



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

CARLOS HENRIQUE HOFF BRAIT

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DE METAIS
UTILIZANDO BIOMONITORES E SISTEMA
PASSIVO DE COLETA DE POLUENTES.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Nelson Roberto Antoniosi Filho

**Goiânia
2008**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

CARLOS HENRIQUE HOFF BRAIT

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DE METAIS UTILIZANDO
BIOMONITORES E SISTEMA PASSIVO DE COLETA DE POLUENTES.**

**Tese apresentada ao Programa de Doutorado em
Ciências Ambientais da Universidade Federal de
Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção
do Título de Doutor Ciências Ambientais**

ORIENTADOR: Prof. Dr. NELSON ROBERTO ANTONIOSI FILHO

**Goiânia
2008**

FOLHA DE JULGAMENTO

DEDICATÓRIA

A minha esposa Lílian, e a toda família Hoff Brait que sempre me apoiou em toda esta jornada

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nelson Roberto Antoniosi Filho, pela orientação, amizade, apoio e principalmente a oportunidade dada a minha pessoa para realização do doutorado;

Aos sócios e colaboradores do laboratório EXATA, sem os quais não teríamos condições de ter desenvolvido a pesquisa;

Ao Centro de Ensino Superior de Jataí – CESUT em nome do diretor Prof. Dr. Evaristo Ananias de Paula e Adm. Patrícia Maggioni pelo apoio incondicional a esta jornada;

Ao Prof. João Geraldo de Souza Braga, grande amigo e incentivador que muito colaborou para que este trabalho fosse concluído;

A todos os colegas e funcionários do CESUT pelo apoio recebido;

Aos meus alunos do curso de Administração pela compreensão e apoio;

Ao amigo Renan e Tatiane pelo apoio, incentivo e grande ajuda no trabalho de campo;

A toda equipe do Lames, Isabel, Daniela, Cinara, Rodrigo, Marcos, Sr. Domingos e Rosângela pela amizade e incentivo.

A Prof^a. Dra. Maria Inês Gonçalves Leles, pelo apoio, colaboração, incentivo e amizade.

A Prof^a. Gizelda, grande amiga e companheira inseparável nesta trajetória;

Ao amigo Rodrigo Dias, que muito me ajudou na confecção do trabalho.

Aos amigos do aeromodelismo vcc, na pessoa do amigo Patrick Hudson pelo apoio;

Aos colegas do CIAMB pelo apoio durante toda a jornada;

Aos amigos Sandro e Christian pela ajuda, apoio e amizade sempre presentes;

A CELG pela oportunidade de utilização dos postes de energia para desenvolvimento da pesquisa;

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Capítulo 1

Figura 1	Relação entre os poluentes e suas fontes	08
Tabela 1	Gases que compõem a atmosfera	02
Tabela 2	Substâncias poluentes e seus respectivos compostos de origem	04

Capítulo 2

Figura 1	Localização do parque Nacional das Emas	40
Figura 2	Dendrograma de relacionamento hierárquico entre os metais analisados	44
Figura 3	Gráficos Box-Plot para os metais analisados nos animais silvestres	45
Tabela 1	Concentração dos metais (mg/L) nas três espécies de animais silvestres	42
Tabela 2	Matriz de correlação dos resultados de concentração de metais em pêlos de animais silvestres (n=33)	43
Tabela 3	Comparação entre as concentrações de metais obtidos em pêlos de animais neste e em outros trabalhos científicos	47

Capítulo 3

Tabela 1	Concentrações médias, desvio padrão da amostragem (DP) e valores máximos e mínimos das concentrações dos metais obtidas nas amostras nas diferentes localidades e com diferentes tratamentos.	60
Tabela 2	Comparação dos teores médios de metais das penas lavadas nos três locais de coleta utilizando ANOVA. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.	61
Tabela 3	Comparação dos teores médios de metais das penas não lavadas nos três locais de coleta utilizando ANOVA. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.	61
Tabela 4	Comparação para os locais de coleta dos teores médios dos metais com e sem lavagem das penas. Médias seguidas de mesma letra nas linhas para o mesmo local de coleta, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.	61
Tabela 5	Níveis de zinco obtidos em diversos trabalhos com diferentes aves	69

Capítulo 4

Figura 1	Sistema utilizado para quantificação de metais no ar	79
Figura 2	Locais de instalação dos SISCO na cidade de Goiânia – GO	80
Figura 3	Instalação dos SISCO nos postes de energia elétrica	82
Figura 4	Concentração de metais e massa de particulados totais (PT) em função do ponto de coleta	86
Figura 5	Distribuição de frequência do metal cobre na cidade de Goiânia	89
Figura 6	Distribuição de frequência do Ferro	90
Figura 7	Gráfico da regressão exponencial entre massa de particulados totais e concentração de Fe	91
Figura 8	Distribuição de frequência da concentração de ferro na cidade de Goiânia	92
Figura 9	Distribuição de frequência de Manganês em Goiânia	93
Figura 10	Distribuição de frequência de Zinco em Goiânia	94
Figura 11	Distribuição do Zinco na cidade de Goiânia	95
Figura 12	Distribuição de frequência do Cádmiio na cidade de Goiânia	96
Figura 13	Distribuição de Frequência para o chumbo em Goiânia	97
Figura 14	Distribuição de Chumbo na cidade de Goiânia	98
Figura 15	Distribuição de Frequência do Crômio na cidade de Goiânia	100
Figura 16	Distribuição do Crômio na cidade de Goiânia	101
Figura 17	Dendrograma de agrupamento dos sítios de amostragem	103
Tabela 1	Níveis máximos de concentração de metais no ar segundo EPA e OMS	76
Tabela 2	Locais de instalação dos sistemas SISCO na cidade de Goiânia	81
Tabela 3	Concentração de metais e massa de particulados totais	84
Tabela 4	Parâmetros globais para os dados sobre metais e particulados da Tabela 3	84
Tabela 5	Coeficiente de correlação de Pearson para a matriz envolvendo metais e particulados nos 29 pontos de instalação dos SISCO em Goiânia	85
Tabela 6	Componentes principais para os metais e material particulado (n=29)	88
Tabela 7	Concentração de Chumbo no material particulado do ar em várias regiões	99

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Atmosfera e sua composição	1
1.2 Poluentes atmosféricos e principais fontes de emissão	3
1.3 Metais	9
1.3.1 Crômio	11
1.3.2 Cádmio	12
1.3.3 Chumbo	13
1.3.4 Cobre	14
1.3.5 Ferro	15
1.3.6 Manganês	16
1.3.7 Zinco	17
1.4 Monitoramento e Biomonitoramento Ambiental	18
2. OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo Geral	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3. ESTRUTURA DA TESE	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO 2. Utilização de pêlos de animais silvestres para monitoramento ambiental de metais	35
CAPÍTULO 3. Utilização de penas de Pombos (<i>Columba livia</i>) para quantificação de metais e monitoramento do meio ambiente	51
CAPÍTULO 4. Utilização de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de metais e particulados totais	72
CONCLUSÃO GERAL	108

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Atmosfera e sua composição

A habilidade da sociedade em causar significantes distúrbios ao meio ambiente é um fenômeno recente e fortemente influenciado pelo crescimento demográfico e desenvolvimento tecnológico. O homem primitivo vivendo em menor número e com sua prática cotidiana de baixo consumo de matéria e energia não alterou significativamente o seu ambiente natural, diferentemente de hoje em dia (Pires, 2005).

Assim, com uma população mundial em torno de 6 bilhões de pessoas, fica evidente a necessidade de preocupação com os impactos gerados ao meio ambiente devido a emissões de poluentes orgânicos e inorgânicos, efluentes e outros resíduos que provocam danos muitas vezes irreversíveis tanto ao meio ambiente quanto a saúde da população.

A poluição atmosférica, entretanto, não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem, tendo a própria natureza se encarregado, durante milhares de anos, de participar ativamente deste processo com o lançamento de gases e materiais particulados originários de atividades vulcânicas e tempestades, dentre algumas fontes naturais de poluentes. A atividade antrópica, por sua vez, acaba por intensificar a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes (Oliveira, 1997).

A atmosfera constitui-se em uma espessa camada de gases contendo líquidos em suspensão e partículas sólidas que envolvem completamente a Terra, formando um sistema ambiental integrado (Kemp, 1994). É composta, basicamente, por um grupo de

gases permanentes e outros de concentração variável. Uma síntese dos gases que compõe a atmosfera é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Gases que compõem a atmosfera.

CONSTITUINTES	PORCENTAGEM %
NITROGÊNIO (N)	78,00 10 ⁰
OXIGÊNIO (O ₂)	20,90 10 ⁰
ARGÔNIO (Ar)	0,90 10 ⁰
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	0,03 10 ⁰
NEÔNIO (Ne)	18,18 10 ⁻⁴
HÉLIO (He)	5,24 10 ⁻⁴
KRIPTÔNIO (Kr)	1,14 10 ⁻⁴
XENÔNIO (Xe)	0,89 10 ⁻⁴
HIDROGÊNIO (H ₂)	0,50 10 ⁻⁴
METANO (CH ₄)	1,50 10 ⁻⁴
ÓXIDO NITROSO (N ₂ O)	0,27 10 ⁻⁴
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	0,19 10 ⁻⁴
VAPOR D'ÁGUA (H ₂ O)*	0,0 - 0,04 10 ⁰
OZÔNIO (O ₃)*	0,0 - 12,00 10 ⁻⁴
DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)*	0,10 10 ⁻⁶
DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂)*	0,10 10 ⁻⁶
AMÔNIA (NH ₃)*	0,40 10 ⁻⁶
ÓXIDO NÍTRICO (NO)*	0,50 10 ⁻⁷
SULFITO DE HIDROGÊNIO (H ₂ S)*	0,50 10 ⁻⁸
* Constituintes de concentração variável	

Fonte: Liou, 1980.

O Nitrogênio, o Oxigênio e o Argônio compõe com 99,99% dos gases permanentes (Liou, 1980). É importante salientar que alguns dos constituintes permanentes têm suas concentrações bastante variáveis, como o Dióxido de Carbono (CO₂), o Monóxido de Carbono (CO) e o Metano (CH₄). A concentração dos gases possui variações em função da altitude e, conseqüentemente, da pressão e temperatura.

Além disso, a composição e a concentração dos gases da atmosfera sofrem influência da posição geográfica e das estações do ano.

Um dos constituintes de concentração variável que merece destaque é o vapor d'água (H_2O_v), pois varia tanto no tempo quanto no espaço, sendo altamente influenciado pelas condições atmosféricas. Sua variação é extremamente importante nos processos de absorção e emissão (Latorre *et al.* 2002).

1.2 – Poluentes atmosféricos e principais fontes de emissão.

Nas últimas décadas as necessidades energéticas têm sido supridas pelo uso de combustíveis fósseis, os quais contribuem para a poluição do ar pela emissão de diversos poluentes como as partículas totais em suspensão (PTS) e elementos-traço. Segundo a Legislação Brasileira (CONAMA, 1990), existem vários parâmetros de avaliação da qualidade do ar, tais como a determinação da concentração de PTS (Partículas Totais em Suspensão), SO_2 , CO, O_3 e NO_x .

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990). No entanto, a variedade de substâncias que podem estar presentes na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Dessa forma, admite-se dividir os poluentes em duas categorias:

1ª) Poluentes Primários: são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão;

2ª) Poluentes Secundários: são aqueles formados na atmosfera, por reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera.

A classificação das substâncias usualmente consideradas poluentes constam no quadro 2, sendo importante salientar que a quantificação - a cada momento - das mesmas proporciona o nível de poluição do ar. Quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores (seres humanos, outros animais, plantas, materiais) como resultado final do processo de lançamento deste poluente na atmosfera a partir de suas fontes de emissão e suas interações na atmosfera, do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas) (IEMA, 2005).

Quadro 2. Substâncias poluentes e seus respectivos compostos de origem.

Compostos de Origem	Substância Poluente
Enxofre	SO ₂ ; SO ₃ ; H ₂ S e Sulfatos
Nitrogênio	NO; NO ₂ ; NH ₃ ; HNO ₃ e Nitratos
Orgânicos de Carbono	Hidrocarbonetos; Álcoois; Aldeídos; Cetonas e Ácidos Orgânicos
Carbono	CO e CO ₂
Halogenados	HCl; HF; Cloretos; Fluoretos;
Material Particulado	Mistura de compostos no estado sólido ou líquido

Fonte: IEMA, 2005

As várias fontes de poluição do ar podem ser classificadas do seguinte modo (Cavalcanti, 2003):

- **Fontes estacionárias ou fontes fixas:** que podem ser subdivididas em dois grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como queimadas e

queima de combustíveis em padaria, hotéis e outras atividades consideradas não industriais; outro formado por atividades individualmente significativas, em vista à variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição dos processos industriais.

- **Fontes móveis:** são todos os meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre que utilizam motores à combustão como força motriz.
- **Fontes naturais:** são todos os processos naturais de emissão que vêm ocorrendo durante milhares de anos, como atividades vulcânicas, os aerossóis marinhos, a liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, a ação eólica entre outros.

O quadro 3 apresenta as principais fontes poluentes e seus respectivos poluentes originários:

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre
		Monóxido de carbono
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas)
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e Hidrocarbonetos
		Mercaptans, HF, H ₂ S, NO _x
Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado	
	Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x	
Outros	Hidrocarbonetos, material particulado	
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono, Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	Locomotivas, etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
Fontes Naturais		Material particulado - poeiras
		Gases - SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x , hidrocarbonetos
Reações Químicas		Poluentes secundários - O ₃ , aldeídos
		Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos
		Aerossol fotoquímico, etc.

Quadro 3: Relação entre os poluentes e suas fontes.

Fonte: CETESB (2002)

Dentre os principais poluentes, os materiais particulados correspondem a suspensões existentes no ar de substâncias fixas, sólidas e ou líquidas. Existem dois termos para designá-los: partículas e aerossóis. As partículas referem-se somente às substâncias sólidas, os aerossóis podem ser tanto líquidos como substâncias sólidas suspensas no ar. Alguns exemplos de particulados são: fuligem, partículas do solo, gotas oleaginosas, poeiras, névoas ácidas, fumaça, fumos e neblina. Os particulados podem ser produzidos na queima incompleta, moagem, corte, purificação etc. Na atmosfera, os particulados, considerados como aqueles com granulometria abaixo de 10μ , ocorrem com vários tamanhos e formas. Aqueles com diâmetro menor que $2,5\mu$ são considerados mais perigosos porque podem ser inalados pelo homem e animais adentrando aos pulmões.

Os particulados finos são formados primeiramente pela combustão incompleta e/ou reações químicas de poluentes primários na atmosfera, leves em peso e persistem na atmosfera por dias. Os particulados grosseiros são formados primeiramente pela suspensão de poeiras do solo, processos de moagem e brisa marítima, ocasionando menos problemas que os particulados finos, uma vez que a gravidade fará sua deposição no solo em poucas horas. Entretanto, aqueles particulados grosseiros que se encontram entre $2,5$ e 15μ de diâmetro podem ser perigosos para o ponto de vista de saúde das pessoas com problemas respiratórios e que sempre respiram pela boca. Para pessoas que respiram normalmente pelo nariz, parte desses particulados não causam problemas uma vez que são bloqueados na passagem nasal.

Os particulados reduzem a visibilidade e a absorção e dispersão da luz. É o caso do nevoeiro em muitas áreas urbanas que pode causar redução de luz do sol. Também pode produzir um céu avermelhado que algumas vezes é visto no nascer ou pôr do sol (Galvão Filho, 1989).

Outro grupo de poluentes do ar é composto de gases. Apesar de somente uma porcentagem relativamente pequena de gases na atmosfera ser considerada poluente, eles exercem um papel importante porque são perigosos e possuem efeitos desagradáveis. Alguns poluentes gasosos são liberados na atmosfera por meio de processo de combustão, outros são liberados por processo de vaporização, ou são formados por reações químicas na atmosfera. Os principais poluentes gasosos na atmosfera podem ser categorizados como gases contendo carbono, enxofre, nitrogênio e ozônio (Galvão Filho. 1989).

Segundo Braga *et. al.*, 2002 os gases encontrados na atmosfera podem ser descritos da seguinte forma:

Monóxido de Carbono (CO): Com exceção dos fumantes, que possuem suas próprias fontes emissoras de CO, os demais habitantes dos grandes centros urbanos têm no trânsito intenso a sua maior fonte deste poluente devido a combustão automotiva. Pessoas que passam várias horas do dia dentro de um automóvel, ou que tenham que andar a pé ou de bicicleta são as mais afetadas. Porém os ambientes internos, como residências e escritórios podem vir a sofrer os efeitos do CO proveniente do ambiente externo que entra pelo sistema de ventilação, ou que é produzido localmente por aquecedores a óleo, fumantes, churrasqueiras e fogão a gás.

Dióxido de Enxofre (SO₂) e Aerossóis Ácidos: Resultado da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo, têm como fontes principais os automóveis e termoelétricas. Uma vez lançado na atmosfera, o SO₂ é oxidado, formando ácido sulfúrico (H₂SO₄). Esta transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas. A permanência no ar por um período grande de tempo faz com que o SO₂ e

seus derivados (aerossóis ácidos) sejam transportados para regiões distantes das fontes primárias de emissão, aumentando a área de atuação destes poluentes.

Óxidos de Nitrogênio (NO_x): As principais fontes de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são os motores dos automóveis. As usinas termoeletricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O₂), ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO₂. Por sua vez, NO₂ na presença de luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O₃), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

Ao contrário de outros poluentes, as concentrações de NO₂ nos ambientes internos estão intimamente relacionadas com as concentrações externas, uma vez que este poluente se difunde com muita facilidade de fora para dentro das edificações através de mecanismos de ventilação. A isto se soma o fato de existirem várias fontes de NO₂ e outros óxidos de nitrogênio (NO_x) dentro das residências, como fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene (mais frequente em regiões frias) e o cigarro.

Ozônio (O₃): O ozônio presente na troposfera é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta). Tem como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos, derivados de fontes de combustão móveis, como os veículos automotores, de fontes estacionárias, como usinas termoeletricas, e até mesmo fontes naturais como as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis.

Além das substâncias citadas anteriormente, os elementos-traço, que são aqueles que encontram-se em concentrações menores do que 1000 mg/Kg em solos (Oliveira,

2002), estão cada vez mais presentes no meio ambiente com concentrações cada vez mais preocupantes. Dentre estes elementos pode-se citar os metais Cd, Pb, Cr, Ni, Hg, Cu, Mn, Zn, que recebem mais atenção a cada dia, principalmente devido as inovações tecnológicas e aumento de volume de produção.

1. 3 – Metais

Metais são quimicamente definidos como elementos que conduzem eletricidade, têm brilho, são maleáveis e dúcteis, formam cátions e óxidos básicos (Atkins & Jones, 1997). Correspondem a dois terços dos elementos da tabela periódica.

Alguns metais são bastante abundantes na crosta terrestre e muito utilizados na indústria, tais como alumínio, ferro, zinco e cobre. Neste sentido, com o desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente a indústria eletro-eletrônica, metais como cádmio e níquel passaram a ser utilizados fazendo parte dos resíduos de produção e consumo dos produtos.

O interesse sobre acumulação e toxicidade de metais tem crescido nos últimos anos como consequência das exposições ocupacionais e ambientais, ou dos distúrbios causados por estes elementos. São em sua maioria cumulativos no organismo e provocam grandes danos a saúde tais como mutações genéticas, surgimento de células cancerígenas e destruição das mucosas e órgãos internos (Moreira *et. al.*, 2002; Moreira & Moreira, 2004).

A grande maioria dos estudos envolvendo metais e seus aspectos toxicológicos e ambientais referem-se a estes como “metais pesados” (Duarte & Pasqual, 2000; Rashed & Soltam, 2005). Alguns trabalhos referem-se a estes elementos que em baixa concentração podem afetar o meio-ambiente e os seres vivos como metais-traço,

elementos-traço, metais tóxicos e ainda micronutrientes. O termo “metais pesados”, freqüentemente utilizados com conotações de poluição e toxicidade, é provavelmente o menos satisfatório de todos. Conduz a uma grande confusão porque o termo “pesado” refere-se à alta densidade e o termo "Metal", no uso convencional refere-se ao elemento puro ou uma liga de elementos metálicos. O conhecimento da densidade contribui pouco para previsão de efeitos biológicos e toxicológicos dos metais, especialmente destes metais elementares e de suas ligas que, na maioria dos casos, não são as espécies reativas encontradas nos organismos vivos (Duffus, 2002).

O termo “Metais Tóxicos” também é impreciso. A regra fundamental da toxicologia (Paracelso, 1493-1541) é que todas as substâncias, incluindo carbono e todos os outros elementos e seus derivados são tóxicos em elevada dose. O grau de toxicidade dos metais varia enormemente de metal de metal e de organismo para organismo. Metais puros são raramente, ou nunca, muito tóxicos (exceto com granulometria muito fina, o que pode ser prejudicial para os pulmões). Toxicidade, como essencialidade deve ser definida, refere-se a uma curva dose-resposta para as espécies (Duffus, 2002).

O termo metais traço corresponde a um grupo de metais encontrados em baixas concentrações, em nível de ppm (parte por milhão) ou menos, em alguma fonte específica, tal como solos, plantas, tecidos, águas subterrâneas, etc. Neste caso, considerando a fonte a ser analisada, pode-se utilizar este termo de forma menos imprecisa e confusa.

As fontes mais comuns de metais-traço no meio ambiente são fertilizantes, pesticidas, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, mineração, fundição, refinamento e incineração de resíduos urbanos e industriais. Cerca de 95% de Hg, 90%

e Cd, 33% de Pb e 27% de Zn são perdidos na forma de gases e particulados quando queimados (Tavares & Carvalho, 1992; Egreja Filho, 1993).

Em função de suas características específicas, os metais traço podem apresentar risco efetivo ou potencial à saúde humana ou gerar impactos aos meios físico, biótico e sócio-econômico, exigindo cuidados especiais quanto ao manuseio, acondicionamento, coleta, transporte e disposição final. Tal disposição depende do grau de periculosidade do resíduo, podendo acontecer em aterros convencionais para os resíduos inertes e em aterros especiais para os não-inertes ou perigosos (Amaral Sobrinho *et. al.*, 1998).

Dentre os metais, aqueles que são mais preocupantes devido a sua presença nos resíduos e emissões e toxicidade a baixas concentrações pode-se citar o Crômio (Cr VI), Cádmio e Chumbo e alguns com menor poder de contaminação e poluição tais como Cobre, Ferro, Manganês e Zinco.

1.3.1 Crômio

O Crômio (Cr III) é um elemento essencial ao funcionamento dos organismos dos seres vivos. No entanto, quando em excesso causa intoxicação. O íon Cr VI é altamente tóxico em concentrações reduzidas. O metal tem fonte de contaminação humana, principalmente atividades industriais de curtumes, galvanoplastia e fundições. Dentre alguns efeitos adversos para a saúde pode-se citar o câncer devido à natureza fortemente oxidante do íon Cr VI e sua mobilidade através de membranas animais, além de dermatites alérgicas, úlceras na pele e lesões vasculares (Shils & Shike, 1994).

A redução do crômio de Cr VI para Cr III desempenha um importante papel na mitigação do impacto ambiental deste metal devido a redução da toxicidade em relação à concentração do elemento.

Os limites máximos para o cromo no ar segundo a Environmental Protection Agency (EPA) Norte Americana corresponde a 100 ng/m^3 de ar, enquanto que pela Organização Mundial da Saúde (OMS) é de 1000 ng/m^3 de ar.

1.3.2 Cádmio

Foi descoberto em 1817 por Stromeyer como impureza do ZnCO_3 , sendo que a maior parte do cádmio utilizado na indústria foi produzido nas últimas três décadas, daí sua atualidade, e por isso considerado metal do século XX (WHO, 1992; Aloway, 1990).

O cádmio encontra-se no mesmo subgrupo da tabela periódica que o zinco e o mercúrio, sendo mais similar ao primeiro. Como no caso do zinco, o único íon comum do cádmio é o $2+$. A maior parte do cádmio é produzida como subproduto da fusão do zinco, já que os dois metais ocorrem usualmente juntos, associado principalmente a sulfetos (Baird, 2002).

As maiores fontes de cádmio são a indústria eletro-eletrônica, pigmentos de esmaltes e tintas têxteis, baterias, fotografia, litografia e pirotecnia, fabricação de plásticos, de semicondutores, células solares, queima de combustível, lixo urbano, tratamento da borracha e galvanoplastia (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Para a maioria das pessoas, o cádmio é absorvido via dieta alimentar. Os frutos do mar e órgãos comestíveis como rins, tem níveis de cádmio maiores, em torno de 100 ppb ou mais. Parte do cádmio também é advinda de batata, trigo, arroz e outros cereais (Baird, 2002).

O excesso de cádmio no organismo pode provocar problemas renais, pneumonia e edema pulmonar. No passado, algumas regiões do Japão foram contaminadas por cádmio advindo de minerações. Surgiu então uma doença nos ossos chamada itai-itai ou

ouch-ouch, causando dor aguda nas articulações. Estimou-se que a ingestão de cádmio pelos doentes tenha passado dos 600 microgramas por dia, que é em média dez vezes maior do que a ingestão normal deste metal (Baird, 2002).

