



JOSÉ ROCCO JUNIOR

**Efeitos da poluição atmosférica na área do Aeroporto
Internacional de São Paulo - Guarulhos sobre ensaio de
bioindicadores vegetais**

*Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de Mestre em Ciências*

Área de concentração: Fisiopatologia Experimental

*Orientadora: Dra. Eliane Tigre Guimarães
Sant'Anna*

São Paulo
2008

FICHA

CATALOGRAFICA

“Só uma revolução econômica e social permitiria às sociedades paleolíticas sair do impasse em que se encontravam: os homens deveriam associar-se à natureza e não mais ser seus parasitas (...) veio o dia em que os grãos destes cereais foram semeados nos solos que lhes convinham e dos quais se arrancavam as ervas daninhas para proteger a colheita: o passo decisivo tinha sido dado. O crescimento da produção iria permitir enfrentar o desenvolvimento da população. Esta etapa, a primeira da revolução neolítica, permite distinguir os bárbaros dos selvagens”.

(Ge Childe, “De la préhistoire à l’histoire”, 1975)

Dê ao mundo o melhor de você, mas isso pode nunca ser o bastante, mas mesmo assim dê o melhor de você.

Veja você que no final das contas, é entre você e Deus.

Nunca foi entre você e as outras pessoas.

(Madre Tereza de Calcutá)

“Na natureza não existem prêmios, nem sequer punições.

Existem conseqüências”.

(James Whistler)

DEDICATÓRIA

Esta Dissertação é dedicada principalmente aos meus filhos Pietro e Lorenzo, ensinando que todo esforço em prol da Ciência tem por objetivo melhorarmos a humanidade diante de Deus. Com eles tenho a certeza que viver é uma dádiva.

À minha querida esposa e companheira Gláucia, que me incentivou e me apoiou. Pessoa que admiro. Garantiu em todos os aspectos que eu pudesse realizar este trabalho. Feliz por estar ao seu lado.

À estimada Angélica Therezinha, pessoa dedicada e presente, não mede esforços. Sempre acreditou em mim. Orgulho de ter você como mãe.

Eu Amo Vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por conseguir este mérito de tão poucos e, sempre me guiando para caminhos tão abençoados.

Ao Prof. Dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva, por me dar a oportunidade e confiança na realização deste trabalho, pela sua dedicação e profissionalismo. Pelos momentos que ficamos juntos, quero deixar registrada minha admiração e carinho pela pessoa humana que é. Obrigado Grande Professor.

À Dra. Eliane Tigre, pelo apoio, pelo auxílio irrestrito e pelo estímulo, na execução e condução desta dissertação. Esta pessoa não mediu esforços, me ajudando tanto no trabalho acadêmico, quanto no emocional e financeiro. Encontrei neste trabalho uma excelente amiga. Aproveitando, ao Ari, seu esposo, pela compreensão e carinho que tem pela profissão de sua esposa.

À Dra. Regiane Maria Tironi de Menezes, sou muito grato pela parte analítica desta dissertação. As observações e sugestões apontadas, de maneira clara e objetiva enriqueceram sobremaneira o conteúdo desta dissertação. Além de amiga uma pessoa maravilhosa.

À Profa. Dra. Maria de Fátima Andrade do Instituto de Astronomia e Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG, pessoa graciosa e humilde. Em suas aulas, preocupada com meu projeto, ofereceu seus amostradores para a realização desta dissertação e, indicou a Dra. Luciana Vanni Gatti.

À Profa. Dra. Luciana Vanni Gatti do Instituto de Pesquisa em Energia Nuclear - IPEN, com sua alegria e otimismo gentilmente cedeu os Canisters para as coletas. Mostrou que diferentes instituições e departamentos podem e devem trabalhar juntos.

À Dra. Taís Mauad pela contribuição de forma atenciosa, nos dando valiosas recomendações ao trabalho.

À Dra. Lúcia, Dr. Alfésio e Dra. Edenise pelas sugestões e orientações durante o Exame de Qualificação, que enriqueceram significativamente, os meus conhecimentos metodológicos científicos.

Ao Mestre Fernando Annes, que durante a execução desta pesquisa tivemos uma empatia excelente que muitas vezes parecíamos irmãos. As trocas de conselhos, os momentos de descontração, o apoio na minha pesquisa. Obrigado maninho.

Ao superintendente da Infraero GRU que na época, Miguel Nelson Choueri concedeu autorização e acreditou que este trabalho pudesse contribuir para melhores condições dos funcionários e passageiros.

Ao atual superintendente da Infraero GRU, João Márcio Jordão, por possibilitar a continuidade e o encerramento desta pesquisa.

À Aparecida Maria Mathias, assessora da superintendência, que fez com que todos os departamentos do aeroporto GRU, estivessem cientes, para que a pesquisa pudesse ser realizada.

As pessoas fantásticas que encontrei na Gerência de Navegação do Aeroporto Internacional de São Paulo – Torre GRU. Além de serem extremamente profissionais, foram extremamente humanas. Vejo que ainda existem pessoas boas neste mundo. É o caso do Coronel José Antonio Loureiro Velardi, Capitão Pelatti, Miron, Ana, Clariovaldo e em especial Silene de Oliveira Veloso.

A Eliane Lameirinhas, que sem ela não conseguiria entrar nas dependências do aeroporto. Pessoa de grande profissionalismo que por muitas vezes que necessitava de adentrar ao aeroporto, com sua simpatia me concedia autorização. Meu muito obrigado.

Aos colegas da fiscalização e operações do pátio que me transportava para as cabeceiras. Minha admiração às pessoas de duro trabalho que leva a segurança a sério para que o trabalho de outros seja realizado.

Ao Sr. Fernando Descio diretor do Parque Estadual da Cantareira que contribuiu para que em todos os detalhes o ponto referência fosse implantado.

Ao Sr. Pedro e Sandra administradores do Parque Estadual da Cantareira, Núcleo Engordador, pessoas que tenho grande consideração e carinho. Fizeram com que o ponto de referência fosse minha segunda casa com um belo jardim.

Aos Colegas Fabiano e Rosana do IAG. Pessoas que contribuíram muito para que os resultados das análises com EDX, filtros, utilização do mini-vol, pudessem ser realizadas. Pessoas muito agradáveis e estimadas.

Aos Colegas Débora e Amélia do IPEN. Paciência, dedicação, amizade. Qualidades de maior destaque. Agradeço, sobretudo pela ética, carinho, envolvimento, preocupação com este trabalho.

Aos amigos Edileuza e José Antonio, que cederam sua residência para que o ponto bairro existisse. Além dos cafezinhos e coletas, o prazer da convivência.

A todos os funcionários do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental – LIM05, pela amizade, apoio, pelos momentos alegres, e pelo estímulo em continuar seguindo.

Ao meu pai pela formação de meu caráter e por ter me dado dois grandes irmãos Marcelo e Maurício.

À Maria Clara Faccini Mendes Macca e Tânia Maria da Silva Vidal Lima, por garantir a continuidade de uma educação de qualidade para meus filhos. Vocês contribuíram muito para que este trabalho se realizasse.

A Nilce Ferretti de Souza e Jamil de Souza pela grande ajuda nos recursos audiovisuais, sem a qual não teria como dissertar este trabalho. A vocês meu muito obrigado.

Aos Srs. Manuel da Silva Ferreira e Antonio da Silva Ferreira pela compreensão e inestimável colaboração.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente auxiliaram na minha formação, registro aqui a minha eterna gratidão.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Histórico	1
1.2	O início da aviação	2
1.2.1	Aviação Comercial	2
1.3	Panorama da aviação	4
1.4	Principais poluentes do estudo	7
1.4.1	Dióxido de nitrogênio	7
1.4.2	Ozônio	7
1.4.3	Material Particulado	8
1.4.4	Elemento traço (metais pesados)	9
1.5	Estudo dos compostos orgânicos voláteis	10
1.5.1	Liberação de COVs no ambiente	11
1.5.2	Principais COVs em uma atmosfera poluída	12
1.5.3	Alcanos	13
1.5.4	Alcenos	13
1.5.5	Aldeídos	14
1.5.6	Hidrocarbonetos aromáticos	14
1.6	Avaliação dos poluentes	15
1.6.1	Bioindicadores	17
1.7	Justificativa	17
2	OBJETIVOS	18

3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Locais de estudo	19
3.1.1	Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos	19
3.1.2	Jardim Santa Cecília	27
3.1.3	Parque Estadual da Cantareira – Núcleo Engordador	28
3.2	Caracterização dos locais de estudo	30
3.2.1.	Bioindicador vegetal e exposição	30
3.2.1.1	Teste de quantificação em micronúcleos (Trad-MCN)	31
3.2.1.2	Espectrometria de fluorescência de raios-X (EDXRF)	34
3.2.1.2.1	Confecção das pastilhas de folhas de <i>Tradescantia pallida</i>	34
3.2.1.3	Análise instrumental por fluorescência de raios X	36
3.2.1.4	Determinação da composição elementar em bioacumuladores vegetais	37
3.2.2	Métodos químicos	39
3.2.2.1	Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	39
3.2.2.1.1	Metodologia da amostragem e análise dos COVs	39
3.2.2.1.2	Amostragens	40
3.2.2.1.3	Procedimentos para as coletas	41
3.2.2.2	Ozônio e Dióxido de Nitrogênio	43
3.2.2.3	Material particulado	45
3.2.2.3.1	Análise gravimétrica dos dados	46
3.2.2.3.2	Análises de reflectância	48
3.3	Análises estatísticas	51

4	RESULTADOS	52
5	DISCUSSÃO	72
5.1	Pátio	73
5.2	Pistas L e R	75
5.3	Torre	76
5.4	Bairro	77
5.5	Cantareira	78
6	CONCLUSÕES	80
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

RESUMO

O presente estudo justifica-se pelo crescente aumento da economia e conseqüentemente dos diferentes tipos de transportes para viabilizar esta economia, a exemplo do transporte aéreo que vem crescendo significativamente. Este estudo objetivou verificar um possível efeito mutagênico causado pelo combustível de aeronaves em bioindicadores vegetais. As áreas selecionadas para esta pesquisa foram o Aeroporto Internacional de São Paulo (pontos: torre, pátio, pista L e pista R), um bairro adjacente que é rota de aeronaves e o Parque Estadual da Cantareira que dista 16km do aeroporto. O aeroporto situa-se a 749m de altitude com ventos médios de 129 graus e velocidade média de cinco nós, temperatura média de 19 graus centígrados e umidade relativa do ar média de 80 por cento. Um bioindicador vegetal proposto foi a *Tradescantia pallida*, com 15 floreiras em cada ponto mencionado, analisando o potencial mutagênico através dos números de micronúcleos (Trad-MCN) e metais pesados impregnados nas folhas da planta, sendo coletadas as inflorescências e folhas mensalmente durante um ano e meio. Para caracterizar a área de estudo foi analisado o material particulado presente nos diversos pontos, utilizou-se amostradores mini-vol, com exposição por 24 horas em sete coletas durante um ano. Para verificar os compostos orgânicos voláteis (COVs), foram feitas três coletas através de canisters.

As maiores concentrações de gases provenientes da queima do querosene foram encontradas nos pontos: pátio, pista L e bairro. Os resultados indicaram uma correlação positiva ($p=0,034$) entre COVs e MCN, no local de maior concentração (pátio, indicando que os compostos orgânicos voláteis

provenientes de combustível de aeronaves (QAV) apresentaram componentes capazes de causar mutagenicidade em nosso estudo.

ABSTRACT

The worthiness of this study lies on the fact that, within the scenario of the multiplication of various kinds of transportation means resulting from the economical development, the growing use of air transportation means has been quite significant. The aim of this study was to verify a mutagenic potential effects caused by aircraft fuel on a vegetable indicator. The locations selected to carry out this research are the São Paulo International Airport – Guarulhos (points: tower, apron, runway L and runway R), an adjoining district which lies within the route of the aircrafts, and Parque Estadual da Cantareira (a public park), 16 km away from the airport and apparently not impacted by the aircraft traffic (reference point). The airport lies at an altitude of 749 meters, with average winds of 129 degrees and average speed of five knots, average temperature of 19 degrees centigrade and air relative humidity of 80 per cent. The vegetal bioindicator propos, the *Tradescantia pallida*, with 15 flowerbeds placed in each of the locations mentioned above, which were used for the observation of the mutagenic potential through the analysis of the amounts of micronuclei (Trad-MCN) and heavy metals accumulated on the leaves. The inflorescences and leaves were collected on monthly basis within a period of eighteen months. For to characterize the study area was analyzed the particulate material in the various locations, using mini-vol sample collectors, with 24 hour exposure through a one year period. For the analysis of the volatile organic compounds (VOCs), three collections were made with the use of canisters. The greatest concentrations of gases resulting from the burning of kerosene were found on the locations: apron, runway L and district. The result

showed a positive correlation ($p=0,034$) between the VOCs and micronuclei in the location with greatest concentration (apron) indicating that the organic compounds from aircraft fuel (AVK) have mutagenic able components.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico.

A Revolução Industrial que se iniciou em 1870, determinou por questões econômicas uma importante modificação na estrutura da sociedade. A qual impôs um impacto ao meio ambiente, especialmente em áreas urbano-industriais.

A principal fonte de poluição do ar é a combustão, que é proveniente de veículos automotores, indústria e do aquecimento doméstico e segundo Derisio (2000), as fontes poluidoras se dividem em fixas ou estacionárias (processo industrial e queima de resíduos), móveis (veículos automotores, aviões e embarcações, independente do tipo de combustível), naturais e as descendentes de reações químicas na atmosfera.

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos sobre poluentes emitidos por diversos tipos de indústrias queima de resíduos e fonte automotiva (veículos leves e pesados). No entanto estudo que envolvam poluentes provenientes do transporte aéreo são escassos, determinando uma necessidade de que se aborde esta questão.

1.2 O início da aviação.

Os primórdios da aviação ocorreram no início do século passado, com a criação de uma máquina capaz de voar. O grande pioneiro foi o brasileiro Alberto Santos Dumont, que após várias experiências com dirigíveis, realizou no dia 13 de outubro de 1906 o primeiro voo oficialmente reconhecido pela Federação Aeronáutica Internacional, cumprindo a distância de 220 metros em 12 segundos, seis metros acima do solo (Godefroid, 1993).

1.2.1 Aviação comercial

As pesquisas referentes ao início da aviação relacionam seu desenvolvimento comercial e das empresas aéreas com o surgimento das linhas regulares e com o desenvolvimento da indústria aeronáutica. As primeiras rotas regulares foram criadas durante a Primeira Guerra Mundial, entre 1914 e 1917, quando os serviços postais na Alemanha foram interrompidos e o exército alemão passou a realizar o transporte de malas postais através de aviões militares. Assim, como o segmento bélico ou de comunicações, o transporte aéreo foi alavancado pelo primeiro grande evento militar de caráter mundial. Curiosamente, a Segunda Guerra Mundial, de 1939 a 1945, gerou as condições necessárias para a ampla difusão da aviação. Pode-se relacionar o estabelecimento e o fortalecimento da indústria aeronáutica com as duas grandes guerras do século XX. Em termos comerciais, a primeira empresa aérea foi organizada em dezembro

de 1917 na Alemanha e chamava-se Deutsche Luft-Reederei GmbH (DLR). A Companhia foi responsável pela inauguração, em fevereiro de 1919, da primeira rota comercial do mundo, que ligava Berlim a Weimar, na Alemanha. Conforme comentado, o desenvolvimento inicial da aviação comercial relacionava linhas regulares, empresas aéreas e indústria aeronáutica. A DLR não fugia a esta regra, pois contava com o apoio de uma empresa fabricante de aviões, a Junkers. Em 1919, as fabricantes de aeronaves alemãs Junkers e Sablatnig organizaram empresas e criaram novas linhas aéreas no interior da Alemanha. No mesmo período, outras companhias também foram sendo criadas na Europa, como a Latécoère, na França; a KLM, na Holanda; e a DDL, na Dinamarca (Airways, 2001). Estas companhias pioneiras operavam transportando basicamente malas postais, malas diplomáticas e “corajosas” autoridades. Nesta época, as linhas aéreas não tinham ainda o caráter de transnacionalidade mesmo entre países com boas relações diplomáticas e comerciais. As empresas operadoras eram, em sua maioria, subsidiadas pelos governos que tinham interesses políticos na manutenção das linhas regulares e interesses militares no desenvolvimento da indústria aeronáutica.

Por volta de 1924, já havia transporte aéreo regular de passageiros em 17 países europeus, bem como na África, na Austrália e na América do Sul. Nos EUA, havia o serviço regular de correio desde 1918. Por vezes transportavam-se passageiros, que viajavam sentados em pilhas de malas postais. Muitas companhias de aviação fundadas nessa época ainda estão ativas, entre elas a holandesa KLM (Companhia Real Holandesa de

Aviação) e a alemã, Lufthansa. A primeira companhia de aviação das Américas foi fundada em 1919 na Colômbia. Era a Sociedade Colombiano-Alemã de Transportes Aéreos (SCADTA), que em 1939 passou a chamar-se AVIANCA (Aerovias Nacionales de Colômbia, S.A.).

A partir do final da Segunda Grande Guerra, em 1945, uma vasta quantidade de novas empresas aéreas foi organizada em vários países do mundo. Tal expansão relaciona-se à grande quantidade de pilotos militares desmobilizados, e pelo baixo custo para aquisição dos aviões de guerra que, mediante algumas modificações não-estruturais, podiam ser empregados na aviação comercial (CHANT, 1975).

1.3 Panorama da aviação

O rápido e crescente aumento do número de empresas criadas gerou o estabelecimento de novas rotas aéreas e o aumento das frequências das linhas já estabelecidas. O contexto então estabelecido propiciou um cenário de forte competitividade, causando a falência de várias companhias aéreas e, conseqüentemente, em curto prazo, desaquecimento do incipiente mercado (Chant, 1975). Nessa ocasião, a partir da fusão entre várias companhias privadas que enfrentavam dificuldades financeiras as quais foram organizadas (Davies, 1984) e em conseqüência, provocaram uma expansão do transporte aéreo implicando em um aumento da poluição atmosférica.

