

DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENGENHARIA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL

DIVISÃO DE SOLO, ÁGUA SUBTERRÂNEA E VEGETAÇÃO

SETOR DE ECOSSISTEMAS TERRESTRES

**REVISÃO DA METODOLOGIA DE MONITORAMENTO
ATIVO DE FLUORETO COM O BIOINDICADOR
*Cordyline terminalis***

SUMÁRIO

A espécie *Cordyline Terminalis* tem sido utilizada como bioindicadora de fluoretos gasosos pela CETESB desde 1993.

Visando aprimorar a técnica de exposição dessa espécie como bioindicadora específica de fluoretos gasosos, foi realizado um estudo de 12 meses, em que foram expostas mudas de *Cordyline Terminalis* e placas de trietanolamina, para avaliação das taxas de fluoretos gasosos na atmosfera, em local próximo à Companhia Brasileira de Alumínio - CBA, instalada no município de Alumínio - SP, onde tem sido observados danos à vegetação local, devido à emissão de grandes quantidades de fluoretos.

Os resultados das análises do conteúdo foliar de fluoreto e de injúrias visíveis indicaram, juntamente com as placas de trietanolamina, altos índices de contaminação no local.

Com relação ao período de exposição, foi constatado que o tempo ideal para exposição em locais sujeitos à altas concentrações atmosféricas é de 3 semanas.

Os dados obtidos indicam ter havido uma redução de área foliar maior que 50% nas plantas expostas por 52 semanas, em comparação à área obtida no início da exposição. Há portanto, uma perda considerável de biomassa nesses indivíduos, que parecem diretamente ligadas à poluição local, já que indivíduos mantidos sob as mesmas condições em área não afetada pela poluição não tiveram nenhuma alteração.

Foi verificado com a comparação desses dados, que não é necessário expor as placas de trietanolamina juntamente com as plantas, sendo o bom monitoramento ativo uma forma de avaliar, de maneira semi-quantitativa, as taxas de fluoretos gasosos na atmosfera.

1. INTRODUÇÃO

O fluoreto ocorre naturalmente na crosta terrestre, na forma de diversos compostos como fluorita, criolita e apatita. É emitido na forma de fluoreto de hidrogênio (HF), principalmente pela ação dos vulcões; mas, também, pela poeira dos solos e pelo spray oceânico (JACOBSON & HILL, 1970).

Quanto às fontes antrópicas, elas são originárias de processos industriais como as indústrias de alumínio, de produção de fertilizantes e indústrias de fabricação de vidros e cerâmicas (VDI, 1988; VDI, 1989).

Após a primeira guerra mundial, com o desenvolvimento dos processos de industrialização, começaram a surgir danos causados por fluoretos em jardins, plantações e florestas próximas as fontes emissoras (JACOBSON & HILL, 1970).

Os efeitos na vegetação são bastante perceptíveis, causando injúrias visíveis e bem características, como descoloração das folhas, queda prematura e morte das mesmas e necroses, principalmente nas margens e nos ápices das folhas (MANNING & FEDER, 1980).

No Estado de São Paulo o problema existe e se concentra em várias regiões (PALOMBO et al, 1984; PALOMBO ET AL, 1985; BHATARAI et al, 1986; POMPEIA et al, 1988; AZEVEDO et al, 1992; FIALHO et al, 1992; POMPEIA, 1993a; FIALHO, et al, 1993; CETESB, 1993; POMPEIA, 1993b; OLIVEIRA & ROMANO, 1994; AZEVEDO et al, 1995; PRADELLA, et al, 1996; LOPES et al, 1998 entre outros).

Para avaliar os processos de danos causados por poluentes atmosféricos à vegetação, nada melhor que utilizar as próprias plantas, que devem ser sensíveis ao poluente. No caso do presente estudo, os fluoretos gasosos e espécies nativas e/ou adaptadas ao nosso meio e que, de preferência, não tenham grande sensibilidade a outros poluentes, para que não haja dificuldade na interpretação dos danos causados (WANG et al, 1997).

Por ser um sistema de baixo custo para monitoramento da poluição, os bioindicadores vêm sendo cada vez mais utilizados e possibilitam um barateamento muito grande na avaliação da qualidade do ar, considerando que os custos de análises para monitoramento contínuo são muito altos (FILHO, 1993).

O Setor de Ecossistemas Terrestres - EQSE da CETESB vem utilizando, desde 1991, para biomonitoramento ativo de fluoretos, uma espécie perenifolia da família Liliaceae (*Cordyline terminalis*), encontrada facilmente em jardins e projetos paisagísticos e que, apesar de exótica, está amplamente adaptada ao nosso clima, requerendo poucos cuidados e podendo facilmente ser propagada por estacas. Além disso, trata-se de uma planta muito sensível aos fluoretos gasosos e as injúrias características aparecem facilmente em suas folhas.

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- aprimorar a metodologia de análise e monitoramento de fluoretos gasosos através da espécie bioindicadora acima referida;
- avaliar as possibilidades de utilização deste bioindicador para monitoramento da poluição do ar, por meio de biomonitoramento ativo, durante um curto período de exposição e
- avaliar os efeitos crônicos do fluoreto gasoso nessa espécie para verificar a possibilidade de manter indivíduos plantados ao redor de fontes potencialmente emissoras de fluoretos, para monitoramento da poluição atmosférica.

2. O USO DE PLANTAS COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

São vários os motivos que levam à opção do uso de plantas bioindicadoras para monitoramento ou controle da poluição do ar.

Todo ecossistema é composto de uma relação complexa entre os indivíduos que o compõe. Sendo assim, quando realizamos um procedimento de fumigação ou outro método qualquer em laboratório, para verificar os danos causados por um poluente, fica difícil, nessas condições artificiais, chegar-se a um resultado definitivo, já que em seu habitat natural, não só a temperatura do ar, o pH do solo, umidade e luz interferem no indivíduo, mas também todas as inter-relações existentes na dinâmica do ecossistema. As respostas são muito mais verdadeiras e mais precisas se os indivíduos estiverem integrados e interagindo com fatores bióticos e abióticos do meio. Assim, o processo de avaliação dos efeitos da poluição na vegetação pode ser bastante enriquecido com o uso de bioindicadores “in situ” (WANG, 1997).

GUDERIAN (1985) in FIALHO (1997) ressalta que a resistência das plantas às modificações ambientais, dentre elas o efeito da poluição atmosférica, depende primariamente da genética e do estado de desenvolvimento da planta e,

secundariamente, das modificações bióticas e abióticas causadas pelo impacto no meio ambiente .

Existem diversos instrumentos que podem ser utilizados para determinar alterações em um habitat. No entanto, o significado dessas alterações no desenvolvimento ou estruturamento da planta ou da comunidade, certamente, é melhor avaliado através do uso de plantas bioindicadoras.

Segundo WANG (1997), as plantas são produtoras primárias da nossa cadeia trófica e quando absorvem poluentes acabam por levá-los para os níveis mais altos da cadeia, sendo um canal aberto para transmissão de poluentes para os pássaros, invertebrados e vertebrados. Além disso, as plantas têm sido reportadas como mais sensíveis que os animais em diversos aspectos, principalmente por permanecerem estáticas no local, interagindo mais com o meio, o que facilita os estudos.

O uso de bioindicadores em campo pode ajudar a identificar os efeitos causados por agentes naturais e antropogênicos. Os biomonitores, quando bem estabelecidos, podem substituir aparelhos de medição automatizados ou, no mínimo, complementar as informações obtidas com esses aparelhos.

Os dados obtidos com bioindicadores são semi-quantitativos e cada espécie reage de uma forma diferente. Além disso, vários outros agentes estressores podem causar injúrias semelhantes, dificultando o diagnóstico. A falta ou excesso de alguns nutrientes, de água e o ataque de pragas também podem dar um aspecto de injúria provocada por fluoretos (JACOBSON & HILL, 1970). ARNDT (1995), comenta que apesar dos sintomas de toxicidade por fluoreto serem relativamente característicos, vários outros fatores, tais como sal em excesso, extremo estresse por umidade e certas deficiências minerais, produzem sintomas similares. Por essa razão, o diagnóstico visual deve ser usualmente confirmado por análises químicas das folhas ou de outros tecidos da planta.

3. O FLUORETO NA ATMOSFERA E SUA AÇÃO NAS PLANTAS

Segundo ARNDT et al (1995), o fluoreto comporta-se, seja no transporte ou na dispersão, de maneira diferente da maioria dos outros poluentes atmosféricos, devido à sua alta reatividade, especialmente na forma do ácido fluorídrico (HF). Assim, não foi observado, até agora, transporte a longa distância das fontes emissoras em quantidades significativas deste poluente. No entanto, em áreas mais próximas às emitentes, são freqüentemente encontradas concentrações de risco para as plantas, nas camadas de ar mais próximas ao solo.

3.1 Níveis de Fluoreto na Atmosfera

Os fluoretos são os gases mais fitotóxicos segundo WEINSTEIN (1977), podendo causar danos em espécies sensíveis em concentrações de 10 a 100 vezes menores que outros poluentes atmosféricos. O fluoreto se torna tóxico em concentrações menores que 1 ppb e segundo JACOBSON & WEINSTEIN (1977 in FILHO 1993) o fluoreto gasoso é a forma mais tóxica para a vegetação, se comparado aos fluoretos particulados.

Segundo WEINSTEIN (1977), as lesões em plantas sensíveis começam a aparecer quando a concentração de flúor gasoso na atmosfera se mantém em torno de 0.8 ug/m³.

Os padrões americanos de concentração atmosférica de fluoretos gasosos para a proteção da vegetação em clima temperado, estão indicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Padrões Americanos de Concentração Atmosférica de Fluoretos Gasosos para Proteção da Vegetação.

µg/m ³	ppb	Tempo de Exposição
0.50	0.65	estação de crescimento
0.78	1	30 dias
1.55	2	7 dias
2.70	3.5	24 horas
3.5	4.5	12 horas

3.2 Ação do Fluoreto nas Plantas

Pouco se sabe sobre a forma química do flúor dentro da planta, mas o seu efeito fitotóxico é aceito há muito tempo. Antes que alterações visíveis, tais como clorose e

necrose dos tecidos, possam ser notadas, já devem ter ocorrido perturbações do metabolismo (ARNDT, 1995). Outros processos metabólicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas são também atingidos pela penetração do flúor nos tecidos. Em muitos casos, o magnésio e o cálcio estão estreitamente relacionados com esses efeitos (ARNDT, 1995). O balanço proteico, por exemplo, que é muito importante para o crescimento, é alterado pelo efeito do flúor sobre a síntese de aminoácidos (ARNDT, 1970; JÄGER & GRILL, 1975 in ARNDT, 1995).