Os limites máximos para o cádmio no ar segundo a Environmental Protection Agency (EPA) Norte Americana e Organização Mundial da Saúde (OMS) são respectivamente 6,37 e 5 ng/m³ de ar.

1.3.3 Chumbo

Este elemento é reconhecido pela Organização Mundial da Saúde como um dos elementos químicos mais perigosos para a saúde humana. Após a proibição parcial ou total da adição do chumbo tetraetila na gasolina de alguns países, a concentração do chumbo particulado no ar das zonas urbanas diminuiu, mas não determinou o desaparecimento do problema da poluição por esse metal. Outras fontes são responsáveis pela poluição atmosférica por chumbo particulado nas zonas industriais e urbanas, colocando em risco a saúde das populações. Em muitos países, o chumbo é o único metal cuja presença no ar é controlada por legislação (Vanz, *et. al.*, 2003).

O chumbo pode estar no estado de oxidação II e IV, sendo que na natureza a ocorrência maior é do primeiro. Os compostos de chumbo estão presentes em uma grande variedade de produtos industriais tais como tintas, plásticos, baterias, ligas metálicas, inseticidas, cerâmicas e cabos elétricos. Seu uso diversificado é atribuído principalmente pela maleabilidade e resistência a corrosão (Oliveira, 2002).

As atividades de fundição primária (minérios) e secundária (recuperação de sucatas e baterias) constituem-se em importantes fontes emissoras do metal no meio ambiente, embora a combustão do Pb na gasolina ainda seja uma fonte de emissão importante em vários países que ainda não aboliram seu uso (Baird, 2002).

A maior parte do chumbo que percorre o organismo humano está inicialmente presente no sangue, porém essa quantidade vai se elevando até alcançar um platô, e o excesso penetra nos tecidos macios, inclusive nos órgãos, dentre os quais destaca-se o cérebro. Finalmente o chumbo deposita-se nos ossos, quando então substitui o cálcio, já que os íons Ca^{2+} e Pb^{2+} tem propriedades semelhantes. A absorção de Pb pelo organismo aumenta em pessoas que tem deficiência de cálcio e ferro e é muito mais elevada em crianças do que adultos. A toxicidade do metal é proporcional a quantidade presente nos tecidos macios, e não na quantidade encontrada em sangue ou ossos (Baird, 2002).

O chumbo pode provocar diversos efeitos na saúde das pessoas tais como problemas neurológicos, hematológicos, renais, carcinogênicos, cardiovasculares, gastrointestinais, hepáticos, no crescimento e na reprodução (Vilela, 2005).

Os limites máximos para o chumbo no ar segundo a Environmental Protection Agency (EPA) e Organização Mundial da Saúde (OMS) são respectivamente 1500 e 500 ng/m^3 de ar.

1.3.4 Cobre

O cobre é um metal vermelho-amarelado, de símbolo Cu (do latim *cuprum*), tem densidade 8,9 g/cm^3 e funde-se a 1.084°C. Cristaliza no sistema cúbico e não possui formas alotrópicas. Apresenta-se em compostos estáveis de valência I (cuprosos) e II (cúpricos). Não é atacado pelo ar seco, mas em ar úmido que contenha dióxido de carbono forma-se uma camada protetora esverdeada de carbonato básico (Russell, 1982).

Está ligado a atividade de várias enzimas e na formação de tecidos, por isso é um elemento-traço essencial para a sobrevivência de todos os organismos, servindo também como importante co-fator da redução de proteínas (Lindh, 2005).

Tem como principais fontes de emissão as queimas de resíduos urbanos e industriais, fundições de ligas metálicas e pesticidas. Sua deficiência no organismo caracteriza-se por manifestações como anemia, defeitos na formação do tecido conectivo, queratinização e pigmentação deficiente. A ingestão de quantidades elevadas do elemento é prejudicial ao organismo e o efeito nocivo mais pronunciado de seu excesso é a doença de “Wilson”, caracterizada pela falta de coordenação, ataxia e deterioração mental progressiva (Santos Jr. *et. al.*, 2002).

Não há limites máximos de concentração no ar para o cobre.

1.3.5 Ferro

O Ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre. Pode existir no estado de oxidação variando de -2 a +6. Nos sistemas biológicos, o estado de oxidação é primariamente limitado para o ferroso (+2) e férrico (+3). A ligação biológica do ferro ocorre com oxigênio, nitrogênio e enxofre, sendo que o ferro III liga-se preferencialmente com o oxigênio e o ferro II preferencialmente com nitrogênio e enxofre (Lindh, 2005).

Este elemento tem papel fundamental no processo metabólico da respiração pulmonar e da respiração celular dos seres aeróbicos, pois atua na composição química da hemoglobina, o pigmento vermelho do sangue presente nas hemácias (Lindh, 2005).

Tem como principais fontes a catálise de reações químicas e a metalurgia como componentes de ligas com carbono, níquel, manganês e crômio na fabricação de aço e aço inoxidável, componentes de pigmentos, abrasivos, fluidos lubrificantes e indústria farmacêutica. No organismo humano os órgãos-alvo do elemento são fígado, coração e cérebro, podendo acarretar algumas alterações neurológicas (Vilela, 2005).

O elemento também é muito encontrado no material particulado, principalmente em regiões onde há predominância de solos com características eutroféricas (Toledo, *et. al.*, 2007).

Não há padrões máximos de emissão do ferro no ar pelas principais agências de controle ambiental do mundo.

1.3.6 Manganês

Manganês é um elemento químico, de símbolo Mn, do grupo VIIb da tabela periódica, portanto um metal de transição. De coloração cinza clara, quebradiço, apresenta alto grau de dureza. Quimicamente ativo, é corrosível pelo ar úmido e por muitas soluções.

Este elemento é um constituinte essencial do corpo humano, uma vez que está envolvido na ativação de enzimas e na formação de ossos e cartilagens. Sua deficiência pode causar distúrbios no metabolismo, caracterizados por ossos e cartilagens frágeis, degeneração dos discos espinhais, câncer, diminuição da fertilidade, diminuição do crescimento e prejuízo para as funções cerebrais. Porém, no caso de elevados índices de manganês, do ponto de vista toxicológico, deve-se suspeitar de exposição ocupacional (metalurgia e mineração), caracterizando seu potencial tóxico, resultando em anorexia, fraqueza, apatia, “loucura mangânica”, manias, comportamento violento, tremores simulando Parkinson e depressão (Santos Jr. *et. al.*, 2002).

As principais fontes do metal são a indústria metalúrgica, fertilizantes, pilhas, tintas e pigmentos.

Os limites máximos para o manganês no ar segundo a Environmental Protection Agency (EPA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) são respectivamente 500 e 150 ng/m³ de ar.

1.3.7 Zinco

O zinco é um metal de cor branco-azulada, forma cristalina hexagonal compacta, de número atômico 30, massa molar 65,38, densidade (a 25°C) 7,14 g/cm³, dureza 2,5 (escala de Mohs), ponto de fusão 419°C (à pressão de 760 mm de Hg) e ponto de ebulição 920°C. O metal é encontrado em todo o meio ambiente (ar, água e solo). Na natureza ocorre principalmente sob a forma de sulfetos, associado ao chumbo, cobre, prata e ferro (galena, calcopirita, argentita e pirita, dentre outros). O minério sulfetado de zinco está sujeito a grandes transformações na zona de oxidação formando óxidos, carbonatos e silicatos. As mineralizações ocorrem, principalmente, nas rochas calcárias que são as hospedeiras usuais (Jesus, 2001).

A importância do zinco na nutrição humana tem sido reportada desde 1934, o qual é considerado um elemento traço essencial para o homem, pois está associado à produção de insulina, é componente de mais de 90 enzimas relacionadas com catálise ácido-base e está relacionado com a síntese do DNA e RNA. A deficiência deste metal no organismo pode provocar retardo no crescimento das crianças, falta de apetite, lesões de pele, alopecia, dificuldades de cicatrização, etc. A ingestão de grandes quantidades deste elemento resulta em febre, náuseas, vômitos e diarreia (Santos Jr., *et. al.*, 2002).

As principais aplicações do zinco são metalurgia, galvanoplastia, fertilizantes, ligas metálicas, pilhas e baterias, cosméticos, indústria farmacêutica, borrachas, explosivos, tinta e papel.

Não há padrões máximos de emissão de zinco no ar pelas principais agências de controle ambiental do mundo.

1.4 - Monitoramento e Biomonitoramento Ambiental

Programas de monitoramento são importantes em avaliações de impacto ambiental, pois fornecem informações relevantes a respeito da extensão da poluição, do impacto ambiental provável e da deterioração ou da melhoria gerada numa escala temporal e espacial; permitem avaliar a eficiência de ações mitigadoras adotadas com o propósito de reduzir ou eliminar a origem da contaminação e podem ser utilizados na avaliação de normas ou guias que estejam em vigor, elaborados com fins de proteção ambiental (Raya-Rodriguez, 2000).

Dentre os objetivos do monitoramento de emissões destacam-se (ETI, 2000):

- Determinar as concentrações máximas de materiais poluentes na zona monitorada;
- Determinar as concentrações representativas da poluição nas zonas de alta densidade de população;
- Determinar o impacto sobre a qualidade do ar das principais fontes ou categorias de fontes de emissão de poluentes;
- Determinar a poluição geral de fundo (background);
- Determinar a amplitude dos transportes de poluição nas zonas povoadas;
- Determinar o impacto da poluição do ar sobre a vegetação nas zonas rurais e urbanas;
- Determinar o impacto relativo de fontes naturais e antropogênicas.

Existem dois grandes tipos de estações de medição: as estações de medição de parâmetros específicos de poluição como o SO₂, CO, O₃, NO₂, Pb e PTS e aquelas que caracterizam as transformações fotoquímicas da atmosfera, em particular ao que diz respeito à formação de ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO_x) e BTX (Benzeno-Tolueno-Xileno) (Pires, 2005).

Os métodos mais comuns de monitoramento físico e químico do ar correspondem a estações de monitoramento fixas ou móveis, diferenciadas para cada tipo de poluente que se deseja monitorar. Os equipamentos mais utilizados são os amostradores de alto volume, que consistem em um sistema de filtração composto por um filtro de fibra de vidro com porosidade determinada e uma bomba de vácuo que permite a passagem forçada de ar pelo filtro, onde existe um medidor de vazão do ar em relação ao tempo de exposição. Estes sistemas devem ser calibrados periodicamente de forma a garantir a eficiência de amostragem.

Os custos de aquisição e manutenção das estações de monitoramento, muitas vezes fazem com que não se tenha o sistema de monitoramento de todos os poluentes necessários. Muitas agências estaduais do meio ambiente não dispõem de recursos para efetivação total dos sistemas de monitoramento, tanto para estações fixas quanto para móveis.

O monitoramento tradicionalmente feito com a avaliação de parâmetros físicos e químicos pode ser complementado com o biomonitoramento. Os parâmetros biológicos fornecem informações sobre as respostas dos organismos frente a modificações ambientais. Neste sentido, vários são os autores que têm apontado para a necessidade da inclusão do monitoramento biológico para uma real avaliação da qualidade ambiental (Boudou & Ribeyre, 1989; Fernandes, 1989; Elder, 1990; Fowler & Aguiar, 1991; Araújo, 1995).

O biomonitoramento pode ser definido como um método experimental indireto de verificação da existência de contaminantes em uma certa área. Baseia-se na utilização de organismos vivos, que respondem ao estresse, uma vez submetidos à modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de contaminantes (Wappelhorst *et al.*, 2000; Carreras & Pignata, 2001). Estes organismos são normalmente denominados

bioindicadores quando reagem ao estresse pela acumulação de substâncias nos tecidos, e são reconhecidos como organismos resistentes e denominados bioindicadores de acumulação. Quando sofrem alterações morfológicas, fisiológicas, genéticas e etológicas são considerados organismos sensíveis e denominados bioindicadores de reação (Nimis *et al.*, 2000; Klumpp *et al.*, 2001; Wolterbeek, 2002).

Segundo Johnson *et al.* (1993), um indicador biológico “ideal” deve possuir as seguintes características:

- ser taxonomicamente bem definido e facilmente reconhecível por não-especialistas;
- apresentar distribuição geográfica ampla;
- ser abundante ou de fácil coleta;
- ter baixa variabilidade genética e ecológica;
- preferencialmente possuir tamanho grande;
- apresentar baixa mobilidade e longo ciclo de vida;
- dispor de características ecológicas bem conhecidas;
- ter possibilidade de uso em estudos em laboratório.

O emprego de bioindicadores, no entanto, não pretende e não consegue substituir medições de concentrações ambientais de poluentes utilizando-se de métodos físico-químicos, mas fornece informações adicionais referentes a efeitos sobre organismos vivos (Klumpp, 2001).

Alguns autores diferem bioindicadores de biomonitores de poluição. Hawksworth (1992) considera como bioindicadores organismos que expressam sintomas particulares ou respostas que indiquem mudanças em alguma influência ambiental, geralmente de forma qualitativa. Biomonitores são organismos, cuja distribuição e populações são estudados durante um certo período de tempo, e comparados a um modelo, onde os desvios do esperado são avaliados. Organismos com

íntimas relações ecofisiológicas com atmosfera, ao invés de com seu substrato, são, particularmente, candidatos promissores para a bioindicação e, conseqüentemente, monitoramento da poluição do ar (Mota-Filho *et. al.*, 2004).

Assim sendo, a diferença entre bioindicadores e biomonitores se dá unicamente pelo tipo de respostas que eles podem fornecer. Enquanto os bioindicadores provêm informações sobre a qualidade do ambiente ou de suas modificações, as "respostas" dos biomonitores possibilitam quantificar tais modificações (Wolterbeek *et. al.*, 1995).

Considera-se o biomonitoramento como uma das técnicas mais atuais dentro da química ambiental. A possibilidade de medir elementos sejam eles metais, ou outro tipo de poluente, usando organismos vivos é assunto muito discutido, pois não foi ainda possível se estabelecer uma definição clara sobre todos os aspectos que envolvem o processo de biomonitoramento. Um dos principais pontos observados é o fato do acúmulo de um poluente iniciar-se a baixos níveis e aumenta exponencialmente, mantendo-se estável após o nível de saturação. Portanto, os biomonitores tem que ser empregados com cautela, verificando sua capacidade de resposta às condições/variações ambientais e obedecendo a certos requisitos quanto ao seu uso como: estar presente em quantidades suficientes para ensaios biológicos e químicos, facilmente identificáveis, e estarem amplamente distribuídos por outras áreas que possam ser consideradas para comparação (Market, 1993).

Dentre os bioindicadores de acumulação mais utilizados para se avaliar a poluição atmosférica estão as aves, (Nam *et. al.*, 2004; Almansour, 2004; Swaileh & Sansur, 2006; Burger *et. al.*, 2001; Dauwe *et. al.*, 2002), mamíferos terrestres (Shore, 1995; Medvedev, 1999; Rashed & Soltan, 2005), herbívoros terrestres (Kalas *et. al.*, 2000), crustáceos terrestres (Dallinger *et. al.*, 1992), plantas (Alaimo *et. al.*, 2000; Georgiadis & Rossi, 1989, Alaimo *et. al.*, 2005; Crescimanno *et. al.*, 2000; Klumpp *et.*

al., 2001) e líquens (Piervittori & Laccisaglia, 1993; Cruz & Siviero, 2005; Mota-Filho et al., 2004).

Alguns pontos negativos estão presentes na utilização de animais como bioindicadores de acumulação, dentre eles:

- Dificuldade de coleta dos animais;
- Dificil identificação de dados como idade, local de freqüência dos animais e período de troca de penas, pêlos e plumagens;
- Dificuldade em se precisar a fonte dos metais-traço encontrados, já que podem ser advindos do ar, solo ou dieta dos animais;
- Inexistência de padrões para comparação das concentrações de metais-traço obtidas;
- Diferentes metodologias de lavagem e amostragem aplicadas, o que compromete as comparações de resultados.

No desenvolvimento deste trabalho foram usados como biomonitores, pombos (*Columba livia*) com a utilização das penas lavadas e não lavadas na cidade de Goiânia (GO-Brasil) e Jataí (GO-Brasil), bem como pêlos dos animais silvestres Lobo Guará (*Crysocyon brachyurus*), Cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*) e Jaguaririca (*Leopardus pardalis*) coletados nas dependências do Parque Nacional das Emas.

Dado aos diversos inconvenientes existentes no uso de animais como biomonitores, para absorção/adsorção e o monitoramento físico-químico de metais traço, foi proposto um sistema utilizando papéis de filtro quantitativo recobertos com cera sintética polimetilência, de forma a simular a superfície de aderência dos metais das penas das aves.

Assim sendo, procurou-se adequar o novo sistema de monitoramento ambiental de metais, de forma a poder montar o sistema de monitoramento com a minimização de variáveis interferentes no processo, além do baixo custo e da facilidade operacional.

As hipóteses principais do trabalho foram: 1) O principal meio de prospecção de metais-traço na atmosfera é através de material particulado advindo de emissões veiculares e industriais; 2) É possível identificar as possíveis fontes e relações entre alguns metais-traço em sistemas de monitoramento físico-químico; 3) A possibilidade de utilização de tecidos de animais como biomonitoradores de poluição ambiental por metais-traço.

2. OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

Contribuir para a área de conhecimento sobre poluição ambiental, sugerindo novas alternativas de monitoramento e biomonitoramento de metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr e Pb no meio ambiente.

2.2 – Objetivos Específicos

- Fazer um levantamento bibliográfico preliminar para conhecimento dos principais poluentes e suas fontes, bem como os principais sistemas de monitoramento e formas de biomonitoramento aplicadas a metais-traço;
- Desenvolver biomonitoramento dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr e Pb utilizando amostras de penas de pombos (*Columba livia*) lavadas e não lavadas no município de Goiânia (Parque Zoológico e Centro Administrativo) e na cidade de Jataí ambas situadas no estado de Goiás (Brasil);

- Propor o monitoramento ambiental dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr e Pb na cidade de Goiânia utilizando filtros recobertos com cera sintética polimetilênia fixados em postes de energia elétrica;
- Fazer o biomonitoramento dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr e Pb utilizando amostras de pelos de animais silvestres, Lobo Guará (*Crysocyon brachyurus*), Cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*) e Jaguaririca (*Leopardus pardalis*) nas dependências do Parque Nacional das Emas, no estado de Goiás;
- Executar determinações de metais via espectrometria de Absorção Atômica (EAA) nas penas de pombos, filtros e pelos dos animais silvestres;
- Comparar os resultados com os obtidos na literatura para avaliação do monitoramento e ação dos biomonitores para avaliação do nível de concentração de poluentes no meio ambiente.
- Avaliar a possibilidade da utilização dos biomonitores pesquisados, bem como do sistema de monitoramento de metais proposto para determinar o nível de contaminação urbana e rural por metais-traço;

3. ESTRUTURA DA TESE

A tese encontra-se subdividida em quatro capítulos, sendo o primeiro referente a uma introdução geral sobre o tema, e os três últimos apresentando, cada um deles, os três artigos desenvolvidos neste trabalho, e relacionados a seguir:

- 1) Utilização de pêlos de animais silvestres para monitoramento ambiental de metais (Submetido à Química Nova)
- 2) Utilização de penas de Pombos (*Columba livia*) para quantificação de metais e monitoramento do meio ambiente (Submetido a Environmental Monitoring and Assessment);
- 3) Utilização de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de metais e particulados totais (Submetido à Química Nova).

O primeiro artigo aborda a presença de metais tóxicos em pêlos de animais que habitam áreas protegidas do Parque Nacional das Emas.

O segundo artigo procura verificar se animais presentes em áreas urbanas, com diferentes níveis de antropização, também apresentam elevados níveis de metais tóxicos, assim como observado para animais silvestres. Verificou-se também a possibilidade do uso desses animais urbanos como biomonitores ambientais.

Dada as diversas desvantagens apresentadas por biomonitores, desenvolveu-se um sistema estático de coleta de poluentes atmosféricos, visando comparar os diferentes níveis de contaminação que ocorrem na zona urbana. Este estudo é apresentado no terceiro artigo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAIMO, M. G.; LIPANI, B.; LOMBARDO, M. G.; ORECCHIO, S.; TURANO, M.; MELATI, M. R. The mapping of stress in the predominant plants in the city of Palermo by lead dosage. *Aerobiologia*, 16: 47-54, 2000.

ALAIMO, M. G.; VIZZI, D.; MELATI, M. R. Histochemical properties and trace element concentrations in *Parietaria L.* from urban sites (Palermo, Italy). *Aerobiologia*, 21: 21-31, 2005.

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soil. New York: John Wiley, 1990. 339p.

ALMANSOUR, M. I. Using Feathers as a biological of lead environmental pollution. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(11): 1884-1887, 2004.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; OLIVEIRA, C. Mobilidade dos metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.2, p.345-353, abr/jun 1998.

ARAÚJO, P.R.P. Biomonitoramento da qualidade da água do Guandu e do Paraíba. *Revista FEEMA*, Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro - RJ, ano IV, n. 18. p. 22-25, 1995.

ARNDT, U., FLORES, F. & WEINSTEIN, L. 1995. Efeitos do flúor sobre as plantas: diagnose de danos na vegetação do Brasil. Editora UFRGS, Porto Alegre.

ATKINS, P.; JONES, L. *Chemistry—Molecules, Matter and Change*, 3rd ed., W. H. Freeman, New York: 1997.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2 ed., Bookmann, São Paulo: 2002.

BOUDOU, A.; RIBEYRE, F. Fundamental concepts in aquatic ecotoxicology. In: BOUDOU, A., F. RIBEYRE (Eds). Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies. Flórida: CRC Press Inc., 1989. v.1, cap.3, p. 35-75.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N.; *Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana*. In: Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos 20 anos, Campinas, 2002.

BURGER, J.; SHUKLA, T.; DIXON, C.; SHUKLA, S.; MCMAHON, M. J.; RAMOS, R.; GOCHFELD, M. Metals in feathers of sooty tern, white tern, gray-backed tern, and brown noddy from islands in the north pacific. *Environmental Monitoring and Assessment* 71: 71-89, 2001.

CARNEIRO, R. M. A. Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade. Dissertação de mestrado apresentada no programa de pós- graduação Enfermagem em Saúde Pública, USP Ribeirão Preto – SP: 2004.

CARRERAS, H. A.; PIGNATA, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. *Envir. Pollut.* 111: 45-52, 2001.

CAVALCANTI, P.M.S. Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica. Dissertação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

CETESB -Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2002.

CONAMA (1990), Resolução CONAMA nº 03, Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no – PRONAR – Data da Legislação: 28/06/90 – Publicação DOU: 22/08/90.

CRESCIMANNO, F. G.; GERMANA, M. A.; MELATI, M. R.; ORECCHIO, S.; VITALE, M. C. Secondary stress in several edible citrus cultivars caused by heavy metal air pollution. *Aerobiologia*, 16: 137-142, 2000.

CRUZ, J. I.; SIVIERO, A. R. Utilização de Líquens como bioindicadores da qualidade do ar na cidade de Limeira-SP. XIII Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, 28 a 29 de setembro de 2005. Campinas – SP.

DALLINGER, R.; BERGER, B.; BIRKEL, S. Terrestrial isopods: useful biological indicators of urban metal pollution. *Oecologia*, 89: 32-41, 1992.

DAUWE, T.; BERVOETS, L.; BLUST, R.; EENS, M. Tissue levels of lead in experimentally exposed zebra finches (*Taeniopygia guttata*) with particular attention on the use of feathers as biomonitors. *Environmental Contamination and Toxicology*, 42: 88-92, 2002.

DE OLIVEIRA VILLAROUCO, F. M.; CORREIA FREIRE, E. V.; GONCALVES PEREIRA, E. C. Análisis del líquen *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., en condiciones de laboratorio bajo efecto del estireno y ciclohexano. *INCI*, abr. 2007, vol.32, no.4, p.242-246. ISSN 0378-1844.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação de cádmio, chumbo, níquel e zinco em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura*, v.15, n.1: 46-58, 2000.

DUFFUS, J. H. "Heavy metals" – A Meaningless term? Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 5: 793–807, 2002.

EGREJA FILHO, F. B. Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano. Viçosa, 1993, 176p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia/Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa.

ELDER, J.F. Applicability of ambient toxicity to national or regional water-quality assessment. U.S. Geological survey circular, n. 1049, 49p, 1990.

EPA: (2006). National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. US Environmental Protection Agency, USA. <http://epa.gov/air/criteria.html> Research, acessado em 01 de fevereiro de 2008.

ETI (ENVIRONNEMENT ET TECHNOLOGIE INTERNACIONAL) 2000, Relatório de Estudo de Viabilidade do Sistema Nacional de Monitoramento da qualidade do Ar, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.

FERNANDES, L.M. Modelo de biomonitoramento de efluentes industriais para preservação dos recursos pesqueiros. Recife: Departamento de Pesca da UFRPer, 1989. Relatório Técnico.

