

**PAULO AFONSO DE ANDRÉ**

**Câmara de Topo Aberto, CTA : construção e uso  
para observação de potencial tóxico da poluição  
atmosférica urbana com bioensaios em plantas**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da  
Universidade de São Paulo para a obtenção do  
título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Fisiopatologia Experimental

Orientador: Prof. Dr. Alfésio Luís Ferreira Braga

**SÃO PAULO**

**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Preparada pela Biblioteca da  
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

André, Paulo Afonso de

Câmara de Topo Aberto, CTA : construção e uso para observação de potencial tóxico da poluição atmosférica urbana com bioensaios em plantas / Paulo Afonso de André. -- São Paulo, 2007.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Fisiopatologia Experimental.

Orientador: Alfésio Luís Ferreira Braga.

Descritores: 1.Câmaras de exposição atmosférica 2.Toxicologia 3.Poluição do ar 4.Bioensaios 5.*Tradescantia*/toxicidade

USP/FM/SBD-176/07

“Numa noite o Universo perdeu  
seu ponto central;  
na manhã seguinte tinha  
uma infinidade deles, de modo que hoje,  
qualquer um  
e portanto nenhum,  
pode ser visto como sempre.”

(Trecho da peça *Galileu Galilei*  
de Bertold Brecht)

**Dedico este trabalho à minha esposa e meus  
filhos, lastros essenciais de minha alma,  
cúmplices do meu dia a dia e razão maior de  
minha existência.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, no reconhecimento de minha ignorância, ter colocado ao meu redor tantas pessoas para me auxiliar e amparar em todos os momentos difíceis que passei, quanto me apoiar nesta jornada.

Agradeço especialmente à Carmen, esposa, companheira e cúmplice em mais este projeto de vida, de quem não faltou estímulos, incentivos ou apoio, essenciais ao se enfrentar o desafio desta tese, colocando ainda ao meu alcance não só os conhecimentos científicos que acumulou em sua própria vida acadêmica, mas também o conforto do lar e da família. Soube não dividir, mas multiplicar as oportunidades em que mesmo no convívio da família pudemos discutir cada detalhe do trabalho, dos dados iniciais às conclusões finais.

Aos meus filhos, Marina e Luiz Guilherme, meus verdadeiros tesouros, fonte de aprendizado e luz de alegria, mostrando com seus próprios exemplos de vida que não existem limites estabelecidos às nossas potencialidades, cabendo a cada um de nós expandir horizontes e encontrar caminhos para as nossas realizações. Testemunho em vocês o desabrochar do espírito, a formação de suas individualidades, a fome de aprender e o quão importante é a família para esse florescimento enquanto, em contrapartida, vocês nos nutrem com sua vitalidade e ampliam nossos horizontes com seus questionamentos e seu desabrochar.

Ao Prof. Dr. Alfésio Luís Ferreira Braga, orientador nesta tese e parceiro em tantos projetos desde 1998 quando iniciamos nosso convívio acadêmico e pessoal, que aceitou assumir a árdua tarefa de me orientar em um tema contendo alguns tópicos de engenharia e biologia. A sua postura franca, aberta e sempre disponível, mesmo durante seus plantões e viagens, meus agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva, capaz de reconhecer e semear os potenciais acadêmicos em uma pessoa, contagiando a todos com seu entusiasmo pela pesquisa, o gosto pelo questionamento, sempre tornando a convivência rica, mas principalmente emocionante, qual montanha russa, ao não se dignar a “sossegar a periquita” até encontrar o caminho do conhecimento. Sua visão, capacidade transformadora, espírito solidário e inesgotável capacidade mobilizadora fizeram com que esta tese se materializasse em todas as suas etapas. Sua colaboração específica se estendeu ainda à leitura de lâminas, o que foi feito durante vários dias, provavelmente, entre as 23 h e 6h da manhã, além de ceder seu próprio sítio para a cultura dos espécimes vegetais utilizados no experimento.

Ao Prof. Dr. György Miklós Böhm, aposentado na FMUSP há alguns meses, mas cujo exemplo de dedicação, seriedade e postura deixa em todos que com ele conviveram nesta escola, uma marca profunda e perpétua.

Aos professores Dra. Marisa Dolhnikoff, Dra. Maria de Fátima Andrade e Dr. Marcos Abdo Arbex, membros de minha banca de qualificação, pelos importantes comentários e considerações feitos.

À Dra. Débora-Jã de Araújo Lobo pelo auxílio em todas as etapas experimentais e laboratoriais, dos cuidados com as plantas, coletas de materiais, até a preparação e leitura de lâminas. Agregou a qualidade indispensável aos procedimentos envolvidos neste trabalho, além das sugerir comentários ao texto final da tese.

Às pesquisadoras Profa. Dra. Regiani Carvalho de Oliveira e Profa. Angélica Barganha Ferreira, pela realização da análise elementar por fluorescência de raio-X, agregando seu *expertise*, esforço e tempo neste projeto. Tampouco pode ser esquecida a colaboração com artigos dessa técnica laboratorial e comentários apropriados ao texto final da tese.

A Profa. Dra. Ana Júlia de Faria Coimbra Lichtenfels, pelo incansável trabalho de amostragem de material particulado, expandindo suas atribuições para suprir, dia a dia, as trocas de filtros e pesagens necessárias.

Ao Sr. Hélio Ramos de Jesus, jardineiro em Caucaia do Alto, pela preparação e cuidados com as plantas utilizadas neste experimento.

Aos colegas do LPAE, pesquisadores, técnicos, colaboradores, secretárias, enfim, todos que direta ou indiretamente incentivaram e apoiaram este trabalho.

