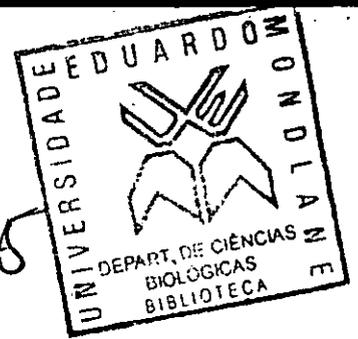


13095



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Trabalho de Licenciatura

Tema: Avaliação do uso de Trigo (*Triticum aestivum*) e da Soja (*Glycine max*) como fitorremediadores em solos contaminados com fluoreto



Autora: Amélia Cumbi

Aprovado 31/10/05
Cumbi

Maputo, Novembro de 2005



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIÓLOGICAS

Trabalho de Licenciatura

Tema: Avaliação do uso de Trigo (*Triticum aestivum*) e da Soja (*Glycine max*) como fitorremediadores em solos contaminados com fluoreto



Autora: Amélia Cumbi

Supervisor: Prof. Dr. Orlando Quilambo
Co- Supervisores: dr. Célia Martins
dr. Alexandre Siteo

Maputo, Novembro de 2005



ÍNDICE

Conteúdo	Página
Agradecimentos	I
Dedicatória	II
Declaração de honra	III
Lista de abreviaturas	IV
Resumo	V
1.0 INTRODUÇÃO	1
1.1 FLUORETOS	4
1.2 Descrição da ecologia das espécies em estudo	6
1.3 Justificação do estudo	7
1.4 Objectivos	8
1.5 Área de estudo	8
2.0 Material e Métodos	8
2.1 Material	8
2.2 Métodos	9
3.0 Análise de dados	11
3.1 Razão da área foliar	11
3.2 Taxa de crescimento relativo	11
3.3 Taxa de assimilação aparente	11
3.4 Razão do peso seco das folhas	11
3.5 Razão do peso seco das raízes	12
3.6 Área específica foliar	12
3.7 Matéria seca	12
3.8 Índice de tolerância	12
4.0 Análise estatística de dados	12
5.0 Resultados	12
5.1 Peso seco total das plantas	13
5.2 Peso seco da raiz	14
5.3 Peso seco do caule	15
5.4 Peso seco da folha	16
5.5 Área foliar	17
5.6 Razão da área foliar	19
5.7 Área específica da folha	20
5.8 Razão do peso seco da folha	21
5.9 Razão do peso seco do caule	22
5.10 Razão do peso seco da raiz	23
5.11 Matéria seca	24
5.12 Taxa de assimilação aparente	26
5.13 Taxa de crescimento relativo	27
5.14 Concentração de clorofila	28
5.15 Índice de tolerância	30
6.0 Discussão	32
6.1 Desenvolvimento fenológico	32

	das espécies em estudo	
6.2	Avaliação do uso da soja e do trigo como fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos	34
6.3	Peso seco da raiz e razão do peso seco da raiz	35
6.4	Peso seco do caule e razão do peso seco do caule	36
6.5	Peso seco da folha, área foliar, razão da área foliar, área específica da folha e razão do peso seco da folha	37
6.6	Taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação aparente e matéria seca	40
6.7	Concentração de clorofila	43
7.0	Conclusão	46
8.0	Recomendações	47
9.0	Limitações	47
10	Bibliografia	48

Agradecimentos

- ✓ A minha sincera gratidão vai para meu supervisor Prof. Dr. Orlando Quilambo , por toda a ajuda prestada, críticas construtivas, apoio encorajante e incansável na transmissão dos seus conhecimentos ao longo deste trabalho.
- ✓ Ao dr. Mizeque Mafambissa pelo seu apoio encorajante e explicação prestada na utilização do pacote estatístico para análise de dados, o meu muito obrigado.
- ✓ A dr^a. Célia Martins pelo fornecimento das sementes de trigo, o meu muito obrigado.
- ✓ Ao Abel pelo fornecimento das sementes de soja, o meu muito obrigado.
- ✓ Ao Dário Napoleão Nhanombe, meu grande amigo e namorado, que já não está entre nós pela força, apoio que sempre deu-me, o meu muito obrigado.
- ✓ Aos meus grandes amigos Armandinho e Afonsinho que já não estão entre nós, pela força que sempre me deram, o meu muito obrigado.
- ✓ Aos meus pais Laurinda e José e minhas irmãs Rezia, Kecy e Karia, por tudo que sempre fizeram por mim, o meu muito obrigado.
- ✓ Aos meus tios Amélia , Enrico, Jaime e Quitosa, o meu muito obrigado.
- ✓ A todos os meus familiares, o meu muito obrigado.
- ✓ A Ruth Vuma e Elisabeth Napoleão pela força que sempre deram-me, o meu muito obrigado.
- ✓ A todas as minhas colegas de equipe da Graal, ao meu afilhado Yuran e meu treinador Ângelo Lourenço e a toda turma do vôlei, o meu muito obrigado.
- ✓ Ao presidente de equipe da Graal Dr. Orlando da Graça e ao presidente da federação Moçambicana de Voleibol Prof. Dr. Camilo Antão, pelo apoio moral e força dada, o meu muito obrigado.
- ✓ A todos os meus colegas Gido, Yolanda, Lúcia, Camélia, Jossias, Jeremias, Midinha, o meu muito obrigado.
- ✓ A todos os trabalhadores do DCB, em especial ao senhores, Inácio, Rosário, Helena e Massango, o meu muito obrigado.
- ✓ E a todos que directa ou indirectamente contribuíram para que este trabalho se realizasse, o meu muito obrigado.

Dedicatória

Dedico este trabalho a memória inesquecível do meu namorado **Dário
Napoleão Nhanombe**

a minha tia **Amélia Cumbi**

Meus pais **Laurinda e José**

Minhas irmãs **Rezia, Kecy e Karia**

Avaliação do uso do trigo (*Triticum aestivum*) e da soja (*Glycine max*) como
fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura foi fruto do meu trabalho individual, e que os dados colhidos constituem a mais perfeita realidade.

Maputo, Novembro de 2005

Amélia José Cumbi

LISTA DE ABREVIATURAS

MS – Matéria seca

% S – Percentagem de sintomas

AF – Área Foliar

RAF- Razão da área foliar

TCR – Taxa de crescimento relativo

TAA – Taxa de assimilação aparente

RPF – Razão do peso seco das folhas

RPR – Razão do peso seco das raízes

Pb – Chumbo

Cu – Cobre

Co – Cobalto

Ni – Níquel

Zn – Zinco

Cd – Cádmió

Se – Selénio

Resumo

A soja (*Glycine max*) é utilizada para vários fins, porém, a sua importância reside no facto de seus grãos proporcionarem grandes volumes de farelo para a ração animal e de óleo para a alimentação humana. O trigo (*Triticum aestivum*) por seu lado fornece a mais nutritiva das farinhas panificáveis, sendo elevado o seu teor em proteínas. As plantas de trigo e soja são chamadas hiperacumuladoras, pois têm a capacidade de absorção dos fluoretos pelas raízes, os quais são nelas armazenadas ou são transportados e acumulados nas partes aéreas. As plantas de soja e de trigo foram submetidas a um tratamento com 40mg e 80mg de fluoreto de sódio dissolvido em um litro de água e a um controle que continha somente água. O poluente foi usado no primeiro dia logo que as plantas foram postas a germinar nos vasos, na estufa do Departamento de Ciências Biológicas, nos meses de Maio a Julho de 2004. Diariamente foram regadas somente com água até ao final do estudo, com o objectivo de avaliar o crescimento destas duas culturas na ausência e presença de fluoretos. Mensalmente e num período de três meses foram colhidas 24 plantas, 8 para cada tratamento, das quais metade era usada para extrair clorofila e a outra metade era utilizada para a medição de diferentes parâmetros de crescimento. Os principais sintomas observados foram clorose e necrose nas folhas, o que levou a redução da concentração de clorofila.

Este facto pode ter provavelmente, influenciado no crescimento, pois este reduziu bastante nos dois últimos meses do estudo.

O fluoreto não influenciou o crescimento em altura das plantas em estudo, enquanto que a taxa de crescimento relativo e a concentração das clorofilas foram os parâmetros mais afectados.

O trigo desenvolveu-se melhor no tratamento 80mg/l e menos nos 40mg/l, enquanto que a soja teve maior crescimento no controle e menor nos 80mg/l.

Recomenda-se que se efectue um estudo similar com diferentes culturas e o plantio destas em áreas próximas a indústrias e fábricas que emitem fluoretos, pois parecem possuir a capacidade de absorver fluoretos do solo.

1 INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas contaminadas, por actividades humanas, pode ser feita através de vários métodos, tais como escavação, incineração, extracção com solvente e oxidoredução (Glass, 1998). Estes métodos são bastante dispendiosos, além de a matéria contaminada ser deslocada para o local de tratamento, criando riscos de contaminação secundária (Glass, 1998). Assim, em anos recentes, passou-se a dar preferência a métodos *in situ* que perturbem menos o ambiente e sejam mais económicos. Neste contexto, surge a biotecnologia oferecendo como alternativa a fitorremediação (Glass, 1998).