FOWLER, H.G.; AGUIAR, A. M. A integração da teoria ecológica na análise ambiental. In: TAUKE, S.M., GOBBI, N., FOWLER, H.G. (organizadores). Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora UNESP, 1991. p.133 - 141.

GALVÃO FILHO, J. B. Poluição do Ar: Aspectos técnicos e econômicos do meio ambiente. 21/08/1989 a 01/09/1989. www.consultoriaambiental.com.br/artigos/32.pdf. Acessado em 28/01/2008.

GEORGIADIS, T.; ROSSI, F. Dry deposition of pollutants and effects on vegetation. *Aerobiologia*, 5 (2): 111-121, 1989.

HAWKSWORTH, D.L. Litmus tests for ecosystem health: the potential of bioindicator in the monitoring of biodiversity. IN: SWAMINATHAN, M. S. & JANA, S.(eds.) *Biodiversity. Implications for global food security*. Madras: Macmillan Índia, 1992. 17: 184-204.

http://www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Saldiva.pdf, acesso em 31 de janeiro de 2008.

http://www.medwebplus.com/subject/guidelines/public_health, Acessado em 01 de fevereiro de 2008.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Relatório da qualidade do ar na região da grande Vitória, 2005.

JESUS, C. A. G. Zinco. Balanço mineral Brasileiro, 2001. www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/zinco.pdf. Acessado em 29/01/2008.

JOHNSON, R. K.; WIEDERHOLM, T. & ROSENBERG, D. M. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (D. M. Rosenberg & V. H. Resh, ed.), pp. 40-158, New York: Chapman & Hall, 1993.

KALAS, J. A.; STEINNES, E.; LIERHAGEN, S. lead exposure of small herbivorous vertebrates from atmospheric pollution. *Environmental pollution* (2000) 107: 21-29.

KEMP, D. D. *Global Environment Issues - A Climatological Approach*. 2 ed. USA, Routledge, 1994.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras. *Rev. Bras. Bot.* 4: 511-518, 2001.

LATORRE, M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. *Espaço & Geografia*, v.5, n.1: 143-178, 2002.

LINDH, U. *Medical Geology: Impacts of the natural environment on public health*. Amsterdam: Elsevier, 2005. p.115-156.

LIU, K. N. *An Introduction to atmospheric radiation*. Academic Press, New York, 392p, 1980.

MARKERT, B. *Plants as Biomonitors. Indicators for heavy Metals in the Terrestrial Environments*. VCH Publishers.; New York, 1993.

MEDVEDEV, N. Levels of heavy metals in Karelian wildlife, 1989–91. *Environ. Monitor. Assess* (1999). 56(2), 177–193.

MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. *Heavy metals in natural waters*. New York: Springer-Verlag, 1984. 328p.

MOREIRA, A.; ESCALEIRA, V.; MOREIRA, J. C. Evaluation of levels, sources and distribution of toxic elements in PM10 in a suburban industrial region, Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Monit Assess* (2007).

MOREIRA, FR; MOREIRA, J. C. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a validação dos riscos a saúde. *Química Nova*, v.27, n.2, p.253-260. 2004.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C.; PIVETA, F. Influência da geometria da plataforma na determinação de chumbo em AZT por ETAAS. *Química Nova*, v.25, n.3, p.379-383. 2002.

MOTA-FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C.; SILVA, R. A.; XAVIER-FILHO, L. (2004). Líquens: Bioindicadores ou Biomonitorios? Portal Biomonitor, <http://www.jb.ul.pt/biomonitor>, acessado em 06 de fevereiro de 2008.

NAM, D-H.; LEE, D-P.; KOO, T-H. Monitoring for lead pollution using feathers of feral pigeons (*Columba livia*) from Korea. *Environmental Monitoring and Assessment* 95: 13-22, 2004.

NIMIS P. L.; LAZZARIN, G.; LAZARRIN, N.; SKERT, N. Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy). *Sci. Tot. Envir.* 255: 97-111, 2000.

OLIVEIRA, J.L.F. Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

OLIVEIRA, R. C. Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Lavras, MG, 2002.

PIERVITTORI, R. LACCISAGLIA, A. Lichens as biodeterioration agents and biomonitors. *Aerobiologia*, 9 (2-3): 181-186, 1993.

PIRES, D. O. Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

RASHED, M. N.; SOLTAM, M. E. Animal hair as biological indicator for heavy metal pollution in urban and rural áreas. *Env. Monit. Ass.* (2005) 110: 41-53.

RAYA-RODRIGUEZ, M.T. O uso de bioindicadores para avaliação da qualidade do ar de Porto Alegre. In: ZURITA, M.L.L. (Org.), TOLFO, A.M. (Org.) A qualidade do ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2000.p.68-76.

RUSSEL. J. B. Química geral. Mc Graw-Hill, São Paulo: 1982.

SANTOS JR., A.F.; KORN, M. G. A.; JAEGER, H. V.; SILVA, N. M. S.; COSTA, A. C. S. Determinação de manganês, cobre e zinco em matrizes salinas após separação e pré-concentração usando amberlite XAD-7 impregnada com vermelho de alizarina S. *Química Nova*, v.25, n.6b, p.1086-1090, 2002.

SHILS, J. & SHIKE, M. Modern nutrition in health and disease. *Biol. Trace Element Research*, 29:133-136, 1994.

SHORE, R. Predicting cadmium, lead and fluoride levels in small mammals from soil residues and by species-species extrapolation. *Environmental Pollution* 88: 333-340, 1995.

TAVARES, T.M., CARVALHO, F.M. Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. *Química Nova*, v. 15, n.2, p. 147-53, 1992.

TOLEDO, V. E.; ALMEIDA JÚNIOR, P. B. de; QUITÉRIO, S. L.; ALBILLA, G.;

WAPPELHORST, O.; KÜHN, I.; OEHLMANN, J.; MARKET, B. Deposition and disease: a moss monitoring project and approach to ascer taining potential connections. *Sci. Tot. Envir.* 249: 243-256, 2000.

VANZ, A.; MIRLEAN, N.; BAISCH, P. Avaliação da Poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica. *Química Nova*, São Paulo, v.26, n.1, p.25-29, 2003.

VILELA, E. C. Estudo de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Metais em Material Particulado Atmosférico de Áreas Urbanas de Goiânia/GO. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Química. Universidade Federal de Goiás, Goiânia: 2005.

WOLTERBEEK, B. Biomonitoring of trace element air pollution principles, possibilities and perspectives. *Envir. Pollut.*, 120: 11-21, 2002.

WOLTERBEEK, H. T. H.; KUIK, P.; VERBURG, T. G.; HERPIN, U.; MARKERT, B. & THÖNI, L,1995 Moss interspecies comparisons in trace element concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 35:263-286.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (1992). Cadmium. Geneva, (Environmental Health Criteria, 134).

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (2000). World Health Organization Guidelines for Air Quality. Geneva.

CAPITULO 2

Utilização de pêlos de animais silvestres para monitoramento ambiental de metais

Brait, Carlos Henrique¹; Furtado, Mariana Malzoni²; Antoniosi Filho, Nelson Roberto¹

- 1) Programa de Doutorado em Ciências Ambientais - Universidade Federal de Goiás – Campus II, Samambaia, Bloco ICB IV, Goiânia, Goiás, Brasil.

nelson@quimica.ufg.br

- 2) Fundo para a Conservação da Onça-Pintada e Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade de São Paulo.

Resumo

Este estudo tem o objetivo monitorar metais utilizando pêlos de animais silvestres *C. brachyurus*, *C. thous* e *L. pardalis* como biomonitores no Parque Nacional das Emas. Os resultados mostraram fortes correlações entre (Cd e Pb) e (Cu e Zn), e similaridade hierárquica entre (Cr e Pb) sugerindo mesma fonte de emissão. A maioria dos metais tiveram concentrações menores ou próximas daquelas obtidas em outros estudos. O trabalho mostra que o monitoramento pode ser feito apenas com os metais Zn, Pb, Cd e Cr devido a similaridade estatística e pela não ocorrência natural de grandes concentrações no material analisado.

Palavras Chave: Animais Silvestres, metais, meio ambiente

Utilization of wild animal hair for environmental monitoring of metals

Abstract

This study has the purpose to use wild animal hair *C. brachyurus*, *C. thous* and *L. pardalis* as biomonitors of trace metal in the National Park of Emas, Brazil. The result showed strong correlation among Cd, Pb, Cu, Zn and a hierarchical similarity between Cr and Pb. This suggests the same source of emission. Most metals had concentration smaller or close to the ones obtained in others studies. The research shows that the monitoring can be done only with the following metals: Zn, Pb, Cd and Cr because of the statistical similarity and also because of a non natural occurrence of big amount of the material analyzed.

Key Words: Wild animals, metal, environment.

1 - Introdução:

O rápido desenvolvimento tecnológico bem como o aumento da população mundial tem contribuído significativamente para a geração de novos problemas ambientais oriundos de ações antrópicas. Assim sendo, novas técnicas de monitoramento de poluentes vem surgindo, tanto biológicas quanto as não biológicas. Embora os métodos biológicos tenham a vantagem de serem um importante complemento dos métodos químicos e físicos, a escolha de um bom indicador pode ser complexa e com resultados controversos¹.

Alguns elementos metálicos são muito importantes para o funcionamento de todos os organismos vivos. No entanto, o excesso ou a falta de alguns pode levar a um estado patológico para os seres vivos. Metais tais como Cd, Pb e Cr (Cr VI) são muito tóxicos em concentrações baixas quando comparados com outros como Fe, Zn, Mn e Co que em geral compõem a estrutura dos seres vivos². Desta forma o biomonitoramento destes elementos torna-se cada vez mais importante para controle de suas concentrações no meio ambiente e nos seres vivos.

Animais selvagens estão normalmente expostos a elementos metálicos no seu ambiente natural, que podem ser advindos do solo, alimentação ou ainda contaminações antropogênicas³. A utilização de amostras biológicas de animais como pêlos, fígado, cérebro e pulmões, além de sangue e urina têm sido utilizada para avaliar e quantificar metais no meio ambiente.

O cabelo humano e pêlos de animais são substratos acessíveis para a investigação de metais. O cabelo humano foi selecionado como um importante material para monitoramento biológico no Sistema de Monitoramento Ambiental Global (GEMS) do programa ambiental das Nações Unidas⁴. São bem aceitos em toxicologia,

poluição ambiental e criminalística, provavelmente porque neste caso as contaminações endógena e exógena são mais facilmente distinguidas⁵.

Pêlos de animais constituem um indicador ambiental melhor que o cabelo humano porque está exposto a contaminações do solo e alimentos⁶. Estes refletem o acúmulo e concentração dos metais através de meses ou anos e por isso representam um processo longo de exposição, além de ser um método não invasivo⁷. Os pontos mais controversos do processo de análise de cabelos humanos e pêlos de animais são as várias fases da preparação da amostra, especialmente procedimentos de lavagem⁸.

Mamíferos selvagens são conhecidos por serem indicadores convenientes de poluição por metais^{9,10}. Devido ao acúmulo ao longo da cadeia trófica de muitos elementos químicos, os mamíferos fornecem um alerta de efeitos adversos tóxicos nos ecossistemas inteiros. Além disso, possuem relativa vida longa, sofrem os efeitos ambientais durante um longo período de tempo e, por compartilhar algumas características fisiológicas com organismos humanos, podem refletir os mecanismos da poluição que influencia a saúde humana¹¹.

Considerando a origem dos vários elementos nos cabelos e nos pêlos, duas fontes principais devem ser distinguidas: a endógena e a exógena.

A fonte endógena representa as quantidades de metais que são incorporadas, através da dieta, às proteínas dos cabelos e pêlos durante o curto período de formação destas estruturas. Os elementos traços endógenos são considerados metabolicamente inertes, irreversíveis ou, pelo menos, muito firmes¹². Por sua vez, quantidades exógenas de elementos são aquelas que ocorrem por contato direto com o ambiente após a formação do cabelo¹³.

Os níveis de Hg, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn e Fe foram determinados em pêlos de alce, urso castanho, javalis e esquilos no Norte da Europa¹⁴. Cibulka *et al.*¹⁵ determinou

o nível natural e as quantidades de Pb, Cd e Hg nos pêlos de bezerros recém-nascidos a partir de diferentes áreas da Checoslováquia.

No Brasil, enfatizando a determinação de metais em pêlos, cita-se os estudos desenvolvidos por Curi *et al.*¹⁶ que avaliaram a presença dos mesmos metais estudados neste trabalho em animais silvestres do Parque Nacional da Serra do Cipó (Minas Gerais – Brasil), exceção feita ao cádmio.

Os pêlos, com a sua capacidade única de manter a imagem do ambiente impresso durante boa parte do período de vida dos animais, atualmente ganha importância quando comparados com outros tecidos para avaliar as concentrações de metais e o estudo de suas conseqüências no meio ambiente².

Neste sentido, visando conhecer a difusão desses elementos químicos em animais presentes em áreas conservadas, situadas próximas a áreas antropizadas, este trabalho tem como objetivo quantificar os níveis de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb e Cr em animais silvestres do Parque Nacional das Emas avaliando também a utilização de pêlos de animais silvestres para biomonitoramento de metais no meio ambiente.

2 - Material e Métodos

2.1 – Área de Estudo

Este trabalho foi feito no Parque Nacional das Emas (PNE) que possui uma área de 131.800 ha. e situa-se no chamado Planalto Central do Brasil, no extremo sudoeste do estado de Goiás, nos municípios de Mineiros e de Chapadão do Céu, entre as coordenadas 17° 50' a 18° 15' de latitude Sul e 52° 30' a 53° 10' a oeste de Greenwich, já na fronteira com o estado de Mato-Grosso do Sul (Figura 1). Os campos arbustivos formam 70% da vegetação do Parque, sendo que 1,2% é formado por matas. A vegetação nativa do entorno foi ocupada por extensas lavouras de grãos (principalmente

milho e soja) e pela pecuária extensiva. Possui uma rica biodiversidade e abundância de espécies como a onça-pintada, onça-parda, tatu-canastra, queixada, lobo-guará, anta, veado-campeiro, jaguatirica, cachorro-do-mato, ema, dentre outros.

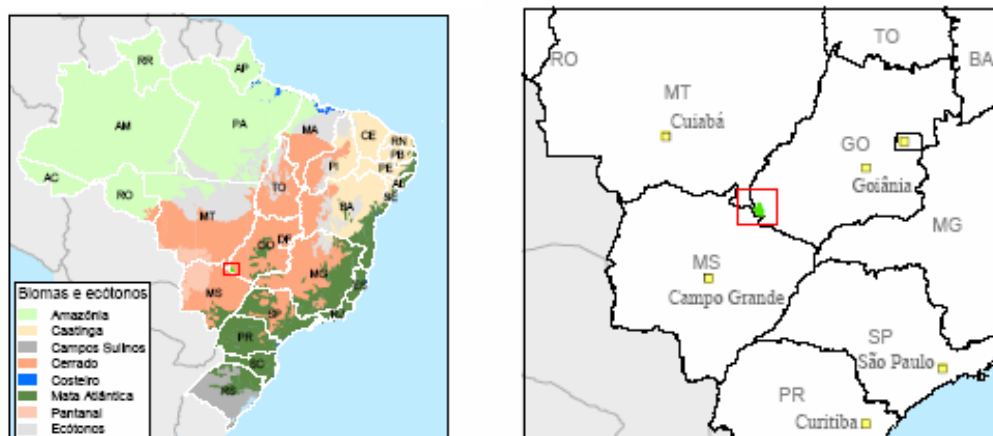


Figura 1. Localização do parque Nacional das Emas.

Durante o período de setembro de 2006 a outubro de 2007 foram coletados amostras de pêlos dos seguintes animais silvestres: Lobo Guará (*Crysocyon brachyurus*) (n=22), Cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*) (n=8) e Jaguatirica (*Leopardus pardalis*) (n=3). Os pêlos foram cortados na base da pele do animal, embalados em sacos de polietileno livre de metais e congelados para posterior análise.

2.2 - Preparação das amostras e análise.

Um dos principais problemas das determinações de metais em pêlos esta na preparação da amostra, principalmente na lavagem. Esta é importante para remoção de poeira, suor, gordura e outros contaminantes em potencial pois, na maioria dos casos, o objetivo é analisar os elementos provindos da absorção endógena⁵.

Para o procedimento de lavagem dos pêlos utilizou-se o método desenvolvido pelo IAEA (International Atomic Energy Agency), que é utilizado pela maioria dos laboratórios para este tipo de monitoramento^{17,18}. Este método consistiu em lavar 0,5 g de pêlos sob agitação, sucessivamente, com acetona PA, três vezes com água destilada/deionizada e novamente com acetona PA. Posteriormente o material foi seco em estufa a 100°C por quatro horas. Os pêlos foram então cortados com tesoura de aço inoxidável e o material colocado em tubos de ensaio numerados para serem submetidos à digestão.

Com 500mg de amostra nos tubos de digestão, adicionou-se 6 mL da mistura de ácido perclórico PA e peróxido de hidrogênio PA na proporção de 2:1 v/v. Em seguida os tubos foram levados ao bloco de digestão, incluindo duas provas em branco, e a temperatura foi gradualmente elevada a partir da temperatura ambiente a até 200°C, em um período de 30 minutos. Após atingir 200°C as amostras foram mantidas nesta temperatura por 120 minutos. Após digestão completa dos pêlos, no qual os extratos encontravam-se totalmente límpidos, procedeu-se à transferência destes para balões volumétricos de 10 mL e completou-se o volume com água destilada/desionizada.

Procedeu-se então a determinação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb e Cr através de espectrometria de absorção atômica (EAA) utilizando equipamento marca Perkin Elmer modelo Analyst 100 utilizando as condições padrão dos elementos e lâmpadas apropriadas. Para aumentar a sensibilidade do aparelho foi utilizado um nebulizador de alta sensibilidade com capilar de platina/irídio (B0505480), com o qual obteve-se uma melhora na sensibilidade de até três vezes. Os padrões utilizados foram preparados por diluição de padrões Titrisol da Merck com concentrações de 1000mg/L. Todas as vidrarias utilizadas neste trabalho foram anteriormente descontaminadas por 24h com solução de ácido nítrico 5% em procedimento repetido por duas vezes.

Os resultados obtidos para as concentrações de metais foram submetidos a análises estatísticas utilizando os programas Bio-Estat versão 3.0 e Statistica versão 5.0.

3 – Resultados e discussão

Os resultados obtidos para as concentrações de metais nos pêlos das três espécies de animais silvestres encontram-se na Tabela 01. Em todas as amostras foram detectadas a presença dos metais analisados, sendo encontrado em maior concentração o ferro e zinco. Para os metais considerados muito tóxicos a baixas concentrações, tais como Cd, Pb e Cr, as concentrações foram mais elevadas para o elemento Pb.

Tabela 1. Concentração dos metais (mg/Kg) nas três espécies de animais silvestres.

<i>Crysocyon brachyurus</i> (Lobo-Guará) (n=22)							
Metal	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
Média	6,93	120,28	5,04	113,11	0,24	1,19	1,04
Desvio Padrão	0,88	44,93	5,70	14,81	0,14	0,62	1,10
Valor Máximo	8,75	262,13	22,00	151,30	0,66	2,67	4,33
Valor Mínimo	5,36	60,00	1,11	85,60	0,08	0,00	0,00

<i>Cerdocyon thous</i> (Cachorro-do-mato) (n=8)							
Metal	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
Média	9,48	200,65	4,62	135,84	0,38	1,06	2,29
Desvio Padrão	2,68	151,37	5,25	29,56	0,18	0,56	0,93
Valor Máximo	12,85	478,50	16,40	204,26	0,64	2,00	3,63
Valor Mínimo	5,37	40,30	1,00	105,00	0,13	0,27	0,85

<i>Leopardus pardalis</i> (Jaguaririca) (n=3)							
Metal	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
Média	6,27	194,23	8,27	135,64	0,40	1,32	1,42
Desvio Padrão	0,65	94,99	2,94	6,69	0,22	0,65	1,11
Valor Máximo	6,82	302,31	10,70	142,80	0,56	2,07	2,45
Valor Mínimo	5,56	123,99	5,00	129,56	0,15	0,90	0,25

A Tabela 2 mostra a matriz de correlação obtida considerando todos os dados encontrados para metais em pêlos de animais silvestres (n=33).

Tabela 2. Matriz de correlação dos resultados de concentração de metais em pêlos de animais silvestres (n=33)*.

Metal	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
Cu	1,000	---	---	---	---	---	---
Fe	0,320	1,000	---	---	---	---	---
Mn	0,051	0,340	1,000	---	---	---	---
Zn	0,599	0,449	0,249	1,000	---	---	---
Cd	0,278	0,160	0,285	0,435	1,000	---	---
Cr	-0,095	0,093	0,220	0,134	0,303	1,000	---
Pb	0,315	-0,096	-0,120	0,195	0,718	-0,075	1,000

Os resultados em negrito representam aqueles com $p \leq 0,05$

Pode-se observar correlação positiva forte entre o Cu e Zn ($r = 0,599$), e Cd e Pb ($r = 0,718$). Correlações médias foram obtidas entre Fe e Zn ($r = 0,449$) e Zn e Cd ($r = 0,435$). Estes resultados sugerem que os metais fortemente correlacionados são provavelmente advindos de mesma fonte, o que já era esperado para Cu e Zn, e Cd e Pb, onde estes dois últimos tem como fonte, ações antropogênicas. O PNE (Parque Nacional das Emas) está no interior de uma área de grande produção agrícola, com aproximadamente 100 mil hectares de área cultivada, onde há uso intensivo de fertilizantes e defensivos agrícolas. Alguns trabalhos demonstram a existência de metais-traço tais como Pb, Cd e Ni, de elevado potencial de toxicidade principalmente em fertilizantes fosfatados e micronutrientes como Cu, Fe, Mn e Zn^{19,20}.

Para avaliar a distribuição dos dados de metais nas três espécies de animais silvestres em estudo, utilizou-se a análise gráfica Box-Plot. Esta análise consiste em montar gráficos em formas de caixas onde é representada a mediana, o primeiro e terceiro quartis dos dados. Conjuntamente, exhibe também o maior e menor valor observado nos resultados através de linhas retas verticais que se originam no primeiro e terceiro quartis, respectivamente. A largura do Box pode ser usada assim como o desvio

padrão, para se avaliar a dispersão dos dados². Os gráficos Box-Plot para os metais analisados e respectivas espécies de animais silvestres se encontram na Figura 3.

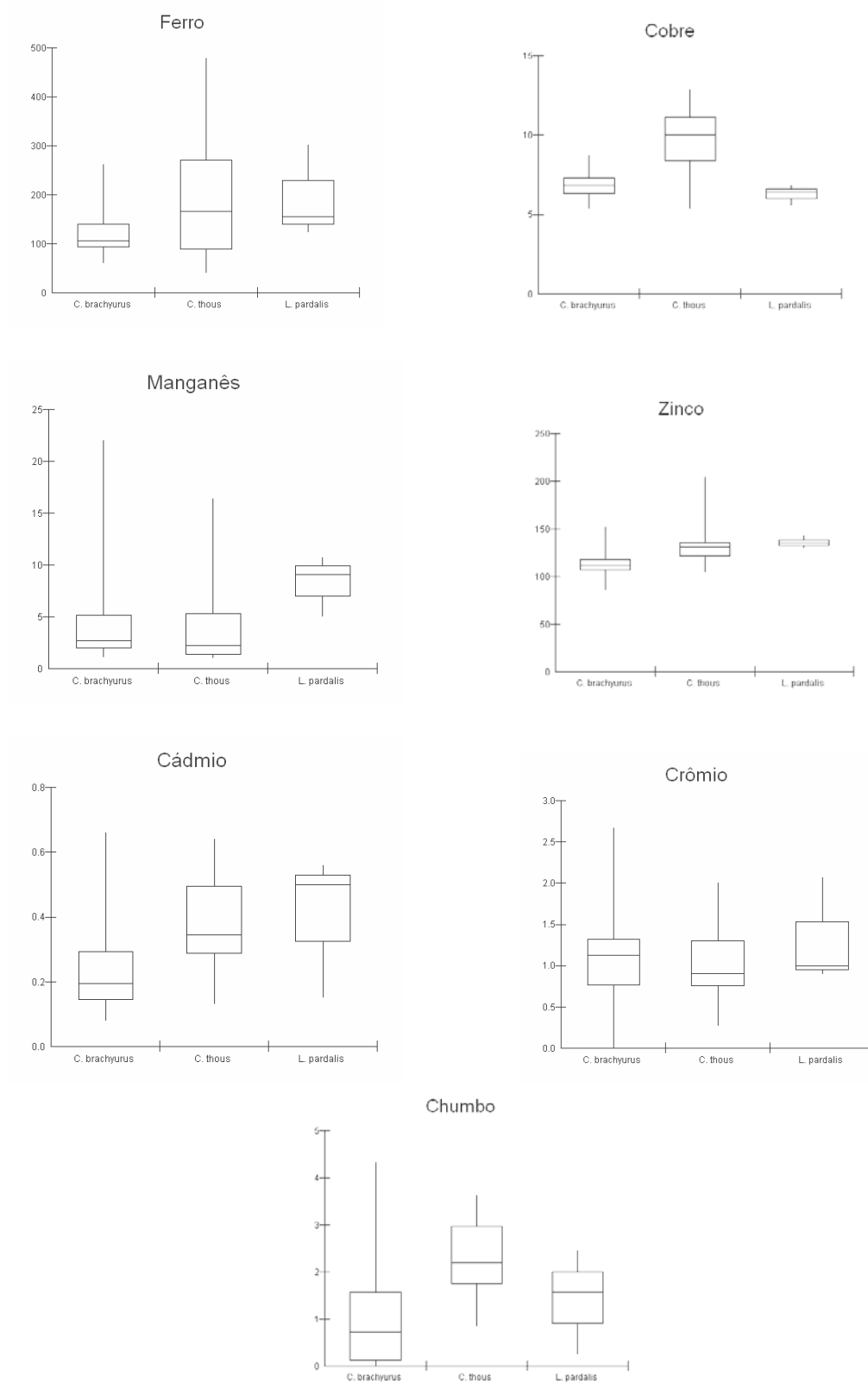


Figura 3. Gráficos Box-Plot para os metais analisados nos animais silvestres.

