



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**O USO DO SPHAGNUM NO BIOMONITORAMENTO DA POLUIÇÃO AÉREA
POR CÁDMIO**

ARIADNE RIBEIRO HENRIQUES

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO



Universidade Federal de Pelotas
Campus Universitário s/nº
Caixa-postal 354 CEP 96010-900
Pelotas – RS – Brasil

ARIADNE RIBEIRO HENRIQUES

**O USO DO SPHAGNUM NO BIOMONITORAMENTO DA POLUIÇÃO
AÉREA POR CÁDMIO**

Monografia apresentada como um dos requisitos ao grau de Bacharel em Ciências Biológicas, área de concentração em Meio ambiente do Curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

Orientadores:
Prof. Dr. Pedro Sanches Filho
Prof^ª. Dr^ª. Beatriz Helena Rocha

Pelotas
Estado do Rio Grande do Sul - Brasil
2005

**O USO DO SPHAGNUM NO BIOMONITORAMENTO DA POLUIÇÃO
AÉREA POR CÁDMIO**

ARIADNE RIBEIRO HENRIQUES

**Monografia submetida ao corpo docente do Curso de Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Pelotas – UFPel /RS, como parte dos requisitos necessários
para obtenção do grau de**

Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovado por:

Prof^a. Msc. Brandalise - UFPel/RS

Prof. Clóvis Campos Alt - UFPel/RS

Prof^a. Dr^a. Beatriz Helena Rocha
(**Coordenadora**)

Prof. Dr. Pedro Sanches Filho
(**Orientador**)

Pelotas, julho de 2005

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelas angústias e preocupações que passaram por minha causa, pelo amor, carinho e estímulo que me ofereceram, dedico-lhes essa conquista com gratidão.

Ao Lauber, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo, compreensão e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ajuda prestimosa de meu orientador, Pedro, pela atenção e paciência com que sempre auxiliou;

Agradeço a minha irmã, Andréia, que colaborou para que este trabalho se realizasse;

Agradeço ao meu pai, Oscar, e ao meu namorado, lauber, pelo apoio e estímulo.

Agradeço aos meus cunhados e minha mãe, Lúgia, pela colaboração;

Agradeço as minhas irmãs, Adriane e Francine pelo auxílio prestado;

E a todos aquele que contribuíram de alguma forma para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Este experimento consistiu numa avaliação das condições aéreas do Distrito Industrial do município de Rio Grande-RS, através do biomonitoramento ativo com o musgo *Sphagnum sp.* Segundo o método “moss-bag,” adaptado aos fatores regionais específicos, foram empregados saquinhos de nylon contendo o musgo como biofiltro. A contaminação aérea por cádmio foi biomonitorada durante o período de 23 de setembro a 23 de outubro no ano de 2004. Após este período os níveis de cádmio no musgo foram medidos através do Espectrofotômetro de Absorção Atômica em forno de grafite e a comparação dos resultados das análises do musgo exposto com o musgo não exposto à atmosfera confirmou índices elevados do metal pesado e a excelente capacidade de retenção de agentes contaminantes atmosférico pelo musgo.

Palavras-chave: biomonitoramento - metais pesados - poluição atmosférica

ABSTRAT

This experiment consisted of an evaluation of the aerial conditions of the Industrial District of the city of River Grande-RS, through the active biomonitoramento with Sphagnum moss sp. according to method "moss-bag," adapted to the specific regional factors, had been used sachets of nylon contends moss with biofiltro. The aerial contamination for cadmium was biomonitorada during the period of 23 of September the 23 of October in the year of 2004. After this period the cadmium levels in moss had been measured through the Espectrofotômetro de Atomic Absorção in graphite oven and the comparison of the results of the analyses of the moss displayed with the moss displayed to the atmosphere did not confirm high indices of the metal heavy and the excellent capacity of retention of contaminantes agents atmospheric for moss.

Word-key: biomonitoramento - metals heavy - atmospheric pollution

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
1 REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	11
1 Princípios do biomonitoramento.....	11
1.1 Biomonitoramento Terrestre.....	11
1.2 Processos Biológicos e Reações a Estressores.....	15
1.2.1 Metabolismo e Bioindicação.....	16
1.2.2 Estrutura Morfológica e Bioindicação.....	17
2 Briófitos X Biomonitoramento.....	19
2.1 Briófitos: Características Gerais.....	19
2.2 Classificação.....	20
2.3 O uso do musgo Sphagnum no monitoramento da qualidade do ar.....	23
3 Poluição X Ambiente.....	26
3.1 Poluição Atmosférica.....	26
3.1.1 Efeitos da Poluição do Ar na Saúde Humana.....	29
3.2 Legislação Ambiental.....	32
3.3 Metais Pesados e Seus Efeitos.....	34
4 Toxicidade do Cádmio.....	40
4.1 Usos e Fontes de Exposição.....	40
4.2 Toxicocinética.....	41
4.3 Toxicodinâmica.....	43
4.4 Sintomas de Intoxicação.....	44
5 Espectrofotômetro de Absorção Atômica	47
5.1 Princípio Básico do Espectrofotômetro.....	47
5.2 Instrumentação para a Absorção Atômica.....	48
5.3 Técnicas de Atomização de Amostras.....	49
5.4 Técnica de Forno de Grafite.....	50

2 PARTE EXPERIMENTAL	53
2.1 Bioindicadores.....	55
2.2 Amostra.....	56
2.3 Amostragem.....	56
2.4 Procedimento.....	57
2.5 Parâmetros.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
3.1 Resultados da influência das condições atmosféricas na absorção dos musgos..	62
3.2 Resultados das alterações morfológicas dos bioindicadores.....	68
4 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	77
I Quadro demonstrativo de vegetais utilizados como bioindicadores.....	77
II Dados meteorológicos diários medidos durante o período do experimento.....	78
III Resultado das análises.....	80

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um dos mais importantes problemas ambientais, o fato do homem não tratar o ar que respira e a respiração ser vital para a manutenção da vida, faz com que, mesmo em baixíssimos níveis, xenobióticos diversos causem severas agressões.

Além disso, a poluição atmosférica agrava-se consideravelmente devido ao avanço da civilização, acarretando vários problemas ambientais, entre eles, a grande liberação de metais pesados para a atmosfera, que causa prejuízos praticamente irreversíveis, pois os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos do ponto de vista químico.

O Município do Rio Grande, localizado na planície costeira do sul do Estado do Rio Grande do Sul e possuindo uma população – segundo o IBGE, 1999 – de 182.222 habitantes, possui um distrito industrial, com 2500 ha na chamada área do Retro Porto, que é composto por quatro indústrias de fertilizantes, uma indústria de terminal de petróleo, terminais de graneis líquidos, de grão agrícola, entre outros.

Mas, mesmo as indústrias situando-se na zona industrial de Rio Grande, suas emissões

atmosféricas atingem toda a circunvizinhança acarretando sérios problemas para a saúde humana e para o ecossistema local.

Além do mais, o fato de a cidade de Rio Grande ser uma zona portuária, propicia a instalação de indústrias de grande porte que na maioria das vezes não consegue equilibrar os interesses econômicos com as questões ambientais, já que o modelo econômico atual possui características evidentes de insustentabilidade.

Portanto, por o distrito industrial de Rio Grande ser uma zona de intensa atividade e pelo fato de muitas indústrias emitirem poluentes atmosféricos acima dos padrões permitidos pela legislação, é que se faz necessário um monitoramento contínuo para verificar a qualidade do ar, no intuito de garantir uma melhor qualidade de vida para a população.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 PRINCÍPIOS DO BIOMONITORAMENTO

1.1 Biomonitoramento terrestre

Em um ecossistema, os fatores bióticos e abióticos interagem em uma intrincada e complexa rede de processos, onde modificações em um compartimento necessariamente induzem alterações em outros. Isso ocorre porque, segundo Lima (2000, p. A3):

Todo sistema biológico, independente se enquanto organismo, população ou comunidade se adaptou a um complexo de fatores ambientais ao longo de sua evolução. Na biosfera, conquistou um espaço e um nicho ecológico onde encontra as condições necessárias e favoráveis á sua manutenção e reprodução.

Como, vários fatores exercem influência sobre cada organismo e nem sempre os fatores alcançam intensidades especialmente favoráveis, existe um nível específico de tolerância fisiológica, determinada geneticamente e adquirida filogeneticamente, que regula a capacidade de suportar determinadas condições. Mas, a tolerância fisiológica nem sempre está presente em todas as fases de desenvolvimento de um organismo, como também não se apresentam nos mesmos níveis para todos os indivíduos de uma população (LIMA, 2000).

É pelo fato, dos indivíduos tolerarem a um determinado nível de estresse e por suas funções vitais estarem tão estritamente correlacionados com o ambiente, que cada sistema biológico é capaz de indicar o efeito de fatores ambientais, sejam eles naturais ou antrópicos. E essa indicação recebe o nome de bioindicação.

Segundo Maia (2001), os bioindicadores são definidos como organismos ou comunidade de organismos, que reagem as alterações ambientais com a modificação de suas

funções essenciais e/ou da sua composição química, permitindo, assim, conclusões a respeito de uma determinada área.

Esses organismos, que respondem a poluição ambiental, alterando suas funções vitais ou acumulando toxinas, possuem - como todos os seres vivos – os processos bioquímicos básicos iguais ao do homem só com a diferença de reagirem mais rapidamente frente às toxinas ambientais do que os humanos.

É por isso, que atualmente os estudos de bioindicação estão sendo aprofundados e padronizados. Mas, ainda existe muita dificuldade na avaliação do foco do problema, porque este pode ter diversas interpretações, dependendo do ponto de vista e da perspectiva da avaliação.

O desenvolvimento, no ramo de monitoramento biológico, provocou o surgimento de inúmeras designações que se diferenciam em alguns detalhes, entretanto convergem para um mesmo ponto. Deste modo, o organismo pode ser classificado em organismo, teste, indicador ou monitor (LIMA, 2000).

Os organismos testes são usados em testes toxicológicos de laboratório, possuem uma padronização alta e objetivam detectar riscos imediatos para a população, produzindo informações quantificáveis. Normalmente são empregadas espécies animais para este propósito, como coelhos, microcrustáceos e ratos, mas espécies vegetais, como o agrião e a cevada, também são utilizadas em bioensaios.

Os organismos indicadores podem fornecer informações sobre as condições de um

ecossistema, alterando a composição, densidade e tamanho de comunidades vegetais e animais. Mais corriqueiramente são utilizados vegetais como bioindicador por permanecerem num mesmo local e serem mais numerosos. No entanto, se o bioindicador reagir modificando seu comportamento em relação ao padrão é considerado um bioindicador sensível. Porém se ele acumular influências antrópicas sem demonstrar danos passíveis de serem reconhecidos em um curto espaço de tempo, ele é denominado bioindicador acumulativo, se ocorrer um acúmulo significativo no organismo e no ambiente o biomonitor pode ter alterações fisiológicas e morfológicas.

Já os organismos monitores, incluem todos os organismos vivos que são utilizados no monitoramento qualitativo e quantitativo do nível de poluentes do meio ambiente. O organismo pode já estar presente no ecossistema, monitor passivo, ou pode ser introduzido no local de interesse, monitor ativo.

O monitoramento passivo é aquele que o monitor faz parte do ecossistema o qual se faz uma observação contínua da área em estudo. O monitoramento pode ser feito pelo método de mapeamento de comunidades de líquens através de sua cobertura ou abundância; pela simples coleta de briófitas que acumulam metais pesados ou ainda por avaliação de danos em florestas através da perda de folhas, clorose e necrose.

Por outro lado, no monitoramento ativo os indicadores são introduzidos, de forma padronizada, no meio. Temos como exemplo, o falso trevo (*Trifolium repens*) e o feijão (*Phaseolus vulgaris*) que indicam o poluente ozônio através da necrose foliar.

Contudo, o sucesso de desenvolvimento de um estudo de biomonitoramento depende em grande parte do bioindicador utilizado, uma vez que grande variabilidade inerente ao organismo vivo, pode condicionar o nível de confiança dos resultados obtidos. Portanto, deve-se ter cuidado de escolher o organismo que apresente um conjunto de propriedades necessárias para o trabalho de investigação proposto, ou seja, cumpra a definição de um biomonitor ideal (MARTIN & COUGHTHEY, 1982).

O biomonitor ideal deve apresentar as seguintes características, entre outras, facilidade na manipulação e tratamento; capacidade de acumulação mensurável do elemento químico; alta distribuição geográfica; identificação taxonômica fácil; facilidade de padronização (FIGUEIRA, 1993).

