



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA**

**NILMARA DE OLIVEIRA ALVES**

**GENOTOXICIDADE E COMPOSIÇÃO DO MATERIAL  
PARTICULADO EMITIDO PELA QUEIMA DE BIOMASSA:  
UM ESTUDO DE CASO EM TANGARÁ DA SERRA, REGIÃO DA  
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

**NATAL-RN  
2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**NILMARA DE OLIVEIRA ALVES**

**GENOTOXICIDADE E COMPOSIÇÃO DO MATERIAL  
PARTICULADO EMITIDO PELA QUEIMA DE BIOMASSA:  
UM ESTUDO DE CASO EM TANGARÁ DA SERRA, REGIÃO DA  
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao  
Departamento de Bioquímica da  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em  
Bioquímica.

**Orientador(a):** Silvia Regina Batistuzzo  
de Medeiros

**NATAL – RN  
2010**

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial do Centro de  
Biociências

Alves, Nilmara de Oliveira.

Genotoxicidade e composição do material particulado emitido pela queima  
de Biomassa: um estudo de caso em Tangará da Serra, Região da Amazônia  
Brasileira / Nilmara de Oliveira Alves. – Natal, RN, 2010

76f. : Il.

Orientadora: Sílvia Regina Batistuzzo de Medeiros.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.  
Centro de Biociências. Departamento de Bioquímica.

1. Genotoxicidade – Dissertação. 2. Alcanos – Dissertação. 3.  
Material Orgânico – Dissertação. 4. Amazônia Legal – Dissertação  
I. Medeiros, Sílvia Regina Batistuzzo de. II. Universidade Federal  
do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE-CB

CDU 504.5

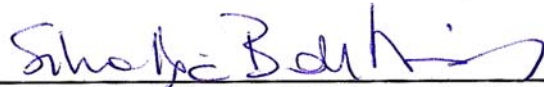
NILMARA DE OLIVEIRA ALVES

**GENOTOXICIDADE E COMPOSIÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO EMITIDO  
PELA QUEIMA DE BIOMASSA EM TANGARÁ DA SERRA, REGIÃO DA  
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Bioquímica.

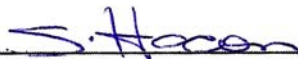
Aprovado em: 10/03/2010

**BANCA EXAMINADORA**




---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sílvia Regina Batistuzzo de Medeiros  
Departamento de Biologia Celular e Genética - UFRN  
Orientadora



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sandra de Souza Hacon  
Escola Nacional de Saúde Pública- FIOCRUZ- RJ  
1º Examinador



---

Prof. Dr. Elizeu Antunes dos Santos  
Departamento de Bioquímica – UFRN  
2º Examinador

*Dedico este trabalho*

*Aos meus pais, Rafael e Maria Francisca que são a base da minha vida*

*Ao Rafael Filho, Silmara e Hayden*

*A Prof. Silvia Batistuzzo*

*Aos amigos Marcos Felipe, Thiago Cabral, Jailma, Cinthia, Cristina e Norberto  
que nunca me deixaram sozinha nessa caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Posso lembrar como se fosse hoje... Há alguns anos atrás, eu estudando e trabalhando para finalizar o curso de Biologia, mas junto às dificuldades e conquistas eu tinha meus sonhos e um deles era ter a chance de fazer um mestrado e trabalhar na área que eu já amava. Muitos foram os “não”, muitas foram às vezes que chorei... Mas não desisti e consegui a primeira oportunidade aqui na UFRN e posso dizer que não foi fácil, mas EU CONSEGUI! Mais difícil ainda foi deixar todas as pessoas que amo em Teresina e seguir meu caminho. Em um lugar que mal conhecia, busquei forças nos meus ideais e nos alicerces que guiam todas as minhas decisões. Aqui fiz grandes amizades e certamente com essa nova família as dificuldades se tornaram menores. Também consegui realizar um lindo trabalho que foi um desafio, mas que não medi esforços para finalizá-lo. Apesar dos dias árduos e tristes que surgiram, hoje olho para trás e afirmo que tudo valeu à pena. Quando temos uma meta apaixonante, a que era um obstáculo passa a ser apenas uma etapa. Mas a realização desse sonho não teria sido possível sem a ajuda de pessoas que de alguma forma contribuíram para essa formação. Portanto, agradeço...

*A Deus, por estar sempre comigo em todos os momentos da minha vida. A fé e a certeza de que sou uma pessoa iluminada me ajudaram a finalizar mais essa etapa e me encoraja a continuar a seguir esse caminho.*

*Aos amores da minha vida, Rafael e Maria Francisca, pelo apoio incondicional, pelo amor e admiração que alimenta todos os dias a minha vontade de vencer. Vocês sabem o quanto eu sinto a falta de vocês... Foi muito difícil dormir por várias noites e não poder ter aqueles cuidados que eram rotina na minha vida. Doeu mais ainda não poder abraçar vocês nos momentos difíceis, nas perdas e decepções que vocês tiveram; mas em nenhum dia desses dois anos que aqui estive eu deixei de rezar e de pensar em vocês. Saibam que os problemas que surgiram foram minimizados, porque eu tenho VOCÊS do meu lado.*

*Aos meus irmãos, Silmara e Rafael Filho; ao meu cunhado, Hayden; por terem acreditado nos meus sonhos e por terem fortalecido as minhas decisões. Quero deixar um espaço especial para a Sil, pois sei o quanto ela sofreu com a distância. Em todas as despedidas, eu não acompanhava o teu choro no meu colo, porque eu precisava ser forte e demonstrar que eu quero te ver feliz sempre, mas só eu sabia... Não importa onde eu estiver, saibam que eu sempre estarei do lado de vocês!*

*A Prof Silvia, por ter me dado a chance de realizar esse sonho. Aqui registro a tua simplicidade e humildade por ter me recebido de braços abertos sem me conhecer e por ter*

*acreditado na minha vontade de vencer. Falo isso porque muitos pesquisadores ignoraram o meu interesse por ser piauiense e por outros motivos supérfluos. Eu jamais irei esquecer isso. Foi muito bom ter passado esses dois anos no seu grupo e posso afirmar que muito aprendi com todas as responsabilidades passadas, com os erros e acertos, com os gestos de caridade, com as nossas conversas e com a liberdade de fazer e guiar esse lindo trabalho.*  
*Muito obrigada!*

*À minha amiga e companheira de apartamento, **Kelly Pansard**. Contigo dividi todos os momentos da minha vida aqui em Natal e aprendi a me tornar uma pessoa melhor. Rimos e choramos juntas por inúmeras vezes; chegávamos cansadas, mas sempre tínhamos que ter o nosso momento de como tinha sido o dia; passamos dificuldades, mas sempre sabíamos que tínhamos uma a outra. Planejamos e realizamos sonhos e sempre buscamos o melhor. Não tenho palavras para te agradecer, mas posso te afirmar que você foi essencial nessa caminhada. Eu quero te ver muito feliz, porque você,*  
*MERCE!*

*Ao **Alexandre**, que é uma pessoa mais que especial. Você apareceu no momento em que eu mais te procurava! Obrigada por ter feito a minha vida ficar melhor, obrigada por todos os momentos de felicidade compartilhados. A tua paciência perante os momentos mais difíceis fizeram diferença. A tua força, admiração e amor me deram suporte para terminar esse trabalho. Agradeço também pela ajuda no inglês que foi fundamental para que tudo desse certo. Muito obrigada!*

*Ao **Seu Milson e D. Navriman** pelo carinho e pelos ensinamentos que contribuíram para o fortalecimento dessa jornada. Vocês são muito especiais e fico feliz em ter tido a oportunidade de conhecê-los. Prof. Milson Gouvêia, o senhor foi essencial nesse trabalho. Mesmo diante dos seus compromissos diários, você reservou um tempo para fazer a estatística dessa pesquisa, com um intuito apenas de me ajudar! Não tenho palavras para lhe agradecer, pois sem a sua ajuda, tudo seria mais difícil!*

*Aos meus grandes amigos, irmãos de coração, **Marcos Felipe e Thiago Cabral**; os meus infinitos agradecimentos pelo acolhimento, pelos ensinamentos, por terem ficado do meu lado durante todo esse trabalho. Saibam que a sabedoria, as palavras amigas, as discussões em torno das minhas dúvidas, a parceria, as histórias de vida me ajudaram nos momentos mais difíceis e contribuíram para todas as vitórias... Sem vocês, nada disso seria possível. Certamente uma das maiores conquistas nesse período foi ter conhecido pessoas como vocês.*



*A todos que formam o LAMA e o LBME, o meu profundo agradecimento pela convivência diária, pelas amizades conquistadas e ajuda em todas às vezes solicitadas. Agradeço especialmente à Bia Mesquita, que é uma amiga muito especial. As nossas conversas, as nossas brincadeiras, as nossas risadas...jamais serão esquecidas; ao Edson Caio, grande amigo e companheiro. Você me ensinou muitas coisas ... A tua amizade é muito valiosa; a Déborah Afonso, pelas inúmeras conversas compartilhadas e pelo grande carinho; à Anuska, que chegou e já conquistou um lugar especial com o seu jeito meigo de ser; ao Daniel Andrade, pelo apoio e amizade; à Jana, pela simpatia e atenção e ao Herbert pelos ensinamentos.*

*À Talita, Cintia Higashi e toda sua família que me deram total apoio em todo o processo seletivo e na início dessa caminhada. Vocês têm o meu carinho especial.*

*Obrigada mais uma vez!*

*Ao Prof Roberto, que sempre me ajudou e abriu as portas do seu laboratório. Obrigada pela força!*

*À D. Margarita e ao Prof Elizeu, pelo apoio concedido em todas as situações solicitadas.*

*Ao Prof Luís, por ter ajudado a turma quando nos concedeu sua sala para estudarmos e por toda os momentos de apoio.*

*À Viviane Amaral, pela amizade, pelas conversas e conquistas compartilhadas, por ter acredito em mim desde o início. Você sempre será a minha orientadora de coração.*

*À Lucília, Leo, Liliane, Michelle, Ana Mara e Paulo, que me receberam em São Paulo e contribuíram nesse sonho. Ter conhecido vocês foi um grande presente em minha vida.*

*Ao BJOPEL que sempre me receberam de braços abertas...Prof Hugo, tive a oportunidade de conhecer o grande orientador amigo e eu me sinto feliz em ter compartilhado momentos mais que especiais. Aqui deixo um agradecimento especial a Mariana, Cinthia, Raniere, Popó, Ned e Jailma que é uma amiga incondicional. Não há palavras suficientes para dizer o grande carinho e agradecimento por tudo que você fez por mim...Sem você, tudo seria mais difícil. O teu apoio desde o início fez diferença nessa caminhada. Saiba que me sinto privilegiada em tê-la como amiga. Obrigada de coração!*

*À Prof Pérola Vasconcellos, ao Fernando, a Kátia e a todos que formam o laboratório do grupo de estudo em Química Atmosférica do Instituto de Química da USP que foram essenciais na complementação desse trabalho. O meu eterno agradecimento pelo acolhimento e pela paciência em repassar todos os conhecimentos sobre as análises de HPA's e alcanos.*

*Ao grupo do Instituto de Física da USP e da Fundação Oswaldo Cruz. Prof Sandra Hacon, Prof Paulo Artaxo, e Ana obrigada por todo o apoio. Sem o compromisso e a competência de vocês, esse trabalho jamais teria começado.*

*Aos meus amigos e primos, Elenya, Andréa, Larissa, Érica, Paula, Mara, Márcia, Cristiano, Wellington, Dos Anjos, Hyarla, Danilo, Dalila, Ericka Juliana que sempre acompanharam de perto essa caminhada e que ficaram na torcida para que tudo desse certo.*

*À minha madrinha, Conceição e ao meu padrinho, Fontinelle, por terem acreditado em mim e por terem sido a fonte de minhas forças e esperanças.*

*Aos meus primos, tias e tios, avós e avôs, pois esse sonho também é fruto do orgulho de vocês.*

*À minha turma de Bioquímica, por todas as vezes que nos unimos para juntos atingirmos o mesmo objetivo. Esse foi um dos momentos mais esperados e ao longo desses dois anos, conheci pessoas maravilhosas.*

*Cris, você foi um presente na minha vida. Tua amizade me ensinou a ser mais feliz. O teu sorriso contagia, a tua simpatia faz diferença. Obrigada por todas as vezes que estive do meu lado. Sei que em você eu posso confiar sempre!*

*Lahyana, você sempre será minha amiga linda. Foram maravilhosos todos os momentos compartilhados... Obrigada por tudo!*

*Mariana, você é encantadora e admirável. Sua amizade sempre será verdadeira. Obrigada por todas as vezes que estive do meu lado, pelos ensinamentos e pelo grande carinho. Jamais serão esquecidos!*

*Raniere, a cada dia eu tenho mais certeza do quanto você é especial. Ter sua amizade foi muito bom e saiba que eu te admiro pela determinação... Mas se eu fosse resumir tudo em uma frase eu diria: "Só a vitória interessa!" (rsrsrs)*

*Nesse momento, faltam palavras para falar do meu grande amigo, irmão de todas as horas... Saiba, **Norberto**, que em primeiro lugar eu te admiro e te respeito pela inteligência e pelo grande profissional que és. Tens o meu infinito agradecimento, por todas as vezes que você me ajudou; tens a minha confiança, porque você sempre foi merecedor. Contigo dividi os mais íntimos segredos, as dúvidas e aflições, os momentos tristes e alegres. Amizade como a sua é de fazer inveja e certamente será para o resto da minha vida.*

*E o que falar de **Cynthia Telles**? Poucas pessoas tiveram a oportunidade de conhecer a pessoa única que você é... Amiga, quantos e quantos momentos passamos juntas? Aqueles difíceis, nos uniram mais e mais... Aqueles felizes, consolidaram essa amizade. Impossível olhar para esses dois anos e não recordar o teu sorriso que me fez rir por infinitas vezes... Tuas palavras foram essenciais e os teus conselhos foram precisos... Amizade que não se cobra, amizade que entende, amizade que quer sempre fazer tudo junto, amizade que te emociona, amizade que não importa nem quando e nem onde, mas que sabemos que sempre existirá. Essa é a nossa! Muito obrigada por tudo!*

*À **CAPEB**, pela bolsa concedida e à **UFRRN** como um todo por ter me dado essa oportunidade.*

*A felicidade não nos é dada de presente, mas obtida  
com empenho. Depende de nós fazer com que o trabalho  
de autoconstrução nos conduza ao estado de imensa  
serenidade, chamado por nós de felicidade.  
Somos os arquitetos de nós mesmos!*

*(Robert Ambers)*

## RESUMO

Tangará da Serra está situada no sudoeste do Mato Grosso e encontra-se no trajeto de dispersão de poluentes provenientes da área do arco do desmatamento da Amazônia Legal. A região também possui uma extensa área de plantio de cana-de-açúcar, configurando um local de exposição a poluentes atmosféricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a genotoxicidade do material particulado (MP) orgânico, em três diferentes concentrações, coletado nos meses de agosto a dezembro / 2008 em Tangará da Serra através do teste de micronúcleo em *Tradescantia* (Trad-MCN). Além disso, foram determinados os níveis do material particulado menor que 10µm (MP10) e *black carbon* (BC) coletados nos filtros teflon e de policarbonato. Foram identificados e quantificados nas amostras do período de queima, os alcanos e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) através da cromatografia gasosa acoplada ao detector de ionização de chama (CG-DIC). Os resultados da análise dos alcanos indicam influência antrópica. Dentre os HPAs, o reteno foi encontrado em maior quantidade e é um marcador de queima de biomassa. Os compostos indeno (1,2,3,-cd)pireno e benzo(k)fluoranteno foram identificados nas amostras e são considerados potencialmente carcinogênicos e mutagênicos. Através do Trad-MCN, observou-se um aumento significativo na frequência de micronúcleo no período de queima e este fato pode estar relacionado com os HPAs mutagênicos encontrados nesses extratos. Ao analisar o período de menor queima, constatou-se que não há diferença significativa na taxa de micronúcleo quando comparado com o controle negativo e mostraram diferenças estatisticamente significativas com relação ao grupo de maior queima. Este estudo mostrou que o Trad-MCN foi sensível e eficiente na avaliação do potencial genotóxico do material orgânico proveniente da queima de biomassa, enfatizando a importância da análise da composição química, para que assim seja possível facilitar os mais completos diagnósticos no controle dos riscos ambientais.

Palavras-chave: genotoxicidade, alcanos, HPAs, material orgânico, Amazônia Legal.

## ABSTRACT

Tangara da Serra is located on southwestern Mato Grosso and is found to be on the route of pollutants dispersion originated in the Legal Amazon's deforestation area. This region has also a wide area of sugarcane culture, setting this site quite exposed to atmospheric pollutants. The objective of this work was to evaluate the genotoxicity of three different concentrations of organic particulate matter which was collected from August through December / 2008 in Tangara da Serra, using micronucleus test in *Tradescantia pallida* (Trad-MCN). The levels of particulate matter less than 10µm (MP10) and *black carbon* (BC) collected on the Teflon and polycarbonate filters were determined as well. Also, the alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were identified and quantified on the samples from the burning period by gas chromatography detector with flame ionization detection (GC-FID). The results from the analyzing of alkanes indicate an antropic influence. Among the PAHs, the retene was the one found on the higher quantity and it is an indicator of biomass burning. The compounds indene(1,2,3-cd)pyrene and benzo(k)fluoranthene were identified on the samples and are considered to be potentially mutagenic and carcinogenic. By using Trad-MCN, it was observed a significant increase on the micronucleus frequency during the burning period, and this fact can be related to the mutagenic PAHs which were found on such extracts. When the period of less burnings is analyzed and compared to the negative control group, it was noted that there was no significant difference on the micronuclei rate. On the other hand, when the higher burning period is analyzed, statistically significant differences were evident. This study showed that the Trad-MCN was sensible and efficient on evaluating the genotoxicity potencial of organic matter from biomass burning, and also, emphasizes the importance of performing a chemical composition analysis in order to achieve a complete diagnosis on environmental risk control.

Keywords: genotoxicity, alkanes, PAHs, organic matter and Legal Amazon.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Frações do material particulado: grossa, fina e ultrafina.....	18
<b>Figura 2:</b> Representação esquemática dos n-alcenos e alcanos isoprenóides .....	22
<b>Figura 3:</b> Cálculo do Índice Preferencial de Carbono (IPC) dos n-alcenos.....	23
<b>Figura 4:</b> Estrutura química dos 16 HPAs indicados pela Agência de Proteção Ambiental Americana.....	25
<b>Figura 5:</b> Esquema representativo da degradação térmica hipotética do ácido abiético (I) para reteno (IV, 1-metil-7-isopropilfenantreno) por combustão de madeira de coníferas.....	27
<b>Figura 6:</b> Mapa representando o arco do desmatamento da Amazônia Legal (sudeste do Maranhão até o sudeste do Acre), destacando o estado do Mato Grosso e a cidade de estudo, Tangará da Serra .....	33
<b>Figura 7:</b> Esquema da montagem do amostrador acoplado com <i>inlet</i> , utilizando filtros teflon .....	34
<b>Figura 8:</b> Esquema da montagem do amostrador de particulado fino e grosso (AFG) acoplado com <i>inlet</i> , utilizando filtros de policarbonato .....	35
<b>Figura 9:</b> Esquema das análises feitas com o material orgânico extraído proveniente da queima de biomassa em Tangará da Serra –MT.....	37
<b>Figura 10:</b> Equações de regressão para os cálculos do limite de detecção e quantificação de um analito.....	39
<b>Figura 11:</b> Desenho esquemático do teste de micronúcleo em <i>Tradescantia pallida</i> (Trad-MCN).....	42
<b>Figura 12:</b> Gráfico dos níveis de MP10 coletado por 48 horas em Tangará da Serra-MT nos meses de agosto a outubro (período de maior queima) e nos meses de novembro e dezembro (período de menor queima).....	43
<b>Figura 13:</b> Gráfico dos níveis de BC coletado por 48 horas em Tangará da Serra-MT nos meses de agosto a outubro (período de maior queima) e nos meses de novembro e dezembro (período de menor queima).....	44
<b>Figura 14:</b> Dados de MP10 e BC nos meses de agosto a dezembro coletados em Tangará da Serra-MT.....	44
<b>Figura 15:</b> Gráfico dos níveis do MPF e MPG coletado em Tangará da Serra-MT nos meses de julho a novembro de 2008.....	45

<b>Figura 16:</b> Gráfico dos níveis do BCF e BCG coletado em Tangará da Serra-MT nos meses de julho a novembro de 2008.....	46
<b>Figura 17:</b> Dados de MP10 e BC nos meses de julho a novembro coletados em Tangará da Serra-MT através do amostrador AFG.....	48
<b>Figura 18:</b> Cromatograma dos padrões dos HPAs utilizados para identificar os compostos aromáticos do material orgânico de Tangará da Serra de acordo com o tempo de retenção.....	50
<b>Figura 19:</b> Cromatograma do padrão dos HPAs plotados sobre os HPAs dos filtros brancos (não expostos).....	51
<b>Figura 20:</b> Cromatograma dos HPAs do material orgânico coletado em Tangará da Serra.....	52
<b>Figura 21:</b> Resultados dos HPAs identificados e quantificados do material orgânico de Tangará da Serra referente aos meses de agosto a outubro.....	52
<b>Figura 22:</b> Resultado do Trad-MCN usando água destilada e DMSO (1%). Não houve diferença significativa entre os compostos testados.....	53
<b>Figura 23:</b> Resultado do Trad-MCN usando o controle negativo (filtros brancos) e controle positivo (formaldeído 0,2%). .....	54
<b>Figura 24:</b> Resultado do Trad-MCN usando os extratos orgânicos coletados em filtros teflon.....	55
<b>Figura 25:</b> Relação entre o MP10 e a média da frequência de micronúcleo em <i>Tradescantia pallida</i> durante o período de queima em Tangará da Serra – MT.....	56



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Padrões de qualidade do ar (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – nº 03, de 28/06/1990 e pela “World Health Organization (WHO).....	19
<b>Tabela 2:</b> Principais HPAs e suas propriedades mutagênicas e/ou carcinogênicas.....	26
<b>Tabela 3:</b> Limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) dos alcanos .....	40
<b>Tabela 4:</b> Limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) dos HPAs .	40
<b>Tabela 5:</b> Análise de variância dos dados de MP10 e BC coletados em filtros teflon considerando a regressão.....	45
<b>Tabela 6:</b> Concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ das partículas inaláveis (MP10), partículas finas (MPF) e partículas grossas (MPG) obtidas nos meses de julho a novembro / 2008 em Tangará da Serra.....	46
<b>Tabela 7:</b> Concentrações em $\text{ng}/\text{m}^3$ dos níveis de <i>black carbon</i> (BC), partículas finas (BCF) e partículas grossas (BCG) presente no BC obtidas nos meses de julho a novembro / 2008 em Tangará da Serra.....	47
<b>Tabela 8:</b> Análise de variância dos dados de MP10 e BC coletados em filtros de policarbonato considerando a regressão.....	48
<b>Tabela 9:</b> Resultados do tempo de retenção e concentrações dos alcanos identificados e quantificados do material orgânico de Tangará da Serra referente ao período de queima.....	49
<b>Tabela 10:</b> Média da frequência de micronúcleo em tétrades de <i>Tradescantia pallida</i> (MCN/100 tétrades) exposto por 8 horas em três concentrações diferentes para os meses de maior queima (agosto a outubro) e de menor queima (novembro e dezembro).....	55
<b>Tabela 11:</b> Análise de variância (ANOVA two-way) das concentrações utilizadas no Trad-MCN e as médias totais da taxa de micronúcleo nos meses de agosto a dezembro .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS / SIGLAS