Valores mais elevados e com maior dispersão de ferro foram obtidos nos pêlos do cachorro-do-mato (*C. thous*). Também observou-se maior variação nos dados para a jaguatirica (*L. pardalis*) e menor para o lobo-guará (*C. brachyurus*). A explicação para a menor dispersão dos dados está no maior número de amostras que foram coletadas para o Lobo-Guará em relação as demais espécies. O ferro é um metal muito comum na região de coleta devido a característica do solo da região que é eutroférico. Assim o teor deste metal encontrado nos animais é advindo provavelmente da sua dieta.

O gráfico para o cobre mostra pouca variação para os pêlos de lobo-guará e jaguatirica. Os resultados, no entanto, foram maiores para o cachorro-do-mato, com maior dispersão dos dados. Os dados não se mostram muito diferentes para as três espécies, e devido a este metal fazer parte da composição dos tecidos dos seres vivos, não são caracterizados como de elevada preocupação ambiental.

Os valores para os teores de manganês e zinco foram mais altos para a jaguatirica. No entanto, para o manganês, os valores foram cerca de quatro vezes menores que os encontrados em cabras, ovelhas e camelos em regiões poluídas do Egito². Como estes são metais essenciais na dieta dos animais, também não se mostram com concentrações alarmantes.

O gráfico que representa os resultados obtidos para o cádmio mostra valores mais elevados de concentração deste metal para o cachorro-do-mato e jaguatirica. Entretanto, os valores encontrados são cerca de doze vezes menores que os encontrados em animais que se encontram em regiões poluídas do Egito². A correlação existente entre o cádmio e zinco pode sugerir que o cádmio encontrado é advindo da utilização de fertilizantes na agricultura.

Os resultados para o crômio foram muito parecidos nas três espécies pesquisadas. O gráfico correspondente ao metal mostra resultados discretamente mais

altos para a jaguatirica, sem, no entanto, se mostrarem muito elevados, já que correspondem a metade dos encontrados em outros canídeos no Parque Nacional da Serra do Cipó - MG¹⁶. Pode-se sugerir que o crômio encontrado seja oriundo da composição de fertilizantes, corretivos, herbicidas, fungicidas ou ainda de natureza geológica.

A maior média obtida para a concentração de chumbo foi para o cachorro-domato (2,29 mg/Kg). No entanto a maior dispersão deste metal nos dados foi encontrada para o lobo-guará, conforme pode ser observado no gráfico correspondente da Figura 3. A forte correlação entre cádmio e chumbo observada na Tabela 2 sugere que estes metais tem a mesma fonte de emissão. Os resultados encontrados foram cerca de três a quatro vezes menores do que aqueles obtidos em cabras, ovelhas e camelos no Egito na região poluída de Kalabsha².

A Tabela 3 mostra os dados obtidos em comparação com resultados de outros trabalhos científicos.

Os resultados obtidos na Tabela 3 mostram níveis baixos de metais encontrados nos pêlos dos animais silvestres do Parque Nacional das Emas, em comparação com os demais estudos, principalmente para o ferro e manganês, que são metais que fazem parte da composição dos tecidos dos seres vivos. As concentrações de cádmio foram próximas as encontradas em cabras, ovelhas e camelos em Allagi, uma região com baixo nível de poluição atmosférica no Egito². No entanto quando comparados com a região de Halaiub, Egito, os resultados encontrados para o Cd foram em torno de doze vezes menores.

Tabela 3. Comparação entre as concentrações de metais obtidos em pêlos de animais neste e em outros trabalhos científicos.

Espécie	Local	Concentração (mg/Kg)							Referência
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb	
Lobo Guará	PNE - Brasil	6.93	120.28	5.04	113.11	0.24	1.19	1.04	Este estudo
Lobo Guará	PNSC - Brasil	7,56	220,78	12,58	127,36	-	2,89	2,34	16 *
Cachorro-do-mato	PNE - Brasil	9.48	200.65	4.62	135.84	0.38	1.06	2.29	Este estudo
Cachorro-do-mato	PNSC - Brasil	10,24	783,36	18,79	130,61	-	2,95	2,45	16 *
Raposinha-do-campo	PNSC - Brasil	9,55	1995,00	60,75	121,40	-	3,55	1,50	16 *
Jaguatirica	PNE - Brasil	6.27	194.23	8.27	135.64	0.40	1.32	1.42	Este estudo
Cabras	Allaqi - Egito	-	342.00	23.00	-	0.29	-	0.17	2
Cabras	Halaiub - Egito	-	879.00	35.00	-	3.25	-	0.97	2
Ovelhas	Allaqi - Egito	-	708.00	36.00	-	0.25	-	0.21	2
Ovelhas	Halaiub - Egito	-	996.00	55.00	-	2.16	-	1.43	2
Camelos	Allaqi - Egito	-	219.00	25.00	-	0.25	-	0.51	2
Camelos	Halaiub - Egito	-	681.00	41.00	-	2.99	-	4.32	2

* Trabalho em fase de publicação.

PNE – Parque Nacional das Emas.

PNSC – Parque Nacional da Serra do Cipó (Minas Gerais – Brasil)

Para o chumbo, pode-se observar resultados muito próximos daqueles obtidos para os animais capturados no Parque Nacional da Serra do Cipó no estado de Minas Gerais (Brasil PNSC). Para o lobo-guará, os resultados obtidos foram 1,5 vezes menores. Isto pode ser explicado em parte, devido ao maior tráfego automotivo nas regiões próximas ao PNSC. No entanto os resultados foram maiores do que aqueles encontrados em região pouco poluída do Egito (Allagi) onde os resultados médios foram entre cinco e dez vezes menores. Os resultados obtidos para o cromo total, outro metal tóxico em baixas concentrações, corresponderam a metade dos encontrados na região do PNSC em Minas Gerais.

4 – Conclusão

Os resultados obtidos mostraram correlações entre os metais menos tóxicos como o Cu e Zn, Fe e Zn e também com aqueles mais tóxicos em pequenas concentrações tais como Cd e Pb. A principal fonte do elemento ferro sugerida é a geológica devido a características dos solos eutroféricos da região. Além disso, como possíveis fontes dos metais mais tóxicos como Cd, Pb e Cr cita-se a aplicação na agricultura de fertilizantes e defensivos, em sua maioria tendo estes metais como componentes ou resíduos. A análise de agrupamento hierárquico mostrou que alguns metais possivelmente são oriundos de mesmas fontes, tais como o Cu e Mn, Fe e Zn, e Cr, Cd e Pb.

Sugere-se que para monitoramento ambiental através de análises de pêlos de animais silvestre, sejam determinados aqueles que demonstram possuir correlação entre si e diferenças nos resultados, tais como Zn, Pb, Cd e Cr e que provavelmente são advindos de ação antrópica.

Desta maneira, a determinação de metais em pêlos de animais demonstra inclusive ser útil para comparar os níveis de impacto ambiental sobre os seres vivos de diferentes regiões.

5 – Agradecimentos

Este estudo foi possível graças a pesquisadores do Fundo para a Conservação da Onça-Pintada que colheram o material biológico para análise e, ao Zoológico de Memphis – TN (USA) e Earthwatch Institute (USA), pelo apoio financeiro que permitiu a realização das atividades de campo desta pesquisa.

6 – Referências Bibliográficas

1. Sobanska, M. A. *Sci. Total Environ.* 2005, 339.
2. Rashed, M. N.; Soltam, M. E. *Env. Monit. Ass.* **2005**, 110.
3. Kalas, J. A.; Steinnes, E.; Lierhagen, S. *Environ. Pollut.* **2000**, 107.
4. EPA: 2001, Biological monitoring of trace metals, EPA-600/3-80-089, Environmental Protection Agency, www.cwnet.com/. Acessada em Janeiro de 2008.
5. Pozebon, D.; Dressler, V. L.; Curtius, A. J. *Quim. Nova.* **1999**, 22, 6.
6. Ashurbekov, T. R. *Sud. Med. Ekspert.* **1989**, 32, 2.
7. Ray, S. K., Roychoudhury, R., Bandopadhyayi, S. K. Basu, S. *Vert. Res. Commun.* **1997** 21, 8.
8. Bencze K. *Fresenius' J Anal Chem.* **1990**, 337.
9. Chyla, M.A. Master of Science Thesis, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University, Budapest; 1998.
10. Chyla M., Trzepierzyn'Ska I, Chyla A. 5th International Symposium of Environmental Contamination. Prague, 2000.
11. Furness Rw, 1993. In: Furness RW, Greenwood JJD, editors. Birds as Monitors of Environmental Change. Chapman & Hall, London,1993.
12. KARZ S. A. Hair Analysis - Application in the Biomedical and Environmental Sciences. 7 VCH Publisher, London, 1998.
13. Leotsinides, M, Kondakis, X. *Sci Total Environ.* **1990**, 95.

14. Medvedev, N. *Environ. Monitor. Assess.* **1999**, 56, 2.
 15. Cibulka, J.; Mihalava, D.; Pisa, J.; Sova, Z.; Mader, P.; Jandurová, S.; Szakova, J.; Pytloun, J. *Sci Total Environ.* **1989**, 84, 10.
 16. Curi, N. H. A.; Brait, C. H. H.; Antoniosi Filho, N. R.; Talamoni, S. A. *Environ. Monit. Assess.* **2008**, submetido.
 17. Chatt, A.; Katz, S. A. *Hair Analysis, applications in the biomedical and environmental sciences.* VCH Publishers, New York, 1998.
 18. Robbins, C. R. *Chemical and physical behavior of human hair.* 3nd ed. Springer-Verlag. New York, 1994.
 19. Campos, M. L.; Silva, F. N.; Furtini Neto, A. E., Guilherme, L. R. G.; Marques, J. J.; Antunes, A. S. *Pesq. Agrop. Brás.* **2005**, 40, 4.
 20. Amaral Sobrinho, N. M. B.; Costa, L.M.; Oliveira, C.; Velloso, A. C. X.. *R. Bras. Ci. Solo.* **1992**, 16.
- Burger J.; Marquez, M.; Goechfeld, M. *Arch Environ. Contam. Toxicol.* **1994**; 27 2.

CAPITULO 3

Utilização de penas de Pombos (*Columba livia*) para quantificação de metais e monitoramento do meio ambiente

Brait, Carlos Henrique & Antoniosi Filho, Nelson Roberto

Programa de Doutorado em Ciências Ambientais - Universidade Federal de Goiás –
Campus II, Samambaia, Bloco ICB IV, Goiânia, Goiás, Brasil.

nelson@quimica.ufg.br

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido visando quantificar e comparar metais em penas de pombos (*Columba Livia*) lavadas e não lavadas, em duas regiões distintas: cidade de Goiânia (capital de Goiás) e Jataí (interior de Goiás). Os dados obtidos mostraram que os metais Pb, Cr e Cd encontrados nas penas são oriundos da suspensão destes no ar ou solo, enquanto Cu, Fe, Mn e Zn, que fazem parte da constituição dos tecidos dos seres vivos, mostraram-se absorvidos via dieta dos animais. Conclui-se ser possível quantificar e monitorar os níveis de metais no meio ambiente através das penas dos pombos urbanos.

Palavras Chave: *Columba Livia*, Metais, Meio ambiente

Use of feathers of Feral Pigeons (*Columba livia*) for quantification of metals and monitoring of the environment

ABSTRACT

The present work was developed to quantify metals in washed and unwashed feathers of feral pigeons (*Columba livia*). The material was collected in two different sites: Goiânia (capital of Goiás) and Jataí (town of Goiás). The data showed that metals such as Pb, Cr and Cd found in the feathers are originated from the suspension in air and soil, while Cu, Fe, Mn and Zn part of the constitution of the tissue, were absorbed by the animal diet. The present study shows that is possible to quantify and to monitor of the level metals in the environment through the analysis of urban feral pigeons feathers.

Key Words: *Columba livia*, Metals, Environment

1 - Introdução

Altas quantidades de poluentes têm sido introduzidas no meio ambiente em consequência principalmente da urbanização e processos industriais¹. Dentre estes poluentes, podem ser citados os pesticidas em geral e os metais-traço como Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr e Hg, sendo os últimos quatro muito tóxicos para o meio ambiente em baixas concentrações.

O termo “metais pesados”, mesmo sendo comumente usado para classificar estes metais, não é muito bem definido, podendo-se utilizar como sinônimos, “metais traço”, “elementos traço”, “micronutrientes”, “microelementos”. Alguns pesquisadores designam metal pesado o grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5 g/cm³^{2,3,4}. Alguns destes metais são considerados como micro-nutrientes essenciais à vida animal (Cu, Fe, Mn, Zn). As fontes mais comuns de metais traço no ambiente são fertilizantes, pesticidas, combustão do carvão e óleo, emissões veiculares, mineração, fundição, refinamento e incineração de resíduos urbanos e industriais^{4,5}.

A análise de poluentes ambientais em organismos vivos tem tido resultados mais promissores para avaliação dos níveis de poluição do que a análise em ambientes abióticos, pois dos organismos vivos provêm informações precisas sobre biodisponibilidade bem como o aumento de bio-transferência dos poluentes¹.

Avaliar a qualidade do ecossistema adequadamente por meio do biomonitoramento requer a seleção de espécies indicadoras que são representativas para o ecossistema considerado⁶. Dentro das espécies que podem ser utilizadas como bioindicadores, pode-se citar as aves e mamíferos terrestres⁷, anfíbios⁸, peixes, aves e mamíferos marinhos⁹. Os pássaros são expostos aos metais através do ar, da água, e do alimento. Uma vez que um metal incorporou-se ao corpo, pode ser armazenado ou

acumulado, ou ainda excretado¹⁰. Os pássaros podem eliminar metais de seu corpo através do excremento ou depositando-os na glândula uropigial, na glândula de sal¹⁰, e nas penas¹⁰. Fêmeas podem ainda excretar metais através dos ovos^{6,11}.

Vários estudos têm demonstrado interesse pela utilização de pássaros para monitoramento do histórico geográfico de poluição ambiental por metais, principalmente aqueles que vivem nas cidades como os pombos (*Columba livia*) e pardais (*Passer domesticus*)^{1,12}.

Os pombos (*Columba livia*), são animais que vivem nas cidades, em praças e locais que contenham alimento em abundância. São considerados bioindicadores muito interessantes devido a algumas características biológicas e ecológicas tais como: mobilidade limitada durante todo o ano, elevada taxa metabólica e inalação maior do que o homem, e ingestão de grãos e alimento expostos à deposição de partículas no meio ambiente¹³.

Para a avaliação dos níveis de metais nas aves, podem ser utilizados o sangue e tecidos como cérebro, pulmão, fígado, estômago, músculos, ossos e ainda ovos e penas^{1,10,13,14,15}.

As penas são usadas para biomonitoramento de metais desde os anos 60¹⁶, pelo fato de não haver sacrifício dos pássaros e de permitir quantificar adequadamente os elementos. Estudos foram desenvolvidos com a utilização de penas sem serem lavadas¹² e penas lavadas^{1,10,14}, sendo que o primeiro caso reflete além dos níveis de metais absorvidos nos tecidos, também o depositado via partículas do meio ambiente.

Estudos envolvendo pássaros “mandarim diamante” (*Taeniopygia guttata*) mostraram um aumento substancial de teores de chumbo nas penas das aves submetidas à ingestão de 25 mg/Kg de chumbo via água, tendo sido encontrados 3,6 mg/kg de Pb nas penas das aves controle e 28 mg/Kg nas aves expostas ao Pb¹⁵.

As penas não lavadas refletem adequadamente o nível de metais principalmente quando se altera o ponto de coleta entre regiões rurais, urbanas e industriais, pois o material particulado do ar se deposita nas penas das aves durante o vôo¹². Já as penas lavadas refletem o nível de metais absorvido pelas aves principalmente através da respiração e alimentação, sendo positivamente correlacionadas com níveis encontrados em outros tecidos como fígado e músculos¹⁵. Para a maioria dos metais, a relação de concentração no fígado/pena de 1:2,4 pode ser considerada como nível usual em várias espécies¹⁶.

Em muitos estudos, onde fez-se a avaliação da acumulação de metais em pombos entre áreas distintas, observou-se haver correlação da bioacumulação com a concentração atmosférica do metal, a densidade do tráfego, a idade da ave, o tipo de alimento consumido pela ave, e local do habitat dos pombos¹². Assim, o efeito dos metais-traço no ambiente principalmente sobre a fauna e flora tem sido estudado no mundo inteiro, com resultados preocupantes para o ecossistema.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo utilizar penas de pombos (*Columba livia*) para quantificar os metais no meio ambiente e comparar a utilização de penas lavadas e não lavadas como forma de monitoramento da poluição ambiental.

2 - Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

As amostras de penas plenamente desenvolvidas de pombos adultos (*Columba livia*) foram obtidas na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, com população na região metropolitana de 1,1 milhão de habitantes e estimado tráfego de 300 mil veículos por dia, e na cidade de Jataí, no interior goiano, situada na região sudoeste do estado

com população de aproximadamente 80 mil habitantes e economia basicamente agrícola e pecuária.

As amostras de penas de 82 pombos (*Columba livia*) foram coletadas no período de setembro a novembro de 2006 (sob licença da Agência Ambiental do Estado de Goiás) sendo 20 pombos na localização da Praça Cívica (S 16° 39' 40,1"; W 49° 15' 27,0") e 23 no Parque Zoológico (S 16° 40' 59,0"; W 49° 16' 21,9") em Goiânia. No centro da cidade de Jataí fez-se a coleta de 39 pombos (S 17° 53' 31,5"; W 51° 43' 08,8").

2.2. Coleta das amostras e preparação

Devido a heterogeneidade dos níveis de metais nas penas em várias partes do animal¹⁷ foram coletadas 10 penas de cada ave, sendo três em cada extremo das asas e quatro na cauda. As amostras foram armazenadas em embalagens plásticas livres de metais e acondicionadas em freezer até o procedimento das análises.

Posteriormente retirou-se as amostras do freezer e estas foram acondicionadas entre folhas de papel de filtro quantitativo (18 cm x 9 cm) as quais tiveram as bordas seladas. As amostras foram secas a 60°C em estufa com circulação forçada de ar por 24h. As penas foram então cortadas e acondicionadas em frascos de polietileno. As amostras foram divididas em duas partes onde uma foi lavada com água destilada/deionizada, acetona P.A. e novamente água destilada/deionizada e a outra foi preparada para análise sem lavagem. As amostras após lavagem foram levadas novamente para a estufa com circulação forçada de ar a 60°C por 24h e acondicionadas em frascos de polietileno livre de metais.

2.3. Procedimento analítico

Pesou-se 200 mg de amostra em tubos de digestão e adicionou-se 6ml da mistura de ácido perclórico PA e peróxido de hidrogênio PA na proporção de 2:1 v/v. Em seguida os tubos foram levados ao bloco de digestão, incluindo duas provas em branco, e a temperatura foi gradualmente elevada a partir da temperatura ambiente a até 200°C, em um período de 30 minutos. Após atingir 200°C as amostras foram mantidas nesta temperatura por 120 minutos. Após digestão completa das penas, no qual os extratos ficaram totalmente límpidos, procedeu-se a transferência destes para balões volumétricos de 10 ml e completou-se o volume com água destilada/deionizada.

Procedeu-se então a determinação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb e Cr por espectrometria de absorção atômica (EAA) utilizando equipamento marca Perkin Elmer modelo Analyst 100 e as condições padrão dos elementos e lâmpadas apropriadas. Para aumentar a sensibilidade da técnica foi utilizado um nebulizador de alta sensibilidade com capilar de platina/irídio (B0505480), com o qual obteve-se uma melhora na sensibilidade de até três vezes.

Todas as vidrarias utilizadas neste trabalho foram anteriormente descontaminadas por 24h com solução de ácido nítrico 5%.

2.4. Análise Estatística

As análises estatísticas foram feitas utilizando-se o software SISVAR. As diferenças foram consideradas significantes quando $P \leq 0,05$. Para comparação do teor dos metais nas três localidades de coleta, com e sem lavagem das penas, foi utilizado a ANOVA fatorial 3X2, onde o primeiro fator são os locais de coleta e o segundo fator a técnica da lavagem ou não das penas.

3 – Resultados e discussão

Os resultados obtidos nas determinações dos metais nas penas, em peso seco, encontram-se na Tabela 1. Nas Tabelas 2 e 3, encontram-se as comparações das concentrações de metais entre as regiões amostradas, respectivamente para penas lavadas e não lavadas. A Tabela 4 mostra a análise estatística comparativa entre as concentrações de metais em penas lavadas e não lavadas em um mesmo local de amostragem. Em seguida foram discutidos dos resultados obtidos para cada metal.

Tabela 1. Concentrações médias, desvio padrão da amostragem (DP) e valores máximos e mínimos das concentrações dos metais obtidas nas amostras nas diferentes localidades e com diferentes tratamentos.

Região de coleta	Concentração (mg/Kg)						
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr
<i>P. Cívica (n=19; penas não lavadas)</i>							
Média	9,03	510,53	4,45	127,11	0,63	7,95	2,24
DP	1,49	178,70	2,11	32,32	0,23	10,18	0,81
MAX	13,50	957,50	9,50	177,00	1,00	37,00	4,50
MIN	7,00	182,50	1,00	60,00	0,50	0,50	0,50
<i>P. Cívica (n=19; penas lavadas)</i>							
Média	8,87	320,03	2,84	90,21	0,20	5,02	1,48
DP	1,27	162,47	1,43	28,72	0,14	6,01	0,83
MAX	13,00	763,00	7,00	149,00	0,40	22,70	3,65
MIN	7,00	130,00	1,00	39,50	0,00	0,00	0,40
<i>Zôo (n=24; penas não lavadas)</i>							
Média	8,21	282,83	16,98	136,50	0,38	3,19	0,75
DP	2,10	170,41	17,86	37,63	0,22	3,63	0,63
MAX	13,50	728,50	67,50	192,50	0,60	16,50	2,00
MIN	5,50	74,00	3,50	77,50	0,00	0,00	0,00
<i>Zôo (n=24; penas lavadas)</i>							
Média	8,89	195,66	9,05	125,12	0,04	2,04	0,84
DP	1,56	82,67	6,21	30,72	0,08	3,30	1,12
MAX	13,80	395,00	26,30	188,80	0,25	13,70	4,88
MIN	7,50	68,10	2,50	67,50	0,00	0,00	0,19
<i>Jataí (n=39; penas não lavadas)</i>							
Média	8,22	237,68	5,12	139,18	0,05	0,55	0,22
DP	4,03	104,89	2,39	32,55	0,06	0,94	0,37
MAX	29,00	583,00	11,50	202,00	0,20	3,20	1,70
MIN	4,50	97,00	1,50	81,00	0,00	0,00	0,00
<i>Jataí (n=39; penas lavadas)</i>							
Média	8,06	234,91	4,27	137,36	0,08	0,58	0,28
DP	1,92	106,00	2,76	35,41	0,07	0,85	0,45
MAX	13,00	589,00	15,50	204,50	0,20	2,85	2,05
MIN	5,00	84,50	1,00	76,50	0,00	0,00	0,00

Tabela 2. Comparação dos teores médios de metais das penas lavadas nos três locais de coleta utilizando ANOVA. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.

Local	Concentrações médias (mg/Kg) - penas lavadas						
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr
Praça Cívica	8,87 b	320,02 b	2,84 a	90,21 a	0,20 b	5,02 b	1,48 b
Zoológico	8,89 b	195,66 a	9,04 b	125,12 b	0,04 a	2,04 b	0,84 a
Jataí	8,06 a	234,91 b	4,27 ab	137,36 b	0,08 a	0,58 a	0,28 a

Tabela 3. Comparação dos teores médios de metais das penas não lavadas nos três locais de coleta utilizando ANOVA. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.