O flúor absorvido pelas plantas causa danos no mesófilo, epidermes inferior e superior e células paliádicas; alterações na atividade enzimática associada à glicose, respiração e fotossíntese; interferência na síntese de aminoácidos; redução nos níveis foliares de açúcar; diminuição da turgescência das células e de estado hídrico da planta; modificação de organelas; senescência precoce e abscisão foliar; redução no crescimento e desenvolvimento e mudança no formato das copas das árvores (MANNING & FEDER, 1980).

O índice de fluoretos considerado normal na vegetação de clima temperado por PUSHNIK & MILLER (1990) é de até 20 ppm.

Sabe-se relativamente pouco a respeito dos efeitos dos fluoretos sobre os ecossistemas como um todo ou sobre suas partes. Nas proximidades de grandes emissores de fluoretos, no entanto, podem ser observadas modificações nítidas na composição e diversidade das espécies, efeitos estes que podem culminar em extrema degradação do ecossistema. É importante que este tipo de efeito seja investigado nas regiões tropicais e subtropicais, especialmente, devido a sua maior biodiversidade.

3.3 Biomonitoramento Ativo e Passivo

Existem dois tipos de biomonitoramento possíveis de serem realizados, o ativo e o passivo. O ativo é aquele no qual utiliza-se uma determinada espécie de planta cultivada em ambiente não poluído e/ou com atmosfera controlada, expondo-a a condição de estresse em ambiente poluído por tempo determinado. No caso do biomonitoramento passivo, são analisadas as espécies vegetais já existentes na área a ser monitorada.

No presente trabalho utilizou-se como forma de exposição o biomonitoramento ativo, uma vez que permite a padronização através do uso de plantas de origem conhecida, devidamente identificadas, mantidas sob condições naturais e plantadas no mesmo tipo de solo.

4. A ESPÉCIE *Cordyline terminalis*

A espécie bioindicadora para fluoretos gasosos utilizada neste estudo foi ***Cordyline terminalis*** (Figura 1), originária da Ásia e Polinésia, com porte de até 3 m e florescendo no outono. Sua propagação pode ser feita por sementes e/ou estacas, sendo que a estaquia é o mais recomendável, já que as mudas se formam facilmente. A planta é perenifolia, o que facilita sua exposição em qualquer período do ano. Necessita sempre de solo úmido e apesar de ser uma espécie exótica, é amplamente utilizada em jardins e projetos paisagísticos e está bem adaptada ao nosso clima.



Figura 1: Aspecto de muda de *Cordyline terminalis* antes de ser exposta no município de Alumínio

Quanto ao comportamento estomático da espécie, foi realizado em janeiro de 1996 pela CETESB (EQSE), um estudo preliminar sobre o curso diário do grau de abertura estomática com o método do xilol, indicando que durante o dia, os estômatos permanecem abertos nos períodos de menor radiação e fechados durante as horas de maior temperatura e luminosidade (DINIZ, et al, 1996). Durante a noite, nenhum dos indivíduos estudados apresentaram qualquer abertura estomática, sugerindo que caso haja uma emissão noturna de fluoretos, essa espécie bioindicadora absorverá pouco ou nenhum poluente. Esses resultados são comparáveis a outros estudos similares realizados com espécies da Mata Atlântica (AZEVEDO et al, 1995) e em espécies de restinga (PRADELLA et al. 1996), onde a maioria das espécies estudadas apresentaram seus estômatos abertos durante o dia e fechados durante a noite.

O conhecimento do comportamento estomático de uma espécie pode contribuir para o esclarecimento de quanto pode ser danosa uma imissão de determinado poluente para as mesmas, uma vez que o estômato é a principal via de entrada do poluente na planta, isto é , de acordo com a concentração , ou tempo de exposição a um poluente, ou diferentes gases, o estômato pode se comportar diferentemente (PRADELLA et al, 1996).

5. METODOLOGIA DE TRABALHO

Para possibilitar a visualização das etapas deste estudo, é apresentado o fluxograma da Figura 2.

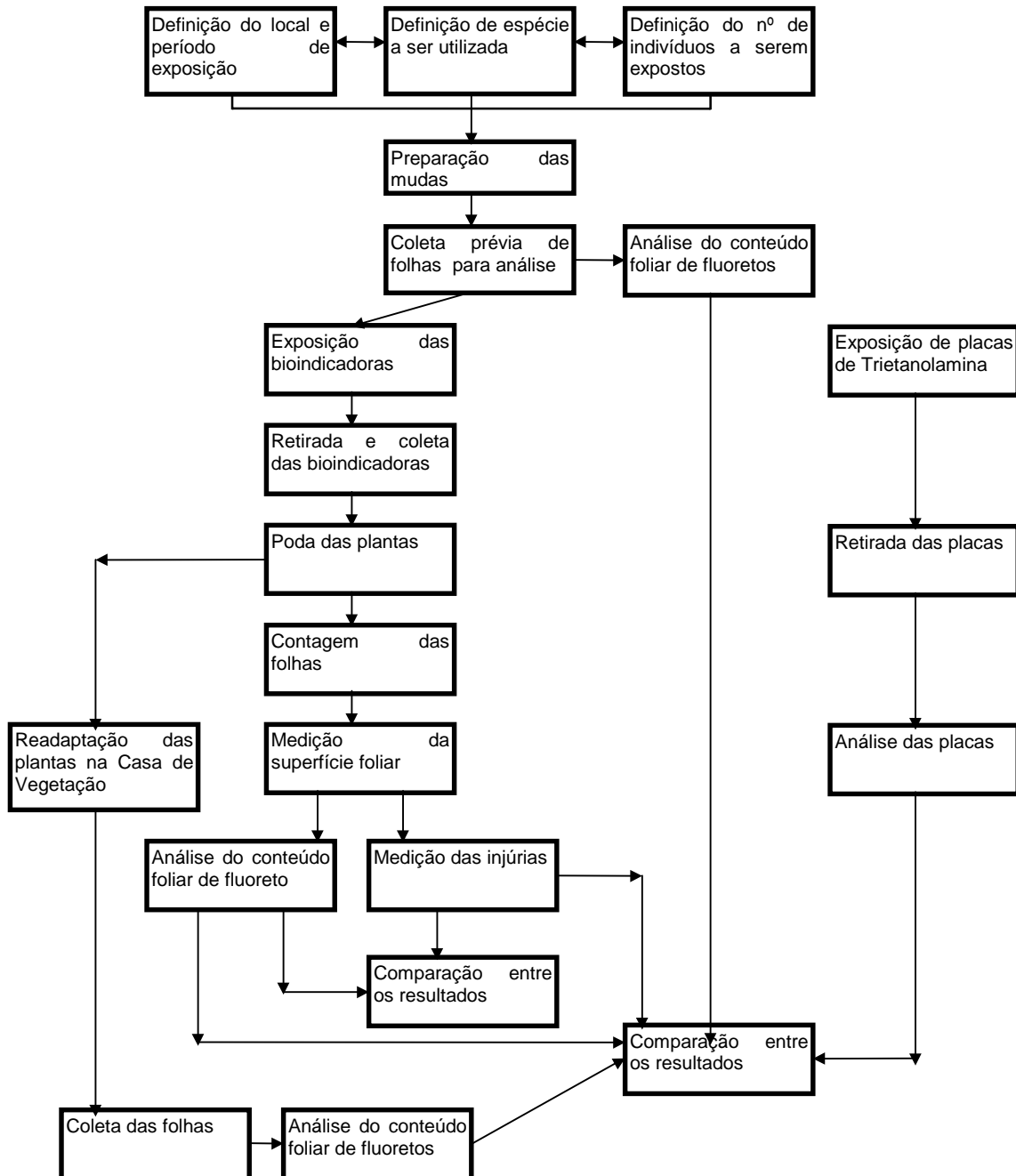


Figura 2 - Fluxograma de Trabalho

5.1 Localização da Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado no município de Alumínio, no Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23° 32' 16" S e 47° 15'29" W, com altitude média de 820 m (Figura 3).

A escolha do local de estudo ocorreu devido à existência de fontes emissoras de fluoretos gasosos, na CBA - Cia Brasileira de Alumínio, constatadas através de estudos anteriores (AZEVEDO, et al, 1992 e POMPEIA, et al, 1993^a; QUEIROZ et al, 1993; OLIVEIRA et al, 1994; entre outros), onde verificou-se danos à vegetação local, causados pelos altos níveis atmosféricos de fluoretos gasosos presentes na região.

