

**Nº 228
DISSERTAÇÃO
DE MESTRADO**

**BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR
EM DECORRÊNCIA DA QUEIMA
DA CANA-DE-AÇÚCAR NA RESERVA
ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

AUTOR: THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS

**RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
MARÇO – 2011**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

**BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM
DECORRÊNCIA DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

MARÇO – 2011

**BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM
DECORRÊNCIA DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS

**BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM
DECORRÊNCIA DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares do DEN/UFPE e CRCN-NE/CNEN, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Dosimetria e Instrumentação.

Orientador: Dr. Clovis Abrahão Hazin

Co-orientadora: Dra. Eliane Valentim Honorato

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

MARÇO - 2011

Catálogo na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

S237b	<p>Santos, Thiago Oliveira dos. Biomonitoração da qualidade do ar em decorrência da queima da cana-de-açúcar na reserva ecológica de Gurjaú-PE / Thiago Oliveira dos Santos. - Recife: O Autor, 2011. 59 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Clóvis Abrahão Hazin. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2011. Inclui Referências.</p> <p>1.Biomonitoração. 2.Metais. 3.Qualidade do Ar. 4. Reserva Ecológica de Gurjaú – Pernambuco (Brasil). 5. Ativação Neutrônica. I.Hazin, Clóvis Abrahão. (Orientador). II. Título. UFPE</p> <p>612.01448 CDD (22. ed.) BCTG/2011- 131</p>
-------	--

**BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM
DECORRÊNCIA DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

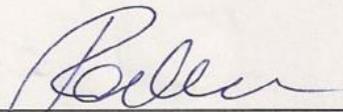
Thiago Oliveira dos Santos

APROVADO EM: 18.03.2011

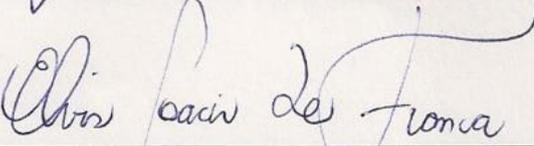
ORIENTADOR: Prof. Dr. Clovis Abrahão Hazin

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. Eliane Valentim Honorato

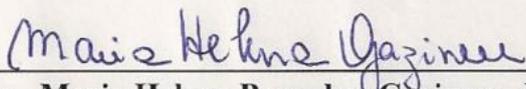
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – DEN/UFPE

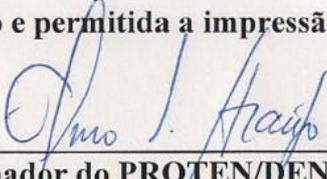


Prof. Dr. Elvis Joacir de França – CRCN-NE/CNEN



Profa. Dra. Maria Helena Paranhos Gazineu – DQ/UNICAP

Visto e permitida a impressão



Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

*À minha mãe e meu irmão, pelo amor e motivação.
À minha esposa, por sua dedicação, cuidado e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas coisas maravilhosas que tem feito em minha vida.

À minha mãe Cristina, exemplo de mulher guerreira e que em toda a minha vida sempre me incentivou.

Ao meu irmão, minha avó e todos os meus familiares pelo amor e apoio incondicional.

À minha esposa Welida pelo amor, cuidado e incentivo.

Ao Dr. Clovis Abrahão Hazin pela orientação, paciência e compreensão.

À Dra. Eliane Valentim Honorato pela Co-orientação desta dissertação e amizade.

À Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira pelas contribuições nos primeiros passos para o desenvolvimento deste trabalho.

À Dra. Mitiko Saiki pelo apoio nas irradiações das amostras.

Ao Dr. Frederico Antonio Genezini pela amizade e pelo apoio nas atividades realizadas no IPEN.

Aos professores (as) Dra. Edvane Borges da Silva, Dr. Waldeciro Colaço, Dra. Vivianne Bormann de Souza, Dr. Elvis Joacir de França, Dra Maria Helena Paranhos Gazineu e ao Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes pelas valiosas sugestões durante as avaliações deste trabalho.

Aos meus amigos Mariana Oliveira, Andrea Shirley, Gislaine Cristina, Ana Carolina, Arisson tranquilino e André Barros pela Amizade e apoio.

Aos meus amigos do CRCN-NE Adriana Muniz, Emerson Emiliano, Carlos Neto, Daniela Oliveira, Fernanda Claudia, Claudia Poggi, Patrícia Brandão e Fernanda Pessoa pela amizade e incentivo.

Aos funcionários do CRCN e do DEN, em especial a Crescencio Andrade Silva Filho pelo auxílio nas análises e amizade.

Ao Horto Florestal de Dois Irmãos e à Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos (CPRH) por permitir a utilização do local para a realização dos estudos de campo.

À Universidade Federal de Pernambuco, especialmente ao DEN e seus professores pelos conhecimentos adquiridos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio da bolsa de mestrado.

BIOMONITORAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM DECORRÊNCIA DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE

Orientador: Dr. Clovis Abrahão Hazin

Co-orientador: Dra. Eliane Valentim Honorato

RESUMO

A Reserva Ecológica de Gurjaú encontra-se inserida na porção Sul da Região Metropolitana do Recife, precisamente na divisa dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Moreno. Ao longo de toda a reserva algumas atividades desenvolvidas de forma indiscriminada têm contribuído para causar danos ao meio ambiente, sendo as mais importantes as queimadas realizadas antes da colheita da cana-de-açúcar e a utilização de agrotóxicos e fertilizantes de forma inadequada, acarretando a liberação de inúmeras partículas e gases para a atmosfera. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar na Reserva Ecológica de Gurjaú utilizando o líquen *Cladonia verticillaris* e a planta epífita *Tillandsia recurvata* como biomonitores em dez estações de amostragem, por meio da análise do teor de metais presentes nesses organismos, em decorrência da exposição dos mesmos à poluição gerada pela queima da cana-de-açúcar. A determinação dos metais foi realizada por Espectrometria por Absorção Atômica e Análise por Ativação Neutrônica. Os resultados obtidos neste trabalho subsidiaram um banco de dados gerenciado pela International Agency Energy Atomic (IAEA), por meio do projeto ARCAL (PROJECT /2/013 – ARCAL *Correlation Studies between Atmospheric Deposition and Sanitary Problems in Latin America: Nuclear Analytical Techniques and the Biomonitoring of Atmospheric Pollution*) e fornecerão os primeiros resultados de biomonitoração ativa da dispersão de elementos químicos associada a queima da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

Palavras-chave: biomonitoração, metais, qualidade do ar, análise por ativação neutrônica.

**BIOMONITORING OF AIR POLLUTION
IMPACTS FROM SUGAR CANE BURNING IN THE
RESERVA ECOLÓGICA DE GURJAÚ-PE**

Adviser: Clovis Abrahão Hazin

Co-adviser: Eliane Valentim Honorato

ABSTRACT

The Reserva Ecológica de Gurjaú is located at the South of the Metropolitan Region of Recife, precisely in the limits of the municipalities of Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho and Moreno. Besides, this conservation unit is nearby the oldest sugarcane fields in the Pernambuco State, Brazil. Along the reserve area, some uncontrolled anthropogenic activities have contributed to cause damage to the environment, being the most important the burning carried out before sugarcane harvesting and the utilization of pesticides and fertilizers. Such impacts promote the contamination of the atmosphere with particulate and gases. Therefore, the present work aimed at the assessment of air quality in the Reserva Ecológica de Gurjaú employing the lichen *Cladonia verticillaris* and the epiphyte *Tillandsia recurvata* as biomonitors in ten stations of sampling for the analysis of metal contents in these organisms due to their exposure to the pollution from the sugarcane burning. The metal determination was carried out by means of Atomic Absorption Spectrometry – AAS and Neutron Activation Analysis – NAA. The results obtained in this work will be incorporated in the data bank accomplished by the International Agency Energy Atomic (IAEA) in the context of the ARCAL Project *Correlation Studies between Atmospheric Deposition and Sanitary Problems in Latin America: Nuclear Analytical Techniques and the Biomonitoring of Atmospheric Pollution* and will provide the first results from active biomonitoring of dispersal of chemical elements associated with the sugar cane burning in the Pernambuco state.

Keywords: biomonitoring, metals, air quality, neutron activation analysis.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Exemplos de <i>Cladonia verticillaris</i> em seu habitat natural	10
Figura 2 – Ilustração de um exemplar do gênero <i>Tillandsia</i>	12
Figura 3 - Detalhe da célula escudo e dos tricomas de <i>Tillandsia</i>	13
Figura 4 - Exemplar de <i>Tillandsia recurvata</i>	14
Figura 5 - <i>Tillandsia recurvata</i> em seu ambiente natural	15
Figura 6 - Fases de desenvolvimento de <i>Tillandsia recurvata</i>	16
Figura 7 - Localização da Reserva Ecológica de Gurjaú	20
Figura 8 - Bolsas com o biomonitor a ser transplantado.	23
Figura 9 - Localização dos pontos de amostragem na Reserva Ecológica de Gurjaú	24
Figura 10 - Espectrofotômetro de absorção atômica com forno de grafite acoplado.....	25
Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem no Horto de Dois Irmãos	26
Figura 12 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e <i>Tillandsia</i> no ponto 0	39
Figura 13 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e <i>Tillandsia</i> no ponto 1	39
Figura 14 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e <i>Tillandsia</i> no ponto 3	40
Figura 15 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e <i>Tillandsia</i> no ponto 4	40
Figura 16 - Fator de acumulação da concentração dos elementos analisados por Ativação Neutrônica nas amostras de <i>Tillandsia recurvata</i>	43
Figura 17 – Dendograma com os elementos químicos analisados	46

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Características dos radionuclídeos estudados	30
Tabela 2 - Valores obtidos para o material de referência IAEA LICHEN-336 ..	32
Tabela 3 - Valores obtidos para os materiais de referência IAEA ALGAE-392	33
Tabela 4 - Concentração de elementos químicos em líquens transplantados na Reserva Ecológica de Gurjaú.....	35
Tabela 5 - Concentração de elementos químicos em <i>Tillandsias</i> transplantadas na Reserva Ecológica de Gurjaú.....	36
Tabela 6 - Resultados da análise de amostras de <i>Tillandsia</i> obtidos pelo método instrumental de ativação com nêutrons	41

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Biomonitoração ambiental	3
2.2 Biomonitoradores	4
2.3 Líquens como monitores ambientais	5
2.4 Biologia dos Líquens	8
2.5 <i>Cladonia verticillaris</i>	11
2.6 Biologia de <i>Tillandsia</i>	11
2.7 <i>Tillandsia recurvata</i>	14
2.8 <i>Tillandsia</i> como monitor ambiental	16
2.9 Cana-de-açúcar no Brasil.....	18
2.10 Problemas de saúde causados pela cana-de-açúcar.....	18
2.11 Reserva Ecológica de Gurjaú.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Experimento 1 - estudo do acúmulo de elementos nas espécies biomonitoras.....	23
3.2 Análise por espectrometria de absorção atômica.....	24
3.3 Experimento 2 - estudo de biomonitoração	26
3.4 Análise por ativação neutrônica.....	27
3.4.1 <i>Preparação das amostras</i>	27
3.4.2 <i>Preparação dos padrões</i>	27
3.4.3 <i>Irradiações e medições</i>	28
3.4.4 <i>Irradiações por períodos curtos</i>	28
3.4.5 <i>Irradiações por períodos longos</i>	29
3.4.6 <i>Validação da metodologia</i>	31

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Análises por AAS do Material de referência IAEA – 336 LICHEN e IAEA-392 ALGAE.	32
4.2 Análises das amostras por AAS	33
4.4 Análises por ativação com nêutrons.....	41
5 CONCLUSÕES	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador de açúcar do mundo e com a valorização do etanol como biocombustível esse setor tende a crescer ainda mais, tanto no âmbito nacional quanto mundial.

Em Pernambuco, o cultivo da cana-de-açúcar é uma atividade agrícola bastante difundida e economicamente importante, especialmente na Zona da Mata, onde diversas propriedades são destinadas a essa monocultura. Durante a época de colheita, para facilitar o trabalho dos cortadores, o canavial é incendiado e esta queima pode ser responsável pela liberação de inúmeras partículas e gases para a atmosfera, acarretando o surgimento de diversas doenças respiratórias na população diretamente exposta. Segundo Magalhães (2007) essas partículas penetram no sistema respiratório e provocam reações alérgicas e inflamatórias, podendo chegar à corrente sanguínea e causar complicações em órgãos de outros sistemas. As partículas em suspensão podem, dependendo do tamanho, chegar aos alvéolos pulmonares aumentando, assim, o risco biológico.

A Reserva Ecológica de Gurjaú encontra-se inserida na porção Sul da Região Metropolitana do Recife, precisamente na divisa dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Moreno, entre os engenhos Salvador, São Braz, São João e Roças Velhas, sendo esses considerados os engenhos mais antigos do Estado de Pernambuco. Ao longo de toda a Reserva, algumas atividades desenvolvidas de forma indiscriminada têm contribuído para causar danos ao ambiente. As mais importantes são as queimadas realizadas antes da colheita da cana-de-açúcar e a utilização de agrotóxicos e fertilizantes de forma inadequada.

Historicamente, os líquens e plantas epífitas são reconhecidos como altamente sensíveis aos contaminantes atmosféricos. Esses organismos têm a habilidade de acumular metais em seus tecidos por dependerem exclusivamente da atmosfera para obter os nutrientes e água necessários ao seu desenvolvimento (PIGNATA et al., 2009).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do ar na Reserva Ecológica de Gurjaú utilizando o líquen *Cladonia verticillaris* e a planta epífita *Tillandsia recurvata* como biomonitores, por meio da análise do teor de metais presentes nesses organismos, em decorrência da sua exposição à dispersão de elementos gerada pela queima da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos neste trabalho subsidiarão um banco de dados gerenciado pela International Agency Energy Atomic (IAEA), dentro do projeto ARCAL (PROJECT /2/013 – ARCAL *Correlation Studies between Atmospheric Deposition and Sanitary Problems in Latin America: Nuclear Analytical Techniques and the Biomonitoring of Atmospheric Pollution*) e fornecerão os primeiros resultados de biomonitoração ativa da dispersão de elementos químicos associada à queima da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biomonitoração ambiental

O aumento da urbanização e industrialização tem alterado a concentração dos elementos na atmosfera, diminuindo a qualidade do ar em todo o mundo. Esses poluentes ameaçam a saúde e a qualidade de vida da população humana e dos demais organismos vivos. A integridade do meio ambiente também tem recebido uma grande atenção em busca de medidas e estratégias para a detecção de poluentes como os metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dentre outros.

Segundo Smodis (2002), existem duas formas de monitoração da qualidade do ar:

- Pela coleta de material particulado em suspensão, precipitação e deposição atmosférica total,
- ou pelo uso de biomonitores adequados.