Todavia, ao monitor não é exigido possuir todas as condições, citadas a cima, ao mesmo tempo. Dependendo dos objetivos do experimento, atributos diferentes podem ter mais ou menos importância ou requerimentos adicionais podem ser imprescindíveis.

Figueira, também destaca que os organismos mais utilizados no biomonitoramento são os líquens e os briófitos (veja no anexo I, outras plantas utilizadas). Estes são resultantes de linhas evolutivas variantes e de reinos distintos, respectivamente Reino Fungi e Reino Plantae, porém compartilham um mesmo habitat, são organismos pioneiros e sensíveis aos poluentes atmosféricos, além disso, apresentam um conjunto de características que os favorecem como monitores ambientais, tais como:

- a) não possuem camada protetora como camada cerosa e cutícula;

- b) a tomada de nutrientes não é realizada, normalmente, a partir do substrato;
- c) são organismos poikilohídricos, apresentando taxa de hidratação diretamente dependentes das variações de umidade atmosférica;
- d) possuem distribuição geográfica muito vasta;
- e) absorvem água através de toda superfície.

No entanto, os musgos apresentam capacidade de acumulação superior devido a maior facilidade de troca iônica.

1.2 Processos Biológicos e Reações a Estressores

Quando ocorre algum impacto no meio natural, os organismos reagem, algum se adaptam, porém quando ultrapassam a sua capacidade de adaptação eles podem apresentar sintomas, sejam eles macroscópicos ou microscópicos, sinalizando uma perturbação.

Os sintomas visíveis, como necrose e clorose, podem ser identificados na vegetação a olho nu, sendo uma técnica simples e pouco dispendiosa que pode ser usada como método de verificação de toxicidade ambiental (CARNEIRO, 2004).

Mas, ao contrário dos sintomas macroscópicos, as alterações a nível celular e subcelular não são perceptíveis e assim são denominadas lesões latentes. Estas incluem todas as reações fisiológicas e bioquímicas reversíveis e irreversíveis que podem provocar inibição do crescimento, da vitalidade, alterarem a resistência a parasitas e a doenças. Porém, embora

as lesões latentes não possam ser percebidas a olho nu, elas podem ser mensuradas através de metodologias da biologia molecular, da fisiologia e da bioquímica.

No entanto, do ponto de vista metodológico é importante diferenciar reações provocadas por fatores antropogênicos daquelas provenientes de fatores ambientais como luminosidade, pH e temperatura (LIMA, 2001).

1.2.1 Metabolismo e Bioindicação

A vida das plantas é uma sucessão complicada de fenômenos que se combinam intimamente em uma unidade de ação e que se coordenam entre si em uma forma perfeita. Se o processo característico do metabolismo contínuo das substâncias que formam o organismo vivo se desregula ou se desordena, desaparecem as relações fisiológicas internas entre células e a planta, tornando esta, alvo fácil de patógenos e doenças que podem levá-la a morte (MAXIMO V, 1948).

A análise elementar de uma planta revela a existência de um grande número de elementos, sendo que nem todos são necessários para a vida vegetal. Isso acontece porque a planta não possui mecanismos para distinguir os variantes elementos que estão presentes no ambiente, portanto, a planta absorve do meio tanto elementos que necessita como elementos dispensáveis, alguns dos quais pode ser tóxico (FERRI, 1976)

Os elementos de alta toxicidade, quando absorvidos pela espécie vegetal, podem agir a nível molecular e celular, interferindo no organismo, estrutura e composição da membrana celular; na concentração e atividade de macromoléculas, na produção, incremento ou inibição de substâncias e em todos os processos bioquímicos (LIMA, 2000).

Podemos citar, como exemplos de parâmetros utilizados no monitoramento da qualidade ambiental, os seguintes itens:

- a) biomenbranas: alterações da permeabilidade de membranas levam a alterações no transporte e na concentração de íons inorgânicos e substância moleculares que regulam a atividade enzimática;
- b) biotossíntese: a fotossíntese pode reagir muito sensivelmente as alterações ambientais, o poluente pode provocar a inibição do metabolismo de oxigênio e do transporte de elétrons do fotossistema II;
- d) proteínas, aminoácidos e poliaminas: os vegetais podem reagir produzindo novos tipos de proteínas ou acumulando determinados aminoácidos como prolina;
- e) fitormônios: o ácido abscísico é um fator de envelhecimento típico que tem sua concentração aumentada em situações de estresse, portanto plantas estressadas têm envelhecimento precoce.

Entretanto, para usarmos as alterações do metabolismo vegetal como indício de perturbação ambiental, faz-se necessário ter um conhecimento aprofundado da situação de normalidade do vegetal para que os fatores naturais não sejam confundidos com os antrópicos e assim sinalize um contexto errôneo.

1.2.2 Estrutura Morfológica e Bioindicação

As alterações morfológicas em vegetais são utilizadas no processo de bioindicação desde meados de XIX, quando se observaram, na região belga-inglesa, os danos provocados

pelas emissões de algumas fábricas.

A observação da morfologia do vegetal é uma técnica fácil e barata, mas que exige profissionais experientes para reduzir os riscos de se atribuir certas características “normais” a efeito de danos ecológicos.

Entre as principais alterações macroscópicas podemos destacar, a clorose, descoloração das folhas; necrose, análise percentual do tecido morto; alterações de estruturas, como forma anormal da folha, mudança de sexo, baixa taxa de fertilidade; entre outros (LIMA, 2000).

Pelo fato, de vários fatores influenciarem as repostas vegetais é que não é recomendado obter-se conclusões apenas utilizando aspectos morfológicos de repostas a estressores. O ideal é realizar experimentos que tenha possibilidades de ter resultados qualitativos mesclados com resultados quantitativos.

2 BRIÓFITOS x BIOMONITORAMENTO

2.1- Briófitos: Características Gerais

Os briófitos são plantas primitivas, pequenas e de organização simples. Como os demais representantes do reino vegetal, apresentam clorofila A e B, parede celulósica, reserva de amido e algumas vezes apresentam parede celular revestida de cutícula, mas não de lignina (GUILLIERMOND ET MANGENOT, 1948).

O corpo primitivo é desprovido de tecidos vasculares, xilema e floema, por esse motivo transporte de sais minerais, de água e distribuição de nutrientes, as diversas partes da planta, são realizados por osmose entre todas as células. Por serem avasculares, apresentam tamanho reduzido, raramente ultrapassando 30 cm, tendo também como fator limitante de crescimento a umidade e luminosidade (SMITH, 1995).

Quanto à morfologia externa, pode-se dizer que é folhosa e formada por um eixo chamado caulóide do qual partem filóides e rizóides (estruturas semelhantes à respectivamente caule, folha e raiz).



Figura 1: Morfologia externa de um briófito

Normalmente, vivem em ambientes terrestres úmidos e sombreados (plantas umbrófilas), vivendo poucas espécies em água doce e nenhuma em ambiente marinho.

Absorvem água e minerais pelo corpo vegetativo, mas não possuem controle sob a perda de água para o meio ambiente, por isso são ditas poikilohídricas. Podem resistir a longos períodos de dessecação e posteriormente rehidratar, retomando o seu desenvolvimento.

Segundo Haven (1996), em nível mundial, embora os dados sejam bastante variáveis, são aceitas cerca de 14.000 espécies de briófitos das quais 3.125 encontram-se no Brasil.

Os musgos e as hepáticas, principais representantes dos briófitos, possuem aplicações diversas, tais como medicinais, como bioindicadores de poluição e de depósito de minerais. São usadas também, para a prevenção de erosão do solo, como retentores de umidade e como combustíveis em países de clima frio. Nas florestas, os briófitos são considerados estabilizadores do substrato, pois são capazes de captar mais umidade e nutrientes favorecendo a germinação de sementes e plântulas.

2.2 Classificação

O Reino Plantae, que é constituído por uma grande diversidade de plantas, pode ser dividido em dois grandes grupos: os grupos das Fanerógamas, plantas que possuem sementes, flores e frutos, e os grupos das Criptógamas, plantas que não possuem sementes, flores e frutos.

As criptógamas são representadas pelas Pteridófitas, Briófitas e Algas Pluricelulares. Conforme Haven (1996), a palavra criptógamas vem do grego, Kripton = escondido + Gamas

= casamento, e recebe este nome pelo fato dos órgãos reprodutores serem microscópicos, representados pelos arquegônios e anterídios.

A divisão Bryophyta é a segunda mais numerosa de plantas terrestres, ocorre em diversos ambientes já que toleram, às vezes, condições não suportadas por outras plantas. Em consequência disso, são vastamente distribuídas pelo mundo.

A classificação atual do Reino Plantae para a divisão ou filo Bryophyta, segundo Joly (1985) – que se baseia no sistema de classificação de Engler - apresenta três classes: Hepaticae, para as hepáticas, Anthocerotae, para os antóceros, e Musci, para os musgos.

De acordo com Haven (1996), os musgos constituem um grupo diversificado de cerca de 9.500 espécies de pequenas plantas que podem ser encontradas sobre rochas, na água, no litoral, em florestas tropicais úmidas e até mesmo nos desertos.

A classe Musci se difere dos outros briófitos pelos caracteres vegetativos do gametófito, pelas fases iniciais da ontogenia e estrutura madura do esporófito. Reconhecemos nesta classe, de acordo com Joly, três ordens, Andreacales, os musgos de granito, Sphagnales, os musgos de turfeiras e Bryales, os chamados musgos verdadeiros.

Joly destaca que: “A ordem Sphagnales compreende uma única família a Sphagnaceae que contém um só gênero, Sphagnum com mais de 300 espécies distribuídas pelo mundo. São encontradas em todo Brasil inclusive no nordeste onde habitam o alto das serras.”

As espécies de Sphagnum vivem em solos ácidos e em lugares pantanosos onde

crecem túrgidos e eretos, densamente acondicionados juntos. Por crescerem em regiões ácidas, há uma reduzida decomposição da parte basal e morta dos gametóforos. A massa compacta do tecido gametofítico morto que se acumula forma, juntamente com o resto de outras plantas, a turfa.

O musgo *Sphagnum* difere-se dos outros musgos pelo protonema que é largamente taloso e por formar apenas um gametóforo (ramo ereto e perene do gametófito).

Os filídios do gametóforo não apresentam nervura média e as células que a compõem são de dois tipos, estreitas, longas, vivas e com cloroplastos e outras grandes, mortas e incolores. As células vivas são fotossintéticas e possuem as células hialinas que desempenham um papel importante na absorção e retenção de água. As células mortas são ocupadas por uma única célula grande e incolor, possuem espessamentos e poros localizados nas paredes dorsais ou ventrais e crescem encharcadas de água, funcionando como um reservatório hídrico (SMITH, 1955).

Estes organismos possuem mecanismos para evitar e impedir que a escassez de água comprometa a sua viabilidade, tendo desenvolvido tolerância à dessecação, realizando fotossíntese apenas quando existe água disponível e suprindo o metabolismo em época de seca (FIGUEIRA, 1993).

O caulóide está diferenciado internamente num cilindro central e numa camada envolvente, o córtex. Os gametóforos maduros não possuem rizóides sendo a absorção de água direta. O movimento ascensional da água até o ápice do caulóide é feito através do

córtex, nas espécies que as células corticais possuem poros e membranas com espessamento.

Em consequência da grande capacidade de absorção do Sphagnum, podem absorver acima de 20 vezes o seu peso seco enquanto o algodão absorve somente 4 a 6 vezes o seu peso, eram utilizados na Europa, a partir de 1880, em guerras como curativos para ferimentos. No entanto, a partir da primeira guerra mundial passou-se a utilizar o algodão, provavelmente por ter aparência mais limpa.

Além disso, os musgos de turfeira, depois de secos, são utilizados na Irlanda como combustível industrial bem como para aquecimento doméstico. As turfas também são empregadas pelos viveristas como material de embalagem no transporte de plantas vivas e pelos jardineiros para aumentarem a capacidade retentora de água no solo. Ainda, são componentes da biomassa e contribuem na captação e manutenção da umidade atmosférica.

2.3 O uso do musgo Sphagnum no monitoramento da qualidade do ar

Os musgos do gênero Sphagnum absorvem água e nutrientes de toda a sua superfície, pelo fato dos rizóides na fase adulta servirem apenas para a fixação no substrato, captando-os eficientemente não só durante a chuva, mas também ocultamente (orvalho e nevoeiro), sendo por esta razão bastante dependente da qualidade do ar e vulneráveis a poluição atmosférica.

De acordo com Figueira (1993), o transporte de água no Sphagnum é realizado nas extremidades, nos espaços de capilares à volta da base das folhas. Este transporte ectohídrico da água é comum a maioria dos musgos e pode ter extrema importância na retenção de elementos a partir da atmosfera, pois poderá promover a sua solubilização e posteriormente ligação aos lugares de troca iônica das paredes celulares.