O transporte aéreo, no contexto do aquecimento global, é evidenciado por exigir uma estrutura que demanda maior intensidade energética (ton/Km transportado) que outros transportes (Vedanthan & Oppenheimer, 1998).

A previsão do aumento de tráfego aéreo para 2050 é de 8% (IPCC, 2005).

O IPCC, em seu relatório especial sobre aviação (IPCC, 1999), estima que a taxa de crescimento ao ano do setor aéreo para o período de 2002 a 2010 seja de 5% em países industrializados, e de 7 a 8% em países em desenvolvimento. Segundo o citado relatório, existe uma clara tendência de aumento de consumo energético associado à expansão do transporte aéreo mundial.

Segundo dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a queima do querosene (QAV) que possui faixa de destilação entre 150 e 300°C, e consiste principalmente nos seguintes hidrocarbonetos: parafinas (33-61%), olefinas (0,5-5%), naftênicos (10-45%) e aromáticos (12-25%) e ainda concentrações muito baixas de compostos de enxofre, nitrogênio, oxigênio e água, além de contaminantes particulados (Petrobrás, 2005), contribui com cerca de 3% das emissões de gases que provocam o aquecimento global.

Considerando-se o nível de poluentes liberados na atmosfera e o dano causado ao meio ambiente, o uso de aeronaves para transporte em média e longa distância, deve brevemente ultrapassar o automóvel (Tesseraux, 2004).

Outro problema ambiental gerado pela aviação e que tem sido alvo de diversas pesquisas é a questão dos “rastros de condensação” (Brockhagen, 1996; Klug, Bakan et al., 1996). Tais rastros surgem quando o avião atravessa regiões do espaço aéreo onde há grande umidade. Eles são bastante visíveis, especialmente em dias claros, quando o avião está em altitude de cruzeiro, ou seja, voando entre 11.550 e 13.860 metros. Nessa altitude, a temperatura do ar é muito baixa, cerca de 40 a 50°C negativos. Com a queima do querosene (combustível de aviação), gases são gerados em forma de vapor, que entram em contato com o ar gelado e se condensam, deixando longos rastros brancos (rastros de condensação) atrás das aeronaves. No Canadá, em especial, a questão dos rastros têm sido alvo de grande interesse científico em diversas regiões, uma vez que, nestas regiões, há carência de luz solar em várias épocas do ano. Já na Europa os rastros de condensação têm sido percebidos não só no meio científico, mas também pela população devido ao fato de serem muito visíveis e de grandes proporções, reduzindo a luminosidade dos, já raros, dias de sol naquele continente. Os rastros de condensação juntam-se para formar grandes nuvens tipo *cirrus*. As prioridades estabelecidas por países em desenvolvimento com relação ao meio ambiente e aos transportes de uma forma geral tendem a ser diferentes daquelas que os países industrializados irão adotar.

Com essa problemática, as alterações da composição química do ar causam efeitos negativos não somente sobre a saúde humana, mas também sobre plantas e animais.

1.4 Principais poluentes do estudo

1.4.1 Dióxido de nitrogênio (NO₂)

Devemos considerar dois óxidos de nitrogênio, o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). Estes são formados principalmente por combustão de motores onde há grande quantidade de nitrogênio e oxigênio, que sendo misturados ao combustível em alta temperatura, favorecem a formação de óxidos de nitrogênio.

O NO₂ é solúvel em tecidos biológicos e é um oxidante; sendo assim, seus efeitos sobre a saúde, possivelmente, serão sobre o sistema respiratório. Um estudo feito pela Universidade de Harvard revelou que um aumento de 15 ppb na concentração média de NO₂ em residências, leva a um aumento médio de 40% no aparecimento de sintomas respiratórios em crianças de 7 a 11 anos (Baird, 1999).

1.4.2 Ozônio (O₃)

O O₃ localizado na estratosfera exerce um efeito protetor à saúde, já que, a 30 km de altitude, protege os seres vivos dos raios ultravioletas nocivos à saúde. No entanto, o O₃ localizado na troposfera, resultado das reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis provenientes de fontes estacionárias e móveis, intermediadas pela radiação solar, é danoso à saúde, agindo principalmente no sistema respiratório (Pereira, 1999).

O ozônio (O_3) é um poluente atmosférico secundário formado na troposfera vindo de poluentes primários (queima de combustíveis fósseis) como o NO_x e hidrocarbonetos. Na presença de luz, o NO_2 é clivado para $NO + O$ e permite a formação de O_3 ($O_2 + O$). O ozônio acumulado pode alcançar altos níveis nas áreas urbanas onde o tráfego pesado de veículos e a quantidade ideal de luz favorece a sua formação. A exposição aguda a O_3 causa diminuição na função pulmonar alterando a ventilação, induz agentes inflamatórios e pode alterar as defesas imunológicas do organismo. O_3 por ser genotóxico, apresenta um potencial carcinogênico através de estresse oxidativo, podendo causar dano ao DNA (Restivo et al., 2002).

1.4.3 Material Particulado (PM_{10} e $PM_{2,5}$)

A fumaça negra lançada no ar por veículos movidos a diesel é com frequência a forma mais evidente de poluição do ar que encontramos rotineiramente. Esta fumaça é composta de matéria particulada, que são partículas finas de sólidos ou líquidos que se encontram suspensas no ar. Existem muitos nomes comuns para as partículas atmosféricas, “poeira” e “fuligem” referem-se a sólidos, enquanto “névoa” e “neblina” referem-se a líquidos (Baird, 1999).

Estas partículas são provenientes da exaustão dos escapamentos dos veículos automotores, apresentam o diâmetro igual ou menor que $10\mu m$, e ficam em suspensão na atmosfera. A maioria é composta de um complexo de elementos que se agregam formando estas partículas. O mecanismo de

absorção destas partículas no organismo segue o curso das vias respiratórias, sendo uma parte retida no sistema mucociliar e outra parte atingindo os alvéolos. Estas partículas carregam consigo moléculas que podem apresentar um potencial carcinogênico e mutagênico. (Batalha et al., 1999), utilizando bioindicador vegetal (*Tradescantia pallida*), demonstraram o potencial de mutagenicidade causada por PM₁₀.

1.4.4 Elementos Traço (Metais pesados)

Os metais pesados como poluentes da água e como contaminantes de nossos alimentos, são na maioria transportados de um lugar para outro por via aérea, como gases ou espécies adsorvidas ou absorvidas em material particulado suspenso.

Os metais com densidade superior a 4,5 g/cm⁻³ são considerados, por definição, como sendo metais pesados. Sessenta e um elementos estão inclusos nessa categoria. A caracterização do limiar de toxicidade, independente da sua função como elemento essencial, é sempre dependente da sua concentração no organismo estudado (Baird, 1999).

O vapor de mercúrio é altamente tóxico, e os quatro metais pesados (Hg, Pb, Cd e As), nas suas formas de elementos livres condensados, não são particularmente tóxicos. Porém, os quatro são perigosos nas suas formas catiônicas e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono. Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de uma ação tóxica deriva da forte afinidade dos cátions pelo enxofre. Assim, os grupos

sulfidril, -SH, que ocorrem comumente em enzimas que controlam a velocidade de reações metabólicas, com esta ligação metal enxofre, pode afetá-la como um todo, fazendo com que não atue com normalidade e, em consequência, a saúde humana vê-se afetada de maneira desfavorável (Baird, 1999).

1.5 Estudos dos compostos orgânicos voláteis (COVs)

Compostos orgânicos voláteis – COVs são uns subgrupos dos compostos orgânicos caracterizados pela sua tendência a evaporar (volatilizar) à temperatura ambiente. Outra classificação refere-se a compostos de carbono gasosos alifáticos e aromáticos, com pressão de vapor maior que 0,14 mm Hg a 25°C e com carbonos na faixa de C₂ a C₁₂. Em geral são alcanos, alcenos, aromáticos, álcoois, cetonas, aldeídos e ácidos (CETESB, 2005).

A maior fonte destes compostos na atmosfera urbana é a queima de gasolina e seus aditivos e de óleo diesel, ou mesmo a evaporação destes. As outras fontes são o refino do petróleo que, em geral produz cerca de 50 derivados para os mais diversos fins, a produção de gás e o transporte destes produtos de refino entre outras fontes menores, tais como os COVs liberados pelas plantas naturalmente.

1.5.1 Liberação de COVs no ambiente

A liberação de muitos COVs no ambiente é resultado de emissões inerentes ao seu uso. COVs são usados amplamente em ambientes industriais (como agente de limpeza em indústrias de maquinário metálico e circuitos integrados) e domésticos (principalmente como solvente para limpeza a seco) (Wolf et al., 1991).

Estudos demonstraram que as emissões automotivas são a principal fonte de COVs na atmosfera (Chan et al., 1991). No Brasil, enquanto o uso em grande escala de automóveis movidos a álcool ou mistura de álcool-gasolina reduz a emissão direta de CO, aumenta a emissão de aldeídos para atmosfera (Tanner et al., 1988; Miguel, 1991). Estudos feitos em algumas cidades do Brasil demonstraram que acetaldeído, formaldeído e acetona são os compostos em maior abundância na atmosfera (Grojean et al., 1990).

Entretanto, estudos têm demonstrado que a exposição a muitos COVs é maior em ambientes fechados que abertos. Por exemplo, níveis de certos COVs presentes em interiores chegam ser cerca de 10 vezes maiores que os encontrados em ambientes abertos. Considerando-se que as pessoas gastam de 80% a 90% do seu tempo em ambientes fechados, os riscos à saúde são grandes. No Brasil, poucos estudos têm sido feitos com o objetivo de caracterizar a qualidade do ar em ambientes fechados (Vasconcelos & Miguel, 1993). Um estudo realizado por Miguel et al.(1995) teve como objetivo a caracterização da qualidade do ar ambiente em escritórios não-industriais e 6 restaurantes nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Entre os poluentes mais comuns encontrados em ambientes fechados está a fumaça de cigarros, que contém aldeídos e benzeno, vapores químicos emitidos por mobiliário, carpetes, produtos de construção e de limpeza (Hodgson et al., 1991). Vários tipos de compostos foram identificados em escritórios, restaurantes, hotéis, cozinhas e prédios pelo Brasil (Alquino Neto, 2003).

1.5.2 Principais COVs em uma atmosfera poluída

As reações químicas que acontecem na atmosfera natural são as mesmas que acontecem na atmosfera poluída. As principais diferenças são as concentrações de NO_x e COVs, que são muito menores, e os tipos de compostos orgânicos voláteis que são encontrados em cada região. Isto faz com que as importâncias relativas das reações sejam diferentes.

Observamos que a química da troposfera em áreas urbanas é significativamente mais complexa devido à presença de vários tipos de COVs, tais como alcanos alcenos e hidrocarbonetos aromáticos e da complexidade dos diferentes compostos formados (Finlayson-Pitts e Pitts, 1986).

1.5.3 Alcanos

Nas condições troposféricas, os alcanos reagem com os radicais OH e NO_3 , sendo que o último com menos importância, em torno de 10% de rendimento.

1.5.4. Alcenos

Os alcenos (ou olefinas) são constituintes presentes, principalmente, nos combustíveis e nas emissões provocadas pelos automóveis. Esta classe de compostos orgânicos foi encontrada numa proporção de aproximadamente 10% entre todos os compostos orgânicos voláteis medidos na cidade de Los Angeles (Lurmann & Main *apud* Seinfeld & Pandis, 1988) e em outras cidades dos Estados Unidos. Devido sua alta reatividade para formação de ozônio, os alcenos são importantes contribuintes, especialmente, para a formação de ozônio em áreas urbanas (Chameides et al., 1992).

Os alcenos reagem com o radical hidroxil, com ozônio, com o radical NO_3 e com o oxigênio atômico.

Considerando a molécula mais simples do alceno, que é o eteno (C_2H_4) segundo Seinfeld & Pandis, 1988, podemos ter os seguintes tipos de reações: reações com ozônio, as quais competem com as reações do radical OH durante o dia e com as reações dos radicais NO_3 à noite e a

reação ozônio-alceno que procede via adição inicial do O_3 na dupla ligação, seguida de uma rápida decomposição (Atkinson & Carter, 1984).

1.5.5 Aldeídos

Os aldeídos são importantes constituintes da atmosfera, sendo formados a partir da degradação fotoquímica de outros compostos orgânicos e emitidos diretamente na atmosfera pela combustão incompleta do etanol pelos automóveis movidos a álcool. São também, os principais produtos secundários provenientes da oxidação atmosférica dos compostos orgânicos voláteis (Grosjean et al., 1990).

1.5.6 Hidrocarbonetos aromáticos

Os hidrocarbonetos aromáticos voláteis são uma classe de compostos que incluem monoaromáticos de benzeno a alquilbenzenos com até quatro grupos alquila ligados ao anel, aos naftaleno, ao indano e seus respectivos derivados metilados. Esses compostos constituintes de solventes, de revestimentos, da gasolina e emissões veiculares.

As investigações sobre a poluição de aromáticos no ar destacam que os hidrocarbonetos aromáticos voláteis provocam danos à saúde, principalmente devido à toxicidade e/ou mutagenicidade ou carcinogenicidade (Bono et al., 2001).

Em cidades urbanas como as dos Estados Unidos da América os hidrocarbonetos aromáticos chegam a constituir cerca de 30% dos

hidrocarbonetos emitidos na atmosfera (Jeffries, 1995). Além disso, xilenos e trimetilbenzenos estão entre os compostos orgânicos voláteis (COVs) mais reativos com relação a formação de O_3 (Carter, 1994; Kwok et al., 1997).

Dentre os hidrocarbonetos aromáticos os mais conhecidos são benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). Na atmosfera, os BTEX são emitidos por perdas evaporativas em diversos processos ligados aos combustíveis, combustão incompleta e emissão por fontes móveis e estacionárias. Do ponto de vista ambiental, os BTEX possuem um papel destacado como poluentes primários, onde são considerados entre os principais precursores de ozônio.

1.6 Conseqüência dos poluentes

Os poluentes atmosféricos têm causado danos significativos à saúde humana, tais como: decréscimo da função pulmonar, alterações no sistema imunológico de pessoas saudáveis, danos ao trato respiratório, entre outros. Os grupos mais afetados são: crianças, idosos (Saldiva et al., 1994) e pessoas com problemas respiratórios prévios, como asma e bronquite (Martins et al., 2002). Embora os poluentes atmosféricos afetem vários órgãos, o pulmão é o primeiro a ser afetado, podendo observar-se alterações, que variam desde uma pequena irritação até a indução de câncer (Robbins et al., 1992).

1.6.1. Bioindicadores vegetais

Uma excelente metodologia para avaliar os poluentes ambientais, é apresentada pelos bioindicadores vegetais, que, atualmente vêm sendo utilizados em muitos estudos, como, por exemplo: monitoramento de fontes de emissões singulares, controle da eficiência de medidas técnicas tomadas para reduzir as emissões, redes de monitoramento, estudos de impacto ambiental (EIA), controle da qualidade do ar no interior de residências e instalações industriais, entre outras (Klumpp, 2001). Estudos de avaliação da qualidade do ar utilizando-se bioindicadores vegetais têm se mostrado bastante adequados, considerando-se que são de fácil manuseio e cultivo e, a manutenção é feita a custo relativamente baixo, apresentam respostas indicadoras conservativas e de fácil avaliação. Elas podem ser indicadoras sensíveis e acumuladoras de poluentes atmosféricos e suas reações podem servir como alarmes para a possível ocorrência de efeitos danosos da poluição em outros seres, objetos e materiais (Rodrigues et al., 1997).

Além disso, devido ao seu baixo custo e à elevada eficiência, podem ser usados para avaliar várias situações que envolvem contaminação ambiental, tais como vizinhança de fontes estacionárias de poluição do ar (Ma, 1981; Ichikawa, 1981; Watts et al., 1989; Ferreira et al., 2000), emissões do tráfego (Batalha et al., 1999; Ferreira et al., 2000; Guimarães et al., 2000), assim como determinadas substâncias, exigindo procedimentos mínimos de extração química e manipulação de amostra (Watts et al., 1989; Rodrigues et al., 1997; Batalha et al., 1999).

Tais características concedem ao bioensaio de mutagênese utilizando plantas, um papel especial na investigação das conseqüências prejudiciais da poluição à saúde humana, principalmente em países e em regiões que experimentaram um rápido aumento na contaminação ambiental em conseqüência da urbanização e da industrialização. Essas regiões necessitam de metodologia efetiva e rápida para estimativa do impacto dos resíduos derivados de processos industriais e de transporte, como uma medida preventiva para o controle de qualidade ambiental e para monitoramento eficaz de riscos.

1.7 Justificativa

Considerando-se à crescente demanda no uso de aeronaves, provocado pela evolução da economia e globalização e que as aeronaves utilizam como combustível em específico o querosene de aviação (QAV), assunto escassa literatura científica, faz-se necessário estudo que avalie os riscos inerentes à emissão proveniente da queima do querosene (QAV). Para abordar esta problemática, elegeu-se o Aeroporto de Cumbica em Guarulhos, São Paulo como local a ser estudado e a metodologia de avaliação, bioindicadores vegetais a fim de se detectar o potencial mutagênico da poluição focado no estudo.

2. OBJETIVO

Verificar um possível efeito mutagênico causado pelo combustível de aeronaves (QAV), na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos sobre bioindicadores vegetais utilizando-se o teste Trad-MCN em *Tradescantia pallida* e acúmulo foliar de elementos traço e ainda uma caracterização parcial da poluição atmosférica da área de estudo por métodos químicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Locais de Estudo

3.1.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos

O local escolhido para a realização do presente estudo foi o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro, conhecido também por Aeroporto Internacional de Cumbica (IATA-International Airline Transport Association: GRU, ICAO-International Civil Aviation Organization: SBGR), é o principal e o segundo mais movimentado aeroporto do Brasil (DAC, 2002), localizado na cidade de Guarulhos, no bairro de Cumbica (23°25'35"S e 46°28'57"W), distante 25 quilômetros do centro de São Paulo, principal metrópole que o aeroporto serve (Figuras 1 e 2).

