEC)

Julho de 2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço á DEUS por ter me proporcionado realizar esse trabalho, sei que sem a Tua força Senhor não teria conseguido. Agradeço as pessoas abençoadas que Colocaste em minha vida para que pudessem me ajudar, agradeço a Ti por tudo.

Obrigado pela vida da Dr^a Maria Paulete que me orientou e que tanto me ajudou, obrigada pela vida da Dr^a Rauda Lúcia, que também me apoiou, obrigada pela vida dos meus colegas de trabalho Franklin, Adriano, Deuzuita, Sergio, Francisca, Lílian, Lucas e Aziel.

Obrigada pelas vidas dos meus Pais, Zanato e Nanci, dos meus Avós Renaldo e Zulmira e de toda a minha linda família.

Obrigada Senhor pela Companhia Dersa, pelo Dr. Ibsen Trench Gomes, que permitiu as plantas serem expostas na estação da Dersa, obrigada pelos funcionários da Dersa que demonstraram tanto interesse pelo projeto e me ajudaram, obrigada pelo Colégio São João que também permitiu as plantas serem expostas no colégio, obrigado pela Tia Cibele Lemos que permitiu as plantas serem expostas na linda Ponta das Canas, obrigada pela Roseane que tanto me ajudou nas coletas, obrigado pela Beatriz Mitral que permitiu as plantas serem expostas no Veloso, obrigada pela Jéssica e seus Pais que também me ajudaram nas coletas e obrigada novamente pelos meus Pais, Zanato e Nanci que junto comigo instalaram também o ponto na Vila e tanto me ajudaram nas coletas. Obrigado Senhor por ter proporcionado a sabedoria para tantos pesquisadores que juntos formam o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, o qual me cedeu as instalações para o desenvolvimento deste projeto. Obrigado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq que me concedeu uma auxílio financeiro de 1 ano de bolsa de iniciação científica.

Obrigado Senhor pela paciência, colaboração e oração de todos os amigos e familiares que me ajudaram no desenvolvimento de tal pesquisa, que me ajudaram a conquistar assim mais maturidade e experiência na área de estudo. Sei que tudo isso é puro cuidado e carinho Teu JESUS.

“Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou em coração humano o que Deus tem preparado para aqueles que o amam”. 1 Coríntios 2.9

A Ti Rei Jesus toda a Glória para sempre. Amém!!

RESUMO

Este trabalho teve início em agosto de 2008 em continuidade ao Projeto de Biomonitoramento de 2007, utilizando a planta bioindicadora *Tradescantia Pallida*. Ele foi aplicado nas cidades de São José dos Campos e Ilhabela, localizados, respectivamente, no Vale do Paraíba e no Litoral Norte do Estado de São Paulo. A continuação do Projeto é importante para acompanhar a evolução da poluição atmosférica nos pontos de coleta através da contagem de micronúcleos (MCN), e incentivar a promoção da Educação Ambiental que faz parte do projeto. Em Ilhabela foram instalados 5 pontos de coleta, um no centro da cidade, um na estação portuária da Dersa, outros dois nos extremos Sul e Norte e o último na Escola São João onde já vinham sendo coletadas inflorescências desde 2007. A metodologia utilizada em Ilhabela foi a mesma descrita no relatório anterior, através da contagem de MCN envolvendo 270 alunos da Escola São João, voluntários para os pontos de coleta onde as plantas foram instalados, além de palestras na Escola e no Instituto de Preservação Oceânica (Azimuth). Em São José dos Campos foram mantidos 2 pontos de biomonitoramento, no INPE e na Estação da CETESB, no Jardim Paulista com 65 e 20 inflorescências coletadas ao longo do ano. Em 2007, ambos os pontos apresentaram quantidade de MCN variando entre 1,3 e 2,4, valores considerados normais para locais com baixo nível de poluição. As análises das inflorescências coletadas em 2008 e 2009 estão sendo concluídas para posterior comparação. Os estudos do comportamento meteorológico com direção e velocidade dos ventos, precipitação e umidade foram feitos a partir dos dados disponibilizados no site www.strademaweb.funccate.org.br, estação meteorológica da praia da Tabatinga em Caraguatatuba. Os resultados serão avaliados de acordo com os valores médios de MCN e apresentados em mapa de acordo com divisão por setores censitários.