A	Antraceno
Ac	Acenafteno
Ace	Acenaftileno
AFG	Amostrador fino e grosso
ANOVA	Análise de Variância
BC	<i>Black carbon</i>
BCF	<i>Black carbon fino</i>
BCG	<i>Black carbon grosso</i>
BeP	Benzo(e)pireno
BgP	Benzo(g,h,i)perileno
BkFluo	Benzo(k)fluoranteno
CBMN	Cytokinesis-block micronucleus
CG	Cromatografia gasosa
c-HPAS	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos carcinogênicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo de Estudos Climáticos
DCM	Diclorometano
DIC	Detector de ionização de chama
DMSO	Dimetilsulfóxido
EPA	Environmental Protection Agency
Fe	Fenantreno
Fl	Fluoreno
Fluo	Fluoranteno
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IndP	Indeno (1,2,3,-cd)pireno
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IPC	Índice Preferencial de Carbono
LD	Limite de detecção
LQ	Limite de quantificação
MCN	Micronúcleo
MT	Mato Grosso
MP	Material Particulado
MPF	Material Particulado Fino
MPG	Material Particulado Grosso
MP0,1	Material Particulado menores que 0,1 µm
MP0,5	Material Particulado menores que 2,5 µm
MP10	Material Particulado menores que 10 µm
N	Naftaleno
Pi	Pireno
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RH	Recombinação Homóloga
Trad	<i>Tradescantia</i>
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1. Material Particulado.....	16
1.2. Caracterização química.....	20
1.2.1. <i>Black Carbon</i> .....	20
1.2.2. Compostos Orgânicos .....	21
1.2.2.1. Alcanos .....	21
1.2.2.2. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) .....	23
1.3. Testes de genotoxicidade .....	26
1.3.1. Teste de micronúcleo em <i>Tradescantia pallida</i> (Trad-MCN) .....	29
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
2.1. Área de estudo .....	32
2.2. Coleta do MP10 em filtros teflon .....	33
2.3. Coleta do material particulado fino e grosso .....	34
2.4. Análise gravimétrica .....	36
2.5. Preparação das amostras e extração do material orgânico .....	36
2.6. Análises químicas .....	37
2.6.1. <i>Black Carbon</i> .....	37
2.6.2. Identificação e quantificação de n-alcanos e HPAs .....	38
2.6.2.1. Fracionamento dos extratos .....	38
2.6.2.2. Determinação dos compostos orgânicos .....	38
2.6.2.3. Limite de detecção e quantificação .....	39
2.7. Teste de micronúcleo em <i>Tradescantia pallida</i> .....	41
2.8. Análise estatística .....	42
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>43</b>
3.1. Dados do MP10 e BC coletados em filtros teflon.....	43
3.2. Dados do material particulado fino e grosso .....	45
3.3. Resultados sobre os alcanos .....	48
3.8. Resultados sobre os HPAs .....	50
3.9. Resultados do Trad-MCN .....	53
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>76</b>

## 1.0. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica causa sérios problemas ao meio ambiente e, de modo preocupante, ao ser humano. Desde a Idade Média até os dias de hoje, questões como: (i) a queima do carvão e o uso da madeira como fonte de energia; (ii) o crescente aumento da poluição veicular e industrial; (iii) as mudanças climáticas globais e o registro da diminuição da camada de ozônio têm contribuído para debates sobre as necessidades de medidas efetivas e a busca da qualidade ambiental.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 03, de 28/06/1990 considera-se poluente atmosférico “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danosos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

Dentro dessa visão, é interessante destacar que não é possível considerar qualquer atividade que altera a composição da atmosfera como poluição, pois esta se caracteriza pela presença ou o lançamento de uma substância que se mantém acima do limiar de aceitabilidade para o bem-estar dos seres humanos, animais, infra-estrutura ou do meio ambiente em geral. Esse conceito é, portanto, relativo; pois o que é considerado permitido hoje, futuramente com padrões mais rígidos, poderá ser considerado poluição (GRAUER & PUGLIELLI, 2003).

Diversas substâncias são lançadas no meio ambiente e estas apresentam características específicas que podem causar danos de acordo com a sua mobilidade, interação e concentração no solo, na água e no ar. Com relação aos efeitos da exposição, estes dependem da via de contato, dos níveis de exposição, das interações e biotransformações que podem ocorrer, sendo necessária uma avaliação complexa e multidisciplinar tanto com as populações humanas quanto com os ecossistemas associados (CORONAS, 2008).

Os estudos dos efeitos deletérios produzidos pela queima de biomassa (qualquer matéria de origem animal ou vegetal utilizada como fonte de energia) ainda são poucos diante da literatura que trata das emissões atmosféricas, pois a maioria dos estudos investiga os efeitos dos poluentes urbanos gerados por emissões de veículos e indústrias (RIBEIRO, 2008). Dessa forma, é importante destacar a urgente necessidade de pesquisas voltadas para questões de grande preocupação, como: o desmatamento e as queimadas, acidentais ou intencionais; o efeito e a incidência dos incêndios florestais; a retirada da madeira e o preparo do corte manual em plantações de cana-de-açúcar (DO CARMO *et al.*, 2009).

A queima de biomassa em florestas tropicais é um dos principais eventos que contribuem para o fenômeno das mudanças climáticas globais (BARCELLOS *et al.*, 2009). No Brasil, essas atividades ainda fogem do controle das autoridades responsáveis pela sua fiscalização (TRESMONDI *et al.*, 2008). O fogo é um crescente problema nas florestas tropicais e a poluição devido à fumaça gerada tem um grande impacto na saúde das populações expostas. Estudos epidemiológicos mostram um aumento na frequência de tumores de pulmão em habitantes das áreas urbanas, sendo possivelmente a poluição atmosférica a causa responsável por essa diferença (SILVA, 2005). Além disso, vários trabalhos sugerem que a queima de biomassa em ambientes internos pode causar sérios problemas, inclusive uma interferência no mecanismo mucociliar, provocando um decréscimo do poder de fagocitose dos macrófagos pulmonares (ARBEX, 2001).

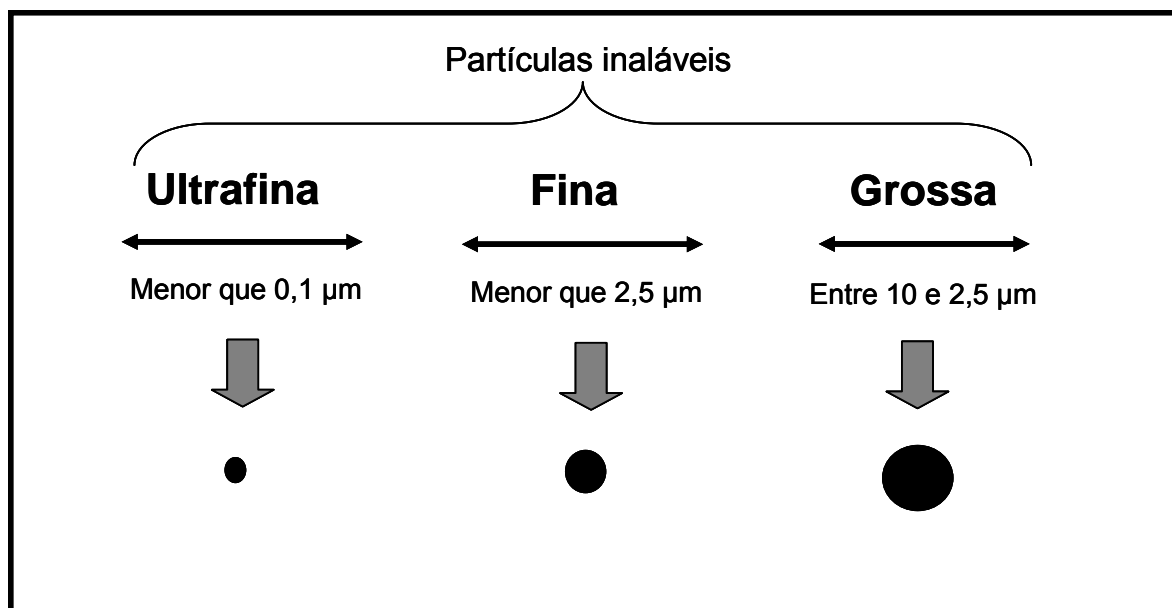
É importante destacar que cerca de 80% da combustão da biomassa ocorre nos trópicos, constituindo a maior fonte de liberação de gases tóxicos e da produção de gases do efeito estufa do planeta. Dentre esses elementos, o material particulado (MP) é o poluente que apresenta maior toxicidade (ARBEX *et al.*, 2004).

### **1.1. Material Particulado**

O aerossol atmosférico é constituído por partículas sólidas e líquidas suspensas na atmosfera. O MP é uma mistura complexa de subclasses de poluentes e pode ter diversas fontes de origens: naturais ou antropogênicas.

Dentre as fontes naturais pode-se destacar: vulcanismo, maresia, evaporação da vegetação, decomposição de matéria orgânica e incêndios. Por outro lado, problemas graves de alterações do meio podem acontecer pela ação do homem, tais como: as atividades industriais, o tráfego motorizado, a queima de biomassa (GRAUER *et al.*, 2003). Além disso, o MP pode ser dividido em dois grupos: primário e secundário. Com relação às partículas primárias, estas são produzidas através de processos químicos e físicos diretamente das fontes de poluição. Já as partículas secundárias são formadas pelo resultado de reações químicas envolvendo gases já existentes (ALMEIDA, 1999).

Há uma divisão teórica para o tamanho das partículas suspensas no ar (Figura 1). Partículas superiores a 10  $\mu\text{m}$  normalmente ficam depositadas nas cavidades oral e nasal. As partículas inaláveis são aquelas com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 10  $\mu\text{m}$  (MP10), que engloba as partículas grossas (partículas entre 10  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$ ), finas (partículas menores que 2,5  $\mu\text{m}$ ) e ultrafinas (partículas menores que 0,1  $\mu\text{m}$ ). Estas partículas chegam até as regiões mais internas do trato respiratório, sendo que as menores podem atingir até os alvéolos pulmonares. De fato, quanto menor for o tamanho aerodinâmico do MP, maior serão os efeitos inflamatórios dessas partículas. Tendo em vista essa divisão teórica, ressalta-se que as frações maiores do MP também contêm as frações menores (DIHL, 2008; OLIVEIRA, 2006). Elas contêm espécies químicas prejudiciais à saúde humana e ao ecossistema, tais como: ácidos, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (NEVES, 2005). Além disso, os efeitos lesivos das partículas para a saúde humana não dependem apenas do tamanho, mas outros fatores também irão determinar sua toxicidade, tais como: a composição química, o número, a área e a reatividade da superfície das partículas (OLIVEIRA, 2007).



**Figura 1:** Frações do material particulado inalável: grossa, fina e ultrafina. As partículas maiores abrangem as menores.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem-estar das pessoas (SANTOS, 2004). Atualmente o CONAMA estabelece padrões primários e secundários de qualidade do ar. Entende-se por padrões primários como os níveis máximos toleráveis de concentração dos poluentes atmosféricos que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população (medidas tomadas a curto e médio prazo). Logo, os padrões secundários são aqueles em que as concentrações de poluentes atmosféricos encontram-se abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, à fauna e à flora (medidas tomadas a longo prazo) (OLIVEIRA, 2006; REBELATTO, 2005).

A "World Health Organization" (WHO) recomenda que a concentração média de MP10, em amostras de 24 horas, não passe o limite de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor três vezes menor do que o previsto pela legislação vigente no Brasil (Tabela 1). Entretanto, é importante ressaltar que não são consideradas a grande variedade de compostos presentes na atmosfera, muitos ainda desconhecidos, nem mesmo as interações que podem ocorrer entre eles (OLIVEIRA, 2006).

**Tabela 1:** Padrões de qualidade do ar (em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – nº 03, de 28/06/1990 e pela Organização Mundial de Saúde (WHO – World Health Organization, 2005).

MP10	CONAMA	WHO
Média anual	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Média 24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

As frações das partículas inaláveis do ar apresentam um risco significativo para a saúde devido à sua capacidade de penetrar e depositar-se nas vias respiratórias (CLAXTON *et al.*, 2004; CORONAS *et al.*, 2008). Estudos correlacionam altas taxas de internações por problemas associados ao sistema respiratório com os níveis de MP10, embora as concentrações identificadas não tenham passado dos níveis estabelecidos pela legislação no período analisado (MEDEIROS & GOUVEIA, 2005).

CORONAS (2008) destaca pesquisas que mostram a presença de HPAs cancerígenos (c-HPAs) nas amostras de MP10, cujas concentrações do MP diário não passaram do limite estabelecido (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , padrão primário e secundário – CONAMA 1990). Além disso, nos estudos voltados para a análise do MP proveniente de áreas urbanas e industriais no Brasil, DUCATTI & VARGAS (2003) e UMBUZEIRO *et al.* (2008b) relatam atividade mutagênica desses compostos e também não encontraram valores do MP acima do permitido pela legislação vigente no Brasil.

Estudos epidemiológicos mostram um aumento notório de doenças respiratórias e cardiovasculares em grupos expostos à poluição atmosférica, afetando principalmente crianças menores de cinco anos e pessoas maiores de sessenta e cinco anos de idade (IGNOTTI *et al.*, 2007). ROSA *et al.* (2008) destacam a problemática da exposição aos poluentes atmosféricos no estado do Mato Grosso. Os autores concluem nesse estudo que Tangará da Serra apresentou as mais altas proporções de internação por doenças respiratórias do estado no período analisado e incentiva a investigação e o monitoramento dos fatores de risco para a saúde humana e para o ambiente. Da mesma forma, DO CARMO *et al.* (2009) apontam uma forte correlação entre a exposição à fumaça das queimadas do



município de Alta Floresta - MT e o aumento da demanda por admissões hospitalares por doenças respiratórias em idosos na área de estudo da Amazônia Legal.

Em face às mudanças climáticas e ambientais associadas aos graves problemas de saúde, BARCELLOS *et al.* (2009) destacam que muitos estudos consideram a interação entre clima e poluição como um fator de risco para doenças cardíacas. Além disso, elevadas temperaturas também podem influenciar o aumento de pessoas com respostas alérgicas e asmáticas, devido ao grande número de partículas alergênicas produzidas pelas plantas. Nesse sentido, o MP possui um papel significante na química da atmosfera, na saúde humana e do ecossistema a ele exposto. É necessário compreender os diferentes contaminantes atmosféricos e ao mesmo tempo, o seu comportamento no organismo através dos estudos toxicológicos para obter importantes informações sobre os potenciais efeitos destas misturas complexas para os seres vivos expostos.

## 1.2. Caracterização química

A determinação da composição do MP é de extrema importância em estudos de perfil dos poluentes atmosféricos (VASCONCELLOS *et al.*, 2003). Informações sobre a composição, abundância e fontes de emissão dos compostos orgânicos do MP possibilitam a obtenção de padrões únicos para o estabelecimento de possíveis biomarcadores moleculares (ANDREOU & RAPSOMANIKIS, 2009).

Durante o período de seca, na Amazônia, os poluentes do ar emitidos representam tipicamente mais de 90% da massa das partículas finas e cerca de 50% das partículas grossas nas áreas atingidas (ARANA, 2009). Também foi visto por GUYON *et al.* (2003) que cerca de 90% do MP é composto por matéria orgânica. As propriedades físico-químicas do MP são dependentes de inúmeros fatores, como: tamanho da partícula, fonte de emissão, umidade, pluviosidade, temperatura, direção do vento, dentre outros. Porém, alguns constituintes são comuns, como: *black carbon* (BC), compostos orgânicos, traços de metais, sulfatos, nitratos, material biológico (OLIVEIRA, 2006).

### 1.2.1. *Black Carbon*

O BC, também conhecido como carbono elementar, é um aerossol atmosférico proveniente da queima incompleta de fontes naturais ou antrópicas e podem ser caracterizados como possíveis mediadores na resposta biológica à exposição do MP. É definido como a porção do carbono que absorve fortemente a radiação, sendo, portanto, o responsável pela redução da visibilidade (VIIDANOJA *et al.*, 2002).

Segundo REBALATTO (2005), a queima de biomassa é um dos grandes responsáveis pela emissão global de BC, sendo que o mesmo favorece a formação de compostos orgânicos semivoláteis e ainda podem alterar o ciclo hidrológico e biogeoquímico da biota no qual se encontra. Além disso, já existem estudos que estão associando os níveis de BC com o aumento de hospitalizações causadas pelo risco de infarto do miocárdio (ZANOBETTI & SCHWARTZ, 2006).

### 1.2.2. Compostos Orgânicos

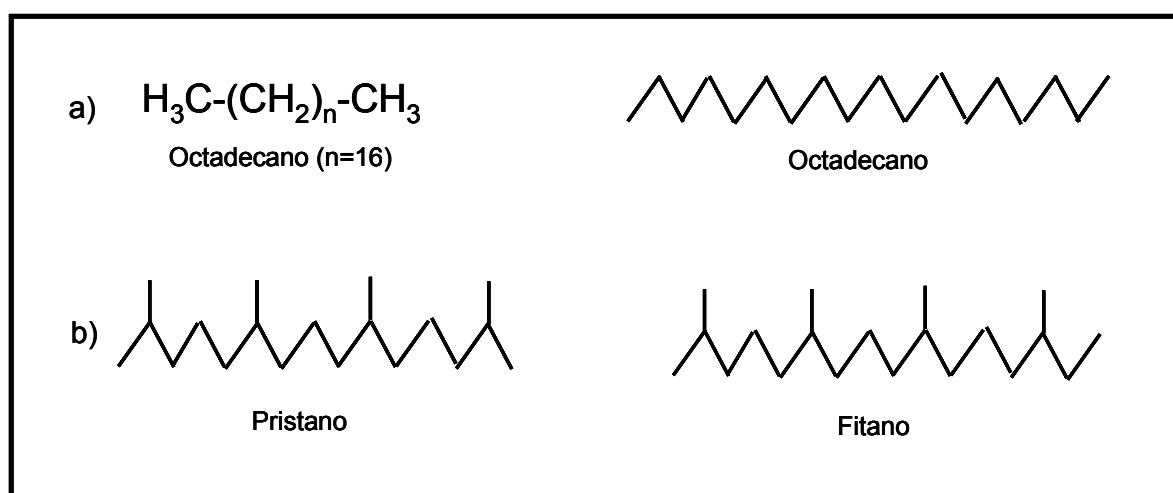
O material orgânico é uma importante fração do MP, contribuindo com cerca de 10 – 70% da sua massa total e ainda são poucos os estudos voltados para sua caracterização. De fato, muitos aspectos da formação e evolução do aerossol atmosférico não são compreendidos (ALVES, 2008). Destaca-se um grande número de compostos orgânicos em amostras de MP10. A maioria deles possui alcanos, alcenos, HPAs incluindo ácidos, aldeídos, cetonas, quinonas, feno e ésteres. Dentre eles, muitos são potenciais agentes na toxicidade do MP, incluindo os compostos carcinogênicos e/ou mutagênicos (OLIVEIRA, 2006).

A composição dos alcanos e dos HPAs evidenciam informações sobre as características básicas do MP, permitindo identificar as principais fontes emissoras, que podem ser tanto de origem antrópica como naturais. É interessante destacar que após a extração do material orgânico é necessário o fracionamento das amostras, isolamento e identificação dos compostos, visando também uma caracterização para os efeitos associados (DIHL, 2008 ; VASCONCELLOS, 1998).

### 1.2.2.1. Alcanos

Os n-alcanos são hidrocarbonetos alifáticos saturados, de cadeia aberta não ramificada (Figura 2a). Dentre os estudos já realizados, já foram identificados mais de 130 n-alcanos, sendo que estes compostos apresentam perfis peculiares, que ajudam a caracterizar a origem do material analisado. Aqueles que são derivados de fontes biológicas (ceras de plantas terrestres, solo etc) apresentam uma distribuição dos carbonos ímpar-par com predominância dos homólogos ímpares e um alto índice preferencial de carbono. Já aqueles que são derivados de origem antrópica mostram um perfil diferente, sem predominância dos carbonos homólogos pares ou ímpares (MAGALHÃES, 2005).

Ainda há os alcanos isoprenóides: pristano e fitano - hidrocarbonetos de cadeia ramificada com estrutura molecular comum derivada do isopreno – (Figura 2b). O pristano e o fitano são produzidos a partir da degradação do fitol, que é um álcool abundante na natureza constituinte da clorofila-a (MAGALHÃES, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2007).



**Figura 2:** a) representação esquemática dos n-alcanos, b) representação esquemática dos alcanos isoprenóides (Adaptado de MAGALHÃES, 2005).