É o aeroporto com maior movimento internacional do Brasil (Tabela 1) e o segundo em tráfego total de passageiros, somente ficando atrás do Aeroporto de Congonhas. No transporte de carga, é o maior da América Latina e ocupa a 37ª posição entre os mais movimentados do mundo (INFRAERO, 2005).

Suas atividades iniciaram-se no ano de 1985. O aeroporto possui uma área total de 14 km² (sendo 5 km² área urbanizada) e 2 pistas. Considerando que o número de vôos diários com média de 475 (entre pouso e decolagem), são gastos 4.329.517 litros de querosene por dia. Toda estrutura para passageiros é dividida em dois terminais (TPS1 e TPS2) com 260 balcões de check-in, onde as atividades operacionais funcionam 24 horas por dia.

Operam 37 companhias aéreas nacionais e internacionais, voando para 23 países em mais de 100 cidades do Brasil e do mundo (INFRAERO, 2005).

A área de estudo foi delimitada em quatro pontos de coleta, na área do Aeroporto de Cumbica:

- Pátio - local de fluxo de aeronaves (Figuras 3 e 4);
- Pista L ou 090L - cabeceira da principal pista para pouso e decolagem, que possui 3,7 Km de extensão (Figura 5);
- Pista R ou 270 W - cabeceira da pista com 3Km de extensão (Figura 6);
- Torre - ponto com 57 m de altura (Figura 7).



Figura 1. Vista aérea do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos. Em destaque os pontos de coleta na área do aeroporto.

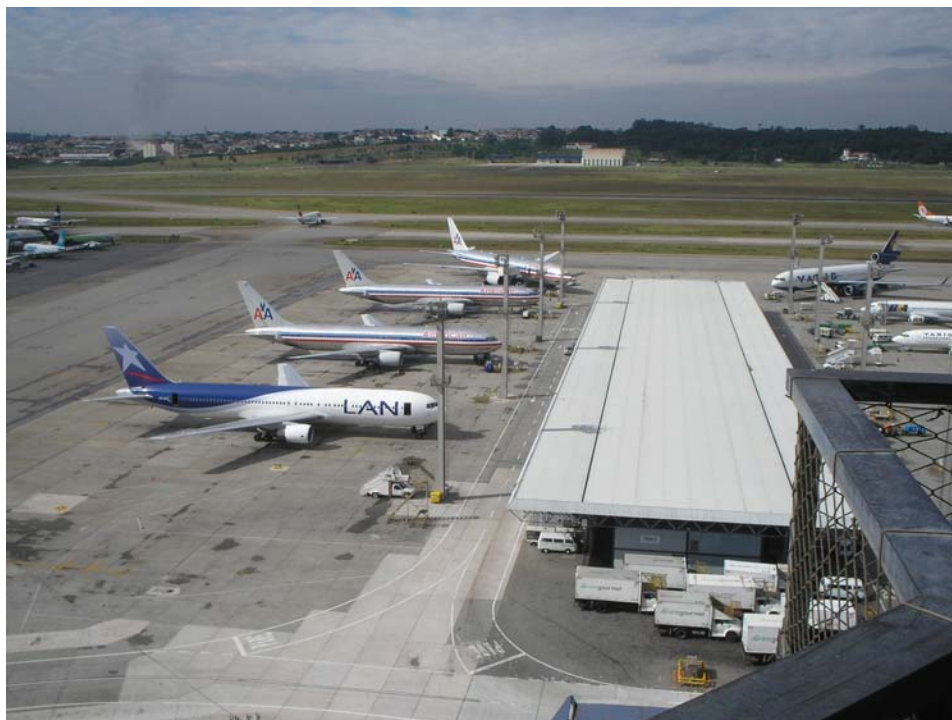


Figura 2. Vista Parcial do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos.

Tabela 1. Número de pousos e decolagens e número de passageiros que embarcam e desembarcam por ano no Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos.

Aeronaves		Carga Aérea		Passageiros	
Ano	Quantidade	Ano	Quantidade	Ano	Quantidade
2002	160.451	2002	390.084.973	2002	11.902.990
2003	139.038	2003	418.927.438	2003	11.581.034
2004	149.497	2004	435.593.673	2004	12.940.193
2005	154.339	2005	218.592	2005	15.834.797
2006	154.948	2006	419.848.126	2006	15.759.181



Figura 3. Ponto pátio. Em destaque, local de exposição das floreiras para este ponto.



Figura 4. Ponto pátio. Local de maior fluxo de aeronaves.



Figura 5. Cabeceira da pista 090L (pista L). Pista com extensão de 3700m. Pista mais utilizada do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos.



Figura 6. Cabeceira da pista 270 W (pista R). Extensão de 3000m.



Figura 7. Ponto torre. Controle de todas as aeronaves que pousam, decolam, estaciona e taxia no Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos. Ponto mais alto da área estudada com altura de 57 metros.

3.1.2 Jardim Santa Cecília

Chamado de ponto bairro dista 5 km do aeroporto, rota de aeronaves, as quais quando em aproximação do aeroporto, nesta localidade ficam em uma altitude média de 500 metros. Além disso, é local de fluxo de automóveis em horário de rush (Figuras 8 e 9).



Figura 8. Vista parcial do ponto bairro, Jardim Santa Cecília. Rota de aeronaves.



Figura 9. Ponto bairro. Local de exposição das floreiras situado à Rua dos Quilombos, 308.

3.1.3 Parque Estadual da Cantareira – Núcleo Engordador

O Parque Estadual da Cantareira possui uma das maiores áreas de mata tropical nativa do mundo situada dentro de uma região metropolitana. Seus 7.900 hectares são formados por remanescentes de mata atlântica. O Núcleo Engordador é o segundo núcleo (Figura 10) a ser implantado no parque e seu acesso é pela Rodovia Fernão Dias. A reserva dista 16 km do aeroporto e neste local foi denominado o ponto referência (Figura 11).



Figura 10. Vista parcial do Núcleo Engordador pertencente ao Parque Estadual da Cantareira.



Figura 11. Ponto referência. Local de exposição das floreiras no Núcleo Engordador.

3.2 Caracterização dos locais de estudo

3.2.1 Bioindicador Vegetal e Exposição

A planta de escolha para esse trabalho foi a espécie vegetal *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom (Figura 12), a qual apresenta características adequadas por tratar-se de planta herbácea, prostada, suculenta, de 15 a 25 cm de altura, com folhas e flores roxas e pubescentes, ornamental, nativa da região da América do Norte e Central (México e Honduras) e classificada em 1975 (USDA, 1997, Lorenzi & Souza, 2001).

A *T. pallida*, particularmente, tem sido muito utilizada para estudos citogenéticos, evidenciados por meio do teste do micronúcleo (Guimarães et al., 2000).



Figura 12. *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom Fonte: Sant' Anna, (2003).

3.2.1.1 Teste de quantificação em micronúcleos (Trad-MCN)

Em cada um dos sítios de estudo foram expostas quinze floreiras contendo *Tradescantia pallida* cv. 'Purpurea', cultivadas em terra vegetal e adubadas trimestralmente com formulação de NPK (10:10:10), mantidas ao sol e irrigadas semanalmente no período de janeiro de 2006 a outubro de 2007.

Para uma segunda etapa com teste de quantificação de micronúcleo, foram expostas quinze hastes em cada Becker de 250ml para cada ponto de coleta durante vinte e quatro horas no mês de maio de 2008.

Entre os testes de mutagênese desenvolvidos com plantas, o bioensaio que envolve a contagem de micronúcleos em botões florais de inflorescências

jovens de *Tradescantia* (Trad-MCN) é considerado, talvez, o mais sensível (Ma, 1981; Rodrigues et al., 1997). Em resumo, o teste é baseado na visualização de segmentos de cromossomos derivados de quebras moleculares, causadas por erros na replicação do DNA no momento de sua duplicação na prófase I da meiose e que se apresentam como pequenas estruturas arredondadas (micronúcleos), em tétrades jovens de células-mãe do grão de pólen. Após exposição das plantas, as inflorescências são destacadas e fixadas, e posteriormente dissecadas para análise da frequência de micronúcleos (Ma, 1984; Rodrigues et al., 1997). Imediatamente após a coleta dos botões jovens das inflorescências essas são fixadas em solução de ácido acético e álcool (1:3), permanecendo na solução por no mínimo 24 horas antes da dissecção.

Após dissecção dos botões para liberar as células mãe do grão de pólen, as anteras são maceradas em lâmina com adição de uma gota de corante aceto-carmim. Após a identificação da fase de tétrades jovens (Figura 14 A) e a retirada dos fragmentos, uma lamínula é colocada sobre o material levando-se a lâmina ao aquecimento para melhor fixação do corante, de acordo com Ma (1981) (Figura 13). Posteriormente seguiu-se a contagem dos micronúcleos em microscópio óptico em aumento de 400X (Figura 14 B).

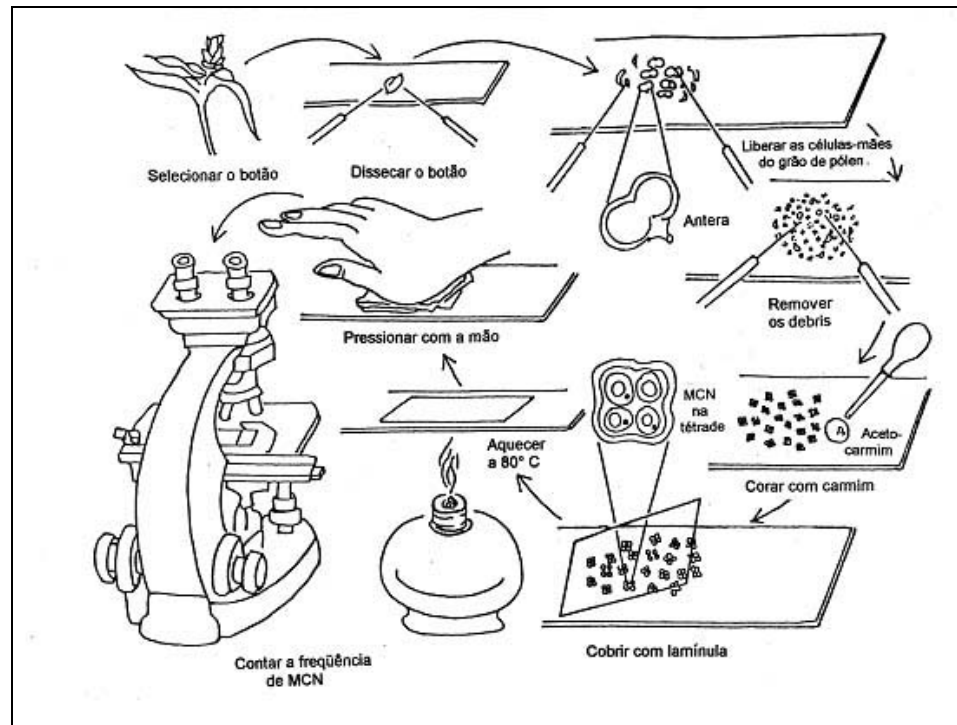
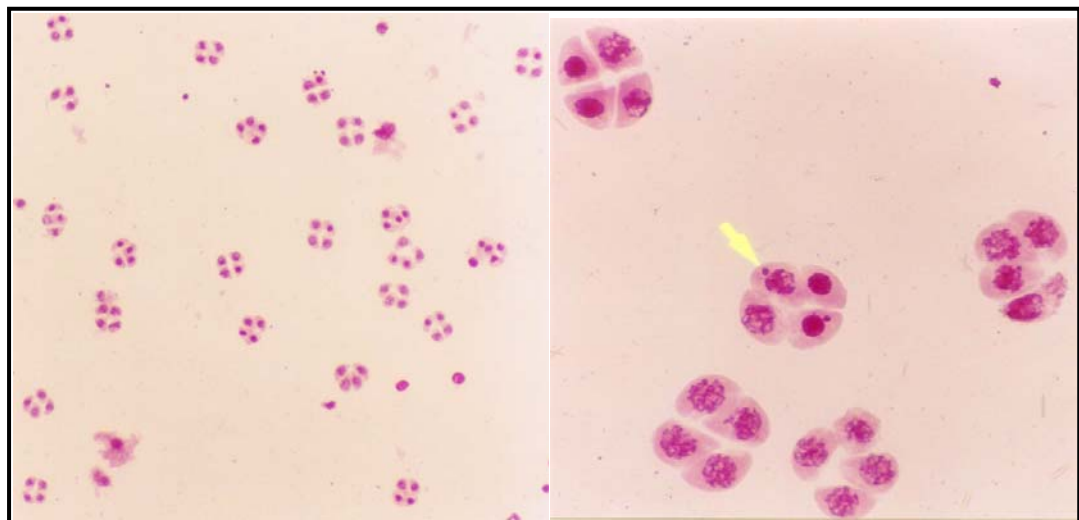


Figura 13: Esquema de montagem de lâminas para análise de micronúcleos, (Ma, 1981).



A

B

Figura 14. Tétrades em aumento 100x e tetrade com micronúcleo indicado por seta – aumento 400x. Fonte: Sant' Anna, 2003.

3.2.1.2 Espectrometria de fluorescência de raios-X (EDXRF)

As plantas podem acumular metais pesados através das folhas ou da captação pelas raízes, permitindo o desenvolvimento de certo grau de tolerância das plantas aos metais pesados. Algumas espécies de plantas podem sofrer inibição enzimática pelos íons metálicos com perda da função catalisadora, provocando danos genéticos, alterando padrões de crescimento, desenvolvimento e reprodução, reduzindo a produtividade, provocando a seleção de populações geneticamente adaptadas e a diminuição drástica da diversidade de espécies (Bustamante, 1993) do laboratório de poluição atmosférica (LIM-05) localizado no Laboratório de a Faculdade de Medicina (FMUSP).

3.2.1.2.1 Confeção das pastilhas de folhas de *Tradescantia pallida*

Foram realizadas treze coletas nos seis pontos determinados no período de fevereiro de 2006 a março de 2007.

As folhas de *T. pallida* foram coletadas manualmente e guardadas em envelopes de papel. O material coletado passou pelo processo de limpeza, secagem e as folhas foram desidratadas em estufa a 37°C durante 48 horas, adquirindo uma consistência totalmente quebradiça sendo em seguida transformadas em pó com auxílio de um micro moinho vibratório de bola confeccionada em ágata (Vibratory micro - mill Pulverisette - Fritsch), De 0,5 a 0,6 grama deste pó é colocado em um cilindro onde recebe aproximadamente 1 grama de ácido bórico (H_3BO_3 p.a.) e, então, prensada por 10 segundos com

força de 1 ton (20mPa) (Figuras 15). Resultando deste processo uma pastilha de dupla camada (amostra e ácido bórico) de 20 mm de diâmetro (Figura 16) que será levada para análise da FRX.

Para aumentar a sensibilidade da detecção da energia dos raios-X dispersas, as análises são feitas em atmosfera à vácuo, o que requer o condicionamento prévio das amostras para que estejam livres de umidade. O condicionamento pode ser feito utilizando-se um dessecador, contendo sílica gel, por um período mínimo de 24 horas.



Figura 15. Equipamento gentilmente cedido pelo IPEN, para confecção das pastilhas.



Figura 16. Pastilha confeccionada com folhas trituradas de *T. pallida* e ácido bórico.

3.2.1.3 Análise instrumental por fluorescência de raios X

A análise multielementar instrumental por fluorescência de raios X (XRF) é baseada na medida das intensidades dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos componentes da amostra, quando devidamente excitada. Até o ano de 1966 a XRF era realizada unicamente por espectrômetros de dispersão por comprimento de onda (WD-XRF, abreviação de *wave-length dispersive X-ray fluorescence*), baseados na lei de Bragg, os quais necessitam de um movimento sincronizado e preciso entre o cristal difrator e o detector.

Quando um elemento de uma amostra é devidamente excitado, este tende a ejetar os elétrons dos níveis mais internos, realizando um salto quântico para preencher a vaga. Esta transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raios X, de energia característica e bem definida para cada elemento. Assim, de modo resumido, a análise por fluorescência de raios X por dispersão em energia consiste em cinco etapas: (1) excitação dos elementos que constituem a amostra, (2) emissão dos raios X característicos, (3) dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra, (4) detecção e medida da intensidade dos raios X característicos e (5) conversão das intensidades em concentração de elementos (Nascimento Filho, 1999).

3.2.1.4 Determinação da composição elementar em bioacumuladores vegetais.

O EDX-700HS (Figura 17) possui um colimador que permite a análise da área de superfície nos diâmetros de 10mm, 5mm, 3mm ou 1mm. A escolha da área analisada deve ser padronizada para todas as amostras de cada estudo experimental. Inicialmente é feita uma análise qualitativa semi-quantitativa (quali-quantitativa) para os elementos de Na a U, para todas as amostras. Os elementos são avaliados em forma de metais para amostras de bioacumulação (vegetais).

São realizadas 3 varreduras para cada amostra. Após a análise quali-quantitativa, o espectro resultante pode ser trabalhado para se chegar a um resultado quantitativo.

Os resultados da análise de FRX são apresentados em média do percentual de cada elemento em relação a área total varrida para todos os filtros analisados.

O procedimento de análise no aparelho foi de acordo com o manual do fabricante. Esta análise permite a avaliação direta de superfícies; podem-se analisar além de folhas, filtros de policarbonato, casca de árvores e líquens.



Figura 17. Equipamento EDX 700HS, marca Shimadzu.

3.2.2 Métodos químicos

3.2.2.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Compostos orgânicos voláteis – COVs compõem um subgrupo dos compostos orgânicos caracterizados pela sua tendência a evaporar (volatilizar) à temperatura ambiente. Outra classificação refere-se aos compostos de carbono gasosos alifáticos e aromáticos, com pressão de vapor maior que 0,14 mm Hg a 25 °C e com carbonos na faixa de C₂ a C₁₂. Em geral são alcanos, alcenos, aromáticos, álcoois, cetonas, aldeídos e ácidos (CETESB, 2005).

