

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MATHEUS HENRIQUE DA SILVA

**O USO DE *Tillandsia recurvata* (L.)L. COMO BIOMONITORA DE
ZINCO (Zn) ATMOSFÉRICO NA ÁREA URBANA DE LONDRINA, PR.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA - PR
2013**

MATHEUS HENRIQUE DA SILVA

O USO DE *Tillandsia recurvata* (L.)L. COMO BIOMONITORA DE ZINCO (Zn) ATMOSFÉRICO NA ÁREA URBANA DE LONDRINA, PR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de graduação no Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. PATRÍCIA CARNEIRO LOBO FARIA

Co-orientadora: Profa. Dra. LÚCIA FELICIDADE DIAS

**LONDRINA - PR
2013**

TERMO DE APROVAÇÃO

O uso de *Tillandsia recurvata* (L.) L. como biomonitora de Zinco (Zn) atmosférico na área urbana de Londrina, PR.

por

Matheus Henrique da Silva

Monografia apresentada no dia 23 de abril de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Profa. Dra. Alessandra Furtado da Silva
(UTFPR)

Profa. Dra. Katia Valeria Marques Cardoso Prates
(UTFPR)

Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

O Termo de Aprovação assinado encontra-se com a coordenação do curso

Dedico este trabalho

*Aos meus pais que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado nos
piores momentos, à minha namorada que com suas palavras me faz
refletir e sempre me impulsiona na realização de meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por iluminar meus caminhos para que eu pudesse trilhar até aqui.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Patrícia Carneiro Lobo Faria por sua dedicação em compartilhar seus conhecimentos e se arriscar nesta aventura em um mundo pouco conhecido.

À minha co-orientadora Prof^a Dr^a Lúcia Felicidade Dias por sua paciência, compreensão e ajuda no constante amadurecimento de meus conhecimentos.

À Prof^a Dr^a Alessandra Furtado da Silva pela ajuda com métodos e informações importantes para a execução deste trabalho.

A Prof^a Dr^a Kátia Valeria Marques Cardoso Prates por sua avaliação e sugestões para a melhoria do trabalho.

À minha namorada Aryane pela ajuda, pelo companheirismo, amor e constante incentivo. Obrigado por encher minha vida de momentos inesquecíveis.

Aos colegas de laboratório que me apoiaram em todas as dificuldades no processo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigado.

“ [...]Ó mãe Terra! Secamos as tuas fontes, sujamos os teus riachos, cortamos as tuas
árvores, exterminamos os teus animais.
Poluímos os teus ares, conspurcamos os teus mares, depredamos tuas entranhas e te
ferimos da cabeça aos pés.
E não fizemos mais porque ainda não deu tempo, Planeta Terra, Planeta Terra,
Quanto tempo aguentarás?
[...]

Que o Senhor dono da vida nos eduque todo dia pra viver em harmonia com o verde e
com as águas, é assim que tem que ser.”

(José Fernandes de Oliveira [Pe. Zezinho], 2009)

RESUMO

SILVA, Matheus Henrique. O uso de *Tillandsia recurvata* (L.)L. como biomonitora de Zinco (Zn) atmosférico na área urbana de Londrina, PR. 2013. 45 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, 2013.

A urbanização e o crescente desenvolvimento das cidades, em especial da frota veicular e da expansão industrial, trazem como consequências uma série de perturbações ambientais como o desmatamento, a ameaça às populações silvestres e a contínua e crescente poluição atmosférica, do solo e das águas. Essa situação exige dos setores governamentais medidas reguladoras, preventivas e mitigadoras da poluição. *Tillandsia recurvata* (L.)L. é uma bromélia epífita, cujo corpo é principalmente formado por folhas cobertas por escamas capazes de absorver água e nutrientes diretamente do ar, sendo de ocorrência muito comum na área urbana de Londrina, crescendo sobre árvores e fiação elétrica e telefônica. A facilidade ao seu acesso estimulou a ideia de verificar se há um padrão de poluição por zinco em determinadas regiões de Londrina e se há viabilidade no uso dessa espécie para um sistema de biomonitoramento. Para isso foram escolhidas 5 regiões na área urbana de Londrina, sendo uma na área central (AC) com alto fluxo de veículos, 2 áreas industriais (IL e IS) e 2 residenciais (RC e RL), estas últimas consideradas como controle, sem indústrias e com baixo fluxo veicular. Em cada região foram determinados 5 pontos de amostragem e para cada ponto foram coletadas 3 amostras compostas de *T. recurvata*. Após as coletas as impurezas ou outros organismos foram manualmente removidos. A seguir as amostras foram submetidas à estufa de secagem até peso constante, carbonizadas e levadas à mufla para obtenção de cinzas. Amostras de 50mg de cinzas foram mantidas em solução de ácido nítrico em tubos de polietileno por 72 horas em refrigerador. A quantidade de Zn presente nas cinzas foi determinada por espectrometria de absorção atômica por chama. A concentração de Zn nas plantas variou entre 0,42 mg.g⁻¹ e 3,8936 mg.g⁻¹ de matéria seca, atingindo níveis significativamente maiores que os citados como tóxicos para plantas cultivadas. A região central e as industriais apresentaram os valores mais altos de Zn, permitindo a associação do seu acúmulo em *T. recurvata* às emissões antrópicas, tanto industriais quanto veiculares. A possível corrosão de tanques que armazenam combustíveis tem sido apresentada como fonte de liberação de zinco para a atmosfera. Os resultados demonstraram o potencial de *T. recurvata* como acumuladora de Zn, podendo atuar como biomonitora da poluição do ar por metais e indicam, também, a necessidade do monitoramento da qualidade do ar em Londrina.

Palavras-Chave: Biomonitoramento. Zinco. *Tillandsia*. Poluição atmosférica.

ABSTRACT

SILVA, Matheus Henrique. The use of *Tillandsia recurvata* (L.)L. as biomonitor of Zinc (Zn) on air pollution in the urban area of Londrina, PR. 2013. 45 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, 2013.

The urbanization and the natural and constant growth of cities, especially vehicle and industry expansion, causes several environmental disturbances, such as deforestation, threat to wild populations, and the continuous atmospheric and environmental pollution. This situation demands from the government preventive and regulatory actions, as well as pollution mitigating. *Tillandsia recurvata* (L.) L. is an aerial epiphytic bromeliad that lives on trees or telephone wiring. Its body is formed mainly by linear leaves profusely covered with absorptive trichomes, that take out nutrients directly from the atmosphere. This capability has proposed the use of epiphytic plants as air pollution biomonitors. *T. recurvata* is very common and abundant in Londrina and for this reason this species was selected to carry out a monitoring study of air pollution by zinc. In this study, five sites from different areas were chosen to monitor air pollution by zinc, based on the vehicular traffic variation as well as the presence of industries. Two sites were set up in residential areas with light traffic flow, one site was set up in the central area where the traffic flow is heavy and two other sites in the industrial areas. For every site 5 points were determined for sample collection. Three composite samples per site were collected from the tree branches at 1,5 to 2,5 m from the ground, each composed by two or three individuals. Prior to chemical analyses, the samples were manually cleaned by removing extraneous materials and oven dried at 70°C until reaching constant weight. After this procedure, the samples were placed to muffle kiln to produce the ashes. Fifty mg of the ashes were accurately weighed and kept in the refrigerator in polystyrene test tubes with nitric acid (HNO₃) for 72 hours. The solution was filtered and submitted to determination of zinc by flame atomic absorption spectrometry. The Zn concentration ranged between 0,4255 mg.g⁻¹ to 3,8936 mg.g⁻¹, reaching levels significantly higher than those listed as toxic to grown plants. The obtained data also showed that the residential sites presented lower concentration for Zn and the highest concentrations were observed at the central area, where there is a higher vehicular traffic, what can be associated to the presence of anthropogenic emission sources. The possible deterioration of the vehicle's fuel tanks might contributes to release Zn to the atmosphere. The results indicated a promising potential of these species as biomonitors of air pollution as well as the need for monitoring the quality of the air in Londrina.

Keywords: Biomonitoring. Zinc. *Tillandsia*. Atmospheric pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Efeitos da concentração de zinco na atividade enzimática.	18
Figura 2	Localização das regiões escolhidas para a coleta das amostras e biomonitoramento de zinco.	24
Figura 3	Detalhe de amostra de <i>Tillandsia recurvata</i> in situ.	26
Figura 4	Disposição de cadinhos e cápsulas no interior da mufla.	28
Figura 5	Cinzas obtidas após o procedimento na mufla.	29
Figura 6	Armazenamento de cinzas em potes de poliestireno.	29
Figura 7	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> na região residencial, conjunto Lindoia (RL), Londrina, PR.	33
Figura 8	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> na região residencial, conjunto Maria Cecília (RC) do município de Londrina, PR.	34
Figura 9	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> na região do parque das indústrias leves (IL), no município de Londrina, PR.	34
Figura 10	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> na região do parque industrial da zona sul (IS), no município de Londrina, PR.	35
Figura 11	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> na região central (AC) do município de Londrina, PR.	36
Figura 12	Concentração de Zn acumulado em plantas de <i>Tillandsia recurvata</i> nas regiões: residenciais (RL e RC), industriais (IL e IS) e central (AC) do município de Londrina, PR.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Características dos pontos de coleta de <i>Tillandsia recurvata</i> na Área Central (AC).	23
Quadro 2	Características dos pontos de coleta de <i>Tillandsia recurvata</i> em áreas industriais no município de Londrina, PR.	25
Quadro 3	Características dos pontos de coleta de <i>Tillandsia recurvata</i> em áreas residenciais no município de Londrina, PR.	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. Características básicas do Zinco	14
3.2. Zinco e o ambiente	15
3.3. Zinco e os seres vivos	16
3.4. Biomonitoramento	18
3.5. Epífitas do gênero <i>Tillandsia</i>	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. Materiais	22
4.2. Metodologia	22
4.2.1. Identificação dos locais de amostragem	22
4.2.2. Identificação da espécie	26
4.2.3. Coleta das Amostras	26
4.2.4. Preparação das Amostras	27
4.2.5. Determinação de zinco	30
4.2.6. Análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é um bem extremamente vital para a sobrevivência dos seres humanos que, atualmente, compreendem 7 bilhões de indivíduos (UNFPA/ONU, 2011). No entanto, este bem valioso não está recebendo seu devido cuidado, pois a poluição vem aumentando progressivamente nas últimas décadas, como consequência da urbanização e com os produtos de processos industriais. O aumento da frota de veículos, consequência do aumento populacional afeta diretamente a qualidade do ar (WEBER NETO, 2007).