O Índice Preferencial de Carbono (IPC) é uma grandeza adimensional que relaciona as quantidades de n-alcenos de uma série ímpar e par (Figura 3). O seu valor depende do intervalo de número de átomos de carbono considerado, demonstrando se há uma predominância dos carbonos homólogos ímpar ou par. Calcula-se o IPC com o intuito de prever se os n-alcenos são de origem biogênica ou antropogênica. Os valores de IPC próximos à unidade mostram o predomínio das emissões antropogênicas (DE SOUSA *et al.*, 2008).

$$\text{IPC} = \frac{\sum \text{Concentração dos homólogos de carbono ímpares}}{\sum \text{Concentração dos homólogos de carbono pares}}$$

$$\text{n- Alcanos de origem biogênica: } \text{IPC}_B = \frac{\sum C_{25} - C_{35}}{\sum C_{24} - C_{34}}$$

$$\text{n- Alcanos de origem antrópica: } \text{IPC}_A = \frac{\sum C_{17} - C_{23}}{\sum C_{16} - C_{22}}$$

**Figura 3:** Cálculo do Índice Preferencial de Carbono (IPC) dos n-alcenos.

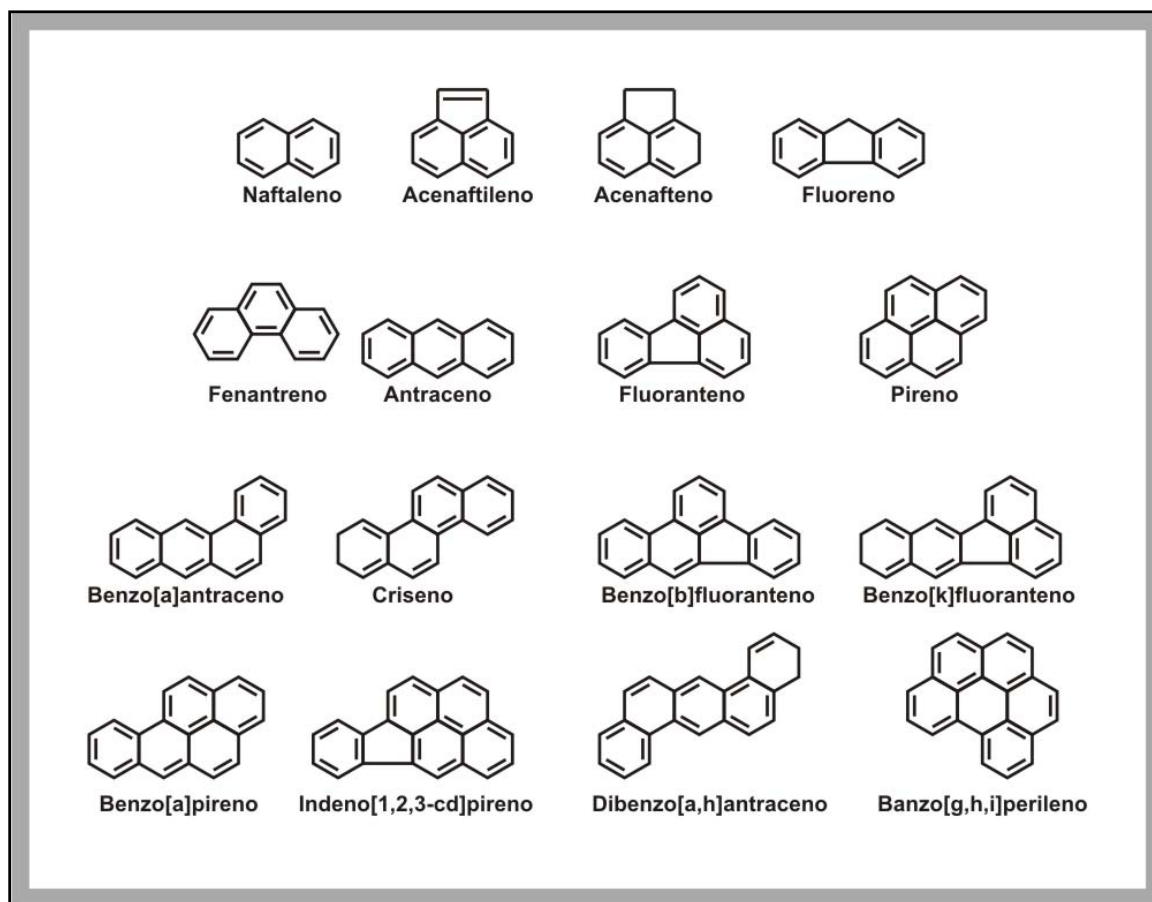
VASCONCELLOS *et al.* (1998) realizaram um estudo em Alta Floresta - MT, região da Amazônia Legal e observaram em suas amostras que os homólogos com mais de 23 carbonos são derivados, na sua maioria, de cêras de plantas. Foi verificado uma predominância dos homólogos com número ímpar de carbonos. Tal conclusão corrobora com outros estudos existentes na literatura quando há influência biogênica na área de estudo. Por outro lado, MAGALHÃES (2005) encontrou em seus resultados valores de IPC total igual a 1,4 para São Paulo e Paulínia, mostrando a influência de emissões da queima de combustível fóssil.

### 1.2.2.2. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

Os HPAs constituem uma família de compostos caracterizada por possuírem dois ou mais anéis aromáticos, constituídos apenas por átomos de carbono e hidrogênio. Sua formação tem origem na combustão incompleta da matéria orgânica, influenciada pela temperatura e pressão. A queima de combustíveis fósseis, emissões industriais e incêndios florestais são consideradas as principais fontes de HPAs para o meio ambiente (MEIRE *et al.*, 2007).

Em geral, estes compostos podem ser classificados em três diferentes grupos quanto sua origem: (1) petrogênica, caracterizada pelos HPAs presentes no petróleo e, por conseguinte, em seus derivados; (2) pirogênica, que são os HPAs formados durante os processos de combustão e; (3) biológica, caracterizada pelos HPAs sintetizados por organismos vivos (LOCATELLI, 2006).

Para a “Environmental Protection Agency” (EPA), os 16 HPAs considerados importantes no monitoramento ambiental de poluentes orgânicos prioritários são: naftaleno, acenaftileno, acenaftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, criseno, pireno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno; benzo(g,h,i)perileno e indeno (1,2,3,-cd)pireno, benzo(b)fluoranteno (Figura 4). É importante destacar que o Instituto Nacional de Saúde Ocupacional e Segurança (NIOSH) também inclui o benzo(e)pireno dentre os compostos listados acima (CARMINITTI, 2008 ; MAGALHÃES, 2005; MEIRE *et al.*, 2007).



**Figura 4:** Estrutura química dos 16 HPAs indicados pela Agência de Proteção Ambiental Americana (Adaptado de MEIRE *et al.*, 2007).

De fato, tanto os HPAs como os seus derivados apresentam uma grande importância pelo seu potencial mutagênico e/ou carcinogênico já identificados (Tabela 2). PEREIRA NETTO *et al.* (2000) destacam que eles não são mutagênicos diretos e, portanto, necessitam sofrer ativação metabólica preliminar para se tornarem capazes de reagir com o DNA e outras macromoléculas. O benzo(a)pireno é o mais conhecido pelo seu poder carcinogênico, mas alguns trabalhos relatam que dibenzo(a,h)antraceno e o dibenzo(a,l)pireno são dez vezes ou mais potencialmente carcinogênicos que o benzo(a)pireno (OKONA-MENSAH *et al.*, 2005). É altamente significativo o risco de contaminação humana por HPAs e derivados, devido às suas propriedades físico-químicas e da sua ampla presença no meio ambiente. Em virtude do seu caráter lipofílico, essas substâncias podem ser absorvidas pela pele, por ingestão ou por inalação, sendo rapidamente distribuídas pelo organismo (PEREIRA NETTO *et al.*, 2000).

**Tabela 2:** Principais HPAs e suas propriedades mutagênicas e/ou carcinogênicas (Adaptado de NEVES, 2002).

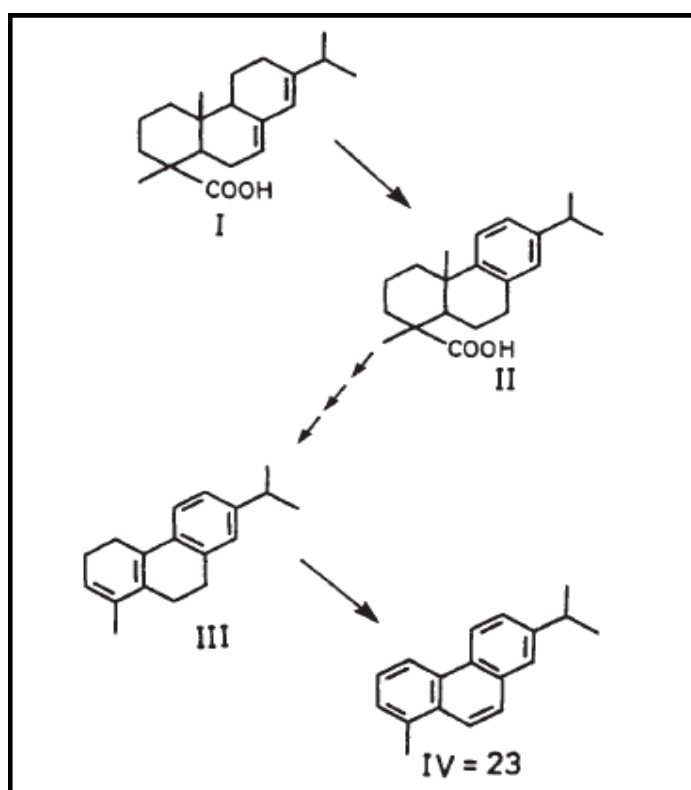
HPAs	Carcinogenicidade <sup>a</sup>	Genotoxicidade <sup>b</sup>	Mutagenicidade <sup>c</sup>
Fenantreno	I	L	+
Antraceno	N	N	-
Fluoranteno	N	L	+
Pireno	N	L	+
Benzo(a)antraceno	S	S	+
Criseno	L	L	+
Trifenileno	I	I	+
Benzo(b)fluoranteno	S	I	+
Benzo(j)fluoranteno	S	I	+
Benzo(k)fluoranteno	S	I	+
Benzo(e)pireno	I	L	+
Benzo(a)pireno	S	S	+
Perileno	I	I	+
Indeno(1,2,3-cd)pireno	S	I	+
Dibenz(a,c)antraceno	L	S	+
Dibenz(a,h)antraceno	S	S	+
Dibenz(a,j)antraceno	L	I	+
Benzo(g,h,i)perileno	I	I	+
Coroneno	I	I	+

(a) Evidências carcinogênicas por experimentação em animais: suficientes (S) ou limitadas (L), ausência ou insuficiência de dados (I), não carcinogênico (N).

(b) Testes de genotoxicidade em curto prazo (deterioração de DNA, mutagenicidade, anomalias cromossômicas: classificação idêntica à de carcinogenicidade).

(c) Mutagenicidade no teste de Ames: resultados positivos (+) ou negativos (-).

O reteno é um marcador molecular de combustão de madeira de coníferas no ambiente aéreo, que foi estabelecido por RAMDAHL (1983) e aplicado em outros estudos; mas esse composto é encontrado em queimas de biomassa em geral (BENTE *et al.*, 2009; HARRAD & LAURIE, 2005; LEHNDORFF & SCHWARK, 2009). Há indicativos que a origem desse composto é proveniente da degradação natural do ácido abiético (Figura 5).



**Figura 5:** Esquema representativo da degradação térmica hipotética do ácido abiético (I) para reteno (IV, 1-metil-7-isopropilfenantreno) por combustão de madeira de coníferas (Adaptado de RAMDAHL, 1983).

### 1.3. Testes de genotoxicidade

A genotoxicidade é a área da genética que estuda os processos que alteram a base genética da vida, que inclui: **(i)** alteração na estrutura físico-química do DNA (ácido desoxirribonucléico), processo este conhecido por mutagenese e **(ii)** alteração do determinismo genético ao nível celular ou orgânico, identificados respectivamente por carcinogênese e teratogênese. Os agentes que mudam a sequência do DNA (mutação) causam lesões (CLAXTON & WOODALL JR, 2007; DA SILVA, 2008).



É imprescindível avaliar a qualidade do ar atmosférico. Sem comida o ser humano pode viver semanas, sem água o homem pode passar dias, mas sem ar apenas alguns minutos. Logo, as agências de controle ambiental passaram a recomendar o emprego de testes de natureza biológica, química e física para a identificação de agentes tóxicos presentes na atmosfera.

A utilização de modelos biológicos na avaliação do potencial mutagênico de poluentes atmosféricos serve como ferramenta para informar sobre efeitos aditivos e sinérgicos de poluentes do ar, ao contrário das análises químicas que avaliam a ação isolada de um dado genotóxico (WADA *et al.*, 2001; COHEN *et al.*, 2002). Na busca da identificação dos riscos impostos ao ambiente por contaminantes ambientais, um número razoável de bioensaios de curta duração tem servido como excelente indicador para o monitoramento da qualidade do ar.

CLAXTON & WOODALL JR (2007) defendem o teste de Ames, que utiliza linhagens específicas de *Salmonella typhimurium*, como um dos testes mais empregados na detecção da atividade mutagênica associada ao MP, principalmente com relação aos extratos orgânicos. Trabalhos investigando o efeito dos extratos orgânicos de MP10 obtiveram valores mais significativos nas linhagens de *Salmonella* que são sensíveis aos compostos orgânicos, sugerindo que os nitro e oxí HPAs exerceram um papel fundamental na atividade mutagênica dessas amostras (PASTORKOVÁ *et al.*, 2004 ; UMBUZEIRO *et al.*, 2008a). Dentro desse contexto, DUCATTI & VARGAS (2003) realizaram o teste de micro-suspensão (indicado para análises de pequenas quantidades de amostra) e observaram um decréscimo no potencial mutagênico nas linhagens de *Salmonella* deficientes, indicando que os nitrocompostos contribuem significativamente para atividade tóxico-genética da área urbana de Porto Alegre.

A investigação da exposição humana a poluentes atmosféricos, principalmente aos HPAs, foi realizada no nordeste da China utilizando o teste de micronúcleo em células binucleadas de linfócitos humanos. Também outros danos foram avaliados, como: a formação de pontes nucleoplasmáticas e os brotos nucleares. Os resultados mostraram que a exposição aos HPAs podem induzir expressivos danos e que esses biomarcadores usados no CBMN (cytokinesis-block micronucleus) podem ser aplicados para o monitoramento dos danos genéticos induzidos por várias substâncias genotóxicas ambientais (DUAN *et al.*, 2009).

Outro estudo avaliou a toxicidade da fração inorgânica e orgânica do MP2,5 usando macrófagos alveolares e células do pulmão de ratos e observaram que o solvente orgânico em ambos os testes causou mais danos ao DNA do que a fração solúvel em água (MENG & ZHANG, 2007).

Utilizando o teste para detecção de mutação e recombinação em células somáticas de *Drosophila melanogaster* (SMART), DIHL *et al.* (2008) analisaram os extratos orgânicos de partículas do MP10 e PTS (partículas totais em suspensão). O maior efeito detectado neste estudo foi o aumento da frequência de recombinação homóloga (RH), enfatizando os riscos que podem estar correlacionados com a poluição do ar. Vale destacar que a RH é um evento associado a diferentes etapas do processo de tumorigênese (DIHL, 2008).

A análise da qualidade do ar através da utilização de vegetais como bioindicadores têm contribuído para o monitoramento ambiental de diferentes locais e conseqüentemente para um prognóstico de risco à saúde da população exposta (MA & GRANT, 1982; SANTOS, 2004; SAVÓIA *et al.*, 2009). As plantas são reconhecidas como excelentes indicadoras na detecção dos efeitos mutagênicos induzidos pelos poluentes atmosféricos, incluindo o MP. SAVÓIA (2007) destaca que as plantas são mais sensíveis à poluição do que os animais, incluindo os seres humanos e, portanto, podem fornecer informações imediatas para os programas de controle da qualidade do ar, protegendo assim o homem e o meio ambiente.

A *Tradescantia*, pertence à família Commelinaceae, sendo conhecida popularmente como erva-de-fortuna ou coração-roxo. É uma planta herbácea, que se encontra amplamente distribuída em todo o mundo, de fácil adaptação, com folhas e flores roxas e bastante ornamental. Várias espécies e clones do gênero *Tradescantia* têm sido utilizados tanto no monitoramento como na determinação do potencial genotóxico dos poluentes atmosféricos (OLIVEIRA, 2006; PERON, 2006). Dentre os diversos bioindicadores empregados para a avaliação do potencial mutagênico destaca-se o Teste de Micronúcleo em *Tradescantia* (Trad-MCN), que é considerada uma valiosa ferramenta por muitos pesquisadores pela simplicidade da metodologia e sensibilidade desta planta à exposição de genotóxicos (MA *et al.*, 1994; MEIRELES *et al.*, 2009; MIELLI *et al.*, 2009).

### 1.3.1. Testes de micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MCN)

Desde os primórdios dos estudos da atividade genética de compostos químicos e agentes físicos, várias espécies e clones do gênero *Tradescantia* têm sido utilizados como organismos experimentais em função de uma grande quantidade de características favoráveis. Com apenas seis pares de cromossomos grandes, as células de quase todas as partes da planta fornecem um material de bons parâmetros para estudos citogenéticos. Conseqüentemente, encontrou-se nesta planta características que permitem a detecção de agentes que afetam a estabilidade do genoma (MA & GRANT, 1982).

O micronúcleo são estruturas pequenas, arredondadas, resultantes de cromossomos inteiros ou de fragmentos cromossômicos que se perdem na divisão celular e, por isso, não são incluídos no núcleo das células-filhas, permanecendo no citoplasma das células interfásicas (RAO *et al.*, 2008). A formação de micronúcleos pode ocorrer por agentes clastogênicos e/ou aneugênicos (EVANS, 1997).

O Trad-MCN pode ser avaliado por dois sistemas experimentais: (i) *in situ*, através da exposição aos agentes presentes na atmosfera, onde o efeito verificado é proveniente de uma mistura complexa do ar e (ii) *ex situ*, através da exposição direta do material que será avaliado, em hidroponia. Neste trabalho, optou-se pelo teste *ex situ* com o intuito de avaliar a genotoxicidade dos extratos orgânicos do MP. Tendo em vista as dificuldades em realizar um biomonitoramento de extensas áreas, esse método permite a coleta do MP e posteriormente sua análise em laboratório, obtendo uma resposta genotóxica da área de interesse.

MONARCA *et al.* (1999) e ISIDORI *et al.* (2003) fizeram um monitoramento *in situ* em áreas urbanas na Itália usando o Trad-MCN. Em ambos estudos, obtiveram um aumento significativo na frequência de micronúcleo, confirmando a eficiência deste bioensaio no controle da qualidade do ar. O teste também foi sensível para detectar riscos genotóxicos inespecíficos na cidade de Santo André-SP e indicou os fatores climáticos (umidade relativa do ar, temperaturas e índices pluviométricos) como condições relevantes na formação de micronúcleo (SAVÓIA *et al.*, 2009). Utilizando o mesmo teste, CARRERAS *et al.* (2006) analisaram a qualidade atmosférica de Córdoba – Argentina e observou-se que houve uma correlação dose-resposta entre a frequência de micronúcleo e os níveis das PTS.

MISIK *et al.* (2007) realizaram um biomonitoramento para avaliar os efeitos genotóxicos de fontes industriais utilizando tanto o Trad-MCN quanto o aborto de pólen, confirmando a sensibilidade de ambos testes na busca de melhorias nos parâmetros de qualidade do ar. De forma semelhante, KIM *et al.* (2003) avaliaram o efeito genotóxico de compostos orgânicos voláteis.

Com o intuito de fazer uma associação entre a frequência de micronúcleo em *Tradescantia pallida* e os dados de mortalidade devido a doenças cardiovasculares e câncer, MARIANI *et al.* (2009) realizaram um estudo preliminar em São José dos Campos e mostrou que o Trad-MCN pode ser utilizado na avaliação dos riscos à saúde humana impostos pelos poluentes atmosféricos.

Investigou-se a sensibilidade da *Tradescantia pallida* para avaliar a genotoxicidade induzida por ozônio. Em sistema hidropônico, os autores analisaram diferentes períodos de recuperação da planta para os extratos com ozônio e concluíram que os efeitos genotóxicos para este composto podem ser observados entre 48 e 72 horas após a exposição (LIMA *et al.*, 2009). Ainda usando o sistema *ex situ* para o Trad-MCN, BATALHA *et al.* (1999) coletaram em filtros teflon o MP10 e avaliaram a genotoxicidade do material extraído com água destilada em duas concentrações diferentes. Os resultados significativos mostraram a sensibilidade do teste, com ênfase na fração solúvel inorgânica.

Desse modo, a avaliação e o biomonitoramento da poluição do ar através do bioensaio Trad-MCN constitui um importante procedimento para que seja possível adotar medidas de controle voltadas à melhoria da qualidade de vida do ambiente e da população que está exposta (PRAJAPATI & TRIPATHI, 2008).

São notórias a necessidade e a urgência de se avaliar os riscos genéticos impostos pelos resíduos decorrentes da ação antrópica sobre os ecossistemas, mas ainda são escassos os trabalhos que relatam os efeitos do MP proveniente da queima de biomassa. Além disso, devido a sua complexidade, os compostos orgânicos ainda não são bem caracterizados, principalmente o material oriundo deste tipo de atividade, já que grande parte das pesquisas sobre poluições atmosféricas estão voltadas para as emissões de veículos e industriais. Apenas PERON (2006) avaliou a genotoxicidade do particulado orgânico proveniente da queima da cana-de-açúcar em Araraquara-SP usando o bioensaio com *Tradescantia pallida* em hidroponia.

Até o presente, nenhum estudo foi realizado na região do arco do desmatamento da Amazônia Legal para avaliar o potencial genotóxico do material orgânico utilizando o teste Trad-MCN (*ex situ*). Tendo em vista outras informações importantes sobre o MP, é interessante correlacionar os níveis do MP10 e BC assim como suas frações constituintes. Portanto, o presente trabalho tem como objetivos:

- Determinar e correlacionar os níveis de MP10 e BC presentes nas amostras coletadas no segundo semestre de 2008 em Tangará da Serra;
- Comparar as frações fina e grossa do MP coletado em filtros de policarbonato;
- Identificar e quantificar os alcanos e os HPAs presentes no extrato orgânico no período de queima como caracterização preliminar da composição química do MP oriundo da queima de biomassa;
- Avaliar o potencial genotóxico do material orgânico dos meses de agosto a dezembro / 2008, em três concentrações diferentes, utilizando o Trad-MCN (*ex situ*);
- Comparar os resultados da frequência de micronúcleo do período de maior queima e menor queima.
- Correlacionar os níveis de MP10 e a média de micronúcleo encontrada no período de maior queima.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

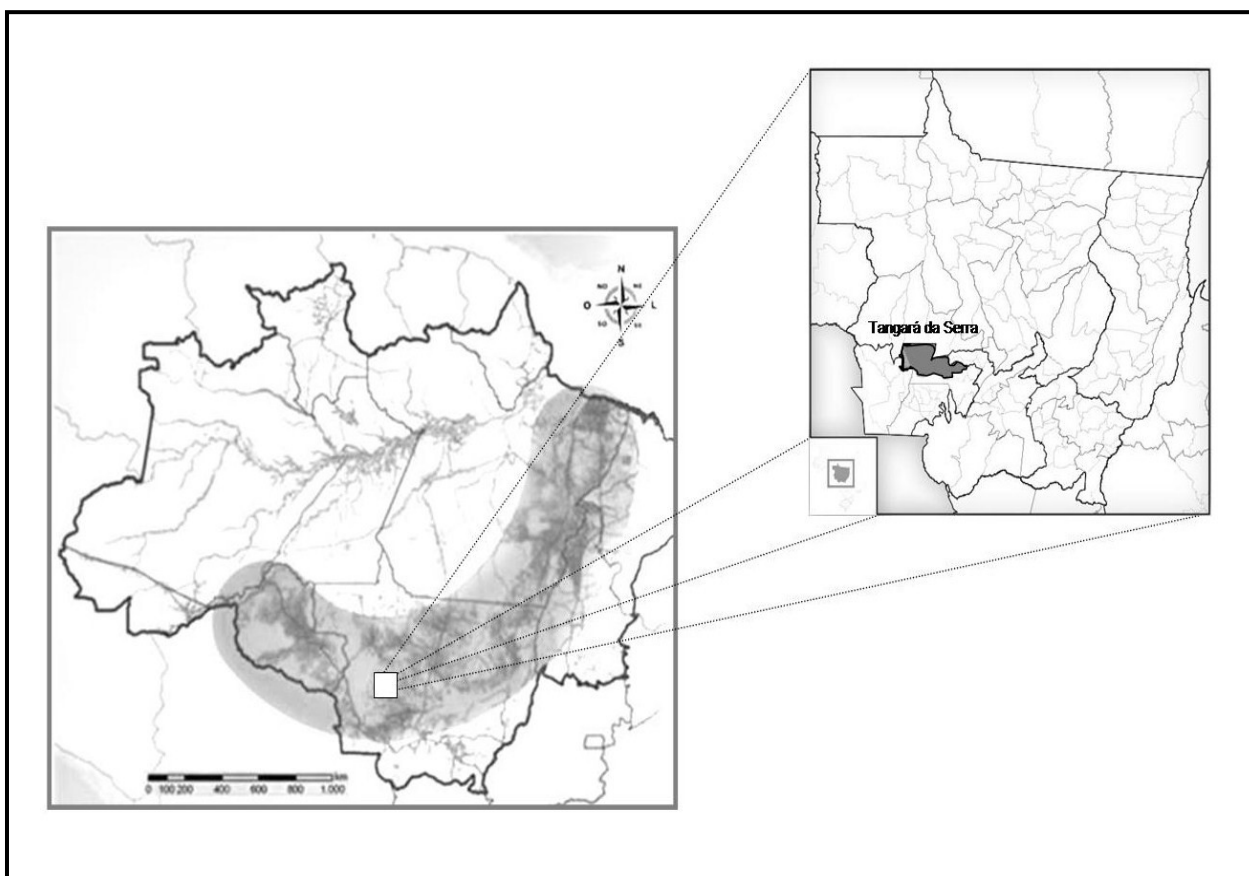
A Amazônia Legal, situada no norte do Brasil, concentra o maior índice de queimadas que ocorre no país (Figura 6). A área do arco do desmatamento dessa região abrange desde o sudeste do Maranhão (incluindo os estados do Tocantins, Pará, Mato Grosso, Rondônia, Amazonas) até o sudeste do Acre (IGNOTTI *et al.*, 2007).