O primeiro método tem por objetivo realizar um levantamento quantitativo no local, de curto e médio alcance, ou do transporte global de poluentes, incluindo estudos relacionados à saúde humana. Para realização dessa amostragem são necessárias coletas contínuas em um grande número de pontos, para que se possa garantir a representatividade temporal e espacial das medidas. Além disso, a aplicação da amostragem direta de particulados possui alguns problemas logísticos inerentes à instalação dos equipamentos de amostragem em todos os pontos necessários e ao elevado custo.

A segunda metodologia de amostragem é considerada como um meio barato de monitoração, servindo como uma ferramenta para a observação contínua de uma determinada área com a ajuda de organismos apropriados, que refletem mudanças nas concentrações dos elementos presentes na atmosfera. As principais vantagens do método de biomonitoração são o baixo

custo, tanto de instalação quanto para o acompanhamento e a eficiência no monitoramento de áreas extensas e por períodos longos.

A quantificação dos poluentes em organismos vivos permite estimar os efeitos de tais contaminantes sobre um ser vivo. Além disso, é possível conhecer a interação entre os diversos compostos, cujos efeitos podem ser aumentados (sinergismo ou adição) ou diminuídos (antagonismo) (PIGNATA et al., 2009; FREITAS 2006). Por essa razão, esse método tem sido o mais empregado em estudos de monitoração da poluição do ar, em todo o mundo (Pignata et al., 2009; Freitas 2006).

Wolterbeek (2002) define biomonitoração como sendo “o uso de organismos ou materiais biológicos para obter informações quantitativas sobre certas características da biosfera”.

O processo de biomonitoração está dividido em biomonitoração passiva e biomonitoração ativa. A biomonitoração passiva é aquela cujos organismos utilizados ocorrem no local de estudo, representando assim um histórico de contaminação do ambiente. Já na biomonitoração ativa, o biomonitor é transplantado para o local de interesse. Os diferentes meios de biomonitoração podem ser utilizados também para fins de comparação entre áreas, séries temporais, com valores de background e medições instrumentais (MARKERT, 1993).

2.2 Biomonitorios

Os biomonitorios podem ser classificados como sensíveis ou acumuladores. Os biomonitorios sensíveis são aqueles utilizados como integradores do estresse causado por contaminantes, funcionando como um sistema de alarme preventivo. Eles são baseados nos efeitos que podem ser visualizados, como mudanças morfológicas ou ausência dos organismos nos locais em que o contaminante esteja presente. Os biomonitorios de acumulação, por sua vez, têm a habilidade de armazenar contaminantes em seus tecidos e são usados para uma avaliação completa de muitos contaminantes no meio ambiente (CONTI; CECCHETTI, 2001).

Para que um organismo possa ser empregado como biomonitor ele precisa demonstrar as seguintes características:

- Acumular e tolerar quantidades consideráveis dos poluentes, independente das condições locais, tais como clima, topografia, vegetação, dentre outros;
- Ter uma ampla distribuição geográfica;
- Ser abundante e representativo no local de coleta;
- Estar disponível para coletas durante todo o ano e em quantidades suficientes para que as análises possam ser realizadas;
- Ser de fácil reconhecimento e coleta;
- Manter a concentração dos elementos acumulados durante um longo período;
- Ter características morfológicas e anatômicas que permitam uma amostragem rápida;
- Ter uma resposta conhecida aos contaminantes estudados.

Dentro das características necessárias a um biomonitor, os organismos epífitos apresentam-se como os mais apropriados, por dependerem exclusivamente da atmosfera para obter os nutrientes e a água necessária ao seu desenvolvimento, além de possuir uma vida longa e morfologia que não varie com as estações do ano (PIGNATA et al., 2009).

2.3 Líquens como monitores ambientais

Historicamente, os líquens são reconhecidos como altamente sensíveis aos contaminantes atmosféricos, desde que as primeiras observações realizadas de maneira independente em Londres, Munique e Paris, no século XIX, documentaram que esses organismos estavam desaparecendo das cidades. No começo do século XX, já se sabia que isto ocorria principalmente devido à emissão de gases (principalmente o SO₂) e de partículas contaminantes (PIGNATA et al., 2009).

A alta afinidade dos líquens com o ambiente em que vivem, torna esses organismos bons indicadores da umidade do ar, acidez do substrato rochoso e pH, além de demonstrar sensibilidade a inúmeros tipos de poluentes. Por essas características, são bioindicadores de ambientes e da qualidade do ar. Por terem a capacidade de absorver e reter contaminantes atmosféricos em seus tecidos são utilizados também como biomonitores (MOTA-FILHO, 2007).

Os líquens podem ser utilizados como bioindicadores e ou biomonitores de duas diferentes formas: a primeira, pelo mapeamento do número de espécies de líquens que ocorre em uma determinada área e a segunda pela amostragem individual de líquens para a quantificação de poluentes acumulados no talo e verificação de possíveis alterações morfológicas e ou fisiológicas (CONTI; CECCHETTI, 2001).

Um dos métodos que utilizam os líquens como bioindicadores é o índice de pureza atmosférica (IPA). Criado por Le Blanck, em 1970, esse método permite realizar um mapeamento da qualidade do ar em uma determinada área, por meio da correlação entre o número de exemplares, a frequência e tolerância de cada espécie presente no local de estudo com os níveis de poluição atmosférica (CONTI; CECCHETTI, 2001).

A acumulação de metais pesados pelos líquens é um dos temas mais estudados na liquenologia moderna, devido a sua importância para a biomonitoração. Os processos são muito complexos e diversos fatores afetam a acumulação dos metais (BACKOR, 2009).

Em geral, três mecanismos têm sido demonstrados com relação à absorção de metais em líquens (RICHARDSON, 1995):

1. Absorção intracelular por meio de processo de troca;
2. Acumulação intracelular;
3. Aprisionamento de partículas que contêm metais;

Os líquens são excelentes bioacumuladores de elementos traço, e as concentrações encontradas podem ser diretamente correlacionadas com as do ambiente (CONTI; CECCHETTI, 2001).

Em todo o mundo os líquens são utilizados como monitores da qualidade atmosférica (POLICNIK et al., 2008; AZNAR et al., 2008; MENDIL et al., 2009; PANDEY et al., 2002; NG et al., 2005; BAPTISTA et al., 2008; GODINHO et al., 2009; CRISTOFOLINI et al., 2008; PAOLI; LOPPI, 2008; ADAMO et al., 2003; GOLUBEV et al., 2005; SLONOV; SLONOV, 2006). Em Portugal, Godinho et al. (2008) utilizou o líquen *Flavoparmelia caperata* na monitoração de uma área poluída e obteve uma boa correlação entre o teor de metais nos líquens e nas amostras de deposição atmosférica. Na Itália, Bergamaschi et al. (2006) testaram a capacidade de acumulação de elementos traço de quatro espécies de líquens, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Pseudevernia furfuracea* e *Usnea hirta*, transplantadas na cidade de Napoli. Os resultados indicaram que *P. sulcata* apresenta uma baixa capacidade de acumulação de metais. Na América do Sul, pesquisadores da Argentina têm realizado diversas pesquisas empregando líquens (CARRERAS et al., 2002; CARRERAS et al., 2005; CARRERAS et al., 2008, CARRERAS et al., 2009).

No Brasil, o emprego desses organismos tem se mostrado uma ferramenta eficiente para a avaliação da qualidade do ar por meio da quantificação de poluentes atmosféricos. Junior et al. (2007) avaliaram as concentrações de alguns metais pesados como o Zn, Fe, Cr, Co, Cu e Mn em líquens do cerrado sul-mato-grossense e puderam relacioná-las com atividades realizadas na região como: agricultura, exploração mineral e queima de biomassa. Oliveira (2004) realizou a biomonitoração da qualidade do ar no município de Imperatriz no Maranhão por meio do líquen *Cladonia salzmannii*. Coccaro et al. (2000) quantificaram o teor de metais pesados em *Canoparmelia texana*, *C. caroliniana*, *Parmotrema tinctorum*, *P. sancti-angeli* e *Usnea* sp. e verificaram que todas essas espécies poderiam ser utilizadas como biomonitoras. Entretanto, a espécie mais utilizada em estudos de monitoração da qualidade do ar, nessa região é a *Canoparmelia texana* (SAIKI et al., 2001; SAIKI et al., 2007; FUGA et al., 2008).

Em Pernambuco alguns estudos de biomonitoração têm sido desenvolvidos, empregando o líquen *Cladonia verticillaris* como biomonitor. MOTA-FILHO et al. (2007) utilizaram exemplares dessa espécie para avaliar a presença de chumbo na atmosfera da cidade de Belo Jardim, Pernambuco. Os

líquens transplantados próximos as fontes de emissão apresentaram redução da produção de metabólitos secundários e danos em sua estrutura. Cunha et al, (2007) verificaram que a poluição por conta da extração e beneficiamento do calcário, em Vertente do Lério, Pernambuco, também alterava a produção dos metabólitos secundários do líquen. Essas respostas fisiológicas foram comprovadas em condições de laboratório por Villarouco et al., (2007). Portanto, a *Cladonia verticillaris* é considerada uma espécie que responde de forma satisfatória a vários tipos de ensaios, sendo a biomonitoração ativa de poluentes atmosféricos, com essa espécie, uma técnica já fundamentada (SILVA, 2002).

2.4 Biologia dos Líquens

Os líquens são organismos formados pela associação simbiótica entre uma alga, denominada fotobionte, e um fungo que constitui o micobionte. Mais precisamente o termo alga indica uma alga verde ou uma cianobactéria, o fungo é geralmente um ascomiceto, mas em algumas simbioses o fungo pode ser um basidiomiceto ou um ficomiceto. O corpo do líquen é chamado de talo e, na maioria dos líquens, sua forma não se assemelha a nenhum dos simbiontes individuais. Em geral, considera-se que os líquens constituem um caso de mutualismo, no qual ambos os simbiontes se beneficiam com a associação. A fotossíntese da alga fornece ao fungo a energia necessária para seu metabolismo e a mudança da estrutura do talo formado por hifas dá proteção à alga reduzindo substancialmente a intensidade luminosa à qual o fotobionte será exposto (PIGNATA et al., 2009).

A simbiose líquênica abriga uma íntima integração fisiológica. O micobionte é um organismo heterótrofo cujo carbono necessário para sua nutrição é fornecido pelo fotobionte. O fluxo de carboidratos, do fotobionte ao micobionte é bem conhecido e se deve a maior permeabilidade das paredes celulares do fotobionte à perda de carboidratos no estado liquenizado do que na forma não liquenizada. Não foi demonstrado um fluxo comparável desde o micobionte ao fotobionte, no entanto, a capacidade do fungo para servir como

reservatório de nutrientes inorgânicos para o fotobionte merece ser investigada, já que outros fungos facilitam a captação de nutrientes em outras relações simbióticas como, por exemplo, micorrizas e fungos rizosféricos (NASH, 2008).

Mosbach (1969) resumiu a sequência metabólica global do carbono nos líquens da seguinte maneira: inicialmente o fotobionte realiza a fotossíntese e os carboidratos produzidos são transportados para o fungo, este por meio do metabolismo dos carboidratos produz os metabólitos secundários ou compostos liquênicos.

Existe uma variação no grau em que a simbiose é obrigatória para as partes envolvidas. As algas verdes do gênero *Trebouxia*, que ocorre em aproximadamente 20% de todos os líquens, raramente têm sido encontradas em vida livre. Em contrapartida, outros gêneros do fotobionte, como *Gleocapsa*, *Nostoc*, *Scytonema* e *Trentepohlia*, podem ocorrer tanto na forma liquenizada como em vida livre. Em alguns casos, as populações tanto de vida livre como liquenizadas ocorrem no mesmo habitat, como exemplares de algas do gênero *Nostoc* e *Scytonema*, em solos desérticos e os seus homólogos liquenizados. O micobionte isolado cresce muito lentamente, e por isso é improvável que sobrevivam bem no estado de vida livre devido à competição com outros fungos ou ao consumo por outros organismos, por isso a maioria dos micobiontes tem a necessidade de se liquenizar (NASH, 2008).

O grau em que as espécies fotobiontes ocorrem em ambos os estados, vida livre ou liquenizados não está bem estabelecido, contudo, parece que a maioria dos líquens é altamente específica na escolha do fotobionte.

Os líquens são encontrados em quase todos os habitats terrestres, desde os trópicos até as regiões polares. Certamente, como resultado da simbiose, tanto o fotobionte como o micobionte têm se expandido em muitos habitats, onde eles separadamente seriam raros ou inexistentes. Por exemplo, a maioria das algas de vida livre e cianobactérias ocorrem em ambientes aquáticos ou pelo menos, habitats terrestres muito úmidos, mas como parte do líquen elas podem ocorrer com abundância em habitats que são frequentemente secos (NASH, 2008).

Existem dois grupos de compostos liquênicos: os metabólitos primários (intracelulares) e os metabólitos secundários (extracelulares). Os principais

compostos intracelulares que ocorrem nos líquens são proteínas, aminoácidos, polióis, carotenóides, polissacarídeos e vitaminas. Alguns desses produtos são sintetizados pelo fungo e outros pela alga. A maioria desses compostos intracelulares não são exclusivos dos líquens podendo ocorrer nos fungos e algas de vida livre ou em vegetais superiores.

A maioria dos compostos orgânicos extracelulares encontrados nos líquens são produtos do metabolismo secundário do fungo, e ficam depositados na superfície das hifas. Esses produtos são geralmente insolúveis em água e só podem ser extraídos com solventes orgânicos (NASH, 2008).

Em *Cladonia verticillaris* (Figura 1) os principais metabólitos secundários são o ácido fumarprotocetrárico (FUM), o ácido protocetrárico (PROTO) e a atranorina (ATR), esses últimos como substâncias acessórias (FILHO et al., 2007).



Figura 1 - Exemplares de *Cladonia verticillaris* em seu habitat natural (SILVA, 2002).

2.5 *Cladonia verticillaris*

O líquen *Cladonia verticillaris*, denominado cladoniforme, faz parte de um grupo de hábito terrícola pertencente à divisão dos Discomycetes, classe dos Ascomycetes, ordem Lecanorales e família Cladoniaceae (AHTI, 1982).

A família Cladoniaceae é a mais representativa dentre as incluídas nos líquens cladoniformes. Suas espécies possuem como fotobionte, algas verdes unicelulares. A formação inicial de seu talo se dá com a formação de esquâmulos de onde os talos emergem. Neste caso são também designados como podécios. Estes podem ser de forma e cores variadas, dos caliciformes aos claviformes (AHTI, 1982; NASH III, 1996).