Na atmosfera a contaminação advém de materiais particulados oriundos de queimas de resíduos, fuligem, indústrias, produção de energia e principalmente por meio de processos de combustão. O material particulado pode ser classificado em partículas inaláveis, fumaça, partículas totais em suspensão e partículas inaláveis finas (CETESB, 2011).

O zinco é um metal e sua principal fonte de deposição são as ações antrópicas que liberam zinco como material particulado juntamente com outros metais pesados na produção de pilhas e baterias contendo zinco, processos industriais de ligas metálicas, queima de combustíveis fósseis e casas de fundição (KORN et al., 2007; PRADO et al., 2011). É considerado um dos elementos que possuem toxicidade juntamente com o chumbo, níquel, cádmio, mercúrio e manganês (GAZANO, 2006), no entanto sua toxicidade é considerada baixa além de ser um elemento essencial ao desenvolvimento dos seres vivos, portanto não é avaliado como potencial poluidor do ambiente. Altas concentrações de zinco podem alterar significativamente a qualidade natural do ambiente podendo atingir concentrações preocupantes e causar danos à fauna e ao desenvolvimento da flora (GAZANO, 2006; PINTO et al., 2009).

Poluentes atmosféricos são facilmente dispersos e muitas vezes invisíveis aos olhos humanos, portanto sua detecção requer a utilização de equipamentos para monitorar a qualidade do ar e avaliar possíveis riscos futuros ao ambiente e ao homem (DRAGUNSKI et al., 2009).

Há diversas formas de detectar os componentes atmosféricos, bem como diversas tecnologias que possibilitam a coleta e identificação dos diversos tipos de

contaminantes atmosféricos, como os instrumentos utilizados para o monitoramento da qualidade do ar da região metropolitana de São Paulo, pertencentes à CETESB. (CETESB, 2011). Uma forma complementar de monitorar os poluentes utiliza seres vivos que possuam sensibilidade ao permanecer em exposição aos contaminantes do ar. Eles demonstram alterações diversificadas por meio de mudanças em suas funções vitais ou em sua composição química. Estes seres vivos são chamados biomonitores (ARNDT; SCHWEIZER, 1991).

Os biomonitores reagem a um ambiente poluído de maneira que pode ser facilmente verificável, uma vez que alguns contaminantes são encontrados em concentrações tão baixas que são difíceis de serem identificados por métodos comuns, mas as plantas podem acumulá-los até um nível que sejam mais fáceis de serem analisados (DE TEMMERMAN et al., 2004 apud NOGUEIRA, 2006).

No município de Londrina o crescimento urbano elevou-se muito na década de 70 quando houve a inversão da cultura cafeeira e a política agrícola voltou-se para a produção de grãos visando o mercado externo. Nessa década a cidade possuía um crescimento populacional de 115,3%, que evoluiu constantemente em um índice menor, chegando hoje a 506.701 habitantes, sendo considerada a segunda maior cidade do Paraná e 4ª do sul do país (PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA, S/D; CASTELNOU, 1996; IBGE, 2010). Antes da urbanização a região de Londrina era coberta quase em sua totalidade pela floresta estacional semidecidual, restando hoje uma pequena porcentagem devido ao crescimento urbano e agropecuário. Juntamente com a urbanização houve o crescimento da frota de veículos que em Janeiro de 2013 atingiu 326.594 veículos e mantém um crescimento da frota acima de 6% ao ano (IBGE, 2010; DETRAN-PR, 2013).

Em muitas regiões de Londrina pode ser encontrada a bromélia epífita *Tillandsia recurvata* (L.) L., já empregada em estudos de biomonitoramento, de forma abundante em árvores, grades e fios de rede de distribuição elétrica e telefônica. A facilidade ao seu acesso estimulou a ideia de verificar se há um padrão de poluição por zinco em determinadas regiões de Londrina e se há viabilidade no uso da *T. recurvata* como biomonitora, para a criação de um sistema de biomonitoramento no município.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetivou avaliar o potencial de *Tillandsia recurvata* (L.) L. como biomonitora de zinco como contaminante atmosférico.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar se áreas urbanas de grande fluxo de veículos e áreas industriais de Londrina apresentam maior concentração de zinco na atmosfera;
- Treinar a prática de preparação de amostras para a determinação de Zn em cinzas;
- Aprender o manuseio do Espectrômetro de Absorção Atômica;
- Quantificar Zn nas amostras e relacionar o biomonitoramento como uma prática ligada à formação do Engenheiro Ambiental.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Características básicas do Zinco

Os metais pesados são um grupo heterogêneo de elementos que incluem metais, semi-metais e não metais que possuem a densidade maior que 5 g/cm^3 , de acordo com Malavolta (2006).

Dentre os metais pesados conhecidos atualmente estão o chumbo, o cobre, o cádmio, o zinco, o níquel, o mercúrio e o cromo, que apresentam algumas propriedades metálicas como cátions (por exemplo, ductibilidade, condutividade, estabilidade), além de possuírem um número atômico maior que 20 (LASAT, 2000).

O zinco é um metal de transição que possui uma coloração branco-azulada, forma minerais com o enxofre (S) com relativa abundância, sendo principalmente encontrado como esfalerita ou sulfeto de zinco (ZnS). O zinco na forma de pó é explosivo e se guardado em um local com elevada umidade pode explodir em chamas (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005; GAZANO, 2006).

Naturalmente o zinco pode ser encontrado na forma de cinco isótopos estáveis: ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{67}Zn , ^{68}Zn e ^{70}Zn (MAFRA, 2004). A diferença do zinco para os outros metais de transição é que ele possui a camada 'd' completa e conseqüentemente não participa de reações redoxes em grandes proporções, mas aceita um par de elétrons agindo como ácido de Lewis (MAFRA, 2004).

Ele é caracterizado por sua alta resistência a corrosão o que permite sua utilização como revestimento de diversos materiais visando à proteção do produto à corrosão. De acordo com Gazano (2006), o óxido e o pó de zinco são utilizados em diversas áreas e produtos.

Devido às suas características ele pode ser encontrado em produtos químicos, cosméticos, farmacêuticos, borrachas, explosivos, tinta e papel, também sendo utilizado para fazer a proteção de aço ou ferro (GAZANO, 2006).

3.2 Zinco e o Ambiente

O zinco é um elemento abundante na crosta terrestre, podendo ser encontrado na atmosfera, no solo e na água, está presente em todos os alimentos (INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION, 1997; U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005; BRESSAN, 2010).

Compostos de zinco são altamente utilizados na indústria e comumente são encontrados em locais juntamente com diversos resíduos perigosos, eles são: cloreto de zinco, óxido de zinco, sulfato e sulfeto de zinco (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005).

No solo, a presença excessiva do zinco ocorre pela eliminação de resíduos de indústrias de fabricação de metais e por cinzas de carvão de termoelétricas (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005). Para as plantas, segundo a pesquisa de FAGERIA (2000), os níveis tóxicos de zinco no solo estão entre 40 e 110 mg de zinco por kg de solo ou superiores a isto. De acordo com a resolução do CONAMA nº 420 de 2009 os valores de investigação para o Zn em áreas industriais são de 2.000 mg/kg e em áreas residenciais de 1000 mg/kg.

Na água o zinco pode ser carregado do solo ou ser proveniente de efluentes lançados sem o devido tratamento. A quantidade natural de zinco em águas superficiais está entre 4 e 40 µg de zinco por litro de água (INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION, 1997; U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005). Segundo a resolução do CONAMA nº 357 de 2005 a concentração de zinco em rios classificados como 1 e 2 é de 0,18 mg/kg.

A presença do zinco na atmosfera provém de formas naturais e também por processos e atividades industriais como mineração, queima de carvão e produção de ligas metálicas além de outras consequências da urbanização (INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION, 1997; U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005). Sua concentração em regiões rurais está em torno

de 0,01 e 0,2 µg a cada metro cúbico de ar (INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION, 1997).

3.3 Zinco e os seres vivos

No corpo humano o zinco é o segundo elemento traço em abundância e desde 1960 possui sua importância comprovada, pois participa da estrutura de enzimas e proteínas e é essencial para a ação catalítica de mais de 300 enzimas (MAFRA, 2004; BRESSAN, 2010). Em termos quantitativos o organismo humano possui cerca de 1,5 e 2,5 g de zinco presente em todos os órgãos, concentrando-se em ossos, músculos voluntários e pele (MAFRA, 2004; HOGSTRAND et al., 2009).

Nas proteínas antioxidantes, devido à sua função estrutural, o zinco possui um papel importante no controle do estresse oxidativo, que está relacionado a doenças crônicas não transmissíveis como o câncer (SUBAPRIYA et al., 2002).

A recomendação diária de consumo de zinco para um adulto varia de 8 a 11 mg/dia, e é comumente encontrado em diversos alimentos como mariscos, ostras, carnes vermelhas e ovos (MAFRA, 2004).

O zinco apesar de ser um elemento essencial ao homem e um micronutriente para plantas, quando encontrado em altas concentrações pode ser prejudicial ao homem e até nocivo à plantas por afetar seu metabolismo e crescimento (MARSCHNER, 1995; GAZANO, 2006).

De acordo com o U.S. Department of Health and Human Services (2005), a inalação de grandes quantidades de zinco pode causar uma doença a curto prazo chamada febre dos fumos metálicos, que é reversível com o final da exposição ao zinco.

A principal via de contaminação por zinco é a ingestão, que pode ocorrer por alimentos, água ou até suplementos alimentares que são utilizados em casos de deficiência de zinco no organismo. Grandes quantidades de zinco ingeridas, na proporção de 10 a 15 vezes o total recomendado (8 a 11 mg/dia), pode causar em um curto espaço de tempo cólicas estomacais, náuseas e vômitos. Caso ingeridas

durante um longo prazo pode causar anemia, danos no pâncreas e diminuição nos níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL) (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2005).