Situada no sudoeste do Mato Grosso, Tangará da Serra foi criada em 1976, tendo sua área territorial desmembrada do município de Barra dos Bugres. Localiza-se a uma latitude 14°37'10" sul e a uma longitude 57°29'09" oeste, estando a uma altitude de 387 metros. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), sua população estimada em 2005 era de 70.259 habitantes, apresentando uma área de 11.556 km<sup>2</sup>, sendo que 53% do território é ocupado por reservas indígenas (TANGARÁ DA SERRA, 2010).

Tangará da Serra encontra-se no trajeto de dispersão de poluentes provenientes da área do arco do desmatamento da Amazônia brasileira, somado aos poluentes ambientais gerados no leste da Bolívia. Além disso, a região possui uma extensa área de plantio de cana-de-açúcar, configurando um local de exposição a poluentes atmosféricos (DUARTE, 2005).

De acordo com o Centro de Previsão do Tempo de Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), o Estado do Mato Grosso tem registrado, nos últimos anos, o maior número de focos de queimadas e possui a maior área desmatada da Amazônia Legal.

Logo, durante a estação de seca, tipicamente compreendida entre os meses de junho a outubro, Tangará da Serra tem apresentado uma grande taxa de queima, proveniente de práticas comuns na região como: atividades na agropecuária, a retirada da madeira e no preparo do corte manual em plantações de cana-de-açúcar; sendo estes os motivos para o desenvolvimento do estudo nesta região.



**Figura 6:** Mapa representando o arco do desmatamento da Amazônia Legal (sudeste do Maranhão até o sudeste do Acre), destacando o estado do Mato Grosso e a cidade de estudo, Tangará da Serra (Adaptado de: LUI & MOLINA, 2009).

## 2.2. Coleta do MP10 em filtros teflon

O MP10 emitido pela queima de biomassa em Tangará da Serra – MT foi coletado de forma contínua por 48 horas em filtros teflon (diâmetro – 47mm) durante o semestre de 2008, nos meses de seca (agosto a outubro - ocorrem um maior número de queimadas) e chuvoso (novembro e dezembro – ocorrem um menor número de queimadas).

A coleta foi feita através de um amostrador acoplado com *inlet* para a coleta das partículas totais menores que 10  $\mu\text{m}$ , excluindo as partículas maiores (Figura 7). O amostrador é conectado a uma bomba de vácuo que succiona o ar atmosférico e a tubulação passa por um medidor de fluxo que fornece o volume total do ar amostrado em tempo real. Para isto, os equipamentos foram calibrados com um

padrão e os volumes amostrados corrigidos. Além disso, o circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrando em horas.



**Figura 7:** Esquema da montagem do amostrador acoplado com *inlet*, utilizando filtros teflon (Adaptado de: NILU Products AS, 2010)

É importante destacar que os filtros teflon passaram por procedimentos de pesagem, foram montados no suporte do amostrador e embalados com papel alumínio antes de serem levados para o local de exposição. Depois que são amostrados, são novamente embalados e levados para o laboratório. Da mesma forma que antes, são climatizados por 24 horas e em seguida, são feitas as análises necessárias. Nestes filtros foram determinadas as concentrações do MP10 e dos níveis de BC. Também foram utilizados no teste de genotoxicidade e para a identificação dos alcanos e HPAs.

### 2.3. Coleta do material particulado fino e grosso

O MP atmosférico foi coletado pelo amostrador fino e grosso (AFG) que separa as partículas em duas frações: uma fina (MPF), definida por partículas menores que  $2,5 \mu\text{m}$  e uma grossa (MPG), definida por partículas com diâmetro entre  $10$  e  $2,5 \mu\text{m}$  (Figura 8).

O AFG é feito de material de plástico que apóia os filtros em dois estágios e contém um *inlet* com diâmetro de corte nominal de  $10 \mu\text{m}$ , evitando que partículas



muito grandes sejam coletadas no filtro e selecionando apenas a amostragem do particulado inalável (HOPKE *et al.*, 1997). Os filtros utilizados são de policarbonato, com 47mm de diâmetro que ficam dispostos em série. Para a seleção das partículas com fração grossa e fina, são utilizados filtros com poros de 8 $\mu$ m e 0,4 $\mu$ m de diâmetro, respectivamente (ARANA, 2009).



**Figura 8:** Esquema da montagem do amostrador de particulado fino e grosso (AFG) acoplado com *inlet*, utilizando filtros de policarbonato (Adaptado de: NILU Products AS, 2010).

O AFG também é conectado por uma tubulação de PVC a uma bomba de vácuo. O fluxo de ar e o volume são medidos em tempo real. Cada circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrado em horas. O tempo médio para a mudança dos filtros variou entre 24 e 48 horas. O material foi coletado nos meses de julho a novembro de 2008. A massa do MP fino e grosso foi determinada assim como os níveis de BC presente nas amostras.

## 2.4. Análise gravimétrica

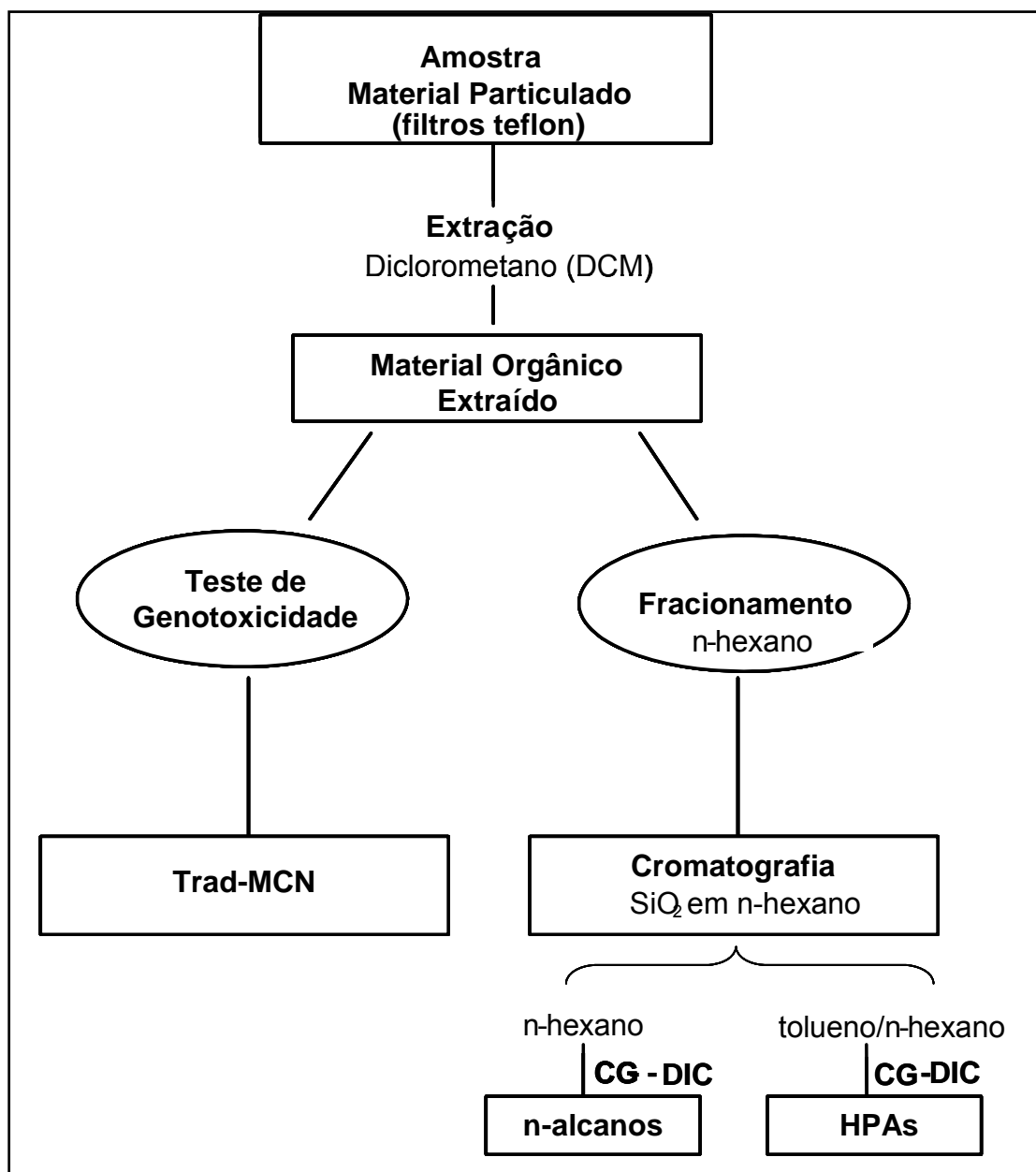
A partir da diferença da análise gravimétrica foi possível determinar a massa do MP coletado nos filtros teflon e policarbonato. Para isto, a massa dos filtros foi medida antes e depois da amostragem. Vale ressaltar que a pesagem dos filtros foi realizada em uma balança microanalítica eletrônica de precisão nominal 1µg da marca Mettler no Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Antes e após cada pesagem, as películas de teflon e policarbonato ficaram expostas a fontes radioativas de  $^{210}\text{Po}$  durante 24 horas para neutralizar as cargas elétricas presentes em sua superfície que poderiam alterar os resultados da pesagem (BARBOSA, 2007).

Além disso, a massa do MP obtida foi subtraída a massa adquirida nos filtros brancos. Estes filtros (não amostrados) foram submetidos ao mesmo processo dos outros filtros que foram levados para a área de estudo, servindo como controle para eliminar qualquer ganho de massa devido à absorção de água ou contaminação no transporte e manuseio dos filtros.

## 2.5. Preparação das amostras e extração do material orgânico

Após a determinação da massa do MP10 dos filtros teflon, o material orgânico foi extraído por ultrasonicação utilizando diclorometano na proporção de 1 ml do solvente para 1 mg do material coletado. Cada filtro foi sonicado 3 vezes por 10 minutos e em seguida foi feito um *pool* para a obtenção das amostras mensais. O volume do extrato foi reduzido para 5 ml usando o rotavapor a vácuo e em seguida, a amostra foi seca com nitrogênio puro. Uma vez que a concentração do material orgânico extraído foi determinada, as amostras foram estocadas à -20°C (SATO *et al.*, 1995).

Uma parte do material orgânico extraído foi dissolvida em n-hexano para o fracionamento. A outra parte foi dissolvida em dimetilsulfóxido (DMSO) e utilizado no teste de genotoxicidade (Figura 9). É importante destacar que para as duas análises, os filtros brancos foram utilizados e passaram pelos mesmos procedimentos de extração dos outros filtros coletados.



**Figura 9:** Esquema das análises feitas com o material orgânico extraído proveniente da queima de biomassa em Tangará da Serra –MT.

\*CG-DIC: Cromatografia gasosa com detector de ionização em chama

## 2.6. Análises químicas

### 2.6.1. *Black Carbon* (BC)

Para determinar a concentração do BC foi utilizada a análise de refletância no Instituto de Física da USP. A técnica consiste na alta absorção de luz na região visível, utilizando um refletômetro, Smoke Stain Refletometer, Diffusion System, modelo M43D. Logo, o filtro coletado foi apoiado em um suporte e iluminado por uma

lâmpada de tungstênio. A luz refletida é então detectada por um foto sensor. Quanto menor a intensidade da luz refletida, maior é a quantidade de BC presente na amostra (REID *et al.*, 1998).

## 2.6.2. Identificação e quantificação de n-alcenos e HPAs

### 2.6.2.1. Fracionamento dos extratos

Cerca de 30 mg do material orgânico extraído foi utilizado para o fracionamento da amostra. Os extratos foram separados por cromatografia líquida em gel de sílica. A coluna utilizada (30 x 0.7 cm) tinha 1,5 g de gel de sílica (GOGOU *et al.*, 1998). Alguns solventes foram utilizados para eluição de classes de compostos diferentes:

- (1) 15 mL de n-hexano (Fração F1, alifáticos – alcanos)
- (2) 15 mL de tolueno – n-hexano (5,6 : 9,4) (Fração F2, HPAs e nitro-HPAs)
- (3) 15 mL de n-hexano – diclorometano (7,5 : 7,5) (Fração F3, n-alcenais, n-alcen-2-onas, alcanonas e oxi-HPAs)
- (4) 20 mL de acetato de etila – n-hexano (Fração F4, n-alcenóis e esteróis)

Vale ressaltar que neste trabalho foram focadas apenas as frações de alcanos e HPAs. Após a passagem dos eluentes, cada fração foi reduzida para 2 ml no rotavapor com vácuo. Em seguida, as amostras foram transferidas para um frasco e foram secas com nitrogênio puro e estocadas a – 20°C.

### 2.6.2.2. Determinação dos compostos orgânicos

Para as análises com n-alcenos e HPAs, as frações foram ressuspendidas em 1000 µl e 100 µl de diclorometano P.A., respectivamente. Os compostos foram identificados e quantificados usando um cromatógrafo a gás equipado com detector de ionização de chama (DIC). O volume das amostras injetado foi igual a 1 µl. As temperaturas utilizadas no detector e injetor foram respectivamente 320°C e 300°C. A identificação dos compostos em análise foi realizada por comparação com o tempo de retenção dos padrões. E a quantificação foi feita usando o método do

padrão externo. Essa análise foi realizada no laboratório de Química Atmosférica no Instituto de Química da USP.

### 2.6.2.3. Limites de detecção e quantificação

Pode-se definir limite de detecção (LD) como o menor valor de concentração ou massa de um analito que pode ser detectado com precisão aceitável por um procedimento experimental estabelecido. Por outro lado, o limite de quantificação (LQ) refere-se a menor concentração ou massa de um analito que pode ser quantificado sob as mesmas condições do LD (MAGALHÃES, 2005).

O LD e o LQ podem ser calculados a partir das suas respectivas equações de regressão ( Figura 10):

<b>Limite de Detecção (LD)</b>	<b>Limite de Quantificação (LQ)</b>
$y = bx + a$ $LD = 3 DP / b$	$y = bx + a$ $LQ = 10 DP / b$
<b>b = coeficiente angular da reta</b> <b>DP = desvio padrão da reta</b>	

**Figura 10:** Equações de regressão para os cálculos do limite de detecção e quantificação de um analito. O DP foi calculado a partir da variância residual referente à curva analítica dos padrões (área versus quantidade do analito) (Adaptado de Magalhães, 2005).

Os cálculos do LD e LQ foram feitos a partir de curvas analíticas dos padrões para os n-alcanos e HPAs. Vale ressaltar que esses dados são essenciais para analisar as concentrações finais destes compostos e os resultados também foram obtidos no laboratório de Química Atmosférica no Instituto de Química da USP (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 3:** Limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) dos n-alcenos.

<b>n-alcenos</b>	<b>LD (ng)</b>	<b>LQ (ng)</b>
<b>C<sub>16</sub></b>	0,15	0,44
<b>C<sub>20</sub></b>	0,13	0,41
<b>C<sub>22</sub></b>	0,17	0,50
<b>C<sub>26</sub></b>	0,17	0,51
<b>C<sub>28</sub></b>	0,12	0,37
<b>C<sub>30</sub></b>	0,24	0,71
<b>C<sub>32</sub></b>	0,25	0,76
<b>C<sub>34</sub></b>	0,41	1,25

**Tabela 4:** Limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) dos HPAs.

<b>HPA(s)</b>	<b>LD (ng)</b>	<b>LQ (ng)</b>
<b>Naftaleno</b>	0,99	3,00
<b>Acenaftaleno</b>	0,89	2,70
<b>Acenafteno</b>	0,58	1,75
<b>Fluoreno</b>	0,41	1,24
<b>Fenantreno</b>	0,40	1,20
<b>Antraceno</b>	0,40	1,20
<b>Fluoranteno</b>	0,58	1,75
<b>Pireno</b>	0,33	1,01
<b>Reteno</b>	0,35	1,06
<b>Benzo(a)antraceno</b>	0,48	1,45
<b>Criseno</b>	0,37	1,13
<b>Benzo(b)fluoranteno</b>	0,67	2,03
<b>Benzo(k)fluoranteno</b>	0,27	0,81
<b>Benzo(e)pireno</b>	0,44	1,34
<b>Benzo(a)pireno</b>	0,44	1,34
<b>Indeno(1,2,3-cd)pireno</b>	0,46	1,40
<b>Dibenzo(a,h)antraceno</b>	0,83	2,50
<b>Benzo(g,h,i)perileno</b>	0,63	1,92

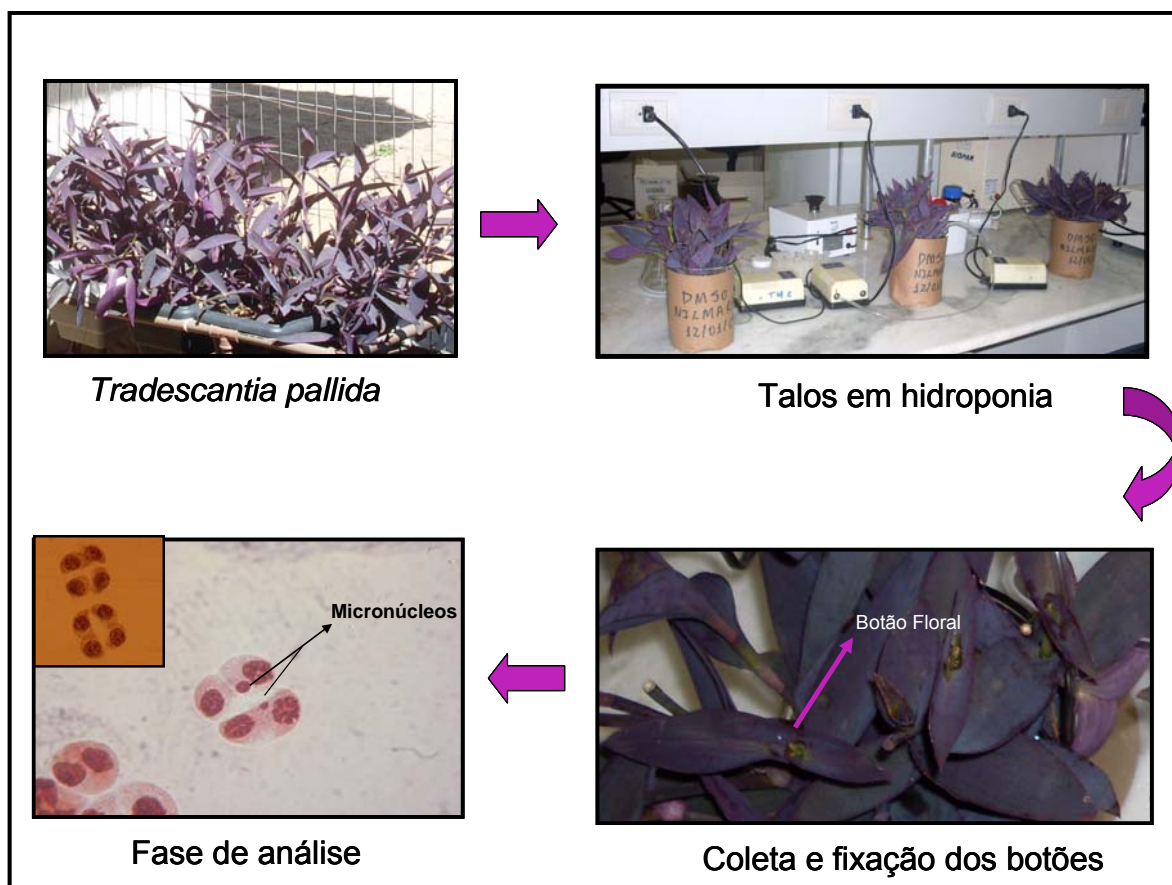
## 2.7. Teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida*

O Trad-MCN foi realizado utilizando o protocolo estabelecido por MA (1981). Os talos com botões jovens da *T. pallida* foram coletados de plantas cultivadas em terra vegetal e adubadas com formulação de N:P:K (10:10:10). As plantas foram mantidas a pleno sol e irrigadas diariamente com água destilada, mantendo as condições ideais.

Para a avaliação do teste de genotoxicidade, foram preparadas três concentrações diferentes do material orgânico extraído com diclorometano e dissolvidos em DMSO (1%) (0,1 mg/L, 0,5 mg/L e 1,0 mg/L ) para cada amostra mensalmente (agosto a dezembro / 2008). Também foram realizados testes com o controle negativo (filtros brancos) e o controle positivo (formaldeído 0,2%). É importante destacar que também foi realizado um Trad-MCN com DMSO (1%) para confirmar a utilização desse composto sem nenhuma interferência nos resultados obtidos pelos extratos expostos.

Na realização do bioensaio (Figura 11), cerca de 45 talos de *Tradescantia pallida* coletados de diferentes vasos, foram mantidos em laboratório com solução nutritiva de Hoagland, por 24 horas. Em seguida, foram transferidos para beckers contendo a solução teste (controles negativo e positivo assim como as três concentrações do material orgânico para cada mês) por 8 horas. Após o período de exposição, os talos foram submetidos a um processo de recuperação por 24 horas com solução de Hoagland (HOAGLAND & ANON, 1950). Depois, os botões foram fixados em solução de ácido acético e álcool (1:3) por 48 horas e armazenadas em álcool 100%.