3.2.2.1.1 Metodologia da Amostragem e Análise dos COVs

Pode ser dividida, basicamente, em três partes. A primeira etapa se refere ao modo como o ar ambiente foi amostrado. A segunda etapa foi o tratamento ou não da amostra e a terceira etapa foi à análise química cromatográfica.

Existem diversos métodos para a amostragem e determinação dos compostos orgânicos voláteis na atmosfera. Dependem basicamente do teor destes compostos e de quanto deles se deseja medir simultaneamente.

O método mais completo está baseado nas metodologias TO-14 e TO-15 da U.S.EPA (U.S.EPA, 1997) que consiste na amostragem em garrafas de aço inoxidável eletricamente polido (*canisters*) seguido de pré-concentração criogênica e análise por cromatografia gasosa com múltiplos detectores. Este tipo de técnica tem crescido muito nos últimos anos e cada vez mais utilizada

(Tolnai et al., 2000; Doskey & Bialk, 2001; Colon et al., 2001; Ballestra et al., 2001; Mohamed et al., 2002; Ho et al., 2002a; Ho et al., 2002b; Daughtrey et al., 2001; Na et al., 2003; Barletta et al., 2002).

Esta técnica é a que consegue medir as menores concentrações assim como o maior número de compostos.

3.2.2.1.2 Amostragens

As amostragens e análise dos compostos orgânicos voláteis foram realizadas seguindo a metodologia TO – 14 da U.S. EPA (U.S.EPA, 1997). Basicamente, é uma técnica que emprega canisters (bulhões de aço inoxidável) eletricamente polidos (Figura 18), previamente limpos em um sistema de limpeza (Xontech modelo 960HC), através de ciclos de alto vácuo e umidificado a quente.

Após a limpeza, o sistema deixa o *canister* em vácuo, para sua posterior utilização. Os canisters empregados têm um volume de 1,8 litros.



Figura 18. Canisters utilizados nas amostragens de compostos orgânicos voláteis.

3.2.2.1.3 Procedimentos para as coletas

No presente estudo foram realizadas três coletas: outubro de 2006, dezembro de 2007 e maio de 2008.

O processo de amostragem pode ser realizado de modo instantâneo ou de modo integrado. O uso de restritores de fluxo para permitir uma passagem gradual do ar para dentro do canister é o mais adequado, sendo mais usados os de 1, 2, 3, 6, 8, 12 e 24 horas. Neste trabalho foi usado o modo instantâneo porque não se dispunha de restritores de fluxo.

Foram realizadas três coletas simultaneamente em todos os pontos, entre 9h00 e 9h30 da manhã nos meses de outubro de 2006, dezembro de 2007 e maio de 2008.

Após as amostragens dos compostos nos aeroportos, os *canisters* foram levados ao Laboratório de Química Ambiental (LQA) no Instituto de Pesquisas Energéticas (IPEN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), na cidade universitária de São Paulo.

As análises foram feitas num cromatógrafo a gás, modelo Varian 3800 com detector de espectrometria de massas Saturn 2000 (Figura 19). A coluna utilizada foi de metil silicone de 50 metros com espessura de filme de 1,00 μm e 0,31mm de diâmetro.

O método empregado utiliza um fluxo de hélio 5.0 (99,999%), previamente filtrado, com uma vazão de 40,0ml/min.

O procedimento de transferência da amostra e análise é o seguinte: durante os primeiros 3,5 minutos o sistema aguarda a estabilização dos parâmetros operacionais. Então, o ar contido no *canister* é retirado por meio de uma bomba de vácuo (Thomas Industries 107B). O fluxo de retirada é controlado por um controlador Sierra Model 902C, previamente calibrado, que permite a passagem de 20ml/min por 5 min, o que totaliza 100ml de amostra, que é então armadilhada em *loop* de amostragem com N_2 a -180°C , contendo pérolas de vidro sinalizadas. O *loop* é então aquecido a 20°C por segundo, durante 3 minutos, para então a amostra entrar na coluna cromatográfica, mantida a -50°C . Durante o processo de separação a temperatura do forno se eleva por $6^\circ\text{C}/\text{min}$, também até 200°C .

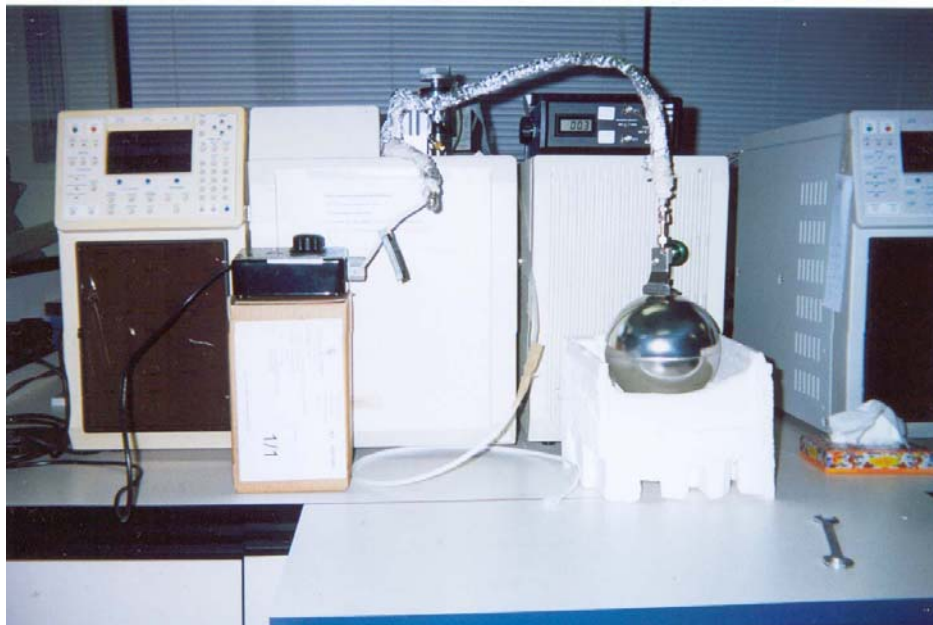


Figura 19. Cromatógrafo e canister acoplado para análise dos COVs.

3.2.2.2 Ozônio e Dióxido de Nitrogênio

O método de determinação de ozônio troposférico, se baseia na reação entre o ozônio e o índigo-carmim. Ele converte uma molécula de índigo carmine em duas de isatina, esta reação é conhecida por ozonólise. O preparo consiste em impregnar os filtros de celulose com 0,2% da solução de índigo carmine (200 mg de índigo carmine em água destilada 1 litro de água destilada) Os filtros são secos em estufa 80°C por 30 minutos. Assim que prontos deve-se mantê-los protegidos contra a luz. Os filtros então são submetidos a uma espectroscopia por refletância para se obter os valores iniciais antes da exposição. Para a amostragem os filtros são fixados nos amostradores (Figura 20) e mantidos por 7 dias no local de exposição. Total de 5 amostras durante os meses de junho e julho de 2007.

O resultado é obtido após a exposição comparando contra os valores iniciais à descoloração dos filtros (Quintero et al., 2004).



Figura 20. Suporte e amostradores passivos.

Para a amostragem de NO_2 , alíquotas de 200 μL da solução de impregnação (tritolamina 2%, 0,05% o-metoxifenol, 0,025% metabissulfito de sódio) foram adicionadas aos filtros, sendo posteriormente secos em estufa por 24 horas a 37°C . Após a secagem os filtros são acondicionados a 4°C . A validade dos filtros é de 3 semanas Os filtros são expostos por 7 dias em amostradores passivos em cada ponto de amostragem. Depois da exposição os filtros são imersos em 50ml de metanol e mantidos no ultra-som por 3 minutos. 5ml da solução são usados para o ensaio de NO_2 (Lodge, 1989) e os níveis são medidos por espectrofotometria. O nitrato produzido durante a amostragem é determinado colorimetricamente por reação da solução absorvente exposta com sulfanilamida e ácido 5-anilino-1-naftalenosulfônico

(ANSA) em comprimento de onda de 550nm. Os dados são plotados em uma curva de calibração e seus valores convertidos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2.2.3 Material Particulado

Foram utilizados filtros de polycarbonato (Wattmann[®] de 8 μm e de 0,4 μm) com 47mm de diâmetro. No primeiro estágio foi utilizado um filtro para partículas grossas com poros de 8 μm de diâmetro, que retém por impactação inercial partículas da fração grossa. No segundo estágio foi utilizado um filtro para partículas finas, com poros de 0,4 μm coletando a fração fina do particulado.

O Mini-Vol da “Airmetrics” (Figura 21) é um amostrador portátil para monitorar PM_{10} . É basicamente composto de um compressor (funcionando a aproximadamente 5 lpm) controlado por um timer programável, um totalizador de tempo para registrar o número de horas que o compressor funcionou e um rotâmetro para medida do fluxo de ar durante o período de amostragem.

O princípio de operação consiste na aspiração do ar através de um separador de tamanho de partículas e depois até a superfície do filtro. A separação das partículas é conseguida por filtração e impactação nos filtros.

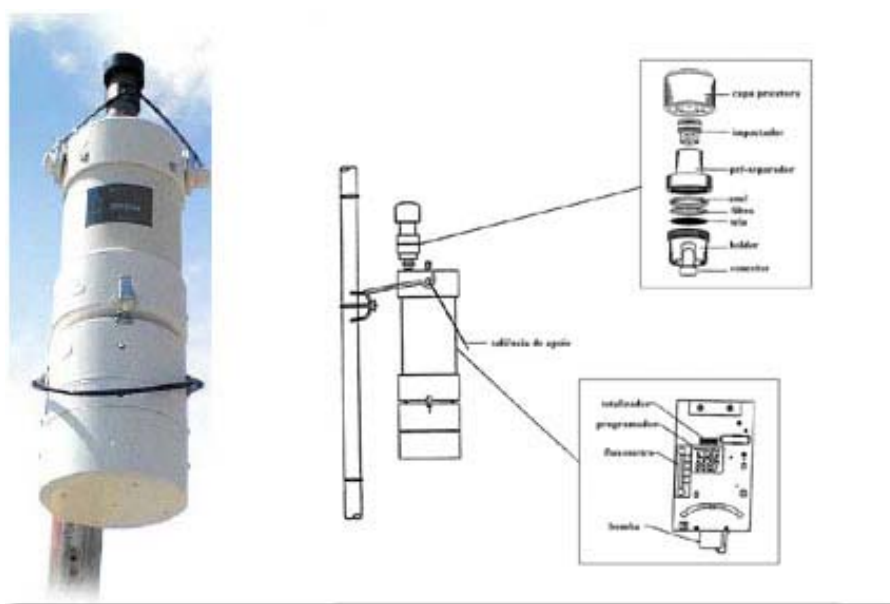


Figura 21. Mini-Vol do Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos (LAPat) do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP).

3.2.2.3.1 Análise Gravimétrica dos Dados

Todos os filtros amostrados com o Mini Vol foram submetidos à análise gravimétrica, isto é, foram pesados, antes e depois da amostragem, em uma balança eletrônica de precisão nominal $1\mu\text{g}$ (METTLER), pertencente ao LAPat.

Neste procedimento, antes da pesagem, os filtros ficam sob a ação de fontes de Po^{210} a fim de serem descarregados eletrostaticamente. São feitas duas pesagens com um intervalo médio de 24 horas, calculando-se uma média entre as duas medidas. Este procedimento é realizado dentro de uma sala (Figura 22) com temperatura ambiente de 25°C e umidade relativa de 60%. De posse das massas antes e depois da amostragem, do volume total amostrado

(obtido com um totalizador de volume), foram calculadas as concentrações em massa depositadas subtraindo-se os valores dos filtros de controle, isto é, não amostrados. Estes filtros não amostrados são chamados de “brancos”, os quais são utilizados para determinar uma possível contaminação, durante o processo de transporte, manuseio e realização dos experimentos.



Figura 22. Sala de análise gravimétrica dos filtros.

3.2.2.3.2 Análise de Refletância

Para determinação das concentrações de carbono elementar (“**Black Carbon**” - **BC**) presente nas amostras utilizou-se a técnica de refletância de luz, com um Reflectômetro, marca “Diffusion Systems Ltd.” modelo “Smoke Stain Reflectometer-Model 43” (Yamasoe, 1994; Longo, 1999; Ccyollo, 2002). Foram analisados os filtros finos e grossos coletados pelo Mini Vol.

A técnica de refletância consiste na incidência de luz de uma lâmpada de Tungstênio no filtro amostrado, que reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de BC presente (Yamasoe, 1994). Como as partículas de BC são boas absorvedoras de luz, quanto maior a sua presença, menor a intensidade de luz refletida pelo filtro e menor a detectada pelo fotosensor. A curva de calibração da luz refletida pela quantidade de Black Carbon foi obtida empiricamente para o equipamento utilizado neste trabalho, por Loureiro et al. (1994) e posteriormente, utilizada por Castanho (1999) e Ccyollo (2002), e é dada pela equação 1, que indica como a partir da refletância medida pode-se determinar a massa do BC presente na atmosfera (Castanho, 1999).

$$BC\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}\right) = (30,90 - 15,454 * \log(R)) * \frac{A}{V} \quad (1)$$

onde: R é a refletância (%); A é a área do filtro é de $13,2\text{cm}^2$; e V é o volume de ar amostrado (m^3).

Os dados da análise gravimétrica e da refletância dos filtros coletados são apresentados na Tabela 2, com seis coletas nos seis pontos determinados em datas a seguir: março, abril, junho, agosto de 2006 e fevereiro e junho de 2007.

Tabela 2. Dados da análise gravimétrica e da refletância dos filtros coletados na área do Aeroporto Internacional de São Paulo –Guarulhos, bairro e Cantareira

Amostra	Massa i mg	Massa f mg	Mf - Mi ug	Massa ug/m3	Refletância	BC ug/m3
FSP MV-f 67	14.507	14.787	280	27.78936	48.7	6.121216
FSP MV-g 67	16.96	17.144	184	18.26158	93.35	0.42592
FSP MV-f 68	14.706	14.9835	277.5	27.56422	74.3	2.056396
FSP MV-g 68	17.244	17.3815	137.5	13.65795	97	0.191515
FSP MV-f 69	14.815	14.983	168	163.9344	95.25	2.962288
FSP MV-g 69	16.889	16.932	43	41.95941	99	0.699372
FSP MV-f 71	15.0245	15.2365	212	16.39532	76.6	2.088325
FSP MV-g 71	17.177	17.4015	224.5	8.854613	94.3	0.417771
FSP MV-f 73	14.6835	14.873	189.5	39.42988	83.55	2.447818
FSP MV-g 73	17.0185	17.119	100.5	20.91136	97.35	0.35621
FSP MV-f 76	14.7475	14.9645	217	843.0458	67.9	109.8866
FSP MV-g 76	16.963	17.0645	101.5	394.3279	95.95	10.05119
FSP MV-f 72	14.5955	14.7485	153	18.44752	81.95	1.587224
FSP MV-g 72	17.405	17.53	125	15.0715	97.65	0.184248
FSP MV-f 70	14.4875	14.631	143.5	781.5904	93.15	24.11217
FSP MV-g 70	16.9285	17.006	77.5	422.1133	99.1	3.581851
FSP-f- 63	14.4145	14.525	110.5	50.90289	94.5	1.623681
FSP-g- 63	14.3415	14.3995	58	26.71826	98.35	0.508653
FSP-f- 64	14.4105	14.596	185.5	23.03432	70.75	3.072829
FSP-g- 64	14.1825	14.331	148.5	18.43987	94.15	0.466379
FSP-f-65	14.376	14.6695	293.5	84.13599	89.9	1.927057
FSP-g-65	14.1735	14.2765	103	29.52643	97.05	0.543823
FSP-f- 66	14.3395	14.523	183.5	25.74355	82.75	1.74764
FSP-g-66	13.785	13.897	112	15.71268	96.3	0.331882
R1-f	14.967	15.2105	243.5	32.50567	59.85	5.334406
R1-g	15.1315	15.3605	229	30.57002	91.6	0.734137
R2-f	15.2145	15.332	117.5	13.81833	84.4	1.298673
R2-g	15.362	15.451	89	10.46665	96.95	0.230392
R3-f	15.6775	15.8045	127	27.66885	76.4	4.026835
R3-g	15.3505	15.466	115.5	25.1634	96.45	0.494831
R4-f	15.6575	15.7845	127	19.49946	81.6	2.069383
R4-g	14.6835	14.823	139.5	21.4187	96.15	0.377763
R8-f	14.8425	14.9065	64	6.974413	99.75	0.030175
R8-g	17.457	17.496	39	4.250033	99.85	0.023848
R7-f	14.453	14.828	375	25.45617	64.75	2.208609
R7-g	17.045	17.461	416	28.23938	91.9	0.359016
TMM-f-18 ou	16.2585	16.398	139.5	15.18417	83.4	1.294529
TMM-g-18 ou	13.61	13.8675	257.5	28.02813	94.5	0.383652
TMM-f-17 ou	16.0115	16.072	60.5	7.011079	93.15	0.513025
TMM-g-17 ou	14.8505	14.9515	101	11.70445	97.5	0.187719
R5-f	15.4445	15.653	208.5	23.59131	73.85	2.398082
R5-g	15.3445	15.599	254.5	28.79611	95.55	0.321634
R6-f	15.4395	15.759	319.5	38.25431	64.45	3.946402
R6-g	15.243	15.3665	123.5	14.78688	89.15	0.871409

3.3 Análises Estatísticas

A normalidade da distribuição dos dados das variáveis: quantidade de micronúcleos, metais pesados, VOCs, dióxido de nitrogênio, ozônio e material particulado, foram verificadas por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro Wilks (W). O teste de Levene foi utilizado para verificar a homogeneidade de variâncias.

Para a comparação das médias dos percentuais e das concentrações das variáveis nos diferentes pontos de coleta foi utilizada a análise de variância (ANOVA), visto que as distribuições atenderam aos pressupostos básicos da distribuição paramétrica.