Assim como para os seres humanos, o zinco também é um nutriente essencial para as plantas, desempenhando funções como o acoplamento de enzimas aos seus substratos e a formação de quelatos com diferentes compostos orgânicos (FURLANI, 2004). Em plantas superiores existem algumas enzimas que contêm zinco em sua estrutura, no entanto são muitas as enzimas que possuem a ativação relacionada ao zinco. Assim, a deficiência deste elemento causa mudanças no metabolismo (Figura 01), comprometimento da integridade das membranas além de possuir uma grande importância na regulação gênica (FURLANI, 2004).

De acordo com Furlani (2004), “a demanda de Zn pelas plantas está na faixa de 15 a 30 mg.kg⁻¹ de matéria seca de folhas” e dentre as mudanças que a deficiência de zinco causa nas plantas estão a alteração no metabolismo de carboidratos, a desestruturação dos cloroplastos que causa a inibição da fotossíntese, a redução no teor das proteínas e aumento no teor dos aminoácidos e amidas, a elevação dos níveis de radicais livres e a desestruturação das membranas. Estas mudanças causam uma série de consequências e sintomas como entrenós curtos, redução no tamanho das folhas, clorose e o aumento da susceptibilidade às doenças fúngicas.

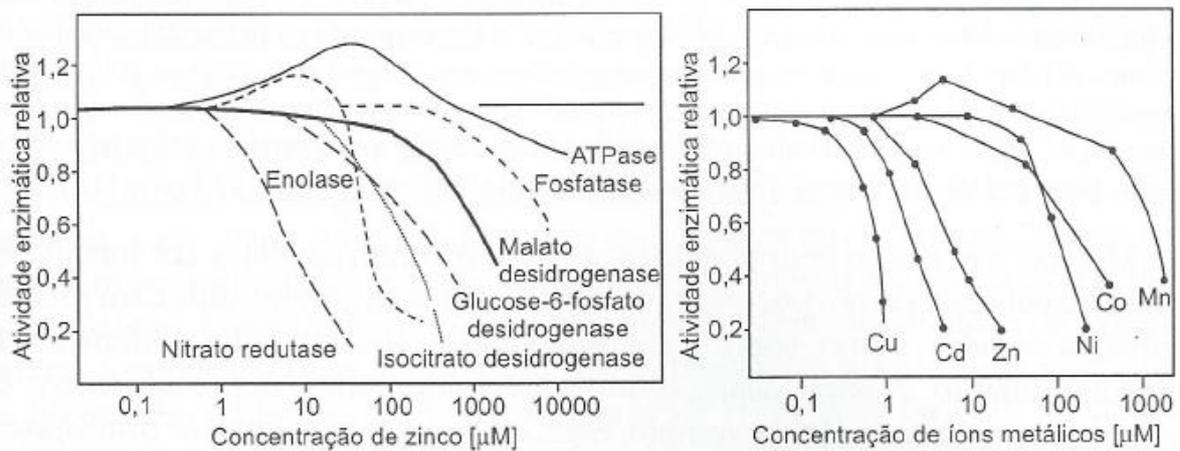


Figura 1- Efeitos da concentração de zinco na atividade enzimática.

Fonte: ERNEST, 1976; ERNEST & JOOSSE-VAN DAMME, 1983 apud LARCHER, 2004.

Ainda segundo Furlani (2004) em plantas cultivadas a toxicidade pode variar entre 0,2 e 0,5 mg.g⁻¹, podendo chegar a 8 mg.g⁻¹ em espécies nativas consideradas tolerantes.

Devido a essa toxicidade em altas concentrações, a presença de zinco no ambiente causa sérias preocupações surgindo com isto a necessidade de um monitoramento dos locais contaminados.

3.4 Biomonitoramento

A presença dos diversos tipos de poluentes na atmosfera principalmente das regiões urbanas acaba comprometendo diretamente na qualidade de vida dos habitantes, a saúde dos seres humanos, dos animais, da flora local e causando danos aos materiais (CARNEIRO, 2004). Estes fatos de acordo com Carneiro (2004) despertaram a necessidade de identificação destes agentes causadores de danos o mais rapidamente possível para que o problema seja remediado antes de significativas perdas. Esta identificação se dá por meio de medidas e estratégias, bem como por instrumentos e métodos de intervenção.

Os seres vivos passaram a ser usados como forma de verificar alterações danosas na qualidade do ambiente em meados do século XIX, denominado posteriormente biomonitoramento (XIAO et al., 1998).

O biomonitoramento se baseia no fato de que estímulos ambientais provocam reações diversas no organismo vivo, resultando em alterações em suas funções vitais ou composição química, podendo com isto detectar qualitativa e quantitativamente as respostas obtidas (LARCHER, 2004; PROCHNOW, 2005).

Segundo Nogueira (2006), o biomonitoramento torna possível a determinação do padrão de distribuição de poluentes e suas variações temporais. Uma vez que em países em desenvolvimento a rede de monitoramento é muito limitada, o biomonitoramento torna-se adequado pelo seu baixo custo e fácil manuseio.

As plantas biomonitoras reagem a um ambiente poluído de maneira que pode ser facilmente verificável, uma vez que alguns contaminantes são encontrados em concentrações tão baixas que são difíceis de serem identificados por métodos comuns, mas as plantas podem acumulá-los até um nível que sejam mais fáceis de serem analisados (DE TEMMERMAN et al., 2004 apud NOGUEIRA, 2006).

Para o biomonitoramento atmosférico são utilizadas diversas espécies vegetais como epífitas, musgos e também líquens e fungos. Os musgos não são muito utilizados, pois apesar de possuírem uma boa sensibilidade a poluentes não é fácil relacioná-los com suas reações. Já os líquens possuem muita tolerância à poluição, no entanto as plantas superiores são mais utilizadas devido ao seu fácil manuseio e à sua eficiência como bioacumuladores (PROCHNOW, 2005; NOGUEIRA, 2006).

Musgos e líquens, em sua maioria são bioindicadores por reação, ou seja, quando os organismos não acumulam os poluentes, mas sofrem alterações morfológicas, fisiológicas, genéticas e etológicas, são chamados de bioindicadores de reação (ROSSBACH et al., 1999; WAPPELHORST et al., 2000; PIGNATA et al., 2001; CARNEIRO, 2004).

Biomonitores também podem possuir a característica de acumular os contaminantes sendo chamados de bioacumuladores, utilizados principalmente para monitorar metais e, também, como citado por Carneiro (2004), angiospermas como a *Populus nigra* podem acumular O₃. São plantas com baixa sensibilidade à poluição atmosférica e acumulam os gases e partículas em seus tecidos que são assimilados como micronutrientes (PROCHNOW, 2005, NOGUEIRA, 2006).

Os biomonitores também podem ser classificados em ativos e passivos. Os biomonitores passivos são analisados em seu ambiente natural, no próprio local em que o organismo se desenvolve, enquanto os biomonitores ativos são removidos de seu local de origem e expostos em outros locais que são previamente definidos para o estudo, por determinado tempo, para que possa absorver e acumular os metais (LARCHER, 2004; PROCHNOW, 2005).

Comparado com os métodos tradicionais de monitoramento da qualidade do ar o biomonitoramento apresenta uma série de vantagens como o baixo custo, tanto para a instalação de um sistema de biomonitoramento quanto para o seu acompanhamento, ausência de aparelhagem sofisticada de medição e sua onerosa manutenção, possui eficiência na análise de grandes áreas e em longos períodos de tempo, além da viabilidade de se avaliar componentes com baixa concentração no ambiente (PIGNATA et al., 2001; IOVINE, 2012).

3.5 Epífitas do gênero *Tillandsia*

A família Bromeliaceae possui seus representantes distribuídos em três grandes subfamílias: Pitcairnioideae, Bromelioideae e Tillandsioideae. Boa parte das Tillandsioideae é adaptada a ambientes secos e possui um crescimento totalmente especializado ao epifitismo ou a ambientes xéricos (JUDD et al., 2009).

As espécies de bromélias do gênero *Tillandsia* formam o grupo mais representativo desta subfamília, com 450 espécies (JUDD et al., 2009). São conhecidas como bioindicadores de contaminação atmosférica e têm sido utilizadas para o monitoramento da qualidade do ar (GRACIANO et al., 2003; FIGUEIREDO et al., 2004; CARNEIRO, 2004; DRAGUNSKI et al., 2009). O gênero *Tillandsia* possui um crescimento lento e uma alta capacidade de retenção de água e nutrientes da atmosfera, sendo possível a sua sobrevivência em ambientes com condições adversas (MALM et al., 1998).

As espécies de *Tillandsia* possuem raízes reduzidas que tem a função apenas de fixação ao substrato como tronco de árvores, fios elétricos e telhados, deixando a função de absorção para os tricomas, escamas peltadas na lâmina foliar que aumentam significativamente a área de absorção da planta (PROCHNOW, 2005). Devido à esta capacidade de absorção de água e nutrientes do ar esses tricomas são responsáveis pela alimentação da planta (NOGUEIRA, 2006). Por essas características as espécies do gênero *Tillandsia* são apropriadas para o monitoramento de áreas contaminadas (MALM et al., 1998).

Algumas espécies deste gênero já são utilizadas como biomonitores de poluição atmosférica em algumas cidades dentro e fora do país, como a *Tillandsia usneoides* utilizada no Rio de Janeiro e em São Paulo (AMADO FILHO et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2004), *Tillandsia recurvata* em Buenos Aires na Argentina (GRACIANO et al., 2003) e *Tillandsia bulbosa* em Florença na Itália (BRIGHIGNA et al., 2002).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a realização dos procedimentos metodológicos foram os seguintes: sacos de papel, cápsulas e cadinhos de porcelana, pistilo, tesoura, bico de Bunsen, tripé, tela de amianto, pinças, tubos de polipropileno e poliestireno, papel de filtro quantitativo, funil, pipetas e micropipetador. Por se tratar da determinação de metais os cuidados são de extrema importância. Após o processamento de cada amostra, todos os materiais foram lavados e a seguir esterilizados através de banho de 24 horas em solução de ácido nítrico (20%) seguido de 24 horas em ácido nítrico (40%). O enxágüe foi realizado com água deionizada seguido de secagem em estufa e mufla para atingir seu peso real.