No gênero *Cladonia* o micobionte está sempre em associação com clorófitas do gênero *Trebouxia*, ordem Chlorococcales, e em menor proporção com *Pseudotrebouxia*, da ordem Chlorosarcinales. A associação é considerada tão específica que nenhuma outra alga realiza a liquenização, mesmo em condições laboratoriais (AHMADJIAN; JACOBS, 1981).

O talo primário, de maneira geral, é esquamuloso a folhoso. Os apotécios encontrados no gênero *Cladonia* são divididos em seis grupos, de acordo com sua forma. São eles: cornuto, clavado, escifoso, verticilado, tubular e furcado.

Cladonia verticillaris é considerada uma espécie endêmica da costa leste do Brasil, encontrada do Rio Grande do Sul à Paraíba (AHTI, 1982; AHTI, 1984; AHTI et al., 1993).

A espécie *C. verticillaris* é caracterizada por possuir verticilos ao longo de seu talo, tem cor branca acinzentada quando submetida a pouca umidade, ou amarronzada quando exposta diretamente ao sol; em período chuvoso seu talo torna-se mesclado de verde e branco. Tem, usualmente, de 7 cm a 12 cm de altura (SILVA, 2002).

2.6 Biologia de *Tillandsia*

As bromélias são uma grande família de Monocotiledôneas peculiares da flora neotropical. Essas plantas alcançaram um alto grau na vida epífita no gênero *Tillandsia* L. (BRIGHINA et al., 1997). O nome científico da família foi

dado por Carolus Linnaeus (CARL VON LINNÉ, 1707-1778, pai do Sistema Binomial de classificação) em homenagem ao cientista sueco Olaf Bromelius. Já o nome do gênero, *Tillandsia*, deriva do nome de outro cientista, Elias Tillands (FRACARO, 2004). A figura 2 mostra a ilustração de um exemplar do gênero *Tillandsia*.

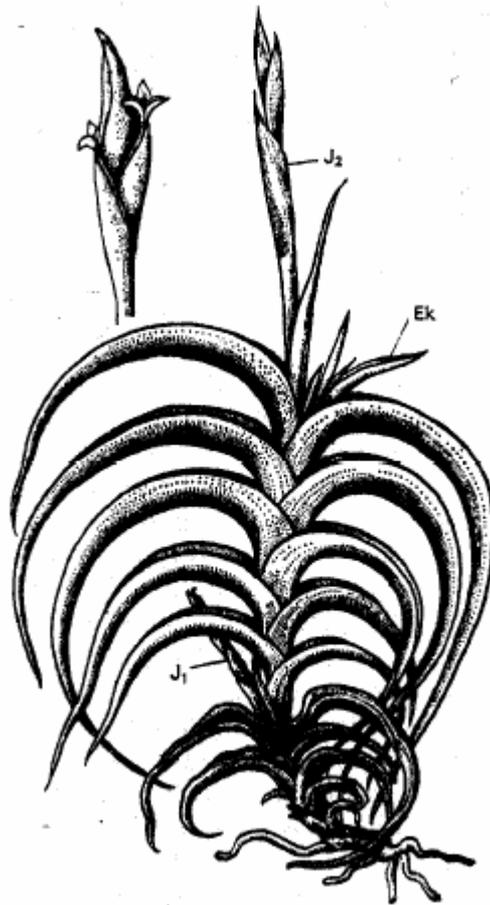


Figura 2 – Ilustração de um exemplar do gênero *Tillandsia* (MOREIRA et al., 2006)

A capacidade das espécies de *Tillandsia* de sobreviver em condições extremas está baseada nas suas características morfológicas e fisiológicas. No gênero *Tillandsia*, as raízes são reduzidas ou ausentes e possuem como função, a fixação no substrato suporte, e não absorver água e nutrientes. O caule e as folhas são completamente cobertos por escamas que protegem os estômatos da desidratação, e são notavelmente higroscópicos, sendo responsáveis pela maior parte da absorção de aerossóis e água e, portanto,

dos nutrientes dissolvidos. As escamas aumentam, significativamente, a superfície de absorção da planta e a proteção contra a desidratação. A *Tillandsia* utiliza o metabolismo ácido crassuláceo (CAM), que reduz a perda de água fechando os estômatos durante o dia, quando a temperatura e pressão de vapor são altos, e abrindo os estômatos à noite, absorvendo o vapor de água e o CO₂ atmosférico (AMADO FILHO et al., 2002).

Cada tricoma da *Tillandsia* tem um “caule” e, acima dele, uma “blindagem” (Figura 3). O caule consiste de 5-6 células superpostas situadas no fundo da epiderme, de modo que as duas mais fundas estão em contato direto com o clorênquima mesófilo. As numerosas células da blindagem ficam na superfície da folha em anéis concêntricos, sendo os mais externos (asas) de extensão variável, dependendo da espécie. As asas do tricoma podem também ser consideradas uma característica taxonômica.

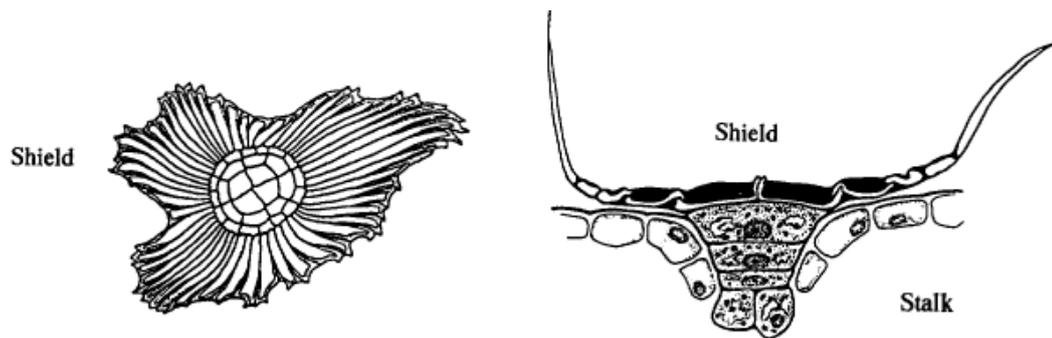


Figura 3 - Detalhe da célula escudo e dos tricomas de *Tillandsia* (BRIGHINA et al., 1997)

Além do papel conhecido de absorvedor, os tricomas representam o meio natural pelo qual a planta realiza várias funções. Isto depende tanto da abundância dos tricomas, por unidade de superfície, como do desenvolvimento da área das asas. Quando as asas são viradas para cima, refletem a claridade, criam um microhabitat muito resguardado para micróbios (entre eles as bactérias fixadoras de nitrogênio), retêm a umidade do ar, aerossóis e poeira ressuspensa (BRIGHINA et al., 1997).

2.7 *Tillandsia recurvata*

Tillandsia recurvata (Figura 4) é uma bromélia epífita cujas raízes são reduzidas ou estão ausentes, apresentando apenas a função de fixação da planta ao substrato (árvores, fios de eletricidade, telhados, rochas, dentre outros), não desempenhando o papel absorptivo, característico de plantas terrestres ou parasitas. Possuem forma de crescimento altamente especializada, com escamas epidérmicas foliares capazes de absorver água e nutrientes diretamente da atmosfera (MANETTI, 2009).



Figura 4 - Exemplar de *Tillandsia recurvata* (PATRICK et al., 1995)

É uma erva epífita que apresenta folhas recurvadas, com 3 a 6 cm de comprimento, cujas margens são lisas, geralmente de cor cinza. Inflorescência com 1,2 a 1,5 cm, com até 3 flores; essas, com cerca de 0,8 cm, subséssil; três

sépalas soldadas na base, três pétalas livres com três estames. É uma planta nativa, ocorrendo do sudeste dos EUA até a Argentina. Aproxima-se taxonomicamente de *T. streptocarpa*, mas pode ser separada pelo porte menor, enquanto que de *T. loliacea* se separa pelas folhas recurvadas (MACIEL, 2009).

A *Tillandsia recurvata* é também chamada de “musgo bola”, por causa do hábito que esta espécie tem de se enrolar em torno do local onde se fixa, dando assim uma aparência de bola (Figura 5).



Figura 5 - *Tillandsia recurvata* em seu ambiente natural (MILD, 2003)

A sequência de desenvolvimento da *T. recurvata* é ilustrada na figura 6, e segue o padrão típico de crescimento e desenvolvimento em seu habitat natural. A germinação das sementes ocorre imediatamente após a sementeira. As plantas jovens de *Tillandsia* têm dois pares de folhas que se desenvolvem ao longo de um eixo primário. A dominância apical é fracamente observada nesta fase, e logo surgem os brotos laterais, a partir do eixo primário, conferindo um padrão de ramificação. O surgimento da forma adulta é

caracterizado pelo crescimento dos brotos laterais, cada uma deles constituído de quatro pares de folhas (MERCIER & ENDRES, 1999).

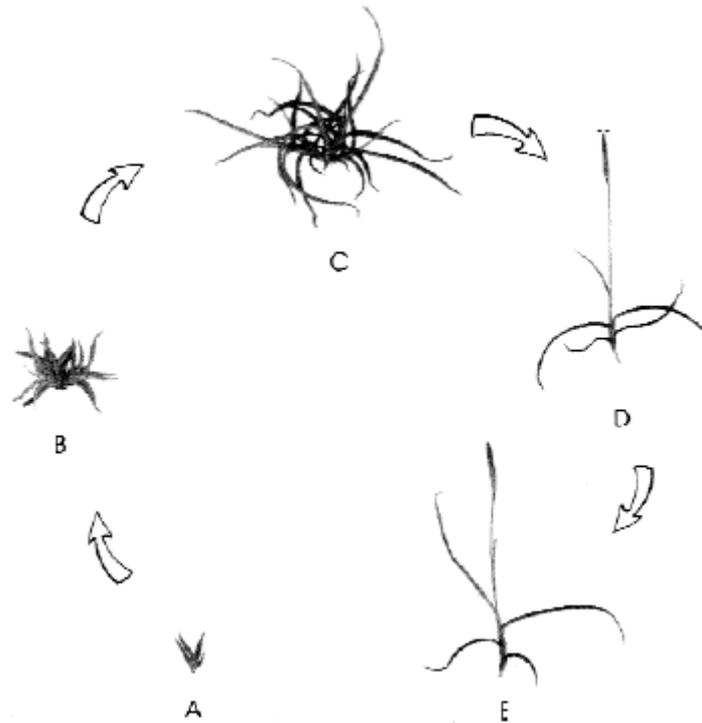


Figura 6 - Fases de desenvolvimento de *Tillandsia recurvata* (MERCIER; ENDRES, 1999)

Em geral, as bromélias do gênero *Tillandsia* iniciam a floração 5 a 8 anos após a fase de plântulas. O desenvolvimento das cápsulas de sementes é acompanhado por uma deterioração progressiva da planta-mãe, que morre lentamente. Quando está em declínio, porém, crescem ramificações de uma ou mais gemas axilares. Assim, a planta continua a ser perpetuada por uma sequência de brotações axilares (MERCIER; ENDRES, 1999).

2.8 *Tillandsia* como monitor ambiental

As plantas epífitas apresentam-se como excelentes ferramentas para a biomonitoração da contaminação atmosférica. Por obterem minerais e nutrientes do ar e não de um substrato, pode-se afirmar que os elementos acumulados nesses organismos refletem a composição atmosférica

(WOLTERBEEK, 2002). Essa característica faz com que esses organismos sejam bastante utilizados, em vários países, como uma ferramenta de baixo custo efetiva para a avaliação da deposição atmosférica de elementos traço.

A *Tillandsia usneoides* foi utilizada para avaliar os níveis de mercúrio em um local de comércio de ouro, na Amazônia. As concentrações desse elemento encontradas nos transplantes foram 300 vezes maiores do que a das amostras controle (MALM et al., 1998); Essa espécie também foi empregada como monitora da contaminação atmosférica de mercúrio oriundo de indústrias no Rio de Janeiro (CALASANS; MALM, 1997; AMADO FILHO et al., 2002), e para avaliar se ocorreu alteração no padrão de contaminantes presentes na atmosfera de uma região da Flórida, EUA, após 25 anos (HUSK et al., 2004). Os resultados obtidos mostraram que as concentrações de Ca, Mg, K e Cu diminuíram nesses organismos, enquanto a de Fe aumentou.

Pignata et al., (2002) utilizou *T. capillaris* para a avaliação da qualidade do ar na cidade de Córdoba, Argentina, verificando tanto suas respostas fisiológicas quanto sua capacidade de acumular metais pesados em seus tecidos. Bedregal et al. (2009) utilizaram *T. capillaris* para a monitoração da qualidade do ar na cidade de Lima, no Peru, e identificaram que as principais fontes de poluição eram as atividades industriais e o trânsito de veículos. Carreras et al., (2008) verificaram uma relação entre o número de casos de problemas respiratórios em crianças e o teor de metais acumulados em *Tillandsia capillaris*.

Brighigna et al., (1997) utilizaram uma espécie de *Tillandsia* para avaliar a poluição causada pelo tráfego de veículos na capital da Costa Rica, por meio da quantificação dos metais Pb, Cu, Cd, nesses organismos. Em 2002, empregando duas espécies de tillandsias (*Tillandsia caput-medusae* e *T. bulbosa*) Brighigna et al. realizaram a monitoração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), na cidade de Florença, Itália.

Bermudez et al., (2008) avaliaram a capacidade de bioacumulação e a resposta aos poluentes, três espécies de tillandsias e uma de líquen, em três tipos de ambientes, na Argentina: rural, urbano e industrial. A espécie que se mostrou mais eficiente em acumular metais pesados foi a *Tillandsia recurvata*.

Os estudos citados confirmam o sucesso do emprego de plantas do gênero *Tillandsia* na monitoração da contaminação atmosférica.

2.9 Cana-de-açúcar no Brasil

Embora grande produtor de açúcar desde o final do século XVI, o Brasil expandiu muito a cultura da cana-de-açúcar, a partir da década de 70, com o advento do PROÁLCOOL, programa desenvolvido pelo governo brasileiro para estimular a produção do etanol, usado como combustível de automóveis, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido por Índia e Austrália (MAGALHÃES, 2007).

Liderando a exportação de açúcar, no mundo, e com a valorização do etanol como biocombustível, esse setor tende a crescer ainda mais nacional e mundialmente. Na safra 2008/09 foram produzidos cerca de 31,6 milhões de toneladas de açúcar e na safra 2009/10, esse número subiu para 35,2 milhões de toneladas. Na safra 2008/09, foram moídos 566 milhões de toneladas de cana, e produzidos 27 bilhões de litros de etanol.