ABSTRACT

This work began in August 2008 to continue the Project for Biomonitoring, 2007 using the bioindicator plant *Tradescantia pallida*. It was applied in the cities of São José dos Campos and Ilhabela, located, respectively, in the Paraíba Valley and the North Coast of São Paulo State. The continuation of the Project is important to monitor developments. The air pollution at the point of collection through's counting the micronucleos (MCN), and the promotion of environmental education as part of the project. In Ilhabela were installed to collect 5 points, one in the city center, one at the port of ders, two in South and North ends and the last in St. Joseph School which already had been collected inflorescences from 2007. The methodology used in Ilhabela was the same described in the previous report, by the count of MCN involving 270 students from St. John School, volunteers for the collection points where the plants were installed, and lectures at the School and the Institute for Ocean Conservation (azimuth). In Sao Jose dos Campos were kept 2 points of biomonitoring in Inpe station and the Cetesb, in Jardim Paulista with 65 and 20 inflorescences collected throughout the year. In 2007, both the number of points presented MCN ranging between 1.3 and 2.4, values considered normal for places with low level of air pollution. The analysis of inflorescences collected in 2008 and 2009 has being finalized for later comparison. The meteorological studies of the behavior with direction and speed of winds, rainfall and humidity were made from data available at the site www.strademaweb.funccate.org.br, meteorological station on the beach of Tabatinga Caraguatatuba. The results will be evaluated according to the average values of MCN and presented in accordance with the map by dividing census tracts.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	9
Objetivos.....	11
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.1 Biomonitoramento – <i>Tradescantia Pallida</i>	12
2.2 Poluições do ar.....	14
2.2.1 Contaminantes e fontes de poluição do ar.....	14
2.2.2 Padrões de qualidade do ar.....	20
2.2.3 Condições Meteorológicas.....	25
2.2.4 Efeitos da poluição na saúde e no ambiente.....	27
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Área de estudo.....	31
3.2 Ponto de exposição do Bioindicador.....	32
3.3 Procedimento de amostragem.....	32
3.4 Procedimento para a análise do Bioindicador.....	33
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS.....	37
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXO I – Fotos células tétrades.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Feição da planta <i>Tradescantia pallida</i>	12
Figura 2: Fase tétrade das células mães de grãos de pólen com a presença de um micronúcleo.....	13
Figura 3: Representação esquemática da duração e morfologia geral de cada estágio da meiose das células mãe do grão de pólen de <i>Tradescantia</i>	13
Figura 4: Vulcão” El Chichon”, México 1993.	16
Figura 5: Emissões Industriais e veiculares.....	17
Figura 6: Representação esquemática do aparelho respiratório.....	27
Figura 7: Degradação de monumento pela poluição atmosférica.....	29
Figura 8: Regiões Geográficas de São José dos Campos.....	31
Figura 9: Fase pré-floração da espécie <i>tradescantia Pallida</i>	33
Figura 10: Fase pós-floraçã da espécie <i>Tradescantia</i>	33
Figura 11: Pote solução ácido acético.....	34
Figura12: Inflorescência após tempo mínimo de 24 horas imergida na solução.....	34
Figura 13: 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.....	34
Figura 14: Botão da espécie <i>tradescantia pallida</i> sendo manuseado para extração do material interno.....	35
Figura 15: Aplicação do carmim e maceração.....	35
Figura 16: Materiais necessários para análises de MCN.....	37
Figura 17: Microscópio binocular utilizado para contagem da tétrade e para as análises de MCN.....	37

Lista de tabelas

Tabela 1: Valor de padrões para poluentes citados.....	20
Tabela 2 : Qualificação do ar.....	21
Tabela 3: Alterações na saúde de acordo com o grau de poluição.....	22
Tabela 4: Resultados referentes á utilização da <i>Tradescantia Pallida</i> - Campanha de Biomonitoramento 2008.....	36

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Direção predominante dos ventos - Janeiro de 2009.....	37
Gráfico 2 : Direção predominante dos ventos - Fevereiro de 2009.....	38
Gráfico 3 : Direção predominante dos ventos - Março de 2009.....	38
Gráfico 4 : Direção predonminante dos ventos - Abril de 2009.....	39
Gráfico 5 : Direção predominante dos ventos - Maio de 2009.....	39
Gráfico 6 : Direção predominante dos ventos – Junho de 2009.....	40

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A estância balneária de Ilhabela, localizada no Litoral Norte de São Paulo, possui área total de 336 km², Latitude 23° 46"28" Sul e Longitude 45° 21"20" Oeste apresenta o clima Tropical úmido com temperatura média oscilando entre 22° e 23°C e pluviosidade anual entre 1300 e 1500 mm, topografia montanhosa e tipo de solo alcalino (terras ácidas).

Ilhabela têm como limites a Oeste o Canal de São Sebastião e a Leste o Oceano Atlântico. O Canal de São Sebastião abriga o Porto de São que é administrado pela Companhia Docas de São Sebastião, vinculada à Secretaria de Estado dos Transportes de São Paulo. A empresa exerce também a função de Autoridade Portuária. Graças à sua configuração natural é considerado a terceira melhor região portuária do mundo. Isso faz das condições de calado e abrigo à navegação as mais confortáveis e seguras.

Ilhabela tem uma população segundo dados do IBGE do último senso estimada em aproximadamente 25.500. Ilhabela têm apresentado no decorrer dos últimos anos um crescimento populacional grande , gerando um crescimento desordenado.

Dados de 2004 mostram Ilhabela com 92% de Mata Atlântica preservada, em 2009 Ilhabela apresenta 85% de Mata Atlântica preservada, Ilhabela é o Município campeão em preservação da Mata Atlântica.

O crescimento populacional e desordenado acarreta o crescimento da frota veicular e também do número de queimadas ilegais provenientes da limpeza de terrenos.

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, mantêm comitês para revisão sistemática dos Padrões de Qualidade do Ar dos poluentes regulamentados (WHO 2006).

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 á 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. Em 2007 a FUNDHAS- Fundação Hélio Augusto de Souza, tornou-se parceira do projeto, ficando responsável pela replicação das mudas e todas as suas Unidades de Ensino receberam as plantas para biomonitoramento, envolvendo mais de 2000 alunos. Para essa campanha não foi possível a renovação da parceria entre FUNDHAS e o Projeto, então foram instalados 5 pontos em Ilhabela, e em São José dos Campos permaneceram apenas o ponto no Inpe e no Jardim Paulista, na estação da Cetesb.