O teste pos-hoc de Tukey (HSD) foi utilizado para se determinar quais concentrações médias e percentuais médios, no caso dos micronúcleos, em referidos pontos teriam sido responsáveis pela significância da análise de variância paramétrica (ANOVA).

As análises foram realizadas utilizando-se o programa SPSS para Windows versão 11.0.

4. RESULTADOS

Os resultados registram na seqüência, os valores percentuais médios de micronúcleos, concentração média de elementos extraído das folhas de *T. pallida*, a concentração média de ozônio, a concentração média de dióxido de nitrogênio, as concentrações de compostos orgânicos voláteis, e a concentração média de material particulado registrados nos pontos de exposição que foram: bairro (Santa Cecília-Guarulhos), Cantareira (Parque Estadual da Cantareira) e nos quatro locais no interior do Aeroporto Internacional de Cumbica em Guarulhos, São Paulo.

A Figura 23 apresenta a média do percentual de micronúcleos registrados para os pontos: pátio, pista L, pista R, torre, bairro e Cantareira. O maior valor para a quantificação de micronúcleos foi registrado no ponto pátio, apresentando diferença significativa em relação ao ponto bairro e Cantareira ($p=0,019$) e ($p=0,010$) respectivamente com nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$).

Na Figura 24, pode-se notar que a média do percentual de micronúcleos registrados para os pontos: torre, bairro e pista R, estiveram muito próximos, entre si e com variação de 0,50 a 10,0%. Os valores percentuais mais altos foram registrados para o pátio e pista L. No pátio o valor mais alto foi de 18,33%.

Figura 25 mostra análise estatística destacando o ponto referência (Cantareira) com os demais pontos incluindo o ponto pátio ($F= 9,174$; $p=0,005$).

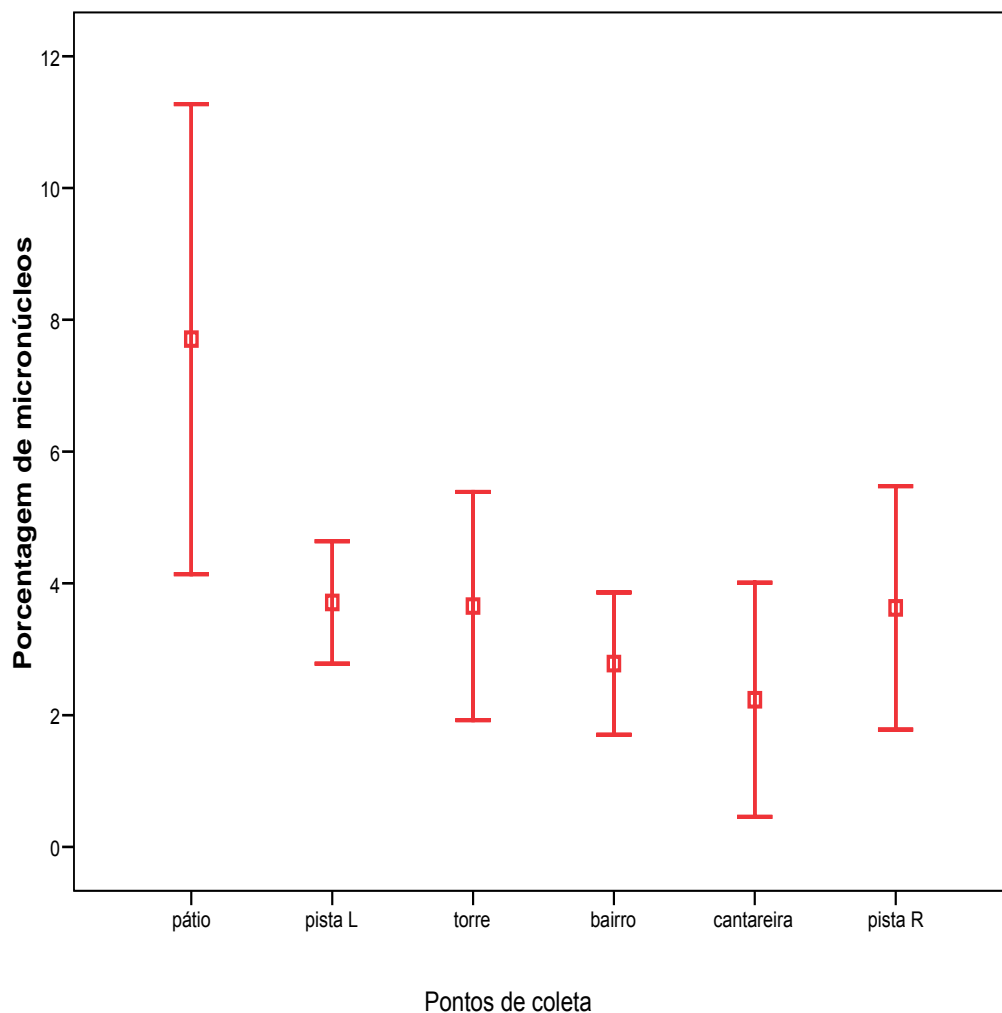


Figura 23. O ponto pátio com diferença significativa em relação ao ponto bairro e Cantareira ($p=0,019$) e ($p=0,010$) respectivamente com nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$).

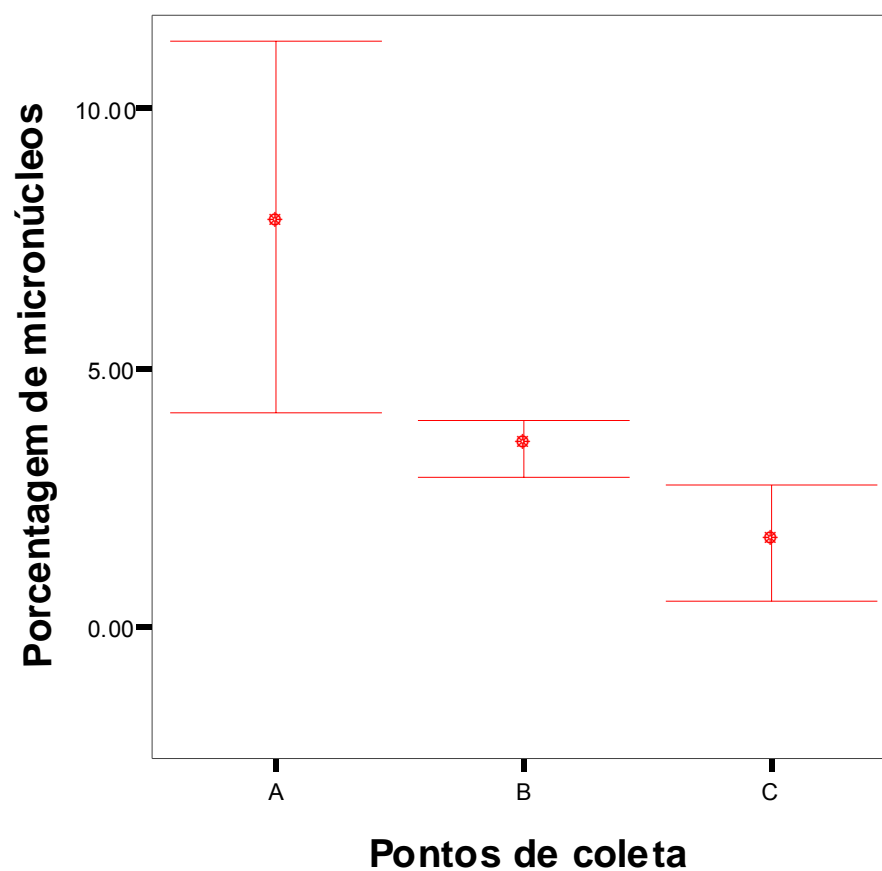


Figura 24. Análise em diferentes pontos de coleta com presença estatisticamente significativa entre os pontos: pátio (A), grupo B (pista L, pista R e torre) e Cantareira (C) ($p = 0.000$), com nível de significância de 5% ($\alpha = 0.05$).

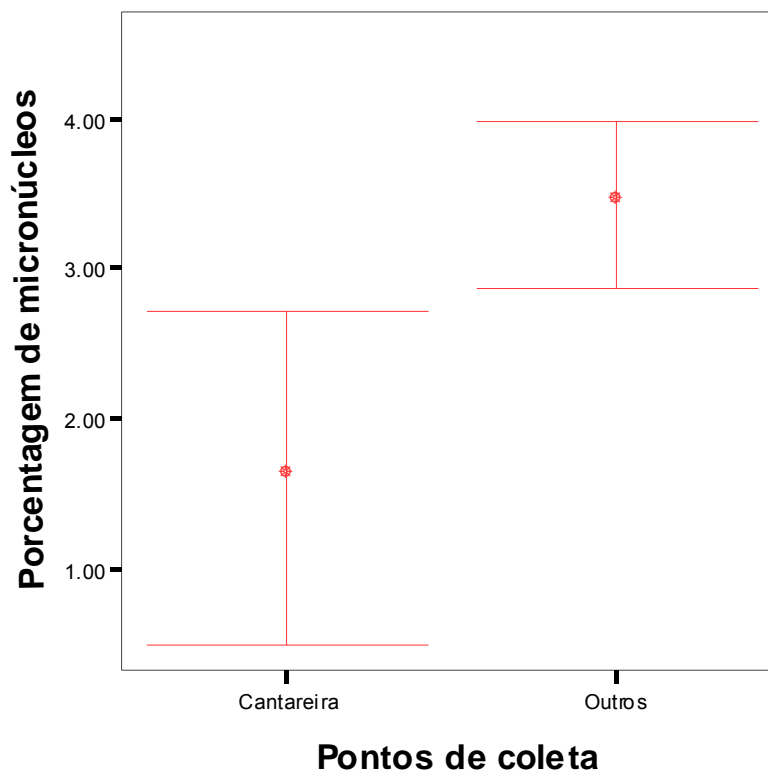


Figura 25. Ponto referência com presença estatisticamente significativa com $p=0,005$, em relação aos demais pontos incluindo o ponto pátio.

A análise de variância para as hastes (segunda etapa do trabalho), mostrou que a diferença entre o percentual médio de micronúcleos analisados nos diferentes pontos de coleta foi significativa ($F = 6,345$; $p=0,000$), para o nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$). Os percentuais médios de micronúcleos registrados comparativamente, no pátio com a Cantareira, pista e torre e no pátio com o bairro, torre e Cantareira foram os responsáveis pela variância significativa da Anova, segundo o teste de Tukey (HSD). Os valores percentuais mais altos foram registrados para o pátio e bairro. No pátio o valor mais alto foi de 6,77% e no bairro 5,49% (Figura 26).

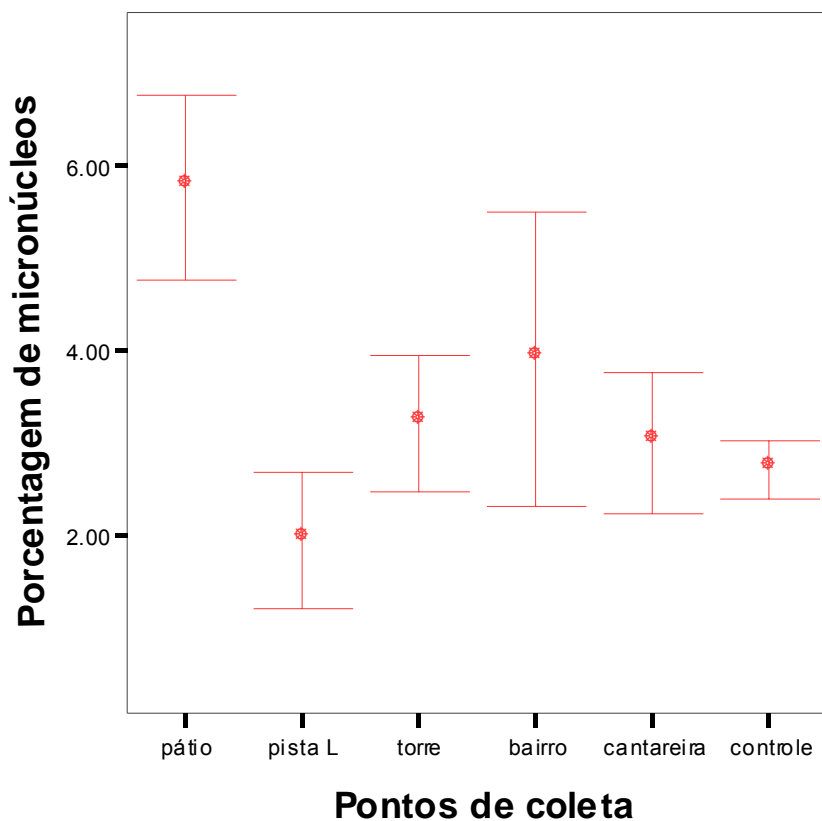


Figura 26. Análise de variância para as hastes com percentual médio de micronúcleos analisados nos diferentes pontos de coleta foi significativa ($F = 6,345$; $p=0,000$), para o nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$).

A Figura 27 mostra a concentração média de elementos químicos que foram extraídos das folhas de *Tradescantia* coletadas nos pontos bairro, Cantareira e área do Aeroporto de Cumbica. A análise de variância revelou que as concentrações médias dos elementos encontrados nos diferentes pontos de coleta, somente foi significativo para cloro (Cl) ($F = 7,691$; $p=0,000$) e fósforo (P) ($F = 4,440$; $p=0,004$).

A aparente diferença entre as concentrações médias verificadas, para os demais elementos não houve diferença estatisticamente significativa entre o cálcio (Ca), potássio (K) , magnésio (Mg), enxofre (S), silício (Si) e estrôncio (Sr), para a análise de variância.

Os elementos encontrados não pertencem ao grupo dos metais pesados (Figura 28).

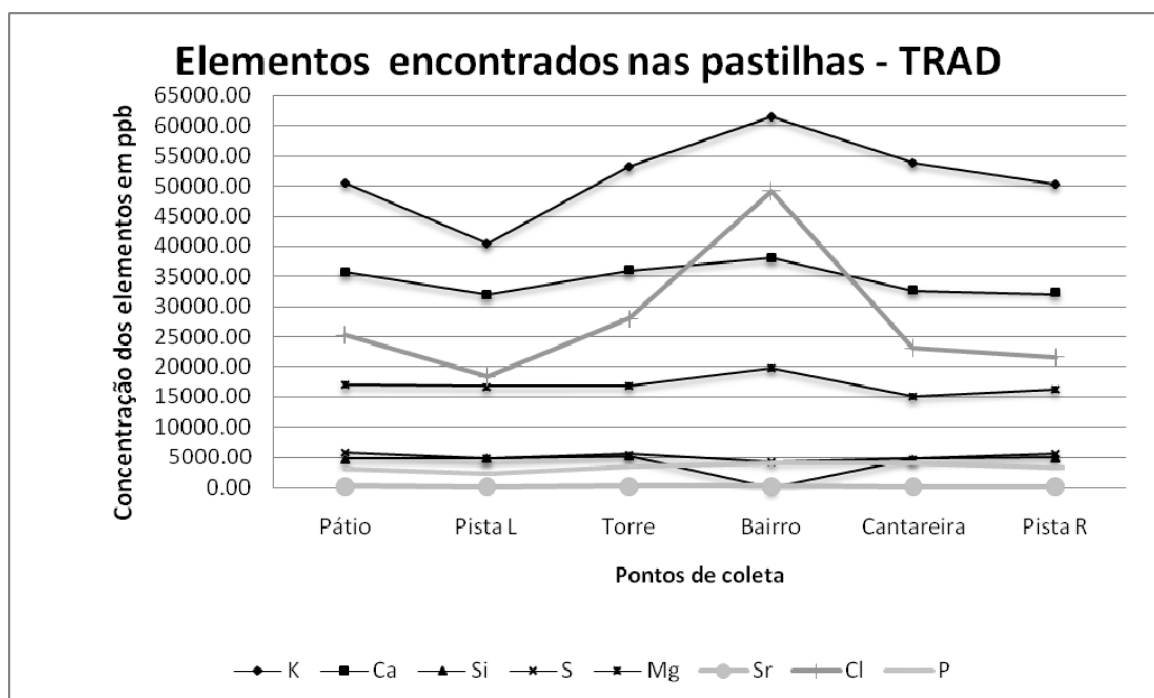


Figura 27. Elementos químicos encontrados nas análises de EDX.

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
Period																									
1	1 H																	2 He							
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne							
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar							
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr							
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe							
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn							
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo							
				Lanthanides							57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
				Actinides							89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Figura 28. Informa os elementos químicos pertencentes à Tabela Periódica que evidencia que os elementos encontrados nesse estudo não pertencem aos metais pesados.

A análise de variância Anova mostrou que as diferenças de médias do gás ozônio nos diferentes pontos de coleta foi significativa ($F=8,226$; $p=0,000$), (Figura 29). O teste de Tukey (HSD) revelou que essa diferença significativa foi devido às comparações entre as concentrações médias de ozônio: da torre com a Cantareira (diferença entre médias = 188,2; $p=0,005$); torre com o bairro (diferença entre médias = 249,0; $p=0,000$); torre com o pátio (diferença entre médias = 184,0; $p=0,006$); torre com a torre térreo (204,0; $p=0,009$); pista L com o bairro (diferença entre médias = 176,0; $p=0,009$) e pista R com o bairro (198,4; $p=0,003$).