Em Pernambuco, o cultivo da cana-de-açúcar é uma atividade agrícola bastante difundida, especialmente na Zona da Mata, onde diversas propriedades são destinadas a essa monocultura. A cana passa por uma queima pré-colheita para facilitar o trabalho dos cortadores e protegê-los, pois elimina do local o excesso de folhas e palhiço e espanta os animais peçonhentos (cobras, escorpiões, etc.) muito comuns nas plantações. A queima da cana também melhora o rendimento do corte manual (aumentado em até 10 vezes), auxilia no preparo do terreno para novos plantios e aumenta a quantidade de açúcar por peso, devido à evaporação da água (MAGALHÃES, 2007).

2.10 Problemas de saúde causados pela cana-de-açúcar

A queima da cana-de-açúcar é responsável pela liberação de inúmeras partículas e gases para a atmosfera, acarretando o desenvolvimento de

diversas doenças respiratórias. Sabe-se que alguns dos compostos liberados pelo processo de queima são cancerígenos, mutagênicos e responsáveis por alterações endócrinas (GODOI, 2004).

A presença de material particulado com tamanho respirável pode causar um importante impacto sobre a saúde das populações expostas (GODOI, 2004). Esse impacto inclui o aumento de mortalidade, de admissões hospitalares, de visitas às emergências e de utilização de medicamentos, devido a doenças respiratórias e cardiovasculares, além de diminuição da função pulmonar (ARBEX et al., 2004).

A monitoração de contaminantes inalados pela população exposta à fuligem, provenientes do processo de queima da cana-de-açúcar é de grande importância para que se possa ter um conhecimento real dos principais riscos e doenças associados a essa exposição. Diversos estudos comprovam os malefícios causados à população exposta à nuvem de particulados produzida durante o processo da queima da cana-de-açúcar (CANÇADO, 2006, ROSEIRO, 2004, RIBEIRO, 2008), principalmente crianças, idosos e asmáticos.

2.11 Reserva Ecológica de Gurjaú

A Mata Atlântica é um dos ecossistemas brasileiros com maior perturbação antrópica e com maiores taxas de ocupação humana. Vários estudos têm enfatizado a grande diversidade de espécies animais e vegetais nela presentes, e o risco de sua extinção pelo uso contínuo e crescente dessas áreas e de seus recursos (LANDIN, 2007).

No Brasil, início do século XVI, cerca de 12% do território nacional era ocupado pela Mata Atlântica, estendendo-se pela área costeira e interiorana, daí a origem de seu nome. Atualmente, esse ecossistema ocupa aproximadamente 5% de sua área original, sendo classificado como um dos mais ameaçados do planeta (MYERS et al., 2000). No Nordeste do Brasil a situação não é diferente. Nesta região do País, a Mata Atlântica encontra-se reduzida a cerca de 3% de sua área original, sendo composta por fragmentos

desconectados que se distribuem desde o estado da Bahia até o estado do Ceará (MOURA, 2006)

A Reserva Ecológica de Gurjaú encontra-se inserida na porção Sul da Região Metropolitana do Recife (08°, 14' 20" de latitude Sul e 35°, 59' 00" de longitude Oeste), precisamente na divisa dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Moreno (Figura 7), entre os engenhos: Salvador, São Braz, São João, Roças Velhas, sendo estes os engenhos mais antigos do estado de Pernambuco (CPRH, 2008).



Figura 7 - Localização da Reserva Ecológica de Gurjaú (MOURA, 2007).

A reserva foi instituída em 1987, pela Lei Estadual nº 9.989, a qual regulamenta os remanescentes de Mata Atlântica da Região Metropolitana do Recife, apresentando uma área total de 1.077,10 ha, dos quais 400 ha representam áreas florestadas. Desde sua implantação, esta reserva é administrada pela Companhia Pernambucana de Saneamento e Águas (COMPESA), a qual mantém uma estação de tratamento de água no território da Reserva, a partir do represamento do Rio Gurjaú (MOURA, 2006)

A reserva apresenta relevo com altitudes que variam entre 80 e 130m. O clima é do tipo As' quente e úmido (classificação de Köppen), típico desta porção oriental do Nordeste. As chuvas são de outono-inverno, que caracterizam a Zona da Mata Pluvial, com precipitações de 1.900 mm anuais. O período das chuvas vai de março a agosto, e o de estiagem, de setembro a fevereiro. A área de Gurjaú está inserida na bacia hidrográfica do rio Gurjaú, principal afluente do rio Pirapama. O rio Gurjaú tem cerca de 30 km de extensão, nascendo no município de Moreno em altitudes que ultrapassam 150 m, em área de resquício de Mata Atlântica dos engenhos Contra-Açude e Novo da Conceição (MOURA, 2006).

No entorno de toda a Reserva, algumas atividades desenvolvidas de forma indiscriminada têm contribuído para causar danos ao ambiente. As mais importantes são as queimadas realizadas antes da colheita da cana-de-açúcar e a utilização de agrotóxicos e fertilizantes de forma inadequada (CPRH, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foi realizada a biomonitoração da qualidade do ar no entorno da Reserva Ecológica de Gurjaú em decorrência da sua exposição à dispersão de elementos gerada pela queima da cana-de-açúcar, utilizando duas espécies biomonitoras, a planta epífita *Tillandsia recurvata* e o líquen *Cladonia verticillaris*. Trata-se do primeiro trabalho de biomonitoração ativa da dispersão de elementos químicos associada a queima da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

O método de biomonitoração ativa foi empregado tendo em vista a ausência de um levantamento prévio das espécies de líquens e plantas epífitas que ocorrem na reserva, o que inviabiliza a realização de um estudo empregando organismos que já ocorram no local (biomonitoração passiva) e cuja eficiência como biomonitores esteja comprovada.

Os exemplares utilizados foram coletados em locais considerados livres de fontes potenciais de poluentes atmosféricos decorrentes da queima da cana de açúcar. O líquen *Cladonia verticillaris* foi obtido em Alhandra, na Paraíba e a coleta da planta epífita *Tillandsia recurvata*, foi realizada próximo a cidade de Garanhuns, Região Agreste de Pernambuco, local de ocorrência natural da espécie.

Os materiais estranhos que poderiam gerar interferência nos resultados foram retirados com o auxílio de um pincel. Cada unidade experimental foi composta por 12 g do biomonitor selecionado, devidamente acondicionado em bolsas de náilon com dimensões de 20 x 20 cm. A abertura de malha do tecido permitiu o contato dos biomonitores com a atmosfera circundante (figura 8). Todos os transplantes foram realizados em árvores, e as bolsas de náilon com os biomonitores ficaram a cerca de 3 metros do solo.

A Mata do Horto Florestal de Dois Irmãos em Recife foi selecionada como área Controle, por ser uma área de Mata Atlântica e não possuir influência da monocultura da cana-de-açúcar.



Figura 8 - Bolsas com o biomonitor a ser transplantado.

3.1 Experimento 1 - estudo do acúmulo de elementos nas espécies biomonitoras

Com o objetivo de avaliar o padrão de acúmulo dos elementos químicos Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn, exemplares do líquen *Cladonia verticillaris* e da planta epífita *Tillandsia recurvata* foram transplantados na Reserva Ecológica de Gurjaú em cinco pontos e expostos neste local por cinco e dez meses (Figura 9).

Por causas desconhecidas, algumas estações de amostragem foram subtraídas, o que nos impediu de avaliar se a concentração dos elementos sofria interferência pelo tempo menor ou maior de exposição, cinco e dez meses respectivamente. A quantificação dos metais foi realizada por espectrometria de absorção atômica e por meio desses resultados foi possível realizar a comparação entre os biomonitores.

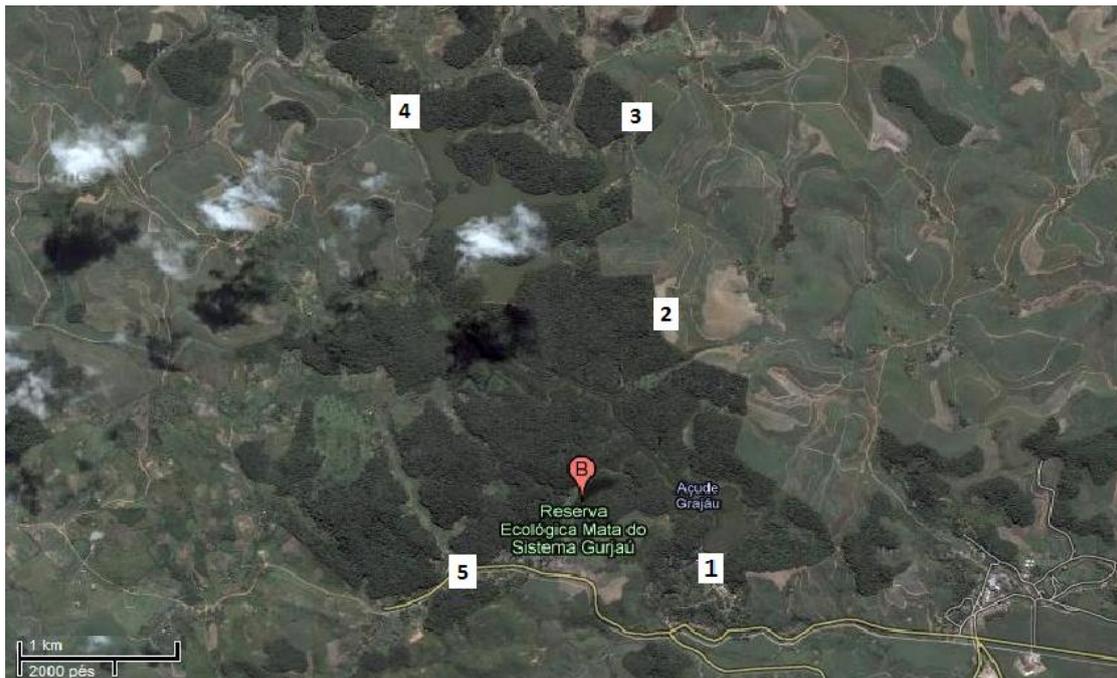


Figura 9 - Localização dos pontos de amostragem na Reserva Ecológica de Gurjaú (Modificado de GOOGLE MAPS, 2010).

3.2 Análise por espectrometria de absorção atômica

O material biológico exposto no primeiro experimento foi liofilizado. Em seguida, cerca de 0,5 g da amostra foi digerida com 10 ml de HNO_3 utilizando um forno microondas com pressão e temperatura ajustáveis. A quantificação dos elementos (Mn e Zn) foi realizada em espectrômetro de absorção atômica (Figura 10), sob chama de ar/acetileno e correção de “background” com lâmpada de deutério.

A técnica de espectrometria de absorção atômica é utilizada amplamente e com muito sucesso para a determinação da concentração de metais em diversas matrizes. De maneira geral, o método consiste em submeter a amostra a um feixe de luz, gerado por uma lâmpada de cátodo oco confeccionada com o mesmo analito a ser quantificado. O feixe de luz é então absorvido pelo analito atomizado. O resto do feixe que não é absorvido continua seu trajeto até o detector, que por meio de um sistema eletrônico convencional processa e analisa o sinal do detector. A diferença de intensidade entre a emissão pela lâmpada e a absorção pelo detector, expressa em

absorbância, é o resultado da concentração do analito, ou seja, a quantidade de luz absorvida é proporcional à concentração do elemento presente na amostra (VOGEL,1996).

A espectrometria por absorção atômica com forno de grafite (FGAAS) é uma técnica muito sensível, na qual uma alta corrente elétrica aquece o forno a aproximadamente 3000°C gerando vapor atômico da amostra. O forno é alinhado de forma que a luz proveniente da fonte passe no meio da amostra atomizada (VOGEL,1996). A quantificação dos elementos Cu, Cd, Cr, Ni e Pb foi realizada por meio do FGAAS.

As amostras foram analisadas em triplicata e o controle de qualidade dos resultados obtidos pelo método aplicado foi avaliado pela leitura regular (a cada 15 amostras) do material de referência IAEA 336 Lichens da IAEA, pelo mesmo método empregado para a abertura das amostras.



Figura 10 - Espectrofotômetro de absorção atômica com forno de grafite acoplado.

3.3 Experimento 2 - estudo de biomonitoração

Para verificar a distribuição dos elementos na Reserva foi realizada a biomonitoração ativa empregando a bromélia atmosférica *Tillandsia recurvata* como organismo biomonitor. Nesse experimento as amostras foram transplantadas simultaneamente na Reserva Ecológica de Gurjaú e no Horto de Dois Irmãos a fim de se comparar a concentração dos elementos nos organismos expostos. Foram montadas 10 estações de amostragem, cinco na Reserva (os mesmos pontos utilizados no estudo de comparação entre as espécies) e cinco no local Controle (Figura 11). As amostras foram expostas por seis meses e os analitos quantificados utilizando-se o método de análise por ativação neutrônica.

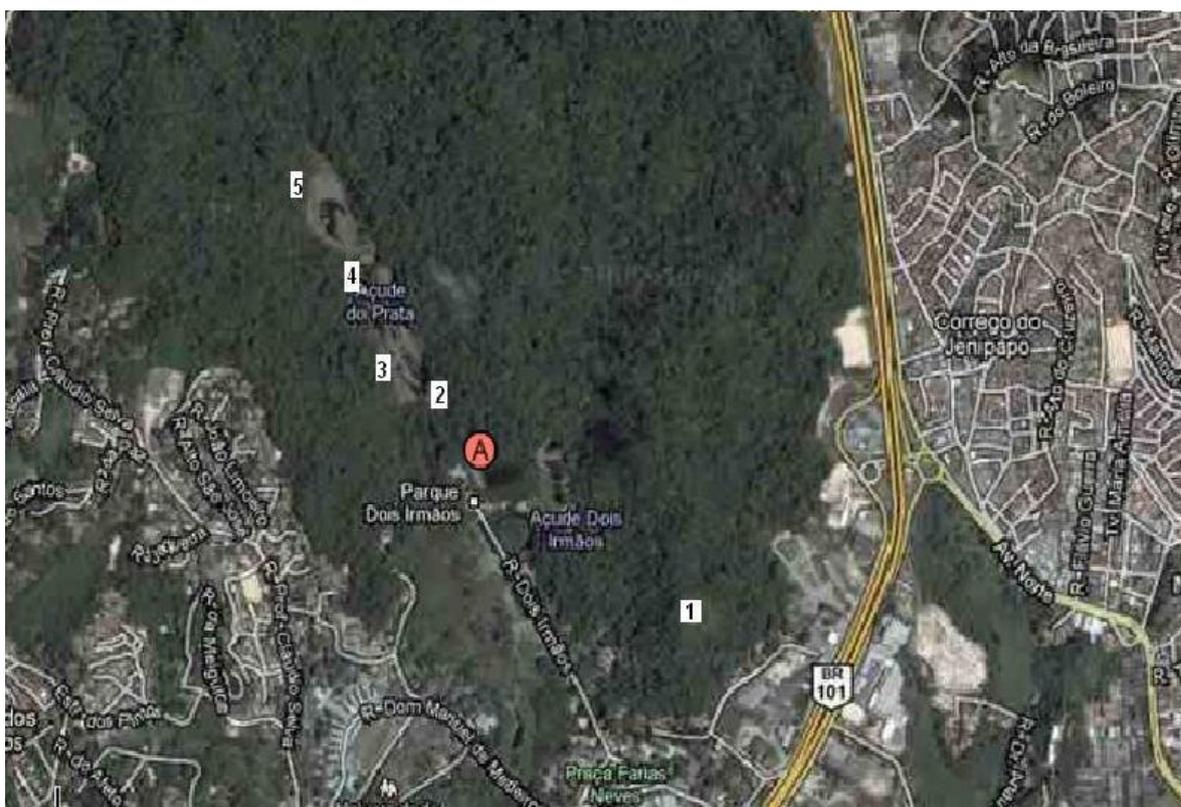


Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem no Horto de Dois Irmãos (Modificado de GOOGLE MAPS, 2010)

3.4 Análise por ativação neutrônica

No segundo experimento, as amostras de líquens e plantas foram analisadas por ativação neutrônica, para determinação de metais, haja vista a participação deste trabalho no PROJECT /2/013 – ARCAL gerenciado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) o qual estimula a utilização da ativação neutrônica para a análise dos metais nos líquens e plantas epífitas.