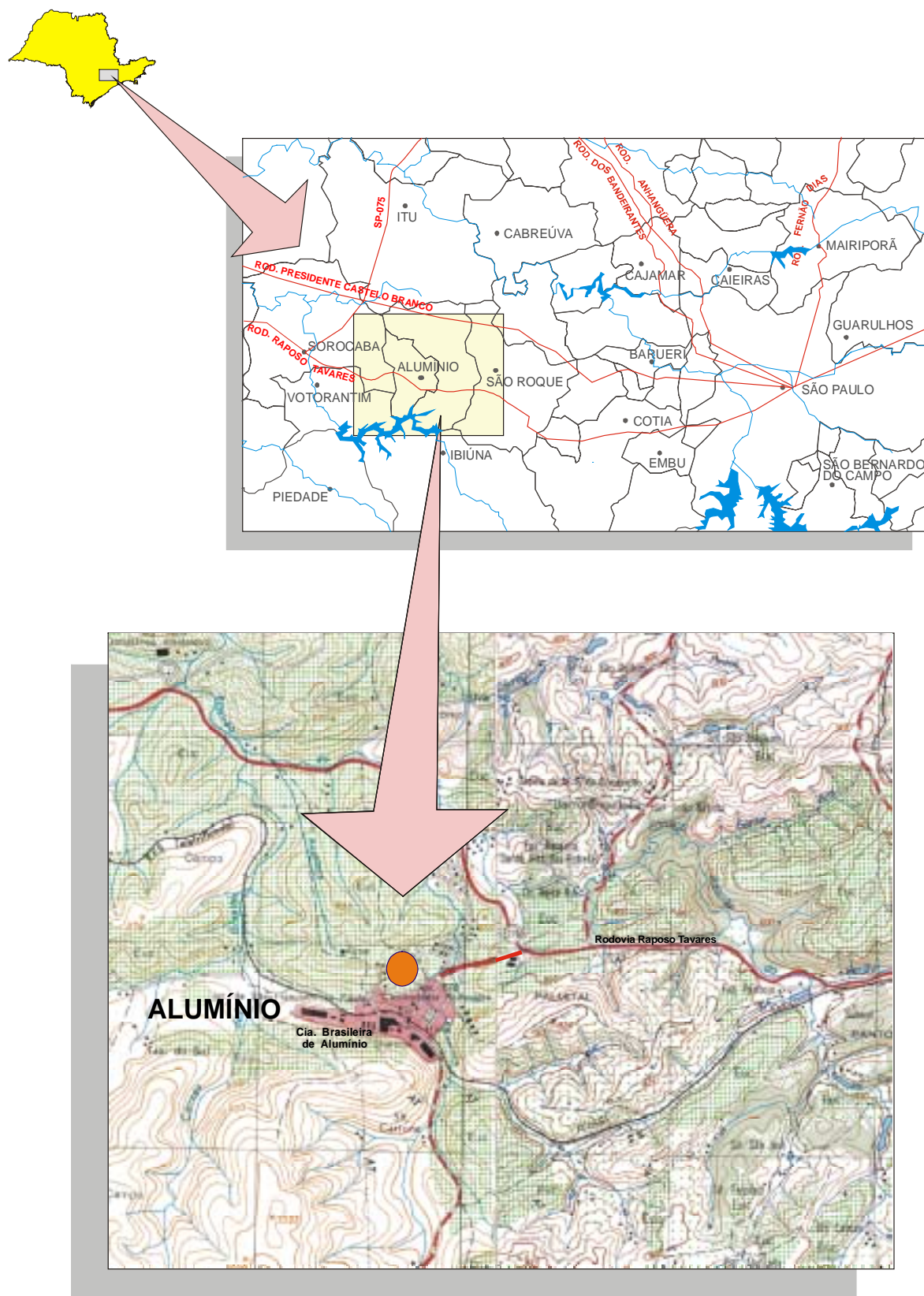


Figura 3 - Localização da área de estudo

O local de exposição dos bioindicadores fica a cerca de 500 m da fonte emissora, a CBA - Cia Brasileira de Alumínio (figura 4).



Figura 4: Ao fundo vê-se a C.B.A. e em primeiro plano, parte da cidade de Alumínio. A seta indica o local onde foram expostos os bioindicadores e as placas de trietanolamina.

O ponto para exposição dos bioindicadores foi o mesmo escolhido para monitoramento da qualidade do ar, feito através de placas impregnadas por trietanolamina, ou seja, em uma residência na R. Alexandre de Albuquerque (Figura 5). Ressalta-se que propositamente coincide com um dos pontos já estudados pela CETESB (EQSE) em 1992 (AZEVEDO et al, 1992), e em 1993 (POMPÉIA et al, 1993b), quando foi verificada a ocorrência de grandes quantidades de fluoreto no ar e na vegetação.



Figura 5: Aspecto do jardim onde foram realizados os estudos. Nota-se que a espécie que aparece no canteiro, *Hedychium sp*, está totalmente injuriada pelos fluoretos

5.2 Período de Exposição

A exposição teve início em 11/04/96, quando foram expostos 80 indivíduos da espécie *Cordyline terminalis* no local já mencionado anteriormente. Esses indivíduos foram sendo retirados em grupos de 10, em intervalos de 1, 2, 3, 4, 8, 12, 26 e 52 semanas, sendo que o grupo que permaneceu por mais tempo foi retirado no dia 10/04/97 (Tabela1).

Tabela 1: Datas das retiradas dos bioindicadores e o respectivo tempo de exposição de cada grupo

DATAS DE RETIRADAS	TEMPO DE EXPOSIÇÃO
18/04/96	1 semana
25/04/96	2 semanas
02/05/96	3 semanas
09/05/96	4 semanas
05/06/96	8 semanas
05/07/96	12 semanas
10/10/96	26 semanas
10/04/97	52 semanas

5.3 Composição dos Grupos de Bioindicadores Expostos

Como há diferença na absorção de fluoretos, de acordo com a fase de maturação das plantas e como não se sabe da possibilidade de utilizar-se as plantas em diversas exposições, optou-se por dividir cada grupo de 10 indivíduos da seguinte forma:

- 4 dos indivíduos foram expostos várias vezes aos fluoretos desde 1991, sendo constantemente podados após cada exposição e reutilizados após o rebrotamento, como bioindicadores (“plantas já expostas”);
- 4 dos indivíduos foram adquiridos diretamente dos produtores, sem histórico de exposição aos fluoretos (“plantas nunca expostas”);
- 2 dos indivíduos foram desenvolvidos a partir de estacas de plantas nunca expostas ao fluoreto, portanto mudas recém formadas (“estacas”).

A composição dos grupos de bioindicadores é ilustrada pela Figura 6.

Portanto, as denominações “plantas já expostas”, “plantas nunca expostas” e “estacas” serão usadas durante este relatório para diferenciar esses indivíduos e poder verificar se há alguma modificação no comportamento dos mesmos em relação à exposição realizada.

Composição de cada grupo de bioindicadores expostos em Alumínio

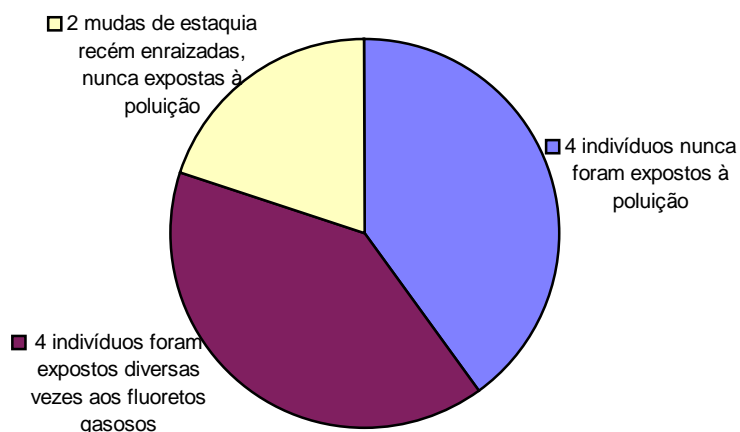


Figura 6 - Composição dos Grupos de Bioindicadores Expostos em Alumínio

5.4 Seleção e Preparação das Mudanças para a Exposição

As plantas foram selecionadas de forma a terem altura padronizada em torno de 50 cm e aproximadamente a mesma idade, exceto as mudas desenvolvidas por estaquia (recém enraizadas). As mudas não possuíam ramos laterais nem injúrias foliares, causadas por insetos, pragas ou poluição. Tinham folhas aproximadamente do mesmo tamanho, em comprimento e largura e a procedência de todas as mudas era conhecida.

As mudas denominadas “plantas já expostas”, “plantas nunca expostas” e “estacas” foram plantadas em vasos do mesmo tamanho, com aproximadamente 15 cm de diâmetro, com sistema de auto-rega onde uma corda foi colocada nos furos de drenagem do vaso e esta dentro de um reservatório de PVC cheio de água. As “estacas” foram retiradas de mudas nunca expostas à poluição. Os trabalhos de plantio foram realizados em outubro/95, 6 meses antes da exposição e as plantas permaneceram todas no mesmo espaço físico, sob as mesmas condições de umidade, temperatura e luminosidade, dentro da Casa de Vegetação do EQSE, localizada na sede da CETESB em São Paulo (Bairro dos Pinheiros).

Todas as plantas foram identificadas com lacre em material plástico preso ao caule. Durante o período de adaptação, todas as mudas foram regadas com água deionizada, a fim de evitar que o flúor existente na água de abastecimento público interferisse nos resultados.

Após este período de adaptação foram coletadas aleatoriamente amostras de folhas, com exceção das folhas mais próximas à gema apical, para realização de análises químicas do conteúdo foliar de fluoretos em todos os indivíduos antes da exposição de campo, para certificar se a concentração de fluoretos estava dentro dos índices naturais encontrados na vegetação. Todas as amostras foram colocadas isoladamente, em sacos de papel com o devido registro do número da planta a qual se refere, e secas em estufa a 60°C por 48 horas. Então foram mantidas em local seco e arejado, para posterior análise.

Todas as plantas foram expostas em Alumínio no dia 11/04/96, em local aberto e sem barreiras físicas e os “vasos” foram colocados diretamente em cima do solo, sem o uso de suportes, no local já citado anteriormente. Todos os reservatórios de água das plantas foram inicialmente enchidos com água deionizada, sendo posteriormente mantidos cheios apenas com a água das chuvas.

5.5 Determinação das Taxas de Fluoreto Gasoso na Atmosfera

Concomitantemente, foram instaladas junto aos bioindicadores placas com trietanolamina, que fixam os fluoretos gasosos (SIDHU, 1979 in POMPEIA, 1997) para verificar a taxa de fluoretos gasosos na atmosfera.

O uso das placas é um método semi-quantitativo e é utilizado para o mapeamento de regiões, identificando os locais com maiores problemas de fluoretos gasosos. Seu uso é essencial num trabalho como este, para que dessa forma possa ser estabelecida uma comparação entre os resultados da absorção química pelas placas de trietanolamina e da acumulação pelas plantas.

As placas foram expostas a partir de 11/04/96, sempre em duplicatas, colocadas em suporte de madeira a cerca de 2 m de altura do solo, ficando a cerca de 1,5 m de altura acima das folhas das plantas em estudo.

As placas foram trocadas com a frequência de, no máximo, trinta dias, para evitar a saturação das mesmas. Os períodos de exposição das placas de trietanolamina estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Períodos de Exposição das Placas de Trietanolamina

Período de exposição	total de dias
11/04 - 09/05	28
11/04 - 25/04	14
09/05 - 05/06	27
05/06 - 20/06	15
20/06 - 22/07	30
22/07 - 15/08	24
15/08 - 13/09	29
13/09 - 10/10	27
10/10 - 07/11	28
07/11 - 04/12	27
04/12 - 30/12	26
30/12 - 29/01	30
29/01 - 26/02	28
26/02 - 26/03	28
26/03 - 10/04	15

5.6 Análises

Após as exposições foram realizadas análises do conteúdo foliar de fluoretos e da porcentagem de injúrias nas folhas de cada planta retirada. Concomitantemente, as placas com trietanolamina também foram analisadas.

5.6.1 Avaliação de Injúrias Foliares

Após cada retirada de bioindicadores, as plantas foram transportadas para a sede da CETESB em São Paulo, em veículo fechado, a fim de se evitar danos nas folhas por causa do vento.

Na CETESB as plantas foram imediatamente podadas a cerca de 20 cm de altura e suas folhas foram destacadas e lavadas com um rápido jato contínuo de água deionizada, através de uma pisseta, a fim de se retirar da superfície das folhas possíveis deposições de material particulado contendo fluoreto.