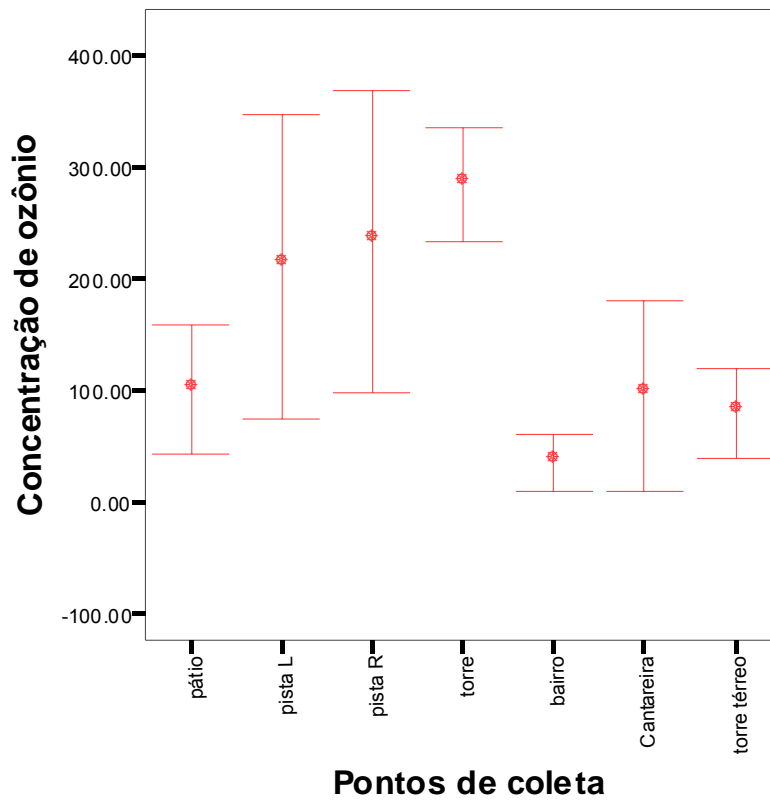


Figura 29. Análise de variância Anova com as diferenças de médias do gás ozônio nos diferentes pontos de coleta na área do Aeroporto Internacional de São Paulo, bairro e Cantareira foi significativa ($F=8,226$; $p=0,000$)

Para este experimento foi introduzido o ponto Torre térreo para averiguar a diferença de concentração em diferentes alturas (ao nível da pista e à 57m de altura).

Na Figura 30 a análise de variância Anova mostrou que as diferenças de médias entre o gás ozônio para os pontos torre e torre térreo foi significativa ($F=65,535$; $p=0,000$).

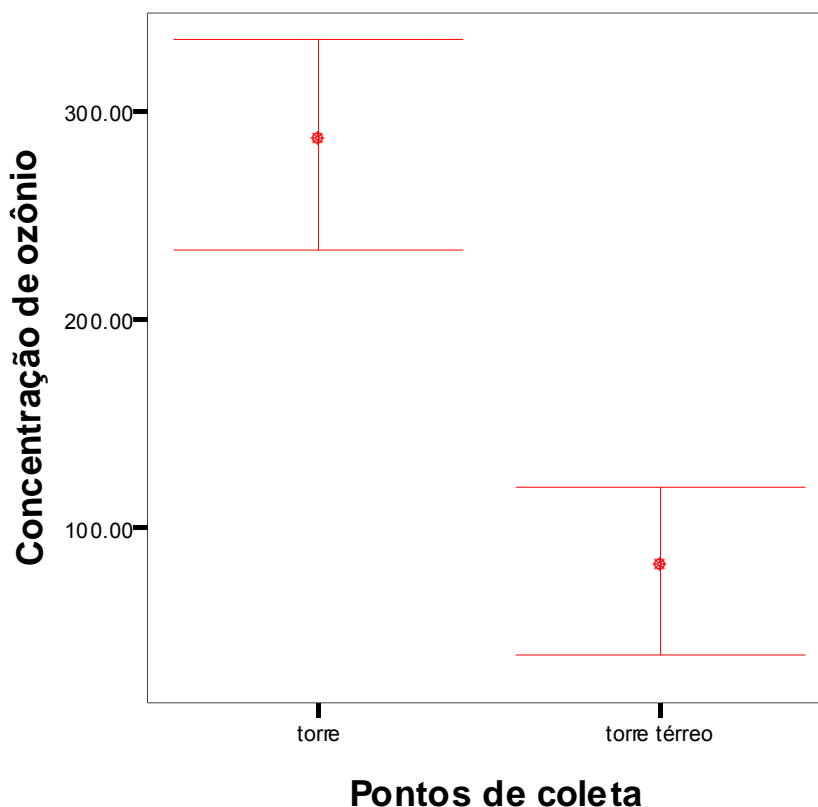


Figura 30. Análise estatisticamente significativa para os pontos torre (ponto mais alto do aeroporto) e torre térreo (andar térreo da torre), com $p=0,000$ para o nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$).

A análise de variância Anova mostrou que as diferenças de médias do gás NO₂ nos diferentes pontos de coleta foi significativa ($F=6,653$; $p=0,000$), (Figura 31). O teste pos hoc de Tukey (HSD), revelou que essa diferença significativa é devido às comparações das concentrações de NO₂: pátio com a Cantareira (diferença entre médias = 118,347; $p=0,001$); pátio com o bairro (diferença entre médias = 120,753; $p=0,001$); pista L com o bairro (diferença entre médias = 97,924; $p=0,009$) e pista L com o bairro (diferença entre médias = 95,753; $p=0,011$).

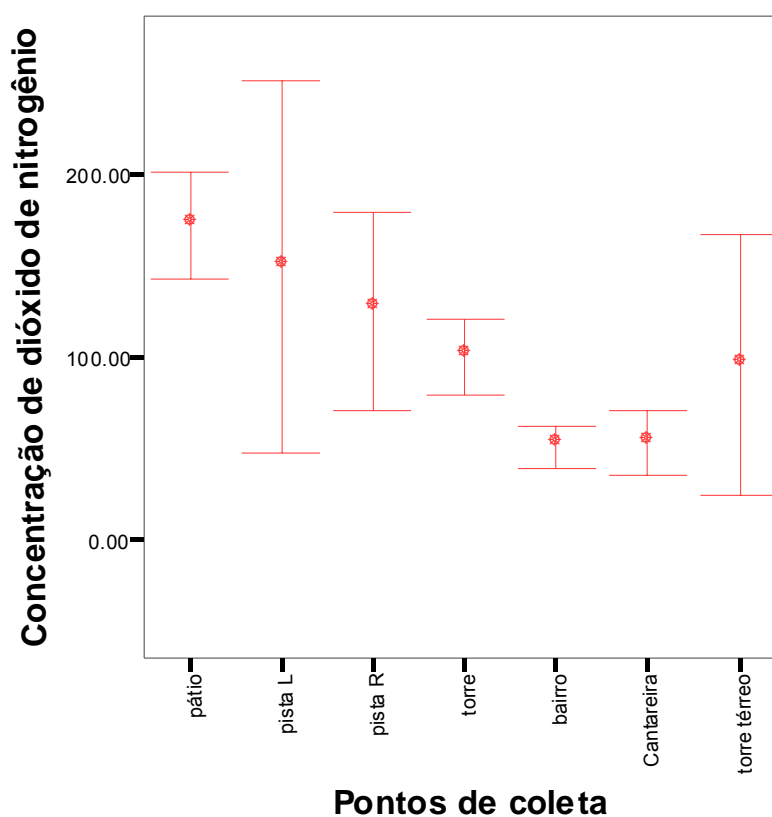


Figura 31. Análise de variância Anova com as diferenças de médias do gás NO₂ na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro e Cantareira com presença estatisticamente significativa ($F=6,653$; $p=0,000$) para o nível de significância fixado em 5% ($\alpha = 0,05$).

A Figura 32 registra o material particulado que apresentou as médias em filtro fino e grosso, verificados para cinco dos sítios de estudo. Nota-se que as concentrações médias foram registradas para o pátio (48.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para o bairro (45.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), para a pista (48.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para a torre (45.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e para a Cantareira (14.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ficando suas médias bem próxima uma das outras. Foram realizadas análises de variâncias pelas médias encontradas nos filtros finos e grossos não existindo diferença estatística significativa ($p > 0,05$). A caracterização química dos filtros realizada pela técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) encontrou para os filtros finos os seguintes elementos com concentrações médias de enxofre (S) foram registradas para o pátio (10,67 ppm) e para o bairro (6,418 ppm), quando isolados em filtro fino. Em filtro grosso as maiores concentrações médias foram registradas: para o silício (Si) no pátio (3,469 ppm) e no bairro (3,224 ppm), para o Calcio (Ca) também no pátio (2,26 ppm) e no bairro (1,498). O cloro (Cl) ocorreu somente no bairro (2,259 ppm) e na Cantareira com (0,048 ppm). Tanto em filtro grosso como no fino os valores de concentrações médias para o material particulado registrado na Cantareira foram abaixo de 1,000 ppm.

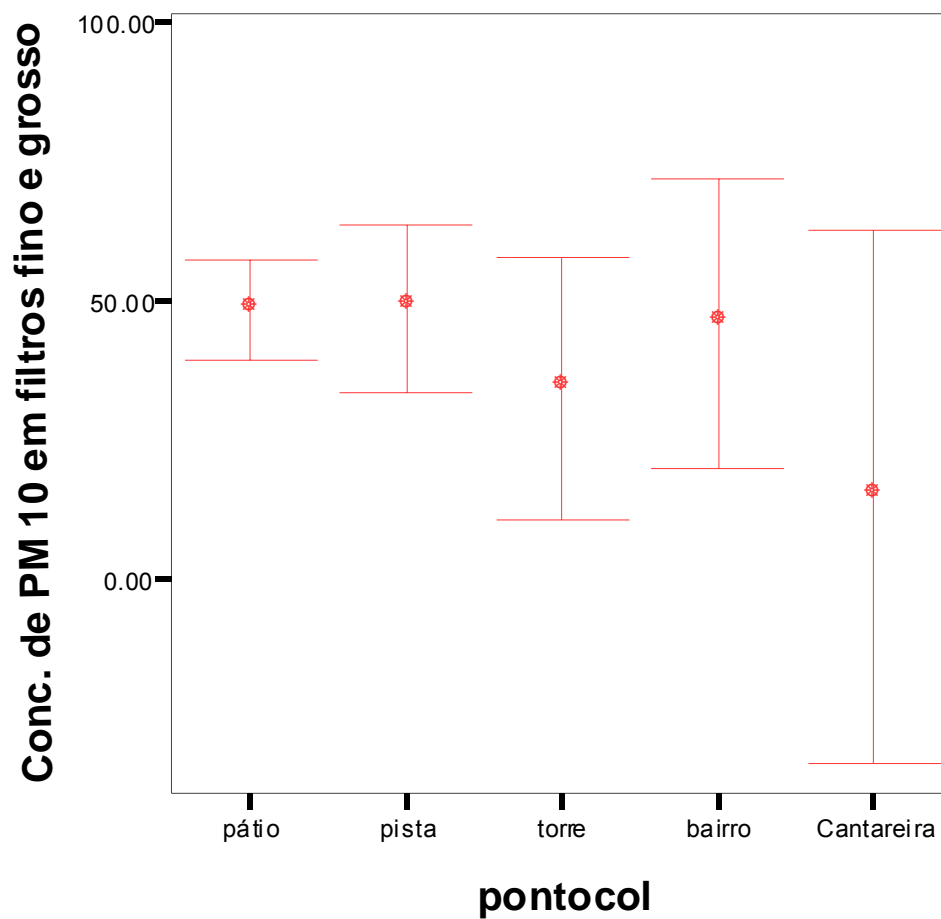


Figura 32. Análise de variância pelas médias encontradas nos filtros finos e grossos não existindo diferença estatística significativa ($p > 0,05$).

A diferença entre as médias das concentrações de S, K, e Cl, selecionados pelo filtro fino, nos pontos de coleta, não mostrou diferença estatística significativa ($p > 0,05$). O mesmo acontecendo para o Si e Fe selecionados pelo filtro grosso. Foram realizadas análises de variâncias apenas para esses elementos que ocorreram cada um deles em pelo menos três pontos de coleta.

Avaliando a concentração média encontrada para cada espécie de COV, a Tabela 3 mostra em ordem decrescente os compostos orgânicos voláteis, e que desempenham um papel importante pelo seu alto potencial de formação de ozônio.

Tabela 3. COVs determinados nas amostras recolhidas na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro e Cantareira. Compostos identificados por espectrometria de massas e quantificados usando padrões.

COV	Pátio	Pista	Torre	Pista R	Bairro	Cantareira	MD
tolueno	2.71	2.83	1.81	3.81	5.54	2.11	3.13
1 buteno	4.36	2.11	0.94	2.25	3.40	2.02	2.51
etilbenzeno	1.56	2.82	0.61	2.69	3.99	2.78	2.41
undecano	4.54	1.92	0.00	0.45	6.58	0.70	2.37
naftaleno	3.98	6.03	0.00	0.00	4.09	0.00	2.35
1 etil 4 me	2.26	2.36	0.00	2.26	3.49	2.26	2.11
butano	1.76	1.93	0.00	4.16	3.83	0.00	1.95
1,3,5 trime	2.21	2.11	0.00	1.13	4.08	2.11	1.94
decano	4.19	2.09	0.00	0.00	5.35	0.00	1.94
p-xileno	1.95	1.82	0.00	1.69	3.60	1.87	1.82
1,2,3 trime	2.46	1.47	0.00	0.88	3.59	1.08	1.58
benzeno	3.03	0.73	0.00	0.93	1.50	1.21	1.24
pentano	1.56	1.18	0.00	1.45	2.98	0.00	1.20
nonano	2.36	1.78	0.00	0.00	2.94	0.00	1.18
o-xileno	1.00	1.17	0.61	1.00	1.82	1.09	1.11
1 etil 3 me	1.23	1.33	0.00	0.79	2.02	1.13	1.08
dodecano	1.74	1.05	0.00	0.00	2.23	0.63	0.94
cis 2 buter	0.87	0.00	0.00	0.00	4.52	0.00	0.90
hexano	1.41	0.00	0.00	1.30	1.97	0.00	0.78
isopreno	0.00	1.31	0.00	1.81	1.28	0.00	0.73
isobutano	0.00	0.00	0.00	2.42	1.57	0.00	0.67
m-xileno	0.48	0.78	0.00	0.56	1.43	0.61	0.64
3 metil per	0.00	0.00	0.00	1.37	1.66	0.00	0.51
isobutano	0.95	1.09	0.45	0.00	0.00	0.00	0.42
2 metil per	0.00	0.00	0.00	0.00	2.47	0.00	0.41
1 etil 2 me	0.00	0.88	0.00	0.00	1.57	0.00	0.41
2 metil 2 b	0.00	0.00	0.00	1.15	1.29	0.00	0.41
propil benz	0.00	0.79	0.00	0.00	1.43	0.00	0.37
1,3 butadien	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
ciclopenteno	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35
metil ciclohex	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	0.00	0.34
1 metil ciclohex	0.00	0.00	0.00	0.00	2.05	0.00	0.34
1 penteno	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
hexeno	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
heptano	0.57	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.29
1,1 dimetil	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	0.00	0.28
trans 2 per	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.00	0.27
ciclopenteno	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53	0.00	0.26
pentano	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.24
etilciclohexano	0.78	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.23
ciclohexano	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	0.22
2 metil heptano	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
isopentano	0.00	0.00	1.18	0.00	0.00	0.00	0.20
metil ciclohexano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.14
trans 2 but	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.14
octano	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2 metil heptano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.12
3 metil heptano	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
1,1,3 trime	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1,1,3 trime	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.09
indano	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
decano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.08
limoneno	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
trans 2 but	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02

Nota-se que na Tabela 4 em relação ao pátio, os BTEX, estavam em quinta, sexta, décima nona, passando para segunda, terceira e décima posição na análise da pista L. O número de compostos diminui e as concentrações são as mais baixas para o ponto torre e em destaque o tolueno (1.81 ug/m³), isopentano (1.18 ug/m³), etilbenzeno (0.61 ug/m³) e xilenos (0.61 ug/m³). Comparando o ponto pátio com o ponto bairro, o benzeno que está na quinta posição passa para a vigésima oitava posição respectivamente.

Tabela 4. Posição dos COVs em relação aos pontos de coleta na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro e Cantareira por concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	PÁTIO	PISTA 09L	PISTA 09R	TORRE	BAIRRO	CANTAREIRA	
1	undecano	4.54	naftaleno 6.03	butano 4.16	tolueno 1.81	undecano 6.58	etilbenzeno 2.78
2	1 buteno	4.36	tolueno 2.83	tolueno 3.81	isopentanc 1.18	tolueno 5.54	1 etil 4 me 2.26
3	decano	4.19	etilbenzeno 2.82	etilbenzeno 2.69	1 buteno 0.94	decano 5.35	1,3,5 trime 2.11
4	naftaleno	3.98	1 etil 4 me 2.36	isobutano 2.42	etilbenzeno 0.61	cis 2 buter 4.52	tolueno 2.11
5	benzeno	3.03	1,3,5 trime 2.11	1 etil 4 me 2.26	o-xileno 0.61	naftaleno 4.09	1 buteno 2.02
6	tolueno	2.71	1 buteno 2.11	1 buteno 2.25	isobutano 0.45	1,3,5 trime 4.08	p-xileno 1.87
7	1,2,3 trime	2.46	decano 2.09	p-xileno 1.69	Torre 5.60	etilbenzeno 3.99	isopreno 1.81
8	nonano	2.36	butano 1.93	pentano 1.45		butano 3.83	butano 1.74
9	1 etil 4 me	2.26	undecano 1.92	3 metil per 1.37		p-xileno 3.60	pentano 1.45
10	1,3,5 trime	2.21	p-xileno 1.82	2 metil 2 b 1.15		1,2,3 trime 3.59	hexano 1.30
11	1,3 butadi	2.15	nonano 1.78	1,3,5 trime 1.13		1 etil 4 me 3.49	benzeno 1.21
12	ciclopent	2.12	1,2,3 trime 1.47	o-xileno 1.00		1 buteno 3.40	1 etil 3 me 1.13
13	p-xileno	1.95	1 etil 3 me 1.33	benzeno 0.93		pentano 2.98	o-xileno 1.09
14	1 penteno	1.89	isopreno 1.31	1,2,3 trime 0.88		nonano 2.94	1,2,3 trime 1.08
15	hexeno	1.79	pentano 1.18	1 etil 3 me 0.79		2 metil per 2.47	undecano 0.70
16	butano	1.76	o-xileno 1.17	m-xileno 0.56		dodecano 2.23	dodecano 0.63
17	dodecano	1.74	isobutano 1.09	undecano 0.45		metil cicloj 2.07	m-xileno 0.61
18	pentano	1.56	dodecano 1.05	09R 28.99		1 metil cic 2.05	decano 0.47
19	etilbenzeno	1.56	1 etil 2 me 0.88			1 etil 3 me 2.02	Cantareira 26.36
20	hexano	1.41	propil benz 0.79			hexano 1.97	
21	1 etil 3 me	1.23	m-xileno 0.78			o-xileno 1.82	
22	2 metil he	1.21	benzeno 0.73			1,1 dimetil 1.69	
23	o-xileno	1.00	09L 39.60			3 metil per 1.66	
24	isobutano	0.95				trans 2 per 1.63	
25	cis 2 buter	0.87				1 etil 2 me 1.57	
26	etilciclohe	0.78				isobutano 1.57	
27	octano	0.75				ciclopent	1.53
28	3 metil he	0.66				benzeno 1.50	
29	1,1,3 trime	0.62				m-xileno 1.43	
30	heptano	0.57				propil benz 1.43	
31	indano	0.53				ciclohexan 1.31	
32	m-xileno	0.48				2 metil 2 b 1.29	
33	limoneno	0.45				isopreno 1.28	
34	trans 2 but	0.14				heptano 1.15	
35	Pátio	60.29				metil ciclol 0.84	
36						trans 2 but 0.83	
37						2 metil he 0.70	
38						etilciclohe 0.60	
39						1,1,3 trime 0.57	
40						Bairro 95.19	

As Figuras 33 e 34 mostram as relações entre os percentuais de micronúcleos da *T. pallida* e os totais de compostos orgânicos voláteis.