Outros métodos, tais como lavar o solo, podem ter um efeito adverso sobre a actividade biológica, estrutura do solo e fertilidade, para além de que, alguns até podem requerer engenharia onerosa (Baker *et al.*, 1991 e Baker *et al.*, 1994). Assim, a fitorremediação é atractiva pois oferece a restauração do local, descontaminação parcial, manutenção da actividade biológica e estrutura física dos solos, e é potencialmente barata, opticamente discreta e existe a possibilidade da biorrecuperação dos metais (Baker *et al.*, 1991 e Baker *et al.*, 1994).

Por exemplo, a imobilização ou extracção por técnicas físico-químicas, pode ser cara, mas é geralmente apropriada em pequenas áreas onde é requerida uma rápida e completa descontaminação (Martin e Bardos, 1996).

Apesar das vantagens acima indicadas, a fitorremediação possui as suas limitações, pois é um processo que consome muito tempo, e que pode levar várias épocas de crescimento para descontaminar um local (Schnoor, 1997). Por outro lado, plantas que absorvem metais pesados ou químicos persistentes podem constituir um risco para a vida selvagem e contaminar a cadeia alimentar (Schnoor, 1997). Além disso, as substâncias intermediárias formadas a partir destes compostos orgânicos e inorgânicos podem ser citotóxicos para as plantas e animais incluindo homem (Schnoor, 1997). Assim, análises na variação da biomassa e o destino metabólico dos poluentes nas plantas são a chave para promover a aplicabilidade da fitorremediação (Schnoor, 1997).

Altas concentrações de materiais perigosos (metais pesados, elementos radioactivos), podem ser igualmente tóxicos para as plantas. A toxicidade e a bio-utilidade dos produtos da biodegradação nem sempre são conhecidos. Os produtos podem ser mobilizados para águas subterrâneas ou bioacumularem-se nos animais (USAEC, 1997).

A fitorremediação é um método que emprega apenas o uso de plantas, ou conjuntamente com os seus microorganismos associados, para estabilizar ambientes contaminados, no solo, água e no ar (Cunningham *et al.*, 1995 e Cunningham e Ow, 1996).

Existem seis grupos principais de fitorremediação que são:

- Fitoextração ou Fitoacumulação – envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas (McGrath, 1998). É aplicada principalmente para metais pesados (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb) podendo ser usada também para outros compostos inorgânicos (Se) e compostos orgânicos (McGrath, 1998). Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que têm a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal). As espécies de *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii* e *Thlaspi caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu/Co, Ni e Zn respectivamente (McGrath, 1998).
- Fitodegradação – os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas. Entre essas enzimas destacam-se as nitroreduases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas); *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem tais sistemas enzimáticos (Cunningham *et al.*, 1995).
- Rizofiltração – é uma técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioativos, através do seu sistema radicular (Glass, 1998). As plantas são mantidas num reactor, sistema hidropônico, através do qual os efluentes passam e são absorvidos pelas raízes, que concentram os contaminantes. Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos) são as mais satisfatórias, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para esta tecnologia (Glass, 1998).
- Fitoestabilização – os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados na lignina da parede vegetal ou no húmus do solo e os metais são precipitados sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz do solo. O objectivo é evitar a mobilização do contaminante e limitar sua difusão no solo, através de uma cobertura

vegetal (Cunningham *et al.*, 1995). Exemplos de plantas cultivadas com este fim são as espécies de *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum* (Cunningham *et al.*, 1995).

- Fitovolatilização - alguns iões de elementos dos subgrupos II, V e VI da Tabela periódica, mais especificamente, mercúrio, selênio e arsênio, são absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois libertados na atmosfera, (Brooks, 1998) esta técnica pode ser também empregue para compostos orgânicos.
- Evapotranspiração - as plantas através da evaporação de água na superfície das folhas e vaporização de água nos estomas libertam poluentes para o ar. O processo de evapotranspiração é usado no controle hidráulico de água na superfície (Viessman *et al.*, 1989).

A fitorremediação oferece várias vantagens e desvantagens que devem ser levadas em conta quando da aplicação desta tecnologia. Se o baixo custo é uma vantagem, o tempo para que se observem os resultados pode ser longo (Cunningham *et al.*, 1995).

A natureza do solo (pH, salinidade, textura), o clima, o tipo e a concentração dos poluentes, que devem estar dentro do limite de tolerância da planta, são outros factores que precisam ser levados em conta na escolha desta tecnologia (Glass, 1998). A eficiência na remoção do poluente depende da sua solubilidade, pois uma substância altamente solúvel pode se afastar para longe da zona radicular ao contrário de uma menos solúvel (Glass, 1998).

O sucesso da fitorremediação, em geral depende de vários factores:

Primeiro, as plantas devem produzir biomassa suficiente enquanto acumulam altas concentrações de metais pesados; em alguns casos, o aumento da biomassa diminui a concentração total do metal nos tecidos da planta, mas permite obter, uma quantidade global maior do metal acumulado (Kumar *et al.*, 1995).

Segundo, as plantas acumuladoras de metais precisam de reagir às práticas agrícolas, o que permite plantações repetidas e colheitas dos tecidos ricos em metais (Kumar *et al.*, 1995). Nesta situação, é preferível ter os metais acumulados nos rebentos do que nas raízes, pois os rebentos podem ser cortados da planta e removidos, o que é manejável em pequena escala, mas não é prático em larga escala (Kumar *et al.*, 1995). Se o metal está concentrado na raiz precisa de ser removida a planta inteira. Por outro lado, a necessidade da remoção da planta inteira não só

aumenta os custos da fitorremediação, como também precisa de um trabalho adicional e de grandes plantações (Kumar *et al.*, 1995).

1.1 FLUORETOS

Os fluoretos são definidos como compostos ou sais de fluorina e outros elementos. Exemplos de fluoretos incluem fluoreto de sódio e fluoreto de cálcio. Ambos são sólidos brancos. O fluoreto de sódio dissolve-se prontamente em água, mas o fluoreto de cálcio não. O fluoreto de sódio é adicionado como suplemento em água para o consumo humano e em vários produtos dentais incluindo pastas dentífricas, para prevenir a cárie (ATSDR, 2001).

Os fluoretos ocorrem naturalmente na crosta terrestre onde são encontrados em rochas, carvão, argila e no solo. Eles são libertados para o ar em áreas com muito vento. O fluoreto de hidrogénio é libertado para o ar a partir de substâncias (carvão, minerais e argilas quando são aquecidos a altas temperaturas) contendo flúor. A maior fonte natural de flúor são as erupções vulcânicas (ATSDR, 2001).

O flúor é amplamente conhecido como poluidor do meio ambiente e as fontes são diversas, desde fábricas de aço, cerâmica, lubrificantes, tintas, plásticos, pesticidas (para formigas e baratas), redução de alumínio, fertilizantes fosfatados, vidro, blocos, mosaico, esmalte, etc. (ATSDR, 2001).

A poluição por flúor nas proximidades dessas fábricas, tem sido intensamente estudada nos diferentes meios como: ar, águas, plantas e solos, no mundo inteiro. A maioria dessas contribuições aborda os efeitos das emissões industriais sobre o desenvolvimento das plantas terrestres através do biomonitoramento da qualidade do ar (ATSDR, 2001).

Quando depositados no solo, os fluoretos são fortemente retidos, formando uma associação muito forte com os componentes do solo. A lavagem apenas remove uma pequena quantidade de fluoreto do solo. O fluoreto pode ser absorvido do solo e acumulado nas plantas, ou pode ser depositado nas partes aéreas das plantas como poeira (ATSDR, 2001).

A quantidade de fluoreto absorvido pelas plantas depende do tipo de planta, da natureza do solo e da quantidade da forma de flúor no solo. As plantas de chá são conhecidas como acumuladoras

de fluoreto nas suas folhas. Os animais que se alimentam das plantas que contém flúor, podem acumular fluoretos (ATSDR, 2001).

A concentração de fluoretos nos solos varia normalmente entre 200 a 300 ppm., contudo, os níveis podem ser mais elevados em áreas contendo depósitos do mineral (ATSDR, 2001). Níveis elevados podem também ocorrer onde são utilizados fertilizantes fosfatados, onde é produzido o carvão, onde estão localizadas as indústrias que libertam fluoretos ou em locais com lixo perigoso (tóxico) (ATSDR, 2001). Plantas que crescem em solos ácidos tem maiores concentrações de fluoretos. A concentração de fluoretos no solo aumenta com a profundidade (ATSDR, 2001).