4.2 Metodologia

4.2.1 Identificação dos locais de amostragem

Dentro da região metropolitana de Londrina foram selecionadas cinco áreas (Figura 2) para a coleta das epífitas reconhecidas como *Tillandsia recurvata*, de acordo com os seguintes critérios:

- Grande fluxo de veículos em horário comercial – definida pelo anel central (AC) da área urbana de Londrina;
- Áreas industriais, que abriguem empresas que utilizam o zinco como um componente de seus produtos - uma localizada na região leste do município,

no Parque das Indústrias Leves (IL) e a outra no Parque das Indústrias da Zona Sul (IS) do município;

- Áreas residenciais com baixo fluxo de veículos e com relativa distância de zonas industriais ou com distância de grande fluxo de veículos, para que pudessem ser utilizadas como controle. A primeira situada na região Leste do município no Conjunto Lindóia (RL) e a outra no Conjunto Maria Cecília (RC), na região Norte do município.

Na AC a maioria dos pontos possui proximidade a um intenso fluxo de veículos, principalmente de acesso a áreas centrais do município (Quadro 1).

Região	Pontos	Descrição
Central (AC)	1	Proximidade com a Al. Julio de Mesquita Filho e Av. Juscelino Kubitscheck, ambas com grande tráfego de veículos.
	2	Av. Rio de Janeiro, grande fonte de tráfego devido ao acesso ao centro comercial do município.
	3	R. Professor João Cândido, fonte de tráfego devido ao acesso ao centro comercial do município.
	4 e 5	Praça Willie Davids, calçadão de Londrina, presença de muitas árvores e relativa distância de tráfego intenso de veículos comparado aos demais pontos da região.

Quadro 1- Características dos pontos de coleta de *Tillandsia recurvata* na área central (AC) do município de Londrina.

A interferência industrial é predominante na região IL, com a presença de indústrias manipuladoras de metais nas proximidades de quase todos os pontos e, além disso, dois pontos são próximos ao fluxo de veículos mais alto da região. Já, a predominância na área IS é tanto da proximidade industrial quanto de intenso tráfego de veículos em quase todos os pontos (Quadro 2).

Na RL os pontos possuem predominância de características residenciais, ou seja, sem interferência veicular e industrial, no entanto no ponto 3 o tráfego de veículos é grande. Assim como na RL na RC há a predominância de características residenciais com exceção do ponto 5 que está próximo de uma avenida movimentada (Quadro 3).

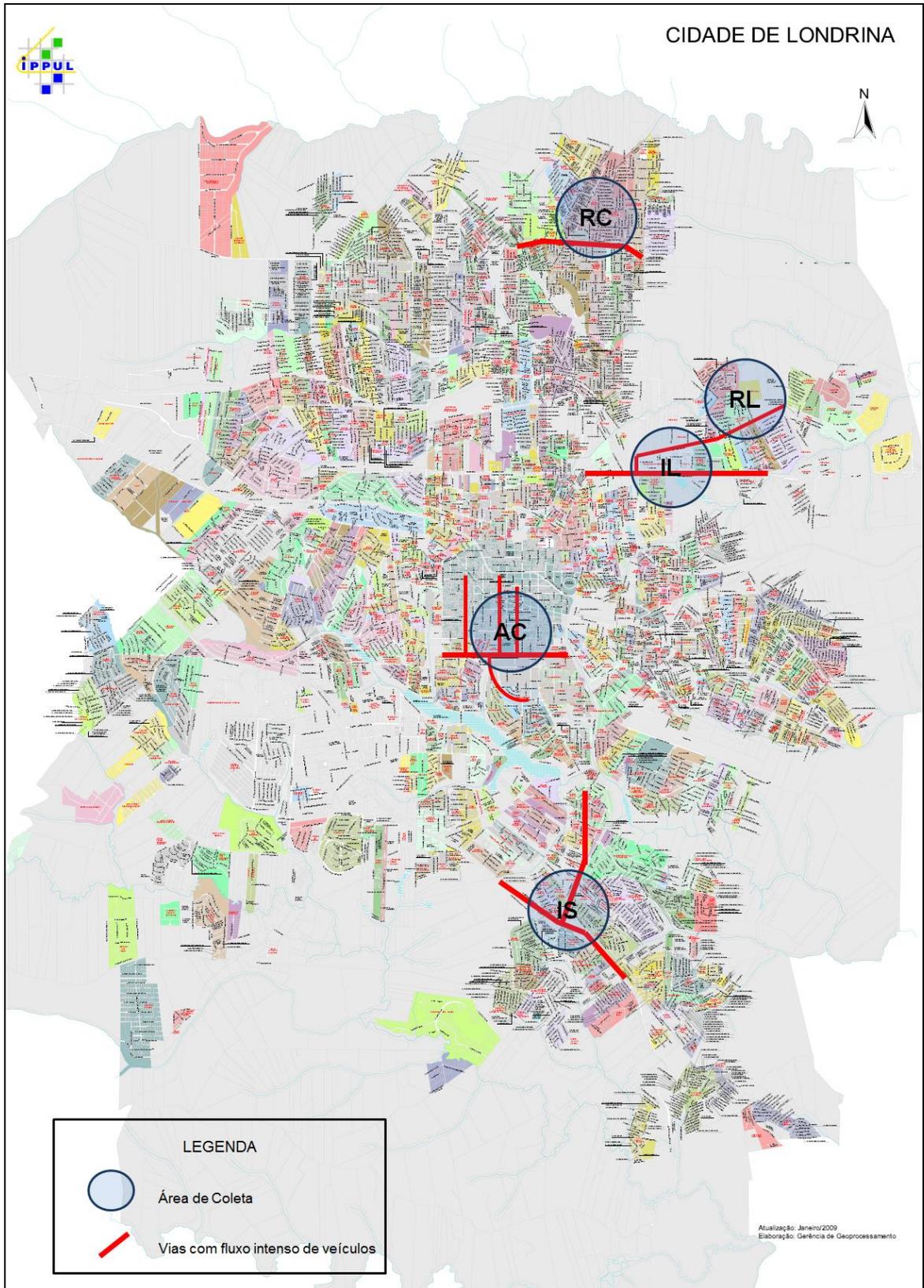


Figura 2 – Localização das regiões escolhidas para a coleta das amostras de *Tillandsia recurvata* para biomonitoramento de zinco.

Fonte: Gerência de Geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Londrina (2009) (Adaptado).

Região	Pontos	Descrição
INDUSTRIAL (IL)	1	Av. das Maritacas, região industrial com alto tráfego de veículos pesados e proximidade de indústrias manipuladoras de metais.
	2	R. João de Barro, próximo à R. do Pavão com alto tráfego de veículos pesados e proximidade de indústrias manipuladoras de metais.
	3 e 4	R. Pinguim, próximo a indústrias manipuladoras de metais pesados.
	5	R. João de Barro, baixo fluxo de veículos, tanto leves quanto pesados.
INDUSTRIAL (IS)	1	R. Tereza de Souza, Pq. Industrial Kiugo Takata, próximo à Rod. Celso Garcia Cid (PR-445).
	2, 3, 4, 5	Região Industrial às margens da Av. Dez de Dezembro, intenso tráfego de veículos leves e pesados.

Quadro 2 - Características dos pontos de coleta de *Tillandsia recurvata* em áreas industriais no município de Londrina, PR. IL: Parque das indústrias leves, região leste; IS: Parque das indústrias da Zona Sul.

Região	Ponto	Descrição
RESIDENCIAL (RL)	1	R. Cândido de Abreu, proximidade de área de chácaras com fluxo de veículos muito baixo.
	2	R. Mandaguaçu, proximidade de área de chácaras com fluxo de veículos muito baixo.
	3	R. Centenário do Sul, rua de principal distribuição de veículos para os bairros da região.
	4	R. Nova Esperança, baixo fluxo de veículos, mas próxima a ruas com maiores fluxos.
	5	R. Mandaguari, área residencial com baixo tráfego de veículos.
RESIDENCIAL (RC)	1	R. Cará-Cará, área escolar com baixo fluxo de veículos.
	2	R. Harpia, área residencial pouco movimentada.
	3	R. Cará-Cará, área residencial pouco movimentada.
	4	R. Brazilino Pereira do Nascimento, baixo fluxo de veículos, mas próxima a ruas com maiores fluxos.
	5	R. Eugênio Gayon, próximo a Av. Saul Elkind que possui um grande fluxo de veículos leves e pesados.

Quadro 3 - Características dos pontos de coleta de *Tillandsia recurvata* em áreas residenciais no município de Londrina, PR. RL: Conjunto Lindóia, zona leste; RC: no Conjunto Maria Cecília (RC), na zona norte.

4.2.2 Identificação da Espécie

A identificação da espécie (Figura 3) foi feita por meio de observações em figuras e fotografias além de descrições detalhadas das estruturas em literatura (LÜTTGE, 1997; JUDD, 2009). Também foi realizada confirmação do reconhecimento mediante comunicação pessoal de especialista na família (Profa. Daniela Estevan, UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos).



Figura 03- Detalhe de amostra de *Tillandsia recurvata* in situ.
Foto: Autoria própria.

4.2.3 Coleta das amostras

As epífitas foram coletadas em cinco pontos de cada uma das cinco regiões escolhidas. Em cada ponto foram coletados 3 indivíduos, escolhidos por estarem próximos uns dos outros e apresentarem tamanhos semelhantes, de forma a esperar um tempo de exposição semelhante aos possíveis poluentes. As amostras

(Figura 3) foram coletadas manualmente, sem a ajuda de instrumentos, em uma altura padronizada em troncos de árvores, variando de 1,5 a 2,5 metros. Os indivíduos coletados possuíam sua estrutura integral (parte aérea e raízes), com a parte aérea possuindo ou não inflorescências e ou frutos.