Após a lavagem, foram retirados e desprezados os pecíolos e as duas folhas mais novas, localizadas próximas à região apical, contadas todas as folhas dos indivíduos e medida a superfície foliar total de cada folha, mesmo injuriada. O equipamento utilizado para medir as folhas foi o medidor de área foliar portátil LI-COR Model Li- 3000A. Em seguida, foi recortada a parte injuriada das folhas e novamente medida a área, para verificar a porcentagem de injúrias em cada indivíduo. As folhas e partes injuriadas foram então colocadas em sacos de papel devidamente identificados, secas em estufa a aproximadamente 60°C por 48 horas e mantidas em local seco e arejado para posterior análise.

5.6.2 Método para Determinação dos Teores Foliares de Fluoreto

Para análise do conteúdo foliar de fluoretos, foi utilizada uma adaptação do método de VAN DEN HEEDE (1975) modificado in FIALHO (1997), conforme segue:

- Após secagem das folhas por 48 horas em estufa com temperatura entre 50°C e 60°C, estas foram moídas em moinho e peneiradas em malha de 0,297 mm (20 mesh). O material retido nas peneiras foi desprezado.
- Foram pesadas cerca de 0,25 g de cada amostra, aproximadamente, e após anotação do peso correto, colocadas em tubos de ensaio devidamente identificados.

- Os fluoretos contidos nas amostras, foram extraídos com solução ácida (H_2SO_4 . 1N) em banho maria a 50°C , sob ultrassom, por 20 minutos. A solução resultante foi posteriormente neutralizada com solução de NaOH (1N) e analisada potenciometricamente impregnando-se eletrodo específico para íon fluoreto, após adição de solução estoque de TISAB (Total ionic strength acid buffer).
- Para cálculo da concentração de fluoreto nas amostras, foi construída uma curva de calibração empregando-se solução padrão de fluoretos. A curva de calibração foi construída a partir das leituras, em mv, em função do log da concentração dos padrões, em $\mu\text{g/ml}$, obtendo-se a equação da reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

5.6.3 Placas de Trietanolamina

As placas de trietanolamina foram preparadas e analisadas pelo Setor de Amostragem e Análise do Ar - EQQA da CETESB e os resultados estão apresentados no capítulo de discussão dos resultados.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Taxas de Fluoreto Gasoso na Atmosfera

As taxas de fluoreto na atmosfera, medidas através das placas impregnadas com trietanolamina, estão indicadas na Tabela 3, sendo que a média total observada estava em torno de $480 \mu\text{g F}^- / 100 \text{ cm}^2 / 30 \text{ dias}$, conforme figura 7.

Tabela 3: Taxas de fluoretos gasosos obtidas em Alumínio

Período de exposição	Taxas médias $\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$
11/04 - 25/04	587
11/04 - 09/05	595
09/05 - 05/06	507
05/06 - 20/06	480
20/06 - 22/07	500
22/07 - 15/08	613
15/08 - 13/09	831
13/09 - 10/10	445
10/10 - 07/11	306
07/11 - 04/12	382
04/12 - 30/12	413
30/12 - 29/01	378
29/01 - 26/02	354
26/02 - 26/03	370
26/03 - 10/04	511
MÉDIA TOTAL	485

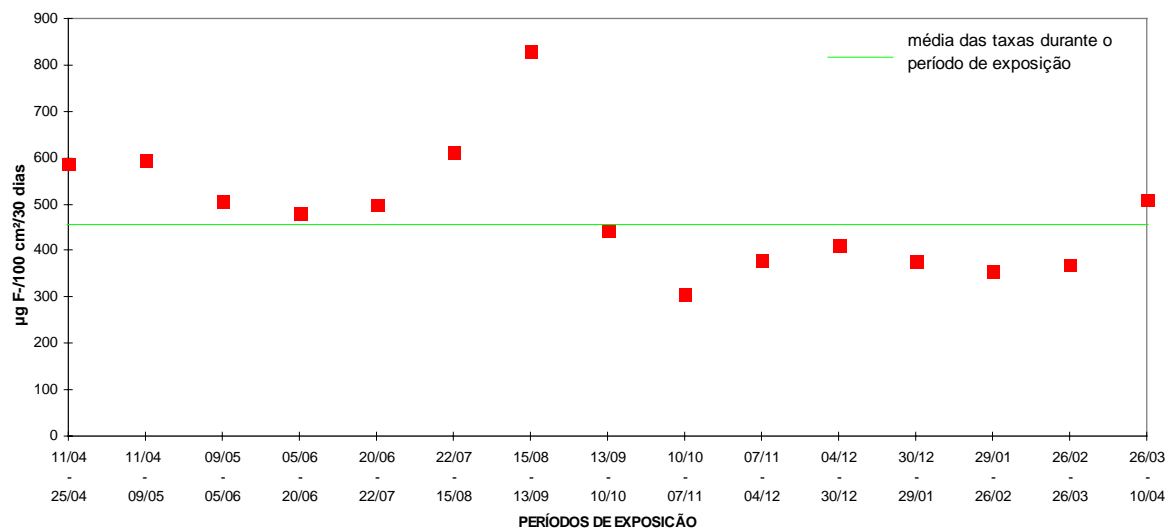


Figura 7: Taxas de fluoretos gasosos na atmosfera de Alumínio durante o período de exposição dos bioindicadores

Pelos dados obtidos é possível verificar que há uma ligeira redução das taxas no período de outubro a março, que correspondeu ao verão, período mais chuvoso e de maior dispersão dos poluentes na atmosfera. Percebe-se, também, que há um aumento nítido das taxas entre 22/07 e 13/09, que compreende ao inverno, período de seca e de menor dispersão dos poluentes. No Brasil, mais especificamente em São Paulo, as transições climáticas entre o inverno e o verão são extremamente curtas, praticamente inexistindo estações de outono e primavera (CETESB, 1985). O critério considerado mais relevante para o estabelecimento destes dois intervalos é o início das chuvas fortes, o que delimita o período favorável e desfavorável à dispersão dos poluentes. As chuvas diminuem a possibilidade de altas taxas de acumulação devido a possibilidade de haver lixiviação do fluoreto acumulado nas folhas (JACOBSON et al, 1966 in ARNDT, 1995).

No período que corresponde ao maior aumento das taxas (15/08 a 13/09), foi observada em campo a deposição de material particulado de coloração esbranquiçada em cima dos vegetais, objetos e casas, em grande quantidade (Figuras 8 a 11). Nesse mesmo período foram observadas, nas folhas de diversas plantas, dos jardins e praças da região, necroses no meio do limbo foliar, que não apareciam anteriormente (figuras 12 e 13).

Foi recolhida amostra do pó e o EQQA, através de cromatografia iônica, isolou as substâncias presentes. Não se obteve um resultado quantitativo satisfatório da presença de fluoretos nesse material, apesar dele ter sido isolado. Seria necessária nova amostragem, o que não foi possível na coleta seguinte, devido a lavagem dessas partículas pela chuva e, provavelmente por não ter ocorrido mais emissões desse tipo de material particulado no local, em quantidade que pudesse ser coletada.



Figura 8: *Ctenanthe setosa* com material particulado sobre as folhas e com injúrias características de fluoretos (foto tirada em 13/09/96)



Figura 9: *Tabebuia* sp com deposições nas folhas, que apresentam clorose e algumas necroses características de fluoretos gasosos



Figura 10: *Ficus carica* (figueira) com folha e frutos com necroses e deposição de pó branco (foto tirada em 13/09/96)



Figura 11: *Eriobotrya japonica* (nespereira). As folhas apresentam cloroses nas margens e grande deposição de material particulado (foto tirada em 13/09/96)



Figura 12: *Chrysalidocarpus lutescens* com necroses nos ápices foliares, características de fluoretos gasosos (foto tirada em 13/09/96)



Figura 13: Aspecto de planta com injúrias no meio do limbo foliar, bordas e ápices das folhas, no jardim da casa onde foram feitas as exposições (foto tirada em 13/09/96)

As necroses no meio do limbo foliar, ocorridas nesse período, podem ter como causa o fato deste material particulado com fluoreto ter se dissolvido com o orvalho ou regas dos jardins e ter penetrado nas folhas e causado as injúrias, antes mesmo de ser translocado para as margens e ápice das mesmas.

Com relação às taxas de fluoretos gasosos, o valor médio registrado no período abril/96 a abril/97 foi de $485\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$, com picos que chegaram a $831\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$ e $613\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$. Estes valores foram bastante superiores aos encontrados em estudos anteriormente efetuados nas proximidades de indústrias de fertilizantes, em que foram observados danos à culturas agrícolas. A saber, em Cajati, nas proximidades da Quimbrasil- Serrana, no período de novembro de 1992 a agosto de 1993 (CETESB, 1994¹), onde o valor máximo detectado foi de $57\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$, e em Paulínia, em área sob influência de emissões da indústria de fertilizantes Galvani, no período de maio de 1992 a agosto de 1993 (CETESB, 1994²), em que o maior valor encontrado foi de $274\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$.

Convém salientar que as taxas estão relacionadas com os níveis médios de emissão, não sendo possível detectar a ocorrência de episódios agudos. Assim, mesmo no caso de taxas mais baixas, há que se considerar a possibilidade de ocorrência desses episódios, os quais teriam efeitos danosos sobre a vegetação.

Para efeito de comparação, citamos ainda resultados de estudos efetuados em Cubatão (CETESB, 1986), quando a área estava sujeita a altas emissões industriais de fluoretos, que causaram degradação da vegetação da Serra do Mar. Em 1985, foram encontrados no Vale do Moji, próximo às fontes, valores da ordem de $2000\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$, sendo que valores encontrados na Serra do Mar se situavam na faixa de $300\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$ a $1300\mu\text{g F}^-/100\text{cm}^2/30\text{dias}$, sendo que estudos posteriores demonstram que estes valores foram reduzidos.

No presente estudo, a região estudada sofre o impacto constante de emissões cujos efeitos foram facilmente percebidos, tanto em campo quanto através do conteúdo foliar de fluoretos.

Os danos causados ao ecossistema exposto há muitos anos a esses efeitos são significativos. Espécies tolerantes, que apesar de darem um aspecto “verde” à região, se melhor observadas, possuem cloroses e algumas necroses, em menor quantidade e possuem uma alta concentração foliar de fluoretos(AZEVEDO ,1992) e as espécies mais sensíveis estão seriamente comprometidas, dessa forma, é necessário realizar-se um maior controle da fonte emissora.

6.2 Concentrações Foliares de Fluoreto nas Plantas

A concentração foliar de fluoretos na espécie *Cordyline terminalis* foi obtida através do método de Van den Heed, 1975, modificado, descrito na metodologia. Os dados obtidos estão na Figura 14.