Os fluoretos são extremamente fitotóxicos, mostrando geralmente efeitos nas plantas a concentrações inferiores a 1ppb (uma parte por bilião) e podem ter impactos negativos próximo ao de uma fonte de poluentes como fábricas de cerâmica, redução de alumínio, etc. (Reddy *et al.*, 1993).

Os fluoretos estão presentes em pequenas quantidades com uma variação periódica em todos os solos, água, plantas e animais e é também um constituinte da dieta humana. Muitos medicamentos contêm fluoretos, usados para o tratamento de diversas doenças de pele e cânceros (Reddy *et al.*, 1993).

Os fluoretos são benéficos quando presentes em concentrações ótimas (0.8-10 mg/L). As emissões industriais de fluoretos são perigosas para os trabalhadores, especialmente aqueles que trabalham na mineração de creolite, "fluorspar" e na produção de fluoreto de hidrogénio (Reddy *et al.*, 1993).

Um ser humano adulto possui cerca de 1.4 mg de fluoretos, a maior parte do qual se encontra nos ossos e dentes. Pequenas quantidades de fluoretos ajudam a prevenir a cárie, mas níveis elevados podem ser prejudiciais á saúde. Em adultos, a elevada e longa exposição às emissões industriais pode levar a uma fluorose, problemas de coração, pulmões e até pode conduzir à morte. Os alimentos, água e o ar são os três principais veículos de exposição ao fluoreto em seres humanos (Sharma and Rao, 1997).

1.2 Descrição da ecologia das espécies em estudo:

➤ Soja - (*Glycine max*)

O uso da soja como alimento humano remonta á séculos e está directamente ligado à cultura chinesa, pois o seu cultivo foi tão importante na China antiga a ponto de se tornar a base da alimentação de seu povo (Munn *et al.*, 1998). Referências sobre essa planta foram encontradas por Li-Yu-Ying e Grandvoinette numa obra médica escrita por She-non, no ano 3.000 A.C. (Munn *et al.*, 1998). Os grãos da soja são utilizados para muitos fins, porém, a maior importância da soja se prende aos grandes volumes de farelo que proporciona para as rações animais e de óleo para a alimentação humana (Munn *et al.*, 1998).

A soja é uma planta dicotiledônea, da sub-família *Papilionoideae* e pertencente ao género *Glycine*. A espécie cultivada é a *Glycine max* (Munn *et al.*, 1998). A soja é uma planta que varia de 60cm a 1,5m de altura, herbácea, anual, erecta, com pêlos brancos (Munn *et al.*, 1998). O seu sistema radicular consiste de uma raiz principal pivotante, com ramificações ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (Munn *et al.*, 1998). As folhas são alternadas, de pecíolos longos e composta de três folíolos grandes, geralmente ovais. As flores são axilares ou terminais, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a variedade (Munn *et al.*, 1998). Os frutos, do tipo vagem, são achatados, curtos, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta, e encerram de duas a cinco sementes. Estas são, geralmente, elípticas e achatadas, de cor amarela, verde ou preta nas variedades cultivadas (Munn *et al.*, 1998).

As condições óptimas de temperatura para o cultivo da soja variam entre 20 a 30°C (ideal para o desenvolvimento). Para que a germinação e emergência possam ocorrer da forma esperada, a temperatura do solo deve estar acima de 20°C. Não se desenvolve a temperaturas abaixo de 10°C, e acima dos 40°C poderá diminuir o potencial de rendimento, principalmente quando há escassez de água (Munn *et al.*, 1993).

➤ Trigo (*Triticum aestivum*)

Acredita-se que o trigo, como é conhecido hoje, seja originário de gramíneas silvestres, que se desenvolveram nas proximidades dos Rios Tigre e Eufrates (Ásia), por volta dos anos 10.000 a 15.000 A.C. (Munn *et al.*, 1998).

O trigo fornece a mais nutritiva das farinhas panificáveis, sendo elevado o seu teor em proteínas. É uma planta do género *Triticum*, monocotiledónea, da família das gramíneas (Munn *et al.*, 1998).

A planta pode atingir 0,5 a 1,5m de altura, tem raízes fasciculadas, caule oco e recto (colmo), 6 a 9 folhas estreitas e compridas, flores, em grupos de 3 a 5. Elas formam espiguetas que se agrupam em número de 15 a 20, formando as espigas. O fruto é uma cariopse, é seco, pequeno, chamado grão e conclui o desenvolvimento 30 dias após a fecundação da flor (Munn *et al.*, 1998).

A espécie de trigo mais cultivada é *Triticum aestivum* e a sua época de plantio varia muito com a região de plantio, a temperatura média, a humidade, e as condições do solo. Se a região onde vai ser plantada for um local com humidade superior a 75%, não se aconselha o plantio pois a região é inapta para efeito. A temperatura não pode ser alta (acima de 26-27°C) e o frio é suportável (e até preferível) somente no começo do plantio (Munn *et al.*, 1998).

1.3 Justificação do estudo

A fitorremediação, representa uma grande oportunidade económica, por causa, dos diversos e da extensão dos problemas ambientais, associados aos solos contaminados com metais, poluentes orgânicos e inorgânicos, para além da vantagem oferecida pela tecnologia que tem como base o uso das plantas.

O presente estudo pretende demonstrar a aplicação da fitorremediação como uma tecnologia para limpar solos contaminados com poluentes inorgânicos, especificamente os fluoretos. É uma tecnologia nova que poderá vir a ser aplicada, no nosso país na descontaminação de solos usados para fins agrícolas, das águas e do ar.

1.4 Objectivos

➤ Objectivo geral

- Avaliar o uso do trigo (*Triticum aestivum*) e da soja (*Glycine max*) como fitoremediadores em solos contaminados com fluoretos.

➤ Objectivos específicos

- Analisar os efeitos do fluoretos no crescimento do trigo (*Triticum aestivum*) e da soja (*Glycine max*)

- Comparar o crescimento do trigo cultivado em solo com fluoretos e em solo sem fluoretos.

- Comparar o crescimento da soja cultivada em solo com fluoretos e em solo sem fluoretos.

1.5 Área de estudo

O estudo foi efectuado nos viveiros da estufa e no laboratório de Fisiologia Vegetal ambos pertencentes ao Departamento de Ciências Biológicas (DCB).

2. Material e Métodos

2.1 Material

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| ➤ 200 vasos | ➤ Scrubbing tube |
| ➤ 2 caixas de Petri | ➤ Areia grossa e areia de quartzo |
| ➤ 4 balões | ➤ Espectrofotómetro |
| ➤ Água destilada | ➤ Fluoreto de sódio |
| ➤ Papel de filtro | ➤ Sementes de soja e de trigo |
| ➤ Balança eléctrica | ➤ Fluoreto de sódio |
| ➤ 1 almofariz | ➤ Medidor de área foliar |
| ➤ Balão de separação | ➤ Acetona e éter |

2.2 Métodos

Sementes de duas plantas, trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*), foram embebidas em água durante 4 horas e de seguida postas a germinar à temperatura ambiente. Foram usados no total 200 vasos (100 vasos para cada espécie), contendo cada um deles apenas uma semente, areia grossa e com um recipiente na base para evitar a perda do líquido.

Dissolveu-se 40mg e 80mg de fluoreto de sódio em 1 litro de água. Dividiu-se os 100 vasos de cada espécie em três grupos: o primeiro grupo de 50 vasos serviu de controle e estes vasos continham apenas areia grossa e livre de fluoretos; no segundo grupo de 25 vasos misturou-se a areia com 40ml de uma solução de 40mg/l de fluoreto de sódio; e no terceiro grupo de 25 vasos misturou-se a areia com 40ml de uma solução de 80mg/l de fluoreto de sódio. As sementes foram postas a germinar em todos os vasos ao mesmo tempo.

Os vasos foram regados todos os dias com água da torneira. A amostra consistia em oito vasos, contendo cada um deles uma planta para cada tratamento, o que totalizava 24 plantas por colheita analisadas incluindo o controle.

As plantas testadas foram colhidas depois de 30, 60, 90 dias depois da sementeira, foram lavadas durante 10 minutos com água destilada e de seguida foram separadas em raiz, caule e folhas para medir os diversos parâmetros de crescimento e a concentração de clorofila.

Medição dos parâmetros de crescimento:

A área foliar foi medida usando o medidor da área foliar (Leaf area meter, modelo LI-COR, Inc, Nebraska USA: LI-3100)

Os pesos frescos e secos totais das plantas, das folhas, dos caules e das raízes, foram obtidos usando uma balança eléctrica, os secos foram obtidos após terem estado na estufa durante 48 horas, a 80°C.

Determinação da clorofila, segundo (Horwitz, 1970)

Lavou-se todos os objectos de vidro com uma solução concentrada de Na_3PO_4 para remover qualquer vestígio de ácido, pois este poderia causar a degradação da clorofila. Seleccionou-se o material e este foi posteriormente cortado em pedaços pequenos.