Esta técnica tem se tornado a base da pesquisa de elementos bioquímicos e geoquímicos em quantidades traços, por apresentar uma série de vantagens (IAEA, 1990). Uma delas está relacionada com o fato de que a espectrometria γ de alta resolução permite a identificação quantitativa e simultânea dos radionuclídeos presentes na amostra, tornando-a uma técnica multielementar. A detecção desses nuclídeos fornece uma medida da concentração total dos elementos de interesse presentes na amostra. Além disso, a presença de possíveis interferentes pode ser testada quando são emitidas linhas múltiplas de raios γ a partir de um determinado elemento. Na espectrometria de raios gama, normalmente são empregados detectores de germânio (HPGe) acoplados a um analisador multicanal.

3.4.1 Preparação das amostras

As amostras do líquen *Cladonia verticillaris* e da planta epífita *Tillandsia recurvata*, utilizadas nos experimentos, foram liofilizadas. Cerca de 200 mg desse material foi pesado em envelopes de polietileno, posteriormente selados.

3.4.2 Preparação dos padrões

Para preparação dos padrões sintéticos elementares foram utilizadas soluções-padrão dos elementos: As, Br, Ca, Cd, Ce, Cr, Co, Cs, Cu, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Mn, Mo, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Tb, Th, V, Yb, Zn.

Partindo dessas soluções, foram feitas diluições e retiradas alíquotas de 50 μ L, pipetadas sobre tiras de papel de filtro *Whatman No. 42*, com dimensões de 1,3 cm x 2,0 cm, utilizando-se uma pipeta automática. Essas tiras de papel foram colocadas em um dessecador para secagem à temperatura ambiente e posteriormente, dobradas, colocadas em invólucros de polietileno e seladas. Estes padrões foram, então, irradiados junto com as amostras.

3.4.3 Irradiações e medições

Foram realizadas duas séries de irradiações no reator nuclear IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP): irradiações curtas, com tempo aproximado de 5 min e irradiações longas, com tempo de 16 h.

3.4.4 Irradiações por períodos curtos

Para as irradiações curtas foram utilizados três amostras e os padrões sintéticos elementares. As amostras e padrões foram colocados em um invólucro de polietileno e este foi acondicionado no interior de um dispositivo de plástico específico para irradiação curta, denominado coelho. Como calço para este dispositivo foi utilizada uma folha de alumínio. A irradiação curta foi realizada na Estação Pneumática n°4 do reator IEA-R1.

Um cronômetro foi utilizado para o controle do tempo desde a chegada da amostra no núcleo do reator até as contagens, sendo registrado o início e final das contagens, esses tempos foram utilizados nos cálculos realizados para determinação das concentrações dos elementos. As amostras e os padrões sintéticos dos elementos foram fixadas com o auxílio de uma fita crepe em um suporte de aço inox denominado “panelinha”. O uso de fita crepe para a fixação das amostras no suporte evita o rompimento do invólucro de polietileno contendo o material ativado, impedindo assim uma possível contaminação, bem como também favorece a realização das contagens das amostras e dos padrões em uma mesma geometria. As medidas foram realizadas em um

detector de germânio hiperpuro (HPGe) Canberra. A resolução do sistema de contagem utilizada foi de 2,0 keV para o fotopico de 1331,49 keV do ^{60}Co , monitorada diariamente.

As contagens das amostras e padrões foram realizadas em dois tempos distintos: a primeira foi realizada logo após a irradiação para determinação dos elementos Cu e V, com tempo de contagem de 300 segundos; a segunda contagem foi realizada após cerca de uma hora de decaimento com um tempo de contagem de 600 segundos para determinação dos elementos Mn e Na.

3.4.5 Irradiações por períodos longos

No caso das irradiações longas, as amostras e padrões sintéticos elementares foram envoltos em folhas de alumínio e em seguida acondicionados em “coelhos” de alumínio para irradiação no reator IEA-R1 por um período de 16 horas. Após cerca de 4 dias de decaimento as amostras e os padrões foram fixados em “panelinhas” de aço inoxidável e medidos no HPGe.

O tempo de contagem para os padrões foi de 3600 segundos e para as amostras de 14400 segundos. Foram realizadas neste caso, três séries de contagens em diferentes tempos de decaimento para determinar um número maior de elementos e também evitar o problema de interferências na análise. A primeira contagem foi feita após cerca de quatro dias de decaimento para a determinação dos elementos de meias-vida de até uma semana, isto é, dos elementos As, Br, Ca, Cu, La, Mo, Na e Sb. Na segunda contagem, após cerca de dez dias, foram determinados os elementos Cr, Fe, Rb, Sb, Se e Zn. Após cerca de vinte dias de decaimento foi realizada, então, a terceira contagem. Neste caso, determinaram-se os elementos Co, Cr, Cs, Fe, Rb, Sc, Se e Zn cujos radioisótopos apresentam tempos de meia-vida longos.

Além disso, foi definida uma distância de cinco centímetros entre o detector e a amostra para realização das medidas tanto para as irradiações curtas quanto longas, a fim de minimizar o tempo morto, diminuindo, com isso, a probabilidade de saturação do detector. Para aquisição dos dados foi utilizado o programa GENIE-2000/Canberra para identificação das energias

dos radionuclídeos medidos e suas respectivas contagens. As concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo.

Na Tabela 1 são apresentados os radionuclídeos estudados e suas características.

Tabela 1 - Características dos radionuclídeos estudados

Elemento	Radioisótopo	Energia (keV)	Meia-vida
Br	⁸² Br	776,52	35,3 h
Ca	⁴⁷ Ca	159,38 / 1297,09	4,54 d
Cr	⁵¹ Cr	320,08	27,7 d
Cs	¹³⁴ Cs	795,85	2,06 a
Co	⁶⁰ Co	1173,24	5,27 a
Fe	⁵⁹ Fe	1099,25 / 1291,6	44,5 d
Hf	¹⁸⁰ Hf	482	42,3 d
Rb	⁸⁶ Rb	1076,6	18,66 d
Sb	¹²² Sb	564,24	2,7 d
Sc	⁴⁶ Sc	889,28	83,81 d
Se	⁷⁵ Se	264,66	119,77 d
Th	²³³ Pa	311,8	27 d
Zn	⁶⁵ Zn	1115,55	243,9 d
La	¹⁴⁰ La	815,77 / 1596,21	40,27 h
Ce	¹⁴¹ Ce	145,5	32,5 d
Nd	¹⁴⁷ Nd	91,4 / 531	11,1 d
Sm	¹⁵³ Sm	103,2	47,1 h
Tb	¹⁶⁰ Tb	879,4	73 d
Eu	¹⁵² Eu	1407,5	12,2 a
Yb	¹⁷⁵ Yb / ¹⁶⁹ Yb	396,1 / 197,8	101 h / 30,6d

3.4.6 Validação da metodologia

Com o objetivo de avaliar a precisão e a exatidão do método analítico empregado foram processados e analisados juntamente com as amostras dois materiais certificados de referência: IAEA-336 LICHEN e IAEA-392 ALGAE, fornecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). As condições experimentais utilizadas para a análise dos materiais certificados de referência foram às mesmas utilizadas para as análises das amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises por AAS do Material de referência IAEA – 336 LICHEN e IAEA-392 ALGAE.

Na Tabela 2 e 3 são apresentados os resultados da média aritmética das concentrações dos elementos em triplicatas, seus desvios padrão, os valores certificados e o valor recuperado para o material certificado de referência IAEA-336 LICHEN e IAEA-392 ALGAE. Nestas tabelas também são apresentados os valores certificados e informativos (IAEA, 1999; IAEA, 2005) para comparação.

Tabela 2 - Valores obtidos para o material de referência IAEA LICHEN-336

Elemento	Valor observado (n=3)	Valores do certificado	Recuperado (%)
Cd (mg.kg ⁻¹)	0,088 ± 0,005	0,117 (0,100-0,134)*	75
Cr (mg.kg ⁻¹)	0,9 ± 0,1	1,06 (0,89-1,23)*	85
Cu (mg.kg ⁻¹)	3,4 ± 0,2	3,6 (3,1-4,1)	94
Mn (mg.kg ⁻¹)	51 ± 1	63 (56-70)	81
Ni (mg.kg ⁻¹)	0,869 ± 0,001	----	----
Pb (mg.kg ⁻¹)	1,3 ± 0,1	4,9 (4,3-5,5)*	26
Zn (mg.kg ⁻¹)	29,9 ± 1,4	30,4 (27,0-33,8)	98

*Valores informativos.

Conforme mostra a Tabela 2, os resultados obtidos apresentam uma boa precisão para a maioria dos elementos, com um valor recuperado em média de 86%, excluindo-se o valor encontrado para o chumbo. Para este elemento foi obtido o resultado de menor exatidão, com um valor recuperado de apenas 26%, isto ocorreu provavelmente devido à presença significativa de fosfatos, carbonatos, iodetos, fluoretos ou acetatos na matriz. Quando em grandes quantidades na amostra, estes compostos formam complexos com o chumbo dificultando assim a sua quantificação.

Tabela 3 - Valores obtidos para os materiais de referência IAEA ALGAE-392

Elemento	Valor observado (n=3)	Valores do certificado	Recuperado (%)
Cr (mg.kg ⁻¹)	4,0 ± 0,5	4,57 *	87
Cu (mg.kg ⁻¹)	21,8 ± 1,3	23,2	94
Mn (mg.kg ⁻¹)	55 ± 2	67,5	81
Ni (mg.kg ⁻¹)	0,5 ± 0,1	0,57	88
Pb (mg.kg ⁻¹)	0,68 ± 0,03	0,57	119
Zn (mg.kg ⁻¹)	101,4 ± 5,3	128	79

*Valores informativos.

Na Tabela 3 verifica-se que a média dos valores recuperados ficou em torno de 86%, confirmando que as medidas são precisas e exatas. O chumbo apresentou um valor recuperado acima de 100%, isso pode ter ocorrido pela presença de um elemento na amostra que possua comprimento de onda que interfira na absorbância.

4.2 Análises das amostras por AAS

Os resultados das análises dos líquens e Tilandsias coletados na área considerada limpa (Alhandra-PB e Garanhuns-PE) e após o período de exposição na Reserva Ecológica de Gurjaú, são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Nas amostras de líquens expostas apenas os elementos Cr e Cu apresentaram um aumento na concentração desses elementos quando comparadas as amostras do local não poluído. As concentrações dos elementos Cr e Cu variaram de 0,8 mg.kg⁻¹ a 2,0 mg.kg⁻¹ e de 1,9 mg.kg⁻¹ a 2,6 mg.kg⁻¹ respectivamente. Para os demais elementos as concentrações no local considerado não poluído foram maiores que aquelas obtidas pela análise dos líquens após o período de exposição. Estes resultados podem inferir que os líquens utilizados já estavam sofrendo influência do tráfego de veículos próximo do local onde os mesmos foram coletados. Os elementos Cd e Zn estão ligados a utilização de freios dos automóveis, já o Ni está associado ao

desgaste de peças (PIGNATA, 2009). O fato de o líquen *Cladonia verticillaris* ser uma espécie terrícola pode justificar uma maior concentração de Mn nas amostras coletadas em local não poluído, já que este elemento provém majoritariamente do solo.

Tabela 4 - Concentração de elementos químicos (mg.kg^{-1}) em líquens transplantados na Reserva Ecológica de Gurjaú

Elemento	Área controle (Ponto 0)	Ponto 1	Ponto 3	Ponto 4
Cd	$0,05 \pm 0,01$	$0,020 \pm 0,001$	$0,024 \pm 0,002$	$0,0329 \pm 0,0004$
Cr	$0,8 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,1$	$0,96 \pm 0,02$
Cu	$1,9 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	$2,37 \pm 0,02$	$2,08 \pm 0,04$
Mn	$27,2 \pm 0,2$	22 ± 1	$19,2 \pm 0,3$	24 ± 1
Ni	$1,7 \pm 0,3$	$0,9 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	$0,81 \pm 0,05$
Pb	$0,7 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,02$	$1,4 \pm 0,1$
Zn	20 ± 1	19 ± 1	$12,4 \pm 0,5$	21 ± 2

Tabela 5 - Concentração de elementos químicos (mg.kg^{-1}) em *Tillandsias* transplantadas na Reserva Ecológica de Gurjaú

Elemento	Área controle (Ponto 0)	Ponto 1	Ponto 3	Ponto 4
Cd	$0,054 \pm 0,002$	$0,018 \pm 0,002$	$0,017 \pm 0,001$	$0,015 \pm 0,001$
Cr	$2,6 \pm 0,4$	$1,0 \pm 0,1$	$0,58 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,03$
Cu	$2,8 \pm 0,1$	$5,4 \pm 0,1$	$5,1 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,4$
Mn	53 ± 1	78 ± 3	36 ± 1	73 ± 1
Ni	$2,1 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,2$	$5,9 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,1$
Pb	23 ± 2	34 ± 1	28 ± 1	$11,5 \pm 0,5$
Zn	22 ± 1	27 ± 1	22 ± 1	26 ± 1

Para as amostras de *Tillandsia recurvata* os elementos cádmio e cromo não apresentaram um padrão de acumulação, inviabilizando assim a associação da sua concentração com prováveis fontes desses elementos.

Para o cobre a concentração variou de $2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $5,4 \text{ mg.kg}^{-1}$, o aumento da concentração deste elemento pode estar relacionada com o solo (PEDROZO, 2001). Outra possível fonte desse elemento é o uso de fertilizantes à base de cobre (DEMIREL et al., 2007).