Nesse trabalho são apresentados os resultados da terceira campanha de Biomonitoramento em São José dos Campos, realizada em 2008, utilizando a espécie vegetal *Tradescantia Pallida* como bioindicador que abrangeu o Município de Ilhabela.

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, a segunda campanha teve por objetivo observar a evolução temporal da qualidade do ar segundo os mesmos bioindicadores, e essa campanha teve por objetivo quantificar as áreas mais susceptíveis à poluição no Município de Ilhabela e a evolução temporal em dois pontos de amostra em São José dos Campos.

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 tetrade com um micronúcleo.

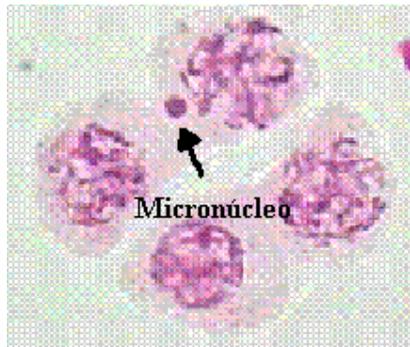


Figura 2 : Fase tetrade das células mães de grãos de pólen com a presença de um Micronúcleo.

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

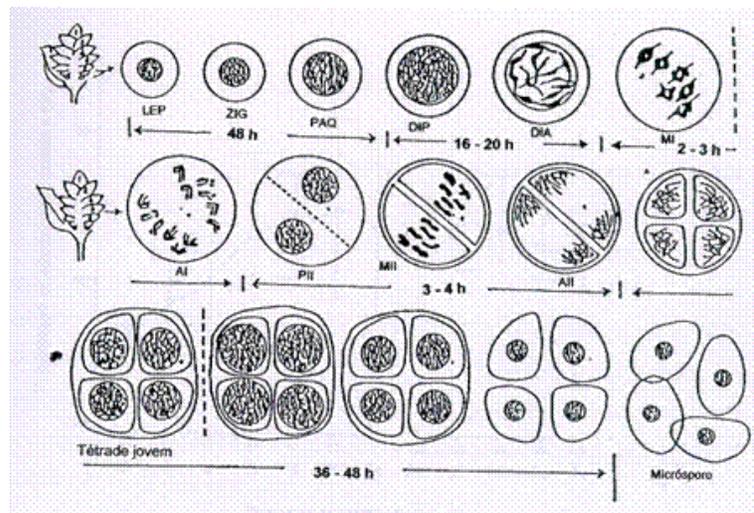


Figura 3 : Representação esquemática da duração e morfologia geral de cada estágio da meiose das células mãe do grão de pólen de *Tradescantia*.

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 (O₃) 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 (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) , 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, H_2S , HCl , HF , SCO (sulfeto de carbonila), cinzas e partículas sólidas.

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

O solo emite N_2O (desnitrificação), NH_3 (processos aeróbicos) e gases redutores, como CH_4 , NO , H_2S (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: CO , CO_2 , CH_4 , N_2O , CS_2 (dissulfeto de carbono) SCO , ClCH_3 (cloreto 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.

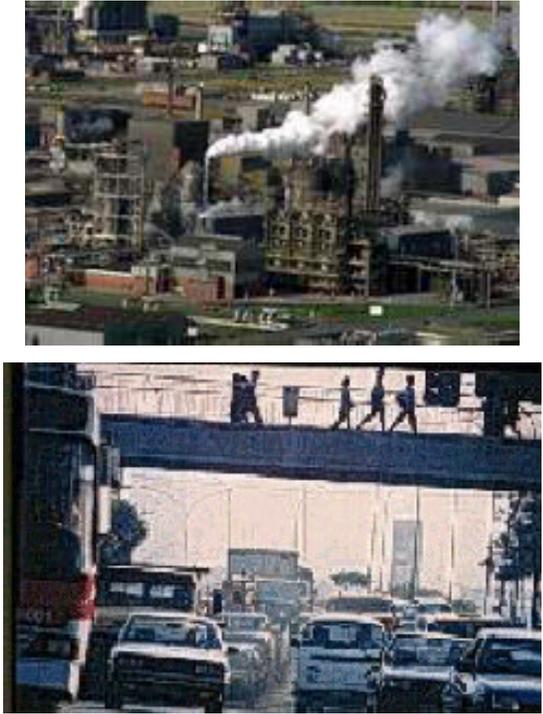


Figura 5 :Emissões industriais e veiculares.

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 SO₂; +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 (CO_2), água (H_2O), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não ou parcialmente oxidados (HC), aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_2) e material particulado (MP). O ozônio troposférico (O_3), outro importante poluente, tem a sua formação associada à presença de HC e 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_2)	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
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	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
Oxidantes foto-químicos (ozônio)	nível de emergência - valor de 8 horas	40 ppm
	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
Partículas inaláveis	nível de emergência - valor de 1 hora	1.200
	padrão primário - média aritmética anual	50

Fumaça	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
	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 (SO₂); partículas totais em suspensão (PTS); partículas inaláveis (MP₁₀); monóxido de carbono (CO); ozônio (O₃) e - dióxido de nitrogênio (NO₂). 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 ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
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. 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.