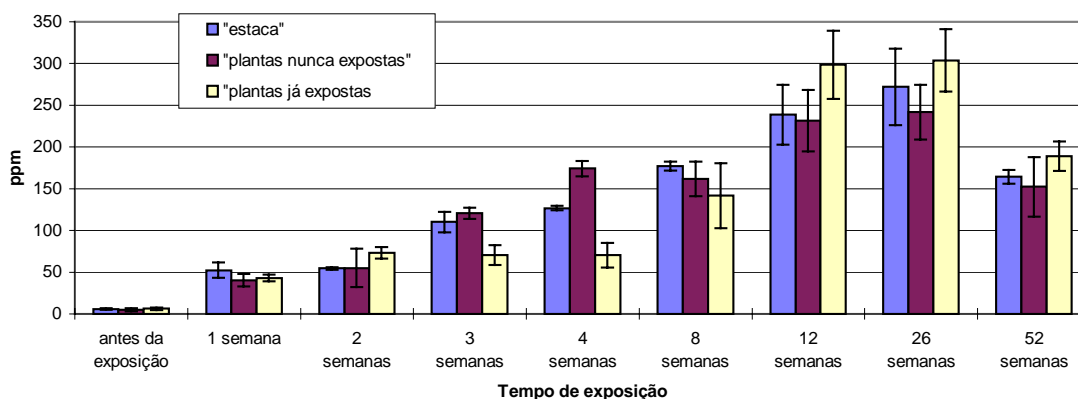


Figura 14: Concentração foliar de fluoretos no bioindicador *Cordyline terminalis* expostos em Alumínio.

De acordo com o gráfico percebe-se que há uma acumulação contínua de fluoreto em todos os indivíduos até a 12ª semana de exposição. Entre a 12ª e a 26ª semanas de exposição, ou seja, durante um período de 14 semanas, as concentrações permaneceram estáveis.

Percebemos que o máximo de concentração foliar observado foi de 300 ppm, sugerindo que essa espécie tem um potencial máximo de acumulação de fluoretos gasosos em torno desse valor.

No caso da queda nas concentrações de fluoretos nos indivíduos expostos por 52 semanas, provavelmente ocorra devido às folhas estarem completamente injuriadas (em torno de 75%), conforme figura 19, dessa forma sujeitas a que haja lixiviação dos fluoretos pela ação da chuva. Da mesma forma, a superfície foliar “verde” ou “viva” é muito pequena e, portanto, há pouca capacidade para absorção de mais fluoretos, já que o restante da folha está necrosado.

É importante salientar que não foram feitas análises entre 26 e 52 semanas de exposição. Portanto não é possível saber quando as concentrações começaram a diminuir.

Fica claro com estes resultados que não é possível avaliar isoladamente as concentrações foliares de fluoretos em espécies vegetais existentes em uma área poluída. Os dados de concentração foliar de fluoretos obtidos em uma comunidade vegetal exposta a longo prazo, de forma crônica, aos fluoretos gasosos, podem subestimar à que condição de estresse pela poluição esses indivíduos estiveram expostos, da mesma forma que ocorreu com *Cordyline terminalis*, onde as maiores concentrações foram obtidas entre 12 e 26 semanas de exposição e não em 52 semanas como era esperado.

Dessa forma, realizando-se exposições de longa duração, pode-se correr o risco de subestimar os efeitos do fluoreto nas plantas, no caso de se correlacionar apenas a concentração foliar de fluoretos com a qualidade do ar. Nesse caso é necessário que se faça uma correlação também com as injúrias foliares.

Na figura 15 é apresentada a média das concentrações foliares de fluoretos em todos os indivíduos, onde é facilmente observada a acumulação de fluoretos até a 12ª semana, permanecendo estagnada até a 26ª semana, para depois ir decaindo.

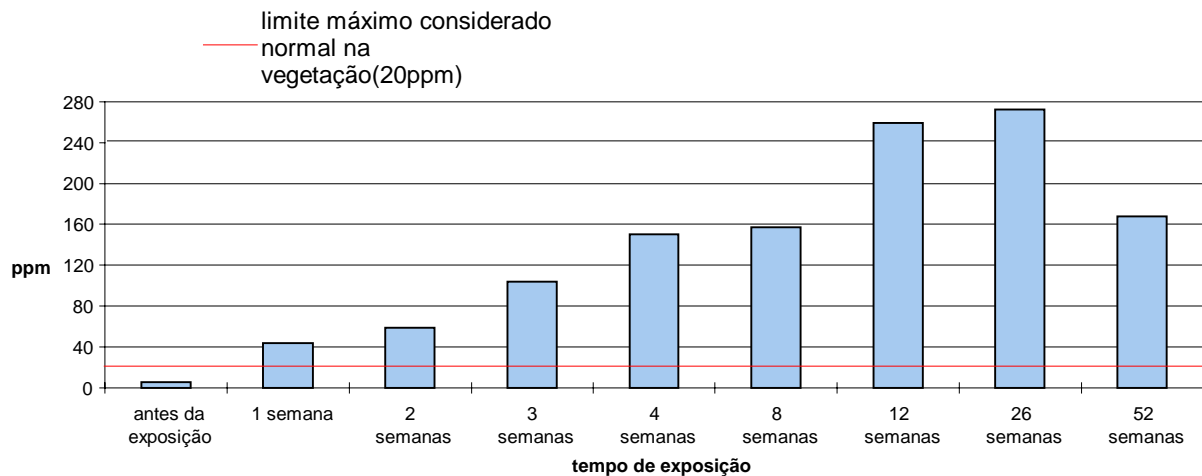


Figura 15: Concentração foliar média de fluoretos no bioindicador *Cordyline terminalis*

Outro dado importante obtido, foi demonstrar que em apenas uma semana de exposição, os valores obtidos foram o dobro do considerado normal por PUSHNIK & MILLER (1990), que é de 20 ppm, e chegaram a ser 15 vezes maiores no caso das plantas “já expostas”, que chegaram a concentrar 300 ppm, após 12 semanas de exposição.

Para verificar se após a poda das plantas, expostas aos fluoretos gasosos, permanecem resíduos deste poluente acumulados em outras partes da planta, foram realizadas análises da concentração foliar de fluoretos nas plantas, em duas situações distintas: antes da exposição e depois das rebrotas, uma vez que após a exposição, todas as plantas foram levadas para a Casa de Vegetação do EQSE, onde permaneceram até as rebrotas (Tabela 4). Os dados obtidos demonstram que não remanesceu demasiado fluoreto nas plantas, estando todas dentro do limite considerado normal na vegetação por PUSHNIK & MILLER (1990), que estabelecem como valor máximo normal, na vegetação, até 20 ppm. Ressalta-se que este valor é considerado para plantas de clima temperado.

Ressalta-se aqui que estudos preliminares realizados pela CETESB - EQSE, em Cubatão e em Paranapiacaba, com espécies nativas, indicam que esses valores também serviriam para as plantas tropicais. Entretanto, é necessário que se faça um estudo em diversas regiões do estado para se estabelecer um “back-ground” de fluoretos gasosos para espécies nativas tropicais da Mata Atlântica. Por enquanto esse índice parece ser razoável como referência.

Tabela 4: Concentração foliar de fluoretos nos bioindicadores antes de serem expostos em Alumínio e após as exposições (análises das rebrotas na CETESB)

COMPOSIÇÃO DE CADA GRUPO DE PLANTAS	ANTES DA EXPOSIÇÃO (ppm)	DEPOIS DA REBROTA (ppm)
“PLANTAS JÁ EXPOSTAS”	6.05	9.66
“PLANTAS NUNCA EXPOSTAS”	5.2	9.72
“ESTACAS”	5.8	8.66
MÉDIAS	5.7	9.34

Os valores obtidos nas plantas expostas, após a poda e rebrota das mesmas, na casa de vegetação, tiveram um aumento em relação aos obtidos antes das exposições, em termos de porcentagem. Este aumento não é muito significativo, já que a análise é semi-quantitativa. O importante é que todos os valores situam-se dentro dos considerados normais na vegetação e estão bem abaixo do limite de 20 ppm, possibilitando assim a reutilização das plantas em experimentos futuros.

Comparativamente as diferenças entre as “plantas nunca expostas”, “plantas já expostas” e “estacas”, não foram significativas.

Considerando que essas plantas chegaram a ter valores entre 40 e 300 ppm durante o período de exposição, fica demonstrado com esse experimento que a poda das plantas é suficiente para reduzir o fluoreto a níveis muito próximos do que foi obtido antes das exposições. O aumento de 5.7 para 9.34 ppm de fluoretos deve-se provavelmente a translocação do fluoreto das folhas para outras partes da planta (KRONBERGER et al (1978) in ARNDT (1995)). Dessa forma o fluoreto, mesmo após a poda das mudas, pode ter permanecido em pequena quantidade na planta e translocado posteriormente para as novas folhas.

6.3 Número Médio de Folhas

Antes das plantas serem expostas foram retiradas todas as folhas secas e amareladas e foram contadas todas as folhas verdes de cada indivíduo. O número médio de folhas obtido foi de 12. Como os resultados obtidos entre as “estacas”, “já expostas” e “nunca expostas” foram muito próximos, somente será analisado o gráfico contendo o número médio de folhas em cada grupo.

Pelos resultados (Figura 16), percebe-se que nas quatro primeiras semanas de exposição, ocorreu um aumento no número de folhas. Durante o período de exposição de 4 a 52 semanas, o número médio de folhas diminuiu para 10.

Essa redução após um longo período de exposição é esperada em áreas afetadas por fluoretos gasosos, pois ocorre abscisão ou morte das folhas muito afetadas e senescência precoce (ARNDT, 1995; WEINSTEIN, 1977).

Em relação ao aumento de folhas no início das exposições, provavelmente deve-se a adaptação das plantas ao local de exposição.

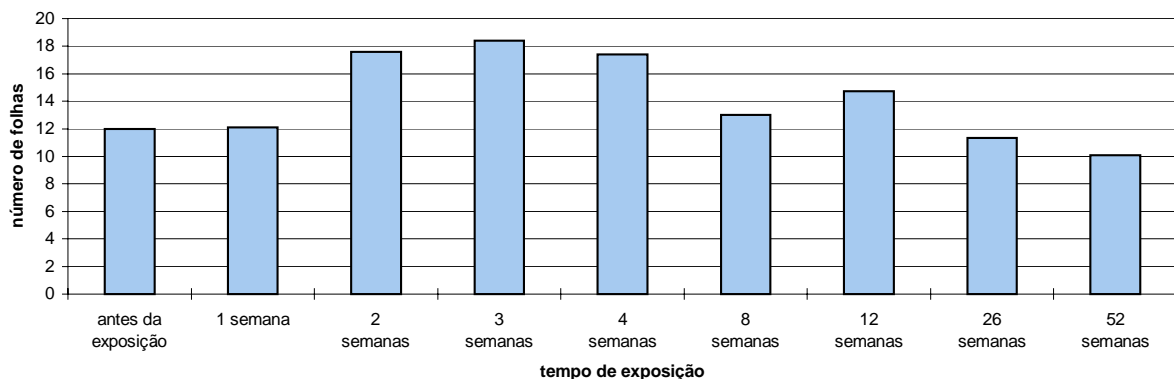


Figura 16: Número médio de folhas em cada grupo de bioindicadores ao serem coletados

6.4 Área Foliar

A área foliar das plantas foi medida através de um medidor de área foliar em cm^2 . As medidas foram feitas na ocasião das retiradas das plantas (Figura 17).