Se há um aumento nos totais de COVs, há um aumento de micronúcleo (em porcentagem). Como não ocorreu esta relação para o ponto bairro, foi sugerida a análise através das hastes da *T. pallida*, que com esta técnica demonstrou resultado satisfatório.

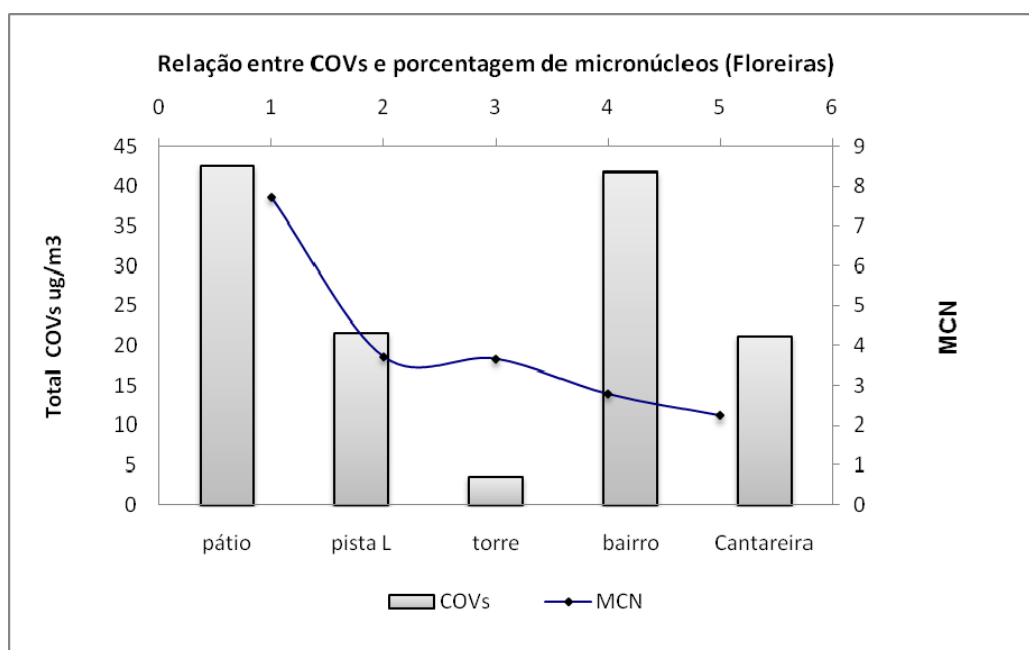


Figura 33. Relação entre os totais de COVs em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por percentagem de micronúcleos da planta *T. pallida* cultivada em floreiras na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro e Cantareira.

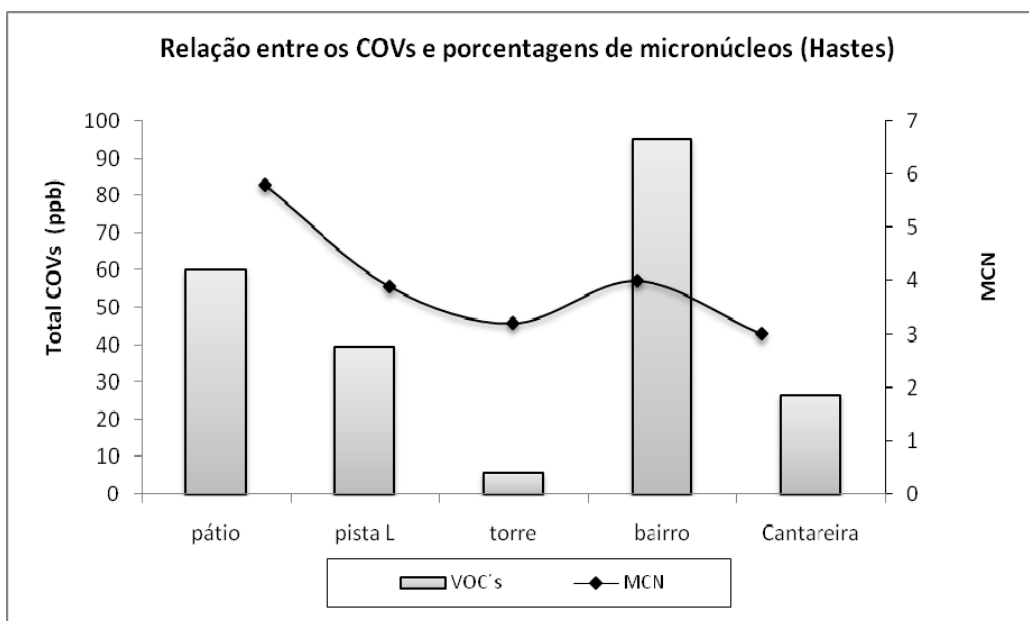


Figura 34. Relação entre os totais de COVs em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por porcentagem de micronúcleos da planta *T. pallida* do experimento com as hastes na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro e Cantareira.

A análise de correlação de Spearman's foi significativa para o coeficiente de correlação igual a 1 para o nível de significância fixado em 1% ($\alpha = 0,01$), contendo os valores dos compostos orgânicos voláteis e os micronúcleos. A Figura 35 mostra a regressão entre os gases encontrados e MCN (%) com $R^2 = .942$.

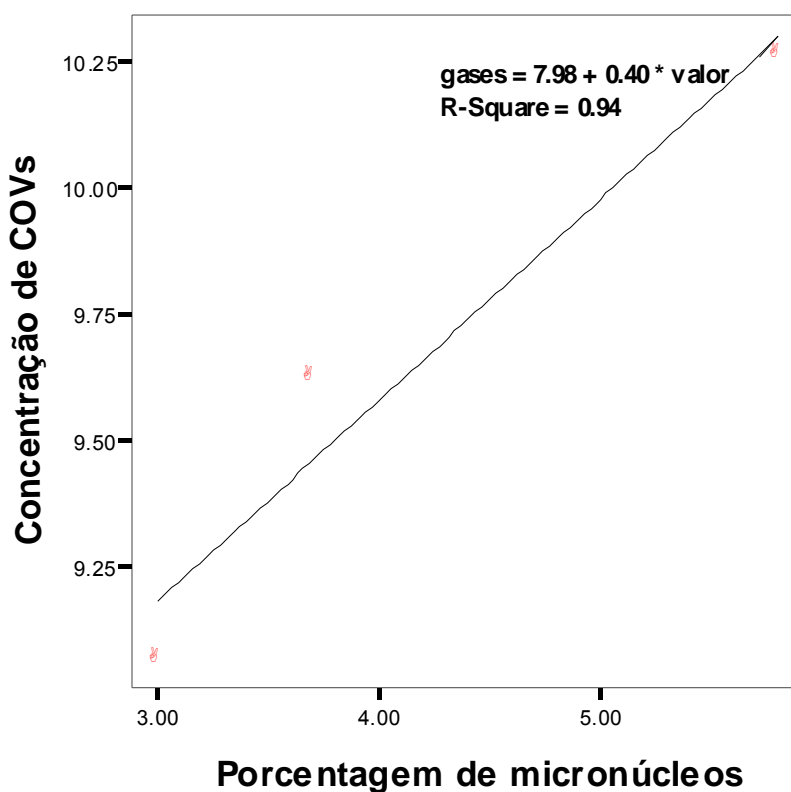


Figura 35. Scatter plot representando a frequência de micronúcleos e as concentrações dos compostos orgânicos voláteis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

5. Discussão

Os processos de desenvolvimento e organização humana vêm gerando cada vez mais novas fontes de contaminação do ar.

Conforme já mencionado, a necessidade de transportes mais rápidos para sustentar a crescente economia dos países em geral, vem aumentando o uso de aeronaves e como consequência elevando os níveis de poluentes. Tal fato só vem piorar as condições ambientais. Estudos com o objetivo de quantificar danos ou alertar quanto aos riscos, são necessários, a fim de que medidas mitigadoras sejam tomadas no sentido de proteger a saúde pública. Assim, o presente estudo se insere num contexto em que poucos estudos têm sido desenvolvidos, e fazendo uso de bioindicadores vegetais, pretende manifestar o seu alerta.

A proposta inicial apresentava a exposição de plantas em floreiras com solo vegetal e medidas de poluição (Material Particulado, Ozônio, Dióxido de Nitrogênio e Compostos Orgânicos Voláteis) para confirmar os dados obtidos pelos bioindicadores vegetais. No entanto, foi necessária uma segunda etapa para confirmação de dados, pois o posicionamento das plantas no ponto bairro mostrou-se inadequado, exigindo uma confirmação dos valores obtidos. Dessa forma, foi desenvolvida uma segunda etapa do estudo em que hastes florais expostas em copo Becker com água puderam confirmar os dados esperados.

A seguir discutiremos cada um dos pontos de exposição buscando correlações.

5.1 Pátio

Os maiores valores obtidos na análise de micronúcleo foram encontrados no ponto pátio. Trata-se do ponto com maior fluxo de aeronaves, as quais se acoplam nos terminais de passageiros. Diversos compostos orgânicos voláteis foram medidos, sendo os mais significativos em ordem decrescente: undecano, 1 buteno, decano, naftaleno, benzeno, tolueno, 1,2,3 trimetil benzeno, nonano, 1 etil 4 metil benzeno, 1,3,5, trimetil benzeno, p-xileno, etilbenzeno, 1 etil 3 metil benzeno, o-xileno e isobutano. Dentre estes, o benzeno é descrito como substância carcinogênica e em uma população de 1 milhão exposta a concentração de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante sua vida, seis desencadeiam leucemia (Harrison, 1998). No pátio a concentração de benzeno foi de $3.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, portanto, um nível elevado se considerarmos essa informação. Os valores de micronúcleo obtidos das plantas expostas nesse ponto apresentaram uma correlação positiva. As investigações sobre a poluição de aromáticos no ar, destacam que os hidrocarbonetos aromáticos voláteis provocam danos à saúde, principalmente devido à toxicidade e/ou mutagenicidade ou carcinogenicidade (Bono et al., 2001). Dentre os hidrocarbonetos aromáticos os mais conhecidos são benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos denominados pela sigla BTEX.

Dadas as condições do aeroporto pode-se supor que os COVs constituem o principal agente a ser responsabilizado pelo aumento no número de micronúcleos, nesse ponto, embora, devemos ressaltar que as concentrações de COVs para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) são ainda maiores (Gatti, 2007).

Os níveis de benzeno durante a década de 90 eram ligeiramente mais elevados na Europa e Ásia. Tal situação ainda se mantém atualmente, devido à substituição do chumbo por benzeno nos combustíveis (sendo permitido até 5% de benzeno). Na América do Norte e Oceania as emissões veiculares apresentam níveis menores de benzeno, devido a uma ação mais efetiva dos conversores catalíticos para controlar as emissões veiculares (Alves, 2007). A concentração de benzeno pode atingir um nível até 100X superior ao de outros ambientes (Scherer et al., 1995) e, por isso, foi realizado o maior número de estudos na área de saúde em ambientes ocupacionais. Os danos à saúde provocados pela exposição ao benzeno podem ser locais ou sistemáticos (Sherwood et al., 1970).

Quanto ao material particulado, o nível medido em Guarulhos pela Cetesb é de $173\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o valor medido neste ponto é de $48,35\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor considerado baixo em relação ao padrão de curto prazo, estabelecidos em $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ diários para a qualidade do ar (EPA, 2006). Como esta área apresenta grande fluxo de ar, há boa dispersão de partículas, não havendo sedimentação.

A análise das folhas de *Tradescantia pallida*, demonstrou ausência de metais pesados, não sendo, portanto encontrado nenhum elemento químico comum ao material particulado proveniente de poluição veicular. No entanto, era esperado que houvesse alguns traços de tais elementos, considerando-se que as aeronaves necessitam de veículos de apoio e estes interferem na qualidade do ar local, (Stacolini, 2000; U.S. DOE, 2001). Assim, os principais compostos encontrados nesse ponto, parecem ser provenientes do querosene

e não de fonte veicular, como demonstram os dados obtidos da análise do material particulado (PM_{10}) para este ponto.

Para análise do ozônio neste ponto, a concentração foi de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não atingindo os $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nível determinado como valor de referência internacional), padrão primário (EPA, 2006). Dentre os precursores de ozônio identificados nesse ponto, (compostos orgânicos voláteis), os de maior destaque são os xilenos, com grande potencial na formação do ozônio (Alvim, 2007).

5.2 Pistas: L (090L) e R (270W)

A pista L é a de maior comprimento (com 3700m) e por isso é a mais utilizada para pousos e decolagens. Na avaliação de quantificação de micronúcleos nas células-mãe de pólen de *Tradescantia*, os resultados obtidos apresentaram um valor estatisticamente significativo quando comparado com o ponto referência. Os valores de COVs medidos neste ponto podem talvez, explicar os números de micronúcleos obtidos. Os compostos encontrados na avaliação deste ponto em ordem decrescente e de maior importância foram: naftaleno, tolueno, etilbenzeno, 1 etil 4 metil, benzeno, 1,3, 5 trimetil benzeno, 1 buteno, p- xileno, 1, 2, 3 trimetil benzeno, 1 etil 3 metil benzeno, isopreno, o-xileno, isobutano, m-xileno.

O xileno possui uma alta capacidade de reação, sendo 24 horas o seu tempo de permanência na atmosfera, enquanto o tolueno bem menos reativo, permanece por dias Carter (2000), Alves (2007). A concentração de ozônio na pista L ($211 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - segundo maior valor apresentado na área do aeroporto),

possivelmente apresenta um valor elevado por causa das concentrações dos precursores de ozônio.

A concentração de material particulado para a pista L é de $48,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quase idêntica ao valor registrado no ponto pátio. Sendo portanto, o material particulado irrelevante, quando se considera os poluentes provenientes de aeronaves. Na decolagem são gastos em torno de 450 litros de querosene e duração de 45 segundos (Boeing, 2002). Assim, maior emissão será de aromáticos, diferentemente da exaustão veicular que libera material particulado.

A pista R apresenta resultados similares à pista L, tanto para os poluentes medidos, quanto para a análise de micronúcleos. Provavelmente por serem muito próximas uma da outra e paralelas.

5.3 Torre

A média de micronúcleos encontrada neste ponto 3.66 % , equipara-se às médias obtidas nas pistas L e R.

Quanto a medida de ozônio, a comparação entre o andar térreo da torre e o local mais elevado (em nosso estudo denominado ponto torre), demonstrou uma diferença estatisticamente significativa com maior média no ponto torre ($284 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O ponto torre apresentou as maiores concentrações médias de ozônio em comparação a todos os demais pontos, e as menores concentrações foram no ponto bairro, significando que quanto maior elevação em microescala vertical, maior a concentração de ozônio (Annes, 2007).

Neste ponto houve uma diminuição na diversidade de compostos orgânicos voláteis, podem ter reagido e contribuído na formação do ozônio, pois autores como Carter (1994) e Kwok (1997) afirmam que xilenos e outros compostos orgânicos voláteis como os mais reativos com relação à formação de ozônio.

5.4 Bairro

As maiores porcentagens de micronúcleos e as maiores concentrações de compostos orgânicos voláteis foram observadas no ponto pátio e bairro quando consideramos os valores da avaliação de micronúcleos com as hastes florais, pois no estudo inicial com as plantas em floreiras, o local de exposição pareceu não adequado quanto à receber a influência dos poluentes locais.

Considerando o total dos compostos orgânicos voláteis, 42% corresponde à soma dos COVs do ponto bairro enquanto que a soma dos COVs para o ponto pátio é 27% do total. A explicação para esse resultado é a presença de COVs mais tóxicos na atmosfera coletada no ponto pátio do que no ponto bairro como é o caso do benzeno que está na quinta posição do ponto pátio e vigésima oitava posição no ponto bairro. Em cidades urbanas como a dos Estados Unidos da América os hidrocarbonetos aromáticos chegam a constituir cerca de 30% dos hidrocarbonetos emitidos na atmosfera (Jeffries, 1995). O benzeno entre outros hidrocarbonetos aromáticos apresenta características carcinogênicas podendo causar mutagenicidade na planta.

5.5 Cantareira

É o ponto de referência por se tratar de uma área de reserva ambiental e ficar distante do aeroporto, do centro do município de Guarulhos e de São Paulo. A direção dos ventos é no sentido aeroporto-Cantareira com um ângulo de 127 graus ao Norte (Figura 36). Tal situação transporta os compostos originários do aeroporto para a Cantareira. No entanto, a porcentagem de micronúcleos encontrada neste ponto mostra os menores resultados do estudo, compatível com os pontos controle dos estudos de Batalha et al. (1999), Suyama et al. (2002), Guimarães et al. (2000), certamente devido à distância. (16Km). Assim, os COVs são transportados do aeroporto até a Cantareira mas chegam lá em baixas concentrações.