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.

Efeitos da poluição na saúde e no ambiente

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.

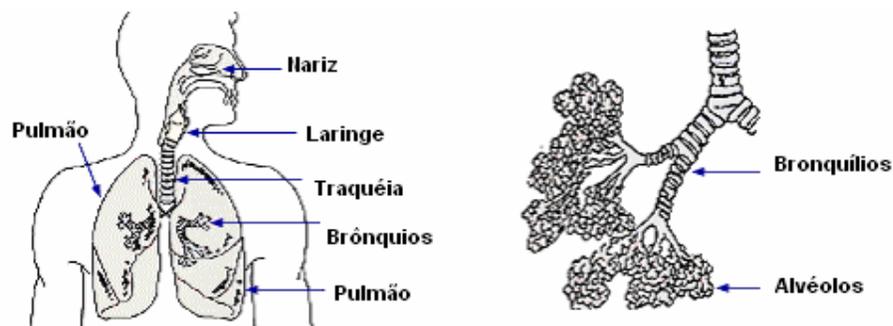


Figura 6: Representação esquemática do aparelho respiratório

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 bronquílios que contêm milhões de bolsas de ar chamados alvéolos. Os bronquílios e alvéolos constituem os pulmões.

Os contaminates do ar tanto gasosos como partículas, pode ter efeitos negativos sobre os pulmões. As partículas sólidas podem impregnar as paredes da traquéia, brônquios e bronquílios. 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.

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 deteriorização de metais ferrosos.

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



Figura 7: 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

Os pontos foram distribuídos em 5 bairros da Cidade sendo um ponto na estação portuária da Dersa localizado na bairro da BarraVelha, um no bairro do Veloso situado no extremo Sul da Cidade, um ponto localizado no Perequê, bairro que abriga a prefeitura da cidade, um ponto no centro da cidade localizado no bairro da Vila e um ponto no bairro Ponta das Canas situado no extremo Norte da Cidade (Figura 8).

Em São José dos Campos, as plantas biomonitoras foram distribuídos em 2 pontos, um no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, localizado no Jardim Uirá e outro no Colégio Célio Lemos, localizado no Jardim Paulista, onde há uma estação de monitoramento automática da Cetesb.



Figura 8 : Mapa de Ilhabela, com localização dos pontos em amarelo.

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

Os pontos foram escolhidos estrategicamente para a comparação ente os dois extremos da cidade e a parte central da cidade. Um dos pontos localizados na estação portuária da DERSA foi colocado estrategicamente para ver a influência da circulação de automóveis e do meio de transporte marítimo.

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 nos pontos ficou sob responsabilidade da bolsista de iniciação científica e sob os cuidados de voluntários do projeto onde os pontos foram instalados. As mudas usadas nessa campanha foram desenvolvidas no viveiro da FUNDHAS, que possui um viveiro em condições ideais para esse fim.

As espécies foram expostas entre agosto de 2008 e julho de 2009, 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 12.



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



Figura 10 : 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 tetrade, essa fase ocorre ainda na inflorescência.

3.4 Procedimento de Análise do Bioindicador

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 11: Pote com solução (1:3) de ácido acético e álcool.



Figura 12: 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 separadas 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 13: 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 seu 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 14: 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).

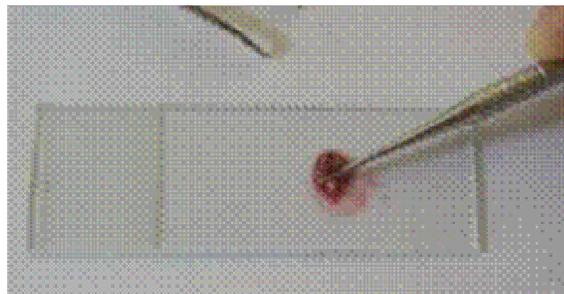


Figura 15: Aplicação do carmim e maceração

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 carmim 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 15 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 16, um microscópio binocular com lentes de aumento de 10X e 40X, necessário para a realização das análises.



Figura 16: Materiais necessários para análises de MCN



Figura 17: Microscópio binocular utilizado para contagem da tétrede 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 5 pontos em Ihabela e também em relação ao período de coleta. As maiores médias correspondem aos bairros Perequê, Ponta das Canas e Vila com $1,92 \pm 1,20$, $1,65 \pm 0,58$ e $1,52 \pm 1,02$ respectivamente. 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. Isto mostra que os valores encontrados em Ihabela são da ordem de 1/3 dos valores obtidos em São Paulo, uma metrópole muito mais poluída que a região de estudo.

Tabela 6 – Resultados referentes à utilização da *Tradescantia pallida* - Campanha de Biomonitoramento 2008, em Ihabela e São José dos Campos – SP.

	média	desvio padrão
Ponta das Canas	1,65	0,58
Vila	1,52	1,02
Perequê	1,92	1,20
Balsa	1,20	0,31
Veloso	0,70	0,24
Cetesb	1,39	0,19
Inpe	1,71	0,47

O total de inflorescências analisadas em 2007 foram 675, enquanto que em 2006, 474. Em 2008-2009 foram analisadas 119 inflorescências em 7 pontos de amostragem.