Colocou-se 1-5g num almofariz, adicionou-se cerca de 0.1g de CaCO_3 ou Na_2CO_3 . O material foi macerado, adicionando-se areia de quartzo e de seguida moído por pouco tempo. Pouco a pouco adicionou-se acetona, interrompendo-se a moedura somente quando o material estivesse completamente desintegrado.

Filtrou-se o material com a ajuda de papel de filtro e lavou-se o resíduo com acetona, e quando necessário com éter para remover o pigmento remanescente. Transferiu-se o filtrado para um balão volumétrico e acrescentou-se acetona até perfazer o volume do recipiente.

Pipetou-se 25-50ml do filtrado para um balão de separação contendo cerca de 50ml de éter, preso num suporte universal e adicionou-se água cuidadosamente até que fosse aparente que todos os pigmentos solúveis em lípidos estivessem na camada de éter, de seguida removeu-se a camada de água. Colocou-se cerca de 100ml de água num balão de separação em baixo do primeiro. Fixou-se o "Scrubbing tube" no primeiro balão de separação e cuidadosamente facilitou-se a passagem da solução de éter para o segundo balão de separação. Este processo foi repetido 5-10 vezes, até que toda a acetona fosse removida (lavagem do éter).

Medições espectrofotométricas (Horwitz, 1970)

Encheu-se duas células do espectrofotómetro com éter usando uma pipeta, limpam-se as paredes com algodão embebido em álcool e depois com algodão seco. As células foram colocadas no aparelho, afim de se obter o mesmo valor. Se os valores fossem diferentes, limpava-se as células novamente. Este procedimento foi efectuado diariamente.

Efectuaram-se medições I_0 e I a 660.0nm e 642.5nm.

Clorofila total (mg/l) = $7.12 \log_{10} I_0/I$ (a 660nm) + $16.8 \log_{10} I_0/I$ (a 642.5nm)

I_0 - intensidade de luz transmitida pelo solvente

I - intensidade de luz transmitida pela solução

3. Análise dos resultados

3.1 Razão da área foliar (RAF)

Foi calculada através da razão entre A/P da planta. (Fitter e Hay, 1981), onde:

A é a área da folha em cm;

P peso seco da planta em g.

3.2 Taxa de crescimento relativo (TCR).

$$\text{TCR} = \text{TAA} * \text{RAF}$$

Onde:

TAA- taxa de assimilação aparente (taxa de aumento da massa por unidade de área foliar);

RAF- razão da área foliar (a razão da área da folha pela massa total da planta)

3.3 Taxa de assimilação aparente (TAA)

Foi calculada através da seguinte fórmula (Fitter e Hay, 1981 e Catski e Jardis, 1985):

$$\text{TAA} = \Delta P / \Delta t * 1/A \text{ ou } \text{TAA} = \text{TCR} / \text{RAF} \text{ onde:}$$

ΔP é a diferença entre o peso seco final e inicial da planta ou ainda peso seco da segunda e primeira medição, respectivamente.

Δt é a diferença entre o tempo final e inicial da experiência ou ainda entre a primeira e a segunda medição, respectivamente;

A é a área foliar;

TCR é a taxa de crescimento relativo;

RAF é a razão da área foliar.

3.4 Razão do peso seco das folhas (RPF)

Foi calculada através da seguinte fórmula (Fitter e Hay, 1981)

$$\text{RPF} = \text{PSF} / \text{P} \text{ onde:}$$

PSF é o peso seco das folhas da planta;

P é o peso seco da planta;

do mesmo modo foram calculados as razões dos pesos secos do caule (RPC) e da raiz (RPR).

3.5 Razão do peso seco das raízes (RPR)

Foi calculada através da seguinte fórmula (Fitter e Hay, 1981)

$RPR = PSR / PSTP$ onde:

PSR é o peso seco das raízes;

PSTP é o peso seco total da planta.

3.6 Área específica foliar (AEF)..

$AEF = A / P_s$

Onde:

AEF- área específica foliar

A-área da folha

P_s - peso seco da folha

3.7 Matéria seca total das plantas (MS)

Foi calculada através da seguinte fórmula:

matéria seca = (PST / PFT)

onde:

PST e PFT são os pesos secos e frescos totais das plantas, respectivamente.

3.8 Índice de tolerância

Foi calculado através da seguinte fórmula (Wilkins, 1957):

Índice de tolerância (IT) = $\frac{\text{Peso seco da planta com fluoreto}}{\text{Peso seco da planta sem fluoreto}}$

4.0 Análise estatística de dados

A diferença nos parâmetros de crescimento entre os tratamentos foi analisada usando o teste Kruskal Wallis pois a distribuição dos dados não era normal e homogênea, usando o pacote estatístico Statistix versão 2.1 e MSTATC for Windows versão 1.2 University of Michigan USA.

5.0 Resultados

5.1 Peso seco total das plantas

Duma forma geral houve um aumento do peso seco total das plantas ao longo dos 3 meses da experiência. No trigo, não foram encontradas diferenças significativas ao longo de todo o estudo nos tratamentos em relação ao controle (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), no peso seco total da planta (figura 1a).

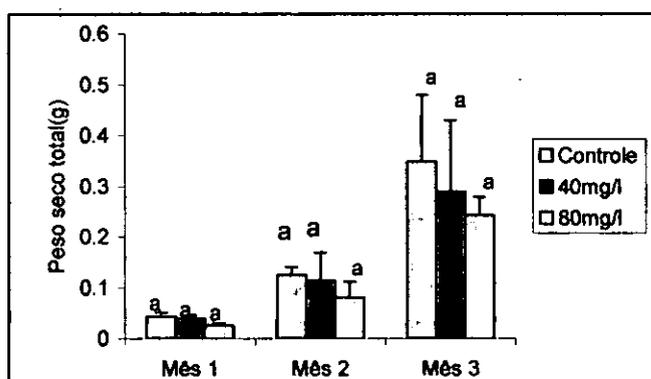


Figura 1a. Efeito do fluoreto no peso seco total das plantas do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O peso seco total registou, menor tendência de aumento nos tratamentos 80 e 40mg/l comparativamente ao controle. O menor peso seco total verificou-se no tratamento 80mg/l.

Na soja não foram encontradas diferenças significativas no primeiro e segundo mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), (figura 1b).

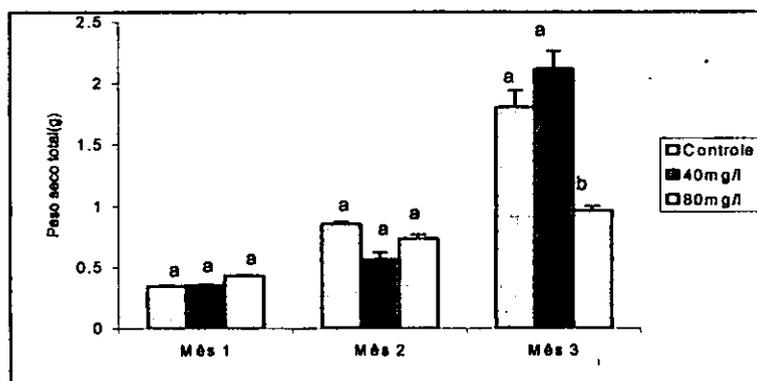


Figura 1b. Efeito do fluoreto no peso seco total das plantas da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra significa que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No terceiro mês, houve diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). O tratamento 80mg/l registou menor peso seco total em relação ao controle e ao tratamento 40mg/l, que registou o maior peso seco.

5.2 Peso seco da raiz

O peso seco da raiz mostrou um aumento contínuo ao longo dos 3 meses do estudo em ambas espécies. No trigo não houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), mas no segundo e no terceiro mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). O tratamento 80mg/l teve o maior peso seco das raízes no terceiro mês (figura 2a).

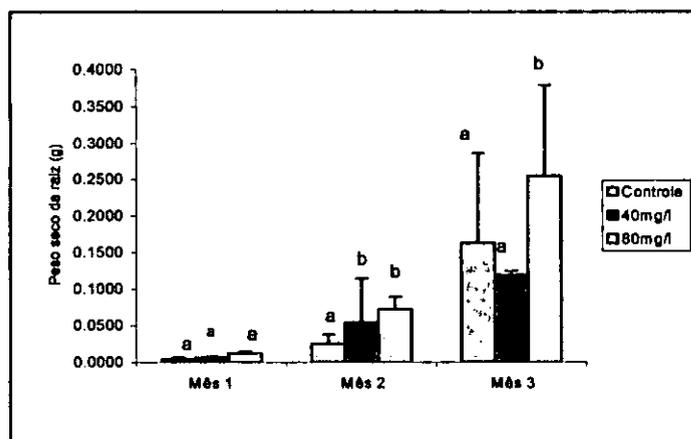


Figura 2a. Efeito do fluoreto no peso seco das raízes do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferença significativa a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Na soja não houve diferenças significativas no primeiro e segundo mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$).