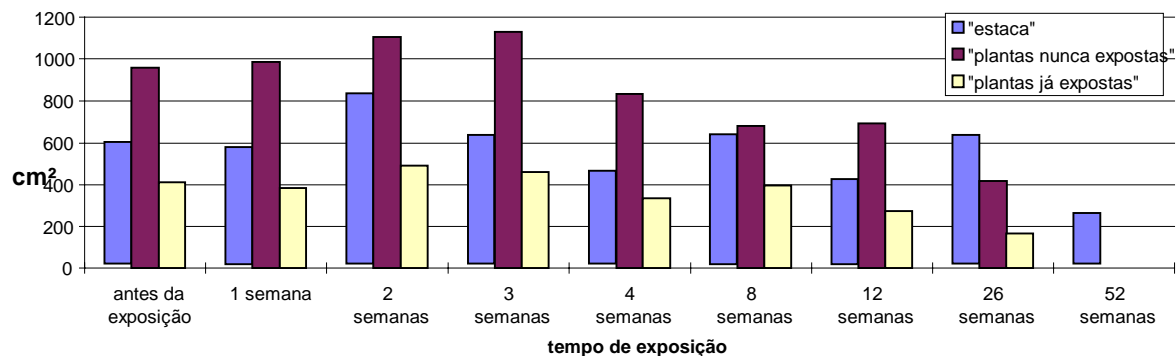


Figura 17: Área foliar média nos grupos de bioindicadores ao serem coletados

A área foliar média nas estacas oscilou durante o período de exposição, mas houve uma visível queda da superfície nas plantas que ficaram expostas por 52 semanas. Esse fato provavelmente deve-se à quantidade de injúrias nas plantas que ficaram expostas por este longo período, provavelmente pelo fato dessas plantas estarem sob estresse e com dificuldade de realizar fotossíntese, ou talvez por estarem desviando energia para reparar as injúrias. Dessa forma, como consequência, resultaram numa diminuição no tamanho das folhas novas. Neste caso, somente um estudo mais aprofundado poderia concluir sobre o ocorrido, mas é certo que houve uma redução no tamanho das folhas novas em todos os indivíduos, especialmente nas plantas expostas por 52 semanas.

Em relação às “plantas nunca expostas”, os resultados demonstram que houve um pequeno aumento da área foliar até a quarta semana. A partir de então, os valores começaram a decair e a redução da área foliar foi muito significativa após 52 semanas de exposição.

Quanto aos indivíduos “já expostos” as alterações não foram tão significativas até 12 semanas de exposição. Após 26 semanas e principalmente após 52 semanas de exposição a área foliar foi bastante reduzida.

Foi observado em campo que todos os indivíduos sofreram uma redução no tamanho das folhas, em comprimento e largura, cujas medições não foram feitas neste estudo.

Na análise dos dados da área foliar média em todos os indivíduos, percebemos, conforme Figura 18, que há uma queda bem visível na área foliar após 52 semanas de exposição, o que ocorre provavelmente devido ao estresse causado pela exposição aos fluoretos gasosos e devido à grande porcentagem de injúrias nas folhas causadas nos indivíduos expostos por um longo período de tempo.

É importante salientar que mesmo muito injuriadas (Figura 19) as plantas ainda estavam com as folhas inteiras, sendo que a área obtida após 52 semanas inclui as partes da folha com cloroses e necroses. O que se observou em campo foi uma redução do tamanho das folhas novas em comprimento e largura se comparadas com o tamanho das folhas no início das exposições.

Quanto à possibilidade da falta de nutrientes para essas plantas durante a exposição, é oportuno comentar que plantas envasadas, sob as mesmas condições, no mesmo período das mudas expostas e mantidas na Casa de Vegetação da CETESB, não apresentaram nenhuma alteração na área foliar durante o mesmo período em que ocorreram os estudos.

Essa diminuição tanto na área das folhas (Figura 18) quanto no número de folhas (Figura 16) indica uma perda considerável de biomassa, que provavelmente esteja afetando a maioria das espécies vegetais existentes na área de estudo. Segundo POMPEIA (1997) os poluentes provocam uma redução da produtividade líquida nos vegetais e, portanto, deve-se esperar uma redução na quantidade de biomassa nas áreas poluídas.

Os resultados obtidos em relação a diminuição da superfície foliar demonstram haver uma perda mensurável de biomassa e com a realização de novos experimentos pode-se extrapolar esses resultados para outros vegetais e pode-se verificar a perda da vegetação e de áreas agrícolas em relação aos fluoretos gasosos.

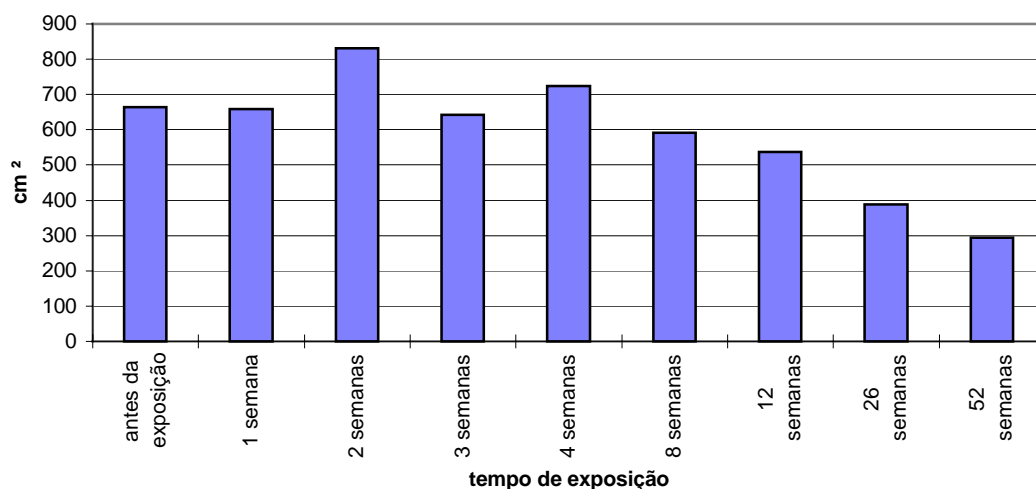


Figura 18: Área foliar média de indivíduos de *Cordyline terminalis* expostos durante o estudo

6.5 Injúrias Foliares

Os resultados obtidos através da medição de injúrias foliares estão demonstrados na Figura 19.

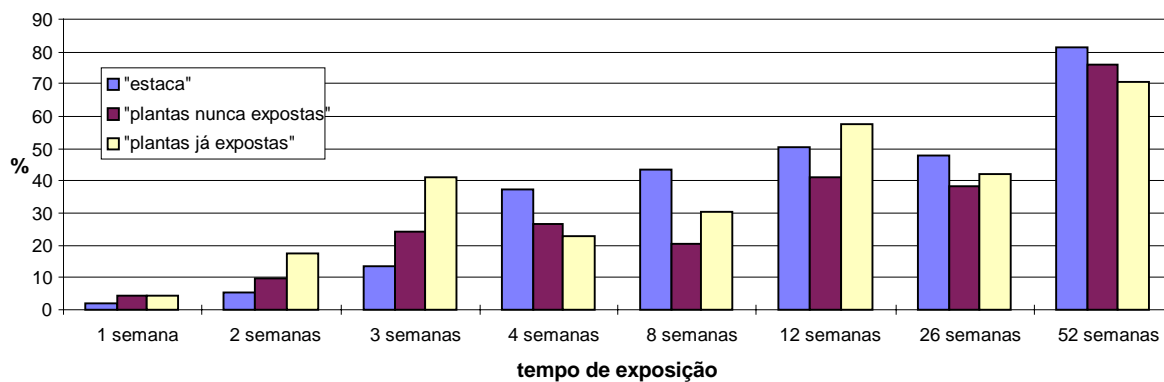


Figura 19: Porcentagem de área injuriada obtida durante as exposições de indivíduos da espécie *Cordyline terminalis* em Alumínio

Através dos dados obtidos, é possível verificar que até a terceira semana de exposição houve um aumento na porcentagem de injúrias, principalmente nas "plantas já expostas".

Entre a terceira e a quarta semana houve uma queda considerável na porcentagem de injúrias nas “plantas já expostas”, o que provavelmente ocorreu devido ao aumento de folhas novas nas plantas nesse período (Figura 16) e que pode ter coincidido com a queda das folhas mais afetadas pelos fluoretos, portanto reduzindo a porcentagem de injúrias visíveis.

Em relação ao período entre 12 e 26 semanas, foi possível observar que os valores obtidos não variaram muito e no mesmo período as concentrações foliares de fluoretos mantiveram-se estáveis (Figura 14). Essa situação, que coincide com o período de maior concentração de fluoretos nas plantas (300 ppm), sugere que as plantas tenham conseguido manter um certo equilíbrio em relação ao estresse causado pela exposição aos fluoretos gasosos. Contudo, o tempo em que a planta consegue manter esse equilíbrio só poderá ser estabelecido em novos experimentos, já que o intervalo de tempo entre as coletas não permite uma conclusão.

O importante, no entanto, é verificar que os danos visíveis causados à vegetação mais sensível e aos bioindicadores são muito significativos (Figuras 20 e 21). No caso da espécie *Cordyline terminalis* é mais recomendável a sua utilização para biomonitoramento ativo, uma vez que manter indivíduos plantados ao redor de potenciais emissores de fluoretos gasosos a longo prazo implica em um impacto muito grande nessas plantas.



Figura 20: Indivíduos da espécie *Cordyline terminalis* antes de serem expostos em Alumínio



Figura 21: Os mesmos indivíduos mostrados na figura 20 após 4 semanas de exposição

Em relação ao uso dessas plantas para biomonitoramento ativo, o tempo de 3 semanas de exposição parece ser o mais satisfatório (Figura 22), já que a partir da quarta semana não se observa uma tendência tão marcante quanto a observada até a terceira semana(aumento significativo da porcentagem de injúrias).