As coletas foram efetuadas em 4 datas, a saber: 1ª início de Dezembro/2012; 2ª início de Janeiro/2013; 3ª fim de Janeiro/2013 e 4ª início de Fevereiro/2013.

Após coletados os indivíduos foram acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados com etiquetas em relação a sua região e ponto de coleta. Em seguida foram processadas em laboratório, conforme descrito no item 4.3.

4.2.4 Preparação das amostras

Após a coleta, em laboratório, as plantas foram manualmente limpas de impurezas grosseiras e de outras plantas, sem o procedimento de lavagem, pois de acordo com Calasans e Malm (1997 apud FIGUEIREDO et al., 2007) dessa forma garante-se que elementos oriundos da deposição seca também sejam determinados. Posteriormente as amostras foram armazenadas em sacos de papel, numeradas e submetidas à estufa em temperatura entre 65 e 75°C com circulação de ar para efetuar o processo de remoção da porção de água presente nos organismos por meio de secagem até massa seca constante (PEREIRA, 2005; ROMEIRO et al., 2007; MUHAMMAD, et al. 2011).

Posterior ao processo de secagem as amostras foram fracionadas em pequenos pedaços com a utilização de tesoura ou foram maceradas utilizando graal e pistilo. Este procedimento foi utilizado para a facilitação de seu manuseio, uma vez que o volume das epífitas foi grande em sua estrutura original e os utensílios utilizados para a preparação das amostras comportavam apenas volumes pequenos.

Uma vez fracionada foi efetuada a pesagem das amostras em cadinhos ou cápsulas de porcelana objetivando atingir um padrão de massa de 5,0 g de matéria seca em todas as amostras. A grande maioria dos indivíduos após a

secagem não atingiam a massa padrão de 5,0 g, portanto dois ou mais indivíduos de cada ponto de coleta foram unidos para alcançar a massa desejada e assim proceder com a preparação das amostras (obtenção de cinzas).

As amostras foram posteriormente carbonizadas aquecendo os cadinhos em que estavam acondicionadas utilizando o bico de Bunsen. A queima da matéria orgânica evita a incineração da amostra no interior da mufla e a conseqüente perda de material.

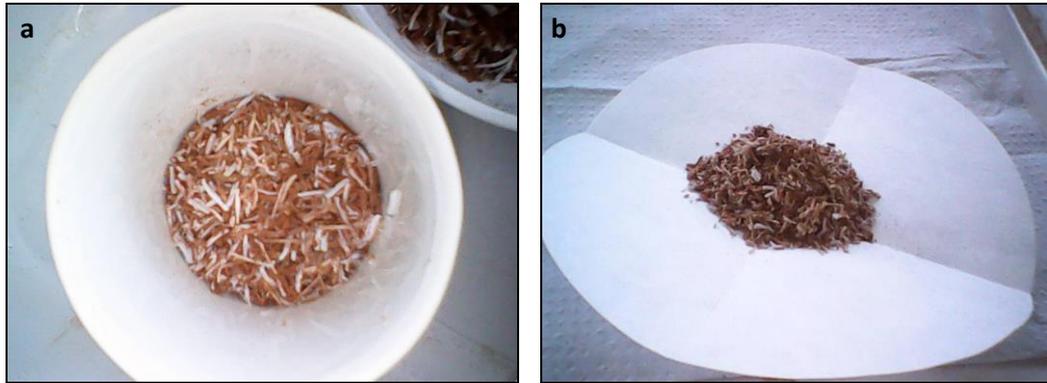
Em seguida foi realizada a digestão da amostra por via seca, como descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2005). Para isso cada amostra foi calcinada em mufla (Figura 4), com aumento gradual até a temperatura de 550°C, pois, de acordo com Hoeing (1995), o aquecimento de forma lenta não causa a perda de material como chumbo, zinco e cádmio quando utilizados modificadores químicos que mantêm os metais na amostra.

O material aquecido permaneceu nesta temperatura por um período de 4 horas, para que desta forma possa ser removida toda substância orgânica das amostras. O ciclo da amostra na mufla foi de 3 horas para seu aquecimento gradual até atingir a temperatura esperada, 4 horas com temperatura constante de 550 °C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005). A seguir, foram necessárias mais 3 horas para o resfriamento dos recipientes até sua remoção, evitando o rápido decaimento de temperatura que pode danificar os cadinhos.



**Figura 4 - Disposição de cadinhos e cápsulas no interior da mufla.
Foto: Autoria própria.**

Após o procedimento na mufla foram obtidas amostras na forma de cinzas (Figura 5a), possuindo variações nos tons de marrom e com um volume muito inferior ao inicial por conterem apenas a porção de componentes inorgânicos das plantas.



**Figura 5 - Cinzas obtidas após o procedimento na mufla. a: no cadinho; b: no filtro de papel para direcionar ao seu devido recipiente.
Foto: Autoria própria.**

As cinzas foram pesadas em seus respectivos cadinhos de porcelana e posteriormente transferidas com o auxílio de filtros de papel (Figura 5b) para recipientes (Figura 6) onde foram devidamente identificadas e armazenadas em geladeira até as leituras.



**Figura 6 - Armazenamento de cinzas em potes de poliestireno.
Foto: Autoria própria.**

Para padronizar e viabilizar a quantificação de dados foram retiradas 0,05g de cinza de cada amostra para ser feita a lixiviação do zinco e sua diluição. A lixiviação foi feita com 5 mL de ácido nítrico 65% v/v (HNO_3) de acordo com Abreu (1997), permanecendo em contato com a amostra por pelo menos 24 horas.

A solução resultante foi filtrada e avolumada para 15 mL em tubos de polipropileno e novamente mantidas em geladeira. Após um tempo de repouso as amostras que persistiram em demonstrar um resíduo precipitado foram filtradas novamente (em papel de filtro quantitativo), para que resultassem em amostras totalmente líquidas, onde os sólidos estivessem diluídos para que pudessem ser feitas as análises.

4.2.5 Determinação do Zinco

A presença do Zn nas cinzas foi quantificada por espectrometria de absorção atômica, com módulo de atomização em chama, Modelo SOLAAR S4, Thermo, pérola de impacto e correção de fundo com lâmpada de deutério, usando ar/acetileno como gás combustível e oxidante. Itens como a altura do queimador, a vazão da mistura ar/acetileno e o caminho óptico foram otimizados pelo próprio aparelho (calibração automática) com a finalidade de aperfeiçoá-los para uma maior sensibilidade de leitura. A linha espectral escolhida possuía o comprimento de onda de 213,9 nm, utilizada para a determinação de zinco (EWING, 1972).

Os resultados obtidos foram comparados pelo próprio software do equipamento com uma curva de calibração de zinco, feita previamente para poder relacionar os resultados da absorvância com a concentração de zinco na amostra analisada (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

A curva de calibração foi estabelecida com 4 pontos distribuídos de forma que todas as leituras das amostras tenham a absorção em sua área de abrangência, que foi de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mg/L.

4.2.6 Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizado o teste ANOVA para a avaliação da variância entre as três amostras de cada ponto de coleta, a ANOVA é utilizada para comparar três ou mais tratamentos (DOS ANJOS, 2009). Para a comparação das médias de cada ponto foi utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, se a diferença tiver um valor superior a 5% a diferença entre os valores é considerada significativa (SPIEGEL, 2004; DOS ANJOS, 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as regiões amostradas, a quantidade de zinco atmosférico absorvido e acumulado nas plantas de *Tillandsia recurvata* foi menor nas áreas residenciais (Tabela 1). Plantas crescendo nas regiões AC, IL e IS apresentaram valores de zinco cerca de 4 a 10 vezes maiores que a considerada tóxica para plantas cultivadas que, de acordo com Furlani (2004) varia entre 0,2 e 0,5 mg.g⁻¹.

Assim, pode-se perceber que o potencial de acúmulo de zinco em *Tillandsia recurvata* foi satisfatório, pois a quantidade de zinco encontrada em certas regiões foi superior ao limite de concentração de zinco em plantas presentes em situações comuns, que segundo Larcher (2004) é de até 0,4 g kg⁻¹. Isso representa que houve um acúmulo excedente de zinco pelo fato deste micronutriente estar em maior disponibilidade em determinadas regiões.

Tabela 1 - Concentração de zinco acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* em cinco regiões do município de Londrina, PR. Os valores representam a média e o desvio padrão de 15 plantas por região. AC: área central; IL: parque das indústrias leves; IS: parque das indústrias na zona sul; RL: conjunto Lindóia; RC: conjunto Maria Cecília. Valores seguidos por letras minúsculas diferentes representam significância ao nível de 95%, pelo teste de Tukey.

Região	Zn (mg.g ⁻¹)	
AC	1,9442 ± 0,921	A
IL	1,8018 ± 0,772	A
IS	1,9808 ± 0,471	A
RL	0,8282 ± 0,348	B
RC	0,7905 ± 0,155	B

Analisando os dados foi possível observar que das 6 amostras com quantidade de zinco maiores do que 3 mg/g, 3 pertencem à área central e as outras são de ambas as regiões industriais. Das 5 amostras com menor quantidade de zinco todas são pertencentes às regiões residenciais, 4 delas são da região RL.

As regiões residenciais apresentaram características semelhantes, como concentração de zinco nas plantas menor que 1 mg/g, maior simetria nos dados e menor variabilidade (Figura 7). No entanto, os pontos 3 e 5 das regiões RL e RC, respectivamente, mostraram uma discrepância em relação aos outros valores, apresentando concentrações acima de 1 mg/g (Figuras 7 e 8). Sugere-se que esse aumento na concentração esteja relacionado à emissão de Zn por veículos, uma vez que o ponto 3 da RL está posicionado em uma via de acesso aos bairros da região, concentrando o fluxo de veículos, enquanto o ponto 5 da RC possui maior proximidade da Av. Saul Elkind, principal via de distribuição de veículos para os bairros da região norte.