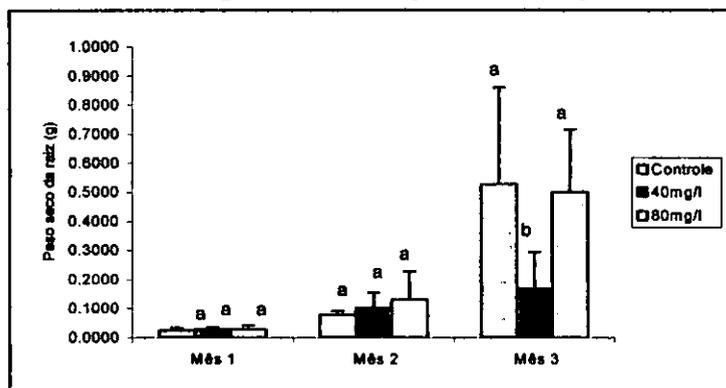


Figura 2b. Efeito do fluoreto no peso seco das raízes da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Contudo, no terceiro mês registaram-se diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$) no tratamento 40mg/l em relação ao 80mg/l e controle (figura 2b). O tratamento 40mg/l teve o menor peso seco da raiz neste mês.

5.3 Peso seco do caule

À semelhança do peso seco da raiz, o peso seco do caule mostrou um aumento progressivo no seu peso ao longo da experiência. No trigo não houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), mas no segundo e terceiro mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 3a).

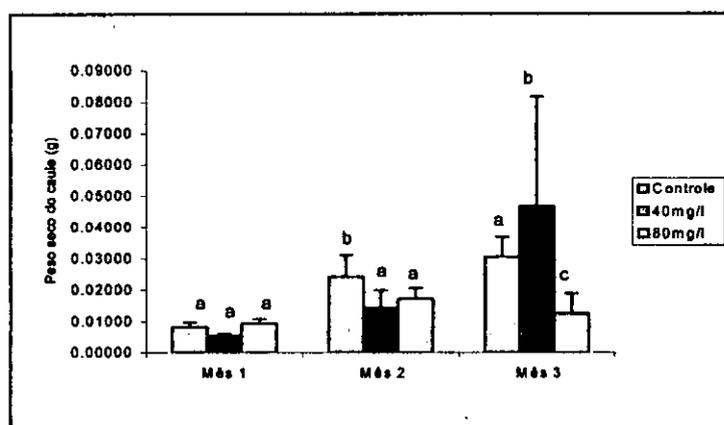


Figura 3a. Efeito do fluoreto no peso seco do caule do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo mês os tratamentos (40 e 80mg/l) tiveram menor peso seco do caule em relação ao controle. No terceiro mês o tratamento 40mg/l registou o maior peso seco do caule e o tratamento 80mg/l o menor peso seco do caule. Comparando com o controle o peso seco do caule foi menor em relação ao tratamento 40mg/l e muito maior em relação ao tratamento 80mg/l. (figura 3a).

Na soja não foram encontradas diferenças significativas no primeiro e segundo mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), tendo apenas o terceiro mês registado diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$) no tratamento 40mg/l em relação a 80mg/l e ao controle (figura 3b).

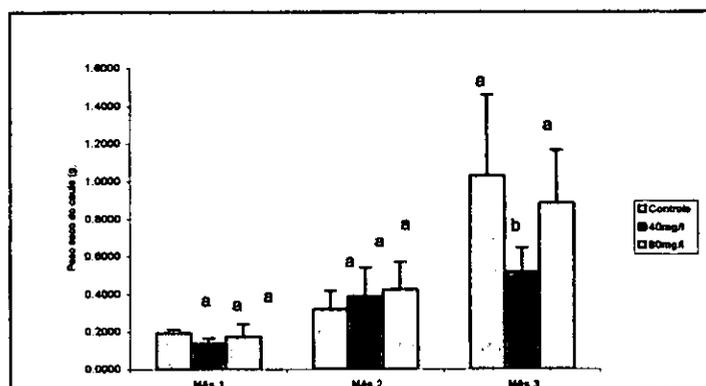


Figura 3b. Efeito do fluoreto no peso seco do caule da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo mês o peso seco do caule teve tendência de maior aumento no tratamento 80mg/l, no terceiro mês os tratamentos mostraram menor peso seco do caule em relação ao controle que registou o maior peso seco do caule em relação ao tratamento 40mg/l.

5.4 Peso seco da folha

Um aumento contínuo foi observado, também no peso seco das folhas de ambas espécies em estudo, ao longo dos 3 meses. No trigo houve diferenças significativas apenas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P < 0.05$) (figura 4a).

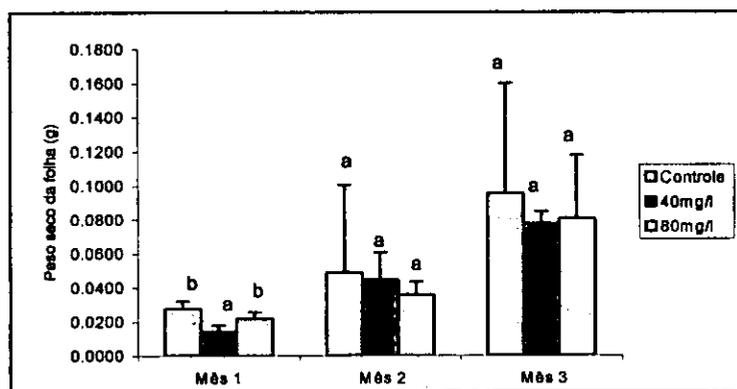


Figura 4a. Efeito do fluoreto no peso seco das folhas do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferença a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O tratamento 80mg/l e o controle registaram um aumento do peso seco das folhas maior do que o tratamento 40mg/l, no primeiro mês. No segundo e terceiro mês o peso seco das folhas, no controle, registou maior tendência de aumento em relação aos tratamentos 40mg/l e 80mg/l.

Na soja houve diferenças significativas nos três meses (Kruskal Wallis, $P < 0.05$).

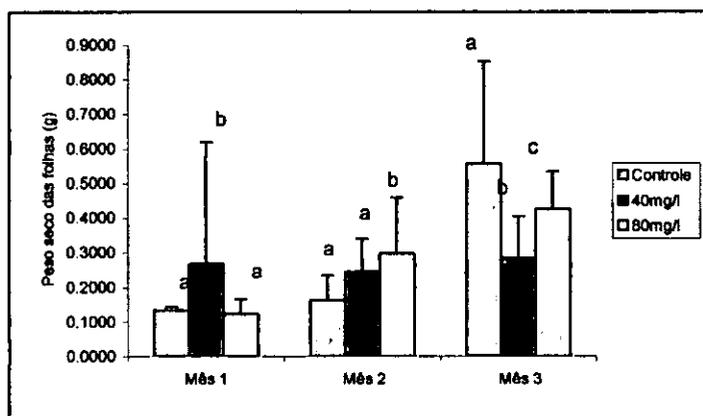


Figura 4b. Efeito do fluoreto no peso seco das folhas da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferença a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo mês o maior peso seco das folhas foi no tratamento 80mg/l. No terceiro mês o controle registou o maior peso seco das folhas (figura 4b). No tratamento 40mg/l no primeiro mês verificou-se um maior peso seco das folhas, mas esse peso manteve-se quase estacionário até ao fim do estudo, enquanto que o tratamento 80mg/l foi aumentando até ao fim do estudo.

5.5 Área Foliar

A área foliar nas duas culturas mostrou um aumento do primeiro ao terceiro mês da experiência. No trigo houve diferenças significativas em todos os meses do estudo, (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). As diferenças significativas foram observadas no primeiro mês foi no tratamento 80mg/l em relação ao 40mg/l e ao controle, enquanto que no segundo mês foi no tratamento 40mg/l em relação ao 80mg/l e ao controle e no terceiro mês foi nos tratamentos (40mg/l e 80mg/l) em relação ao controle (figura 5a).

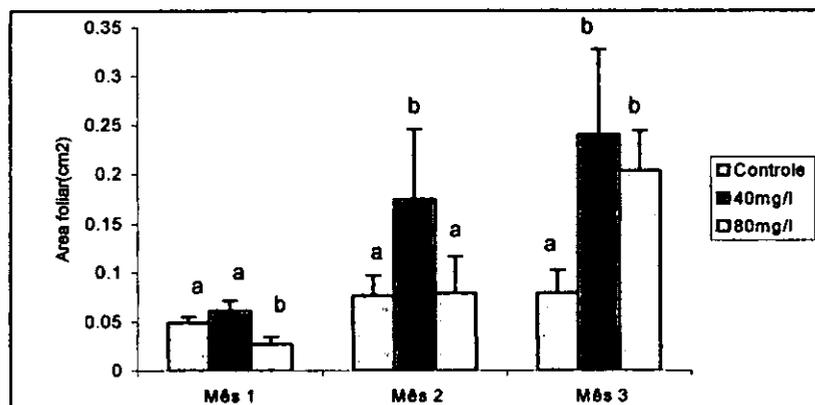


Figura 5a. Efeito do fluoreto na área foliar do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Nos tratamentos 40 e 80mg/l área foliar foi aumentando ao longo de todo o estudo, tendo a maior área foliar se registrado no tratamento 40mg/l.