Local	Concentrações médias (mg/Kg) - penas não lavadas						
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr
Praça Cívica	9,03 a	510,53 b	4,44 a	127,11 a	0,63 c	7,95 b	2,24 c
Zoológico	8,21 a	282,83 a	16,98 b	136,50 a	0,38 b	3,19 a	0,75 b
Jataí	8,22 a	237,68 a	5,12 a	139,18 a	0,05 a	0,55 a	0,22 a

Tabela 4. Comparação para os locais de coleta dos teores médios dos metais com e sem lavagem das penas. Médias seguidas de mesma letra nas linhas para o mesmo local de coleta, não diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tuckey. Todos os resultados estão em base seca.

Metal	Concentrações médias (mg/Kg)					
	Praça Cívica		Zoológico		Jataí	
	Lavadas	Não Lavadas	Lavadas	Não Lavadas	Lavadas	Não Lavadas
Cu	8,87 a	9,03 a	8,89 a	8,21 a	8,06 a	8,22 a
Fe	320,03 a	510,53 b	195,66 a	282,83 b	234,91 a	237,68 a
Mn	2,84 a	4,45 a	9,05 a	16,98 b	4,27 a	5,11 a
Zn	90,21 a	127,11 b	125,12 a	136,50 a	137,37 a	139,18 a
Cd	0,20 a	0,63 b	0,04 a	0,38 b	0,08 a	0,05 a
Pb	5,02 a	7,95 b	2,04 a	3,19 b	0,58 a	0,55 a
Cr	1,48 a	2,24 b	0,84 a	0,75 a	0,28 a	0,22 a

3.1. Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal altamente tóxico e que se encontra em baixas concentrações em um ambiente não poluído. Suas principais fontes são: resíduos de mineração de carvão, feculárias, vinícolas, olarias, suinocultura, indústrias alimentícias, fábricas e reformadoras de baterias. Conforme observado na Tabela 1, os maiores e menores teores de chumbo encontrados foram, respectivamente, para a região da Praça Cívica, no centro da cidade de Goiânia, e Jataí, cidade do interior de Goiás. Isto pode ser explicado principalmente devido a emissão de poluentes no ar que ocorre em grandes cidades em função da queima de combustíveis fósseis e de atividades industriais. Observando a Tabela 2, verifica-se que não houve diferença estatística significativa, conforme ANOVA, entre a média de concentração de chumbo encontrada na Praça Cívica e no Zoológico para a análise em penas lavadas, com teores médios respectivamente de 5,02 e 2,04 mg/Kg. Já quando não ocorreu a lavagem do material (Tabela 3) observa-se uma maior concentração de chumbo na Praça Cívica com teor médio respectivamente de 7,95 mg/Kg. A ANOVA não mostrou diferenças significativas entre os níveis médios deste metal no Zoológico e na cidade de Jataí, o que pode ser explicado considerando uma menor quantidade deste metal nas PTS (Partículas Totais em Suspensão) em ambos locais. Os teores médios de chumbo obtidos na cidade de Goiânia tiveram diferenças significativas quando as penas foram lavadas ou não lavadas. Isto confirma a deposição do metal via PTS¹², o que não ocorreu na cidade de Jataí, onde a diferença entre a média do metal nas penas lavadas e não lavadas não foram significativas.

Pesquisando a qualidade do ar no Rio Grande do Sul, Carvalho *et. al.*¹⁸, encontraram níveis médio de chumbo no ar de 0,088 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ compatíveis com os obtidos por Nam *et. al.*¹² em regiões não poluídas da Coreia. Estes pesquisadores trabalhando

com penas de pombos não lavadas em áreas, rural, urbana e industrial da Coréia do Sul, obtiveram teores médios de chumbo, respectivamente, de 2,55; 4,99 e 9,01 (mg/Kg em peso fresco), mostrando também correlação positiva entre os teores encontrados nas penas e no fígado das aves em regiões com baixa concentração de chumbo no ar. Entretanto, não encontraram diferenças significativas nos teores de chumbo no fígado destes animais nas diversas áreas pesquisadas, o que mostra que não há excessivo acúmulo de chumbo nos tecidos internos, mesmo em áreas com elevada concentração do metal no ar, mostrando então que as penas sem serem lavadas demonstram mais fielmente o nível de concentração de chumbo no ambiente. Analisando chumbo nas penas lavadas da ave “Rola do Senegal” (*Streptopelia senegalensis*), na Arábia Saudita, foram encontrados teores médios na capital Riad de $18,03 \pm 1,07$ mg/Kg (peso seco), levando os pesquisadores a estudar possíveis fontes de contaminação nesta cidade¹⁴.

Estes resultados mostram que os maiores teores médios de chumbo encontrados nas penas não lavadas da cidade de Goiânia, não caracterizam um nível de concentração alarmante, mas sim mostram a forma de suspensão deste metal e abre uma grande possibilidade de monitoramento de teores de chumbo no meio ambiente via análise de penas de pombos.

3.2. Cádmio

O cádmio (Cd) é um metal encontrado geralmente em concentrações muito baixas no meio ambiente. Observando-se a Tabela 3, verificou-se que os maiores níveis médios nas penas não lavadas foram obtidos nos locais da cidade de Goiânia, provavelmente devido a maior quantidade deste metal no ambiente. Na Praça Cívica, este nível médio foi de 0,631 mg/Kg, praticamente o dobro do encontrado no Zoológico e doze vezes maior do que o nível médio encontrado no interior do estado, na cidade de

Jataí. Considerando as penas lavadas (Tabela 2) verificou-se que não houve diferença significativa nos teores de cádmio no zoológico e cidade de Jataí, mas os níveis médios do metal na Praça Cívica continuaram muito altos. A Tabela 4 mostra que houve diferença significativa nas concentrações de cádmio para penas lavadas e não lavadas apenas nos locais da cidade de Goiânia, o que explica a deposição deste metal nas penas via PTS. O fato de não ter sido encontrado diferença significativa nos teores médios de cádmio para penas lavadas e não lavadas em Jataí, demonstra a qualidade do ar superior na cidade interiorana, em termos deste metal, quando comparado com a cidade de Goiânia.

Pesquisas conduzidas na Coréia do Sul mostraram níveis médios de cádmio nos rins de pombos em duas áreas urbanas de 1,05 e 1,27 mg/Kg em base fresca contra 0,06 mg/Kg em área rural, demonstrando que os pombos das regiões urbanas estavam significativamente mais contaminados do que das regiões rurais¹³. Estudos desenvolvidos na Noruega, mostraram que algumas espécies de pássaros tiveram maior presença de cádmio nos tecidos do que sobre as penas, o que indica que, neste caso, este metal foi absorvido principalmente pela dieta¹³. Estes resultados vêm confirmar aqueles obtidos na cidade de Jataí, onde não houve diferença significativa entre os teores de cádmio obtidos para as penas lavadas e não lavadas, mas diferem das regiões onde foram encontrados maiores níveis de cádmio devido à alta urbanização, onde a diferença significativa encontrada entre os níveis lavados e não lavados das duas regiões da cidade de Goiânia mostram a provável entrada deste metal via contaminação atmosférica.

3.3. Crômio

O crômio (Cr) é um metal altamente tóxico na sua forma hexavalente. Também é um elemento traço que compõe a formação básica dos tecidos dos seres vivos e desta forma se encontra em baixas concentrações. Grande parte do crômio nos tecidos dos animais provêm de atividades antrópicas, tais como produção de aço inoxidável¹⁹.

Os resultados obtidos nas Tabelas 2 e 3 mostram teores baixos deste metal nas penas, com níveis maiores para a região da Praça Cívica, na cidade de Goiânia. Nota-se na Tabela 4, um aumento dos teores de crômio gradual na ordem Jataí < Zoológico < Praça Cívica, o que pode ser explicado pelo acúmulo de PTS nas penas das aves nas regiões mais urbanizadas. Somente houve diferença significativa entre penas lavadas e não lavadas para a Praça Cívica, onde os níveis encontrados foram maiores. Isto mostra que em regiões mais protegidas ou menos urbanizadas, este metal encontrado provém da dieta dos animais.

Os resultados obtidos neste estudo para a região da Praça Cívica em Goiânia são similares aos obtidos no Paquistão com penas de falcões (1,98 mg/Kg em massa seca)¹⁹, maiores do que os obtidos por Connell, *et. al.*²⁰ em Garça-Branca-Européia em Hong Kong (0,9 mg/Kg de massa seca) e em Pombos Selvagens na Carolina do Sul (0,63 mg/Kg)²¹. Estudos conduzidos com gaviões-da-Europa (*Accipiter nisus*), na Bélgica, com análise de várias penas diferentes da asa e cauda mostraram concentrações médias de Cr variando de 1,42 a 3,56 mg/Kg¹⁷.

Estes resultados mostram o potencial de monitoramento dos níveis de crômio no ambiente através da análise das penas dos pombos.

3.4. Cobre

Conforme a Tabela 2 e 3, para penas não lavadas, não houve diferença significativa nos teores de cobre (Cu) nos locais da cidade de Goiânia e Jataí. Já para as penas lavadas, foi constatada diferença nos teores médios da cidade de Goiânia para a de Jataí, mostrando que em local mais urbanizado os teores do metal foram maiores nas penas lavadas, provavelmente devido a dieta dos animais. A Tabela 4 não mostra diferença significativa entre penas lavadas e não lavadas para nenhum local, indicando a dieta como principal fonte deste metal nos tecidos dos animais, já que este é um elemento essencial na formação dos seres vivos.

Pesquisas feitas com pardais na Palestina mostram valores médios de cobre em penas lavadas de 19,5 mg/Kg (base seca)¹ e na faixa de 8,0 a 13,0 mg/Kg de massa seca em Garça-Branca-Européia em Hong Kong²⁰. Pesquisando metais nas aves “Chapim Real” (*Parus major*) e “Chapim Azul” (*Parus caeruleus*), na Bélgica, foram encontrados níveis de cobre nas penas de 6,16 e 5,14 mg/Kg em base seca, respectivamente¹⁰.

Desta forma, os níveis de cobre nas penas dos pombos nas regiões de estudo não se mostram preocupantes para o meio ambiente, já que foram advindos principalmente da dieta dos animais analisados.

3.5. Ferro

O ferro é um metal essencial para a formação dos seres vivos, muito encontrado no meio ambiente, principalmente no estado de Goiás, onde a maioria dos solos é rica neste metal.

Para penas não lavadas (Tabela 3) houve diferença significativa apenas no local da Praça Cívica no centro da cidade de Goiânia, com praticamente o dobro do teor de

ferro das outras áreas. Isto se deve ao agregamento de Fe nas penas através das PTS no local. A Tabela 4 mostra que quando procedeu-se a lavagem das penas, houve um redução no teor de ferro em torno de 40% para a praça cívica e 30% para o Parque Zoológico, tendo sido consideradas diferenças significativas na ANOVA. Os níveis de ferro na cidade de Jataí praticamente não se alteraram com a lavagem ou não das penas, mostrando que este metal, em regiões com menores níveis de PTS é incorporado aos tecidos dos animais via dieta.

Poucos trabalhos determinam ferro para monitoramento ambiental, devido ao fato deste elemento ser pouco tóxico e fazer parte da formação dos tecidos dos seres vivos. Connel, *et. al.*²⁰, encontraram níveis de ferro em várias localidades diferentes em penas de Garça-Branca-Européia em Hong Kong na faixa de 32,2 a 290,7 mg/Kg de massa seca. Estudos conduzidos com gaviões-da-Europa (*Accipiter nisus*) na Bélgica com análise de várias penas diferentes da asa e cauda mostraram concentrações médias de Fe variando de 114 a 158 mg/Kg¹⁷. Vale observar que tanto no trabalho de Connel, *et. al.*²⁰ (2002), quanto no de Dauwe, *et. al.*¹⁷ os teores de ferro encontrados foram inferiores aos relatados neste estudo, o que é um indicativo de que o teor de ferro no solo de Goiânia e Jataí é superior aos encontrados em Hong-Kong e na Bélgica.

3.6. Manganês

Avaliando os resultados para a determinação de manganês (Mn) nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que para penas não lavadas, os valores obtidos para os teores nas amostras coletadas na Praça Cívica e em Jataí são similares, sendo ambos inferiores aos teores médios obtidos em amostras coletadas no Zoológico de Goiânia. Para as penas lavadas, verificou-se novamente mais alto teor para as amostras coletadas no Zoológico, seguido das coletadas em Jataí e, com menores valores, as coletadas na Praça Cívica. Como o

manganês não é um metal muito tóxico e é considerado como um micronutriente para alimentação animal, grande parte dele estaria advindo da alimentação das aves, que por sua vez, é diferenciada no Zoológico, onde os pombos competem em alimentação com outros animais criados no parque e que recebem uma dieta balanceada especial. Somente houve diferença significativa entre as penas lavadas e não lavadas para manganês presente nas amostras coletadas no Zoológico. Na Praça Cívica e em Jataí não houve diferença significativa para a quantificação deste metal em penas lavadas e não lavadas, mostrando que este metal não se encontra em grandes quantidades no ar¹⁸.

Pesquisas com penas de outras aves como os pombos silvestres da Carolina do Sul (EUA) mostraram níveis de manganês na faixa de 3,6 a 6,1 mg/Kg²¹, de 1,7 a 22,6 mg/Kg de massa seca com a Garça-Branca-Européia em Hong Kong²⁰ e, em gaviões-da-Europa (*Accipiter nisus*), na Bélgica, a análise das penas externas da asa e cauda mostraram concentrações médias de Mn entre 7,28 e 9,62 mg/Kg¹⁷.

3.7. Zinco

O zinco também é um metal constituinte da formação dos tecidos dos seres vivos e, portanto, um elemento essencial para a vida. Considerando os resultados obtidos para este metal nas penas dos pombos (Tabelas 2 e 3), observou-se níveis um pouco mais elevados no Zoológico em Goiânia e na cidade de Jataí, onde não houve diferença significativa entre os teores médios nestas localidades, tanto para penas lavadas quanto para não lavadas. Os menores teores de zinco foram encontrados nas aves da Praça Cívica. A hipótese mais provável é que grande parte deste metal acumulado nos tecidos seja advinda da dieta dos animais, o que pode ser observado na Tabela 4, onde tanto para a localidade de Jataí, quanto para o Zoológico, não houve diferença significativa nos níveis médios para penas lavadas e não lavadas. A diferença ocorrida no teor médio

de metais para as penas lavadas e não lavadas na Praça Cívica se deve a PTS que naquele local podem estar influenciando no depósito deste metal nas penas das aves. Pode-se observar que os níveis de zinco em penas de diferentes aves coletadas em diferentes locais pode variar consideravelmente, tal como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Níveis de zinco obtidos em diversos trabalhos com diferentes aves.

Local	Nome usual	Nome científico	Zn (mg/Kg)	Referência
Hong Kong	Garça-branca-européia	<i>Egretta garzetta</i>	77,5 - 134,5	20
Hong Kong	Savacu	<i>Nycticorax nycticorax</i>	118,9 - 122,3	20
Bélgica	Gavião-da-Europa	<i>Accipiter nisus</i>	23,8 - 48,4	17
Bélgica	Mocho Galego	<i>Athene nocta</i>	25,7 - 35,7	17
Bélgica	Coruja-da-Igreja	<i>Tyto alba</i>	52 - 74	17
Paquistão	Falcão-borni	<i>Falco biarmicus jugger</i>	70 - 151	19
Bélgica	Chapim real	<i>Parus major</i>	97,9 - 127,2	10
Bélgica	Chapim azul	<i>Parus caeruleus</i>	119 - 156,5	10
Palestina	Pardal doméstico	<i>Passer domesticus</i>	38 - 67	1

4 – Conclusão

As análises mostraram que alguns metais como chumbo, crômio e cádmio são advindos quase que exclusivamente do meio ambiente, e são depositados no corpo das aves ou absorvidos via alimentação. Já alguns metais essenciais para a formação dos seres vivos como o cobre, manganês e zinco, foram absorvidos pelos tecidos quase que exclusivamente via dieta dos animais, o que pode ser concluído com a verificação das pequenas diferenças existentes nos níveis destes metais em penas lavadas e não lavadas. Outrossim, para o ferro, considerando regiões com alta aglomeração de pessoas e veículos automotores como a cidade de Goiânia, observou-se que grande parte do metal foi depositado nas penas principalmente devido as Partículas Totais Suspensas (PTS), já que o solo da região é muito rico neste metal, o que não ocorreu na cidade de Jataí, onde apesar do solo possuir também características eutroféricas, a presença de PTS no ambiente é menos intensa.

Conclui-se então que é possível quantificar e monitorar os níveis de metais no meio ambiente através do uso das penas dos pombos (*Columba livia*) onde é preferível utilizar as penas não lavadas para caracterizar além dos níveis de metais absorvidos pela dieta, aqueles agregados ao ar e as penas lavadas para caracterizar o nível de metais advindos das dietas, solo e água.

5- Referências Bibliográficas

1. Swaileh, K. M.; Sansur, R. *J. Environ. Monit.* **2006**, 8, 209-213.
2. Adriano, D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlang, New York: **1986**.
3. Povinelli, J. **Ação dos metais pesados nos processos biológicos de tratamento de águas residuárias**. Tese (Livre Docência em Engenharia/Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, **1987**.
4. Egreja Filho, F. B. Dissertação de Mestrado em Agronomia/Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Brasil, **1993**.
5. Tavares, T.M., Carvalho, F.M.; *Quím. Nova*, **1992**, 15, 2.
6. Burger J.; Gochfeld M. *Environ. Toxicol. Chem.* **1993**, 12:261–267
7. Lewis, S. A. and Furness, R. W.;, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **1991**, 21, 316–320.
8. Lefcort, H.; Meguire, R. A.; Wilson, L.; H, Ettinger.; W. F. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **1988**, 35, 3: 447-456.
9. Fisk, A. T.; Wit, A. A.; Wayland, M.; Kuzyk, Z. Z.; Burgess, N.; Letcher, R.; Braune, B.; Norstrom, R.; Blum, S. P.; Sandau, C.; Lie, E.; Larsen, H. J. S.; Skaare, J. U.; Muir, D. C. G. *Sci. Environ.* **2005**, 351-352.
10. Dauwe, T.; Bervoets, L.; Blust, R.; Pinxten, R.; Eens, M. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2000**, 39, 541-546.
11. Dauwe, T.; Bervoets, L.; Blust, R.; Pinxten, R.; Eens, M. *Belg. J. Zool.* **1999**, 129:439–447.
12. Nam, D-H.; Lee, D-P.; Koo, T-H. *Environ. Monit. Asses.* **2004**, 95: 13-22.
13. Nam, D-H.; Lee, D-P. *Sci. Total Environ.* **2006**, 357, 288-295.
14. Almansour, M. I. *Pak. J. Biol. Sci.* **2004**, 7, 11: 1884-1887.

15. Dauwe, T.; Bervoets, L.; Blust, R.; Eens, M. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2002**, 42: 88-92.
16. Burger, J.; Gochfeld, M. *Environ. Toxicol. Chem.* **1993**, 12, 261-267.
17. Dauwe, T.; Bervoets, L.; Pinxten, R.; Blust, R.; Eens, M. *Environ. Pollut.* **2003**, 124, 429-436
18. Carvalho, F. G.; Jablionski, A.; Teixeira, E. C. *Quím. Nova*, **2000**, 23, 5.
19. Movalli, P. A. *Environ. Pollut.* **2000**, 109: 267-275.
20. Connell, D. W.; Wong, B. S. F.; Lam, P. K. S.; Poon, K, F.; Lam, M. H. W.; Wu, R. S. S.; Richardson, B. J.; Yen, Y. F. *Ecotoxicol.* **2002**, 11: 49-59.
21. Burguer, J.; Kennamer, R. A.; Brisbin Jr., I. L.; Gochfeld, M. *Environ. Res.* **1997**, 75: 173-186.

CAPITULO 4

Utilização de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de metais e particulados totais.

Brait, Carlos Henrique Hoff & Antoniosi Filho, Nelson Roberto

Programa de Doutorado em Ciências Ambientais - Universidade Federal de Goiás –

Campus II, Samambaia, Bloco ICB IV, Goiânia, Goiás, Brasil.

nelson@quimica.ufg.br

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar nova técnica de monitoramento de metais-traço na atmosfera através da utilização de filtros recobertos com cera polimetilênica fixados em postes de energia de Goiânia. Os resultados mostraram que metais como Cr, Zn e Pb são advindos de mesma fonte de emissão, provavelmente antropogênicas, tendo sido obtido maiores concentrações para chumbo e cromo em regiões com maior tráfego de veículos. O trabalho mostrou ser possível monitorar metais-traço através da utilização de filtros com cera polimetilênica, sendo necessário à criação de padrões através da comparação dos resultados com os obtidos em amostradores de alto volume.

Palavras Chave: Metais, filtros, poluição atmosférica

Use of passive system sampler of air pollutants for metals and total particles monitoring.

Abstract

This research has been developed with the purpose of assess a new monitoring technique of trace metal and total particles in the atmosphere through the use of filters covered with polimetilenic wax fixed in light pole in Goiania. The results showed that metals like Cr, Zn and Pb has come from anthropogenic sources of emission. In places of heavy traffic it has been obtained higher amounts of lead and chromium. The research proved possible the monitoring of trace metal through the use of filter covered with polimetilenic wax, making necessary the creation of standard through result comparison obtained in high volume samplers.

Key Words: Metal, filters, atmospheric pollution.

1 - Introdução

O processo de urbanização vem ocorrendo rapidamente em todo mundo. Este é consequência do desenvolvimento econômico baseado principalmente na industrialização e é caracterizado pela relação entre a população de áreas urbanas e a população total do país. Algumas das cidades mais populosas do mundo encontram-se em países em desenvolvimento tais como China, Índia e Indonésia, onde ocorrem diversos problemas ambientais como o excesso de poluentes atmosféricos (BEG, 2004).

Dentre os poluentes atmosféricos mais comuns, pode-se citar as partículas totais em suspensão (PTS) oriundas principalmente de emissões antropogênicas, tais como queimas de resíduos, fuligem, indústrias, combustão de veículos automotores e produção de energia. Os metais-traço como o Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr e Hg também podem estar na forma sólida nas PTS, ou forma gasosa. Outros gases como SO₂, CO, O₃, NO_x e compostos orgânicos voláteis também são avaliados como poluentes em potencial, e são produzidos pela queima de combustíveis fósseis e solventes (CONAMA, 1992).

As partículas em suspensão são originárias de fontes tanto antrópicas (móveis ou estacionárias) quanto naturais. Aquelas com diâmetro inferior a 10 µm são inaláveis pelo sistema respiratório, sendo que as que possuem diâmetro inferior a 0,1 µm podem provocar danos irreversíveis aos alvéolos. (Toledo, *et. al.*, 2007).

As partículas finas (PS 2,5), com diâmetro inferior a 2,5 µm, são oriundas da combustão de veículos automotores, geração de energia, instalações industriais e queima de madeira em lareiras e fogões. As partículas grossas (PS 10), com diâmetro inferior a 10 µm, são geralmente oriundas de tráfego em estradas não pavimentadas,

moagem e trituração de materiais e vento carregado de poeira (Morawska *et. al.*, 2001; Ostro *et. al.*, 1998).

Estas partículas finas podem se acumular no trato respiratório e estão associadas com numerosos problemas de saúde (Dockery & Pope, 1994). A exposição as partículas grossas esta principalmente associada ao agravamento das condições respiratórias, como a asma (Halek *et. al.* 2004).

Partículas finas são mais estreitamente associadas à alguns efeitos na saúde como problemas cardíacos e pulmonares, problemas respiratórios como a disfunção pulmonar, e ainda morte prematura (Gouveia & Fletcher 2000).

A legislação Brasileira estabelece níveis de PTS para curtos e longos períodos de tempo. Para períodos de 24 horas (curto) a legislação prevê limite máximo de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar como padrão primário e 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como padrão secundário. Para longos períodos foram definidas médias geométricas anuais com valores de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (primário) e 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (secundário) (CONAMA, 1992).

Quanto a níveis de metais, não há limites máximos na legislação brasileira. Agências reguladoras como o EPA (Environmental Protection Agency) e a OMS (Organização Mundial da Saúde) mantém padrões máximos para alguns metais conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Níveis máximos de concentração de metais no ar segundo EPA e OMS.

Agência	Metais (Concentrações em ng/m^3)						
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr
EPA	---	---	500	---	6,37	1500	100
OMS	---	---	150	---	5	500	1000

Em áreas urbanas industrializadas a meteorologia e a topografia da área, em relação a distribuição populacional, são fatores que influenciam significativamente no

transporte e dispersão dos poluentes do ar, levando a vários tipos de circulação (Carvalho, *et. al.*, 2000).

O método mais comum para avaliação da qualidade do ar consiste em amostradores de alto volume onde o ar passa de forma forçada por um determinado período em um filtro de fibra de vidro, com a ajuda de uma bomba de vácuo (Quiterio *et. al.*, 2005; Slezakova, *et. al.*, 2007; Carvalho *et. al.*, 2000; Shah & Shaheen, 2007). É possível a determinação por gravimetria das Partículas Totais Suspensas (PTS), bem como a determinação de metais via digestão em via úmida e análise por Espectrometria de Absorção atômica (AAS) ou Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). A maior limitação para os sistemas de coleta do ar de alto volume corresponde ao alto custo de aquisição e manutenção dos equipamentos.