O Manganês apresentou concentrações que variaram de 36 mg.kg^{-1} a 78 mg.kg^{-1} nas folhas das plantas estudadas, as concentrações desse elemento no ar geralmente são baixas, estando presente sob diversas formas na atmosfera. As principais fontes antropogênicas deste elemento são queima de combustíveis fósseis e atividades industriais, sendo esta última a mais importante (MARTINS; LIMA, 2001). O aumento na concentração desse elemento nas amostras analisadas pode estar relacionado ao uso de substâncias químicas no cultivo da cana-de-açúcar, outra fonte desse elemento pode ser o solo. Na Argentina, Wannaz et al. (2006) encontrou uma correlação entre o fator de concentração de manganês em uma área que predomina a agricultura, sugerindo que este metal pode estar relacionado com o uso de agrotóxicos (fertilizantes e pesticidas). Por outro lado uma maior disponibilidade do manganês pode estar ocorrendo pela erosão causada pelo intenso uso do solo por atividades agrícolas.

O níquel é o 24º elemento mais abundante da crosta terrestre. É um dos metais traço mais bem distribuídos no meio ambiente, sendo liberado a partir tanto de fontes naturais quanto de atividades antrópicas, estas últimas podendo ser fontes fixas ou móveis. Este elemento está presente no ar, água, solo e material biológico. Fontes naturais que contribuem para o aumento dos níveis atmosféricos de níquel incluem a poeira derivada do intemperismo das rochas e dos solos, as emissões vulcânicas, incêndios florestais e da vegetação (CEMPEL; NIKEL, 2006). No presente estudo as concentrações de níquel variaram de $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $5,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ nas amostras de *Tillandsia*. O aumento dessa concentração pode estar relacionado com o material particulado originado do solo, bem como também a queima de biomassa.

As concentrações do chumbo variaram de 11,5 mg.kg⁻¹ a 34 mg.kg⁻¹. Embora os processos naturais e antropogênicos sejam responsáveis pela liberação do chumbo no ambiente, a contribuição antropogênica é predominante (PAOLIELLO; CHASIN, 2001). A atividade agrícola pode ser a principal fonte desse elemento no local de estudo.

Nas amostras analisadas as concentrações de zinco variaram de 22 mg.kg⁻¹ a 27 mg.kg⁻¹. Este elemento pode ser liberado na atmosfera por emissões veiculares, usinas de energia que queimam carvão e atividades agrícolas que empregam pesticidas e fertilizantes que tem zinco em sua formulação (NG et al., 2005).

Com o objetivo de conhecer o padrão de acumulação dos elementos Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn entre as espécies estudadas, foram construídos quatro gráficos comparativos (Figuras 12, 13, 14 e 15).

Os gráficos indicam que os exemplares do líquen *Cladonia verticillaris* apresentaram uma maior quantidade dos elementos Cd e Cr nos seus tecidos, enquanto que a planta epífita *Tillandsia recurvata* apresentou uma maior concentração dos elementos Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em todos os pontos monitorados, isso demonstra que os organismos apresentam um padrão de acumulação diferente e que para um estudo com um maior número de elementos químicos, o emprego dos dois biomonitoradores simultaneamente se apresenta como a melhor opção.

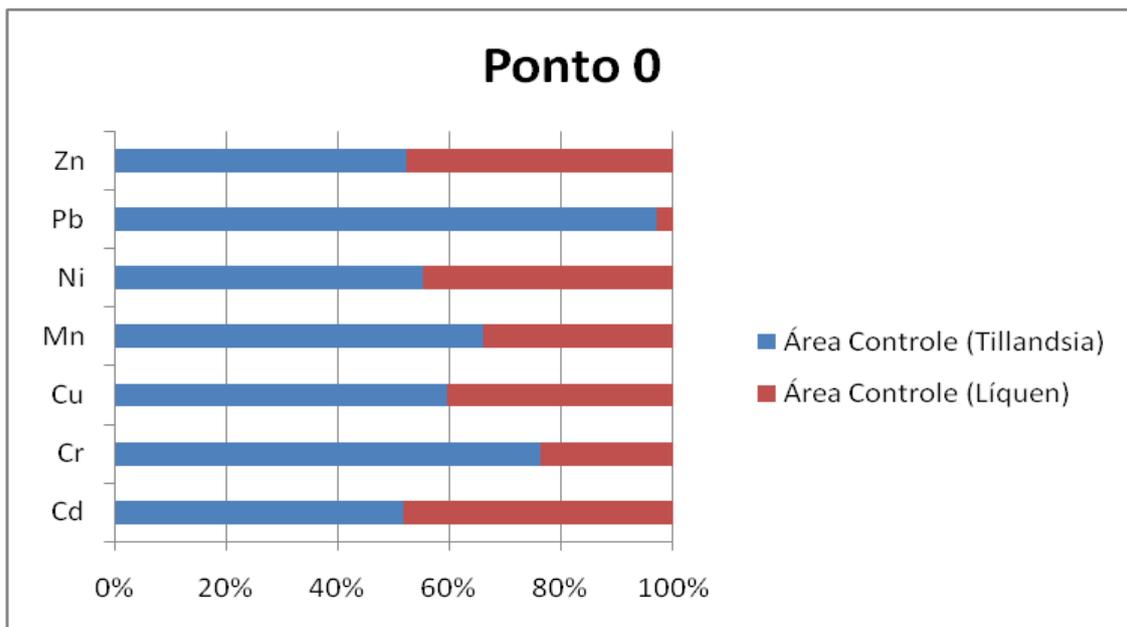


Figura 12 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e *Tillandsia* no ponto 0

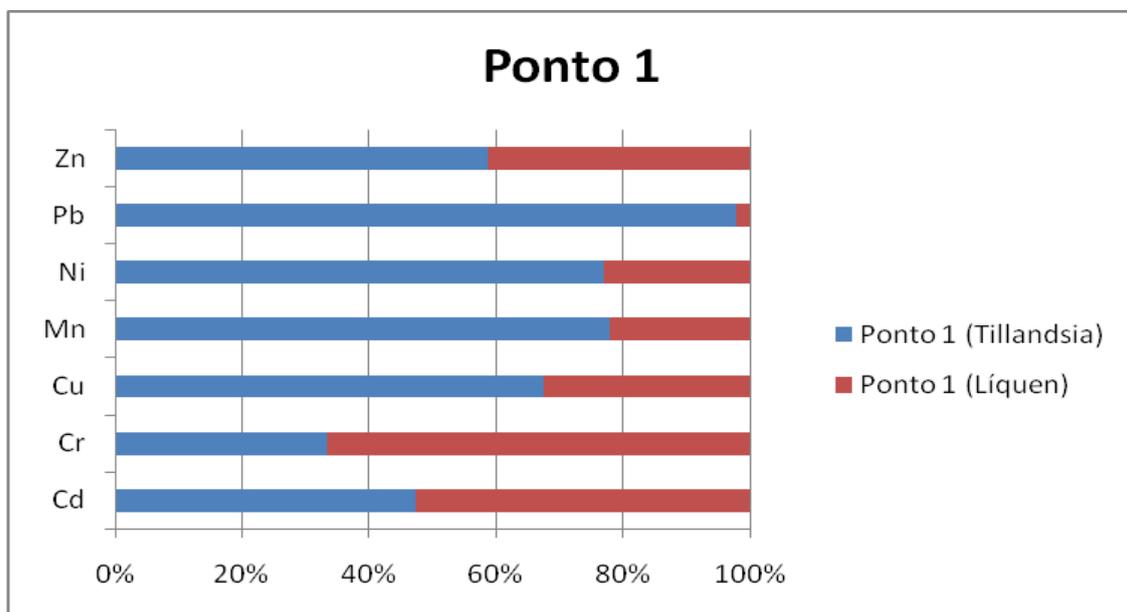


Figura 13 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e *Tillandsia* no ponto 1

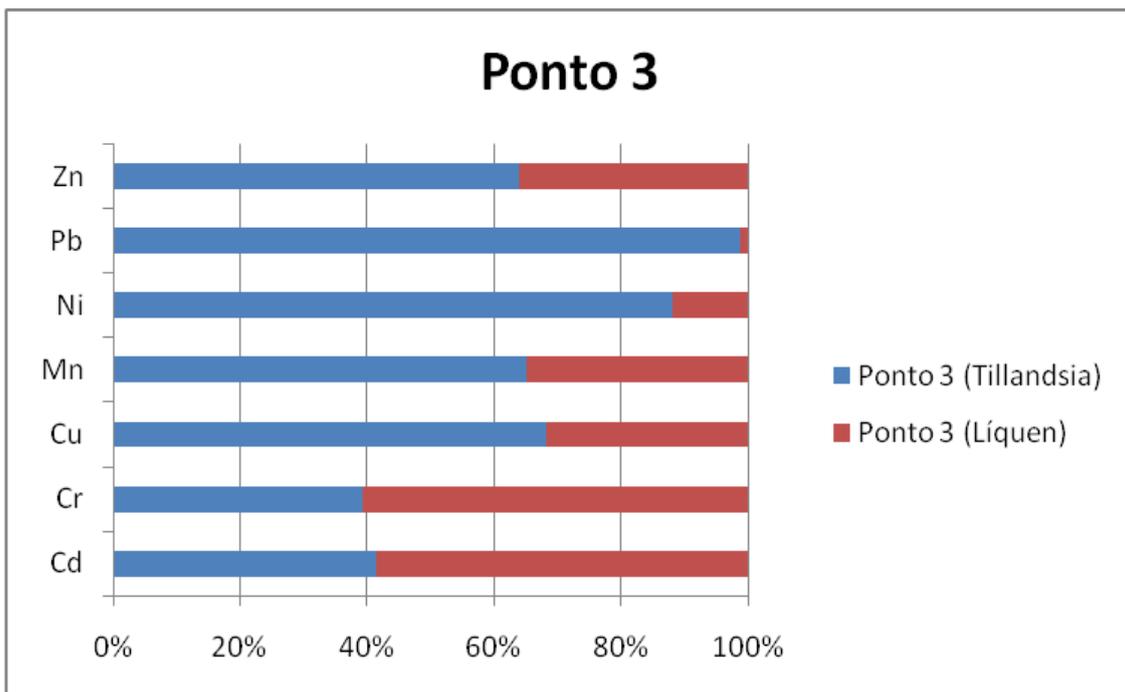


Figura 14 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e Tillandsia no ponto 3

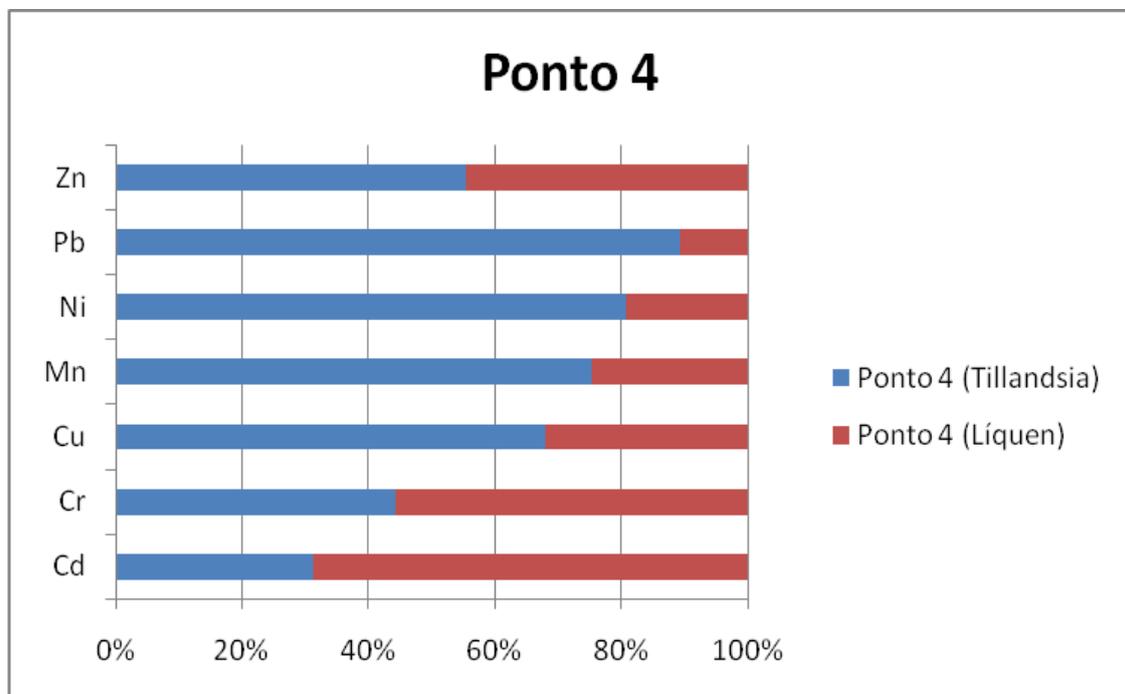


Figura 15 – Gráfico comparativo de absorção dos elementos nas amostras de líquens e Tillandsia no ponto 4

4.4 Análises por ativação com nêutrons

A tabela 6 apresenta os resultados das amostras de *Tillandsia* coletadas em Garanhuns-PE, as expostas no Horto de Dois Irmãos (local controle) e na Reserva Ecológica de Gurjaú. Nessas análises foram obtidas as concentrações para Cs, Co, Hf, Sb, Sc, Se, Th, Sm, Tb, Eu, Yb, Mn, V aos níveis de $\mu\text{g kg}^{-1}$, os elementos Br, Cr, Fe, Rb, Zn, La, Ce e Nd em mg kg^{-1} e o Ca em valor percentual.