Na soja não houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), apesar de uma tendência de redução nos tratamentos 40 e 80mg/l em relação ao controle nos dois primeiros meses (figura 5b).

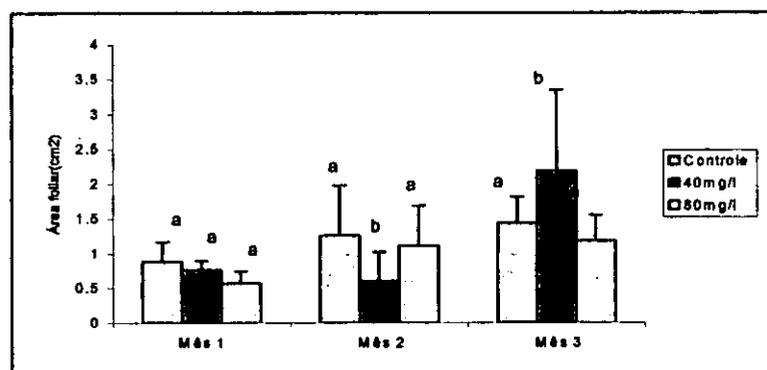


Figura 5b. Efeito do fluoreto na área foliar da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O segundo e terceiro mês, por outro lado, mostraram diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). O tratamento 80mg/l teve maior área foliar em relação ao tratamento 40mg/l no segundo mês, tendo-se verificado o contrário no terceiro mês. O controle, registou uma área foliar similar ao tratamento 80mg/l.

5.6 Razão da área foliar

A razão da área foliar mostrou um decréscimo ao longo dos 3 meses em ambas espécies.

No trigo houve diferenças significativas na razão da área foliar nos três meses do estudo (Kruskal Wallis, $P < 0.05$).

No primeiro e no segundo mês as diferenças foram no tratamento 40mg/l em relação ao 80mg/l e ao controle e no terceiro mês nos tratamentos (40 e 80mg/l) em relação ao controle, (Figura 6a).

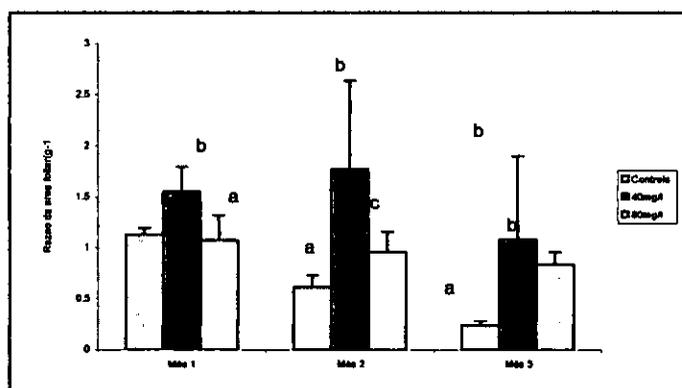


Figura 6a. Efeito do fluoreto na razão da área foliar do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis

No terceiro mês o controle registou a menor área foliar no trigo.

Na soja durante os três meses foram encontradas diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). No primeiro e terceiro mês foi no tratamento 80mg/l em relação ao controle, no segundo mês foi no tratamento 80mg/l e no controle em relação ao tratamento 40mg/l (figura 6b).

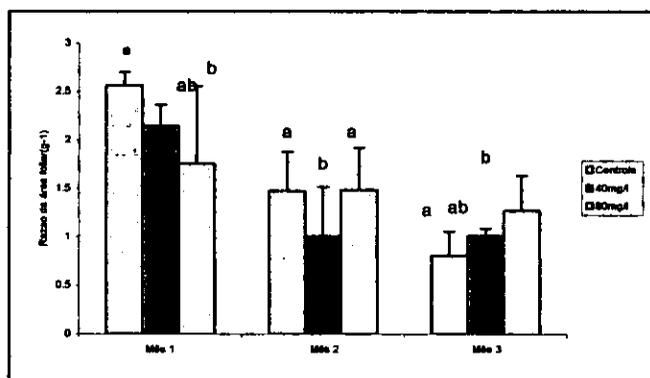


Figura 6b. Efeito do fluoreto na razão da área foliar da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis. ab significa que não há diferenças significativas entre os 40mg/l em relação ao controle e o tratamento 80mg/l.

Comparando os tratamentos com o controle, este registou a maior razão da área foliar no primeiro mês, mas que foi diminuindo até ao fim do estudo.

5.7 Área específica da folha

A área específica mostrou um padrão de ligeiro aumento ao longo dos 3 meses da experiência.

No trigo não houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), mas no segundo e terceiro mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 7a).

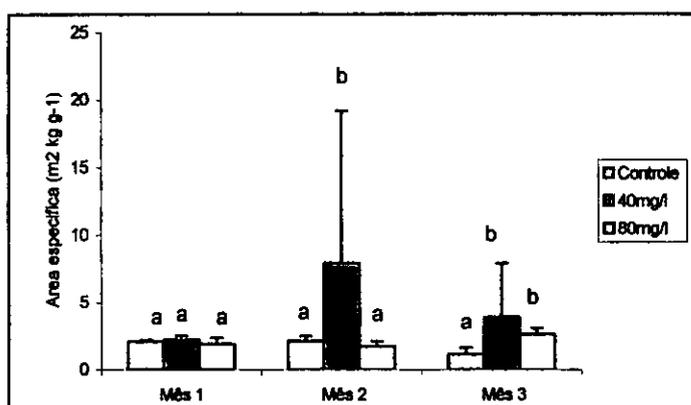


Figura 7a. Efeito do fluoreto na área específica das folhas do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O tratamento 40mg/l registou maior área específica da folha em relação ao 80mg/l e ao controle no segundo mês. No terceiro mês os tratamentos 40 e 80mg/l registaram maior área específica da folha em relação ao controle.

Na soja houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), nos tratamentos 40 e 80mg/l em relação ao controle.

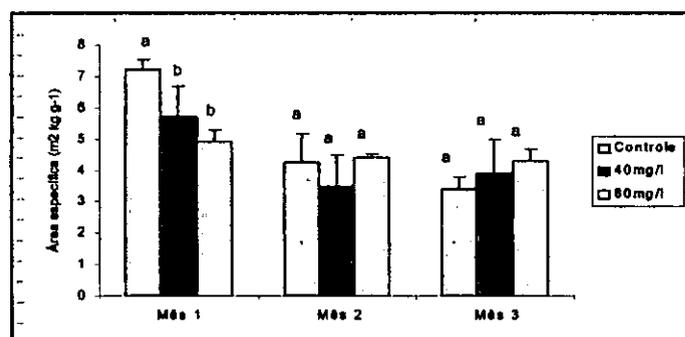


Figura 7b. Efeito do fluoreto na área específica das folhas da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo e terceiro mês não houve diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), como mostra a figura 7b.

5.8 Razão do peso seco da folha

O padrão da razão do peso seco da folha mostrou um ligeiro decréscimo ao longo do tempo em ambas espécies. No trigo não houve diferenças significativas no primeiro e terceiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$).

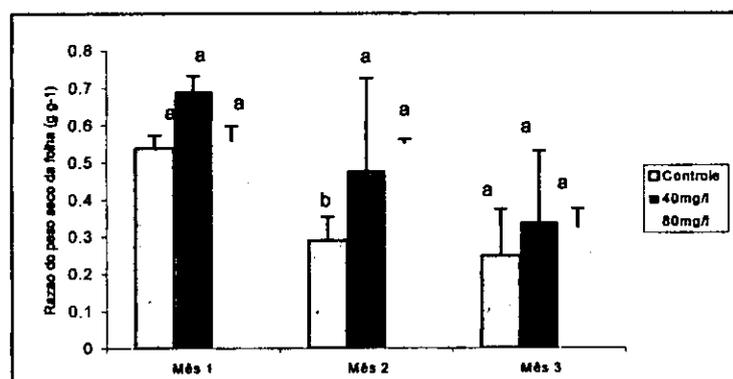


Figura 8a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco da folha do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), nos tratamentos (40mg/l e 80mg/l) em relação ao controle (figura 8a).

Na soja não foram encontradas diferenças significativas nos três meses (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), (figura 8b) da experiência.