Entre os fatores meteorológicos que influenciam na concentração de poluentes atmosféricos, a direção dos ventos contribui para a limpeza da atmosfera. Assim, é

importante comparar a direção dos ventos durante o período de biomonitoramento no ano de 2008. Os gráficos á seguir foram elaborados com dados da estação da Praia da Tabatinga em Caraguatatuba Litoral Norte de São Paulo.

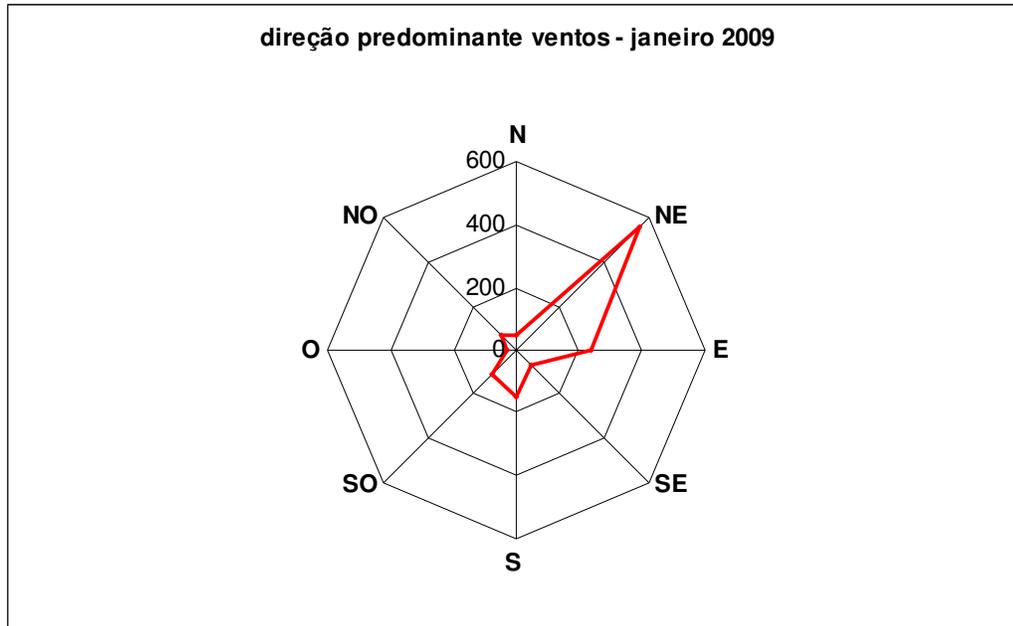


Gráfico 1: Direção predominante dos ventos – Janeiro de 2009.