Aos meus padrinhos, pela dedicação e exemplo de luta e perseverança na vida, imagens vivas em minha memória.

Ao meu pai (*in memoriam*) e minha mãe, pela preocupação e zelo na condução de minha educação e apoio na vida, criando as bases para me lançar muito além do que lhes foi possível ir em vida. Sua presença em todas essas etapas, o orgulho estampado em suas feições cada vez que alcancei um novo degrau deixa em mim uma felicidade que não pode ser descrita, mas apenas ser objeto do mais profundo agradecimento não só como filho, mas como ser humano. Minha alegria e minhas saudades.

## Sumário

Resumo

Summary

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	A origem do homem.....	1
1.2	O homem e seu ecossistema.....	2
1.3	A sociedade urbana em expansão.....	4
1.4	O homem e a poluição.....	5
1.5	A busca do desenvolvimento sustentável.....	9
1.5.1	Os estudos epidemiológicos.....	10
1.5.2	Os estudos toxicológicos.....	12
1.6	Bioensaios.....	17
1.7	Bioensaios em câmaras de topo aberto.....	20
2	OBJETIVOS.....	23
2.1	Objetivo geral.....	23
2.2	Objetivos específicos.....	23
3	MÉTODOS.....	25
3.1	Câmara de topo aberto – CTA.....	25
3.1.1	Princípio de funcionamento.....	26
3.1.2	Câmara de exposição.....	27
3.1.3	Sistema de filtragem.....	29
3.1.4	Unidade de insuflamento.....	33
3.1.5	Sistema de iluminação.....	34
3.1.6	Sistema de umidificação.....	34
3.2	Espécimes vegetais.....	35
3.2.1	Tradescantia pallida cv. purpurea.....	36
3.2.2	Tradescantia clone 4430.....	36
3.2.3	Tradescantia clone KU20.....	37
3.2.4	Preparação do substrato.....	38
3.3	Caracterização ambiental.....	39
3.3.1	Concentração do material particulado.....	39
3.3.2	Monitoramento ambiental.....	44



3.4	Análise do material acumulado em folhas .....	46
3.4.1	Coleta e preparação da amostra .....	46
3.4.2	Análise por Fluorescência de Raio-X .....	47
3.5	Análise de mutação em inflorescência .....	51
3.6	Análise de aborto em grão de pólen.....	52
3.7	Análise de toxicidade em pêlos estaminais.....	54
3.8	Protocolo de exposição .....	55
3.9	Análise estatística .....	56
4	RESULTADOS .....	57
4.1	Preparação do sistema .....	57
4.2	Início da campanha de exposição .....	61
4.3	Monitoramento ambiental.....	62
4.4	Material acumulado em folhas .....	67
4.5	Mutação em inflorescência.....	71
4.6	Mutação em grão de pólen.....	73
4.7	Toxicidade em pêlo estaminal.....	75
4.8	Vitalidade dos espécimes vegetais .....	77
5	DISCUSSÃO .....	79
6	CONCLUSÕES.....	87
7	ANEXOS.....	89
	ANEXO A: Dados da coleta de Material Particulado 2,5 µm .....	90
	ANEXO B: Dados diários da concentração de Material Particulado 10 µm, Temperatura (máxima e mínima), Umidade Relativa do ar (máxima e mínima), Pressão Atmosférica média e Índice pluviométrico acumulado .....	92
	ANEXO C: Dados obtidos na análise por FRX .....	94
8	REFERÊNCIAS .....	95

## Lista de Figuras

- Figura 1** - Esquema da câmara de topo aberto – CTA, identificando cada um dos sistemas que o compõe e o fluxo do ar.....27
- Figura 2** - Vista em corte do sistema de filtragem com a identificação de cada seção de filtragem do ar.....30
- Figura 3** - Imagem da direita apresenta os componentes do coletor de material particulado, composto por (1) coletor, (2) válvula agulha, (3) bomba de vácuo, (4) totalizador de vazão e (5) medidor de vazão, enquanto na imagem da esquerda é apresentado o coletor desmontado.....40
- Figura 4** - Imagem da planilha para registro das pesagens dos filtros utilizados na amostragem de MP2,5 desenvolvidas no aplicativo MS-Excel.....42
- Figura 5** - Imagem da planilha de campo para registro da exposição de filtros coletores de MP2,5. ....43
- Figura 6** - Imagem da planilha para registro das amostragens e cálculo da concentração de MP2,5 desenvolvidas no aplicativo MS-Excel .....44
- Figura 7** - Detalhe da instalação dos suportes de madeira, com cordas, dentro da Câmara de Topo Aberto, com a colocação das floreiras com plantas.....58
- Figura 8** - Vista dos suportes de madeira, com cordas, dentro da Câmara de Topo Aberto, com a colocação das floreiras de plantas .....58
- Figura 9** - Vista da colocação dos filtros de ar no sistema de filtragem de ar da Câmara de Topo Aberto. ....58
- Figura 10** - Detalhe dos estrados com proteção de sombrite 50%, com a colocação das floreiras com os espécimes vegetais. ....60
- Figura 11** - Sistema de coleta de material particulado instalado para o monitoramento da concentração de MP2,5 no ambiente externo à Câmara de Topo Aberto.....60
- Figura 12** - Concentrações médias diárias de MP2,5 do ar Filtrado (PM2,5\_F), Não filtrado (PM2,5\_NF) e de MP10 (PM10), no período de 07.dez.06 a 05.fev.07, em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  .....64

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