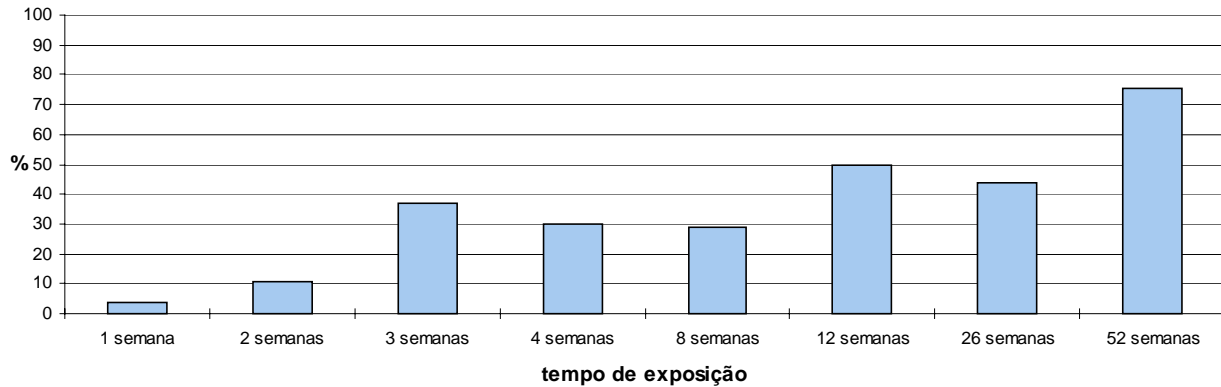


Figura 22: Porcentagem média de injúrias nas plantas bioindicadoras

6.6 Comparação entre os resultados das injúrias foliares e a concentração média foliar de fluoretos

Na Figura 23 é apresentada uma comparação entre a concentração foliar média do fluoreto e as porcentagens médias de injúrias.

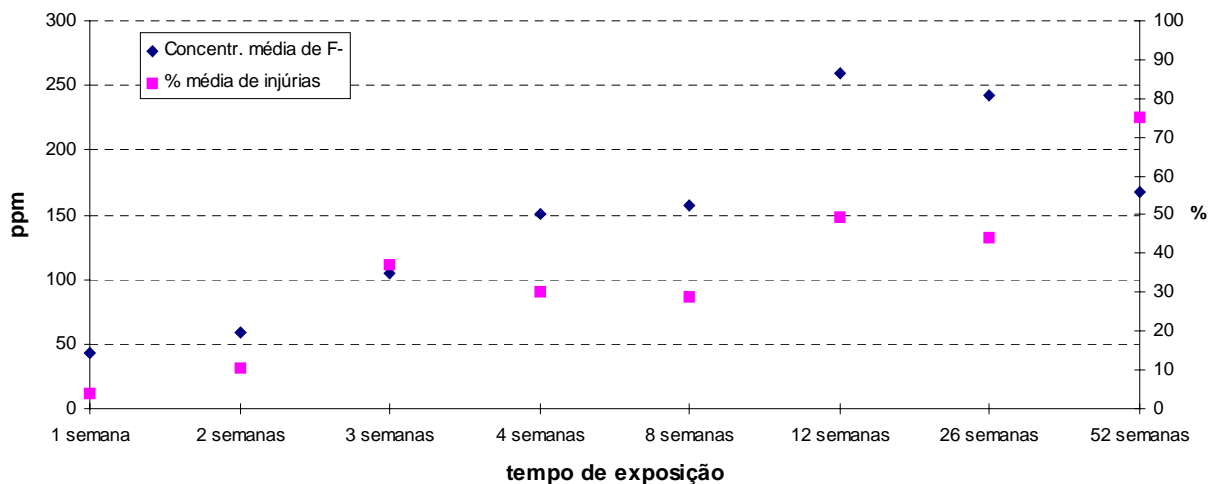


Figura 23: Comparação entre a concentração média foliar de fluoretos e as porcentagens médias de injúrias

Pelos resultados obtidos é possível verificar que até a terceira semana de exposição houve um aumento tanto da concentração foliar de fluoretos quanto das injúrias. Na quarta semana houve um aumento da concentração de fluoretos que não foi acompanhado pelo aumento de injúrias. Isto reforça a premissa de que o tempo recomendado para exposição dos bioindicadores, para biomonitoramento ativo, é de 3 semanas.

Entre a quarta e a oitava semanas de exposição, é possível verificar que as plantas mantiveram-se equilibradas, mantendo a concentração de fluoretos e as injúrias, estáveis.

Entre a décima segunda e vigésima sexta semana de exposição foi atingido o máximo de concentração foliar de fluoretos na espécie estudada(figura 14).

O interessante é observar que entre 26 e 52 semanas de exposição houve uma inversão dos dados, onde a concentração foliar de fluoretos caiu significativamente e a porcentagem de injúrias aumentou. Provavelmente, devido ao excesso de injúrias, tenha havido lixiviação dos fluoretos pelas chuvas. Outra possibilidade é que por estarem muito injuriadas, as folhas absorvam menos fluoretos da atmosfera.

Na literatura é possível encontrar algumas indicações também sobre mecanismos de evitação, mas no presente estudo não foram realizadas análises a nível celular ou metabólico para esclarecer melhor essa perda de fluoretos.

O importante é observar que em plantas expostas à poluição crônica por um período longo de tempo, uma avaliação apenas da concentração foliar de fluoretos pode subestimar a concentração de fluoretos atmosféricos.

Portanto recomenda-se o uso de biomonitoramento ativo durante o período proposto de 3 semanas com a espécie *Cordyline terminalis*, para avaliar os possíveis impactos causados na vegetação por potenciais poluidores.

6.7 Comparação entre as Taxas de Fluoretos na Atmosfera e os Dados Obtidos nas Bioindicadoras

Nas comparações dos resultados obtidos nos bioindicadores com as taxas de fluoretos gasosos na atmosfera, apresentadas na Figura 24, não foram considerados os grupos de plantas retirados em 1 e 3 semanas de exposição, já que nesse período não houve coleta das placas de trietanolamina.

Os valores indicados na figura 24 para as taxas, representam o valor médio obtido durante o período correspondente de exposição de cada grupo

Pelos dados obtidos é possível verificar que todos as alterações observadas nas plantas são dependentes não só da concentração de poluentes a que estiveram expostas, mas também do tempo de exposição. Todos os grupos de plantas que permaneceram até 26 semanas expostos a taxas muito elevadas de fluoretos gasosos na atmosfera, apresentaram porcentagens de injúrias menores que as apresentadas pelo grupo que permaneceu por 52 semanas exposto à taxas menores .

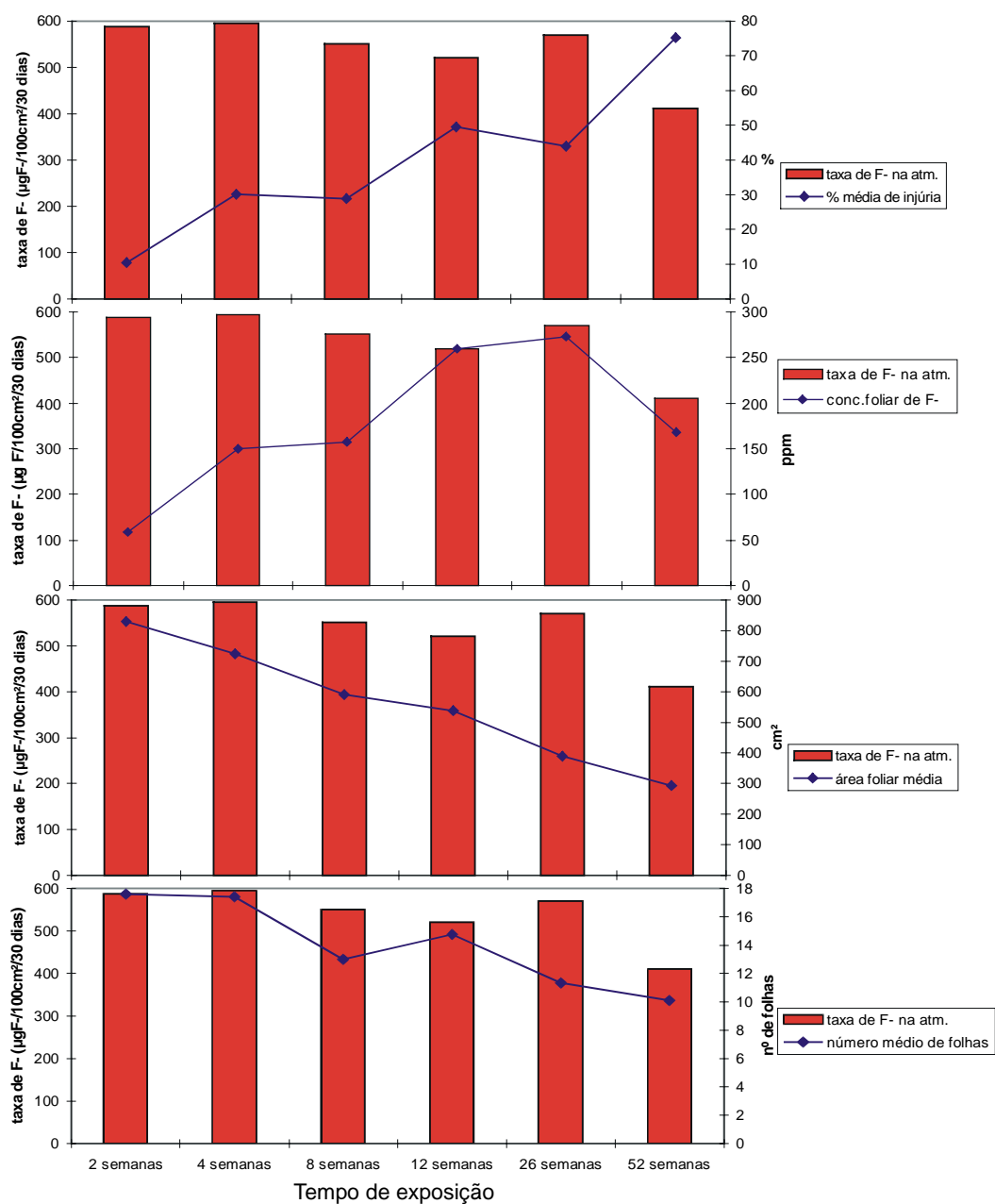


Figura 24 - Comparação entre as Taxas de Fluoretos na Atmosfera e os Diferentes Parâmetros Analisados nos Indivíduos de *Cordyline terminalis* Expostos