Tabela 6 - Resultados da análise de amostras de *Tillandsia* obtidos pelo método instrumental de ativação com nêutrons (mg kg^{-1})

Elementos	Amostra não exposta	Amostra exposta no Horto	Amostra exposta em Gurjau
Br	13,5 ± 0,3	14,5 ± 0,1	11,7 ± 0,2
Ca	6860± 15	8460 ± 18	8570 ± 19
Cr	13,60± 0,07	22,75 ± 0,12	118,29± 0,12
Cs	1,101 ± 0,008	0,899 ± 0,007	1,037 ± 0,008
Co	2,193 ± 0,025	2,178 ± 0,025	2,964 ± 0,034
Fe	5557 ± 32	4960 ± 29	6708 ± 39
Hf	2,390 ± 0,007	1,949 ± 0,006	4,682 ± 0,012
Rb	35,0 ± 0,4	25,6 ± 0,3	32,2± 0,4
Sb	0,758 ± 0,010	0,844 ± 0,012	0,980 ± 0,016
Sc	1,499 ± 0,005	1,183 ± 0,004	1,671 ± 0,006
Se	0,798 ± 0,017	0,720 ± 0,015	2,681 ± 0,007
Th	4,417 ± 0,011	3,266 ± 0,008	4,718 ± 0,011
Zn	140,9 ± 0,6	268,0 ± 1,1	309,6 ± 1,3
La	10,36 ± 0,08	8,02 ± 0,05	11,76 ± 0,08
Ce	11,66± 0,04	17,14± 0,05	36,14 ± 0,11
Nd	6,59 ± 0,21	7,63 ± 0,05	8,87 ± 0,28
Sm	1,114 ± 0,004	0,938 ± 0,001	1,310 ± 0,003
Tb	0,0988 ± 0,0021	0,0863 ± 0,0042	0,1165 ± 0,0013
Eu	0,212 ± 0,002	0,176 ± 0,002	0,261 ± 0,003
Yb	0,352 ± 0,005	0,301 ± 0,004	0,329 ± 0,009

Com os dados apresentados na tabela 6 foi calculado o fator de acumulação (NOGUEIRA, 2006) das concentrações dos elementos analisados por ativação neutrônica nas amostras de *Tillandsia recurvata* expostas nos locais de monitoramento em comparação com o local considerado não poluído (Figura 16). Esta relação, expressa em valores percentuais, foi calculada a partir da seguinte equação:

$$FE_E = \frac{(CE_A - CE_C)}{CE_C} \times 100$$

Onde:

FE_E = Fator de acumulação do elemento E na amostra

CE_A = concentração do elemento E na amostra

CE_C = concentração do elemento E na amostra controle

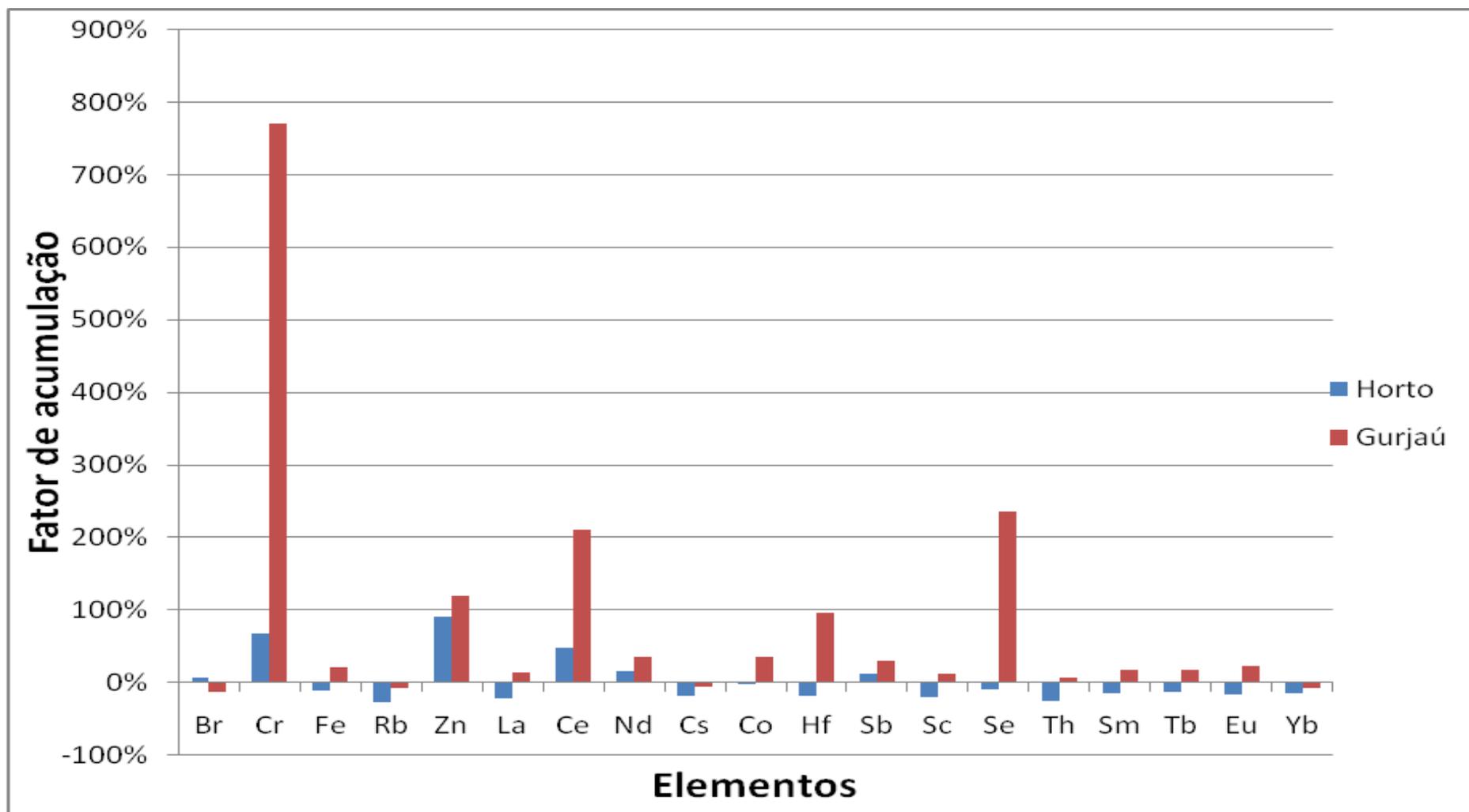


Figura 16 - Fator de acumulação da concentração dos elementos analisados por Ativação Neutrônica nas amostras de *Tillandsia recurvata*

Os elementos Cr, Zn, Ce, Hf e Se apresentaram o maior percentual de acúmulo na amostra de *Tillandsia recurvata* exposta na Reserva Ecológica de Gurjaú. Na amostra de *Tillandsia* exposta no Horto de Dois Irmãos os maiores fatores obtidos foram para os elementos Cr, Zn e Ce.

Com exceção dos elementos Br, Rb, Cs e Yb, todos os demais elementos apresentaram fatores de acumulação elevados nas amostras de *Tillandsia* expostas na Reserva Ecológica de Gurjaú. Por outro lado, as amostras de *Tillandsia* instaladas no Horto de Dois Irmãos apresentaram comportamento inverso, visto que foi observada uma maior acumulação apenas dos elementos Br, Cr, Zn, Ce e Sb.

Dos elementos investigados, o Cr apresentou o maior percentual de enriquecimento das amostras expostas em Gurjaú (770%), enquanto que para as amostras expostas no Horto, o aumento foi de 67%. O elemento cromo é emitido no ar não somente por processos industriais, mas também por processos de combustão, incluindo as queimas de florestas (SILVA; PEDROZO, 2001), portanto o aumento da concentração desse elemento pode estar relacionado com a prática da queimada do canavial antes da colheita, já o aumento nas concentrações das amostras do Horto pode estar relacionado com o tráfego de veículos.

O zinco é um elemento que possui uma grande importância fisiológica para as plantas, por ser um elemento constituinte de várias enzimas como a álcool desidrogenase, anidrase carbônica, desidrogenase glutâmica, entre outras (TAIZ; ZEIGER, 2006). As amostras de *Tillandsia* expostas na Reserva de Gurjaú apresentaram um FE_E de 120% enquanto que nas amostras do Horto este fator chegou a 90%, demonstrando assim que por se tratar de um elemento de grande relevância fisiológica ele pode ter sido armazenado nos tecidos vegetais dos exemplares estudados.

O elemento selênio tem sua origem atribuída à combustão do carvão, fundições de Cu-Pb, águas residuais e alguns fertilizantes fosfatados (FUGA, 2006). Os fertilizantes possivelmente são a causa do incremento de 236% na

concentração deste elemento nas amostras expostas na Reserva Ecológica de Gurjaú.

A presença de cobalto no ar pode estar relacionado com a mineração de Ni, Ag, Pb, Cu, e Fe, além de combustão de carvão e fertilizantes (FUGA, 2006). Em nosso caso se enquadra a opção de que a provável fonte desse elemento são os fertilizantes utilizados na monocultura da cana-de-açúcar. Foi encontrado um fator de concentração de 35% para as amostras expostas na Reserva.

O pequeno aumento na concentração do Br presente nas amostras de *Tillandsia* expostas no Horto, pode ser resultado da deposição atmosférica decorrente do tráfego de veículos na área.

Os elementos Fe, Rb, La, Ce, Nd, Cs, Hf, Sb, Sc, Th, Sm, Tb, Eu, Yb encontrados nas amostras analisadas podem estar associados a suspensão do material particulado do solo.

Para uma melhor compreensão do comportamento dos elementos analisados, realizou-se a análise de agrupamentos (*cluster*) utilizando o software Statistica. O dendograma obtido a partir das concentrações padronizadas (média = 0; variância = 1) dos elementos químicos está apresentado na Figura 17.

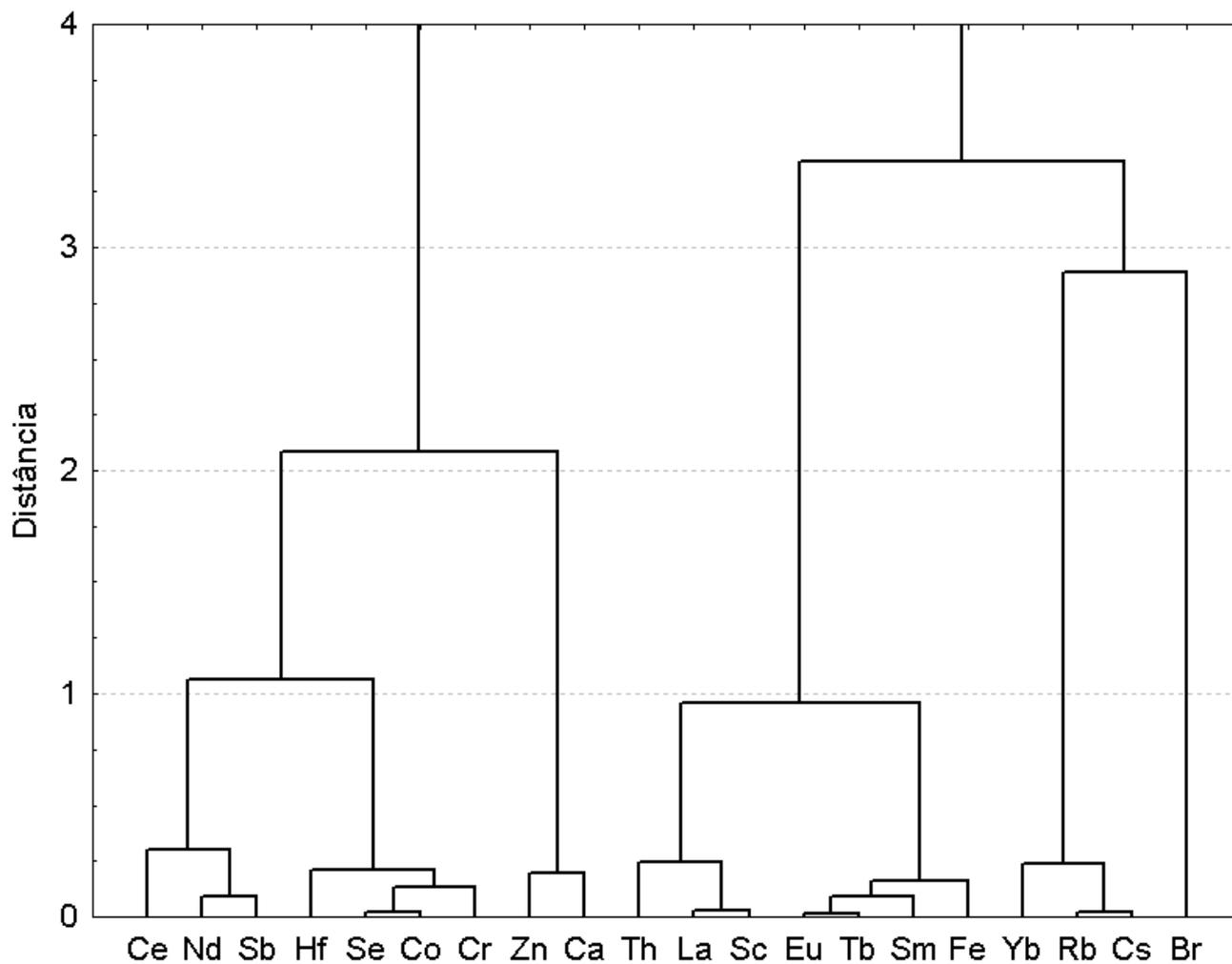


Figura 17 – Dendrograma com os elementos químicos analisados

O dendrograma mostra que os elementos químicos estão organizados em dois grandes grupos. No primeiro estão o Ce, Nd, Sb, Hf, Se, Co, Cr, Zn e Ca. Era esperado que o sub grupo formado pelos elementos Ce, Nd, Sb e também o elemento Hf, estivessem associados ao segundo grupo formado pelos elementos terrígenos Th, La, Sc, Eu, Tb, Sm, Fe, Yb, Rb, Cs, Br.

O agrupamento dos elementos que apresentaram os maiores fatores de acumulação, Co, Cr, Zn e Se, fornece indícios de que esses elementos químicos estão associados a atividades antropogênicas, corroborando assim, com os

fatores de acumulação dos elementos encontrados nas amostras de *Tillandsia recurvata*, principalmente aquelas transplantadas na Reserva Ecológica de Gurjaú.

5 CONCLUSÕES

A biomonitoração utilizando a planta epífita *Tillandsia recurvata* e o líquen *Cladonia verticillaris* se mostrou uma ferramenta adequada para a avaliação da poluição atmosférica por metais pesados provenientes da queima do canavial para a colheita da cana-de-açúcar na Reserva Ecológica de Gurjaú – PE. Como principais vantagens o método empregado apresenta um baixo custo para sua realização e pode ser utilizado para monitorar áreas extensas e remotas como, por exemplo, a região estudada.

O trabalho gerou dados relevantes que confirmam a dispersão dos elementos para a atmosfera gerada pela queimada do canavial na Reserva Ecológica de Gurjaú. Estes são os primeiros resultados de biomonitoração ativa da dispersão de elementos químicos associada à queima da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMO, P.; GIORDANO, S.; VINGIANI, S.; CASTALDO COBIANCHI, R.; VIOLANTE, P. Trace element accumulation by moss and lichen exposed in bags in the city of Naples (Italy). **Environmental Pollution**, v. 122, p. 91-103, 2003.

AHTI, T. Evolutionary trends in cladoniform lichens. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory**, v. 52, p. 331-341, 1982.

AHTI, T. The status of *Cladina* as a genus segregated from *Cladonia*. **Nova Hedwigia**, v. 79, p. 25-61, 1984.