Para a análise, os botões foram dissecados e as anteras maceradas sobre a lâmina, junto com uma gota do corante Carmin. Somente as lâminas contendo a fase em tétrade foram consideradas. Foram analisadas 300 tétrades por lâmina em aumento de 400x, contando-se o número de tétrades normais e de tétrades com a presença de um ou mais micronúcleos. A frequência de micronúcleo foi expressa em porcentagem (número total de MCN em 100 tétrades).



**Figura 11:** Desenho esquemático do teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida* (ex situ).

## 2.8. Análise estatística

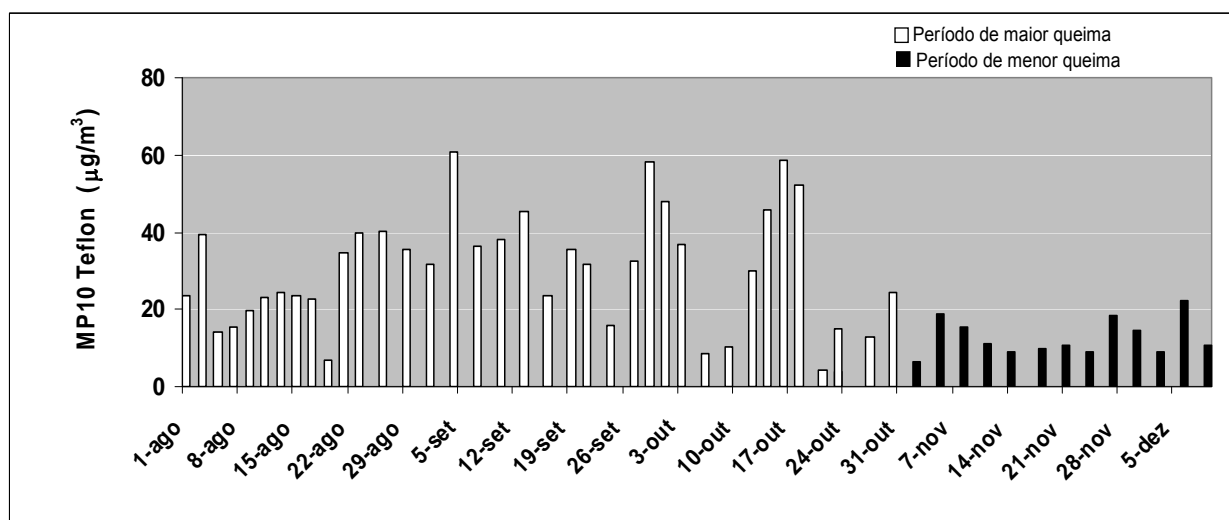
O programa estatístico utilizado nesse trabalho foi o Bioestat 5.0. Realizou-se uma análise de variância (ANOVA) dos dados de MP10 e BC, considerando a regressão linear simples. Para o Trad-MCN foi feita usando a análise de variância ANOVA two-way para o tratamento de diferentes meses e concentrações. Foi feito também o teste de Dunnett para determinar o nível de significância entre os grupos tratados e o grupo controle. Outra forma de avaliar os dados foi comparando os grupos de tratamento do período com maior queima e menor queima usando o teste Tukey. E finalmente, a correlação de Pearson foi usada para verificar a relação entre os níveis de MP10 e a média da frequência de micronúcleo encontrada no período de maior queima. A análise é significativa com  $p < 0,05$ .



### 3. RESULTADOS

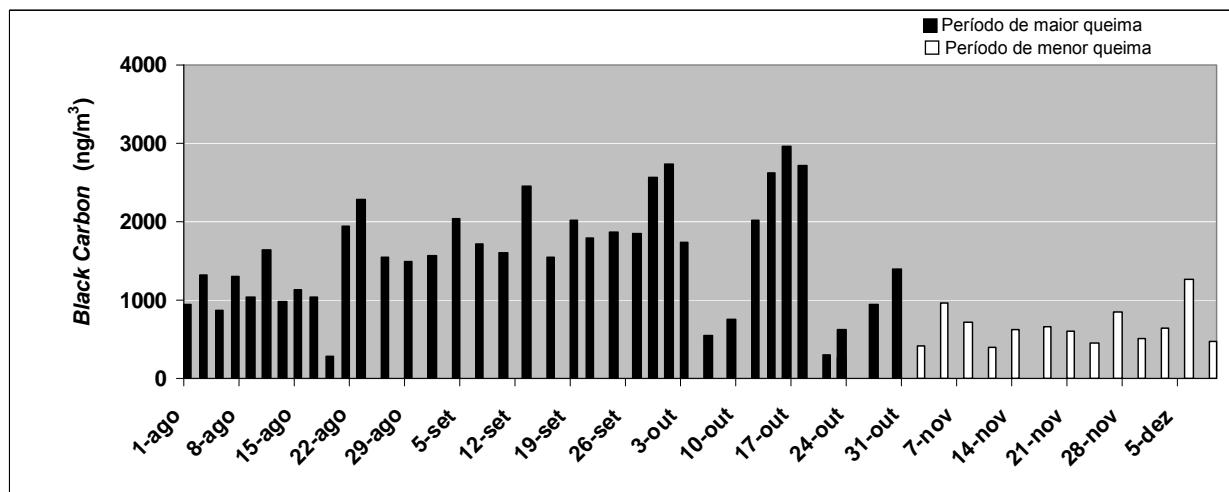
#### 3.1. Dados do MP10 e BC coletados em filtros teflon

A Figura 12 mostra as concentrações em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  do MP10. Observa-se uma média maior da quantidade de massa pelo volume amostrado no período de queima (agosto a outubro –  $28,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) quando comparada com o período de menor queima (novembro e dezembro –  $13,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Fazendo uma correlação com o padrão diário estabelecido pelo CONAMA ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e pela WHO ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), verifica-se ainda que nenhum período ultrapassou a concentração máxima permitida, já que essas amostras foram coletadas durante 48 horas.



**Figura 12:** Gráfico dos níveis de MP10 coletado por 48 horas em Tangará da Serra-MT nos meses de agosto a outubro (período de maior queima) e nos meses de novembro e dezembro (período de menor queima).

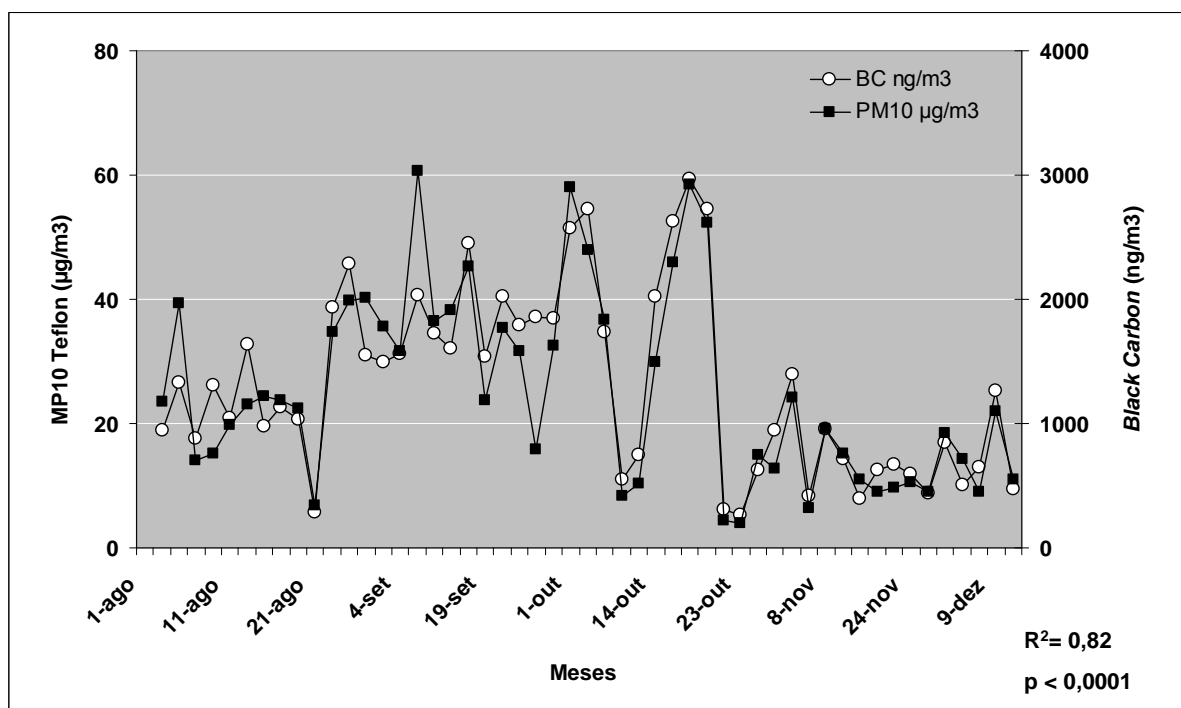
A Figura 13 mostra os resultados em  $\text{ng}/\text{m}^3$  do BC. A média obtida nos meses de agosto a outubro foi de  $1537 \text{ng}/\text{m}^3$  enquanto que nos meses de novembro e dezembro foi de  $657 \text{ng}/\text{m}^3$ . Observa-se também que os maiores níveis foram atingidos no período de queima.



**Figura 13:** Gráfico dos níveis de BC coletado por 48 horas em Tangará da Serra-MT nos meses de agosto a outubro (período de maior queima) e nos meses de novembro e dezembro (período de menor queima).

Percebe-se uma diminuição dos níveis de MP10 e BC no final do mês de outubro, período este de transição entre os níveis de maior e menor queima de biomassa na área em estudo.

Para verificar a relação entre os níveis de MP10 e de BC foi realizada uma regressão linear simples. O resultado da análise evidencia uma forte correlação entre os dados. Observou-se que à medida que foi aumentando os níveis de MP10, também ocorreu o aumento nos níveis de BC e vice-versa (Figura 14 e Tabela 5).



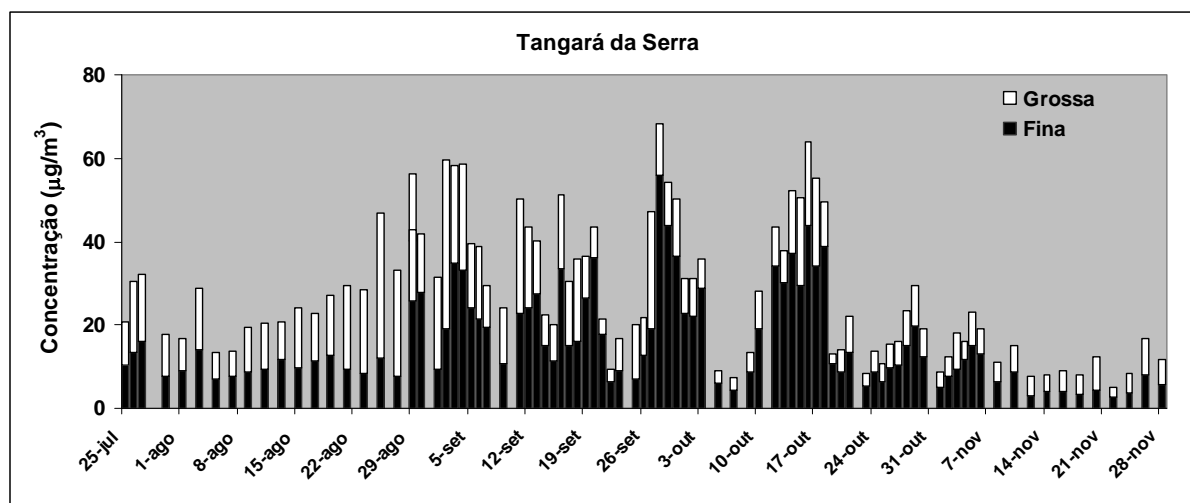
**Figura 14:** Dados de MP10 e BC nos meses de agosto a dezembro coletados em Tangará da Serra. Forte correlação e significância ( $R^2=0,82$  e  $p < 0,0001$ ).

**Tabela 5:** Análise de variância dos dados de MP10 e BC coletados em filtros teflon considerando a regressão.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p
Regressão	1	22753536.5222753537	243.4464	< 0,0001	
Erro	49	4579749.16793464.269			
Total	50	27333285.69			

### 3.2. Dados do material particulado fino e grosso

A figura 15 mostra as concentrações em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  do MPF e MPG coletado no amostrador AFG. Nota-se que há um predomínio das partículas finas em relação a partículas grossas em todos os meses amostrados.



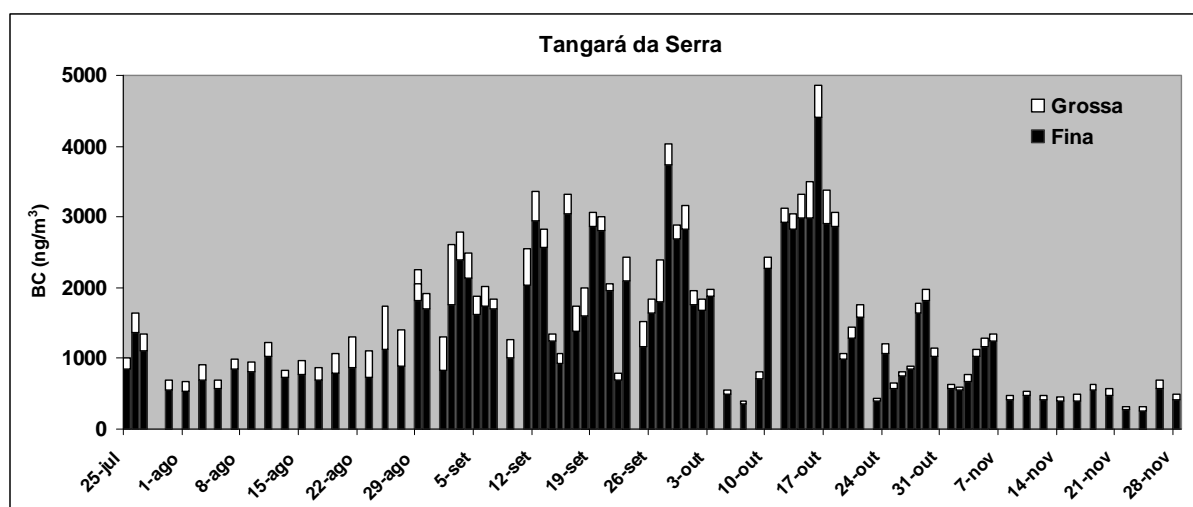
**Figura 15:** Gráfico dos níveis do MPF e MPG coletado em Tangará da Serra-MT nos meses de julho a novembro de 2008.

Observa-se uma média maior da quantidade de massa pelo volume amostrado no período de queima (julho a outubro) quando comparada com o período de menor queima (novembro) em ambas frações. Quando são somada as duas frações do MP é obtido o valor total do MP10 (Tabela 7). Com relação ao MPF, as maiores concentrações foram nos meses de agosto ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), setembro ( $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e outubro ( $37,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Já o MPG, obteve os maiores índices nos meses de agosto ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e setembro ( $40,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabela 6:** Concentrações em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  das partículas inaláveis (MP10), partículas finas (MPF) e partículas grossas (MPG) obtidas nos meses de julho a novembro / 2008 em Tangará da Serra.

	Média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	DP	Mínimo	Máximo
<b>Período de maior queima</b>				
MP10	31,2	15,5	7,2	68,2
MPF	18,5	11,6	4,4	55,9
MPG	12,7	7,6	2,4	40,5
<b>Período de menor queima</b>				
MP10	12,5	5,0	5,1	23,0
MPF	6,9	3,8	2,7	15,2
MPG	5,6	1,8	2,5	8,7
<b>Total</b>				
MP10	27,9	15,9	5,1	68,2
MPF	16,4	11,5	2,7	55,9
MPG	11,4	7,4	2,4	40,5

A Figura 16 mostra os resultados em  $\text{ng}/\text{m}^3$  do *black carbon* presente nas frações finas (BCF) e do *black carbon* presente nas frações grossas (BCG). É notável também o predomínio do BCF em relação ao BCG.



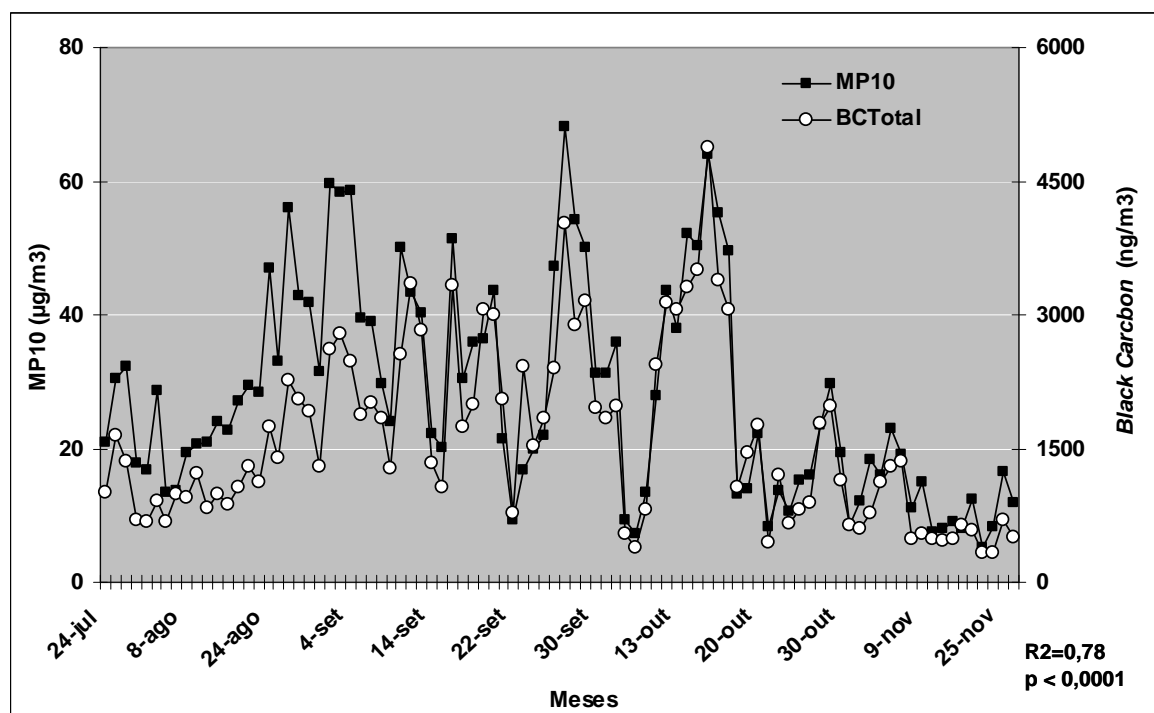
**Figura 16:** Gráfico dos níveis do BCF e BCG coletado em Tangará da Serra-MT nos meses de julho a novembro de 2008.

A média de BC no período de queima (agosto a outubro) é maior quando comparada com o período de menor queima (novembro) em ambas as frações. Quando são somados os resultados de BC presente nas duas frações é obtido o valor total do BC (Tabela 7). Sobre os dados do BCF, os maiores índices de concentração foram nos meses de setembro ( $3732,6 \text{ ng/m}^3$ ) e outubro ( $4398,0 \text{ ng/m}^3$ ). Por outro lado, nos dados do BCG, os maiores índices foram obtidos no mês de agosto ( $618,5$  e  $521,4 \text{ ng/m}^3$ ).

**Tabela 7:** Concentrações em  $\text{ng/m}^3$  dos níveis de *black carbon* (BC), partículas finas (BCF) e partículas grossas (BCG) presente no BC obtidas nos meses de julho a novembro / 2008 em Tangará da Serra.

	<b>Média (<math>\text{ng/m}^3</math>)</b>	<b>DP</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Período de maior queima</b>				
BC	1827,3	971,7	396,0	4868,0
BCF	1586,2	900,5	355,4	4398,0
BCG	241,0	158,5	36,6	860,1
<b>Período de menor queima</b>				
BC	664,3	317,4	322,0	1349,0
BCF	583,6	299,2	261,3	1242,1
BCG	80,7	25,8	43,1	123,3
<b>Total</b>				
BC	1620,6	995,6	322,0	4868,0
BCF	1408,0	910,4	261,3	4398,0
BCG	212,5	156,5	36,6	860,1

Procurou-se verificar a influência do BC nas amostras de MP10 e para isso, foi feita uma regressão linear simples (Figura 17 e Tabela 8). Os dados obtidos mostraram que houve uma correlação ( $R^2=0,78$ ) e significância entre as duas amostras ( $p<0,0001$ ).



**Figura 17:** Dados de MP10 e BC nos meses de julho a novembro coletados em Tangará da Serra-MT através do amostrador AFG. Boa correlação e significância ( $R^2=0,78$  e  $p < 0,0001$ ).

**Tabela 8:** Análise de variância dos dados de MP10 e BC coletados em filtros de policarbonato considerando a regressão.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p
Regressão	1	17916.5937	17916.594	331.3002	< 0,0001
Erro	88	47590073	54.0796		
Total	89	22675.601			

### 3.3. Resultados sobre os n-alcenos

Foi realizada a análise dos n-alcenos do material orgânico no período de queima em Tangará da Serra-MT. Nessas amostras foram identificados e quantificados os n-alcenos no intervalo de C<sub>14</sub> a C<sub>35</sub> e os alcenos isoprenóides pristano e fitano (Figura 18). Os filtros brancos também foram analisados e subtraídos dos resultados encontrados no período de queima.

A concentração total de alcenos foi de 38,82 ng/m<sup>3</sup>. O IPC foi igual a 1,04 na faixa de C<sub>25</sub> a C<sub>35</sub> e o IPC igual a 0,89 foi encontrado na faixa de C<sub>17</sub> a C<sub>23</sub>.