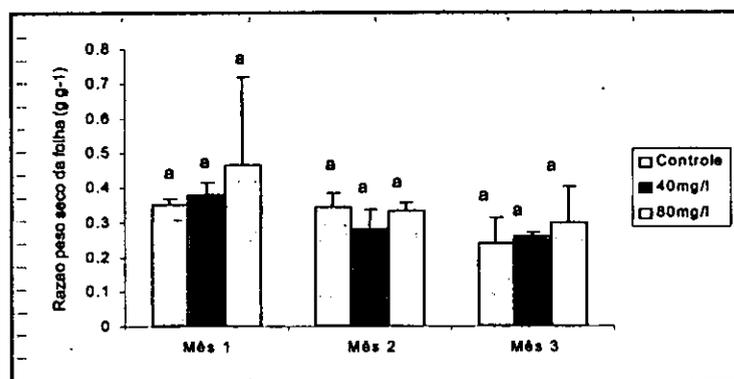


Figura 8b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco da folha da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

A razão do peso seco da folha registou a maior tendência de aumento no tratamento 80mg/l em relação ao tratamento 40mg/l e ao controle.

5.9 Razão do peso seco do caule

O padrão da razão do peso seco da caule, mostrou uma tendência de decréscimo ao longo do tempo. No trigo não foram encontradas diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$). No segundo e terceiro mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 9a).

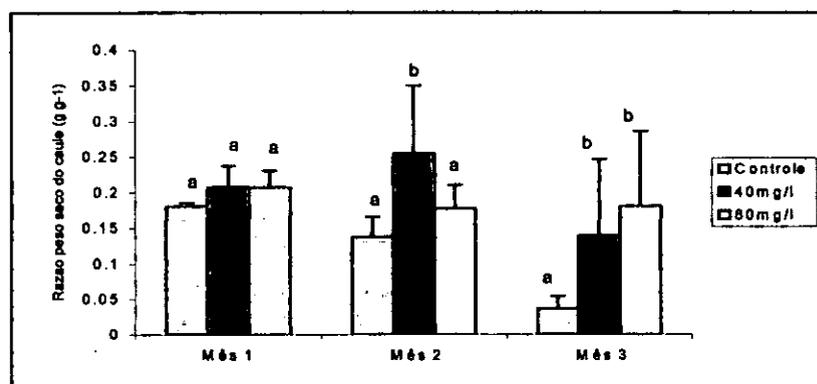


Figura 9a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco do caule do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O tratamento 40mg/l registou no segundo mês a maior razão do peso seco em relação ao tratamento 80mg/l, tendo se verificado o contrário no terceiro mês. Comparando os tratamentos ao controle, este registou a menor razão do peso seco do caule no terceiro mês. Na soja não houve diferenças significativas nos três meses (Kruskal Wallis, $P > 0.05$).

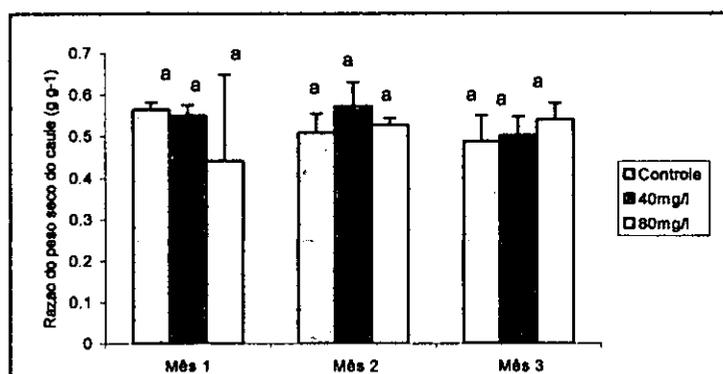


Figura 9b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco do caule da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Como mostra a figura 9b o controle, o tratamento 40mg/l e o tratamento 80mg/l, na razão do peso seco do caule registaram a maior tendência de aumento no primeiro, segundo e terceiro mês, respectivamente.

5.10 Razão do peso seco da raiz

A razão do peso seco da raiz foi aumentando progressivamente ao longo dos 3 meses em ambas espécies. No trigo foram encontradas diferenças significativas nos três meses (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 10a), na razão do peso seco da raiz.

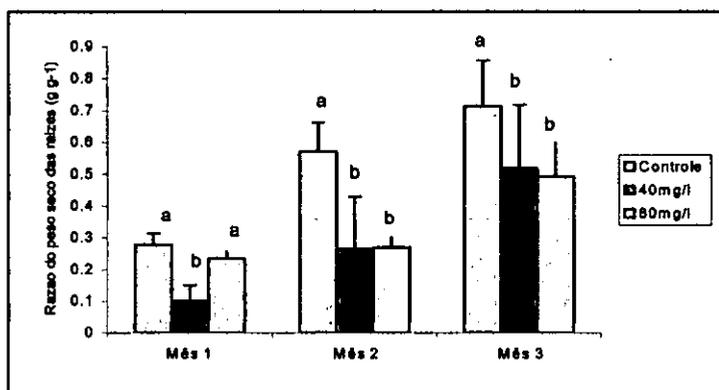


Figura 10a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco das raízes do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No primeiro mês o tratamento 80mg/l e o controle registaram maior razão do peso seco da raiz relação ao 40mg/l. Comparando os tratamentos com o controle este registou no segundo e terceiro mês maior razão do peso seco da raiz.

Na soja não foram encontradas diferenças significativas no primeiro e segundo mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$).

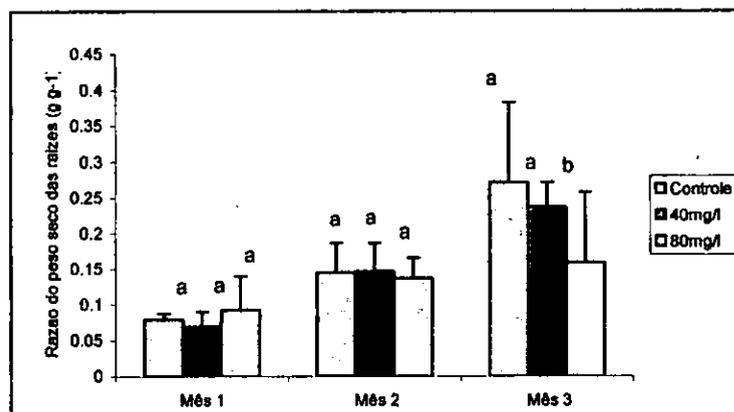


Figura 10b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco das raízes da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Tendo apenas no terceiro mês registado diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 10). O tratamento 80mg/l registou menor razão do peso seco das raízes em relação ao tratamento 40mg/l e ao controle. O tratamento 80mg/l registou a maior tendência no peso seco das raízes no primeiro mês.

5.11 Matéria seca

A matéria seca mostrou uma tendência de variação ao longo do tempo.

No trigo não houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), (figura 11a).

Avaliação do uso do trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*), como fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos

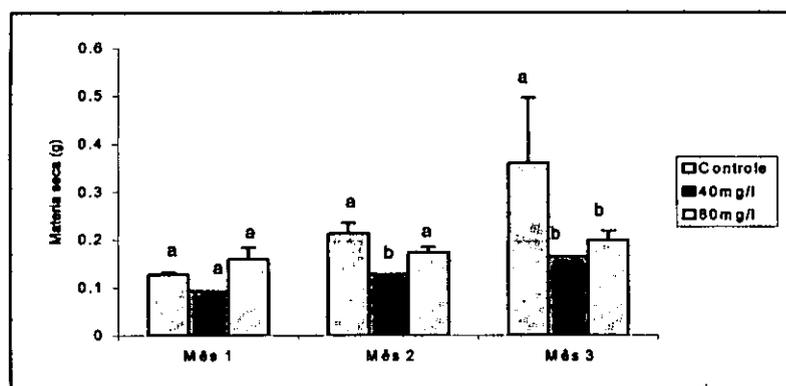


Figura 11a. Efeito do fluoreto na matéria seca do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo e terceiro mês houve diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$). O tratamento 80mg/l registou menor biomassa em relação ao tratamento 40mg/l e ao controle no segundo mês. No terceiro mês o controle registou maior biomassa em relação aos tratamentos 40 e 80mg/l.

Na soja houve diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), mas no segundo e terceiro mês estas não foram significativas (Kruskal Wallis, $P > 0.05$) (figura 11b).

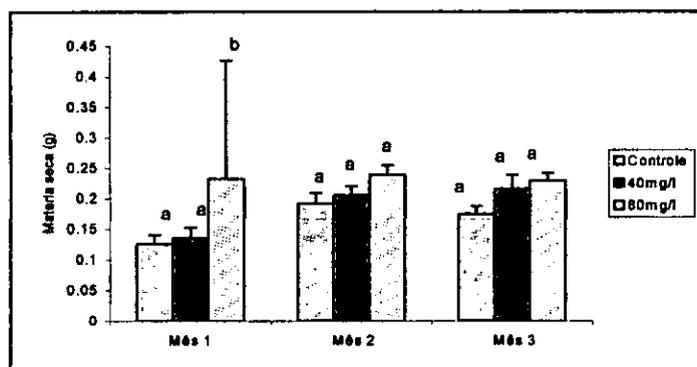


Figura 11b. Efeito do fluoreto na matéria seca da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Para a soja o tratamento 80mg/l registou maior aumento de matéria seca em relação ao tratamento 40mg/l e ao controle no primeiro mês.