Algumas outras formas de monitoramento da poluição do ar são propostas utilizando animais como bioindicadores, tais como aves e mamíferos terrestres (Lewis *et. al.*, 2001). Estes métodos avaliam indiretamente alguns níveis de substâncias tais como metais-traço que podem ser depositados nas penas de aves e pêlos de animais via PTS ou absorvidos via respiração e alimentação (Rashed & Soltan, 2005; Kalas *et. al.*, 2000; Dallinger *et. al.*, 1992; Nam *et. al.*, 2004; Almansour, 2004).

As penas de aves são usadas para biomonitoramento de metais desde os anos 60 pelo fato de não haver sacrifício dos pássaros e de permitir quantificar adequadamente os elementos (Dauwe *et. al.*, 2000). O corpo das aves é geralmente encoberto por ceras que é composta por ácidos graxos saturados (Sweeney *et. al.*, 2004) e sua função é evitar com que as penas molhem, facilitando o vôo e também a natação de aves aquáticas.

Como desvantagem da utilização de penas de aves para monitoramento de metais no meio ambiente pode-se citar principalmente a falta de controle de algumas

variáveis tais como idade, local de frequência dos animais, alimentação e período de troca da plumagem, o que faz com que um grande número de aves tenha que ser capturada para propiciar segurança analítica para os resultados obtidos. Além disso, as aves normalmente são de difícil captura, sendo que algumas são vetores de doenças.

Assim sendo, considerando principalmente os custos dos sistemas de amostradores de alto volume, e as desvantagens citadas com o uso de bioindicadores para a avaliação da qualidade do ar, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de amostragem - utilizando papel de filtro quantitativo recoberto com cera sintética - de baixo custo, de simples montagem e instalação, para monitorar a qualidade do ar em termos de metais-traço e particulados totais.

2 - Materiais e Métodos

2.1 – Desenvolvimento do sistema de coleta de metais

O sistema de coleta de metais constituiu-se de um papel de filtro quantitativo marca JP 40 faixa branca com diâmetro de 24,0 cm recoberto com cera Polimetilênica marca MEGH do tipo Meghwax CPB 300.

A cera polimetilênica Meghwax CPB 300 apresenta-se como um sólido em escamas, não tóxico, com ponto de fusão de 80 a 120°C, e insolúvel em água, tal como a cera que reveste penas de aves e livres de metais.

A cera foi fundida em recipiente de aço inoxidável livre de metais, com o auxílio de chapa aquecedora a 200°C por 30 minutos. Posteriormente os papéis de filtro foram mergulhados na cera líquida de forma a se obter uma superfície homogênea de deposição em ambos os lados. Após a solidificação total da cera sobre os filtros, o conjunto foi pesado tendo-se obtido uma massa de cera aderida de aproximadamente 10 g. O papel de filtro revestido com cera foi afixado em um suporte feito com barras de

alumínio de $\frac{1}{4}$ de polegada, conforme Figura 1, sendo que o sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos proposto foi denominado de SISCO.



Figura 1. Sistema utilizado para quantificação de metais no ar.

2.2 – Área de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás (Brasil), com população na região metropolitana de 1,2 milhões de habitantes e estimado tráfego de 300 mil veículos por dia (IBGE, 2006).

Em Goiânia foram escolhidos 29 pontos de instalação, onde foram englobados 20 bairros, conforme a figura abaixo:

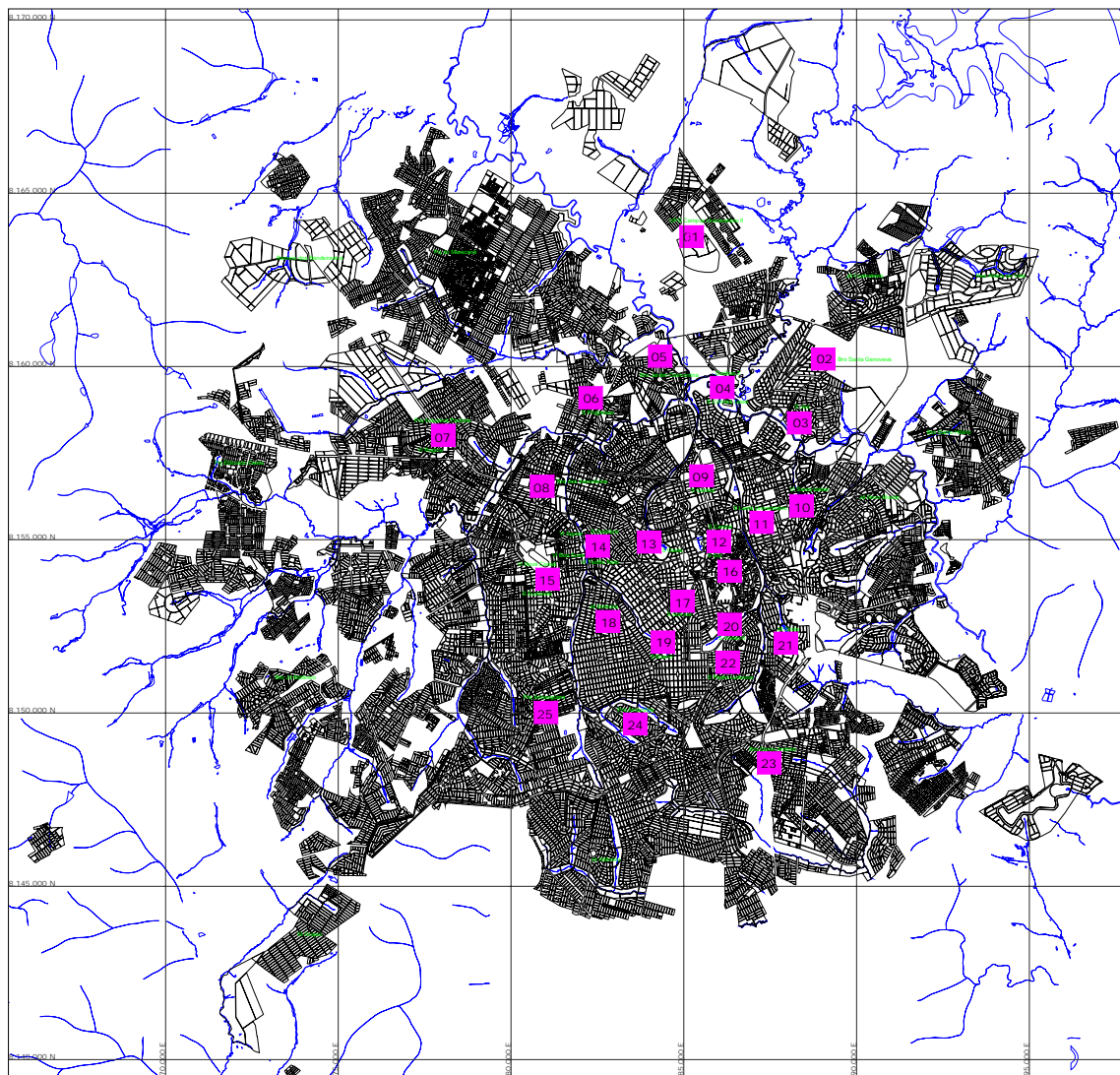


Figura 2. Locais de instalação dos SISCO na cidade de Goiânia – GO.

Os quadros 10 e 12 representam mais de um SISCO instalados, conforme descrito na Tabela 2.

Vale observar que a definição de locais de instalação dos SISCO em Goiânia foi feita de modo a englobar locais que apresentem tanto elevadas quanto baixas densidades populacionais, e com a ocorrência de diferentes atividades antrópicas.

Tabela 2. Locais de instalação dos sistemas SISCO na cidade de Goiânia.

Quadro	Ponto	Local de instalação dos SISCO	Número do Poste	Coordenadas UTM	
				X	Y
12	1	Praça Cívica 01	1039453	685770,5	8155053
12	2	Praça Cívica 02	2228816	685842,4	8154833
12	3	Praça Cívica 03	7621553	686181,3	8155026
12	4	Vielas Praça Cívica Rua 96	1799368	686176,7	8154770
13	5	Parque Zoológico	0349648x	683988,8	8154894
11	6	P. Universitária I - Faculdade de Farmácia	4384799	687246,8	8155464
21	7	Shopping Flamboyant	44842	687954,9	8151979
20	8	Parque Areião	743677	686312,2	8152523
19	9	Parque Vaca Brava	0076968x	684384,9	8152004
17	10	Avenida 85 cruzamento com T-9	3638534	684962,8	8153193
10	11	Praça da Bíblia	3513798	688319,5	8155924
10	12	Vielas Praça da Bíblia	50532	688484,6	8155936
1	13	UFG Campus II - LAMES	9260298	685233	8163707
5	14	Carrefour Norte	4388562	684279,3	8160236
7	15	Av. Anhanguera c/ Perimetral Norte	2011773	678018,3	8157968
23	16	BR 153	4519176	687464,1	8148523
2	17	Aeroporto Santa Genoveva	1810613	689081,8	8160150
18	18	Jardim América (Praça C205 c/ C190)	3675506	682800,7	8152593
9	19	Praça do Trabalhador (Av. Independência)	1011479	685500,9	8156789
15	20	Av. Pedro Ludovico Setor Sudoeste	3686255	681045,9	8153823
4	21	Criméia Leste/Corpo de Bombeiros	3553632	686077,4	8159335
8	22	Estação Rodoviária de Campinas	4238230	680890,8	8156507
14	23	Setor Bueno/Coinbra - Praça C	7544431	682497,6	8154777
24	24	P. Sem. José R. Morais - Parque Amazônia	410378	683581,1	8149647
16	25	Praça do Cruzeiro	434000	686316,5	8154044
3	26	Setor Jaó - Praça liberdade	4229599	688332,6	8158332
6	27	Av. L c/ Av. Perim. Norte (St. Progresso)	3574374	682260,1	8159031
25	28	Av. Mal Deodoro (Pq Anhanguera II)	15637414	681004,2	8149969
22	29	Terminal Izidória	455386	686266,2	8151427

A empresa ELECON Ltda - prestadora de serviços em telecomunicações e energia elétrica – executou os serviços de instalação e retirada dos SISCO em postes de energia, sob licença das Centrais Elétricas de Goiás S/A – CELG, via contrato de autorização assinado entre CELG e UFG. A instalação dos SISCO foi feita paralelamente ao braço de fixação da luminária dos postes, por meio da fixação com fita de aço inoxidável do tipo “eriband”, conforme mostra a Figura 3. Os SISCO foram instalados em Goiânia no período de 04 a 18 de outubro de 2007, sendo que cada SISCO foi mantido sob exposição ao meio ambiente por um período de 15 dias.



Figura 3. Instalação dos SISCO nos postes de energia elétrica.

2.3 – Coleta das amostras e determinação dos metais

Após coleta, os filtros recobertos com cera foram destacados do suporte e armazenados em embalagem plástica livre de metais para posterior análise quantitativa.

Os filtros recobertos com cera foram pesados para determinação da massa de particulados totais e, posteriormente, foram cortados em pedaços menores. Selecionou-se aproximadamente 1,000g do material em béquer de 100 mL e adicionou-se 20 mL de

ácido clorídrico concentrado juntamente com 10 mL de ácido nítrico concentrado. O material foi levado a chapa de aquecimento até quase seca. Adicionou-se 20 mL de água destilada e deionizada e continuou-se o aquecimento até o volume ser reduzido pela metade. O sobrenadante foi filtrado em balões volumétricos de 25 mL com auxílio de papel de filtro quantitativo faixa preta, e o volume completado com água destilada e deionizada. Procedeu-se então a determinação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb e Cr através de espectrometria de absorção atômica (EAA) utilizando equipamento marca Perkin Elmer modelo Analyst 100 utilizando as condições padrão dos elementos e lâmpadas apropriadas. Para aumentar a sensibilidade da técnica foi utilizado um nebulizador de alta sensibilidade com capilar de platina/irídio (B0505480).

Os padrões utilizados para preparo das curvas analíticas foram “Titrisol” da Merck, com concentrações de 1000 mg/L, e diluídos com água destilada/desionizada de acordo com as faixas lineares de concentração do equipamento.

Todas as vidrarias utilizadas foram anteriormente descontaminadas por 24h com solução de ácido nítrico 5%, sendo que este processo foi repetido por duas vezes.

3 – Resultados e Discussão

Os resultados das análises de metais e de particulados totais encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Concentração de metais e massa de particulados totais.

Quadro	Ponto	Local de instalação dos SISCO	Concentração de Metais (mg/Kg)							Particulados Totais (g)
			Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr	
12	1	Praça Cívica 01	0,25	46,30	0,25	6,00	0,00	1,30	2,48	0,1203
12	2	Praça Cívica 02	0,00	30,80	0,25	2,75	0,00	1,10	2,18	0,1104
12	3	Praça Cívica 03	1,75	56,75	0,50	3,00	0,00	1,30	5,83	0,1232
12	4	Viela Praça Cívica Rua 96	0,00	14,30	0,00	2,00	0,05	0,85	4,30	0,1001
13	5	Parque Zoológico	0,25	25,30	0,25	1,50	0,00	0,90	1,75	0,1127
11	6	P. Universitária I - Faculdade de Farmácia	0,00	17,80	0,00	2,00	0,00	0,13	1,73	0,1065
21	7	Shopping Flamboyant	0,00	33,80	0,25	1,50	0,03	0,40	1,35	0,1103
20	8	Parque Areião	0,00	15,80	0,00	1,00	0,00	0,45	1,08	0,1056
19	9	Parque Vaca Brava	0,00	18,80	0,00	1,25	0,03	0,25	3,18	0,1222
17	10	Avenida 85 cruzamento com T-9	0,75	35,00	0,00	3,50	0,10	0,50	2,50	0,1235
10	11	Praça da Bíblia	0,00	26,50	0,00	1,75	0,08	0,38	2,58	0,1145
10	12	Viela Praça da Bíblia	0,00	12,25	0,00	1,00	0,13	0,68	2,15	0,0983
1	13	UFG Campus II - LAMES	0,00	18,80	0,00	1,25	0,03	0,00	1,50	0,0982
5	14	Carrefour Norte	0,00	17,80	0,00	1,25	0,03	0,00	0,55	0,0965
7	15	Av. Anhanguera c/ Perimetral Norte	0,25	96,80	0,50	3,25	0,03	0,65	2,78	0,1324
23	16	BR 153	0,00	52,50	0,00	1,25	0,05	1,40	1,03	0,1295
2	17	Aeroporto Santa Genoveva	0,00	16,30	0,00	1,25	0,00	0,63	3,33	0,1162
18	18	Jardim América (Praça C205 c/ C190)	0,00	22,00	0,00	1,25	0,00	0,83	0,08	0,1125
9	19	Praça do Trabalhador (Av. Independência)	0,00	33,00	0,00	2,00	0,00	1,30	4,20	0,1206
15	20	Av. Pedro Ludovico Setor Sudoeste	0,00	22,80	0,00	2,50	0,00	0,53	2,23	0,1095
4	21	Criméia Leste/Corpo de Bombeiros	0,00	18,80	0,25	2,00	0,00	0,55	3,08	0,1087
8	22	Estação Rodoviária de Campinas	1,25	46,30	0,25	2,00	0,00	0,70	3,75	0,1199
14	23	Setor Bueno/Coinbra - Praça C	0,50	16,50	0,00	1,50	0,00	0,78	2,00	0,0940
24	24	P. Sem. José R. Morais - Parque Amazônia	0,50	26,00	0,00	2,00	0,00	0,43	4,98	0,1101
16	25	Praça do Cruzeiro	0,00	16,80	0,00	2,75	0,00	1,15	0,80	0,0860
3	26	Setor Jaó - Praça liberdade	0,25	10,50	0,00	1,25	0,00	0,55	2,80	0,0920
6	27	Av. L c/ Av. Perim. Norte (St. Progresso)	0,25	22,00	0,00	1,25	0,05	0,95	2,70	0,1045
25	28	Av. Mal Deodoro (Pq Anhanguera II)	0,00	18,00	0,00	0,50	0,00	1,08	2,18	0,0986
22	29	Terminal Izidória	0,00	28,30	0,00	2,00	0,00	1,38	5,10	0,1262

Tabela 4. Parâmetros globais para os dados sobre metais e particulados da Tabela 3.

Parâmetro	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr	Particulados Totais
Valor Médio (mg/Kg para metais e g para particulados)	0,21	28,16	0,09	1,95	0,02	0,73	2,56	0,1104
Desvio Padrão	0,41	17,83	0,15	1,06	0,03	0,41	1,39	0,01
Coefficiente de Variação (%)	50,19	157,90	56,17	183,18	61,33	179,55	183,93	931,20
Valor Máximo (mg/Kg para metais e g para particulados)	1,75	96,80	0,50	6,00	0,13	1,40	5,83	0,1324
Valor Mínimo (mg/Kg para metais e g para particulados)	0,00	10,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,08	0,0860

A avaliação da correlação entre os dados pode, em alguns casos, ser evidenciada com a análise comparativa dos gráficos que correlacionam os valores de concentrações de metais e da massa de particulados totais em cada ponto de amostragem. (Figura 4).

Também foi feita uma análise de regressão com ajustamento de curva, de forma a verificar se havia e qual seria a relação entre a quantidade de particulado e a quantidade de cada metal. Somente os resultados com coeficiente de determinação acima de 40% e p significativo ($p \leq 0,05$) foram levados em consideração. Para avaliação da correlação dos dados, foi feita uma matriz de correlação de Pearson (Tabela 5) entre os metais e os pontos de coleta na cidade de Goiânia. Estas análises foram feitas utilizando-se o programa Bio Estat 3.0. Considerou-se como correlação significativa os valores de r com $p < 0,05$.

Tabela 5. Coeficiente de correlação de Pearson para a matriz envolvendo metais e particulados nos 29 pontos de instalação dos SISCO em Goiânia.

Matriz de Correlação	Particulados	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Particulado	1	---	---	---	---	---	---	---
Cd	0,1167	1	---	---	---	---	---	---
Cr	0,4618	-0,0642	1	---	---	---	---	---
Cu	0,2184	-0,0679	0,5010	1	---	---	---	---
Fe	0,5917	0,0352	0,2887	0,4251	1	---	---	---
Mn	0,3072	-0,1913	0,2786	0,5240	0,7350	1	---	---
Pb	0,4120	-0,1515	0,3605	0,1989	0,3673	0,2432	1	---
Zn	0,4537	-0,0453	0,3009	0,3177	0,5550	0,4850	0,3816	1

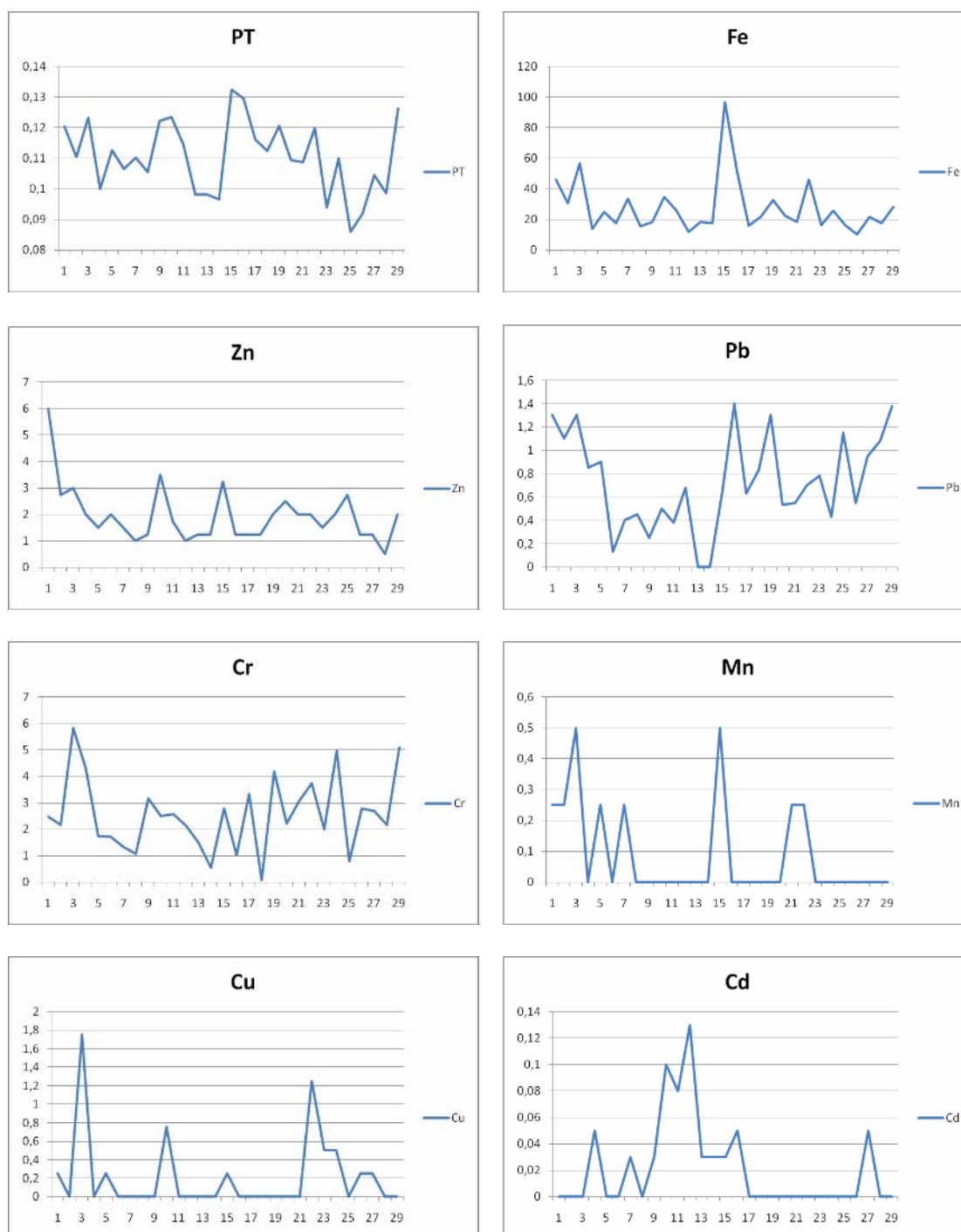


Figura 4. Concentração de metais e massa de particulados totais (PT) em função do ponto de coleta.

A Tabela 5 mostra correlações significativas entre particulados totais e crômio ($r=0,4618$), particulados totais e ferro ($r=0,5917$), particulados totais e chumbo ($r=0,412$), particulados totais e zinco ($r=0,4537$), crômio e cobre ($r=0,501$), cobre e

ferro ($r=0,4251$) cobre e manganês ($r=0,524$), ferro e manganês ($r=0,735$), ferro e zinco ($r=0,555$) e manganês e zinco ($r=0,485$). Estas correlações positivas entre metais indicam que eles são advindos de uma mesma fonte. Valores semelhantes de correlação significativa entre Fe e particulados totais, Mn e Fe, Zn e particulados totais e Mn e Zn foram obtidos por Shah & Shaheen (2007).

Estas correlações positivas entre os metais Cr, Fe, Pb e Zn com o material particulado mostram que estes metais são advindo em grande parte dos particulados totais e, considerando o ambiente urbano, oriundos de atividades antrópicas, tais como emissões veiculares, queima de lixo e resíduos, metalurgia e outras emissões industriais (Manoli *et. al.*, 2002; Biblos *et. al.*, 2001). Vale observar que o chumbo não é encontrado comumente em partículas grossas (PM 10) que derivam principalmente da poeira (Toledo *et al.*, 2007).

Foi feita também a análise de componentes principais (PCA) objetivando entender a natureza da fonte de emissão dos metais bem como quais são as principais variáveis do estudo (Shah & Shaheen, 2007; Quitério *et. al.*, 2004; Slezakova *et. al.*, 2007; Toledo *et. al.*, 2007). As análises foram feitas utilizando o programa “STATISTICA”.

A análise de componentes principais (PCA) visa através de combinações lineares de n-variáveis, gerar n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informações estatísticas do que a componente principal 2 e assim por diante (Moita Neto & Moita, 1997).

A Tabela 6 mostra os dados obtidos para a análise de componentes principais.

Tabela 6. Componentes principais para os metais e material particulado (n=29).

Parâmetro	Componente Principal 1	Componente Principal 2
Particulado	0,8000	0,0101
Cd	0,1692	-0,8097
Cr	0,3762	0,5217
Cu	0,5440	0,3981
Fe	0,9159	0,0290
Mn	0,7552	0,2769
Pb	0,3009	0,5453
Zn	0,6363	0,2117
Expl.Var	3,0106	1,5059
Prp.Totl	0,3763	0,1882

A Tabela 6 mostra, na componente principal 1, maiores pesos para o material particulado, Fe e Mn. Com isso observa-se a relação entre o material particulado, Fe e Mn, oriundos provavelmente de fontes geológicas, já que o manganês e ferro são os metais encontrados em maior concentração na região (Ferreira *et. al.*, 2001). Assim, o ferro é proveniente tanto de atividades antrópicas, quanto de fontes naturais.