O briófito *Sphagnum*, além de estar intimamente ligado com as condições da qualidade do ar, apresenta propriedades de um biomonitor ideal, tais como alta distribuição geográfica, capacidade de retenção mecânica, grande superfície de absorção, ausência de epiderme e cutícula, facilitando a entrada e o acúmulo de poluentes, resistência contra o aumento da concentração de poluição e aumento da capacidade de troca catiônica (GUTBERLET, 1989).

Devido a esses fatos, é que atualmente os musgos *Sphagnum* estão sendo utilizados em varias pesquisas de biomonitoramento ambiental. Na pesquisa de Hynninen (1986), realizada no sudeste da Finlândia, foram utilizados sacos de musgos *Sphagnum sp* para monitorar a poluição do ar por metais pesados provenientes de indústrias próximas. Os musgos foram expostos por três meses no verão de 1981 e por seis meses durante o inverno de 1982 e foram obtidos resultados satisfatórios de retenção de metal pelo musgo (HYNNINEN, 1986)

Em Portugal, também foi realizado um experimento que incluiu como área geográfica à parte continental de Portugal. O experimento foi realizado no período de 2000 a 2002 e teve como objetivo a obtenção de dados qualitativos e quantitativos da deposição atmosférica, de onze elementos, em todo território português, utilizando espécies de musgos como biomonitores (CECILIA, 2002).

No Brasil, no ano de 1987, pela primeira vez foi realizado o biomonitoramento da poluição aérea industrial de metais, na região da Serra do Mar / Cubatão, onde foi evidenciado o alto poder de acumulação de metais pesado pelo método “moss bag” (GUTBERLET, 1989).

No final de 1995, também no Brasil, foi iniciado um programa de biomonitoramento

da qualidade do ar região do Pólo Petroquímico de Camaçari-Ba. Os musgos *Sphagnum sp.* foram utilizados para “validar” os resultados. O objetivo principal do biomonitoramento, realizado durante um ano, foi analisar o acúmulo de metais pesados na vegetação. Os dados obtidos com os biomonitores foram compatíveis com o dos dados provenientes das análises físico-químicas, sendo que o *Sphagnum sp.* acumulou concentrações consideravelmente mais elevadas do que as condições físico-químicas.

Segundo Clymo (1963), o mecanismo de acumulação de metais pesados, via deposição seca e úmida, pelo *Sphagnum* procede principalmente de três formas: pelo transporte para o interior das células aclorofiladas com auxílio de ácidos orgânicos, formando complexos, outra por via de troca iônica com as paredes celulares e por via de retenção mecânica de partículas na superfície externa.

Portanto, podemos notar, que o biofiltro *Sphagnum* revela-se como um excelente biomonitor, pois pode servir como indicação do grau de contaminação ambiental de uma determinada área.



Figura 2: Turfeira de *Sphagnum. sp*

3 POLUIÇÃO X AMBIENTE

3.1 Poluição Atmosférica

A atmosfera é denominada a camada de gases que envolvem a terra. É composta principalmente de gases como o Nitrogênio (78,10%), o Oxigênio (20,94%), o Argônio (0,93%), o Dióxido de Carbono (0,03%) e outros gases que juntos representam menos de 0,003%. No entanto, várias substâncias naturais e artificiais, como por exemplo, os Clorofluorcarbonos (CFCs), estão se concentrando na atmosfera, modificando sua composição básica e acarretando um problema chamado poluição do ar (GARIM, 2004).

Segundo a NBR 8969/85, Poluição do Ar é a presença de um ou mais poluentes atmosféricos e Poluente Atmosférico é toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possa causar ou venha causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e a flora e sejam prejudiciais à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem-estar da comunidade.

As causas da poluição atmosférica podem ser classificadas como de origem natural (vulcões, maresias e etc) e como de origem antrópica (indústria, calefações, transporte, entre outros). E as fontes de contaminação do ar podem ser causadas por fontes fixas ou fontes móveis. Nas fontes fixas, as indústrias se destacam como as de maior potencial poluidor, sendo também significativas as usinas de termelétricas. Nas fontes móveis, os veículos automotores são caracterizados como as principais fontes poluidoras (www.cetesb.sp.gov.br).

Mas, a natureza possui recursos para se proteger e nos proteger da poluição atmosférica só que esses recursos são limitados. Os principais recursos que a natureza utiliza para provocar a neutralização, a diluição ou a eliminação dos poluentes são de acordo com

Branco (1995):

a) dispersão: Como a teoria do processo de expansão dos gases é considerada válida, admitimos que os gases possuem moléculas dotadas de uma grande mobilidade, tendendo afastar-se uma das outras. Assim, quando o poluente é emitido para a atmosfera tende a se dispersar diminuindo seu impacto no meio ambiente, mas essa dissipação dos gases depende de alguns fatores entre os quais a temperatura e mobilidade do próprio ar onde ele se dissipa;

b) precipitação: A deposição de partículas constitui uma forma eficiente de limpeza da atmosfera, a aderência ou a dissolução de partículas, em dias chuvosos, é como se houvesse uma “lavagem do ar”;

c) transformações químicas: Devido às reações fotoquímicas, podem ser formadas algumas substâncias na atmosfera que não são diretamente lançadas pela fonte poluidora, mas originadas de alguns de seus componentes químicos. As “novas” reações formadas podem ser nocivas – como o smog fotoquímico – ou podem ser benéficas, pois reações, principalmente as de oxidação, anulam ou reduzem o efeito do tóxico transformando-o em compostos inertes, temos como exemplo o monóxido de carbono que vai perdendo seu efeito tóxico ao reagir com oxigênio do ar;

d) assimilação biológica: As plantas possuem capacidade de absorver e transformar algumas substâncias gasosas nocivas existentes no ar. Em muitos casos, embora isso constitua um mecanismo de depuração da atmosfera em relação a nossa respiração, essas substâncias causam intoxicação aos vegetais, podendo levá-los a morte.

Porém, com a crescente industrialização e aumento populacional, a poluição atmosférica tem atingindo altos índices e tem tornado-se cada vez mais um sério problema ambiental, acarretando, entre outros, mudanças climáticas, aquecimento global, perda da biodiversidade e problemas de saúde, porque a natureza chegou ao seu limite não conseguindo depurar toda a exarcebada quantidade de poluentes lançada a biosfera.

Assim, a histórica afirmativa de que a natureza assimilaria todos os produtos químicos emitidos para o ambiente ou que os produtos químicos seriam diluídos em tal extensão que não poderiam ser atribuídos aos mesmos quaisquer riscos para vida, não são verdadeiros.

A principal forma de poluição atmosférica, que se caracteriza basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar, é a resultante da ação antropogênica que causa eliminação de resíduos industriais, queima de carvão e petróleo em usinas e substâncias de aquecimento doméstico. Esse tipo de poluição é muito mais sentida em regiões urbanas e tem um impacto muito maior do que a poluição de origem biogênica. Um exemplo disso é os centros urbanos, onde se tornam freqüente os dias em que a poluição atinge níveis críticos, seja pela ausência de ventos, seja pelas inversões térmicas que são os períodos que cessam as correntes ascendentes de ar importantes para limpeza dos poluentes acumulados na camada próxima da superfície.

De acordo com Bair (2002), dentre os poluentes oriundos da ação humana, os mais preocupantes são os persistentes, pois não são alterados pela ação de luz, água, ar ou microorganismos, durante períodos muito longos de tempo. Como exemplo dessas substâncias persistente, temos o pesticida DDT, os gases de refrigeração chamados CFCs e metais pesados como o mercúrio. Além disso, muitas substâncias persistentes não se tornam

uniformemente dispersas no meio ambiente, em vez disso, concentram-se em organismos vivos afetando sua saúde e até levando a morte prematura.

Portanto, é importante tentarmos reduzir a quantidade de substâncias emitidas para o meio ambiente, para isso, devemos fazer a captura e a disposição de uma grande fração de sua massa antes da ocorrência da dispersão e adotar medidas preventivas, como substituição de solventes orgânicos por água e utilização de substâncias benignas do ponto de vista ambiental para substituir catalisadores a base de metais pesados. Pois, só assim estaremos arcando com uma parte da responsabilidade pela poluição.

3.1.1 Efeitos da Poluição do Ar na Saúde Humana

Os problemas decorrentes da poluição atmosférica sobre a saúde humana têm sido considerados em estudos de saúde pública, de ambiente e de toxicologia, apontando para efeitos que se manifestam principalmente por doenças crônicas, prejudicando a qualidade de vida das populações afetadas ou causando aumento de mortalidade, em situações extremas (CARNEIRO, 2004).

Normalmente, grandes centros urbanos não oferecem condições favoráveis para uma qualidade de vida ideal, pois o contexto geral vivido em seu cotidiano é bastante perturbado com problemas de trânsito intenso; rios, solos e ar poluídos; escassez de água potável e tantos outros problemas que vem sendo enfrentado.

A industrialização e o modelo econômico atual são reconhecidos como fatores preponderantes na degradação ambiental do planeta. A degradação do solo, água e ar, ocorrem em escala exponencial desde a Revolução Industrial e como os efeitos dessa

degradação são intercambiáveis, os produtos químicos emitidos na atmosfera, eventualmente, se combinam com a chuva e voltam ao solo e as águas, assim como os compostos voláteis que são lançados em efluentes aquosos passam para atmosfera pela evaporação e os pesticidas usados em lavouras podem ser arrastados pela chuva, disseminando-se nas águas, ou pelo vento, contaminando a atmosfera (CARNEIRO, 2004).

A contaminação do ar é um fenômeno que se apresenta em escala microscópica, ainda que seus efeitos possam ser detectados a simples vistas. Os efeitos da presença de poluentes na forma de gases ou partículas no ar atmosférico variam muito, quer em quantidade, quer em qualidade. Geralmente, podemos classificar esses efeitos em Estéticos, simples alterações de aparência do ar que nos envolve; Irritantes, quando em dias de pouca movimentação do ar, sentimos os olhos arderem e a garganta irritada; Tóxicos, quando podem causar sérios danos a saúde humana, podendo, dependendo da concentração, levar ao óbito.

Em vista disso, a Resolução CONAMA 03/90 estabeleceu níveis de referência para diferenciar a atmosfera poluída da atmosfera não poluída. Esses níveis de referência são denominados Padrões de Qualidade do Ar. Conforme a resolução, ficam estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os padrões primários e os secundários.

São padrões primários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde de população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos;

São padrões secundários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo do qual se prevê o mínimo de efeito adverso sobre o bem-estar da

população, assim como dano à fauna e a flora, aos materiais, e ao meio ambiente em geral.

Podem ser entendidos como níveis desejáveis de concentração de poluentes.

Na mesma resolução – CONAMA 03/90 - também ficam estabelecidos os padrões de qualidade do ar para sete indicadores: Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis, fumaça, Dióxido de Enxofre, Monóxido de Carbono, Ozônio e Dióxido de Nitrogênio. A razão da escolha desses parâmetros, como indicadores de qualidade do ar, está ligada a sua maior frequência de ocorrência e os efeitos adversos que causam ao ambiente, estes podem ser vistos conforme o quadro 1.

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos sobre a Saúde	Efeitos ao ambiente
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partícula de material sólido ou líquido que fica suspensa no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol fumaça. Faixa de tamanho < 100 micra	Processos industriais, veículos motorizados, poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen e solo	Quanto menor o tamanho da partícula, maior é o dano a saúde. Causam efeitos significativos principalmente em pessoas com doença pulmonar e asma	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, fuligem, etc faixa de tamanho < 1 ^o micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário.	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre	Gás incolor, com forte odor. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor da água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ .	Processos que utilizam queima de combustível óleo, refinarias de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças cardiovasculares.	Pode levar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos a vegetação.

continuação

Poluente	Característica	Fontes principais	Efeitos sobre a saúde	Efeitos ao ambiente
Ozônio	Gás incolor e inodoro. Principal componente de névoa fotoquímica	Não é emitido diretamente a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar.	Danos à vegetação
Dióxido de Nitrogênio	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico e compostos orgânicos tóxicos	Processos em combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas e incineradores	Aumento da sensibilidade a asma e a bronquite	Pode levar a formação da chuva ácida, danos à vegetação e a colheita.
Monóxido de Carbono	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores	Associados a prejuízo dos reflexos e de aprendizado.	Danos à vegetação

Quadro 1: fontes, características e efeito dos principais poluentes (CETESB).

Todavia, estes padrões, muitas vezes, não são respeitados devido ao modelo econômico atual que possui características evidentes de insustentabilidade. Assim, o crescimento econômico e ilimitado continua gerando processos de desequilíbrio, com conseqüências graves a saúde humana e o equilíbrio do ecossistema.