7. CONCLUSÕES

Os resultados através do estudo realizado com a espécie *Cordyline terminalis* e a comparação destes com as taxas de fluoretos gasosos obtidos na atmosfera poluída no município de Alumínio, permitem concluir que:

- A espécie *Cordyline terminalis* é uma espécie sensível aos fluoretos gasosos e pode ser considerada bioindicadora dos mesmos na atmosfera;
- O período ideal para biomonitoramento ativo de fluoretos gasosos com a espécie acima citada em locais sujeitos à altas concentrações atmosféricas de fluoretos é de 3 semanas, período esse em que houve um aparecimento significativo de injúrias foliares e aumento das concentrações foliares de fluoretos de forma linear;
- O objetivo inicial de manter indivíduos dessa espécie plantados ao redor de potenciais emissores de fluoretos gasosos de forma definitiva para monitoramento da qualidade do ar não se mostra indicado, já que as plantas mantidas por 52 semanas expostas a atmosfera poluída de Alumínio, ficaram seriamente comprometidas pelas injúrias foliares e tiveram uma perda significativa dos conteúdos foliares de fluoretos. Dessa forma, uma avaliação desses indivíduos mantidos junto as indústrias, poderia subestimar a concentração atmosférica de fluoretos gasosos ;
- As taxas de fluoretos gasosos obtidas em Alumínio são altas e os resultados obtidos demonstram que a poluição na área estudada é crônica e que os efeitos na vegetação são muito significativos;
- Os dados obtidos indicam ter havido uma redução de área foliar maior que 50 % nas plantas expostas por 52 meses em comparação ao período em que foram expostas. Há portanto uma perda considerável de biomassa nesses indivíduos e que parecem diretamente ligadas à poluição local, já que indivíduos mantidos sob as mesmas condições em área afetada pela poluição, não tiveram nenhuma alteração;
- O número de folhas nas plantas expostas por 52 semanas foi o menor obtido durante todo o período do estudo, parecendo estar diretamente ligado aos efeitos da poluição;
- As “estacas”, tiveram respostas mais homogêneas em relação à atmosfera poluída, sugerindo ser esta a forma de muda mais indicada para se trabalhar com biomonitoramento ativo (recém enraizadas);

- Apesar das “plantas nunca expostas”, terem respondido de forma análoga em comparação com as “estacas”, tem a desvantagem de não poderem ser facilmente padronizadas em relação ao tamanho, tempo de enraizamento e estabelecimento das mudas;
- As “plantas já expostas” demonstraram uma reação diferente aos fluoretos gasosos em relação às “estacas” e as “plantas nunca expostas” apresentando as maiores porcentagens de injúrias com as menores concentrações foliares de fluoretos no período de tres semanas de exposição. Portanto o uso desta prática para biomonitoramento da qualidade do ar não é recomendável, já que as emissões de fluoretos gasosos ocorridas durante o período de biomonitoramento poderão ser subestimadas se correlacionadas as análises de concentração foliar de fluoretos e superestimadas, se correlacionadas as porcentagens de injúrias visíveis, dificultando uma avaliação mais precisa sobre os efeitos dos fluoretos gasosos na área de estudo;
- As plantas de *Cordyline terminalis* chegaram a acumular 300 ppm de fluoretos em suas folhas , valor 15 vezes maior que o limite considerado como normal na vegetação por PUSHNIK & MILLER (1990) que é de 20 ppm, indicando que o valor máximo de acumulação de fluoretos gasosos nessa espécie seja esse e
- De acordo com os resultados obtidos, fica clara a necessidade de um controle maior sobre a fonte emissora para preservação das espécies mais sensíveis e a necessidade de uma avaliação da vegetação existente na área, como um todo.

8. BIBLIOGRAFIA

- ARNDT, U. ; FLORES, F.E.V.; WEINSTEIN, L.H.- Efeito do Flúor Sobre as Plantas: Diagnóstico de Danos na Vegetação do Brasil. Porto Alegre, Editora da Universidade/ UFRGS, 1995- 155p.
- AZEVEDO, C. M. A.; FIALHO, R. C.; DINIZ, K. M. - Danos à Vegetação por Fluoretos Gasosos em Alumínio, Mairinque- S. P., CETESB - Informação Técnica 003/92 - 1992.
- AZEVEDO, C.M.A; DINIZ, K.M.; FIALHO, R.C.; PRADELLA, D.Z.A.; POMPEIA, S.L.; PELAES, K.B. Resultados Preliminares do Diagnóstico da Contaminação de Espécies Vegetais da Mata Atlântica, Cubatão - S. P., por Poluição Atmosférica. CETESB. Relatório Técnico, 1995.
- CETESB - Carta do Meio Ambiente e de sua Dinâmica: Baixada Santista. Relatório Técnico. S. Paulo, CETESB, 1985. 33p.
- CETESB - Estudo Especial - Avaliação da Qualidade do Ar da Serra do Mar - Cubatão, 1987.
- CETESB - Avaliação dos níveis de Fluoretos no Município de Cordeirópolis. CETESB. Relatório Técnico. Dezembro, 1993.
- CETESB - Avaliação dos Teores de Fluoreto e Sulfato na Atmosfera do Município de Cajati- S.P.. São Paulo, 1994¹
- CETESB - Estudos de Fluoretos nos arredores da Indústria Galvani, Município de Paulínia. São Paulo, 1994²
- CETESB - Avaliação da Qualidade do Ar na Serra do Mar- Primeira Etapa. Levantamento no Vale do Moji. 1986
- DINIZ, K.M.; PRADELLA, D.Z.A.; LOPES, M. R. - Curso Diário do Grau de Abertura Estomática da Espécie Bioindicadora *Cordyline terminalis* - CETESB- Relatório Técnico. Janeiro, 1996.
- FIALHO, R. C.; AZEVEDO, C. M. A. , DINIZ, K. M. - Danos à Vegetação por Fluoretos Gasosos em Paulínia- S. P. CETESB. Relatório Técnico. Outubro, 1992.
- FIALHO, R. C.; AZEVEDO, C. M. A. , DINIZ, K. M. - Diagnóstico de Danos à Vegetação por Fluoretos Gasosos em Cajati, S.P.. Relatório Técnico. CETESB. Junho, 1993.
- FIALHO, R. C. - Acumulação Foliar de Fluoretos e seu Significado Ecológico em Espécies Arbóreas da Mata Atlântica, Cubatão - S. P. . Tese de Mestrado em Ecologia. Universidade de São Paulo, 1997.
- FILHO, J. F. P. - Uso de bioindicadores para Monitoramento do Ar. Revista Ambiente, 1993. Vol.7 (1): 57-64.
- JACOBSON, J.S. & HILL, A.C.- Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation . A Pictorial Atlas. Pittsburg, Pennsylvania, 1970.

- LOPES, M.R.; MACHADO, S.P.; BACCILI, A; SOUZA, J. B. S.; BATISTA, E.R.; SANTINI, R.G.M.R. Avaliação do Efeito da Emissão Atmosférica de Fluoretos Gasosos na Vegetação Próxima a Indústria Cerâmica Cordeirópolis Ltda. - CECOL, no Município de Cordeirópolis, S. P. - CETESB - Relatório Técnico. Maio , 1998.
- MANNING, W. J. & FEDER, W. A. - Biomonitoring Air Pollutants with Plants. London: Applied Science Publishers Ltda, 1980, 141p.
- POMPÉIA, S. L. ; AZEVEDO, C. M. A. ; FIALHO, R. C. ; DINIZ, K. M.- Danos à vegetação por Fluoretos Gasosos em Alumínio, S. P.. Relatório Técnico . CETESB. Abril, 1993a.
- POMPÉIA, S. L. ; AZEVEDO, C. M. A. ; DINIZ, K. M. ; PRADELLA, D. Z. A. - Contaminação na Vegetação por Fluoreto no Município de Cordeirópolis- S. P.. CETESB. Relatório Técnico. Junho , 1993b.
- POMPÉIA, S.L.- Sucessão Secundária da Mata Atlântica em Áreas Afetadas Pela Poluição Atmosférica - Cubatão, S.P.. Tese de doutorado - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, S.P., 1997.
- PRADELLA, D. Z. A. ; LOPES, M. R. ; SOUZA, J. B. - Análise Química Foliar do Teor de Fluoreto, Macro e Micro Nutrientes em Espécies Vegetais da Serra do Mar, Envasadas em Áreas Experimentais. Cubatão- S. P. - Biomonitoramento Ativo - CETESB. Relatório Técnico. Dezembro, 1996.
- PRADELLA, D.Z.A. et al - Curso Diário do Grau de Abertura Estomática de Algumas Espécies de Restinga. In "Anais do X Simpósio Estadual de Ecologia. São Carlos- S.P. 1996.
- PUSHNIK, J. C. & MILLER, G.W. - The Influences of Elevated Environmental Fluoride on the Physiology and Metabolism of Higher Plants. Fluoride, 1990. Vol. 23 (1): 5-19.
- SLAVICK, B. - Infiltration Methods in Ecological Studies: Methods of Studying Plant Water Relations. Springer Verlag. Heidelberg. Berlin. 198- 300p. 1974.
- VAN DEN HEEDÉ et al. Determination of Fluoride in Vegetation: A Comparative Study of Four Sample Preparation Methods. Journal of the AOAC, 1975. Vol 58(6): 1135-1137.
- VDI - Richtlinien 2310. Maximale Immissions - Konzentrationen für Fluorwasserstoff. VDI -Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1, September, 1988. 245.
- VDI - Richtlinien 2310. Maximum Immission Values for Hydrogen Fluoride to Protect Vegetation. VDI - Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1, December, 1989. 475.
- WANG, W. ; GORSUCH, J. W. ; HUGHES, J. S.. Plants for Environmental Studies. Lewis Publishers. New York, 1997. 357p.
- WEINSTEIN, L. H. - Fluoride and Plant Life. J. of Occup. Med. ,1977. Vol.19: 49 -78.
- WEINSTEIN, L. H. & HANSEN, K.S.- Relative Susceptibilities of Brazilian Vegetation to Airborne Fluoride. Pesq. Agropec. Bras. , 1988. Vol. 23(10): 1125 - 1137.

EQUIPE TÉCNICA

Biól. Márcio Rodrigues Lopes	(EQSE)
Biól. Sueli Pires Machado	(EQSE)
Téc. De San. Amb. José Bezerra de Sousa	(EQSE)
Téc. Quím. Viviane A. O. Ferreira	(EQQA)

COLABORAÇÃO

Sec. Eunice de Oliveria Arribas Puerto	(EQS)
Quím. Maria Cristina N. Oliveira	(EQQA)
Quím. Maria Helena Ribeiro B. Martins	(EQQA)