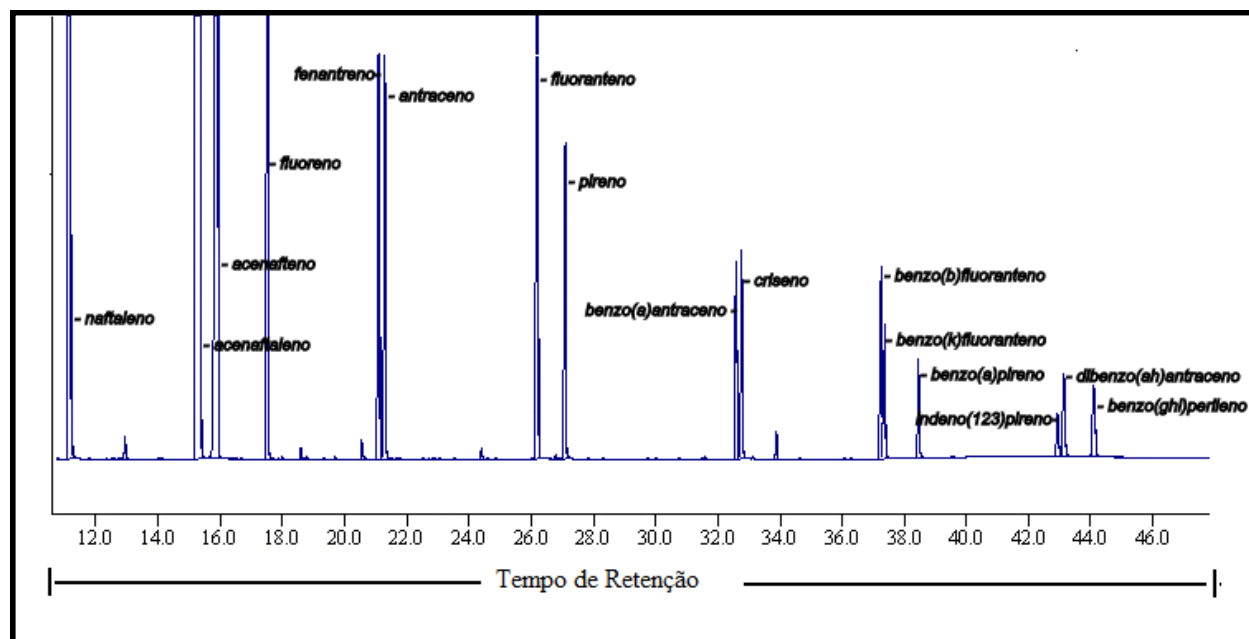
A tabela 9 mostra o tempo de retenção necessário para identificar os compostos na CG-DIC e as concentrações dos alcanos encontrados na amostra. Observa-se uma concentração alta do C<sub>14</sub> e C<sub>16</sub>, fazendo parte dos n-alcenos mais leves (C<sub>14</sub> a C<sub>22</sub>). Os seis n-alcenos mais abundantes são: C<sub>14</sub>, C<sub>16</sub>, C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub> e C<sub>31</sub>. O pristano é um alcano comum entre os hidrocarbonetos biogênicos. As concentrações de pristano e fitano foram 1,11 e 0,68 ng/m<sup>3</sup>, respectivamente.

**Tabela 9:** Resultados do tempo de retenção e concentrações dos alcanos identificados e quantificados do material orgânico de Tangará da Serra referente ao período de queima.

<b>Resultados dos Alcanos de Tangará da Serra - MT</b>		
<b>Alcanos</b>	<b>Tempo de Retenção (min.)</b>	<b>Concentração (ng/m<sup>3</sup>)</b>
C <sub>14</sub>	12.90	4,41
C <sub>15</sub>	15.11	0,23
C <sub>16</sub>	17.48	2,89
C <sub>17</sub>	19.31	2,03
Pristano	19.42	1,11
C <sub>18</sub>	20.63	0,63
Fitano	21.35	0,68
C <sub>19</sub>	23.01	0,65
C <sub>20</sub>	54.82	0,68
C <sub>21</sub>	26.59	0,64
C <sub>22</sub>	28.30	0,66
C <sub>23</sub>	29.96	1,02
C <sub>24</sub>	31.56	1,09
C <sub>25</sub>	33.11	0,57
C <sub>26</sub>	34.60	1,86
C <sub>27</sub>	36.04	2,73
C <sub>28</sub>	37.44	3,48
C <sub>29</sub>	38.79	3,76
C <sub>30</sub>	40.09	2,33
C <sub>31</sub>	41.86	2,44
C <sub>32</sub>	43.06	1,42
C <sub>33</sub>	44.15	1,11
C <sub>34</sub>	47.04	1,05
C <sub>35</sub>	50.77	1,35
Total: 38,82 ng/m <sup>3</sup>		
IPC (C <sub>17</sub> -C <sub>23</sub> ): 0,89		
IPC (C <sub>25</sub> -C <sub>35</sub> ): 1,04		

### 3.4. Resultados sobre os HPAs

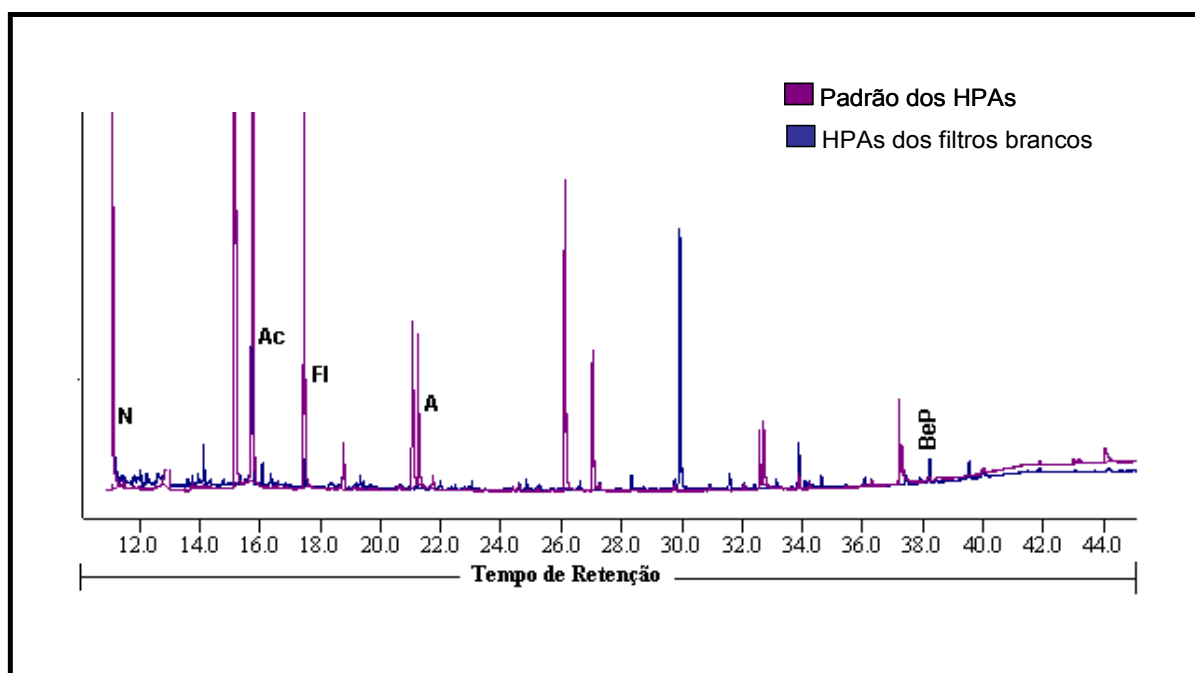
Nesse estudo, antes de analisar os compostos do período de queima, utilizou-se um padrão com 16 HPAs que são tidos como prioritários pela EPA (Figura 18).



**Figura 18:** Cromatograma dos padrões dos HPAs utilizados para identificar os compostos aromáticos do material orgânico de Tangará da Serra de acordo com o tempo de retenção.

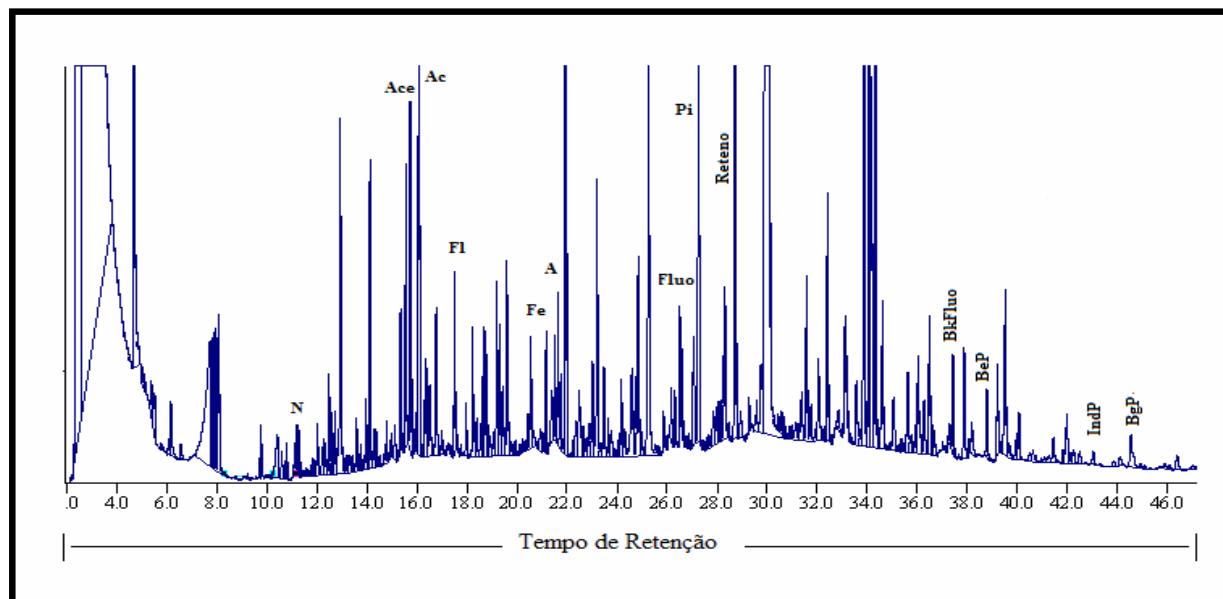
Com o intuito de comparar os perfis dos resultados entre os filtros expostos e os não-expostos, foram analisados os filtros brancos e identificou-se os seguintes compostos: naftaleno, acenafteno, fluoreno, antraceno e benzo(e)pireno. As concentrações encontradas nos filtros não amostrados foram subtraídas dos resultados encontrados nos filtros de queima (Figura 19).





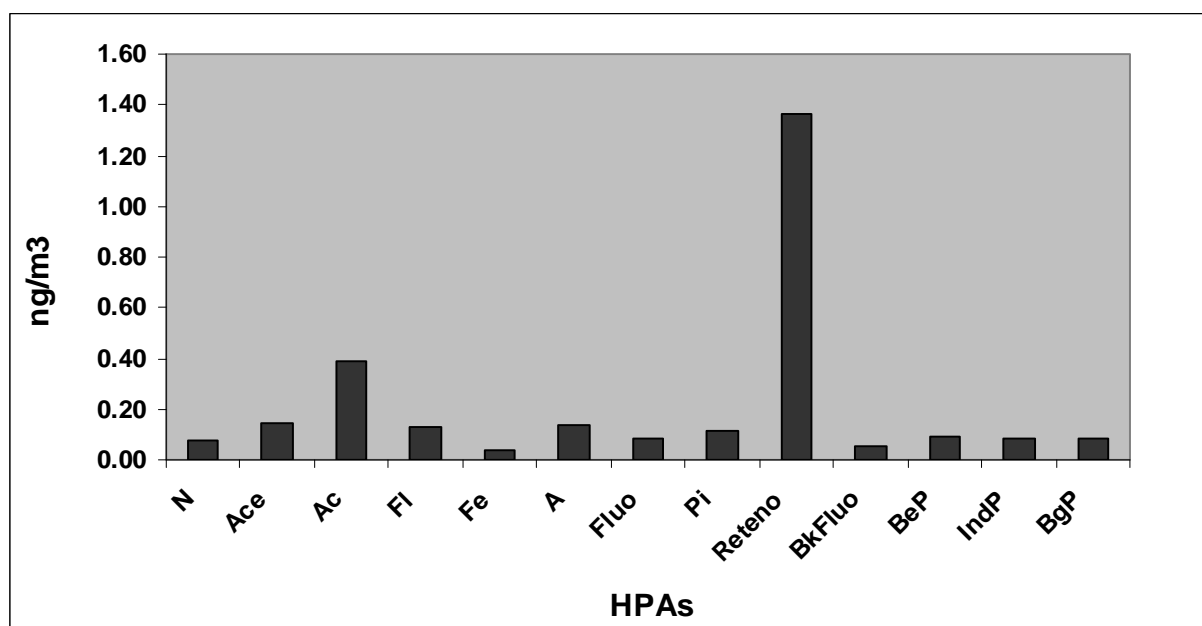
**Figura 19:** Cromatograma do padrão dos HPAs plotados sobre os HPAs dos filtros brancos (não expostos).

Na amostra do período de queima (*pool* do material orgânico obtido dos meses de agosto a outubro) detectou-se 13 HPAs. São eles: naftaleno (N), acenaftileno (Ace), acenafteno (Ac), fluoreno (FI), fenantreno (Fe), antraceno (A), fluoranteno (Fluo), pireno (Pi), reteno, benzo(k)fluoranteno (BkFluo), benzo(e)pireno (BeP), indeno (1,2,3,-cd)pireno (IndP) e benzo(g,h,i)perileno (BgP) (Figura 20). A identificação foi feita de acordo com o tempo de retenção do padrão. Vale ressaltar que o benzo(a)pireno não foi identificado nessa amostra.



**Figura 20:** Cromatograma dos HPAs do material orgânico coletado em Tangará da Serra. A identificação foi feita de acordo com o tempo de retenção, tendo como base o resultado do padrão.

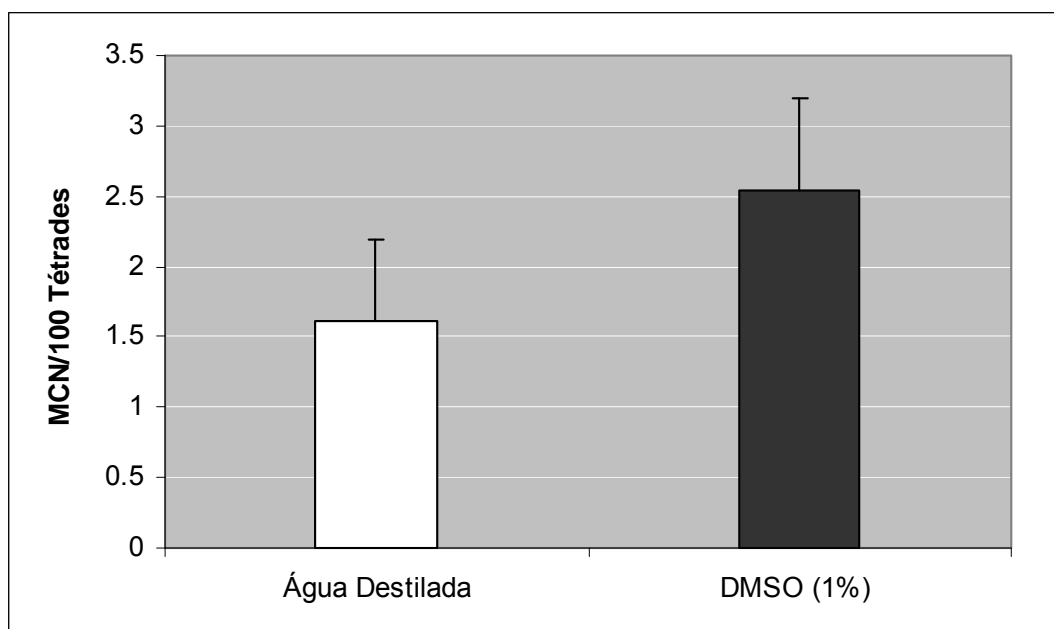
O HPA encontrado em maior quantidade foi o reteno, seguido do acenafteno, acenaftileno, antraceno, fluoreno e pireno (Figura 21). Alguns compostos identificados, de acordo com a “International Agency for Research on Cancer” (IARC), são considerados mutagênicos, como: fenantreno, fluoranteno, pireno, benzo(e)pireno e benzo(g,h,i)perileno. Os compostos indeno (1,2,3-cd)pireno e benzo(k)fluoranteno são considerados carcinogênicos e mutagênicos.



**Figura 21:** Resultados dos HPAs identificados e quantificados do material orgânico de Tangará da Serra no período de queima.

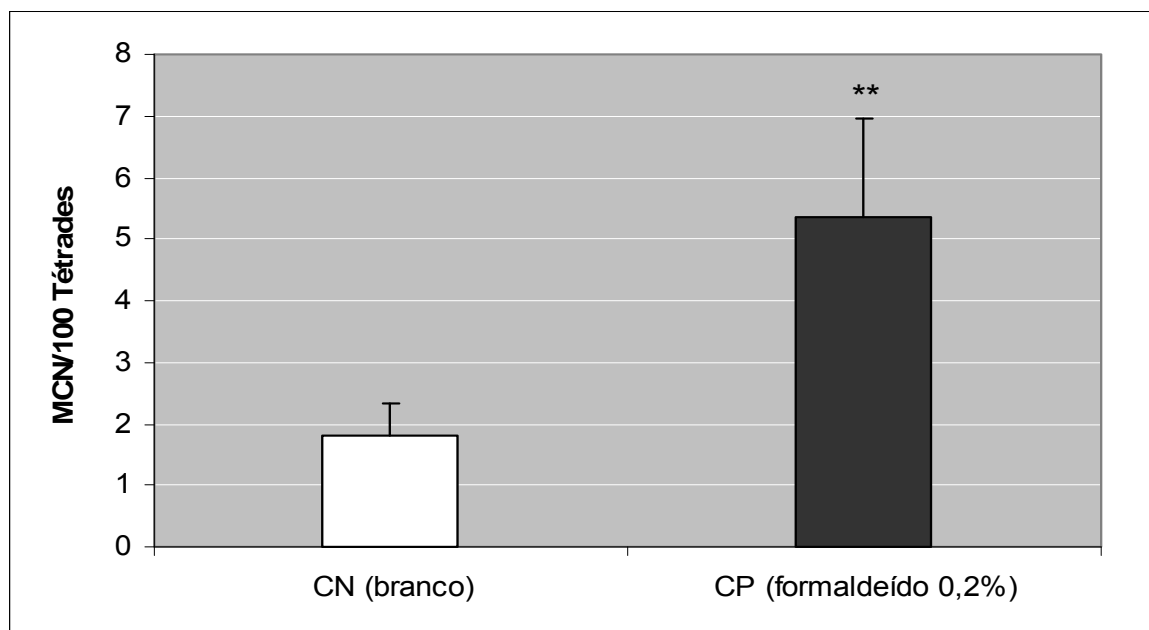
### 3.5. Resultados do Trad-MCN

Tendo em vista o caráter lipofílico do DMSO, realizou-se um Trad-MCN para avaliar a toxicidade genética associada ao DMSO (1%). Os resultados obtidos mostraram que o composto não foi potencialmente genotóxico para os talos de *Tradescantia pallida* e não mostrou diferença significativa ( $2,54 \pm 0,65$ ) quando comparado com um controle negativo usando água destilada ( $1,61 \pm 0,58$ ) (Figura 22). O DMSO (1%) foi utilizado em todos os testes de hidroponia com os extratos. Flores *et al.* (2003) avaliou o DMSO (1%) usando o Trad-MCN e obteve resultado similares.



**Figura 22:** Resultado do Trad-MCN usando água destilada e DMSO (1%). Não houve diferença significativa entre os compostos testados.

Foram realizados testes com os controles: negativo (filtros brancos) e positivo (formaldeído 0,2%). A média da frequência de micronúcleo para o controle positivo foi três vezes maior que a média da frequência de micronúcleo para o controle negativo (Figura 23).



**Figura 23:** Resultado do Trad-MCN usando o controle negativo (filtros brancos) e controle positivo (formaldeído 0,2%). Houve grande diferença significativa entre os compostos analisados.

A tabela 10 mostra os resultados da avaliação da genotoxicidade do material orgânico coletado nos meses de agosto a dezembro em Tangará da Serra- MT. Observou-se que nos meses de agosto e setembro houve um aumento significativo na frequência de micronúcleo para as doses testadas. Em outubro, apenas na maior concentração foi significativo e notou-se também um aumento dose-resposta na taxa de micronúcleo. Por outro lado, o material orgânico dos meses de novembro e dezembro exposto nas três diferentes concentrações não apresentou significância na taxa de micronúcleo quando comparadas com o controle negativo.

**Tabela 10:** Média e desvio padrão (DP) da frequência de micronúcleo em tétrades de *Tradescantia pallida* (MCN/100 tétrades) exposto por 8 horas em três concentrações diferentes para os meses de maior queima (agosto a outubro) e de menor queima (novembro e dezembro).

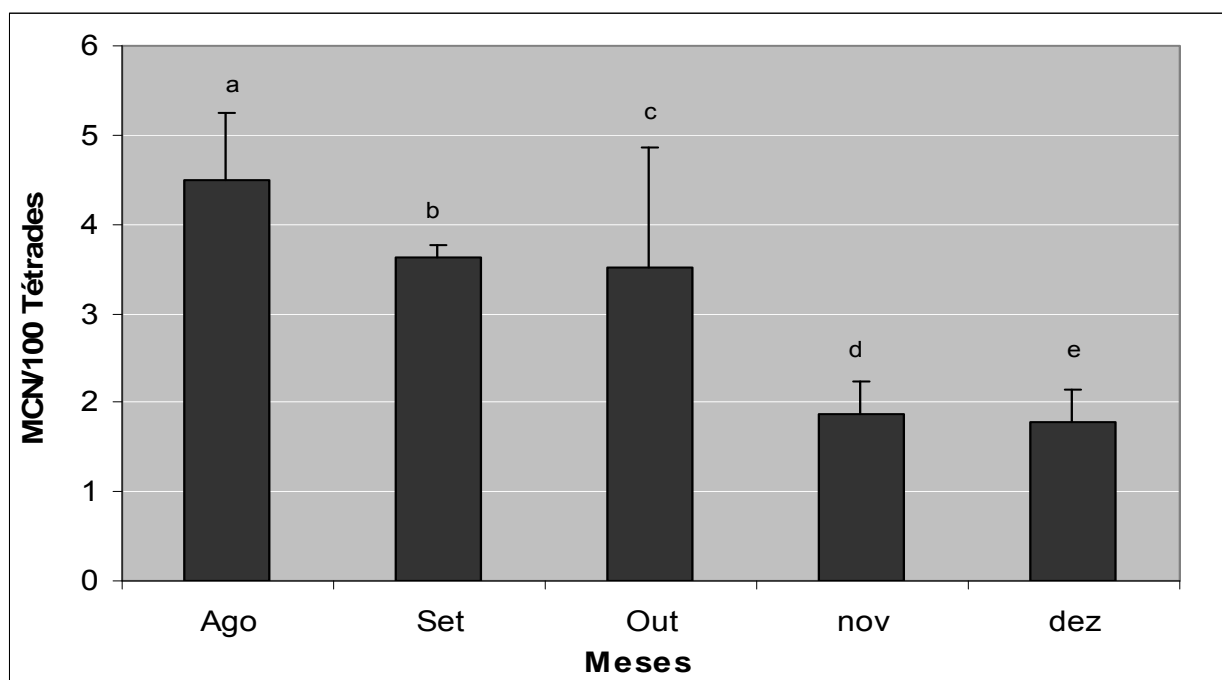
Meses	Material Particulado Orgânico			Q > ou Q <
	Concentração (mg/L) e Média ± DP			
	0,1	0,5	1,0	
Agosto	3,73 ± 1,16**	4,54 ± 1,19**	5,21 ± 1,30**	Q >
Setembro	3,46 ± 1,43*	3,69 ± 1,77**	3,73 ± 1,10**	Q >
Outubro	2,36 ± 1,13	3,16 ± 0,94	5,00 ± 1,24**	Q >
Novembro	1,45 ± 0,92	2,03 ± 0,86	2,13 ± 0,42	Q <
Dezembro	1,53 ± 0,32	1,63 ± 0,55	2,20 ± 0,54	Q <

Controle negativo (filtros brancos): 1,79 ± 0,54

p < 0,05 e \*\* p < 0,01 Estatisticamente significativa em relação ao controle negativo de acordo com o teste de Dunnett

Q >: maior queima Q <: menor queima

Ao correlacionar os grupos de meses em estudo, a análise estatística indica que cada mês do grupo de queima (agosto a outubro) é significativa em relação aos meses grupo de menor queima (novembro e dezembro), sob as mesmas condições (Figura 24). A ANOVA two-way mostrou que houve diferenças significativas entre os meses e as concentrações usadas no Trad-MCN (Tabela 11).