3.2. Legislação Brasileira

A legislação brasileira trata de forma ampla a problemática da poluição atmosférica, abordando desde padrões de qualidade do ar e padrões de emissão veiculares e industriais até os processos de licenciamento e implantação de fonte estacionárias de emissão atmosférica (CARNEIRO, 2004).

Em agosto de 1981, a questão ambiental no Brasil passou a ser regida pela lei 6.938 de 31/08/81, cujo principal objetivo foi tornar o desenvolvimento econômico e social do país

compatível com a preservação do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. Esta lei define as regras gerais para as políticas ambientais, para o sistema de licenciamento e cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, que tem responsabilidade de estabelecer os padrões e métodos ambientais.

A base da prevenção e do controle da poluição atmosférica no Brasil é regida pela Resolução CONAMA 005/89, a qual institui o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), em consequência do acelerado crescimento urbano e industrial brasileiro e da frota de veículos automotores; considerando o progressivo e decorrente aumento de poluição principalmente nas regiões metropolitanas; considerando seus reflexos negativos sobre a sociedade, a economia e o meio ambiente; considerando as perspectivas de continuidade destas condições e considerando a necessidade de estabelecer estratégias para controle, prevenção e recuperação da qualidade do ar.

O PRONAR criou Padrões Nacionais de Qualidade do Ar onde ficaram estabelecidos dois tipos de padrões: os primários e os secundários, ambos já comentados anteriormente. Para que as ações de controle, definidas pelo PRONAR pudessem ser concretizadas a nível nacional, ficaram estabelecidos alguns instrumentos de apoio e de operacionalização como o PROCONVE, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, criado pela Resolução CONAMA 018/86 e o PRONACOP, Programa Nacional de Controle de Poluição Industrial.

Em 1990, foi publicada a Resolução CONAMA 003/90 considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e de controle no país. Também neste ano, foi publicada a Resolução CONAMA 008/90 considerando a

necessidade do estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes do ar em fontes fixas de emissão e considerando que o estabelecimento deste mecanismo em nível nacional, constitui-se no mais eficaz instrumento de controle da poluição atmosférica, em conjunto com os limites máximos de emissão veicular, já fixado pelo PROCONVE.

Outras importantes regulamentações foram estabelecidas ao longo do tempo e contribuíram e contribuem para a formação da Legislação Ambiental Brasileira referente à qualidade do ar.

3.3 Metais Pesados e seus efeitos

Os metais talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem, pois há aproximadamente 2000 a.c grandes quantidades de chumbo já eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata. ([www. mundoquimico.hpg.com.br](http://www.mundoquimico.hpg.com.br))

Os metais pesados possuem altas densidades se comparados com outros materiais comuns e estão situados, na tabela periódica, perto da parte inferior. Os metais se diferenciam dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, de maneira que podem acumular-se no ambiente onde manifestam sua toxicidade (BAIR, 2002).

Os principais metais pesados que prejudicam o ambiente são o mercúrio, chumbo, cádmio e o arsênio (semi-metal). Apresentam maiores riscos ambientais em razão de seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição (BAIR, 2002).

Estes poluentes dispersam-se no meio ambiente através das indústrias recicladoras de

chumbo, da mineração, da metalurgia, dos curtumes, dos processos de galvanoplastia, das baterias automotivas, incineradores e outras infinidades de fontes (www.greenpeace.org).

Os metais pesados são, na maioria das vezes, transportados de um lugar para outro através do ar, seja como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas em materiais particulados em suspensão. No entanto, os lugares de fixação final dos metais pesados são o solo e a águas (BAIR, 2002).

Os metais pesados também contaminam as águas através dos despejos industriais. Isso causa um grande problema, porque na água os metais podem acumular-se nos organismos aquáticos bioconcentrando-se e alguns até sofrendo o processo de biomagnificação, onde a concentração do poluente aumenta progressivamente ao longo da cadeia alimentar.

No solo, os metais pesados podem ser retidos por três vias, de acordo com Baird :

- a) por adsorção sobre as superfícies das partículas minerais;
- b) por complexação pelas substâncias húmicas das partículas orgânicas;
- c) por reações de precipitação

Como esses poluentes, freqüentemente, acumulam-se na camada superior do solo, ficam acessíveis para as raízes das plantas. As plantas que necessitam de água, macro e micronutrientes para sobreviver, absorvem, principalmente pelas raízes, os elementos metálicos que estão no solo e na água. Em micro-quantidades alguns elementos metálicos são

necessários para obtenção de uma planta saudável, tendo sua absorção facilitada por mecanismos próprios de transporte e acumulação (www.ufv.br/dbg/bioano1/div04.htm).

No entanto, as plantas não conseguem evitar a entrada de quantidades de minerais tóxicos pelo mesmo mecanismo, o que ocasiona a morte de plantas mais sensíveis e acumulação em plantas mais resistentes, pois algumas espécies são capazes de crescer em ambientes contaminados porque desenvolveram mecanismos específicos (www.ufv.br/dbg/bioano1/div04.htm).

Além dos efeitos desfavoráveis no solo, na água e na vegetação, os metais pesados causam efeitos negativos também na saúde humana. Assim, como a vegetação, os seres humanos precisam de alguns poucos metais e em doses muito pequenas, tão pequenas que chamamos de micronutrientes, como é o caso do zinco, do magnésio, do cobalto e do ferro. Estes metais tornam-se tóxicos e perigosos à saúde humana quando ultrapassadas algumas concentrações limite.

Ao contrário dos outros metais, o chumbo, o mercúrio, o cádmio, o arsênio, não existem naturalmente em nenhum organismo, tão pouco desempenham funções nutricionais ou bioquímica nos seres humanos, ou seja, a presença desses metais no organismo é prejudicial em qualquer concentração, como podemos notar no quadro 2 (www.greenpeace.org).

Metal	Principais fontes	Impactos a saúde e meio ambiente
Chumbo	Indústria de baterias automotivas, chapas de metal, canos de metal, aditivos em gasolina, munição, indústria de reciclagem de sucata de baterias automotivas.	Prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso em geral. Afeta o sangue, rins, sistema digestivo e reprodutor, e é teratogênico.

continuação

Metal	Principais Fontes	Impactos a saúde e meio ambiente
Cádmio	Fundição e refinação de metais, utilizados em pigmentos e pinturas, baterias, processos de galvanoplastia, adubos fosforados, solda, acumuladores, estabilizadores de PVC, refinarias de petróleo.	- É comprovadamente um agente cancerígeno, teratogênico e pode causar danos ao sistema reprodutivo.
Mercúrio	Mineração e o uso de derivados na indústria e na agricultura - células de eletrólise do sal para produção de cloro.	Danos neurológicos, tremores, vertigens, irritabilidade, depressão, salivação, estomatite e diarreia.; descoordenação motora progressiva, perda de visão, audição e deterioração mental
Cromo	Curtição de couros, e galvanoplastias	Dermatites, úlceras cutâneas, inflamação nasal, câncer de pulmão e perfuração do septo nasal.
Zinco	Metalurgia (fundição e refinação), indústrias recicladoras de chumbo.	Sensações como paladar adocicado e secura na garganta, tosse, fraqueza, dor generalizada,

Quadro 2: Danos, na saúde humana, causados por metais pesados.

Os metais pesados podem entrar no nosso corpo, segundo Manhattan (2000), por três vias:

- a) via respiratória: a entrada do poluente por este via resulta de uma absorção mais fácil e numa distribuição rápida através do sistema circulatório. Absorção por esta rota é bastante eficiente quando o metal está na faixa das partículas inaláveis, de menos de 100 micras;
- b) via gastrointestinal: a absorção através do trato gastrointestinal é afetada pelo pH, pela taxa de movimento através do trato gastrointestinal e pela presença de outros materiais. As combinações particulares destes fatores determinam se absorção irá ser elevada ou baixa;
- c) via cutânea: Este tipo de absorção não é muito significativa, embora possa ocorrer.

Embora, o vapor do mercúrio seja altamente tóxico, os quatro metais pesados – mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio – nas suas formas de elementos livres condensados, não são particularmente tóxicos. Entretanto, Bair (2002) relata: “Os quatro metais pesados são perigosos nas suas formas catiônicas e também quando ligados às cadeias curtas de átomos de carbono. Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de sua ação tóxica deriva da forte afinidade do cátion pelo enxofre”.

Os grupos sulfidrilas (-SH) ocorrem comumente nas enzimas que controlam a velocidade das reações metabólicas de vital importância para o nosso corpo. Quando o cátion dos metais pesados entra no organismo, liga-se rapidamente aos grupos -SH que são componentes comuns dos locais de atividade celular e transporte de oxigênio. Pelo fato da ligação resultante (metal-enxofre) afetar a enzima como um todo, ela não pode atuar com normalidade e em conseqüência disso a saúde humana vê-se afetada de maneira desfavorável e as vezes fatal (BAIR, 2002).

Portanto, as formas inorgânicas da maioria dos metais tendem a ser limitados fortemente pelas enzimas e por algum tecido biológico, aumentando a bioacumulação, dificultando a excreção e acarretando sérios problemas à saúde (MANAHAN, 2000).

Mas, os homens, mesmo cientes dos perigos causados pelos metais pesados, continuam tratando com descaso essa problemática e os acidentes com esses poluentes continuam acontecendo.

O caso fatídico em Bauru (SP) é um dos exemplos, onde a indústria de Acumuladores Ajax, uma das maiores fábricas de baterias automotivas do Brasil, contaminou com chumbo o

solo e o ar, afetando pelo menos 88 crianças e contaminando os animais e os alimentos agrícolas da população moradora perto da indústria .(www.mundoquimico.hpg.com.br).

Em janeiro de 2001, o Greenpeace acusou a Gerdau Riograndense, siderúrgica recicladora de aço, de contaminar a grande Porto Alegre com metais pesados e PCB. Nas amostras coletadas foram detectadas altas concentrações de metais pesados como cádmio, mercúrio e chumbo.

Em Pernambuco, ocorreu também a contaminação do solo, do ar, da água e dos trabalhadores por uma das maiores fabricantes de baterias, a indústria Acumuladores Moura (www.greenpeace.org).

Contudo, é preciso esclarecer e informar a população sobre os riscos e conseqüências da contaminação por esses metais para a saúde humana e para o ecossistema, para que assim possamos exigir uma adequada segurança para o trabalhador e para a população em geral.

4 TOXICIDADE DO CÁDMIO

4.1 Usos e fontes de exposição

O cádmio é um elemento naturalmente presente na crosta terrestre, é encontrado na natureza quase sempre junto ao zinco na maioria dos minérios e solos. È um metal pesado pertencente ao grupo IIB da tabela periódica, possui densidade alta ($8,7 \text{ g/cm}^3$), oxida-se rapidamente no ar produzindo óxido de cádmio e dissolve-se em soluções ácidas e pelo nitrato de amônio (www.meioambiente.pro.br).

A maior parte do cádmio é produzida como subproduto da fusão do zinco, pois os dois metais estão usualmente juntos. A combustão do carvão, a incineração dos materiais residuais que contenham metais pesados e os eletrodos das baterias recarregáveis (níquel-cádmio) usadas em calculadoras e aparelhos similares, introduz cádmio ao ambiente (MANAHAN, 1991).

O sulfato de cádmio tem sido amplamente utilizado na fabricação de plásticos coloridos e pigmentos de tintas. A liga selênio-cádmio tem sido empregado em dispositivos fotovoltaicos e em monitores de televisão, sendo também todos esses materiais fontes de cádmio no ambiente (BAIR, 2002).

A exposição humana ao cádmio também ocorre através de indústrias de fundições, de processos de galvanoplastia, através da fumaça do cigarro e de alimentos contaminados. A água é outra fonte de contaminação e deve ser considerada não só pelo seu consumo como água potável, mas por servir como fonte de poluição do solo e da vegetação.

A vegetação, também, sofre contaminação quando são adicionados ao solo adubos

fosfatados que possuem como impureza o cádmio. Os teores de cádmio considerados normais nas plantas variam entre 0,1 a 1 ppm, efeitos tóxicos para o homem tem sido observados quando o teor nas plantas consumidas como alimento excedem 3ppm (MALAVOLTA, 1980).

Um exemplo bastante marcante de contaminação por cádmio em plantas consumidas com alimentos ocorreu no Japão, na região do Jintsu Vale do Rio, onde o arroz era irrigado com a água de um rio contaminado por cádmio procedente das operações de mineração e de fundição de zinco, localizadas a montante do rio. Centenas de pessoas contraíram uma doença degenerativa dos ossos chamada Itai-Itai ou ai-ai, receberam este nome por causa da dor aguda nas articulações. Nesta doença os íons de Ca^{+2} dos ossos são substituídos por íons de Cd^{+2} , dado que eles possuem a mesma carga e exatamente o mesmo tamanho (MANAHAN, 1991).