Direção predominante vento - fevereiro 2009

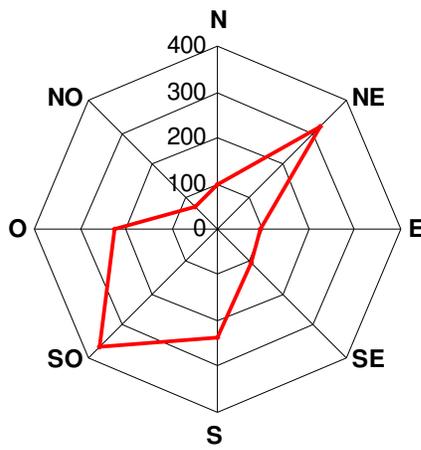


Gráfico 2: Direção predominante dos ventos – Fevereiro de 2009

direção predominante dos ventos Março 2009

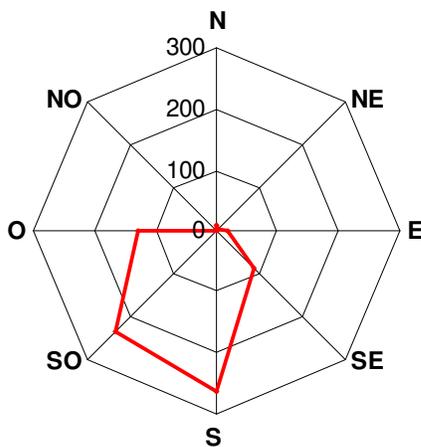


Gráfico 3: Direção predominante dos vento – Março de 2009

Direção predominante dos ventos - Abril 2009

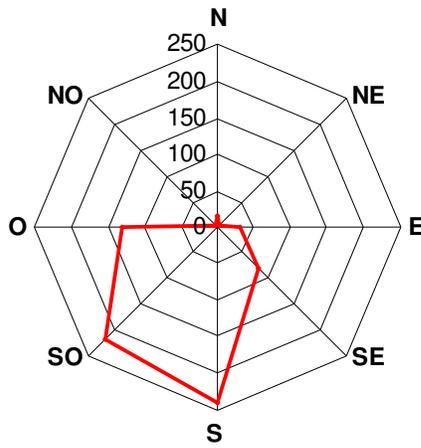


Gráfico 4: Direção predominante dos ventos – Abril de 2009

Direção predominante dos ventos - Maio de 2009

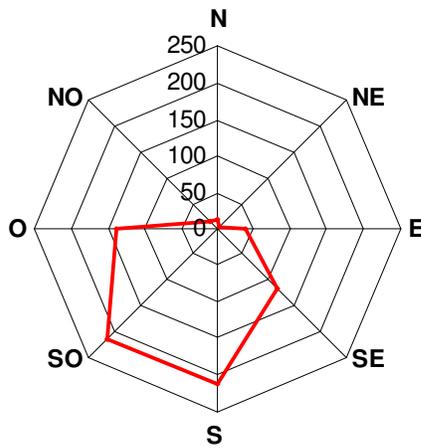


Gráfico 5: Direção Predominante dos ventos – Maio de 2009

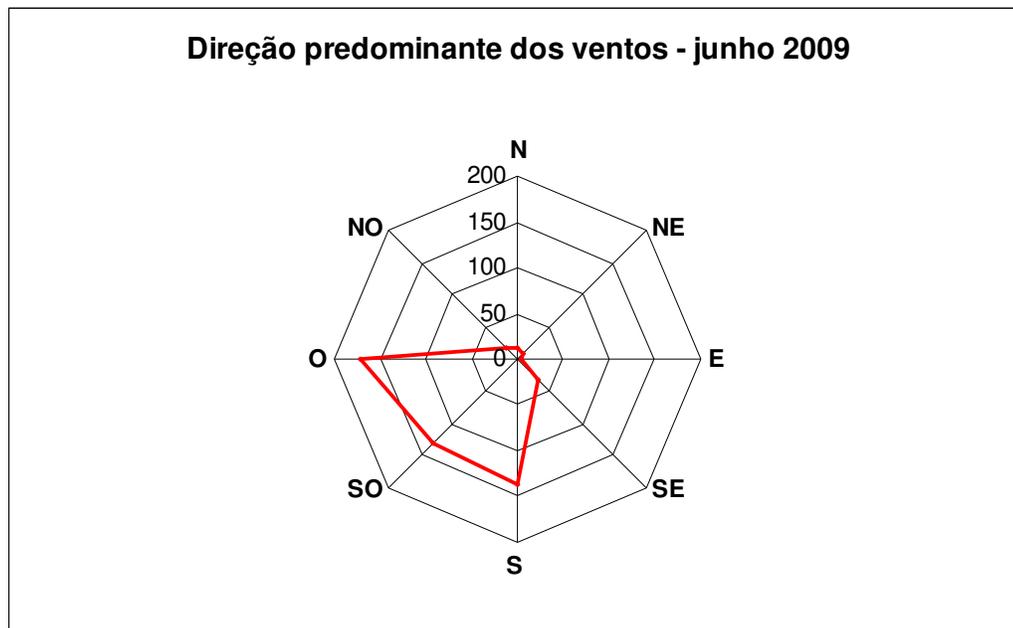


Gráfico 6 : Direção predominante dos ventos - Junho de 2009

Nos gráficos 1 a 6 observa-se que nos meses de janeiro e fevereiro os ventos se apresentaram de nordeste e sudoeste, e posteriormente, de março a junho se mantiveram no terceiro quadrante, entre sul, sudoeste e oeste. Essa predominância de ventos favorece a dispersão dos poluentes trazendo ar limpo do oceano quando vem de nordeste e no caso de sul-sudoeste, trazendo as emissões provenientes dos navios que circulam no canal de São Sebastião.

Os pontos de biomonitoramento em Ilhabela foram colocados ao longo da costa oeste da ilha (Figura 8). Os ventos de sudoeste são responsáveis pela menor concentração de MCN encontrada no ponto Veloso. As principais contribuições na ilha são o tráfego de veículos e de navios no porto de São Sebastião.

As regiões que obtiveram maior índice de micronúcleos, e que foram caracterizadas como de maior poluição foram os bairros do Perequê, Ponta das Canas e Vila. O alto nível de poluição encontrado nesses bairros pode ser causado pela direção dos ventos que influenciam a qualidade do ar.

O ponto do bairro Veloso em Ilhabela fica localizado em uma área mais afastada do centro e é uma área muito arborizada, com mata nativa. O ponto da Balsa, localizado no Bairro da Barra Velha, apesar de se encontrar na estação portuária da Dersa e perto das filas para embarque e desembarque na balsa, se encontra em um local de forte

circulação atmosférica, com fortes ventos. O ponto do bairro Perequê, região com maior concentração de MCN, localizado no Colégio São João, encontra-se em uma avenida muito movimentada, e como há poucas opções de caminho, por haver apenas uma avenida na cidade, torna-se o principal caminho feito pelos moradores. Neste bairro localiza-se a prefeitura da cidade, que influencia o crescimento do comércio local, como bancos e lojas comerciais, aumentando assim o tráfego veicular. O ponto da Vila, localizado no centro da cidade, encontra-se acima do centro, em um morro, onde também há uma intensa circulação atmosférica.

O ponto localizado no bairro Ponta das Canas localiza-se em um antigo engenho de cana, por ser à beira do mar, há uma intensa ventilação oceânica, se tornando um ótimo lugar para os praticantes de esportes náuticos.

O ponto de exposição da planta localizado no INPE de São José dos Campos apresentou uma média de 1,71, na campanha passada esse ponto apresentou uma média de 1,56. O ponto do Jardim Paulista apresentou uma média de 1,39, na campanha passada apresentou uma média de 2,11.