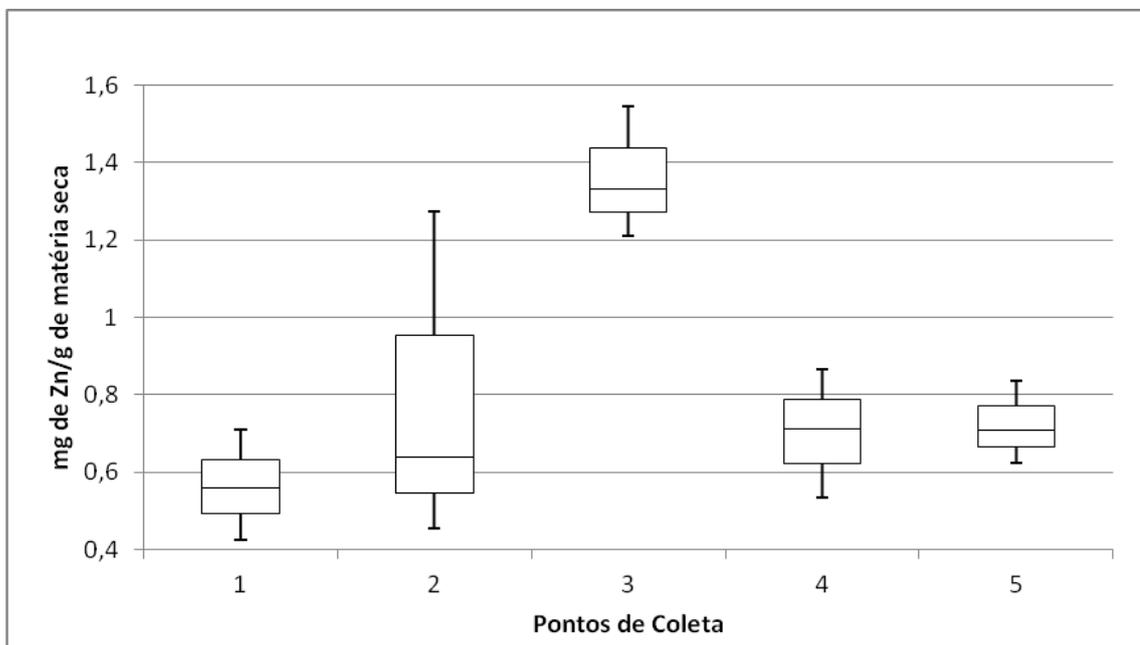


Figura 7 - Concentração de Zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* na região residencial, conjunto Lindaia (RL), Londrina, PR.

Fonte: Autoria Própria.

A concentração de Zn nas plantas foi maior que 1 mg/g de matéria seca na região IL, sendo que os pontos 1 e 4 apresentaram uma quantidade ainda maior que os demais, atingindo mais do que 2 mg/g (Figura 9). Nesta região além de indústrias que utilizam metais para a fabricação de seus produtos, há nas proximidades dos pontos 1 e 4 um fluxo de veículos mais intenso, tanto de passeio para acesso ao centro, quanto de veículos pesados que transportam pessoas e matéria

prima para as empresas e, posteriormente, seus produtos destinados à venda. A assimetria nestes dois pontos citados é visível assim como a sua variabilidade, indicando a maior dispersão dos dados (ROSA, 2009).

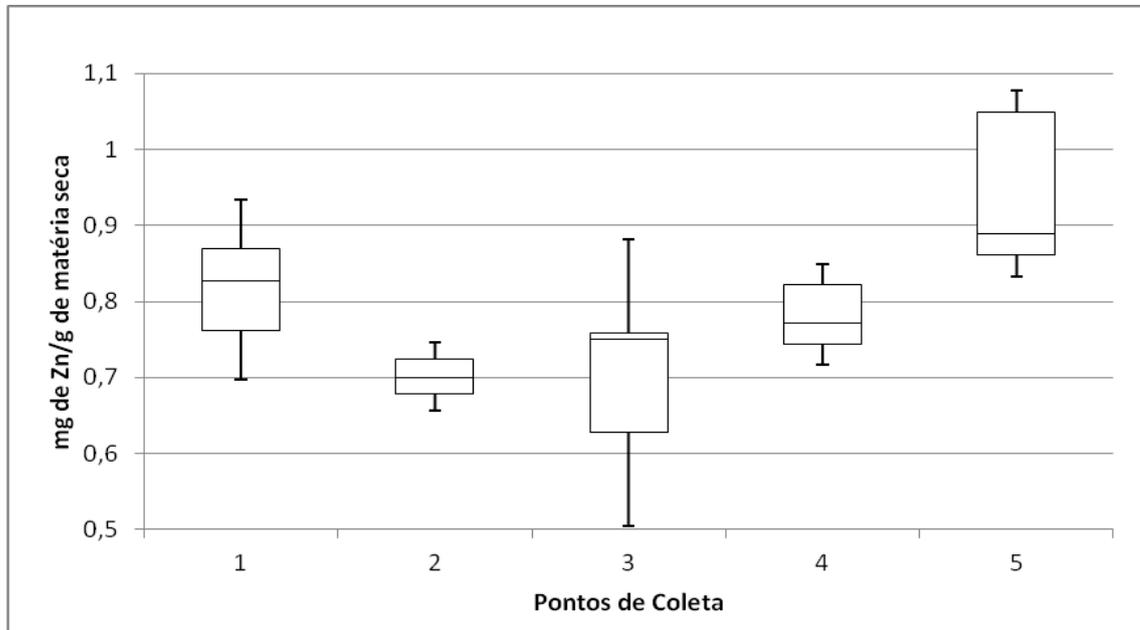


Figura 8 - Concentração de Zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* na região residencial, Conjunto Maria Cecília (RC) do município de Londrina, PR.
Fonte: Autoria Própria.

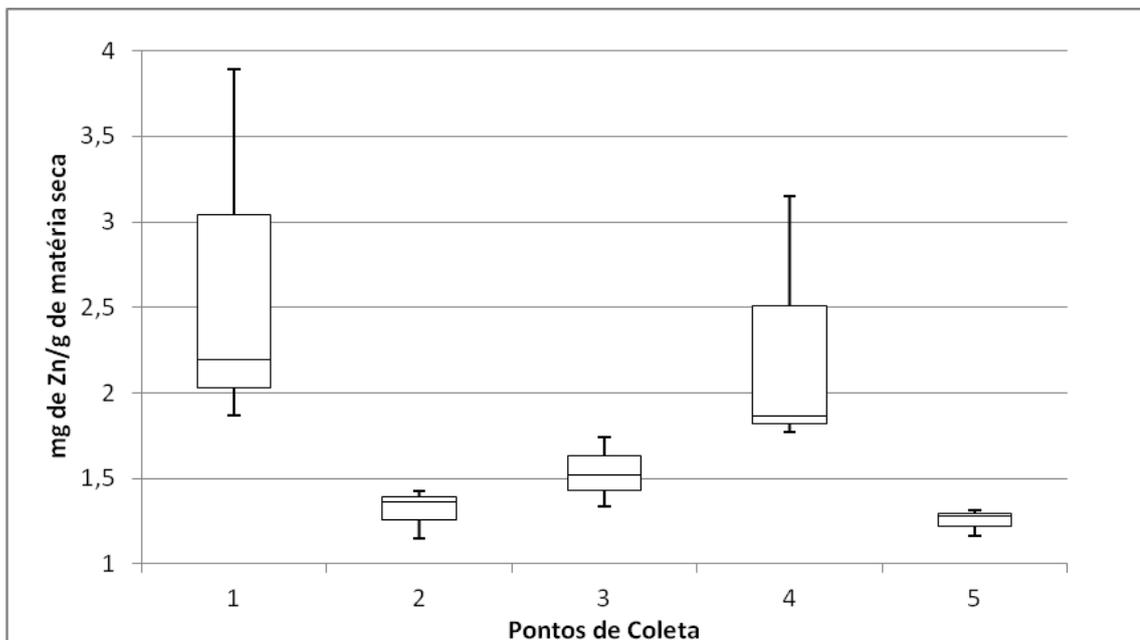


Figura 9 - Concentração de zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* na região do parque das indústrias leves (IL), no município de Londrina, PR.
Fonte: Autoria Própria.

No entanto, o ponto 1, apesar de sua variabilidade, representa o resultado do elevado potencial de *T. recurvata* como bioacumuladora.

Assim como na região IL a região IS (Figura 10) apresentou todos os valores acima de 1 mg/g de matéria seca. O valor máximo encontrado nesta região (3,11 mg/g) pertence ao ponto 4, que assim como os pontos 2, 3 e 5 situam-se às margens da Av. Dez de Dezembro, na qual muitos veículos leves e pesados passam a todo momento e em quantidade muito grande. Já o ponto 1, com valores e assimetria menor, situa-se às margens de outra via.

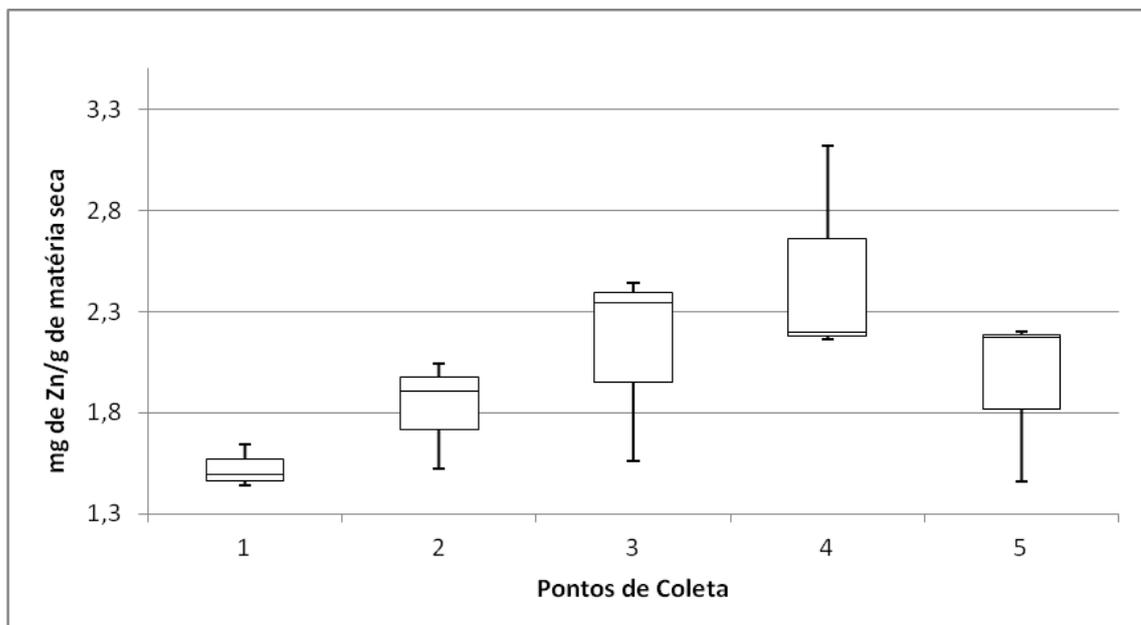


Figura 10 - Concentração de Zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* na região do parque industrial da zona sul (IS), no município de Londrina, PR.