AHTI, T., STENROOS, S., XAVIER-FILHO, L. The lichen family Cladoniaceae in Paraíba, Pernambuco and Sergipe, northeast Brazil. **Tropical Biology**, v. 7, p. 55-70, 1993.

AHTI, T. STENROOS, S.; XAVIER-FILHO, L. The lichen family Cladoniaceae in Paraíba, Pernambuco and Sergipe, northeast Brazil. **Tropical Biology**, v. 7, p.55-70, 1993.

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

ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 30, p. 158-175, 2004.

AZNAR, J.-C.; RICHER-LAFLÈCHE, M.; CLUIS, D. Metal contamination in the lichen *Alectoria sarmentosa* near the copper smelter of Murdochville, Québec. **Environmental Pollution**, v. 156, p. 76-81, 2008.

BACKOR, M.; LOPPI, S. Interactions of lichens with heavy metals. **Biologia Plantarum**, v. 53, p. 214 – 222, 2009.

BAPTISTA, M.S.; VASCONCELOS, M.T.S.D.; CABRAL, J.P.; FREITAS, M.C.; PACHECO, A.M.G. Copper, nickel and lead in lichen and tree bark transplants over different periods of time. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 408-413, 2008.

BEDREGAL, P.; TORRES, B.; MENDOZA, P.; UBILLÚS, M.; HURTADO, J.; MAZA, I.; ESPINOZA, R. **El uso de *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental em La ciudad de Lima, Perú.** Disponível em www.ipen.gob.pe Acesso em 01 de novembro de 2009.

BERGAMASCHI, L.; RIZZIO, E.; GIAVERI, G.; LOPPI, S.; GALLORINI, M. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site. **Environmental Pollution**, v. 148, p. 468–476, 2007.

BERMUDEZ, G.M.A.; RODRIGUEZ, J.H.; PIGNATA, M.L. Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina. **Environmental Research**, 109, p. 6-14, 2008.

BRIGHINA, L.; RAVANELLI, M.; MINELLI, A.; ERCOLLI, L. The use of an epiphyte (*Tillandsia caput-medusae* Morren) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. **Science of the Total Environment**, v. 198, p. 175-180, 1997.

CALASANS, C.F.; MALM, O. Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.). **Science of the Total Environment**, v. 208, p. 165-177, 1997.

CANÇADO, J.E.D.; SALDIVIA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINALLI, L.A.; ARBEX, M.A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 5, 2006.

CARRERAS, H.A.; PIGNATA, M.L. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba city, Argentina, using transplanted lichens. **Environmental Pollution**, v. 117, p. 77-87, 2002.

CARRERAS, H.A.; RODRIGUEZ, J.H.; GONZÁLEZ, C.M.; WANNAZ, E.D.; GARCIA FERREYRA, F.; PEREZ, C.A.; PIGNATA, M.L. Assessment of the relationship between total suspended particles and the response of two biological indicators transplanted to an urban area in central Argentina. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 2944-2949, 2009.

CARRERAS, H.A.; WANNAZ, E.D.; PEREZ, C.A.; PIGNATA, M.L. The role of urban air pollutants on the performance of heavy metal accumulation in *Usnea amblyoclada*. **Environmental Research**, v. 97, p. 50-57, 2005.

CARRERAS, H.A.; WANNAZ, E.D.; PIGNATA, M.L. Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the Province of Córdoba, Argentina. **Environmental Pollution**, v. 157 p. 117-122, 2009.

CEMPEL, M.; NIKEL, G. Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. **Polish Journal of Environment Study**, v. 15, n. 3, p. 375 – 382, 2006.

COCCARO, D.M.B.; SAIKI, M.; VASCONCELLOS, M.B.A.; MARCELLI, M.P. Evaluation of trace elements in different species of lichens by neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 244, n. 1, 141-145, 2000.

CONTI, M.E., CECCHETTI, G., Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. **Environmental Pollution**, v. 114, p. 471-492, 2002.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - **Relatório Final de Gurjaú** – Disponível em www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=541 acesso em 11 de agosto de 2008.

CRISTOFOLINI, F.; GIORDANI, P.; GOTTARDINI, E.; MODENESI, P. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: a case study from the Italian Prealps. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 308-317, 2008.

CUNHA, M.H.A.; SILVA, J.M.; FILHO, F.O.M.; SILVA, N.H.; PEREIRA, E.C.G. *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., para diagnóstico da salubridade do ar decorrente da extração e beneficiamento de calcário em Vertente do Lério, Pernambuco (Brasil). **Caminhos da Geografia**, v. 8, n. 22, p. 49-65, 2007.

DEMIREL, S.; TUZEN, M.; SARACOGLU, S.; SOYLAK, M. Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, p. 1020-1026, 2008.

MOTA-FILHO, F.O.; PEREIRA, E.C.; LIMA, E.S.; SILVA, N.H.; FIGUEIREDO, R.C.B. Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando *Cladonia verticillaris* (líquen) como biomonitor. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1072-1076, 2007.

FRACARO, S. N. **Potencial de toxicidade reprodutiva do extrato de *Tillandsia usneoides* Linnaeus, 1762 (barba-de-pau) em coelhas gestantes.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

FUGA, A. **Uso de líquens epifíticos no biomonitoramento da poluição atmosférica da região metropolitana de São Paulo.** Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2006.

FUGA, A.; SAIKI, M.; MARCELLI, M.P.; SALDIVA, P.H.N. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 334-340, 2008.

GODINHO, R.M.; VERBURG, T.G.; FREITAS, M.C.; WOLTERBEEK, H.T. Accumulation of trace elements in the peripheral and central parts of two species of epiphytic lichens transplanted to a polluted site in Portugal. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 102-109, 2009.

GODINHO, R.M.; WOLTERBEEK, H.Th.; VERBURG, T.G.; FREITAS, M.C. Bioaccumulation behaviour of transplants of the lichen *Flavoparmelia caperata* in relation to total deposition at a polluted location in Portugal. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 318-325, 2008.

GODOI, R.H.M., GODOI, A.F.L., WOROBIEC, A ANDRADE, S.A., HOOG, J., SANTIAGO-SILVA, M.R., GRIEKEN, V. Characterisation of sugar cane combustion particles in the Araraquara region, southeast Brazil. **Microchimica Acta**, v. 145, p. 53-56, 2004.

GOOGLE MAPS. **Mapa da Reserva Ecológica de Gurjaú-PE.** <maps.google.com.br/maps?hl=pt-br&tab=wl> Acesso em novembro de 2010.

GOLUBEV, A.V.; GOLUBEVA, V.N.; KRYLOV, N.G.; KUZNETSOVA, V.F.; MAVRIN, S.V.; ALEINIKOV, A.YU.; HOPPES, W.G.; SURANO, K.A. On monitoring anthropogenic airborne uranium concentration and $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratio by lichen – bio-indicator technique. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 84, p. 333-342, 2005.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Certificate of IAEA-336 Reference Material. Trace and minor elements in lichen**. Viena, 1999.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Certificate of IAEA-336 Reference Material. Trace, minor and major elements in algae**. Viena, 2005.

IAEA-TECDOC-564. **Practical aspects of operation a neutron activation analysis laboratory**. IAEA - International Atomic Energy Agency. Viena, 1990.

JUNIOR, J.L.R.; RÉ-POPPI, N.; HONDA, N.K. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do cerrado sul-mato-grossense. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 582-587, 2007.

LANDIM, M.F.; FONSECA, E.L. A Mata Atlântica de Sergipe – diversidade florística, fragmentação e perspectivas de conservação. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, Caxambu-MG, 2007.

MACIEL, J.R.; ALVES, M. **Bromeliaceae**. Disponível em www.ufpe.br/taxonomia/BromeliaceaeMirandiba.pdf acessado em 19 de outubro de 2009.

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

MALM, O.; FONSECA, M.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. **Science of the Total Environment**, v. 213, p. 57-64, 1998.

MANETTI, M.L.; DELAPORTE, R.H.; JUNIOR, A.L. Metabólitos secundários da família Broméliaceae, **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1885-1897, 2009.

MARKERT, B. **Plants as Biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environments**. New York: VCH Publishers, p. 644, 1993.

MARTINS, I.; LIMA, I.V. Ecotoxicologia do manganês e seus compostos. **Série cadernos de referência ambiental**, v. 7, 2001.

MENDIL, D.; ÇELIK, F.; TUZEN, M.; SOYLAK, M. Assessment of trace metal levels in some moss and lichen samples collected from near the motorway in Turkey. **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, p. 1344-1350, 2009.

MERCIER, H.; ENDRES, L.; Alteration of hormonal levels in a rootless epiphytic bromeliad in different phenological phases. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 18, p. 121-125, 1999.

MILD, C. 2003. Disponível em www.riodeltawild.com/janjune2003/Tillandsia%20recurvata.pdf Acesso em 10 de fevereiro de 2010.

MOREIRA, B.A.; WANDERLEY, M.G.L.; CRUZ-BARROS, M.A.V. **Bromélias: importância ecológica e diversidade. Taxonomia e Morfologia**. São Paulo, 2006. Disponível em www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/estagio_docencia/BiancaMoreira.pdf Acesso em 10 de fevereiro de 2011.

MOURA, G. J. B.; NETO, J. A. S. Diagnóstico geoquímico e biótico preliminar na área da reserva estadual de Gurjaú, Pernambuco. **Estudos Geológicos**. v. 16, p. 68-78, 2006.

NASH, T.H. **Lichen Biology**. 2º edição. New York, Cambridge University Press 1996, 2008.

NASH III, T.H. **Lichen Biology**., 1º edição. New York, Cambridge University Press. 1996.

NG, O.H.; TAN, B.C.; OBBARD, J.P. Lichens as bioindicators of atmospheric heavy metal pollution in Singapore. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 123, p. 63-74, 2005.

NOGUEIRA, C.A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, V.A.; ALMEIDA JÚNIOR, J.P.; DA SILVA, M.F. Biomonitoramento da qualidade do ar na área urbana do município de Imperatriz – MA. **IX Encontro de Iniciação Científica da Universidade Estadual do Maranhão**, 2004.

PAOLI, L.; LOPPI, S. A biological method to monitor early affects of the air pollution caused by the industrial exploitation of geothermal energy. **Environmental Pollution**, v. 155, p. 383-388, 2008.

PAOLIELLO, M.M.B.; CHASIN, A.A.M. Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos. **Série Cadernos de Referência Ambiental**, v. 3, 2001.

PATRICK, T.S.; ALLISON, J.R.; KRAKOW, G.A. **Protected Plants of Georgia**. 1995

PEDROZO, M.F.M., LIMA, I.V. Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. **Série Cadernos de Referência Ambiental**, v. 2, 2001.

PENDEY, V.; UPRETI, D.K.; PATHAK, R.; PAL, A. Heavy metal accumulation in lichens from the Hetauda industrial area Narayani zone Makwanpur district, Nepal. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 73, p. 221-228, 2002.

PIGNATA, M.L., GONZÁLES, C.M., CARRERAS, H.A., WANNAZ, E.D. Guía para el muestreo de líquenes y plantas epífitas que se emplean como biomonitores de acumulación de metales pesados y elementos traza em latinoamérica. **IAEA TECHNICAL CO-OPERATION PROJECT: RLA/2/013**. 2009.

PIGNATA, M. L.; GUDIÑO, G. L.; WANNAZ, E.D.; PLÁ, R. R.; GONZÁLES, C.M.; CARRERAS, H.A.; ORELLANA, L. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. **Environmental Pollution**, v. 120, p. 59-68, 2002.

POLICNIK, H.; SIMONCIC, P.; BATIC, F. Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open areas. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 395-400, 2008.

PRACTICAL ASPECTS OF OPERATING A NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS LABORATORY. International Atomic Energy Agency, 251 páginas, Viena, 1990.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista Saúde Pública**, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2008.

RICHARDSON, D.H.D., SHORE, M., RICHARDSON, R.M., The use of X-ray fluorescence spectrometry for the analysis of plants, especially lichens, employed in biological monitoring. **Science of the Total Environment**. v. 176, p. 97-105. 1995.

ROSEIRO, M.N.V.; TAKAYANAGUI, A.M.M. Meio ambiente e poluição atmosférica: o caso da cana-de-açúcar. **Saúde**, v. 30, p. 76-83, 2004.

SAIKI, M.; ALVES, E.R.; MARCELLI, M.P. Analysis of lichen species for atmospheric pollution biomonitoring in the Santo André municipality, São Paulo, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 273, p. 543-547, 2007.

SAIKI, M.; FUGA, A.; ALVES, E.R.; VASCONCELLOS, M.B.A.; MARCELLI, M.P. Biomonitoring of the atmospheric pollution using lichens in the metropolitan area of São Paulo city, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 271, n. 1, p. 213-219, 2007.

SAIKI, M.; HORIMOTO, L.K.; VASCONCELLOS, M.B.A.; MARCELLI, M.P.; COCCARO, D.M.B. Survey of elemental concentration in the lichen samples collected from São Paulo state. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, p. 317-320, 2001.

SILVA, R.A. ***Cladonia verticillaris* (líquen) como biomonitor padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

SILVA, C.S.; PEDROZO, M.F.M. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. **Série Cadernos de Referência Ambiental**, v. 5, 2001.

SLONOV, T.L.; SLONOV, L.KH. Radionuclide accumulation in thalli of lichens. **Russian Journal of Ecology**, v. 37, n. 2, p. 141-142, 2006.

SMODIS, B.; BLEISE, A. Internationally harmonized approach to biomonitoring trace element atmospheric deposition. **Environmental Pollution**, v. 120, p. 3-10, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**, 4ª edição. Massachussetts, Sinauer Associates, Inc. 2004. Página 90.

VIANNA, N.A.; GONÇALVES, D.; BRANDÃO, F.; BARROS, R.P.; AMADO FILHO, G.M.; MEIRE, R.O.; TORRES, J.P.M.; MALM, O.; JÚNIOR, A.D.; ANDRADE, L.R. Assesment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan áreas by using *Tillandsia usneoides* as atmospheric biomonitor. **Environmental Science Pollution Reserch**, v. 18, p. 416-427, 2011.

VILLAROUCO, F.M.O.; FREIRE, E.V.C.; PEREIRA, E.C.G.; PÉREZ, R.E.U. Análise do líquen *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., em condições de laboratório sob efeito do estireno e ciclohexano. **Interciencia**, v. 32, n. 4, 2007.

VOGEL, A.I. **Análise Inorgânica Quantitativa**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1986.

WANNAZ, E.D.; CARRERAS, H.A.; PÉREZ, C.A.; PIGNATA, M.L. Assesment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. **Science of the Total Environment**, v. 361, p. 267–278, 2006.

WOLTERBEEK, B. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. **Environmental Pollution**, v. 120, p. 11–21, 2002.