Na campanha atual o ponto do Colégio São João em Ilhabela, foi o único mantido da campanha passada. Na campanha passada foram analisadas 19 inflorescências, enquanto que na atual 9 inflorescências, neste ponto. No ponto do Inpe em São José dos Campos na campanha passada foram analisadas 23 inflorescências, na atual campanha foram analisadas 25 inflorescências. No Jardim Paulista, também em São José dos Campos foram analisadas na campanha passada 17 inflorescências, nessa campanha foram analisadas 7 inflorescências. Somente no INPE o número de inflorescências da campanha de 2008-2009 foi da mesma ordem. Nos outros locais, o número de inflorescências coletadas foi menor, diminuindo a representatividade dos números encontrados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Apesar das ricas características de Ilhabela como cidade campeã de preservação da Mata Atlântica, com 85% de seu território preservado, e com um parque Estadual muito rico, que abriga uma rica e exótica variedade de espécies tanto da Fauna quanto da Flora, não impede que a concentração de poluentes não afetem seu território. A circulação atmosférica abrange todos os locais, levando e trazendo substâncias de uma localidade para outra.

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 (SO₂), material particulado (PM10) e ozônio (O₃). 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⁻³), 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.

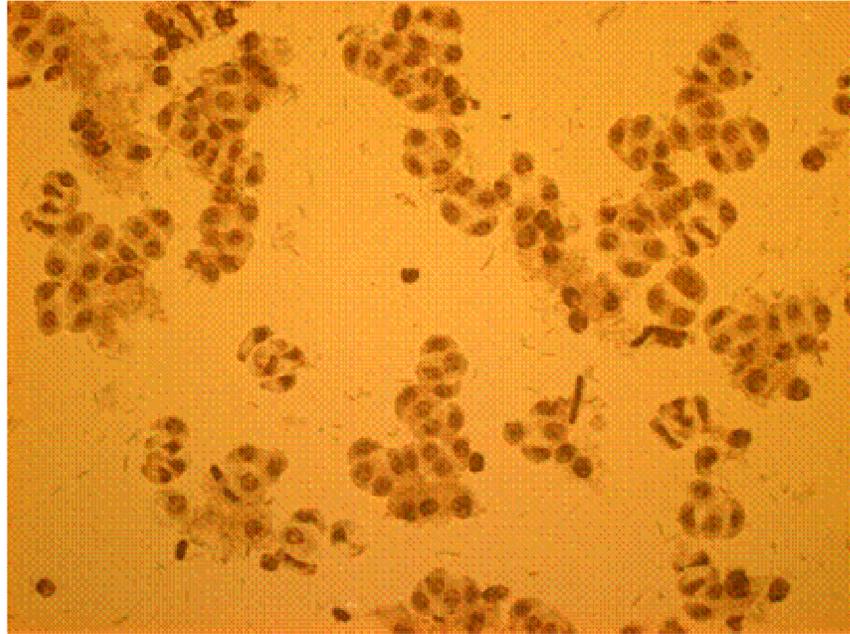
A necessidade de continuidade desta pesquisa nos municípios revela-se extremamente importante tanto para confirmação dos resultados obtidos nas campanhas anteriores em São José dos Campos, quanto para se conhecer um pouco sobre a qualidade do ar no município de Ilhabela.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

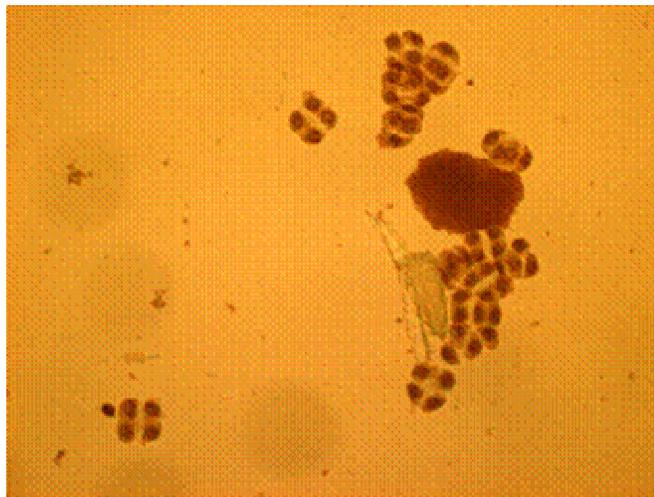
- Carreras H. A., Pignata, M.L. & Saldiva, P.H.N., 2006. In situ monitoring of urban air in Córdoba, Argentina using the Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) bioassay. *Atmospheric Environment* 40, 7824-7830.
- Cetesb 2006. Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo–2005/Cetesb-São Paulo. 140p. 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.
- 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

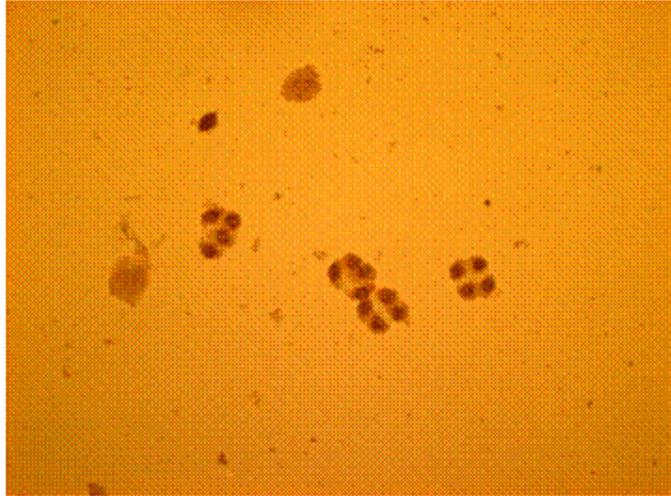
Exemplo de visualização das lâminas através do microscópio