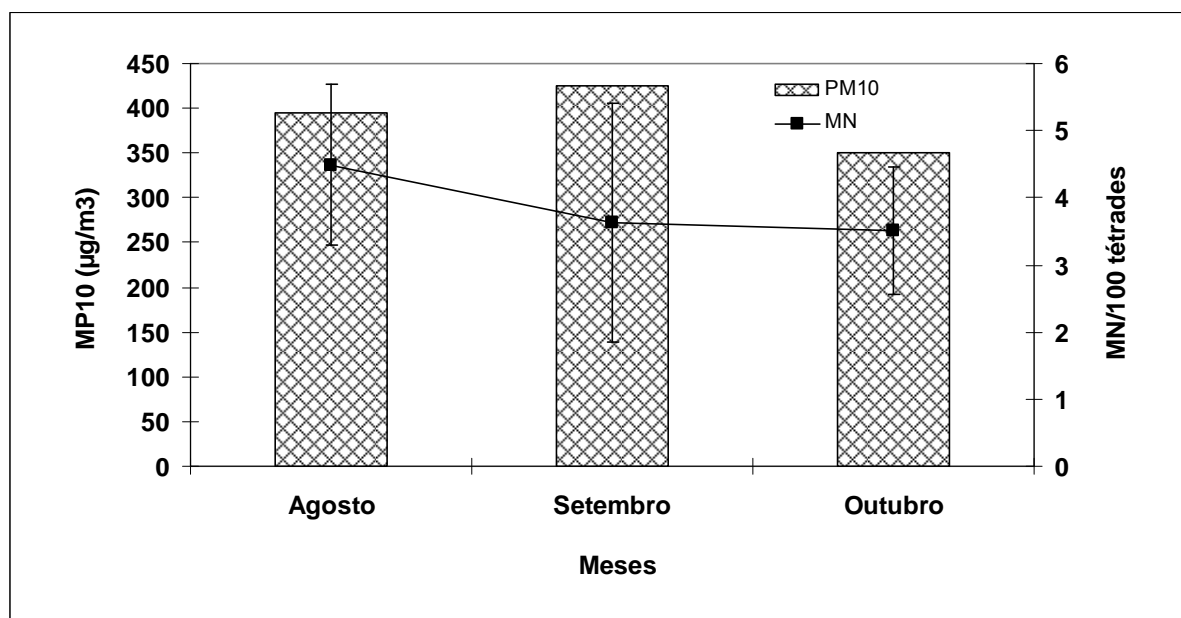


**Figura 24:** Resultado do Trad-MCN usando os extratos orgânicos coletados em filtros teflon. A análise foi feita mensalmente. O teste Tukey usado para analisar os grupos mensais mostrou que (a e d) e (a e e) apresentam p < 0,01 e os grupos (b e d), (b e e), (c e d) e (c e e) são significativos (p < 0,05).

**Tabela 11:** Análise de variância (ANOVA two-way) das concentrações utilizadas no Trad-MCN e as médias totais da taxa de micronúcleo nos meses de agosto a dezembro.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p
Tratamento (Concentrações)	2	3.2864	1.643	6.513	< 0,021
Blocos (Meses)	4	16.86	4.215	16.7070	< 0,001
Erro	8	2.018	0.252		

Com o intuito de verificar a relação entre os níveis de MP10 e a média da taxa de micronúcleo entre os meses de queima foi feita uma correlação de Pearson e os resultados mostraram que esses dados não estão correlacionados (Figura 25).



**Figura 25:** Relação entre o MP10 e a média da frequência de micronúcleo em *Tradescantia pallida* durante o período de queima em Tangará da Serra – MT.

#### 4. DISCUSSÃO

A poluição atmosférica têm sido alvo de preocupação em todo o mundo. Fatos notórios como a ocorrência do processo de mudanças climáticas e os estudos epidemiológicos que apontam altos índices de taxa de morbidade e mortalidade por doenças respiratórias; demonstram a urgência em buscar alternativas para o controle dos ecossistemas e da saúde da população exposta. Esses poluentes podem ser emitidos por diferentes fontes, mas grande parte dos trabalhos existentes na literatura tem investigado os efeitos ocasionados por emissões veiculares e industriais. Nesse sentido, os estudos voltados para queima de biomassa ainda são restritos e, portanto, mercedores de uma visão pesquisadora.

Sabe-se que a Amazônia Legal vem passando por um rápido processo de ocupação, que tem levado a um grande desmatamento na região. Além disso, concentra mais de 85% das queimadas que ocorrem no Brasil durante o período de seca. Estudos realizados no estado do Mato Grosso, inclusive em Tangará da Serra, mostram uma relação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e uma maior proporção de internações por doenças respiratórias no período de queimadas (IGNOTTI *et al.*, 2007). Diante desse quadro, questionou-se os possíveis compostos que poderiam estar correlacionados com esses dados epidemiológicos e o presente trabalho propôs a avaliação do potencial mutagênico do MP orgânico, já que nenhum trabalho avaliou a genotoxicidade desses compostos nessa área de estudo usando o Trad-MCN (*ex situ*).

A pesquisa realizada em Tangará da Serra - MT mostrou altos índices do MP no período de maior queima quando comparado com o período de menor queima. Tal fato pode ser explicado pelas condições meteorológicas, pois a intensificação das atividades de desflorestamento através do fogo e a queima da cana-de-açúcar são maiores no período de menor precipitação. Consequentemente, as queimadas representam uma fonte de poluentes para a atmosfera. Da mesma forma, no trabalho realizado por CANÇADO (2003) em Piracicaba, o autor observou que a média da concentração do MP10 foi bem maior no período de queima da palha da cana-de-açúcar do que no período de não queima.

Dentro desse contexto, é importante destacar que durante os dias de amostragem, os níveis do MP10 não passaram do limite diário estabelecido tanto pelo CONAMA ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como pela WHO ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Vale ressaltar também que em 2008 houve um maior controle e fiscalização das queimadas, devido aos altos índices de focos de queima dos anos anteriores, sendo esta, uma justificativa para esse resultado (CPTEC/INPE). CORONAS *et al.* (2008) destacam trabalhos voltados para a avaliação de poluentes urbanos e industriais que encontraram concentrações do MP dentro dos padrões estabelecidos, porém, questionaram as interações dos compostos presentes nas amostras e os seus potenciais danos ao ecossistema e à saúde humana.

Além dos níveis de MP10, também foram verificados os níveis de BC, que já é considerado um importante traçador de poluentes proveniente da queima incompleta de diferentes fontes (REBALATTO, 2005). No caso de Tangará da Serra, o BC apresenta-se como um marcador de queima de biomassa. A notável diminuição de ambas concentrações no final do mês de outubro pode ser explicada pelo período de transição entre o período de maior e menor queima. Ainda, constatou-se nessa pesquisa que os níveis de BC aumentaram com os níveis de MP emitido, mostrando uma correlação. Essa mesma observação foi feita em regiões onde ocorrem intensas queimas de biomassa durante a estação seca (ARTAXO *et al.*, 2000; MAENHAUT *et al.*, 2002). Alguns trabalhos destacam a relação do BC com a emissão de poluentes proveniente do tráfego de veículos e mostram associações dos níveis de BC com doenças respiratórias e cardiovasculares (CYRYS *et al.*, 2003; JANSEN *et al.*, 2005).

As concentrações médias do MPF e MPG assim como as do BCF e BCG no período de maior queima foram superiores ao período de menor queima. BARBOSA (2007), em sua pesquisa na cidade de Cuiabá, observa essa diferença entre as estações seca e chuvosa e explica que esse diagnóstico pode estar relacionado às condições meteorológicas e à presença do fogo. Além disso, observa-se que as frações finas predominaram em todas as amostras coletadas em Tangará da Serra e em consonância com esse resultado, estudos mostram que partículas emitidas pela queima de biomassa na região amazônica estão presentes, na sua maioria, na fração fina do particulado, sendo composto por massa do carbono grafitico, compostos inorgânicos e principalmente de compostos orgânicos (ARANA, 2009).



Outros trabalhos, realizado por AMORIM (2004) e OLIVEIRA (2007) no estado de São Paulo, observaram uma tendência da concentração da fração fina ser maior do que as grossas.

Ainda é limitado o conhecimento da composição química do MP, em escala global; principalmente das partículas provenientes da queima de biomassa. Logo, surgiu a necessidade de caracterizar o material orgânico extraído de Tangará da Serra. Para tanto, foram identificados e quantificados os alcanos e HPAs nas amostras coletadas dos meses de agosto a outubro / 2008. Vale destacar que, em geral, os trabalhos que fazem a identificação destes compostos no MP utilizam filtros de fibra de quartzo e análise é feita individualmente. Nesse trabalho, foram utilizados filtros teflon e foi feito um *pool* dos meses de queima, correspondendo a um pouco menos da metade do material total extraído.

Estudos têm investigado através das análises químicas, as fontes de origem dos poluentes atmosféricos. ANDREOU & RAPSOMANIKIS (2009), diante dos sérios problemas de poluição, identificaram os n-alcanos (C<sub>14</sub> a C<sub>35</sub>), compostos carbonílicos e biomarcadores moleculares no MPF e MPG coletado em duas cidades do centro de Atenas. Em Tangará da Serra, os n-alcanos de C<sub>14</sub> a C<sub>22</sub> com a presença de pristano e fitano indicam uma contribuição direta das emissões de queima com influência antrópica. O pristano é mais comum entre os hidrocarbonetos biogênicos enquanto que o fitano raramente é biossintetizado (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Os IPC dos n-alcanos são calculados com o objetivo de diferenciar as fontes de contribuição: biogênicas ou antropogênicas. Nesse trabalho, foi encontrado um IPC igual a 1,04 (faixa de C<sub>25</sub> a C<sub>35</sub>), dado este, que não mostra um predomínio das emissões naturais. Em Alta Floresta - MT, VASCONCELLOS *et al.* (1998) encontraram um IPC de 2,1, indicando a origem biológica do MP. Mas também foi encontrado pelos autores um IPC igual a 0,8 na faixa de C<sub>17</sub> a C<sub>23</sub>, resultado que coincide com os n-alcanos provenientes de Tangará da Serra (IPC = 0,89 na mesma faixa). Esses dados indicam que há uma influência das emissões de queimadas no material amostrado. Nestas amostras não foi observada nenhuma predominância dos números ímpares ou pares de carbono.

Para as condições dessa análise, pode-se concluir que em Tangará da Serra, apesar da presença de alguns compostos de origem biogênica, não há predomínio

das emissões biogênicas, havendo uma forte influência antrópica e consequentemente tal fato está associado com a queima de biomassa. Em outros trabalhos já foi visto que as partículas de aerossóis antropogênicas são geradas em grande concentração de número e massa através das queimadas na Bacia Amazônica, principalmente na estação seca (ARANA, 2009; FUZZI *et al.*, 2007).

Ainda que tenham sido identificados diversos compostos genotóxicos presentes na atmosfera, no Brasil, ainda não existe uma base de dados que estabeleça as quantidades e as fontes de HPAs lançados no meio aéreo (MAGALHÃES *et al.*, 2007). Resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos, os HPAs têm demonstrado em vários experimentos o seu poder carcinogênico e/ou mutagênico. Estudos correlacionam estes compostos com o câncer de pulmão (SANTOS *et al.*, 2002; ZHANG & TAO, 2009) e dentre os HPAs identificados nesse trabalho, segundo a IARC, o fenantreno, fluoranteno, benzo(e)pireno e benzo(g,h,i)perileno são considerados mutagênicos enquanto que o benzo(k)fluoranteno e o indeno(1,2,3-cd)pireno são considerados carcinogênicos e mutagênicos.

O composto em maior quantidade dentre os HPAs identificados nesse estudo foi o reteno, que é um produto característico da combustão da madeira, sendo um marcador de queima de biomassa. A alta concentração desse composto pode ser explicada pela influência das massas de ar. VASCONCELLOS *et al.* (1998) também identificaram o reteno em duas amostras ambientais de Alta Floresta. Em seguida, os mais abundantes foram o acenafteno, acenaftileno e o fluoreno.

Também foram identificados nas amostras fenantreno, fluoreno e pireno. Já foi visto na literatura que estes compostos são emitidos pela queima de gramíneas, mostrando que houve queima de biomassa (MAGALHÃES *et al.*, 2007). Surpreendentemente, não foi detectado o benzo(a)pireno e esse dado corrobora com os resultados encontrados por DOS SANTOS (2002), que realizou uma pesquisa em Campos dos Goytacazes – RJ, cidade de grande exposição aos poluentes atmosféricos provenientes da queima de cana-de-açúcar.

São escassos os trabalhos que analisaram a genotoxicidade dos extratos do MP usando o Trad-MCN (*ex situ*). Dentre os estudos publicados, destacam-se BATALHA *et al.* (1999) e CARVALHO-OLIVEIRA *et al.* (2005) que avaliaram o extrato inorgânico proveniente da emissão de veículos, porém apenas PERON

(2006) testou o material orgânico oriundo da queima de cana-de-açúcar. Sabendo da complexidade e da urgente necessidade de estudos para avaliar o potencial genotóxico desses compostos, o presente estudo avaliou em três diferentes concentrações o efeito desses extratos utilizando o Trad-MCN.

Pode-se perceber que o teste foi sensível a partir da menor concentração (0,1 mg/l) nos meses de agosto e setembro. Ao mesmo tempo, observa-se que nestes meses foram emitidos uma maior quantidade do MP10 durante o semestre de 2008. No caso do mês de outubro, notou-se uma queda nos níveis de MP no final do mês. Embora tal evento tenha acontecido, essa pequena diferença não o exclui do grupo de queima e na maior concentração (1,0 mg/l) foi observado um aumento significativo na frequência de micronúcleo. É importante destacar que no trabalho realizado por PERON (2006) a autora destaca que não foi observado um efeito dose-resposta para o material orgânico da queima da cana-de-açúcar, uma vez que a composição é bastante complexa e seria muito difícil concluir qual o componente responsável pelos efeitos observados e quais os perfis de dose-resposta individuais.

Com a análise dos HPAs, pode-se deduzir que alguns compostos mutagênicos identificados nessas amostras podem influenciar no aumento da frequência de micronúcleo. ROSSNEROVA *et al.* (2009) avaliou os efeitos de exposição para c-HPAs e aos compostos orgânicos voláteis em linfócitos periféricos e observaram que os c-HPAs e o xileno podem influenciar na taxa de micronúcleo encontrada.

Fazendo um comparativo entre os resultados dos extratos orgânicos referentes aos meses de maior queima (agosto a outubro) e de menor queima (novembro e dezembro), verificou-se uma diferença significativa na média da frequência de micronúcleo. Esse resultado pode ser explicado pelos diferentes compostos emitidos no período de queimadas. Para as mesmas concentrações utilizadas neste trabalho, CARVALHO-OLIVEIRA *et al.* (2005) fizeram um comparativo entre os extratos inorgânicos obtidos entre o período de greve e não greve do tráfego de ônibus em São Paulo e observaram que houve uma redução significativa na taxa de micronúcleo para a maior concentração (1,0 mg/l) no período de greve através do Trad-MCN.

Concluiu-se também que não houve correlação entre a quantidade de MP10 e a média da quantidade de micronúcleo encontrada nos meses de queima. É interessante discutir esse resultado, pois apesar das diferentes fontes de emissão do MP, esse dado se assemelha com o trabalho comparativo realizado por OLIVEIRA (2006), onde a autora observou que, em desacordo com o que esperava, os níveis de MP2,5 foram semelhantes nos dois períodos analisados: tanto no dia de greve do ônibus quanto no dia de tráfego normal. Entretanto, ao analisar os elementos traços quantificados nos filtros coletados, notou uma diferença na composição das amostras e identificou uma maior quantidade de micronúcleo no período de tráfego normal. Logo, pode-se deduzir que, mais importante do que a quantidade de MP emitido, é identificar os elementos constituintes desse material. Diante dessa situação, enfatiza-se a necessidade de uma reavaliação dos padrões estabelecidos pelas agências de controle de qualidade do meio e da saúde, para que também sejam considerados os compostos que formam o MP e o seu potencial genotóxico.

Observa-se, portanto, que Trad-MCN (*ex situ*) foi sensível e eficiente na análise dos extratos orgânicos provenientes da queima de biomassa. A necessidade de identificar os compostos presentes na atmosfera, caracterizando o perfil das fontes de origem assim como a avaliação do seu potencial genotóxico, facilitará os mais completos diagnósticos para o controle dos riscos ambientais. Junto a isso, se faz necessário estabelecer correlações com as novas ferramentas da área da genômica e proteômica para que seja possível compreender os mecanismos e os diferentes efeitos induzidos por essas misturas complexas e pelos seus componentes específicos que estão expostos à população e ao ecossistema como um todo.

## 5. CONCLUSÕES

- As concentrações do MP10 obtidos em Tangará da Serra não passaram dos limites diários estabelecidos pelo CONAMA e pela WHO, mas os extratos obtidos no período de queima foram potencialmente genotóxicos, exceto nas menores concentrações do mês de outubro;
- Os níveis de BC aumentaram com os níveis de MP emitido, mostrando uma correlação;
- As concentrações médias do MPF e MPG assim como as do BCF e BCG no período de maior queima foram superiores ao de menor queima, mostrando que há um predomínio das partículas finas em todos os meses amostrados;
- Na análise dos n-alcanos não foi observado nenhuma predominância dos números ímpares ou pares de carbono nas distribuições dos homólogos e os resultados do IPC indicam uma influência antrópica;
- Dentre os HPAs, o composto que apresentou uma maior quantidade foi o reteno, produto característico da combustão da madeira. Também foram identificados compostos mutagênicos e carcinogênicos, tais como o indeno (1,2,3,-cd)pireno e o benzo(k)fluoranteno;
- O aumento significativo na frequência de micronúcleo obtido nos meses de agosto a outubro através do Trad-MCN pode estar correlacionado com os HPAs mutagênicos identificados nessas amostras;
- O material orgânico dos meses de novembro e dezembro exposto nas três diferentes concentrações não apresentou significância na taxa de micronúcleo quando comparadas com o controle negativo;
- Verificou-se que a média da frequência de micronúcleo do período de maior queima é significativo em relação ao período de menor queima;

- Concluiu-se que não houve correlação entre os níveis de MP10 e a média de micronúcleo encontrada nos meses de queima, mostrando a importância da constituição do MP independentemente da quantidade emitida;
- O teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida* (*ex situ*) foi sensível e eficiente na avaliação da genotoxicidade do material orgânico proveniente da queima de biomassa.

Mais do que garantir uma conscientização ambiental, o grande diferencial desse estudo foi realizar o primeiro trabalho de avaliação da genotoxicidade do material orgânico emitido pela queima de biomassa usando o Trad-MCN (*ex situ*) em uma região que faz parte do arco do desmatamento da Amazônia Legal. Os resultados mostram que, nas condições experimentais aplicadas, o material orgânico coletado no período de maior queima foi capaz de elevar significativamente a taxa de micronúcleo em tétrades de *Tradescantia pallida* quando comparado com o período de menor queima. Além disso, foram identificados HPAs mutagênicos e carcinogênicos nas amostras de maior queima, que podem estar contribuindo para o potencial genotóxico observado nesses extratos. Ainda, foi observada a forte influência das emissões antrópicas na análise dos alcanos, que podem estar associadas com as atividades de queima de biomassa que ocorrem na região. Outro dado importante, ao contrário do que se esperava, é que os níveis de MP10 não estão correlacionados com a média de micronúcleo encontrada entre os meses de agosto a outubro. Entretanto, o olhar crítico desse resultado mostra que, além do controle dos níveis de emissão do MP, é importante que sejam avaliados os elementos constituintes desse material e faz-se uma alerta as agências de controle ambiental, que ainda não consideram as interações dos compostos presentes no material inalável. Diante dessa situação, o presente estudo justifica a urgência na implementação de medidas voltadas para a minimização de emissões resultantes da queima de biomassa e ainda, fica como referência e incentivo para que outros trabalhos investiguem a composição e o potencial genotóxico dos extratos orgânicos emitido por esse tipo de fonte, para que assim seja possível facilitar os mais completos diagnósticos no controle dos riscos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1999.

ALVES, C.A. Characterisation of solvent extractable organic constituents in atmospheric particulate matter: an overview. **An. Acad. Bras. Cienc.**, 80 (1): 21-82, 2008.

AMORIM, W.B. **Monitoramento da concentração e caracterização do material particulado suspenso na atmosfera**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP, 2004.

ANDREOU, G.; RAPSOMANIKIS, S. Origins of n-alkanes, carbonyl compounds and molecular biomarkers in atmospheric fine and coarse particles of Athens, Greece. **Science of the Total Environment**, 407: 5750-5760, 2009.

ARANA, A.A. A composição elementar do aerossol atmosférico em Manaus e Balbina. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus – AM, 2009.

ARBEX, M.A. Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP. 2001. Tese (Doutorado em Patologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2001.

ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, PHN. Biomass burning and health effects. **J. Bras Pneumol**, São Paulo, 30(2) p. 158-175, 2004.

ARTAXO, P.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; JIMÉNEZ, F.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 4085-4096, 2000.

BARBOSA, A.M. **Caracterização elementar sazonal PM10 e a influência das condições meteorológicas em Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Ciências Exatas e da Terra – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2007.

BATALHA, J.R.F.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; DEUR, T.; CARVALHO, H.A.; ALVES, E.S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G.S.; SALDIVA, P.H.N. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the Tradescantia micronuclei assay. **Mutation Research**, 426: 229-232, 1999.

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A.M.V.; CORVALÁN, C.; GURGEL, H.C.; CARVALHO, M.S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças Climáticas e Ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, 18(3):285-304, 2009.

BENTE, M., SKLORZ, M., STREIBEL, T., ZIMMERMANN, R. Thermal desorption-multiphoton ionization time-of-flight mass spectrometry of individual aerosol particles: a simplified approach for online single-particle analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives. **Anal. Chem.** 81, 2525-2536, 2009.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução CONAMA nº003. **Padrões Nacionais de Qualidade do Ar**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1990.