Fonte: Autoria Própria.

Na região AC, representada pela Figura 11, as plantas dos pontos 1, 2 e 3 apresentaram uma quantidade de zinco significativamente maior que a dos pontos 4 e 5 e, juntamente com 2 outros pontos de regiões industriais, foram os de maior bioacumulação.

Os pontos 1, 2 e 3 localizam-se às margens de ruas de acesso à região central e, conseqüentemente, possuem um elevado fluxo de veículos, tanto leves, que

irão adentrar à região central, guiados por consumidores ou trabalhadores do comércio da região, quanto pesados que fazem o transporte de passageiros e também a distribuição dos produtos que irão abastecer a região comercial da cidade. Já, os pontos 4 e 5 são áreas com um grande fluxo de pedestres além de possuírem uma arborização melhor que os outros pontos.

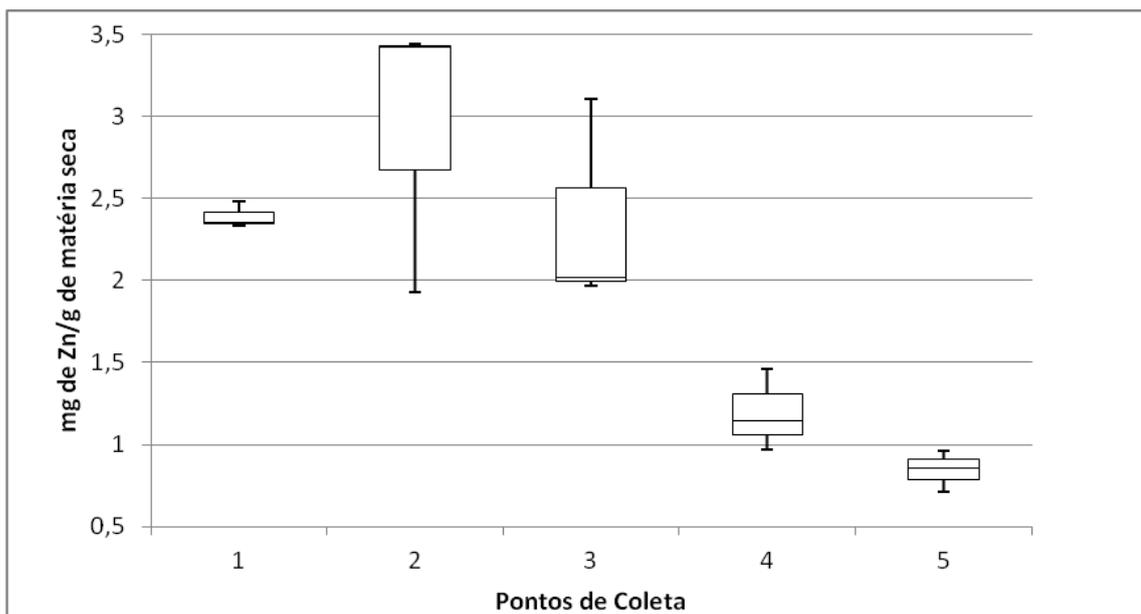


Figura 11 - Concentração de Zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* na região central (AC) do município de Londrina, PR.

Fonte: Autoria Própria.

Dessa forma, observando de forma geral a concentração de zinco em todas as regiões (Figura 12) sugere-se que esse incremento de zinco nos pontos centrais tenha origem na poluição veicular, pois a queima de combustíveis resulta na emissão de material particulado contendo Zn. A maioria dos tanques de combustível utilizada é feita de ferro e zinco e durante seu transporte podem ser transferidos e acumulados nos combustíveis (KORN et al., 2007).

O álcool anidro e o álcool hidratado (Etanol combustível) possuem um efeito corrosivo nos tanques de transporte e nos tanques de armazenagem nos próprios carros, principalmente quando possuem impurezas como sulfatos acetatos e cloretos. Também exercem esse efeito em carros “flex” onde a combustão pode

ser feita por mais de um tipo de combustível principalmente em etanol-gasolina, que não possuem tecnologia suficiente em relação à corrosão de seus tanques (AMBROZIN, 2010).

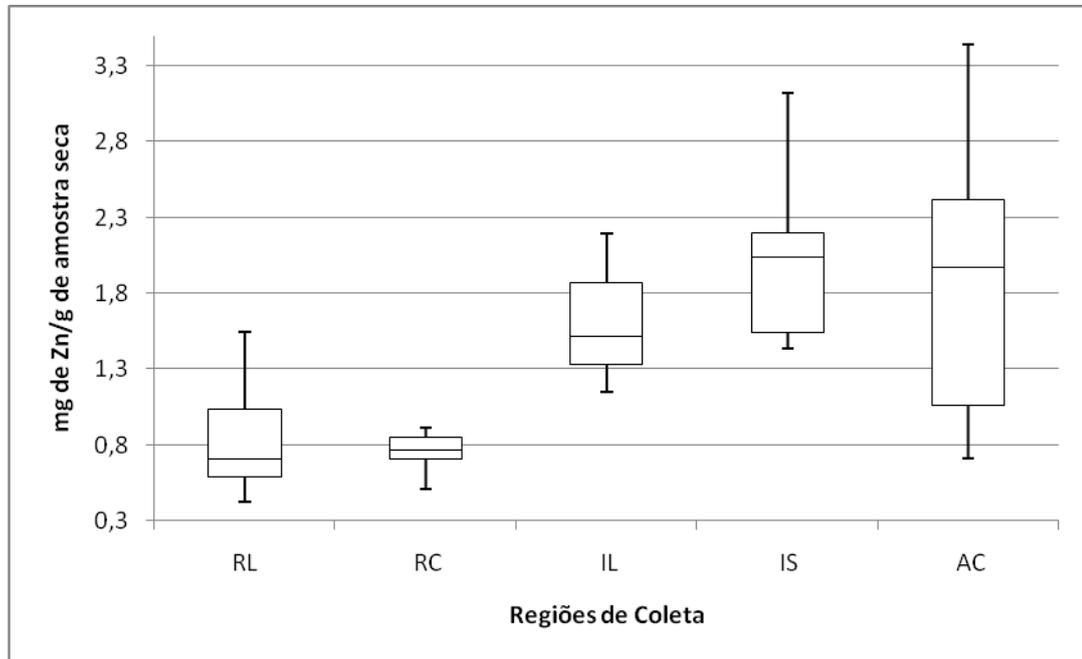


Figura 12 - Concentração de Zn acumulado em plantas de *Tillandsia recurvata* nas regiões: residenciais (RL e RC), industriais (IL e IS) e central (AC) do município de Londrina, PR. Fonte: Autoria Própria.

Uma vez que o zinco está presente no álcool, proveniente da corrosão, isso acaba por aumentar os valores em outros combustíveis que possuem o álcool anidro adicionado ao seu volume, como a gasolina, no Brasil, que possui de 22 a 25% de álcool (ROLDAN et al., 2004; AMBROZIN, 2010).

Segundo estudo realizado por Prado et al. (2011), metais pesados, incluindo o Zn foram encontrados nos diversos tipos de combustíveis. Portanto no processo de combustão eles são liberados causando a poluição atmosférica.

Figueiredo et al. (2004) utilizaram *Tillandsia usneoides* como biomonitora para vários elementos químicos em diversas regiões de São Paulo e detectaram baixas concentrações de Zn em plantas controle (40 µg/g) e um rápido aumento na sua concentração após exposição por 8 semanas, em diferentes locais. Os responsáveis pelos maiores aumentos foram regiões industriais e de grande tráfego veicular. Já, Dragunski et al. (2009), utilizando poucas amostras, perceberam um

potencial de bioacumulação a metais pesados tanto em *T. pohlyana* quanto em *T. streptocarpa*, porém, com valores de zinco mais significativos apenas na primeira espécie.

Concentrações bem menores de zinco foram detectadas em folhas de espécies arbóreas, com teores variando em torno de 28 a 45 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de matéria seca em estudo realizado no Parque Ibirapuera em São Paulo (MOREIRA, 2010).

Scatena e Segecin (2005) descreveram a anatomia foliar de várias espécies de *Tillandsia*, destacando a presença de tecido parenquimático aquífero e outros, em diferentes proporções entre as espécies. O objetivo das referidas autoras era identificar características que possam auxiliar na identificação taxonômica. Porém, cabe destacar que a presença desse tecido pode contribuir significativamente para a diluição do zinco no interior de suas células, evitando ou reduzindo sua toxicidade.

6. CONCLUSÕES

Tillandsia recurvata se mostrou um bioacumulador de zinco presente no meio atmosférico, apresentando teores de aproximadamente até 10 vezes maiores que os valores encontrados nas plantas em situações comuns.

Desta forma sugere-se estudos mais aprofundados acerca de outros fatores que podem afetar o acúmulo de metais, como o limite de Zn que a folha de *Tillandsia recurvata* é capaz de absorver e se a toxicidade do zinco em suas folhas afetam seu tempo de duração, além de observar diferenças morfológicas nas diferentes regiões.

Demonstrou-se, também, que áreas com um grande fluxo de veículos tanto leves, quanto pesados, representada pela região central, possuem maior quantidade de zinco na atmosfera local do que as áreas residenciais, indicando a liberação de zinco provavelmente a partir da combustão de veículos automotores, que possuem este metal em seus combustíveis e aditivos.