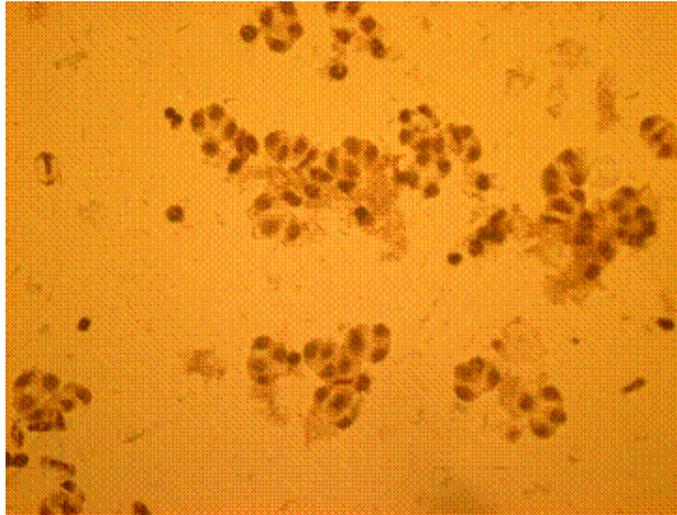
Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida* (aumento de 10x)



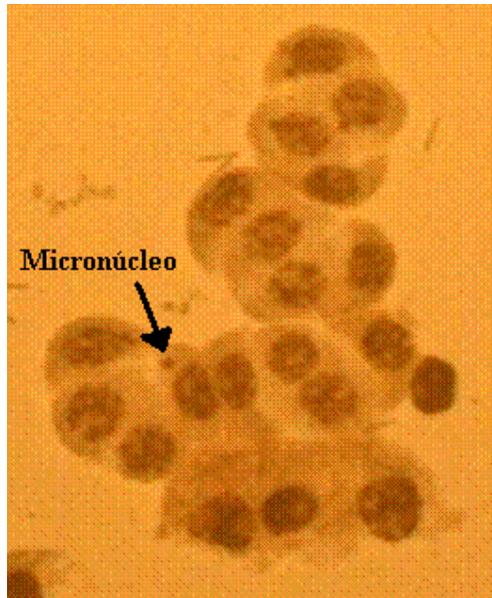
Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida* (aumento de 10x)



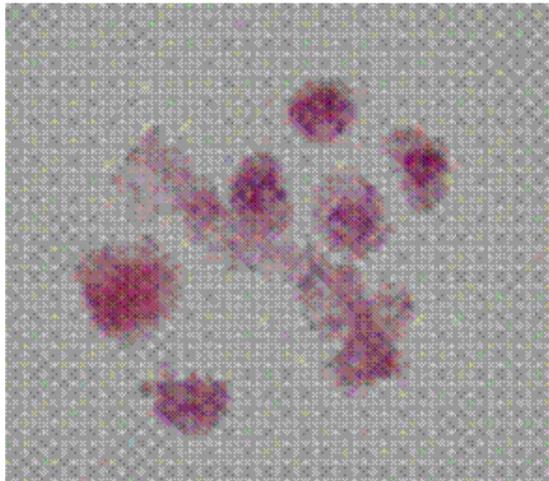
Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida*, (aumento de 10x)



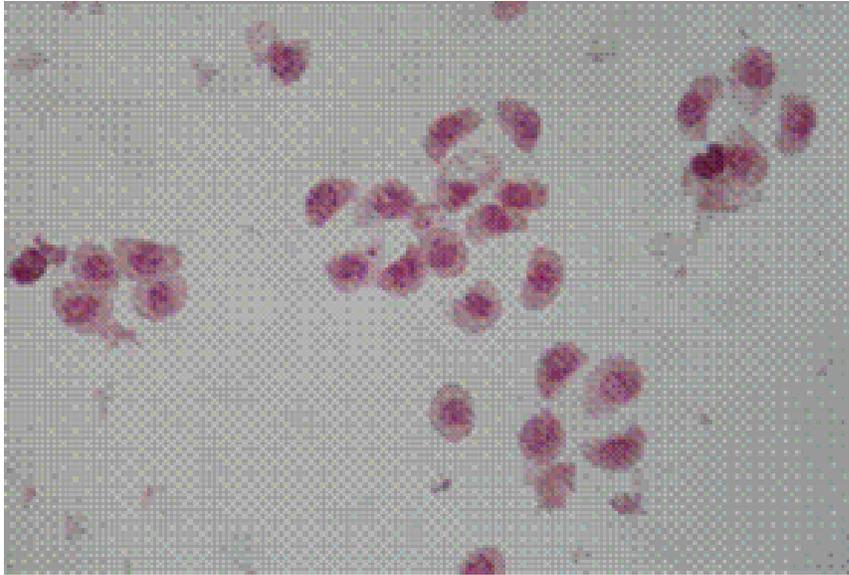
Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida*, (aumento de 10x)



Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida*, com micronúcleo (aumento de 40x)



Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida*, (aumento de 40x)



Fase tétrade das células da planta *Tradescantia pallida*, (aumento de 40x)