CANÇADO, J.E.D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba-SP**. Tese (Doutorado em Ciências – Patologia), Faculdade de Medicina – Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2003.

CARMINITTI, L. **Estabelecimento do potencial de plantas no monitoramento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes na atmosfera urbana de São Paulo, SP**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente), Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo-SP, 2008.

CARRERAS, H.A.; PIGNATA, M.L.; SALDIVA, P.H.N. In situ monitoring of urban air in Córdoba, Argentina using the Tradescantia –micronucleus (Trad-MCN) bioassay. **Atmospheric Environmental**, 40: 7824-7830, 2006.



CARVALHO-OLIVEIRA, R.; POZO, R.M.K.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; MARTINS-JUNIOR, H.A.; BUSTILHO, J.O.W.V.; SAIKI, M.; SATO, I.M.; SALDIVA, P.H.N. Diesel emissions significantly influence composition and mutagenicity of ambient particles: a case study in São Paulo, Brazil. **Environmental Research**, 98: 1-7, 2005.

CLAXTON, L.D.; MATTHEWS, P.; WARREN, S. The genotoxicity of ambient outdoor air, a review: *Salmonella* mutagenicity. **Mutat Res.**, 567: 347-299, 2004.

CLAXTON, L.D.; WOODALL, Jr. A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air. **Mutat. Res.**, 636: 36-94, 2007.

COHEN, J.T.; CARLSON, G.; CHARNLEY, G.; COGGON, D.; DELZELL, E.; GRAHAM, J.D.; GREIM, H.; KREWSKI, D.; MEDINSKY, M.; MONSON, R.; PAUSTENBACH, D.; PETERSEN, B.; RAPPAPORT, S.; RHOMBERG, L.; RYAN, P.B. A comprehensive evaluation of the potential health risks associated with occupation and environmental exposure to styrene. **J. Toxicol. Environ. Heal.** B5 (1 – 2), 1-265, 2002.

CORONAS, M. V. **Biomonitoramento de populações humanas em áreas de exposição a poluentes atmosféricos mutagênicos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008.

CORONAS, M.V.; HORN, R.C.; DUCATTI, A.; ROCHA, J.V.; VARGAS, V.M.F. Mutagenic activity of airborne particulate matter in a petrochemical industrial area. **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, 650: 196-201, 2008.

**CPTEC / INPE**. Disponível em:

<<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.php?LANGUAGE=PT>>. Acesso em: (12 dez 2009).

CYRYS, J.; HEINRICH, J.; HOEK, G.; MELIEFSTE, K.; LEWNÉ, M.; GEHRING, U.; BELLANDER, T.; FISCHER, P.; VLIET, P.V.; BRAUER, M.; WICHMANN, H.E.; BRUNEKREEF, B. Comparison between different traffic-related particles indicators: elemental carbon (EC), PM<sub>2,5</sub> mass, and absorbance. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, 13: 134-143, 2003.

DA SILVA, G.A. **Avaliação da genotoxicidade do extrato de Mikania Laevigata no dano em DNA causado pela exposição aguda a poeira do carvão**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma – SC, 2008.

DE KOK, T. M.C.M.; DRICE, H.A.L.; HOGERVORST, J.G.F., BRIEDÉ, J.J. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies. **Mutation Research**, 613: 103-122, 2006.

DE SOUSA, C.S.; NETO, A.R.P.; SANTOS, V.L.C.S.; DAMASCENO, I. Distribuição dos teores de n-alcenos nos sedimentos da região oceânica do Atlântico Sul, Costa Brasileira, entre Salvador (BA) e Rio de Janeiro (RJ). **Diálogos & Ciência – Revista da Rede de Ensino FTC**, ano II, n.7, 2008.

DIHL, R.R. **Nitrocompostos e extratos orgânicos de partículas aéreas são indutores de toxicidade genética em células somáticas de *Drosophila melanogaster***. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008.

DIHL, R.R.; DA SILVA, C.G.A.; AMARAL, V.S.; REGULY, M.L.; ANDRADE, H.H.R. Mutagenic and recombinagenic activity of airborne particulates, PM10 and TSP, organic extracts in the *Drosophila* wing-post test. **Environmental Pollution**, 1-6, 2007.

DO CARMO, C.N.; HACON, S.; MOURÃO, D.; LOUZANO, F.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ARTAXO, P. Queima de biomassa e doenças respiratórias na região Amazônica: uma aplicação de modelos aditivos generalizados. **XLI SBPO 2009 – Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**, p.: 1472 – 1477, 2009.

DOS SANTOS, C.Y.M.; AZEVEDO, D.A.; NETO, F.R.A. Selected organic compounds from biomass burning found in the atmospheric particulate matter over sugarcane plantation areas. **Atmospheric Environment**, 36: 3009-3019, 2002.

DUAN, H.; LENG, S.; PAN, Z.; DAI, Y.; NIU, Y.; HUANG, C.; BIN, P.; WANG, Y.; LIU, Q.; CHEN, W.; ZHENG, Y. Biomarkers by Cytokinesis-block Micronucleus Cytome Assay for Evaluating Genetic Damages Induced by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **Mut. Res.**, 677: 93-99, 2009.

DUARTE, A. **Poluição Atmosférica em Rio Branco Acre**. Departamento de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Acre; 2005.

DUCATTI, A.; VARGAS, V.M.F. Mutagenic activity of airborne particulate matter as an indicative measure of atmospheric pollution. **Mutat Res.**, 540: 67-77, 2003.

EVANS, H. J. Historical perspectives on the development of the in vitro micronucleus test: a personal view. **Mutat Res**, 392: p. 05 – 10 1997.

FERREIRA, M.I.; RODRIGUES, G.S.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N. In situ monitoring of mutagenicity of air pollutants in São Paulo city using *Tradescantia* – SHM bioassay. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n.2, p.253-258, 2003.

FLORES, L. E. R.; MADRIGAL-BUJAIAR, E.; SALAZAR, M.; CHAMORRO, G. Anticlastogenic effect of *Spirulina maxima* extract on the micronuclei induced by maleic hydrazide in *Tradescantia*. **Life Sciences**, v. 72, p. 1345-1351, 2003.

FUZZI, S.; DECESARI, S.; FACCHINI, M. C.; CAVALLI, F.; EMBLICO, L.; MIRCEA, M.; ANDREAE, M. O.; TREBS, I.; HOFFER, A.; GUYON, P.; ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T.; MAENHAUT, W.; RAES, N.; CHI, X.; MAYOL-BRACERO, O. L.; SOTO, L.; CLAEYS, M.; KOURTCHEV, I.; RISSLER, J.; SWIETLICKI, E.; TAGLIAVI-NI, E.; SCHKOLNIK, G., FALKOVICH, A. H.; RUDICH, Y.; FISCH, G.; GATTI, L. V. Overview of the inorganic and organic composition of size-segregated aerosol in Rondônia, Brazil, from the biomass burning period to the onset of the wet season. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, p. 1201-1236, 2007.

GOGOUE, A.I.; APOSTOLAKI, M.; STEPHANOU. Determination of organic molecular markers in marine aerosols and sediments: one-step flash chromatography compound class fractionation and capillary gas chromatographic analysis. **Journal of Chromatography**, 799: 215-231, 1998.

GRAUER, A.; PUGLIELLI, A.T. **Resumo do relatório qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2003.

GUYON, P.; GRAHAM, B.; BECK, J.; BOUCHER, O.; GERASOPOULOS, E.; MAYOL-BRACERO, O.L.; ROBERTS, G.C.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M.O. Physical properties and concentration of aerosol particles over the Amazon tropical forest during background and biomass burning conditions. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 3, p. 951-967, 2003.

HARRAD, S.; LAURIE, L. Concentrations, sources and temporal trends in atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in a major conurbation. **J. Environ. Monit.**, 7: 722-727, 2000.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**, Univ. Calif. Agric. Exp. Stn., Berkeley, CA, Circular n°. 347:1-39, 1950.

HOPKE, P.K.; XIE, Y.; RAUNEMAA, T.; BIEGALSKI, S.; LANDSBERGER, S.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P.; COHEN, D. Characterization of the Gent Stacked Filter Unit PM10 sampler. **Aerosol Science and Technology**, 27, 726-735, 1997.

IARC. Disponível em: <<http://www.iarc.fr/cgi-bin/htsearch>>. Acesso em: (29 jan 2010).

IGNOTTI, E.; HACON, S.S.; SILVA, A.M.C.; JUNGER, W.L.; CASTRO, H. Abordagem metodológica para seleção de municípios para o estudo dos efeitos das queimadas à saúde humana na área do Arco do Desmatamento – Amazônia. **Rev. Bras. Epidemiol.**, 10 (4): 1-12, 2007.

ISIDORI, M.; FERRARA, M.; LAVORGNA, M.; NARDELLI, A.; PARRELLA, A. In situ monitoring of urban air in Southern Italy with the *Tradescantia* micronucleus bioassay and semipermeable membrane devices (SPMDs). **Chemosphere**, 52: 121-126, 2003.

JANSEN, K.L.; LARSON, T.V.; KOENIG, J.Q.; MAR, T.F.; FIELDS, C.; STEWART, J.; LIPPMANN, M. Associations between health effects and particulate matter and black carbon in subjects with respiratory disease. **Environmental Health Perspectives**, v.113, n.12, p. 1741-1746, 2005.

KIM, J.K.; SHI, H.S.; LEE, J.H.; LEE, J.J.; LEE, J.H. Genotoxic effects of volatile organic compounds in a chemical factory as evaluated by the *Tradescantia* micronucleus assay and by chemical analysis. **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**: 54: 55-61, 2003.

LEHNDORFF, E., SCHWARK, L. Biomonitoring airborne parent and alkylated three-ring PAHs in the Greater Cologne Conurbation I: temporal accumulation patterns. **Environmental Pollution**: 157, 1323-1331, 2009.

LIMA, E.S.; SOUZA, S.R.; DOMINGOS, M. Sensitivity of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. 'Purpúrea' Boom to genotoxicity induced by ozone. **Mutation Research**, 675: 41-45, 2009.

LOCATELLI, M.A.F. **Investigação sobre a emissão e caracterização dos hidrocarbonetos policíclicos armáticos (HPA) na bacia do rio Atibaia.** Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2006.

LUI, G. H.; MOLINA, S. M. G. Ocupação humana e transformação das paisagens na Amazônia Brasileira. **Amazônia**, 1: 200-228 2009.

MA, T.H. *Tradescantia* Micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. **Environmental Health**, v.37, p.85-90, 1981.

MA, T. H.; GRANT, W. F. The Tradescantias - adventurous plants. **The Herbarist**. v. 48, p. 36-44, 1982.

MA, T. H.; CABRERA, G.L.; CHEN, R.; GIL, B.S.; SANDHU, S.S.; VANDENBERG, A.L.; SALAMONE, M.F. *Tradescantia* Micronucleus Biossay. **Mutation Research**, v.310, p. 221-230, 1994.

MAGALHÃES, D. **Determinação de compostos orgânicos em material particulado emitido em queimadas de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2005.

MAGALHÃES, D.; BRUNS, R.E.; VASCONCELLOS, P.C. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos como traçadores da queima de cana-de-açúcar: uma abordagem estatística. **Química Nova**, v.30, n.3, p.577-581, 2007.

MAENHAUT, W.; JIMÉNEZ, M. T. F.; RAJTA, I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, v. 189, p. 243-248, 2002.

MARIANI, R.L.; JORGE, M.P.M.; PEREIRA, S.S.; MELIONE, L.P.; CARVALHO-OLIVEIRA, R.; MA, T.H.; SALDIVA, P.H.N. Association between micronuclei frequency in pollen mother cells of *Tradescantia* and mortality due to cancer and cardiovascular diseases: A preliminary study in Santo José dos Campos, Brazil. **Environmental Pollution**, 157: 1767-1770, 2009.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. Relationship between low birthweight and air pollution in the city of São Paulo, Brazil. **Rev. Saúde Pública**, 39: 965-972, 2005.

MEIRE, R.O; AZEREDO, A.; TORRES, J.P.M. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Oecol. Bras.**, 11 (2): 188 - 201, 2007.

MEIRELES, J.; ROCHA, R.; NETO, A.C.; CERQUEIRA, E. Genotoxic effects of vehicle traffic pollution as evaluated by micronuclei test in tradescantia (Trad-MCN). **Mutation Research**, 675: 46-50, 2009.

MENG, Z.; ZHANG, Q. Damage effects of dust storm PM<sub>2,5</sub> on DNA in alveolar macrophages and lung cells of rats. **Food and Chemical Toxicology**, 45; 1368 – 1374, 2007.

MIELLI, A.C.; MATTA, M.E.M.; NERSESYAN, A.; SALDIVA, P.H.N.; UMBUZEIRO, G.A. Evaluation of the genotoxicity of treated urban sludge in the Tradescantia micronucleus assay. **Mutation Research**, 672: 51-54, 2009.

MISIK, M.; MICIETA, K.; SOLENSKÁ, M.; MISIKOVÁ, K.; PISARCÍKOVÁ, H.; KNASMULLER. In situ biomonitoring of the genotoxic effects of mixed industrial emissions using the Tradescantia micronucleus and pollen abortion tests with wild life plants: demonstration of the efficacy of emission controls in an eastern European city. **Environmental Pollution**, 145: 459-466, 2007.

MONARCA, S.; FERRETI, D.; ZANARDINI, A.; FALISTOCCO, E.; NARDI, G. Monitoring of mutagens in urban air samples. **Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, 426: 189-192, 1999.

NEVES, A.F. **Vanádio no material particulado atmosférico na região de ressurgência de Cabo Frio-RJ**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2005.

NEVES, F.L. **Caracterização de compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos polucíclicos aromáticos como indicadores da qualidade do ar no Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências – Toxicologia Ambiental), Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro –RJ, 2002.

**NILU PRODUCTS AS**. Disponível em:

< <http://products.nilu.no/Products/FilterHolders/tabid/1931/Default.aspx>>. Acesso em: (02 jan 2010).

OKONA-MENSAH, K.B.; BATTERSHILL, J.; BOOBIS, A.; FIELDER, R. An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution. **Food and Chemical Toxicology**, 43: 1103-1116, 2005.

OLIVEIRA, R.C. **Efeito da composição do material particulado fino, PM<sub>2,5</sub> e “residual oil fly ash” (ROFA), como determinante do potencial mutagênico e tóxico celular: um estudo em bioensaios vegetais e animais.** Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.

OLIVEIRA, M.G.L. **Evolução das distribuições de tamanho em massa e número do aerossol atmosférico em São Paulo.** (Dissertação) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2007.

OLIVEIRA, D.S.; BAISCH, P.R.M.; MACHADO, M.I. **Degradação do petróleo em ambiente estuarino da lagoa dos Patos através de um derrame induzido.** 4ºPDPEPETRO, Campinas, SP, 2007.

PASTORKOVÁ, A.; CERNÁ, M.; SMID, J.; VRBIKOVA, V. Mutagenicity of airborne particulate matter PM10. **Cent. Eur. J. Public. Health**, 12 (Suppl): S72-S75, 2004.

PEREIRA NETTO, A.D.; MOREIRA, J.C.; DIAS, A.E.X.O.; ARBILLA, G.; FERREIRA, L.F.V.; OLIVEIRA, A.S.; BAREK, J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitratos (NHPAs): uma revisão metodológica. **Química Nova**, São Paulo, vol.23, n 6, 2000.

PERON, M.C.C. **Avaliação de mutagenicidade, citotoxicidade e expressão de proteínas relacionadas a apoptose, BAK, BCL-2 e P53 fosforilado, em células tratadas com fuligem e particulado total de queima de cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Análises Clínicas), Universidade Estadual de São Paulo, Araraquara, São Paulo, 2006.

PRAJAPATI, S.K.; TRIPATHI, B.D. Assessing the genotoxicity of urban air pollutants in Varanasi City using *Tradescantia micronucleus* (Trad-MCN) bioassay. **Environmental International**, 2008.

RAMDAHL, T. Retene- a molecular marker of wood combustion in ambient air. **Nature**, v.306, 1983.

RAO, X.; ZHANG, Y.; YI, Q.; HOU, H.; XU, B.; CHU, L.; HUANG, Y.; ZHANG, W.; FENECH, M.; SHI, Q. Multiple origins of spontaneously arising micronuclei in HeLa cells: Direct evidence from long-term live cell imaging. **Mutation Research**, 2008.

REBALATTO, A.L. **Determinação de índices quantitativos de material particulado inalável nos períodos seco e úmido na cidade de Cuiabá.** Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2005.

REID, J.S.; HOBBS, P.V.; LIOUSSE, C.; MARTINS, J. V.; WEISS, R.E.; ECK, T.F. Comparisons of techniques for measuring shortwave absorption and black carbon content of aerosols from biomass burning of Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v.D24, p.32,031 – 32,040, 1998.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Rev. Saúde Pública**, 2008.

ROSA, A.M.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S.; DE CASTRO, H.A. Analysis of hospitalizations for respiratory diases in Tangará da Serra, Brazil. **J.Bras.Pneumol.**, 34(8): 575-582, 2008.

ROSSNEROVA, A.; SPATOVA, M.; ROSSNER, P.; SOLANSKY, I.; SRAM, R.J. The impact of air pollution on the levels of micronuclei measured by automated image analysis. **Muattion Research**, 669: 42-47, 2009.

SANTOS, C.Y.M.; AZEVEDO, D.A.; NETO, F.R.A. Selected organic compounds from biomass burning found in the atmospheric particulate matter over sugarcane plantation areas. **Atmospheric Environment**, 36: 3009-3019, 2002.

SANTOS, I.T.Q.P. **Avaliação da atividade clastogênica do resíduo catalítico industrial, por meio do bioensaio de micronúcleos com *Tradescantia pallida* cv. Purpurea**. 2004. Dissertação (Doutorado em Ciência) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2004.

SATO, M.I.Z.; VALENT, G.U.; COIMBRÃO, C.A.; COELHO, M.C.LS.; SANCHEZ, P.S.; ALONSO, C.D.; MARTINS, M.T. Mutagenicity of airborne particulate organic material from urban and industrial áreas of São Paulo, Brazil. **Environmental Mutagenesis**, 335: 317-330, 1995.

SAVÓIA, E.J.L. **Potencial de *Tradescantia pallida* cv. Purpúrea para biomonitoramento da poluição aérea de Santo André-São Paulo, por meio do bioensaio Trad-MCN e do acúmulo foliar de elementos tóxicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2007.

SAVÓIA, E.J.L.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.L.; BRUMATI, F.; SALDIVA, P.H.N. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72: 255-260, 2009.



SILVA, J. S. **Efeitos genotóxicos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var *purpurea* induzidos por poluentes atmosféricos na cidade do Salvador – BA.** 2005. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Colegiado de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana – BA, 2005.

**TANGARÁ DA SERRA.** Disponível em:  
< <http://www.tangaradaserra.mt.gov.br/cidade.asp>>. Acesso em: (02 jan 2010).

TRESMONDI, A.C.C.L.; BELI, E.; TOMAZ, E.; PICCININI, M.D.L.R. Concentração de material particulado inalável MP10 em Espírito Santo do Pinhal-SP. **Engenharia Ambiental**, v.5, n.1, p. 133-144, 2008.

UMBUZEIRO, G.A.; FRANCO, A.; MAGALHÃES, D.; DE CASTRO, F.J.V.; KUMMROW, F.; RECH, C.M.; DE CARVALHO, L.R.F.; VASCONCELLOS, P.C. A preliminary characterization of the mutagenicity of atmospheric particulate matter collected during sugar cane harvesting using the Salmonella / Microsome Microsuspension Assay. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, 49: 249-255, 2008a.

UMBUZEIRO, G.A.; FRANCO, A.; MARTINS, M. H.; KUMMROW, F.; CARVALHO, L.; SCHMEISER, H. H.; LEYKAUF, J.; STIBOROVA, M.; CLAXTON, L.D. Mutagenicity and DNA adduct formation of PAH, nitro-PAH and oxy-PAH fractions of atmospheric particulate matter from São Paulo, Brazil. **Mut. Res.**, 652: 72-80, 2008b.

VASCONCELLOS, P.C.; ARTAXO, P.E.; CICCIOLI, P.; CECINATO, BRANCALEONI, E.; FRATTONI, M. Determinação dos hidrocarbonetos saturados e policíclicos aromáticos presentes no material particulado da atmosfera amazônica. **Química Nova**, São Paulo, v.21, n.4, 1998.

VASCONCELLOS, P.C.; ZACARIAS, D.; PIRES, M.A.F.; POOL, C.S.; CARVALHO, L.R.F. Measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles from the metropolitan area of São Paulo City, Brazil. **Atmospheric Environment**, 37: 3009-3018, 2003.

VIIDANOJA, J.; SILLANPAA, M.; LAAKIA, J.; KERMINEN, V.; HILLAMO, R.; AARNIO, P.; KOSKENTALO, T. Organic and black carbon in PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland. **Atmospheric Environment**, 302: 3183-3193, 2002.

WADA, M.; KIDO, H.; KISHIKAWA, N.; TOU, T.; TANAKA, M.; TSUBOKURA, J.; SHIRONITA, M.; MATSUI.; KURODA, N.; NAKASHIMA, K.. Assessment of air pollution in Nagasaki City: determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their nitrated derivatives, and some metals. **Environ. Pollut.**, 115: 139 – 147, 2001.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for air quality for Europe**, 2<sup>nd</sup> ed, Geneva, 2000.

ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. Air pollution and emergency admissions in Boston, MA. **J. Epidemiol. Community Health**, 60(10): 890-895, 2006.

ZHANG, Y.; TAO, S. Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. **Atmospheric Environment**, 43: 812-819, 2009.

## ANEXO

**HOAGLAND'S NUTRIENT SOLUTION FOR TRADESCANTIA**

(according to Hoagland and Arnon, 1950)

Hoagland, D.R. and D.I. Arnon (1950) The water-culture method for growing plants without soil, Univ. Calif. Agric. Exp. Stn., Berkeley, CA, Circular No. 347, pp. 1-39.

Column 1: Chemicals

Column 2: Stock Solutions

Column 3: Nutrient Solution

The for the nutrient solution required ammount of chemicals is taken from the stock solutions (column 2) and diluted with A. dest. to 200 ml. Before use, the 200 ml nutrient solution are further diluted with 800 ml A. dest. to a total of 1 litre.

	1 Chemical	2 Weight	A. dest.	3 Ammount for Nutrient Solution
A	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	2.302 g	20 ml	1 ml
	$\text{KNO}_3$	10.11 g	100 ml	6 ml
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	11.487 g	70 ml	4 ml
	$\text{MgSO}_4$	4.816 g	40 ml	2 ml
B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	57.2 mg	} 20 ml all together	1 ml
	$\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	36.2 mg		
	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	4.4 mg		
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	1.6 mg		
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.4 mg		

A \_ Weigh chemicals and keep stock solutions in seperate bottles.

B \_ Weigh chemicals and dissolve them all together in 20 ml A. dest.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)