4.2 Toxicocinética

O cádmio presente no ambiente pode sofrer absorção por via respiratória, por gastrointestinal e por cutânea (LARINI, 1987).

A absorção por via respiratória ocorre quando inspiramos partículas inaláveis – aerossóis, poeiras e fumos - contendo o poluente cádmio, esta absorção é influenciada pelo tamanho da partícula e pela solubilidade dos compostos introduzidos. A absorção por esta via está estimada em 0,1 a 50%, no entanto, investigações recentes revelaram que o habito de fumar pode aumentar consideravelmente a retenção e a assimilação pulmonar do cádmio, pois um cigarro contém em media 1,4 microgramas de cádmio, sendo que desta quantidade cerca de 0,1 microgramas pode ser inalada, representando para um fumante de vinte cigarros diários

uma entrada de 2 a 3 microgramas dia (LARINI, 1987).

A absorção gastrointestinal acontece a partir de mãos contaminadas, ingestão de alimentos contendo cádmio e depuração de partículas depositadas na via respiratória. Esta absorção é influenciada por diversos fatores, destacando-se especialmente o estado químico do elemento e as condições nutricionais do individuo. Os níveis de absorção gastrointestinal geralmente oscilam entre 3 a 7% (OGA, 1937).

Já a absorção cutânea, comenta Oga (1937), é insignificante e carece de mais estudos.

No sangue, o cádmio esta presente principalmente nos eritrócitos ligados as metalotioneínas. A metalotioneína é uma proteína que possui muitos grupos sulfidrilas, o que possibilita a captura de cátions metálicos tais como: Cd^{+2} , Fe^{+2} , Hg^{+2} e Zn^{+2} . Esta proteína possui diversas funções, dentre elas, o controle homeostático dos metais de transição, a detoxicação dos metais pesados e proteção frente à presença de espécies reativas de oxigênio (BAIR, 2002).

A metalotioneína possui grande afinidade por metais como o cádmio e o zinco devido à presença de grupos de sulfidrilas que pode complexar quase todo Cd^{+2} ingerido, podendo assim, prevenir a interação dos íons de cádmio com outras macromoléculas funcionais importantes para o organismo. Mas, o cádmio pode se ligar a outras proteínas se a quantidade de cádmio absorvido exceder a capacidade de complexação da metalotioneína (BAIR, 2002).

O cádmio é um agente tóxico acumulativo e sua meia-vida biológica é de 10 a 30 anos. Nas exposições por baixas concentrações, 40 a 80% do cádmio são depositadas no

fígado e nos rins, e cerca de 20% nos músculos (veja a distribuição no gráfico abaixo). A síntese ocorre no fígado e secundariamente no baço, rins, testículos, pâncreas e outros órgãos (OGA, 1937).

A excreção do cádmio ocorre principalmente pela urina, nas fezes é encontrado, geralmente, o metal que foi ingerido com os alimentos e não foi absorvido (MANAHAN, 1991).

4.3 Toxicodinâmica

Sobre o mecanismo de ação tóxica do cádmio, podemos ressaltar que o órgão-alvo primário, nas exposições a longo prazo, é o rim. O cádmio é transportado para os rins por filtração glomerular do complexo Cd-metalotineína e acumula-se predominantemente no córtex renal, ao nível dos túbulos proximais, devido a absorção da proteína, causando proteinúria que é a excreção urinária de proteínas de baixo peso molecular (LARINI,1987).

Além disso, dados experimentais sugerem ocorrências no metabolismo de cálcio e aumento no processo de osteoporose. Como comprovação deste fato, podemos citar o desastre ocorrido no Japão, onde as vítimas apresentaram osteomalácia que é uma doença caracterizada pela perda de cálcio e fósforo na urina, pela diminuição da absorção intestinal de cálcio e pelo acúmulo de cádmio no pâncreas, induzindo uma eventual deficiência pancreática exócrina e conseqüentemente uma diminuição da absorção intestinal da vitamina D exógena (OGA, 1937).

O cádmio também é considerado um elemento que causa danos ao sistema cardiovascular, danos ao sistema reprodutivo e ainda é comprovadamente um agente

cancerígeno, teratogênico e está na lista de agentes que possuem alta toxicidade sobre o desenvolvimento (RAHDE, 1994).

4.4 Sintomas da Intoxicação

Os efeitos tóxicos na intoxicação aguda, que pode ocorrer em tentativas de homicídios, suicídio e ingestão acidental de alimentos e/ou bebidas que possuem contaminação com cádmio, compreendem principalmente transtornos gastrointestinais, após ingestão do agente químico e quando inalado provoca irritação local das vias aéreas, dispnéia, dores torácicas, traqueobronquite, pneumonia, edema pulmonar, sendo que a taxa de morte por doença pulmonar aguda é de 20% (www.partidoverde-mg.org.br/pesquisa.htm).

As exposições crônicas, que podem ocorrer em agentes ocupacionais que trabalham expostos ao cádmio, através do fumo dos cigarros, do ar de regiões contaminadas pelo metal e através do consumo diário de alimentos com elevadas concentrações de cádmio, têm sido associadas a sintomas gastrointestinais, anemia, eosinofilia, descoloração dos dentes, efisema pulmonar, hipertensão arterial, danos no miocárdio e doença renal (www.partidoverde-mg.org.br/pesquisa.htm).

As concentrações que causam intoxicações letais em humanos são estimadas em 40 a 50 mg/m³ por uma hora, e de 9mg/m³ por cinco horas. Pneumonite não fatal é observada após exposição a concentrações entre 0,5 a 2,5 mg/m³ de ar por três dias (OGA, 1937).

Segundo Macintyre (1990), os valores limiares de tolerância (TLV), publicados pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists, representam condições para as

quais se pode presumir com certa segurança que quase todos os trabalhadores possam estar expostos ao ar, de um certo ambiente de trabalho, sem que ocorra um efeito adverso em seu organismo. Podemos destacar os mais conhecidos:

a) TLA- TWA: corresponde a concentrações ponderadas pelo tempo, para uma jornada de trabalho de oito horas e uma semana de trabalho de quarenta horas, para as quais todos os trabalhadores podem ser expostos repetitivamente, dia após dia, sem efeito adverso;

b) TLV- STEL: é a concentração para qual os trabalhadores podem ser expostos continuamente, por um curto intervalo de tempo (15 minutos) sem sofrer danos.

Os valores de TLV-TWA e TLV-STEL, para cádmio são respectivamente $0,05 \text{ mg/m}^3$ e $0,2 \text{ mg/m}^3$ (MACINTYRE, 1990).

Todavia, devemos enfatizar que para o ar ambiente exterior a indústria, respirada pela população na vizinhança, os valores devem ser muito mais baixos, pois o ar poluído será respirado durante as vinte quatro horas do dia (MACINTYRE, 1990).

A American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), propõe como limite de tolerância biológica para Cd-U (cádmio na urina), 10 microgramas por grama de creatina e para Cd-S (cádmio no sangue), também, 10 microgramas por litro. Sendo que os valores de referência para a população não exposta estão próximos de 1,7 microgramas por grama de creatina para Cd-U e 2,4 microgramas por litro para Cd-S (LARINE, 1987).

O diagnóstico da intoxicação pode ser feito pela urina, somente após seis meses de exposição crônica, e pelo sangue que é um indicador biológico de exposição recente e pela determinação da B2 microglobulina com o objetivo de evidenciar precocemente lesões renais (OGA, 1937).

O tratamento por intoxicação por cádmio, embora não seja totalmente comprovado, pode ser realizado através da terapia de quelação que envolve uma série de infusões intravenosas com uma substância química chamada sal de EDTA, que tem a função de atrair o metal de maneira ainda mais forte do que a enzima. Em seguida o conjugado metal-composto é solubilizado e excretado do organismo (BAIR, 2002).

No entanto, dados obtidos em experimentos com animais de laboratório, sugerem que a terapia deve ser aplicada logo após a exposição ao cádmio, uma vez que tal terapia perde sua eficácia rapidamente quando ocorre a distribuição deste íon metálico pelo corpo humano.

5 ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA

5.1 Princípio Básico do Espectrofotômetro

A espectroscopia é um termo geral para a ciência que estuda a interação dos diferentes tipos de radiação com a matéria. Os métodos espectrométricos são métodos instrumentais empregados na química analítica baseado na interação da radiação eletromagnética, e outras partículas, com um analíto para identifica-lo ou determinar sua concentração. Alguns desses métodos também são empregados em outras áreas da química para elucidações de estruturas (SKOOG, 2002).

Estes métodos empregam técnicas que se dividem em técnicas espectroscópicas e não espectroscópicas. As técnicas espectroscópicas são aquelas em que o analíto sofre processos de absorção, emissão e luminescência. O restante corresponde a técnicas não espectroscópicas (www.es.wikipedi.org).

Estas técnicas se diferenciam também segundo a forma em que se encontra o analíto no momento que sofre o processo espectroscópico, podendo ser a espectroscopia atômica ou a espectroscopia molecular (HARRIS, 2001).

Segundo Mendham (2002), o princípio básico da espectroscopia de absorção atômica é baseado no fato de um grande número de átomos do metal na fase gasosa não sofrer excitação, ou seja, permanece no estado fundamental. Estes átomos são capazes de absorver energia radiante em um determinado comprimento de onda de ressonância que é, em geral, o comprimento de onda da radiação que os átomos emitiriam se fossem excitados a partir do estado fundamental.

Assim, se fizermos uma luz de comprimento de onda de ressonância igual a daqueles átomos passar por uma chama que contém os átomos em questão, parte da luz será absorvida. A quantidade de luz absorvida é proporcional ao número de átomos que estão no estado fundamental presente na chama (MENDHAM, 2002).

Além disso, outros autores também ressaltam que a absorção de luz por meio de átomos oferece uma ferramenta analítica poderosa para as análises quantitativas e qualitativas e confirmam que a espectrometria de absorção atômica (AAS) baseia-se no princípio que estabelece que os átomos livres em estado estável podem absorver luz a um certo comprimento de onda. A absorção é específica de cada elemento, nenhum outro elemento absorve este comprimento de onda (www.hiq.aga.com.br).

Por isso, a espectroscopia de absorção atômica é a principal ferramenta da química analítica, especialmente na indústria, pois a técnica é empregada para a realização de várias determinações tais como, a de magnésio e cálcio na água encanada, de elementos traços em solos contaminados, de vanádio em óleo lubrificante, de estanho em suco de fruta enlatado, devido a sua alta sensibilidade, capacidade de distinguir um elemento de outro numa atmosfera complexa, capacidade de executar amostras multielementares simultaneamente e a facilidade com que várias amostras podem ser analisadas automaticamente (HARRIS, 2001).

5.2 Instrumentação para Absorção Atômica

Os instrumentos para a espectrometria de absorção atômica consistem de uma fonte de radiação, um suporte para amostra, um seletor de comprimento de onda, um detector e um processador de sinais e um dispositivo de saída (SKOOG, 2002).

A fonte de radiação mais utilizada para as medições de absorção atômica é a lâmpada de cátodo oco. Este tipo de lâmpada consiste de um ânodo de tungstênio e de um cátodo cilíndrico apoiado em um tubo de vidro que contém gás inerte como o argônio e o neônio. O instrumento também deve ter um suporte de lâmpadas capaz de acomodar quatro lâmpadas de cátodo oco, pelo menos, com uma fonte independente de corrente estabilizada para cada lâmpada (MENDHAM, 2002).

Para selecionar um comprimento de onda utiliza-se um monocromador. Este é um instrumento necessário para eliminar interferências causadas por emissão da radiação e por esse motivo deve ter alta resolução (www.hip.aga.com.br).

Como detector dos sinais utiliza-se um fotomultiplicador que converte a luz em sinais elétricos que revelam o espectro de absorção através de gráficos que variam muito na sua aparência, pois alguns são constituídos de numerosos picos estreitos, enquanto outros consistem de curvas contínuas e largas (SKOOG, 2002).

5.3 Técnicas de Atomização de Amostras

A determinação espectroscópica de espécies pode ser realizada somente em uma amostra gaseificada na qual os átomos individuais tais como Ag, Al, Au, Fe e Mg, estão bem separados um dos outros (www.hiq.aga.com.br).

Assim, como sabemos que em temperatura bastante alta a maioria dos compostos se decompõe em átomos na fase gasosa, na espectroscopia atômica as amostras são evaporadas a 2000 – 6000 K e as concentrações atômicas são determinadas pela medição dos comprimentos de onda característicos de absorção e emissão. Em outras palavras pode-se dizer que,

inicialmente, a amostra líquida é aspirada, que o líquido evapora e o sólido remanescente é atomizado -quebrado em átomos- (HARRIS, 2002).