Considerando o máximo valor obtido para a concentração de cada um dos metais e para a massa de particulados totais, gerou-se 4 classes simétricas de dados, com incrementos equitativos, variando do menor valor encontrado até o valor máximo da variável, o que caracteriza uma análise de frequência absoluta. Posteriormente foi construído um histograma mostrando os resultados obtidos para cada metal.

3.1 – Cobre

O metal cobre é um elemento constituinte na formação dos seres vivos, bem como utilizado como micronutriente sendo essencial para o desenvolvimento das plantas. Através das Tabelas 3 e 4 é possível perceber concentrações muito baixas deste metal na atmosfera de Goiânia, com média de 0,21 mg/Kg. Resultados de baixos teores de cobre, relativamente a outros metais, também foram obtidos em outros trabalhos tais como os feitos na Cinelândia no Rio de Janeiro (Quitério *et. al.*, 2004) e na região

suburbana do Rio de Janeiro (Toledo *et. al.*, 2007), com níveis médios de, respectivamente, $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0,022 \mu\text{g}/\text{m}^3$, obtidos por meio de amostradores de alto volume. A Figura 5 mostra a distribuição de frequência do cobre obtidos nas determinações.

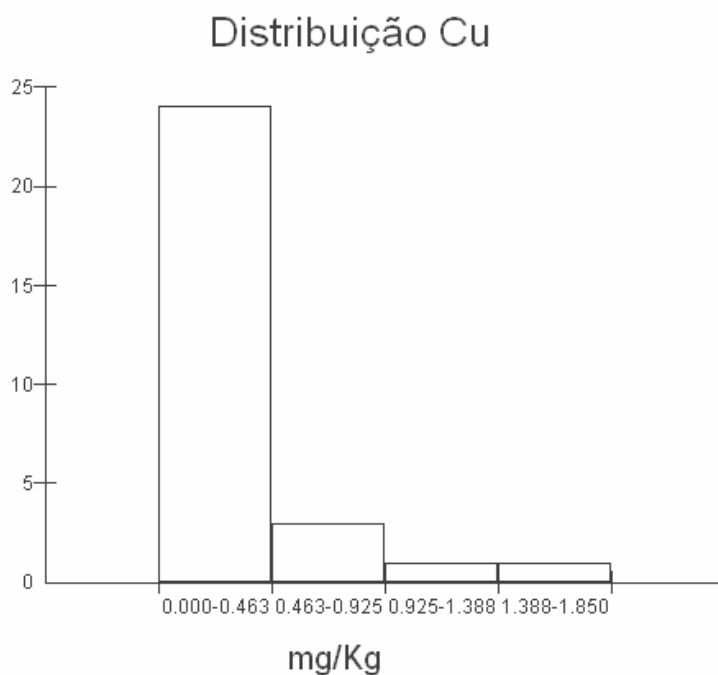


Figura 5. Distribuição de frequência do metal cobre na cidade de Goiânia

A Figura 5 mostra que para os 29 pontos amostrados em Goiânia, 24 tiveram concentração de cobre entre 0,000 e 0,463 mg/Kg, sendo que em 19 pontos não foi encontrada a presença do metal ou os resultados estavam abaixo do limite de detecção da técnica, mostrando não ser este um elemento que possa contribuir a curto e médio prazos com a poluição do meio ambiente.

3.2 – Ferro

O ferro é um metal muito presente no particulado da região de estudo, principalmente devido a presença de latossolos eutroféricos. A Tabela 4 mostra uma concentração média de 28,16 mg/Kg e a distribuição de frequência dos resultados está mostrada na Figura 6.

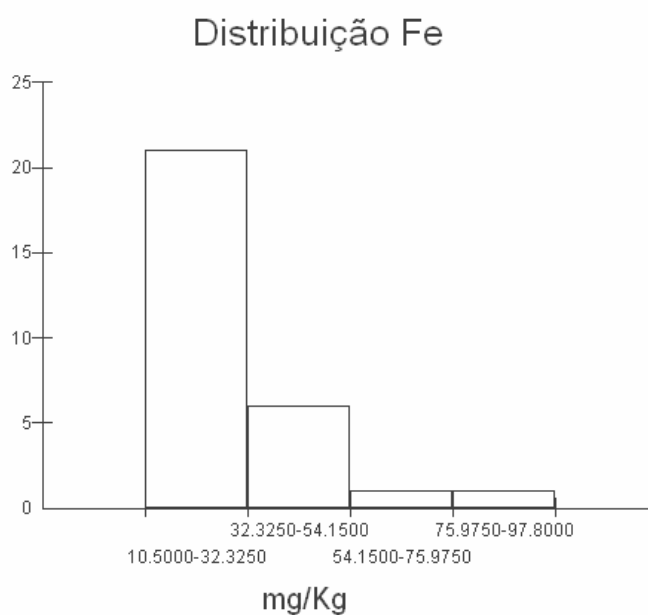


Figura 6. Distribuição de frequência do Ferro

Pode-se observar que a maior frequência dos resultados se situa na primeira classe da distribuição, entre 10,500 a 32,325 mg/Kg. O ferro é um elemento que tem relação direta com a massa de particulado e a melhor curva ajustada foi a exponencial com coeficiente de determinação de 64,01%, equação $Y=0,5805.e^{33,8976X}$ e $p<0,00001$, portanto altamente significativo. A Figura 7 mostra o gráfico obtido.

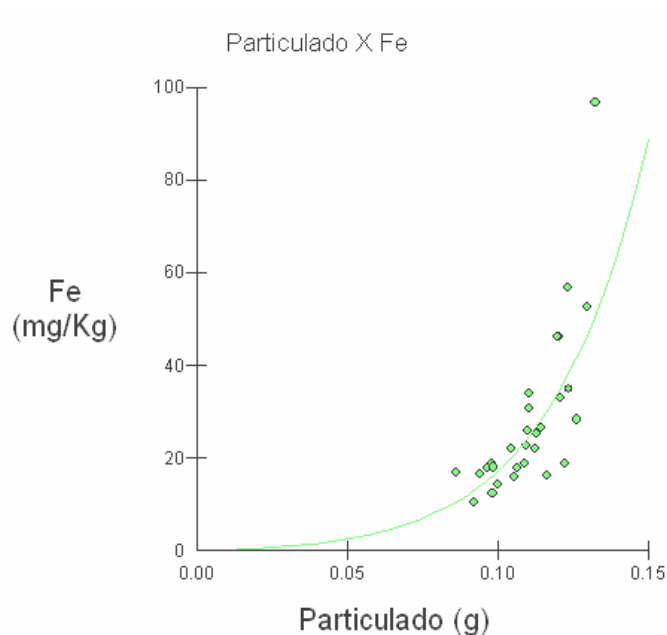
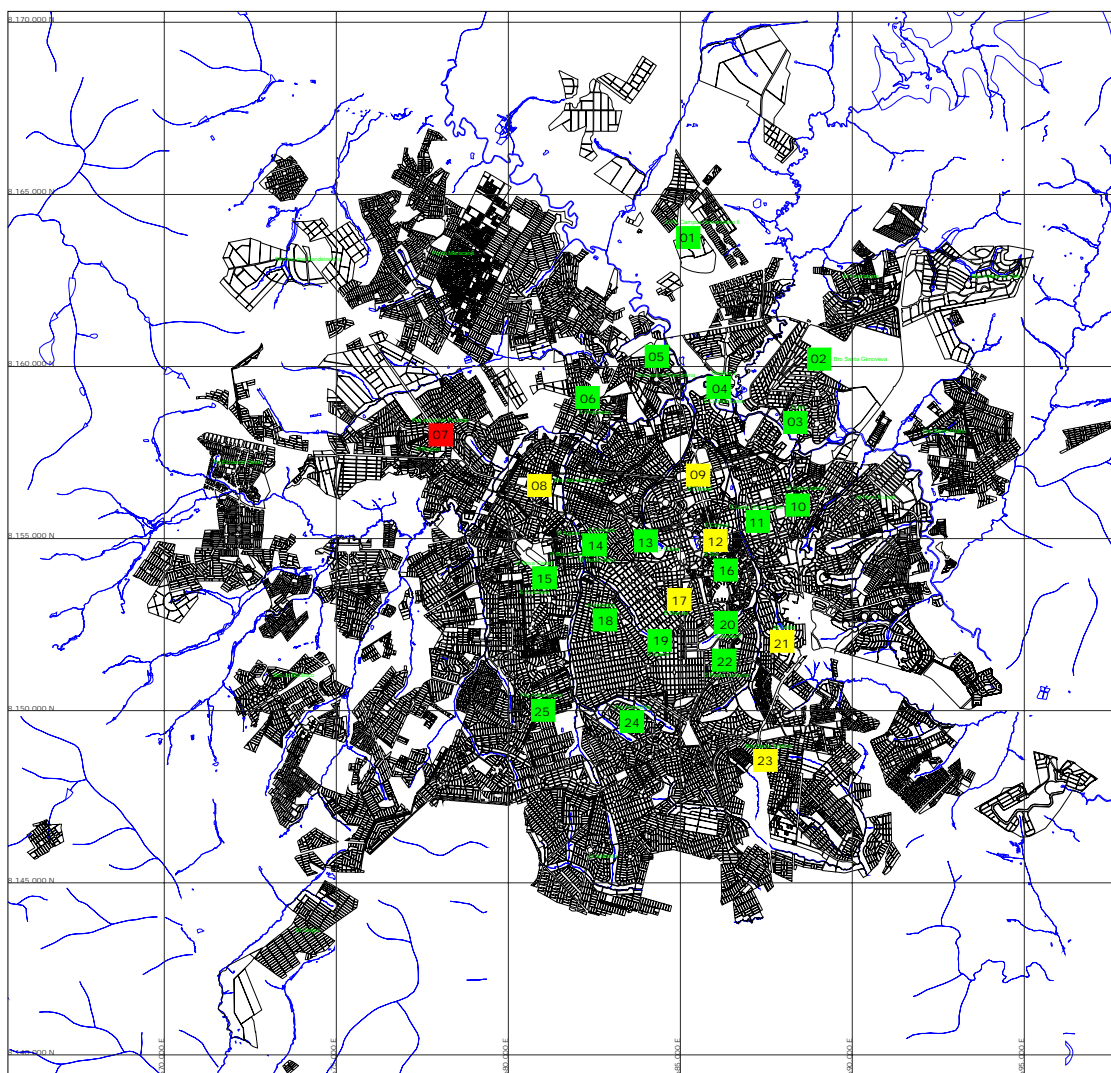


Figura 7. Gráfico da regressão exponencial entre massa de particulados totais e concentração de Fe.

A Figura 8 mostra os pontos de coleta com a respectiva distribuição de frequência em todos os pontos de amostragem em cores diferentes.

Pode-se observar que vinte e dois quadros ficaram dentro da primeira classe de concentração e apenas um (quadro 7) na última classe, compreendida entre 75,975 e 97,800 mg/Kg. Este ponto se localiza na Av. Perimetral Norte esquina com Av. Anhanguera, local de elevadíssimo fluxo de veículos, principalmente aqueles movidos a óleo diesel, além do alto nível de poeira suspensa no ar, o que pode explicar a elevada concentração de ferro (Shah & Shaheen, 2007).



Legenda:

Concentração de Ferro (mg/Kg)	Cor
10,500 – 32,325	Verde
32,325 – 54,150	Amarelo
54,150 – 75,975	Azul
75,975 – 97,800	Vermelho

Figura 8. Distribuição de frequência da concentração de ferro na cidade de Goiânia.

3.3 – Manganês

Os níveis de manganês encontrados foram baixos, conforme mostra a Figura 9.

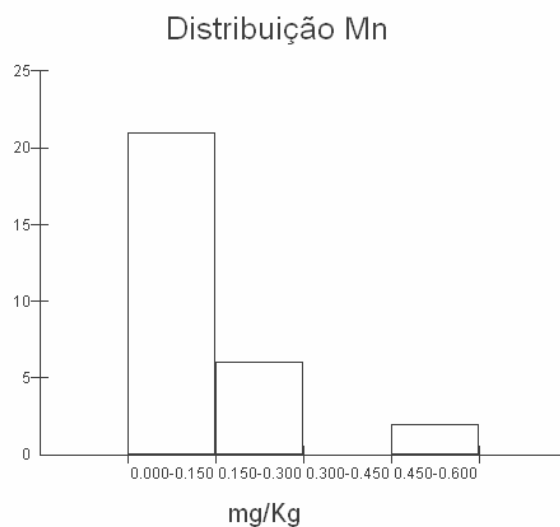


Figura 9. Distribuição de frequência de Manganês em Goiânia.

A maior parte dos resultados obtidos encontram-se na menor classe da distribuição de frequência, onde em vinte e um pontos o resultados foi nulo ou esteve abaixo do limite de detecção da técnica. Outros trabalhos utilizando amostradores de alto volume para coleta do material particulado também mostraram níveis baixos de manganês em regiões urbanas, tais como em Islamabad no Paquistão com concentração média de $0,055 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Shah & Shaheen, 2007), Tóquio no Japão com níveis médios de $0,0401 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Var *et. al.*, 2000), Rio de Janeiro no Brasil com concentração de $0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Toledo *et. al.*, 2000).

3.4 – Zinco

O zinco foi um metal encontrado em todos os sítios de amostragem, o que sugere que sua principal fonte de emissão seja antropogênica (Pirrone *et. al.*, 1995). A distribuição de frequência de zinco é mostrada na Figura 10.

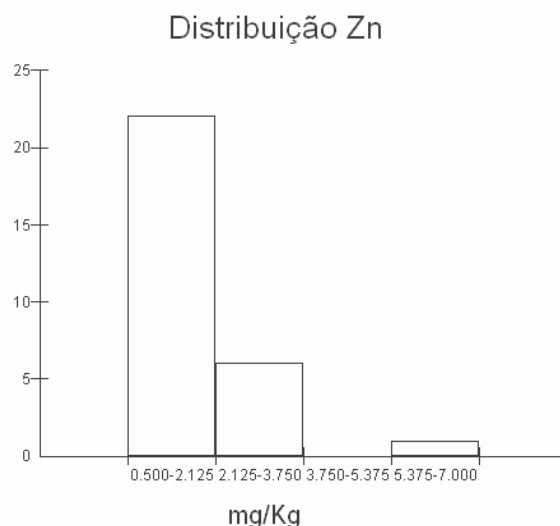
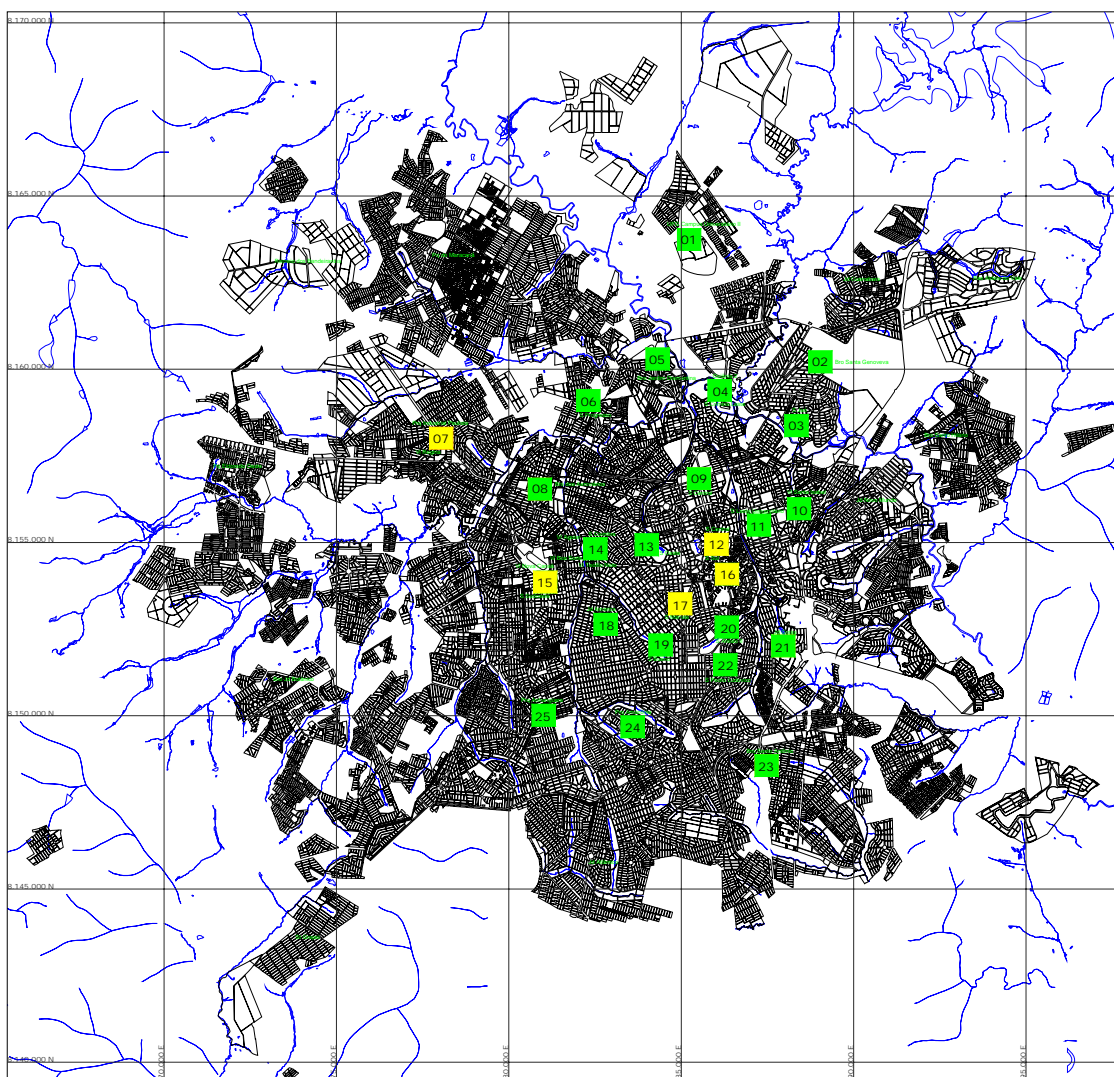


Figura 10. Distribuição de frequência de Zinco em Goiânia

Como observado, a maioria dos locais analisados apresentaram concentração de zinco entre 0,500 a 2,125 mg/Kg. Outras pesquisas com amostradores de alto volume mostraram dados de concentrações mais elevadas para este metal, tais como na cidade do Rio de Janeiro com níveis médios de 2,120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quitério *et. al.*, 2004), Islamabad no Paquistão com 1,021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Shah & Shaheen, 2007) e Frankfurt na Alemanha com 0,1056 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zereini *et. al.*, 2005). A distribuição deste metal em Goiânia pode ser vista na Figura 11.

Apenas para o ponto 1, que situa-se no quadro 12 na região da Praça Cívica, obteve-se concentração de zinco de 6,0 mg/Kg, correspondendo a última classe da distribuição de frequência. Apesar de ser uma região com alta densidade de veículos, nos outros três pontos amostrados no mesmo quadro, os resultados foram em média três

vezes menores e provavelmente há alguma fonte isolada de emissão de zinco neste ponto de coleta.



Legenda:

Concentração de Zinco (mg/Kg)	Cor
0,500 – 2,125	Verde
2,125 – 3,750	Amarelo
3,750 – 5,375	Azul
5,375 – 7,000	Vermelho

Figura 11. Distribuição do Zinco na cidade de Goiânia.

3.5 – Cádmi

Concentrações muito baixas de cádmio foram obtidas nas regiões de amostragem, onde em dezoito pontos da cidade de Goiânia obteve-se resultado nulo ou abaixo do limite de detecção da técnica. A distribuição de frequência do metal em quatro classes pode ser vista na Figura 12.

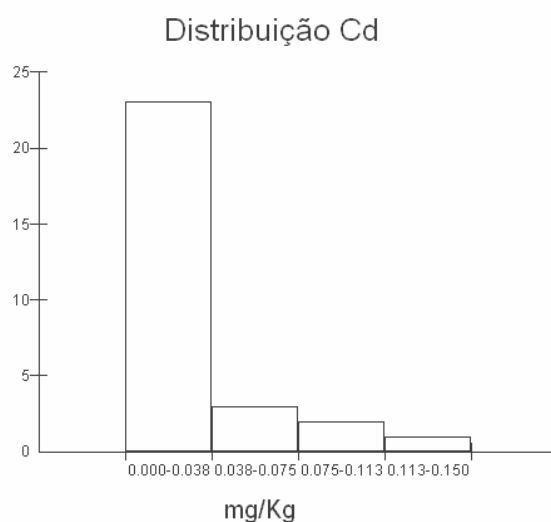


Figura 12. Distribuição de frequência do Cádmio na cidade de Goiânia.

Outras pesquisas utilizando sistemas de coleta de alto volume também mostraram concentrações muito baixas de cádmio como em regiões industriais do Rio de Janeiro $0,0009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quitério *et. al.*, 2004), região urbana também do Rio de Janeiro $0,0003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quitério *et. al.*, 2004) e região urbana de Frankfurt na Alemanha $0,0003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zereini *et. al.*, 2005).

Não havendo nenhuma fonte de emissão eminente do metal, há pouca probabilidade em se encontrar elevados níveis na atmosfera, apesar de sua elevada toxicidade.

3.6 – Chumbo

O chumbo constitui-se num dos grandes problemas ambientais em termos de poluição atmosférica. Grande parte deste metal é advindo de emissões antropogênicas, principalmente as veiculares (Pirrone *et. al.*, 1995).

As concentrações do metal obtidas neste estudo se concentram na segunda e terceira classes da distribuição de frequência, conforme visto na Figura 13.

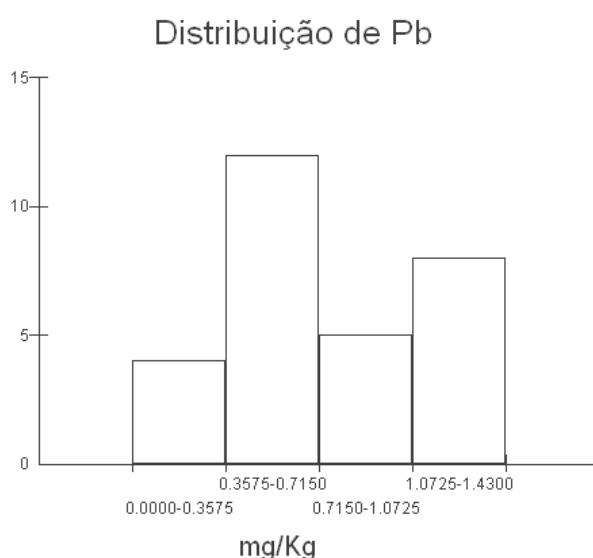
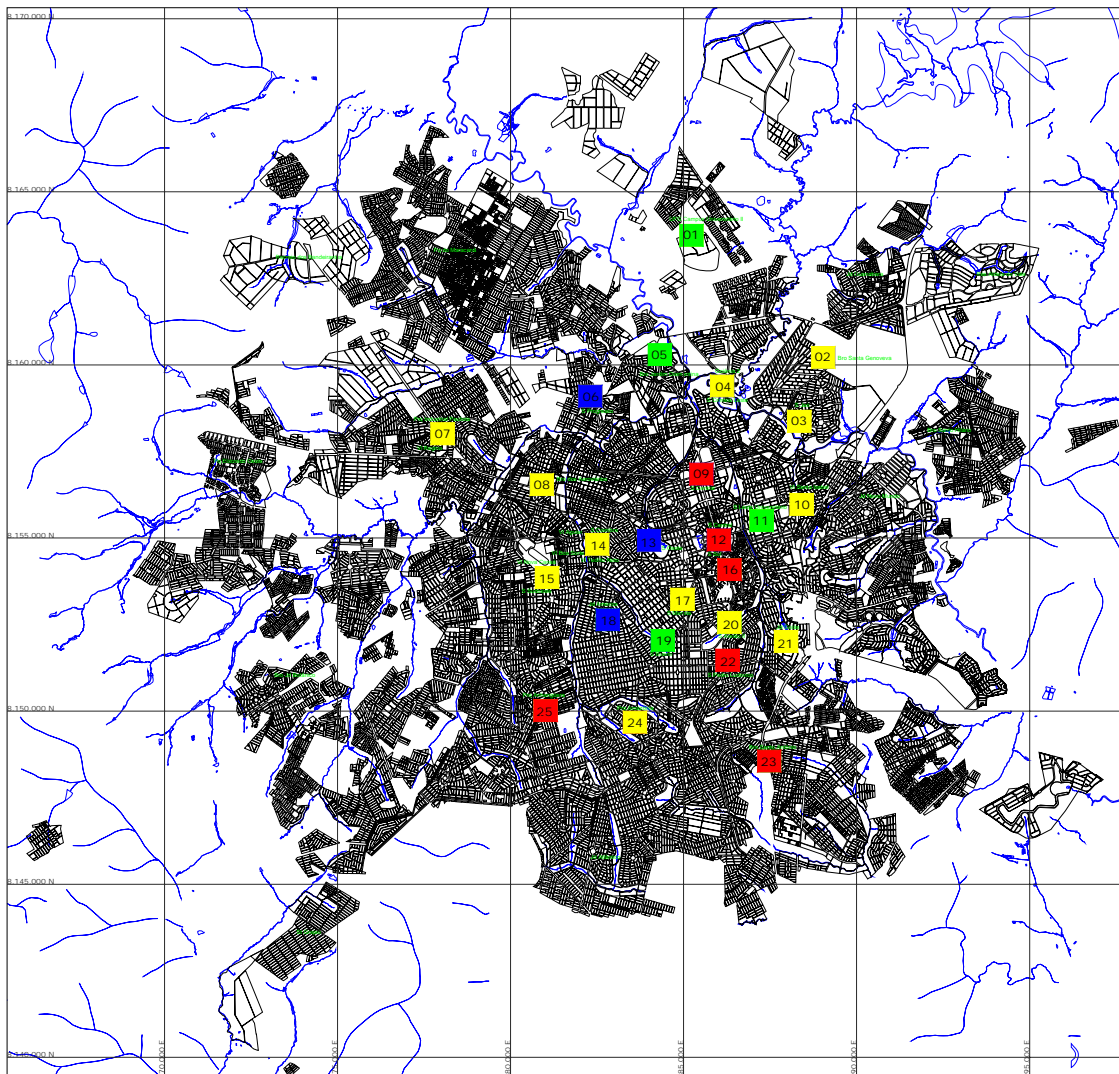


Figura 13. Distribuição de Frequência para o chumbo em Goiânia.