Figura 36. Mapa da área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, bairro Santa Cecília e Núcleo Engordador – Parque Estadual da Cantareira.

A soma das concentrações dos compostos aromáticos encontrados em nosso estudo, em comparação com um estudo de Gatti (2007), avaliando um local da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) com predomínio de poluição veicular é praticamente o dobro, ou seja, um local com mais compostos aromáticos provenientes do querosene em relação aos compostos aromáticos provenientes de combustíveis veiculares.

Por este motivo, as misturas gasosas nos Aeroportos são significativamente mais eficientes para formar ozônio; os compostos aromáticos representam os principais precursores de ozônio.

6. CONCLUSÕES

O estudo permitiu detectar uma correlação entre os compostos orgânicos voláteis e o número de micronúcleos encontrados, o qual representa o potencial mutagênico.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Annes, F.L. (2007). Uso de bioindicadores vegetais para avaliação fr poluentes atmosféricos em microescala vertical. Dissertação de Mestrado, FMUSP.

Alquino Neto, F. R; Gioda, A. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. Química Nova, 3, 359-365, 2003.

Alvim D.S. Avaliação do Principais Hidrocarbonetos Precursores de Ozônio na Cidade de São Paulo. Sociedade Brasileira de Química, 2007.

Alves, C., Tomé, M. Assessment Of Air Quality In Viana Do Castelo, Portugal, In The Scope Of The Polis Programme. Química Nova. Jul. 2007, <<http://quimicanova.s bq.org.br/qn/No%20Prelo/Artigos/AR06256.pdf>>, 2007

Atkinson, R.; Carter, W.P.L. Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of ozone with organic compounds under atmospheric conditions. Chem. Rev., 84, 437 – 470, 1984.

Baird, C. Environmental chemistry. New York: W.H. Freeman. 1 v. (various pagings) p.1999.

Bakan et al., 1994, "Controll frequency over Europe from NOAA satellite images". *Annales Geophysicae*.

Barletta, B.; Meinardi, S.; Simpson, I. J.; et al. Mixing ratios of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Karachi, Pakistan. *Atmospheric Environment*, 36, 3429 – 3443, 2002.

Ballestra, P. P.; Field, R.; Saeger, E. De. Interlaboratory exercises for volatile organic compound determination. *Atmospheric Environment*, 35, 5729 – 5740, 2001.

Batalha JR, Guimaraes ET, Lobo DJ, Lichtenfels AJ, Deur T, Carvalho HA, Alves ES, Domingos M, Rodrigues GS, Saldiva PH. 1999. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in Sao Paulo (Brazil) using the *Tradescantia micronuclei* assay. *Mutat Res* 426(2):229-32.

Boeing, 1997, World air travel demand and airplane supply requirements. In: BoeingCommercial Airplane Group, Seattle, WA, USA, 51pp.

Bono, R.; Bugliosi, H.E.; Schiliró, T.; Gilli, G. Ambient Air Levels and Occupational Exposure to Benzene, Toluene, and Xylenes in Northwestern Italy. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 35, 107, 2001.

Brockhagen, D., 1996, Klimaschädlichkeit des Flugverkehrs (Climate Damage Caused by Aviation). In: Greenpeace Germany, Hamburg.

Bustamante, M. M. C. Biomonitoring of heavy metals using higher plants growing at former mining sites. (Doktor der Naturwissenschaften). Geographie-Geowissenschaften, Universität Trier, 1993. 197 p.

Carter, W. P. L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. J. Air Waste Manag. Assoc., 44, 881 – 899, 1994.

Carter, W. P. L. Documentation Of The Sapr-99 Chemical Mechanism For Voc Reactivity Assessment. Final Report to California Air Resources Board Contract n.º 92-329, and (in part) 95, 2000.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2004. São Paulo, Brasil, 2005.

Castanho, A. D. A. (1999). A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IF-USP.

- Ccoyllo, O. R. (2002). Identificação da contribuição das fontes locais e remotas de poluentes na Região Metropolitana de São Paulo . Tese de Doutorado, IAG-USP
- CETESB, 2006, Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2005, série ISSN 0103-4103.
- Chameides, W. L.; Fehsenfeld, F.; Rodgers, M. O.; Cardelino, C.; Martinez, J.; Parrish, D.; Lonneman, W.; Lawson, D. R.; Rasmussen, R. A.; et al. Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 97D5, 6037 – 55, 1992.
- Chan, C-C.; Ozkaynak, H.; Spengler, J. D.; Sheldon, L. Driver exposure to volatile organic compounds, CO, ozone, and NO₂ under different driving conditions. *Environ. Sci. Technol.*, 25, 964 – 972, 1991.
- Chant, C., 1975, *Aircraft: Fighters and bombers in action*, London, England, UK., Octopus Books Limited.
- Colon, M.; Pleil, J. D.; Hartlage, T. A.; et al. Survey of volatile organic compounds associated with automotive emissions in the urban airshed of São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, 35, 4017 – 4031, 2001.

Cox, L.A., Ricci, P.F., 1992. Reassessing benzene cancer risks using internal doses. *Risk Analysis* 12, 401–410.

Daughtrey, E. H.; Oliver, K. D.; Adams, J. R.; et al. A comparison of sampling and analysis methods for low – ppbC levels of volatile organic compounds in ambient air. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(1), 166 – 174, 2001.

Davies, R. E. G., 1984, *Airlines of Latin America since 1919*. In: Smithsonian Institute Press, Washington D.C., United States of America.

Derisio, J. C. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. 2. ed. São Paulo, Signus Editora, 2000, p. 87 e 116.

Doskey, P. V.; Bialk, H. M. Automated sampler for the measurement of nonmethane organic compounds. *Environ. Sci. Technol.*, 35, 591 – 594, 2001.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, www.epa.gov, 2006

Ferreira MI, Petrenko H, Lobo DJ, Rodrigues GS, Moreira A, Saldiva PH. 2000. In situ monitoring of the mutagenic effects of the gaseous emissions of a solid waste incinerator in metropolitan Sao Paulo, Brazil, using the Tradescantia stamen-hair assay. J Air Waste Manag Assoc 50(10):1852-6.

Finlayson-Pitts, B. J.; Pitts, Jr.; J. N. Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques, USA: John Willey & Sons, 1986.

Fomin, A.; Paschke, A.; Arndt, U. Assesment of the genotoxicity of mine-dump material using the Tradescantia stamen hair (Trad-SHM) and the Tradescantia -micronucleus (Trad-MCN) bioassays. Mutat. Res., v. 426, p. 173-81, 1999.

Gatti, Luciana V. Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis na atmosfera da cidade de São Paulo. Sociedade Brasileira de Química, 2007.

Godefroid, L. B., 1993, Propagação de Trinca por Fadiga sob Carregamento com Amplitude Constante e Variável em Ligas de Alumínio para Indústria Aeronáutica. Tese de M.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- Grant, W. F., Lee, H. G., Logan, D. M. and Salamone, M. F. The use of *Tradescantia* and *Vicia faba* bioassays for the in situ detection of mutagens in an aquatic environment. *Mutat Res*, v.270, n.1, Nov 1, p.53-64. 1992.
- Grosjean, D.; Miguel, A. H.; Tavares, T. M. Urbana air pollution in Brazil: acetaldehyde and other carbonyls. *Atmospheric Environment*, 24B, 101 – 106, 1990.
- Guimaraes ET, Domingos M, Alves ES, Caldini N, Lobo DJ, Lichtenfels AJ, Saldiva PH. 2000. Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of Sao Paulo (Brazil) with the *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) assay. *Environ Exp Bot* 44(1):1-8.
- Guimaraes ET, Macchione M, Lobo DJ, Domingos M, Saldiva PH. 2004. Evaluation of the mutagenic potential of urban air pollution in Sao Paulo, Southeastern Brazil, using the *Tradescantia* stamen-hair assay. *Environ Toxicol* 19(6):578-84.
- Harrison, R. M. In *Air Pollution and Health, Issues in Environmental Science and Technology*; Hester, R. E.; Harrison, R.M., eds.; The Royal Society of Chemistry: Cambridge 1998; 57–73.

Ho, K. F.; Lee, S. C.; Chiv, G. M. Y. Characterization of selected volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and carbonyl compounds at a roadside monitoring station. *Atmospheric Environment*, 36, 57 – 65, 2002a.

Ho, K. F.; Lee, S. C.; Louie, P. K.; et al. Seasonal variation of carbonyl compound concentrations in urban area of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 36, 1259 – 1265, 2002b.

Hodgson, A. T.; Daisey, J. M.; Grot, R. A. Sources and source strengths of volatile organic compounds in a new office building. *J. Air Wastw Manage. Assoc.*, 41, 1461 – 1468, 1991.

Ichikawa, S. In situ monitoring with *Tradescantia* around nuclear power plants. *Environ Health Perspect*, v.37, Jan, p.145-64. 1981.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária, <http://www.infraero.com.br>, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch>, 2005

- Jeffries, H.E. Photochemical Air Pollution. IN: H.B. SINGH, Composition, Chemistry and Climate of the Atmosphere. Van Nostrand Rheinhold, New York, NY, 1995.
- Klug, H. G., Bakan, S., Gaylor, V., 1996, "Cryoplane - Quantitative comparison of contribution to anthropogenic greenhouse affect of liquid hydrogen aircraft versus conventional kerosene aircraft". In: European Geophysical Society, XXI General Assembly, The Hague, The Netherlands, pp. 22, May.
- Klumpp, A. Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. In: N. B. M. Maia, H. L.; Barrella, W. (Ed.). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: Educ/Comped/Inep, p.77-94. Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. 2001.
- Knasmuller, S.; Gottmann, E.; Steinkellner, H.; Fomin, A.; Pickl, C.; Paschke, A.; God, R.; Kundi, M. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays. *Mutat. Res.*, v. 420, p. 37-48, 1998.

Kwok, Esc., Aschmann, S.M., Atkinson, R., Arey, J. Products of the gas-phase reactions of o-, m-, and p-xilene with the OH radical in the presence and absence of NO_x. Journal of the Chemical Society Faraday Transactions 93(16), 2847 – 2854, 1997.

Lodge, J. P. Methods of air sampling and analysis: Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc.; pp.; 1989. 763 p.1989.

Longo, K. M., Thompson, A. M., Kirchhoff, V. W. J. H., Remer, L. A., Freitas, S. R., DIAS, M. A. F. S., Artaxo, P., Hart, W., Spinhirne, J. D., Yamasoe, M. A. (1999). Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B). Journal of Geophysical Research, Volume 104, Issue D10, 12113-12130.

Loreiro, A. L., Ribeiro, A. C. Artaxo, P., Yamasoe, M. A. (1994). Calibration of reflectometer system to measure black carbon and field intercomparison in the Amazon Basin. 5th International Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere, Berkley, Califórnia, USA.

Lorenzi, H. and Souza, H. M. Plantas Ornamentais do Brasil. Nova Odessa: Planatarum. 1088 p. 2001.

- Ma TH. 1981. Tradescantia micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. Environ Health Perspect 37:85-90.
- Ma TH, Cabrera GL, Cebulska-Wasilewska A, Chen R, Loarca F, Vandenberg AL, Salamone MF. 1994a. Tradescantia stamen hair mutation bioassay. Mutat Res 310(2):211-20.
- Ma TH, Cabrera GL, Chen R, Gill BS, Sandhu SS, Vandenberg AL, Salamone MF. 1994b. Tradescantia micronucleus bioassay. Mutat Res 310(2):221-30.
- Ma, T.H.; Harris, M.M.; Anderson, V.A.; AHMED, I.; Mohammad, K.; Bare, J.L; LIN, G. Tradescantia - micronucleus (Trad-MCN) tests on 140 health-related agents. Mutat. Res., v. 138, p. 157-167, 1984.
- Martins, L. C., Latorre Mdo, R., Cardoso, M. R., Gonçalves, F. L., Saldiva, P. H. and Braga, A. L. Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in Sao Paulo, Brazil. Rev Saúde Pública, v.36, n.1, Feb, p.88-94. 2002.
- Miguel, A. H. Environmental pollution research in south america. Environ. Sci. Technol., 25, 590 – 594, 1991.

Mohamed, M. F.; Kang, D.; Aneja, V. P. Volatile organic compounds in some urban location in United States. *Chemosphere*, 47, 863 – 882, 2002.

Na, K.; Kim, Y. P.; Moon, K. C. Diurnal characteristics of volatile organic compounds in the seoul atmosphere. *Atmospheric Environment*, 37, 733 – 742, 2003.

Nascimento Filho, V. F. Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF). <<http://www.cena.usp.br/apostilas/Virgilio/CEN-5723> EDXRF_TXRF.doc> 15 de agosto, 2006.

PEREIRA, L. A. A. Associação entre poluição atmosférica e perdas fetais tardias no município de São Paulo. (Doutorado). Univeridade de São PAulo, São Paulo, 1999. 150 p.

PETROBRÁS, <http://www.petrobras.com.br/portal/produtos.html>, [2005 may-20]

Quintero, Y., Camargo, M., Puente, J. and Parra, A. Q. Metodo fotometrico para la determinación de la concentración de ozono atmosferico. *Revista Bistua*, v.Edicion especial, p.12-18. 2004.

- Restivo, F. M., Laccone, M. C., Buschini, A., Rossi, C. and Poli, P. Indoor and outdoor genotoxic load detected by the Comet assay in leaves of *Nicotiana tabacum* cultivars Bel B and Bel W3. *Mutagenesis*, v.17, n.2, Mar, p.127-34. 2002.
- Robbins, S.L.; Cotran, R.S.; Kumar, V. *Patologia Básica*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1992.
- Rodrigues, G. S., MA, T. H., Pimentel, D. and Weinstein, L. H. *Tradescantia* bioassays as monitoring systems for environmental mutagenesis : A review. *Critical reviews in plant sciences*, v.16, n.4, p.325-359. 1997.
- Rodrigues, G. S., Madkour, S. A. and Weinstein, L. H. Genotoxic activity of ozone in *Tradescantia*. *Environmental and Experimental Botany*, v.36, n.1, p.45-50. 1996.
- Saldiva, P. H., Lichtenfels, A. J., Paiva, P. S., Barone, I. A., Martins, M. A., Massad, E., Pereira, J. C., Xavier, V. P., Singer, J. M. and Bohm, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ Res*, v.65, n.2, May, p.218-25. 1994.
- Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change*, USA: John Willey & Sons, 1988.

Scatolini, F. Aviação Civil e Poluição Atmosférica, Causas, Efeitos e Políticas de Controle. Anais Comunicações Técnicas do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Porto Alegre, RS, pp. 49 a 54, 2000.

Schaeffer, R. Developing Countries e Global Climate Change Pew Center on Global Climate Change, U.S.A., 2000.

Scherer, G.; Ruppert, T.; Danbe, H.; Kossien, I.; Riedel, K.; Tricker, A.R.; Adikofer, F. Uptake of tobacco smoke constituents on exposure to environmental tobacco smoke (ETS). Environ. Int. 21, 779, 1995.

Sherwood, R.J.; Carter, F.W.G., The measurement of occupational exposure to benzene vapour. Ann.Occup. Hyg. 13,125 -146, 1970.

Suyama F, Guimaraes ET, Lobo DJ, Rodrigues GS, Domingos M, Alves ES, Carvalho HA, Saldiva PH. 2002. Pollen mother cells of Tradescantia clone 4430 and Tradescantia pallida var. purpurea are equally sensitive to the clastogenic effects of X-rays. Braz J Med Biol Res 35(1):127-9.

Tesseraux, I. Risk factors of jet fuel combustion products. Toxicology Letters, Volume 149, Issues 1-3, 1 April 2004, Pages 295-300.

Tanner, R. L.; Miguel, A. H.; Andrade, J. B.; Gaffney, J. S.; Streit, G. E. Atmospheric chemistry of aldehydes: enhanced peroxyacetyl nitrate formation from ethanol-fueled vehicular emissions. *Environ. Sci. Technol.*, 22, 1026 – 1034, 1988.

Tolnai, B.; Hlavay, J.; Möller, D.; et al. Combination of canister and solid adsorbent sampling techniques for determination of volatile organic hydrocarbons. *Microchemical Journal*, 67, 163 – 169, 2000.

USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network –(GRIN). Taxonomy information [on line]. National Germplasm Resources Laboratory. Beltsville, Maryland; URL:<http://www.ars-grin.gov/cgi-in/npgs/html/taxon.pl?407023>[2001 set 17]

US.DOE Airport-based Alternative Fuel Vehicles Fleets , U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Battelle, Bechtel, USA, 2001.

U.S.EPA. Compendium Method TO-14 Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air Using Specially Prepared Canisters with Subsequent Analysis by Gas Chromatography, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH 45268.

Vasconcellos, P. C.; Miguel, A. H. Poluição do ar em ambientes internos: medições simultâneas de carbono total e fuligem em aerossóis. 175 Livro de resumos, 16th Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Química, Caxambu, MG, Brasil, 1993.

Vedanthan, A., Oppenheimer, M., 1998, "Long term scenarios for aviation: Demand and Emissions of CO₂ and NO_x", Energy Policy, v. 26, pp. 625-641.

Watts, R.; Fitzgerald, B.; Hell, G.; Garabedian, H.; Williams, R.; Warren, S.; Franklin, L.; Lewtas, J. Use of bioassay methods to evaluate mutagenicity of ambient air collected near a municipal waste combustor. Journal of the Air Pollution Control Association, v.39, p.1436-1439, 1989.

Wolf, K. A.; Yazdani, A.; Yates, P. Chlorinated solvents: will the alternative be safer? J. Air Waste Manage. Assoc., 41, 1055 – 1061, 1991.

Yamasoe, M. A. (1994). Estudo da composição elementar e iônica de aerossóis emitidos em queimadas na Amazônia. Dissertação de Mestrado, IF – USP.