Áreas industriais em Londrina contribuem com a emissão de material particulado contendo zinco, o que requer o monitoramento mais detalhado dessas regiões.

Com base nestas informações pode-se concluir que é possível fazer o biomonitoramento atmosférico de zinco utilizando a Bromeliaceae *Tillandsia recurvata* como um bioacumulador deste metal.

Seu potencial como bioacumuladora poderá ser melhor detalhado em estudos mais específicos, por exemplo voltados à caracterização da longevidade foliar de *T. recurvata* e sua relação com a concentração de metais nas folhas.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. F. **Extração e determinação simultânea por emissão em plasma de nutrientes e elementos tóxicos em amostras de interesse agrônomo.** 1997. 135 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

AMADO FILHO, G. M.; ANDRADE, L. R.; FARINA, M.; MALM, O. Hg localisation in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), na atmospheric biomonitor. **Atmos Environ.** v. 36, p. 881-887, 2002.

AMBROZIN, A. R. P.; MONTEIRO, M. R.; SANTOS, A. O.; KURI, S. E. Evaluation of galvanic corrosion of Zn alloy in alcohol fuel. **Fuel Proc. Technology.** v. 91 p. 1687 – 1690, 2010.

ARNDT, U.; SCHWEIZER, B. The use of bioindicator for environmental monitoring tropical and subtropical countries. In: **Biological monitoring signals from the environment.** Vieweg: Braunschweig, 1991, p. 199 – 298.

BRAIT, C. H. H.; ANTONISI FILHO, N. R. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. **Quim. Nova.** v. 33, n. 1, p. 7 – 13, 2010.

BRESSAN, S. **Polimorfismo no gene da cobre, zinco – superóxido dismutase, estado nutricional relativo ao zinco e estresse oxidativo em pacientes com câncer da cavidade oral e orofaringe.** 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Nutrição Humana Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRIGHIGNA, L.; PAPINI, A.; MOSTI, S.; CORNIA, A.; BOCCHINI, P.; GALLETTI, Guido. The use of tropical bromeliads (*Tillandsia* spp.) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy. **Rev. Biol. Trop.** v. 50, n. 2, p. 577-584, 2002.

CARNEIRO, R. M. A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) – Departamento de Enfermagem Materno-Infantil e Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CASTELNOU, A. M. N. **Panorama geral da arquitetura londrinense**. 1996. Monografia (Graduação de Arquitetura e Urbanismo) – CESULON, Londrina, 1996.

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo**. Série de Relatórios. São Paulo, 2011.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **DOU nº 053**, 18 de mai. 2005.

CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de Dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por estas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **DOU nº 249**, 30 de dez. 2009.

DETRAN-PR. **Frota de veículos cadastrados no estado do Paraná**. Janeiro, 2013.

DOS ANJOS, A. Análise de variância. In: Departamento de Estatística UFPR. **Estatística II**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

DRAGUNSKI, D. C.; CAIADO, J.; FERREIRA, É. L.; DELAPORTE, R. H.; LAVERDE Jr., A. Uso de bromeliáceas em biomonitoramento atmosférico. **Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR**. Umuarama, v. 13, n. 3, p. 205 – 209, set./dez. 2009.

EWING, G. W. **Métodos instrumentais de análise química**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Ver. Bras. De Eng. Agrícola e Ambiental**. v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

FIGUEIREDO, A. M. G.; ALCALÁ, A. L.; TICIANELLI, R. B.; DOMINGOS, M.; SAIKI, M. The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. **Jour. of Radioan. and Nuclear Chem**. v. 259, n. 1, p. 59-63, 2004.

FIGUEIREDO, A. M. G.; NOGUEIRA, C. A.; SAIKI, M.; MILIAN, F. M.; DOMINGOS, M. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brasil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. **Env. Pollution**. v. 145. p. 279 – 292, 2007.

FURLANI, Â. M. C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40 – 75.

GAZANO, V. S. O. **Contaminação de solo por metais tóxicos provenientes do descarte inadequado de pilhas zinco-carbono de uso doméstico**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GERÊNCIA DE GEOPROCESSAMENTO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA. **Cidade de Londrina – Loteamentos**. 2009. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/mapas/loteamentos_londrina.pdf>. Acesso em: 21/03/2013.

GRACIANO, C.; FERNÁNDEZ, L. V.; CALDIZ, D. O. *Tillandsia recurvata* L. as a bioindicator of sulfur atmospheric pollution. **Ecol. Austral**. v. 13, p. 3-14, jun. 2003.

HOEING, M. Critical discussion of trace element analysis of plant matrices. **Scie. of the Total Envir**. v. 176, n. 1-3, p. 85-91, dez. 1995.

HOGSTRAND, C.; KILLE, P.; NICHOLSON, R. I.; TAYLOR, H. M. Zinc transporters and cancer: a potencial role for ZIP7 as a hub for tyrosine kinase activation. **Tren. in Molec. Med**. v. 15, n. 3, p. 101-111, 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª edição. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=411370#>>, Acesso em: 21/03/2013.

INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION. **Zinc in the environment – An introduction**. 2. Ed. Brussels, 1997.

IOVINE, P. **Usando biomonitoramento para avaliar o impacto da poluição atmosférica no entorno de indústrias.** 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Fisiopatologia Experimental) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo 2012.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS P. F.; DONOGHU, N. J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético.** 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

KORN, M. das G. A.; DOS SANTOS, D. S. S.; WELZ, B.; VALE, M. G. R.; TEIXEIRA, A. P.; LIMA, D. de C.; FERREIRA, S. L. C. Atomic spectrometric methods for the determination of metals and metalloids in automotive fuels – a review. **Talanta.** v. 73, p. 1 – 11 , 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RiMa, 2004.

LASAT, M. M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assement of pertinent agronomic issues. **Jour. of Hazard. Subst. Research.** v.2, p 5-1 – 5-25, 2000.

LÜTTGE, U. **Physiological ecology of tropical plants.** Darmstadt: Springer, 1997.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Rev. de Nutr.** v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** Piracicaba: Ceres, 2006.

MALM, O.; FONSECA, M. de F.; MIGUEL, P. H.; BASTOS, W. R.; PINTO, F. N. Use of epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric Mercury in a gold trade Center city, Amazon, Brazil. **Scie. of the Total Envir.** v. 213, p. 57 – 64, 1998.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** Londres: Academic Press, 1995.

MUHAMMAD, S.; SHAH, M. T.; KHAN, S. Heavy metal concentrations in soil and wild plants growing around Pb-Zn sulfide terrain in the Kohistan region, northern Pakistan. **Microchem. Journal.** V. 99, p. 67 – 75, 2011.

NOGUEIRA, C, A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor.** 2006. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, B. F. F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo.** 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/ Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronomico, Campinas, 2005.

PIGNATA, M. L. GUDIÑO, G. L. WANNAZ, E. D. PLÁ, R. R. GONZÁLEZ, C. M. CARRERAS, H. A. ORELLANA, L. Atmospheric quality and distribution of the heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. **Environ. Pollut.** v. 120, p. 56 – 68, 2002.

PINTO, S. I. do C.; RAMOS, S. J.; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; NOVAIS, C. B.; SILVA, K. da; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **R. Árvore.** v. 33, n. 6, p. 1005-1014, Viçosa, 2009.

PRADO, A. G. S.; PESCARA, I. C.; EVANGELISTA, S. M.; HOLANDA, M. S.; ANDRADE, R. D.; SUAREZ, P. A. Z.; ZARA, L. F. Adsorption and preconcentration of divalent metal ions in fossil fuels and biofuels: Gasoline, diesel, biodiesel, diesel-like and ethanol by using chitosan microspheres and thermodynamic approach. **Talanta.** v. 84, p. 759 – 765, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA S/DATA. **Histórico de Londrina.** Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5>, Acesso em: 21/03/2013.

PROCHNOW, T. R. **Biomonitoramento de metais em suspensão atmosférica na sub-bacia do arroio Sapucaia, RS – Brasil.** 2005. 250 f. Tese (Pós-graduação em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ROLDAN, P. S.; ALCÂNTRA, I. L.; PADILHA, C. C. F.; PADILHA, P. M. Determination of copper, iron, nickel and zinc in gasoline by FAAS after sorption and preconcentration on sílica modified with 2- aminotiazole groups. **Fuel.** v. 84, p. 305 – 309, 2005.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. de PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**. Campinas, v. 66, n. 2, p. 327 – 334, 2007.

ROSA, J. M. C. da. Conceitos básicos e técnicas de estatística descritiva. In: Departamento de Estatística UFPR. **Estatística II**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

ROSSBACH, M.; JAYASEKERA, R.; KNIEWALD, G.; THANG, N. H. Large scale air monitoring: lichen vs. air particulate matter analysis. **The Scie. of the Total Envir.** v.232, p. 59-66, 1999.

SCATENA, V. L.; SEGECIN, S. Anatomia foliar de *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Rev. Brasil. Bot.**, v.28, n.3, p.635-649, jul.-set. 2005.

SPIEGEL, M. **Teoria e problemas de probabilidade e estatística**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SUBAPRIYA, R.; KUMARAGURUPARAN, R.; RAMACHANDRAN, C. R.; NAGINI, S. Oxidant – antioxidant status in patients with oral squamous cell carcinomas at diferente intraoral sites. **Clin. Biochem.** v. 35, p. 489-493, 2002.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **Toxicological profile for zinc**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Georgia, 2005.

XIAO, Z.; SOMMAR, J.; LINDQVIST, O.; GIOULEKA, E. Atmospheric mercury deposition to grass in southern Sweden. **The Scie. of the Total Envir.** v. 213, p. 85-94, 1998.

WAPPELHORST, O. KÜHN, I. OEHLMANN, J. MARKERT, B. Deposition and disease: a moss monitoring project as an approach to ascertaining potential connections. **The Scie. of the Total Envir.** v.249, p. 243-256, 2000.

WEBER NETO, J. **Avaliação de metais pesados em emissões atmosféricas de indústria automotiva por fluorescência de raios x**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.