A distribuição de chumbo nos pontos amostrados da cidade de Goiânia é dada na Figura 14. Nos quadros 9 (Praça do Trabalhador), 12 (Praça Cívica), 16 (Praça do Cruzeiro), 22 (Terminal Izidória), 23 (BR 153 saída para Aparecida de Goiânia) e 25 (Av. Mal. Deodoro – Parque Anhanguera II) a concentração de chumbo se encontra na maior classe da distribuição (em vermelho). Todos estes locais, com exceção dos quadros 23 e 25 encontram-se na região central da cidade, o que explica níveis de chumbo mais elevados devido ao grande fluxo de veículos. A maior concentração do metal obtida no quadro 23 (BR 153) e 25 (Parque Anhanguera II) pode ser explicada

devido aos pontos de coleta se localizarem em regiões de elevado e constante fluxo diário de veículos.



Legenda:

Concentração de Chumbo (mg/Kg)	Cor
0,000 – 0,357	Verde
0,357 – 0,715	Amarelo
0,715 – 1,072	Azul
1,072 – 1,430	Vermelho

Figura 14. Distribuição de Chumbo na cidade de Goiânia.

Vários estudos sugerem a elevada importância de monitoramento de chumbo no ar em regiões urbanas e industriais (Quitério *et. al.*, 2003; Gioda *et. al.*, 2004; Toledo *et. al.*, 2007; Quitério *et. al.*, 2004; Quitério *et. al.*, 2006).

Estudos no Brasil em regiões próximas a reformadoras de baterias na cidade do Rio de Janeiro mostraram concentrações médias de chumbo de $4,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, antes da instalação de sistemas de exaustão (Quitério *et al.*, 2006), o que corresponde a um valor quase três vezes superior ao limite máximo proposto pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA). Outros resultados podem ser verificados na Tabela 7.

Tabela 7. Concentração de Chumbo no material particulado do ar em várias regiões.

Região	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Referência
Rio de Janeiro (Indust.)	0,0159	Toledo, <i>et. al.</i> , 2007
Volta Redonda (RJ - Indust.)	0,224	Gioda <i>et al.</i> , 2004
Charqueadas (RS - Indust.)	0,088	Carvalho <i>et. al.</i> , 2000
Rio de Janeiro (Urbana)	0,0149	Quitério <i>et. al.</i> , 2004
Islamabad (Paquistão - Urbana)	0,128	Shah & Shaheen, 2007
Frankfurt (Alemanha - Urbana)	0,0326	Zereini <i>et. al.</i> , 2005
Calcutta (Índia - Urbana)	6,630	Chakraborti <i>et. al.</i> , 1988
Lahore (Paquistão - Urbana)	3,920	Smith <i>et. al.</i> , 1996
Padrão EPA	1,5	
Padrão OMS	0,5	

A Tabela 7 mostra resultados com níveis acima dos padrões máximos do EPA e OMS para estudos realizados em Calcutá na Índia (4,5 vezes maior) e Lahore no Paquistão (2,6 vezes maior).

3.7 – Crômio

A distribuição de frequência dos resultados de crômio na cidade de Goiânia foi a que mais variou dentro das quatro classes de concentração estudada, com a maior frequência de resultados situada na segunda classe, conforme Figura 15.

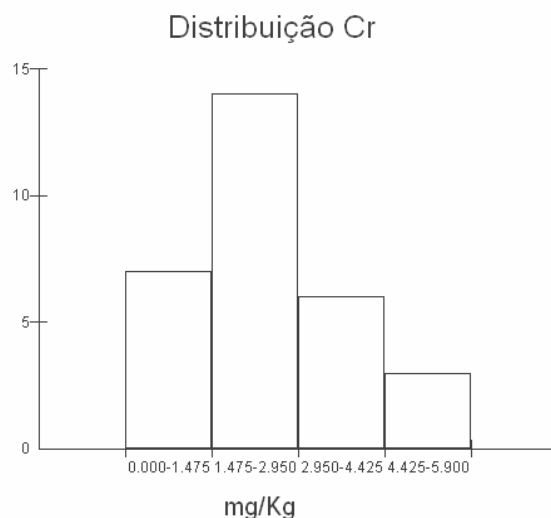
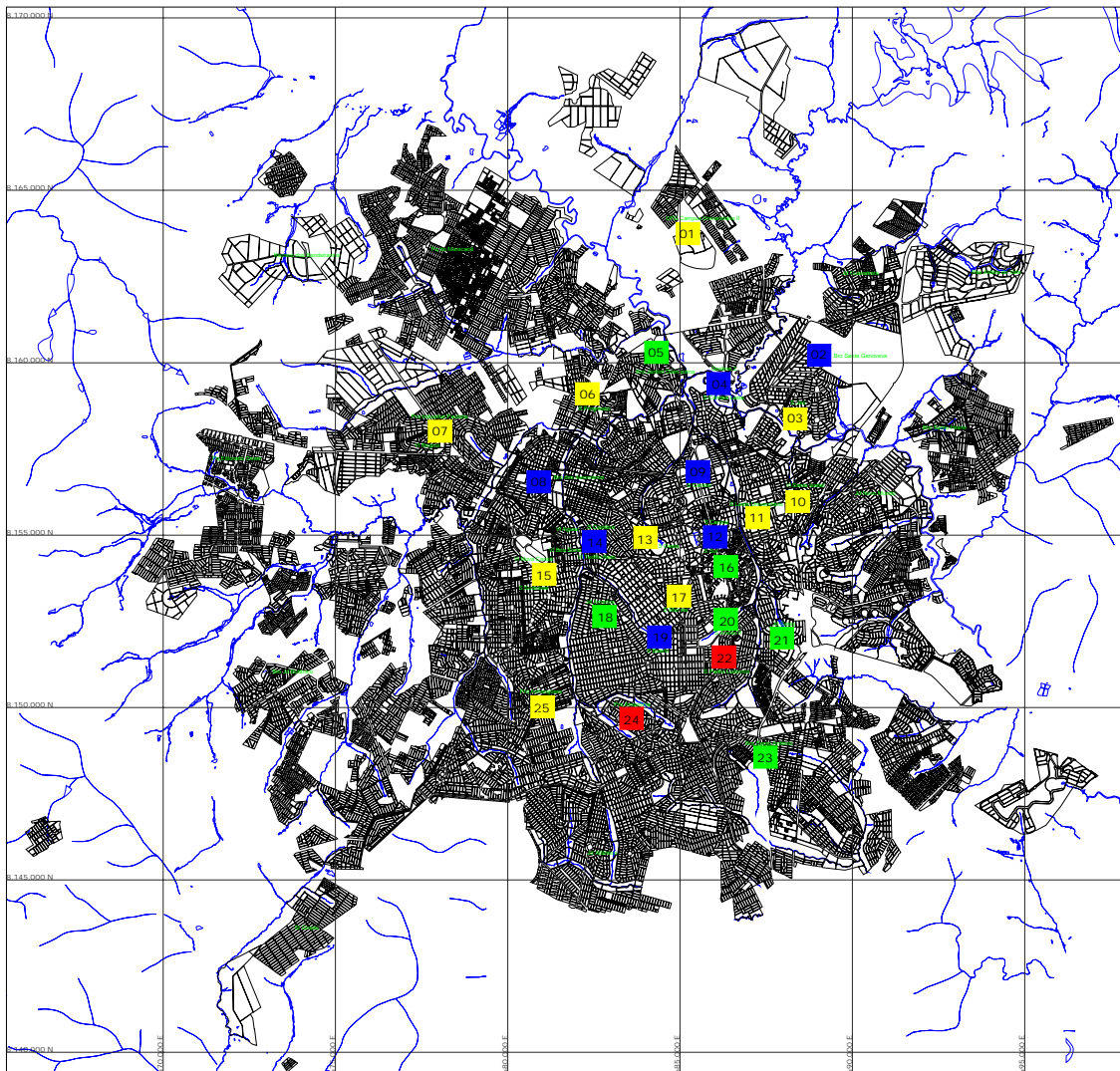


Figura 15. Distribuição de Frequência do Crômio na cidade de Goiânia.

A distribuição do metal crômio em Goiânia é dada na Figura 16. Em dois locais de amostragem, quadro 22 (Terminal Izidória) e 24 (Praça Senador José R. Moraes – Parque Amazônia), identificou-se concentrações de crômio na última classe da distribuição de frequência (em vermelho). No Terminal Izidória, o elevado fluxo de veículos pesados movidos a óleo diesel pode explicar a concentração elevada do metal. Na Praça Senador José R. Moraes há elevado fluxo de veículos, de onde provavelmente é advindo o metal. Outros sete quadros mostraram concentrações de crômio situados na terceira classe da distribuição de frequência (em azul), sendo eles 02 (Aeroporto Santa Geneveva), 04 (Setor Criméia leste – Corpo de Bombeiros), 08 (Estação Rodoviária de Campinas), 09 (Praça do Trabalhador), 12 (quatro pontos na Praça Cívica), 14 (Praça C,

setor Bueno/Coinbra) e 19 (Parque Vaca Brava). Em todos os pontos também existe um elevado fluxo de veículos automotores.



Legenda:

Concentração de Crômio (mg/Kg)	Cor
0,000 – 1,475	Verde
1,475 – 2,950	Amarelo
2,950 – 4,425	Azul
4,425 – 5,900	Vermelho

Figura 16. Distribuição do Crômio na cidade de Goiânia.

Em algumas regiões de Goiânia, os resultados encontrados para a concentração dos diversos metais pesquisados foram baixas, principalmente naquelas com pouco fluxo de veículos automotores, tais como os representados pelos quadros 3 (Setor Jaó - Praça da Liberdade), 4 (Setor Criméia Leste em frente ao Corpo de Bombeiros), 5 (Carrefour Norte), 1 (Lames-UFG) e 14 (Praça C - Setor Bueno/Coinbra). Comparando o quadro 12 (ponto 4), correspondente a Rua 96, viela próxima a Praça Cívica, observa-se que a concentração dos metais ferro, zinco e chumbo foram menores do que as obtidas no quadro 12, pontos 1, 2 e 3, os quais foram localizados no perímetro externo do referido local. Fenômeno semelhante ocorreu no quadro 10 (ponto 12) representado pela viela fora do perímetro da Praça da Bíblia, mostrando concentrações dos metais ferro, zinco e chumbo menores quando comparados com o ponto 11, localizado no perímetro interno da praça.

Estes resultados demonstram que os poluentes não se dispersam totalmente, de forma a se concentrarem nos pontos próximos ao processo de emissão. Outrossim, é possível concluir que há indicação de que os metais zinco e chumbo tenham com principal fonte de emissão, atividades antrópicas.

Uma análise de agrupamento hierárquico foi feita para verificar o agrupamento entre os sítios de coleta, conforme Figura 17.

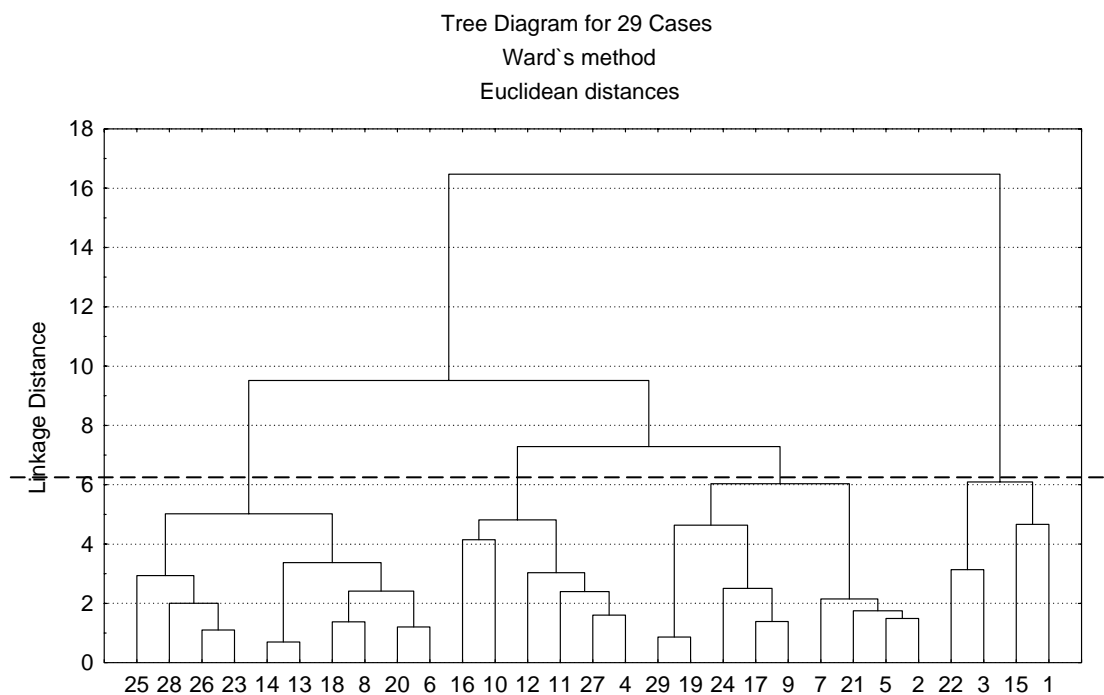


Figura 17. Dendrograma de agrupamento dos sítios de amostragem.

A Figura 17 mostra quatro agrupamentos principais:

Agrupamento 01: Pontos 1 (Praça Cívica 01), 15 (Av. Anhanguera com Perimetral Norte), 3 (Praça Cívica 03) e 22 (Estação Rodoviária de Campinas).

Agrupamento 02: Pontos 2 (Praça Cívica 02), 5 (Parque Zoológico), 21 (Criméia Leste – Corpo de Bombeiros), 7 (Shopping Flamboyant), 9 (Parque Vaca Brava), 17 (Aeroporto Santa Genoveva), 24 (Praça Senador José R. Moraes), 19 (Praça do Trabalhador) e 29 (Terminal Izidória).

Agrupamento 03: Pontos 4 (Rua 96 – Viela Praça Cívica), 27 (Av. L com Av. Perimetral Norte), 11 (Praça da Bíblia), 12 (Viela Praça da Bíblia), 10 (Av. 85 com a T-9) e 16 (BR 153).

Agrupamento 04: Pontos 6 (Praça Universitária – Fac. Farmácia), 20 (Av. Pedro Ludovico – Setor Sudoeste), 8 (Parque Areião), 18 (Praça Jardim América), 13 (Lames

– UFG), 14 (Carrefour Norte), 23 (Praça C), 26 (P. Liberdade – Setor Jaó), 28 (Av. Mal Deodoro) e 25 (Praça do Cruzeiro).

Estes agrupamentos representam os locais com maior similaridade em termos de concentrações de metais e particulado, de forma que o agrupamento 1 corresponde aos locais com maior concentração, com a concentração de metais sendo decrescente até o agrupamento 4, o qual apresenta menor concentração de metais.

4 – Conclusão

O presente estudo mostrou que é possível monitorar os níveis de metais presentes na atmosfera, por meio do sistema passivo de coleta de poluentes desenvolvido, denominado SISCO (Sistema de Coleta de Poluentes Atmosféricos).

Assim, observou-se que existem diferenças em termos de concentração de metais no ar nos diversos locais de amostragem de Goiânia. Nas regiões centrais e de elevado movimento de veículos, tais como Praça Cívica, Terminal Izidória, Praça da Bíblia, Praça do Trabalhador e BR 153 foi possível identificar uma maior concentração de poluentes, principalmente dos metais cromo e chumbo. As correlações positivas e significativas entre os metais cobre, ferro, manganês e zinco indicam que tanto de fonte natural quanto antropogênica. Já para os metais cromo e chumbo, há indicação de somente emissões antrópicas.

Existe correlação significativa entre os teores de ferro e particulado na forma de regressão exponencial, o que já era esperado devido a característica dos solos eutroféricos do estado de Goiás.

A análise de agrupamento hierárquico mostrou que os locais correspondentes a Praça Cívica (pontos 1 e 3), Av. Anhanguera com a Perimetral Norte (ponto 15) e

Estação Rodoviária de Campinas (ponto 22) estão agrupados por possuírem maiores concentrações de metais e particulados.

Assim, é possível utilizar o sistema de filtros recobertos com cera polimetilênica para monitorar metais nas cidades. Para isso é necessária a construção de um padrão, comparando este sistema com os amostradores de alto volume, já que existem níveis internacionais para concentrações de metais no material particulado utilizando esses sistemas.

Vale observar que o sistema desenvolvido é de baixo custo, de fácil instalação, e pode ser instalado nas épocas de seca, de forma a se ter uma distribuição geográfica e temporal das emissões de metais e de material particulado.

5 – Referências

- Almansour, M. I. *Pak. J. Biol. Sci.* **2004**, 7, 11.
- Araújo, U. C.; Mattos, R. De C. O. Da C.; Santos, L. S. C. *Cad. Saúde Pública*, **2003**, 19, 2.
- BEG - Beyond Economic Growth. Urban Air Pollution. 69 – 75, 2004.
- Biblos, C.; Colombo, J. C.; Skorupka, C. N.; Rodriguex Presa, M.J. *Environ. Pollut.* **2001**, 111.
- Carvalho, F. G.; Jablonski, A.; Teixeira, E. C. *Qui. Nova*, **2000**, 23.
- Chakraborti, D.; Van-Veaeck, L.; Van-Espen, P. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **1988**, 32.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções Conama, 1992.
- Dallinger, R.; Berger, B.; Birkel, S. *Oecologia*, **1992**, 89.
- Dockery, D. W.; Pope, C.A. *Annu. Rev. Publ. Health*, **1994**, 15.
- EPA (Environmental Protection Agency):. <http://epa.gov/air/criteria.html>Research. Acessada em janeiro de 2008.
- Ferreira, M. E., Cruz, M. P. C., Raij, B., Abreu. C. A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. 1. ed. Jaboticabal: 2001.
- Gioda, A.; Sales, J. A.; Cavalcanti, P. M. S.; Maia, M. F.; Maia, L. F. P. G.; Aquino Neto, F. R. *J. Braz. Chem. Soc.* **2004**, 15, 6.
- Gouveia, N.; Fletcher, T. *J. Occup. Environm. Medicine*, **2000**, 57.
- IBGE <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acessada em janeiro de 2008.
- Kalas J. A.; Steinnes E.; Lierhagen, S. L. *Environm. Pollut.* **2000**, 107.
- Manoli, E.; Voutsas, D.; Samara, C. *Atmos. Environ.* **2002**, 36.
- Moita Neto, J. M.; Moita, G. C. *Qui. Nova*, 1998, 21.
- Morawska, L.; Congrong, H.; Hitchins, J.; Gilbert, D.; Parappukaran, S. *Atmos. Environm.* **2001**, 35.

- Nam, D-H.; Lee, D-P, Koo, T-H. *Environ. Monit. Asses.* **2004**, 95.
- Ostro, B.; Chestnut, L. *Environm. Res.* **1998**, 76.
- Pirrone, N.; Keeler, G. J.; Warner, P. O. *Sci. Total Environ.* **1995**, 162.
- Quiterio, S. L.; Escaleira, V.; Sousa, C. R. S.; Maia, L. F. P. G.; Arbilla, G. *Environ. Contam. Toxicol.* **2004**, 72.
- Quiterio, S. L.; Sousa, C. R. S.; Arbilla, G.; Escaleira, V. *Atmos. Environ.* **2004**, 38.
- Quitério, S. L.; Moreira, F. R.; Silva C. R. S.; Arbilla, G.; Araújo, U. C.; Martins, R. De C. O. Da C. *Cad. Saúde Pública*, **2006**, 22, 9.
- Quitério, S. L.; Silva, C. R. S.; Arbilla, G.; Moreira, M. De F. R. *Atmo. Environm.* **2005**, 30, 19.
- Halek, F.; Kavouci, A.; Montehaie, H. *Int. J. Environm. Health Res.*, **2004**, 14, 4.
- Rashed, M. N.; Soltan M. E. *Environm. Monit. Assess.*, 2005, 110.
- Shah, M. H.; Shaheen, N. J. *Hazar. Mater.* **2007**, 147.
- Slezakova, K.; Pereira, M. C.; Reis M. A.; Alvim-Ferraz, M. C. J. *Atmos. Chem.* 2007, 58.
- Smith, D.J.T.; Harrision, R.M.; Luhana, L.; Casimiro, A. P.; Castro, L. M.; Tariq, M. N.; Hayat, S.; Quraishi, T. *Atmos. Environ.* 1996, 30.
- Sweeney, R. J.; Lovette, I. J.; Harvey, E. L. *Bioone*, 2004, 121.
- Toledo, V. E.; Almeida Júnior, P. B. De; Quitério, S. L.; Albilla, G.; Moreira, A.; Escaleira, V.; Moreira, J. C. *Environ Monit Assess*, (2007), doi: 10.1007/s10661-007-9815-y.
- Var, F.; Narita, Y.; Tanaka, S. *Atmos. Environ.* **2000**, 34.
- WHO - http://www.medwebplus.com/subject/guidelines/public_health. Acessada em janeiro de 2008.

Zereini, F.; Alt, F.; Messerschmidt, J.; Wiseman, C.; Feldmann, I.; Bohlen, A.V.;
Muller, J.; Liebl, K.; Puttmann, W. *Environ. Sci. Technol.* **2005**, 39.

CONCLUSÃO GERAL

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e aumento nos volumes de produção, o monitoramento e biomonitoramento de metais torna-se cada vez mais importante para quantificar e propor métodos de diminuição de emissões no meio ambiente. Neste sentido, este trabalho permite obter algumas conclusões:

- Considerando o biomonitoramento em penas de pombos (*Columba livia*) e pêlos de animais silvestres e o monitoramento utilizando filtros recobertos com cêra polimetilênica, metais como chumbo, crômio e cádmio são advindos quase que exclusivamente da ação antrópica, e são depositados no corpo das aves, pêlos de animais, ou absorvidos via alimentação para os biomonitores e depositados nos SISCO via PTS ou na forma gasosa;
- Metais essenciais para a formação dos seres vivos como o cobre, manganês e zinco, são absorvidos pelos tecidos quase que exclusivamente via dieta dos animais;
- Para monitoramento ou biomonitoramento de metais no meio ambiente, sugere-se a determinação apenas dos metais Zn, Cd, Cr e Pb, devido à similaridade de fontes de emissão e diferenças estatísticas observadas;
- É possível quantificar e monitorar os níveis de metais no meio ambiente através do uso das penas dos pombos (*Columba livia*) onde é preferível utilizar as penas não lavadas para caracterizar além dos níveis de metais absorvidos pela dieta, aqueles agregados ao ar; e as penas lavadas para caracterizar o nível de metais advindos das dietas, solo e água.

- A determinação de metais em pêlos de animais demonstra inclusive ser útil para comparar os níveis de impacto ambiental sobre os seres vivos de diferentes regiões.
- Em nenhum dos processos de monitoramento ou biomonitoramento foram observadas concentrações comparativamente muito elevadas ou preocupantes para o meio ambiente. Contudo, os sistemas SISCO mostraram um aumento progressivo nos teores de metais tóxicos como chumbo e crômio em regiões com maior tráfego de veículos automotores.
- É possível utilizar o sistema de coleta de poluentes passivo para monitorar metais nas cidades com menores custos. Para isso é necessária a construção de padrões, comparando este sistema com os amostradores de alto volume, já que existem padrões internacionais para concentrações de metais no material particulado baseados nesses sistemas.
- Independentemente da existência de padrões, os sistemas SISCO podem ser utilizados para acompanhamento temporal das concentrações de metais na atmosfera em épocas de ausência de chuvas, e para determinar as regiões de maior incidência de poluentes metálicos em um determinado período.

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](#)