Os dois métodos mais comuns de atomização são os de chama e os eletrotérmicos. Em um atomizador de chama, uma solução da amostra é nebulizada por um fluxo de oxidante gasoso, misturada com um combustível gasoso e levada à chama onde ocorre a atomização. Já nos atomizadores eletrotérmicos, evaporam primeiramente uns poucos mililitros da amostra que depois são incineradas em uma temperatura um pouco mais alta em um tubo de grafite aquecido eletricamente. Após a incineração, a corrente rapidamente aumenta até cerca de várias centenas de ampéres e a absorção de partículas atomizada é medida então na região imediatamente acima da superfície aquecida (SKOOG, 2002).

5.4 Técnica de Forno de Grafite

Em vez da temperatura alta de uma chama para produzir os átomos da amostra, pode-se usar, às vezes, métodos sem chama que envolve tubos ou bastões de grafite eletricamente aquecidos. É a espectroscopia de absorção atômica em forno de grafite – GFAAS- (MENDHAM, 2002).

Mendham (2002), relata que a solução da amostra é introduzida no forno colocando-se a ponta de uma micropipeta em uma abertura existente na camisa externa e num orifício no meio do tubo de grafite. Uma corrente elétrica aquece o cilindro de grafite até uma temperatura elevada o suficiente para evaporar o solvente da solução. A corrente aumenta a seguir, elevando a temperatura até cerca de 3000 K e transformando, inicialmente, a amostra em cinza e posteriormente em vapor, com a produção de átomos de metal.

Para que os resultados sejam reproduzíveis, as temperaturas e os tempos de secagem, pirolise e atomização devem ser cuidadosamente selecionados de acordo com o metal a ser determinado. Os sinais de absorção produzidos por este método podem durar vários segundos e podem ser registrados graficamente num papel (HARRIS, 2001).

Em comparação com a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), a GFAAS é substancialmente mais sensível e versátil, face a configuração do tubo de grafite e ao caráter dual: reator químico e atomizador (www.scielo.br).

Como vantagens da técnica de espectroscopia de absorção atômica em forno de grafite destacam-se, segundo Mendham (2002), as seguintes:

- a) podem ser usadas amostras muito pequenas;
- b) é comum não ser necessário preparar a amostra ou, então, basta um procedimento simples;
- c) ampliação da sensibilidade.

No entanto, a técnica GFAAS também é susceptível a alterações instrumentais e operacionais como variações na temperatura e na taxa de aquecimento do tubo de grafite, no volume injetado de amostras, na radiação emitida da fonte, nas diluições e na estrutura do atomizador, afetando o desempenho analítico (www.scielo.br).

Com a finalidade de compensar esses erros em espectrometria atômica tem surgido instrumentos mais modernos que possuem algumas características que permitem ao analista reduzir os erros comumente encontrados nesta técnica, como o auto-mostrador que melhora consideravelmente a precisão da GFAAS (HARRIS, 2001).

Portanto, graças ao desenvolvimento de novas tecnologias, pode-se dizer que a espectrometria de absorção atômica em forno de grafite é uma técnica analítica bem estabelecida e suficientemente robusta para ser implantada em laboratórios de grande escala.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa experimental onde, através do musgo *Sphagnum sp*, realizou-se um biomonitoramento ativo da poluição aérea por cádmio. Neste biomonitoramento, o musgo *Sphagnum sp* foi utilizado como biofiltro na forma de “moss bag”.

O experimento foi realizado no ano de 2004, entre o período de 23 de setembro a 23 de outubro, na zona industrial da cidade de Rio Grande-RS. A zona industrial localiza-se na região da Barra e é composta principalmente por quatro indústrias de fertilizantes e uma indústria petroquímica (Veja o mapa na pág 54).

O método utilizado, “moss bag”, consiste na exposição de saquinhos de nylon, contendo o musgo, na área industrial. Foi colocado em saquinhos de nylon, a quantidade de 30 gramas de musgo, que posteriormente foram expostos a poluição aérea em dois pontos da zona industrial de Rio Grande, por um período de um mês. Este método foi realizado de acordo com a descrição de Gutberlet (1989), e nesta pesquisa, sofreu apenas algumas pequenas alterações para adaptação do método às condições geográficas, físicas e econômicas presentes.

O controle de cádmio no musgo foi conduzido através de Absorção Atômica em Forno de Grafite, técnica tradicionalmente utilizada no controle de metais neste tipo de matriz (CARNEIRO, 2004).



2.1 Bioindicadores

Os bioindicadores foram coletados do Ecocamping Municipal de Pelotas por acreditar-se ser um local isento de poluição industrial e assim não interferir nos resultados do experimento. Os bioindicadores coletados foram submetidos ao pré-tratamento, descrito no ítem 2.4, e acondicionados em cinco saquinhos, “moss bag”, cada uma contendo 30 gramas do musgo *Sphagnum sp*. Do total dos “moss bag”, quatro foram expostas na zona industrial de Rio Grande e uma não foi exposta à poluição industrial, permanecendo como prova em branco.



Figura 3: Bioindicador (*Sphagnum sp*)

2.2 Amostra

A amostra do experimento foi o ar da zona industrial da cidade de Rio Grande.



Figura 4: Emissões Atmosféricas, de indústrias de fertilizantes, em Rio Grande

2.3 Amostragem

Foram escolhidos dois pontos de amostragem, na cidade de Rio Grande, que apresentavam indústrias com ramos distintos (um ponto de amostragem foi ao redor da indústria petroquímica e outro ao redor das indústrias de fertilizantes), mas que se localizava numa mesma área. Em cada ponto de amostragem do ar foram expostos dois saquinhos de nylon contendo o bioindicador (*Sphagnum*) que ficaram suspensos, durante todo o período do experimento, sobre galhos de árvores encontradas no local.



Figura 5: Árvores onde foram expostos os saquinhos de musgo

2.4 Procedimento

O procedimento no preparo do musgo sucedeu-se em duas fases, sendo a primeira fase antes da exposição do musgo na zona industrial e a segunda depois da exposição do musgo.

Na primeira fase (antes da exposição), ocorreu à coleta do musgo *Sphagnum sp* numa região de baixa contaminação industrial, no caso deste experimento foi escolhido o Ecocamping Municipal de Pelotas. Posteriormente, o musgo coletado foi levado para o laboratório, onde se realizou uma lavagem com água para a retirada de impurezas como insetos, terras e plantas. Logo em seguida, lavou-se o musgo com água destilada para limpeza e com água deionizada para retirada dos íons superficiais.

Após as lavagens, deixou-se o musgo, durante alguns minutos, numa peneira para se retirar o excesso de água presente no mesmo e só depois disso, é que foi feita a pesagem, da parte superior do musgo, em saquinhos de nylon. Depois desses procedimentos, ocorreu a

distribuição dos saquinhos nos pontos de amostragem.

As amostras da prova em branco dos bioindicadores passaram pelo mesmo tratamento de lavagem e secagem, porém não foram expostas a poluição do distrito industrial. Estas amostras serviram de referência para conhecer a concentração básica do elemento em estudo encontrada naturalmente no musgo.

Durante a fase de exposição, foram obtidos - do Instituto Meteorológico da Furg - diariamente a temperatura, a direção dos ventos predominantes, a velocidade do vento e a precipitação da cidade de Rio Grande. O musgo *Sphagnum*, periodicamente, foi umedecido com água destilada, - devido às altas temperaturas ocorridas - e teve suas características morfológicas avaliadas.

Na segunda fase (depois da exposição), realizou-se a coleta do material exposto e o envio do material, devidamente acondicionada em recipientes plásticos vedados, para o laboratório Greenlab, em Porto Alegre, devido à impossibilidade instrumental requerida pela análise.

No laboratório da Greenlab, foi realizada a secagem do material em estufa durante 24h. Depois, a massa seca foi carbonizada e só após esse procedimento é que o musgo foi levado ao forno mufla a 500°C, para a formação de cinzas. A seqüência deste procedimento foi à digestão do material em ácido clorídrico com posterior quantificação do cádmio no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (com forno de grafite).

2.5 Parâmetros

Foram considerados como parâmetros os teores de cádmio considerados normais por vegetação (MALAVOLTA,1980).

Os teores de cádmio considerados normais nas plantas variam entre 0,1 a 1 ppm e os efeitos tóxicos para o homem tem sido observados quando o teor nas plantas consumidas como alimento excedem 3 ppm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos teores de cádmio bioacumulados, em base seca, estão apresentados na quadro 3 e no gráfico 1, pode-se notar, claramente, e observar o aumento dos níveis do analíto nos pontos 1F e 3I quando comparado com a prova em branco (veja no anexo III os laudos originais).

Amostras dos Bioindicadores	Resultados
Fertilizantes (1F)	1,47 mg Cd/ kg
Fertilizantes (2F)	0,90 mg Cd/ kg
Ipiranga (3I)	4,16 mg Cd/ kg
Branco (4B)	0.94 mg Cd/ kg

Quadro 3: Resultado das análises realizadas

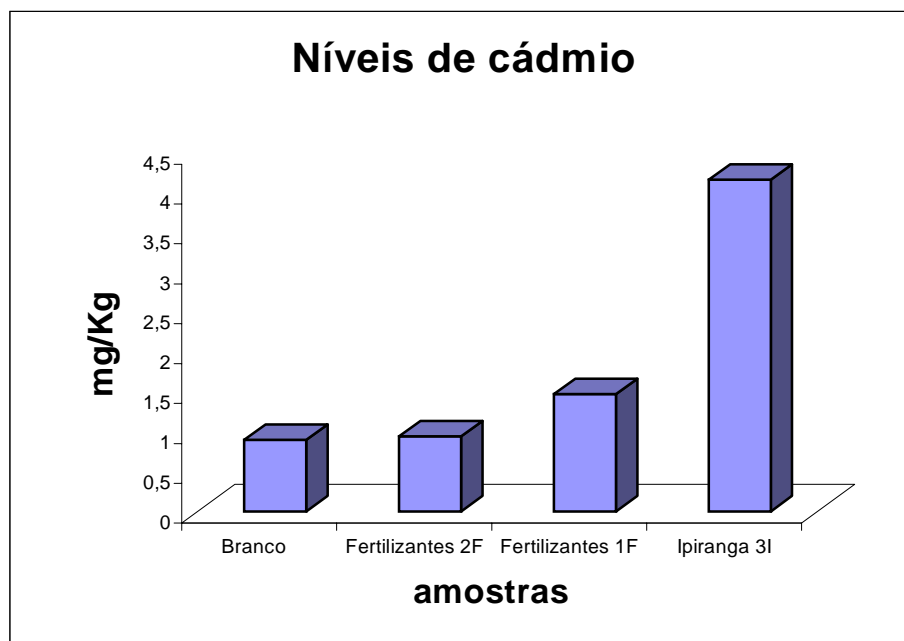


Gráfico 1: Níveis de cádmio encontrados nas amostras dos Biomonitoradores

Analisando os resultados, observamos, que de acordo com o parâmetro utilizado para a vegetação, os teores de cádmio foram considerados normais para os pontos 2F e 4B, pois esses se mantiveram em torno de 0,90 mg Cd/ Kg de massa vegetal, valores admitidos como normais para Malavolta (1980).

Mas, os pontos 1F e 3I foram considerados anormais, pois excederam o teores de cádmio considerado padrão. Sendo que os teores de cádmio bioacumulados pelo musgo no ponto 3I – que acumulou teores de cádmio 3X maior que o valor do ponto 1F – possivelmente causaria problemas de intoxicação caso fossem consumidos pela população, já que Malavolta (1980) ressalta que efeitos tóxicos para o homem têm sido observados quando os teores de cádmio nas plantas consumidas como alimento excedem 3ppm, ou seja, 3mg Cd/ kg de massa vegetal.

Após a confirmação da presença de cádmio no meio ambiente, foram analisados os dados referentes à temperatura, a direção e velocidade dos ventos e a precipitação, pois sabemos que as condições atmosféricas influenciam diretamente nos poluentes atmosféricos.

Os quatro fatores meteorológicos considerados essenciais, neste trabalho, são de extrema importância para uma análise mais completa e correta dos porquês dos diferentes níveis de acumulação de cádmio pelo musgo. Os dados meteorológicos, que foram fornecidos pelo Instituto Meteorológico da FURG, foram medidos diariamente e apresentam-se no anexo II.

3.1 Resultados da influência das condições atmosféricas na absorção dos musgos

- Temperatura:

A Temperatura é um fator que pode ser tanto vantajoso, para a acumulação dos poluentes nos bioindicadores, quanto desvantajoso. Altas temperaturas prejudicam os movimentos ascendentes do ar fazendo com que a estagnação atmosférica não propicie a dispersão dos poluentes, desta forma a camada quente fica acima da camada fria ficando os poluentes retidos na camada inferior. Isso facilita a acumulação do poluente nos musgos.

Por outro lado, altas temperaturas são prejudiciais aos musgos porque eles não possuem controle sob a perda de águas para o meio ambiente, desta forma, altas temperaturas deixam os musgos secos interrompendo o seu desenvolvimento e absorção.

No caso do período do experimento, a temperatura média foi de aproximadamente 17°C (veja a média diária no gráfico 2), sendo uma temperatura relativamente boa para a acumulação do cádmio no briófito, visto que não foi nem muito alta para que prejudica-se a fisiologia do musgo e nem muito baixa para que facilita-se a dispersão da poluição.

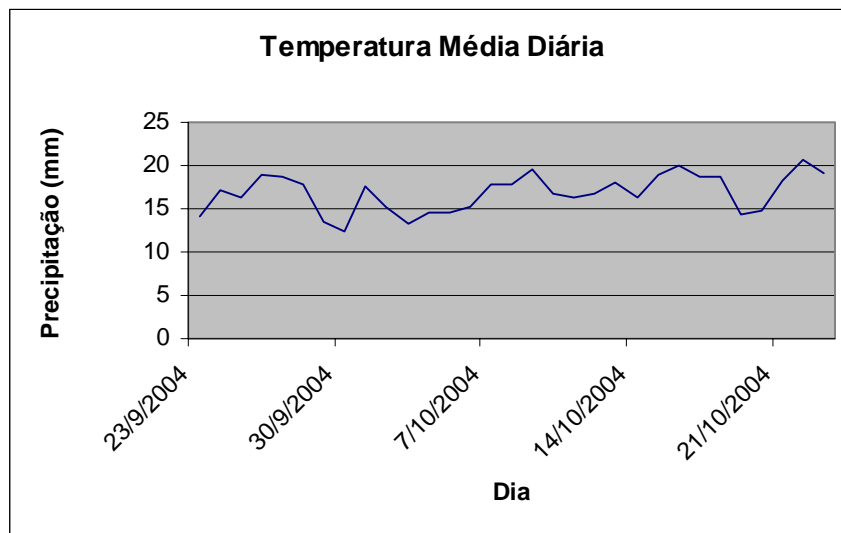


Gráfico 2: Temperatura média diária durante o período do experimento (FURG)

-Ventos predominantes:

A direção do vento é um fator meteorológico muito importante para o desenvolvimento ou não de um episódio de poluição, uma vez que através dele é que os poluentes são dispersos em sentido horizontal (NÓBREGA, 1997)

No experimento, os pontos 1F e 2F ficaram localizados em uma árvore próxima as quatro indústrias de fertilizantes. O ponto 2F encontrava-se à noroeste das fontes poluidoras e o ponto 1F ao sudoeste das mesmas fontes. Supõe-se, que o fato do ponto 2F, que ocupava a mesma árvore do ponto 1F, ter bioacumulado menor teor de cádmio deve-se principalmente ao fato desta amostra estar colocada em uma posição que prejudica a exposição aos ventos,

chamando a atenção quanto a importância da localização do agente bioacumulador neste tipo de experimento.

Além disso, acredita-se que se os respectivos pontos tivessem sido localizados ao nordeste ou ao leste – que foram os ventos predominantes – das chaminés das indústrias, os biofiltros acumulariam valores bem mais altos do que os obtidos no experimento. Uma demonstração disso é o ponto 1F, que embora tivesse localizado ao sudoeste das chaminés, que durante o período de exposição teve apenas três dias de ventos predominantes (veja o gráfico 3), bioacumulou valores acima dos teores tidos como normais.

Os pontos 3I e 5I, encontravam-se inicialmente ao redor de uma zona residencial ao noroeste da fonte poluidora da Refinaria Ipiranga. Mas, devido o extravio do bioindicador, contendo amostra 5I, por populares da redondeza, resolveu-se mudar de lugar o bioindicador 3. O outro ponto escolhido foi ao sudoeste da refinaria por ser um local de acesso mais difícil para a população. Assim, o bioindicador 3I passou 15 dias ao noroeste da refinaria e os outros 16 dias restantes ao sudoeste da mesma.

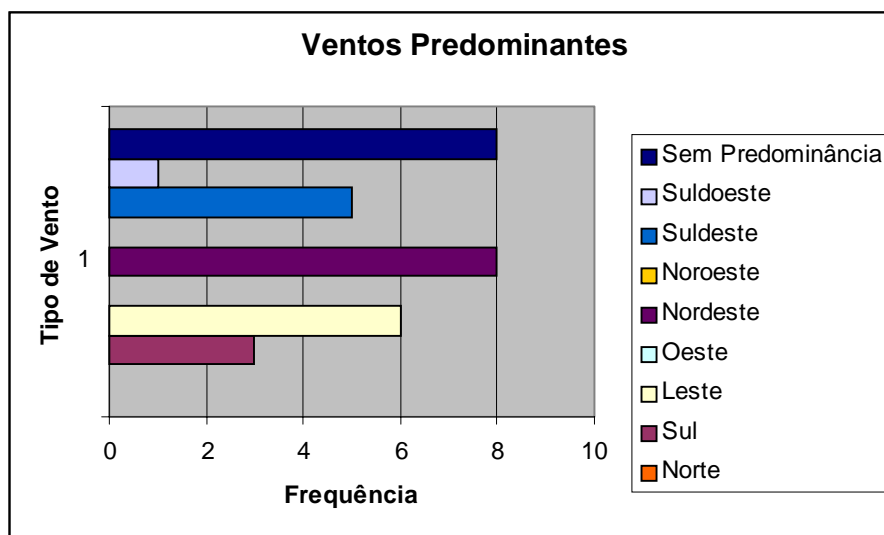


Gráfico 3: Ventos Predominantes

Deste modo, o fato do bioindicador do ponto 3I ter bioacumulado altos níveis de cádmio, torna-se um problema bastante preocupante, pois se pressupõe que a maior parte da acumulação de cádmio tenha ocorrido quando o musgo localizava-se ao nordeste da refinaria porque foi para o lado nordeste que o vento soprou com maior predominância durante o período do experimento.

Isso implica, que se o bioindicador estivesse sido mantido, durante todo o período do experimento, ao lado nordeste, os valores de cádmio bioacumulados atingiriam níveis inaceitáveis do metal pesado.

No entanto, outra explicação para os altos níveis de cádmio encontrados nesse ponto, pode ser devido ao tipo de indústria que no seu processo pode emitir maiores quantidades do metal ou pelo motivo dos filtros utilizados estarem mal projetados e/ou necessitando de manutenção.

- Velocidade do vento:

Assim como a direção do vento, a velocidade do vento é um fator que também tem grande importância, já que a velocidade do vento associada a outros fatores meteorológicos determina se teremos ou não altas concentrações dos poluentes próximos a superfície.

No sentido geral, quanto maior a velocidade do vento mais rápida é a taxa de dispersão, como resultado do aumento da turbulência que se cria (AYOEDE, 1991).

A velocidade do vento é utilizada para estimar onde se depositaram os poluentes, a partir da parte superior da chaminé, pois quanto maior a velocidade do vento, mais longe serão transportados os poluentes. Segundo Tommasi (1987), uma chaminé soprando ventos entre 5-8m/s o domo de poeira se estenderá por muitos quilômetros.

Podemos visualizar a velocidade dos ventos, durante o período do experimento, no gráfico abaixo.

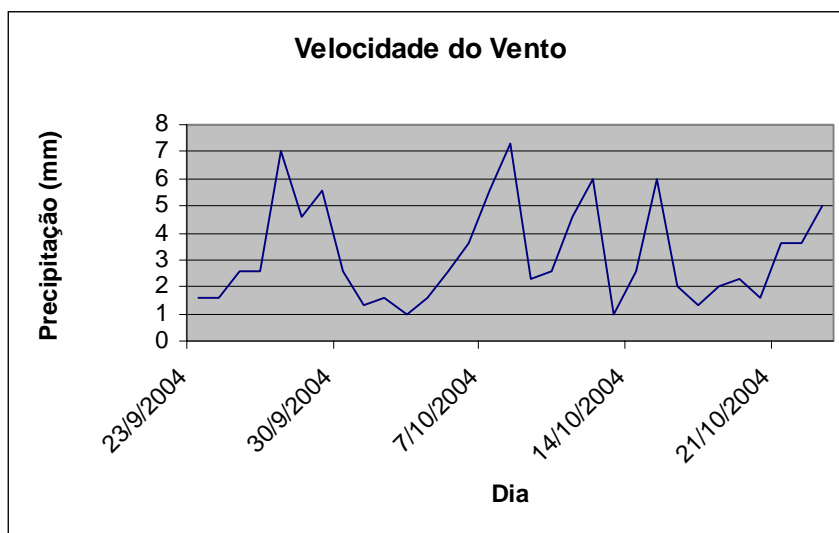


Gráfico 4: Velocidade diária do vento no período do experimento (FURG)

Assim, de acordo com os dados do gráfico, notamos que os poluentes não foram transportados para muito longe porque a velocidade média dos ventos esteve em torno de 3,2 m/s não facilitando a dispersão do poluente.

Isso é um aspecto negativo para a acumulação nos pontos 1F e 2F, pois a fonte de emissão mais próxima situava-se a quase 700 metros dos pontos de amostragem prejudicando a bioacumulação do metal pesado.

No entanto, a velocidade dos ventos não foi um aspecto tão negativo para o ponto de amostragem 3I, visto que a fonte emissora não estava muito distante (aproximadamente 200 metros), o que favoreceu a bioacumulação.

-Precipitação:

A precipitação, no caso do briófito em estudo seria - do ponto de vista do acúmulo de poluentes – um aspecto vantajoso para ambos os pontos de amostragem, uma vez que o musgo *Sphagnum* absorve água através das precipitações atmosféricas, sejam elas por meio de chuva, nevoeiros ou orvalhos, e pelo fato das precipitações realizarem uma limpeza na atmosfera carregando consigo os mais variados contaminantes do ar.

Porém, durante o período do experimento, as precipitações foram bastantes escassas, como pode ser visualizado no gráfico 5, não ultrapassando os 3,8 mm e dificultando a acumulação do metal e a absorção do musgo.

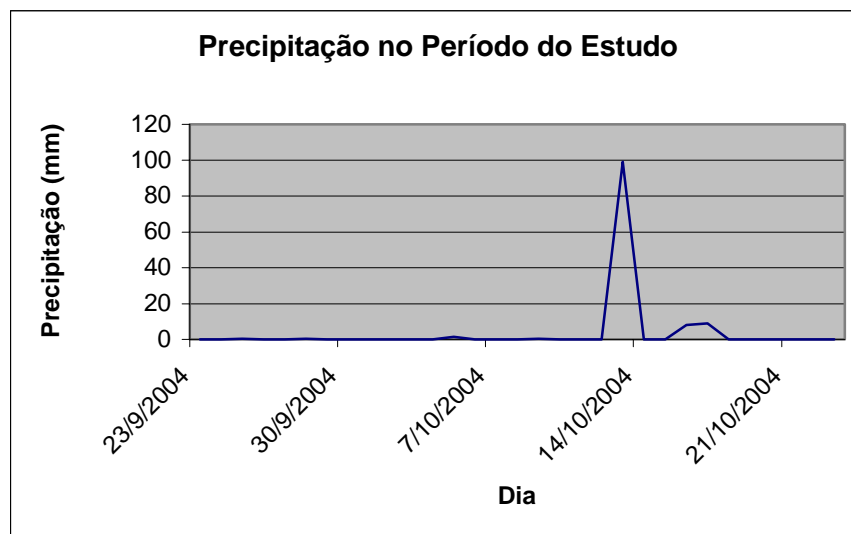


Gráfico 5: Precipitações diárias, em Rio Grande, no período do experimento (FURG)

De maneira generalizada, podemos resumir os resultados, das condições de absorção do bioindicador, no quadro 4 que demonstra a interferência direta das variáveis meteorológicas na quantidade de cádmio absorvidas pelo musgo nos diferentes pontos de amostragem.

Pontos de amostragem	Temperatura	Precipitação	Velocidade do vento	Direção do vento	Bioacumulação
1F	+	-	-	+/-	+
2F	+	-	-	-	-
3I	+	-	+	+/-	+

Quadro 4: análise das variáveis em determinados pontos de amostragem em Rio Grande

3.2 Resultados das alterações morfológicas dos bioindicadores

A estrutura morfológica dos bioindicadores expostos foi analisada uma vez por semana durante todo o período do experimento.

As alterações morfológicas, no ponto de amostragem 3I, só apareceram após o vigésimo segundo dia. A partir desse dia o musgo *Sphagnum* sp começou a apresentar sinais claros de clorose que se agravou até o término do experimento.

Nos outros pontos de amostragem, 1F e 2F, também só foi possível notar sintomas de clorose, que apareceram em torno do décimo quinto dia. Nestes pontos, embora os níveis de cádmio encontrados sejam menores, apresentaram sinais de clorose mais intensos e mais rápidos, isso pode ter acontecido devido a presença de outros contaminantes mais agressivos encontrados na área de amostragem.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho caracteriza-se como um estudo prévio da poluição atmosférica de Rio Grande, porque devido às limitações financeiras do experimento, obteve-se um reduzido número de replicatas e de metais analisados.

Mas, mesmo assim, os resultados das análises comprovaram os elevados níveis de cádmio na atmosfera da área. Isso implica na necessidade de maiores estudos, referente à contaminantes atmosféricos, no distrito industrial de Rio Grande, pois apesar das indústrias de fertilizantes e da refinaria estarem próximas da área central, a mesma não possui nenhuma avaliação permanente da poluição do ar, porque desde 1994 as estações da Fepam de monitoramento da qualidade do ar estão desativadas.

Portanto, se faz necessário estudos complementares na área pelo fato da poluição atmosférica estar se agravando – devido a expansão econômica da região – e conseqüentemente acarretando sérios problemas na qualidade de vida da população circunvizinha.

Referências

AYOEDE, J. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

BAIR, Colin. **Environmental Chemistry**. 2.ed. New York: Bookman, 2002.

BRANCO, Samuel. **Poluição do Ar**. 4.ed. São Paulo: Moderna, 1995.

BRASIL. Lei 6.938/81 de 31 de agosto de 1981. In: < [http:// www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br) >
acesso em: 04 jan. 2004

BRASIL. Conama n 003 de 28 de junho de 1990. In:< [http://
www.mma.gov.br/port/conama/index](http://www.mma.gov.br/port/conama/index) > acesso em: 04 jan. 2004

BRASIL. Conama n 005 de 15 de junho de 1989. In:< [http://
www.mma.gov.br/port/conama/index](http://www.mma.gov.br/port/conama/index) > acesso em: 04 jan. 2004

BRASIL. Conama n 018 de 06 de maio de 1986. In:< <http://>

www.mma.gov.br/port/conama/index > acesso em: 04 jan. 2004

BRASIL. Conama n 008 de 06 de dezembro de 1990. In:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/index> > acesso em: 04 jan. 2004

CARNEIRO, Regina. **Bioindicadores Vegetais de poluição atmosférica:** uma contribuição para a saúde da comunidade. São Paulo: USP, 2004. Dissertação (Mestre em Enfermagem em Saúde Pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2004.

CARVALHO, Beijamim. **Ecologia e Poluição.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1975.

CECILIA, Sergio. **Deposição atmosférica por metais pesados medidos por biomonitoramento em Portugal,** 2002. Disponível em: < <http://www.jb.ul.pt/biomon.htm> > acesso em: 03 dez. 2003.

CLEMENTE, Alisson. Melhoramento florestal aplicado a condições ambientais específica, [s.d]. Disponível em: < <http://www.ufv.br/dbg/bioano1/div04.htm> > acesso em: 04 dez.2003.

CLYMO, R. **Ion exchange in Sphagnum and relation to bog ecology.** Ann. Bot, 1963.

MALAVOLTA, Euripdes. **Elementos de Nutrição Mineral em Plantas.** São paulo: Agronômica Ferris, 1980.

FERRI, Mario. **Fisiologia Vegetal 1**. 3.ed. São Paulo:Universidade de São Paulo, 1976.

FIGUEIRA, Rui. **Biologia dos briófitos**. Jardim Botânico da Universidade de Lisboa. Disponível em: < [http:// www.jb.ul.pt/biomon/index.html](http://www.jb.ul.pt/biomon/index.html) > acesso em: 03 dez.2003

GARIM, Maurício. **Curso de Poluição Atmosférica da ABES**. Rio Grande, FURG, 2004.

GUILHERMOND, A; MANGENOT, G. **Biologie Végétale**. Paris: Masson, 1948.

GUTBERLET, Jutta. **Uso de Sphagnum recurvum P. Beauv. como biofiltro no monitoramento de poluição aérea industrial de metais pesados**. In: Congresso Nacional de Botânica, 1989, Anais p. 103-115.

HARRIS, Daniel. **Análise Química Quantitativa**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 2001.

HYNNINEN, V. **Monitoring af airborne metal pollution with moss bags near an industrial sourse at harjavalta, Soutwest Filand**. Ann. Bot. Fennici, p. 23: 83-90.

JOLY, Aylton. **Botânica: Introdução a Taxonomia Vegetal**. 7.ed. São Paulo: Nacional, 1985.

LARINI, Lorival. **Toxicologia**. 2.ed. São Paulo: Manole,1987.

LIMA, Endrigo. **Apostila de Avaliação e Controle de Emissões Atmosféricas**. 2.ed. Pelotas: [s.i], 2003.

LIMA, Josanídia. **Bioindicação em ecossistemas terrestres**. Folha de São Paulo, São Paulo, 05 jun.2000. pág.A3.

MAIA, Nilson B; MARTOS, Henry L; BARRELA, Walter. **Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicação**. São Paulo: Educ/Comped/Inep, 2001.

MACINTYRE, Archiald. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: S.A, 1990.

MANAHAN, Stanley. **Toxicological Chemistry**. Estados Unidos: Lewis Publish, 1991

MANAHAN, Stanley. **Environmental Chemistry**. 7.ed. Estados Unidos: Lewis Publish, 2000.

MARTIN & COUGHTHEY. **Biological monitoring of heavy metal pollution**. London: Applied. Science Publisher,1982.

.MAXIMO V, Nicolai. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Buenos Aires: Acme Agency,1948.

MENDHAM, J. **Vogel: Análise Química Quantitativa**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MORANDINI, Clézio. **Atlas de Botânica**. 8.ed. São Paulo: [s.e.], 1974.

NBR 8969/85 – Poluição Atmosférica.

NÓBREGA, Michelle. **A Poluição Atmosférica do Município de Rio Grande**. Rio Grande: FURG, 1997. Monografia, Departamento de Geociências, 1997.

OGA, Seize. **Fundamentos de Toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 1937.

RAVEN, Peter; EVERT, Ray; EICHHORN, Susan. **Biologia Vegetal**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kooçan S.A, 1996.

RAHDE, Alberto. **Multifaces da Toxicologia 1**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1994.

SKOOG, Douglas. **Princípios de Análise Instrumental**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

SMITH, Glilbert. **Botânica Criptogâmica: Briófitos e Pteridófitos**. 3.ed. [s.l.]: Fundação Lacustre, 1955.

TOMMASI, Roberto. **Degradação do Meio Ambiente**. São Paulo: Moderna, 1987.

<<http://www.mundoquimico.hpg.com.br>> Acesso em: 10 jan. 2004

<<http://www.greenpeace.org> > Acesso em: 10 jan. 2004

<<http://www.ufv.br/dbg/bioano1/div04.htm>> Acesso em: 10 jan. 2004

<<http://www.meioambiente.pro.br>> Acesso em: 10 jan. 200475

<[http:// www.partidoverde-mg.org.br/pesquisa.htm](http://www.partidoverde-mg.org.br/pesquisa.htm)> Acesso em: 10 jan. 2004

<[http:// www.cetesb.sp.gov.br/](http://www.cetesb.sp.gov.br/) > Acesso em 18 dez. 2004.

<[http:// www.hiq.aga.com.br](http://www.hiq.aga.com.br) > Acesso em 18 jun. 2005.

<[http:// www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org) > Acesso em 19 jun. 2005.

<[http:// www.sceilo.br](http://www.sceilo.br) > Acesso em 19 de jun. 2005.

ANEXOS

I Quadro demonstrativo de vegetais utilizados como bioindicadores da poluição atmosférica

Referência	Local do estudo	Espécie	Divisão Botânica	Poluente	Fonte de poluição	Exposição da planta	Tempo de exposição	Parâmetros analisados	Tipo de bio-indicador
Adamo, P. 2003	Nápoles, Itália	<i>Sphagnum capillifolium</i>	Briófitas/musgo	Metais	Rodovias, indústrias	Ativa, campo	10 a 17 semanas	Concentrações de metais	Acumulação
Akosy, A 1997	Antalya, Turquia	<i>Nerium oleander</i>	Angiosperma	Metais pesados	Veículos e barcos	passiva	Não especificado	Concentrações de metais	Acumulação
Amado, g	Rio de Janeiro, Brasil	<i>Tillandsia sp</i>	Angiosperma	Mercurio	Industrial	15 dias	Não especificado	Concentração de Hg	Acumulação
Calzada, I 2001	Rio Atalve, Espanha	<i>Pinos radiata</i>	Cornífera	Ozônio	Não especificado	Passiva	Não especificado	Parâmetros bioquímicos	reação
Garty, J 1998	Ashdod, Israel	<i>Ramalina dureai</i>	Líquun	Elementos químicos	Industrial e veículos	Ativo, campo	10 meses	bioquímica	Acumulação
Geoff, N 2001	Slatina, Romênia	<i>Graminea</i>	Angiosperma	Flúor	Industrial	passiva	Não especificado	Concentração de flúor	Acumulação
Hiatt, M 1999	Las Vegas, U.S.A	<i>Juniperus sabina</i>	Cornífera	VOCs	Não especificado	Passiva	Não especificado	Concentração de VOCs	Acumulação
Kanoun, M 2001	Montardon França	<i>Phaeolus vulgaris</i>	Angiosperma	Ozônio	Induzido	Ativa	6 e 13 dias	Morfologia e bioquímica	reação
Mankovsk, B. 1997	Eslováquia	<i>Pleurozium sp.</i>	Briófita	Metais	Industrial	Passiva	15 e 45 dias	Concentração de metais	Acumulação
Niemi, R 2002	Filândia	<i>Sphagnum angustifolium</i>	Briófito	Ozônio	25 dias	Ativo	Não especificado	Permeabilidade da membrana	reação
Wappelhorst, o. 2000	Alemanha	<i>Pleurozium sp</i>	Briófito	Elementos químicos	Industrial	Passiva	2 a 3 anos	Concentração	Acumulação

II Dados meteorológicos diários medidos durante o período do experimento

Dia	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Ventos predominantes	Velocidade do vento (m/s)
23/set/2004	14,1	_____	Sem predominância	1,6
24/set/2004	17,1	_____	Nordeste	1,6
25/set/2004	16,4	0,2	Sudeste	2,6
26/set/2004	19,0	_____	Leste	2,6
27/set/2004	18,7	_____	Leste	7,0
28/set/2004	17,9	0,4	Sem predominância	4,6
29/set/2004	13,4	_____	Sudoeste	5,6
30/set/2004	12,4	_____	Sudeste	2,6
1/out/2004	17,7	_____	Sem predominância	1,3

Continuação

Dia	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Ventos predominantes	Velocidade do vento (m/s)
2/out/2004	15,3	_____	Sul	1,6
3/out/2004	13,3	_____	Sul	1,0
4/out/2004	14,6	0,2	Suldeste	1,6
5/out/2004	14,6	1,5	Suldeste	2,6
6/out/2004	15,2	_____	Suldeste	3,6
7/out/2004	17,9	0,4	Leste	5,6
8/out/2004	17,9	_____	Nordeste	7,3
9/out/2004	19,5	0,3	Nordeste	2,3
10/out/2004	16,7	_____	Sem predominância	2,6
11/out/2004	16,2	_____	Sem predominância	4,6
12/out/2004	16,8	_____	Leste	6,0
13/out/2004	18,0	98,9	Leste	1,0
14/out/2004	16,3	_____	Sem predominância	2,6
15/out/2004	18,9	_____	Nordeste	6,0
16/out/2004	20,0	8,0	Nordeste	2,0

Continuação

Dia	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Ventos predominantes	Velocidade do vento (m/s)
17/out/2004	18,6	9,0	Sem predominância	1,3
18/out/2004	18,8	_____	Nordeste	2,0
19/out/2004	14,3	_____	Sul	2,3
20/out/2004	14,8	_____	Leste	1,6
21/out/2004	18,3	_____	Nordeste	3,6
22/out/2004	20,7	_____	Nordeste	3,6
23/out/2004	19,1	_____	Sem predominância	5,0

Fonte: Instituto Meteorológico da FURG