5.12 Taxa de assimilação aparente

A taxa de assimilação aparente foi aumentando ao longo do período da experiência nas duas espécies em estudo.

No trigo não foram encontradas diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), enquanto que no segundo e terceiro mês houve diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 12a).

O tratamento 40mg/l registou maior taxa de assimilação aparente em relação ao tratamento 80mg/l e ao controle no segundo mês. O controle registou maior taxa de assimilação aparente somente no terceiro mês e uma taxa de assimilação aparente igual ao tratamento 80mg/l no segundo mês.

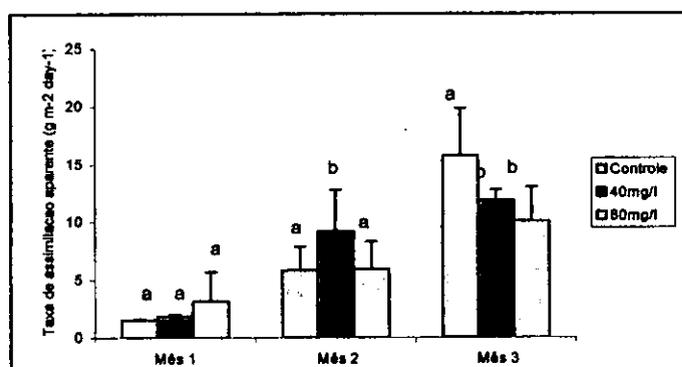


Figura 12a. Efeito do fluoreto na taxa de assimilação aparente do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No segundo mês a maior taxa de assimilação aparente foi no tratamento 40mg/l e no terceiro mês foi no controle.

Na soja não foram encontradas diferenças significativas no primeiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$) enquanto que no segundo e no terceiro mês as diferenças foram significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 12b).

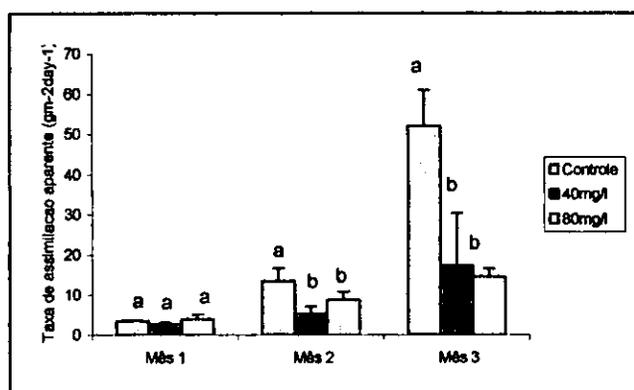


Figura 12b. Efeito do fluoreto na taxa de assimilação aparente da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

A taxa de assimilação aparente registou maior tendência de aumento no tratamento 80mg/l em relação ao tratamento 40mg/l no primeiro e segundo mês. Comparando os tratamentos ao controle, este registou um aumento da taxa de assimilação aparente significativo no Segundo e terceiro mês.

5.13 Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo, mostrou uma redução ao longo da experiência em ambas espécies. No trigo não foram encontradas diferenças significativas ao longo dos três meses (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), (figura 13a).

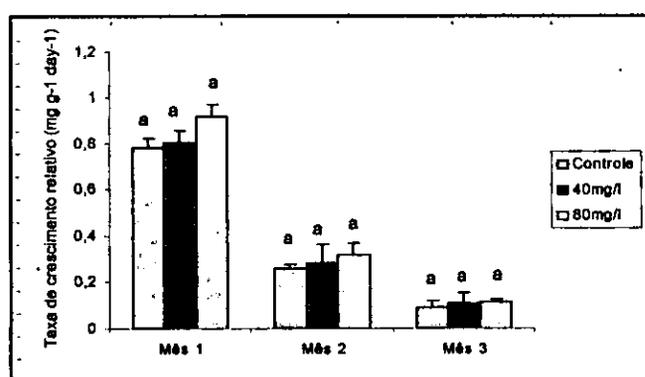


Figura 13a. Efeito do fluoreto na taxa de crescimento relativo do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

A taxa de crescimento relativo foi alta no início e foi diminuindo até ao fim do estudo. (figura 13a).

Na soja, igualmente não houve diferenças significativas nos três meses, apesar da redução taxa de crescimento relativo a partir do 2º mês da experiência (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), (figura 13b).

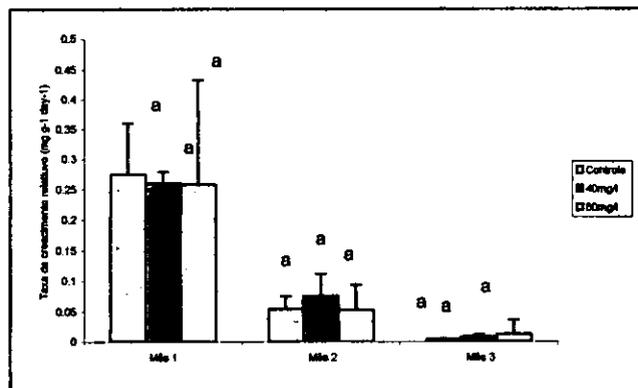


Figura 13b. Efeito do fluoreto na taxa de crescimento relativo da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

Na soja os tratamentos registaram uma taxa de crescimento relativo similar no primeiro e terceiro mês. No segundo mês o tratamento 40mg/l registou maior taxa de crescimento relativo. A taxa de crescimento relativo foi alta no início e foi diminuindo até ao fim do estudo.

5.14 Concentração de clorofila total

A concentração de clorofila total mostrou um decréscimo ao longo dos 3 meses da experiência. No trigo não foram encontradas diferenças significativas no segundo e terceiro mês (Kruskal Wallis, $P > 0.05$), enquanto que no primeiro mês mostrou diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 14a).

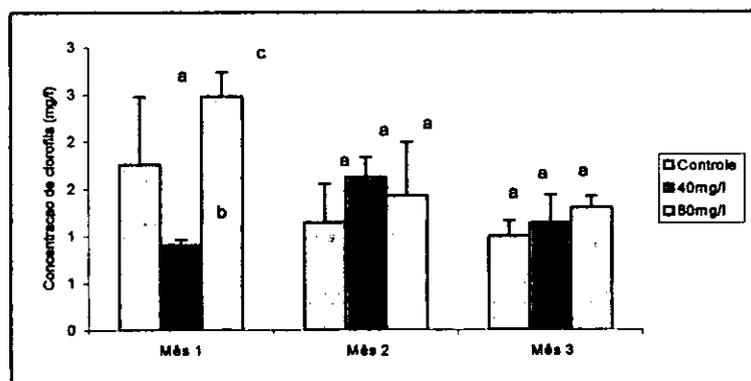


Figura 14a. Efeito do fluoreto na concentração de clorofila total do trigo, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O tratamento 80mg/l registou maior concentração de clorofila em relação ao tratamento 40mg/l e ao controle no primeiro e no terceiro mês do estudo. No segundo mês registou-se o contrário, em que o tratamento 40mg/l um ligeiro aumento de concentração de clorofila. Comparando os tratamentos com o controle, este registou a menor concentração de clorofila no segundo e terceiro mês.

Na soja foram encontradas diferenças significativas nos três meses (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 14b) da experiência.

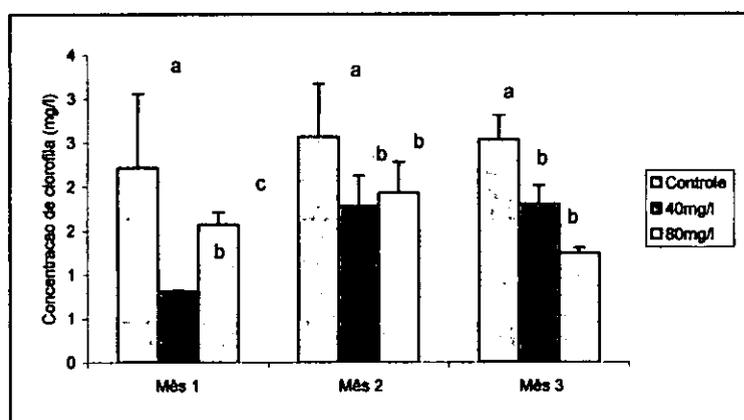


Figura 14b. Efeito do fluoreto na concentração da clorofila total da soja, em diferentes concentrações. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

O tratamento 80mg/l registou a maior concentração de clorofila em relação ao tratamento 40mg/l no primeiro mês do estudo. No terceiro mês o tratamento 40mg/l registou maior concentração de clorofila em relação ao tratamento 80mg/l. Comparando os tratamentos com o controle, este registou a maior concentração de clorofila ao longo de todo o estudo.

5. 15 Índice de tolerância

O índice de tolerância no tratamento 40mg/l, no trigo, decresceu ao longo do estudo. Na soja decresceu no segundo mês e aumentou no terceiro mês. Neste tratamento foram encontradas diferenças significativas nos dois últimos meses do estudo (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 15a).

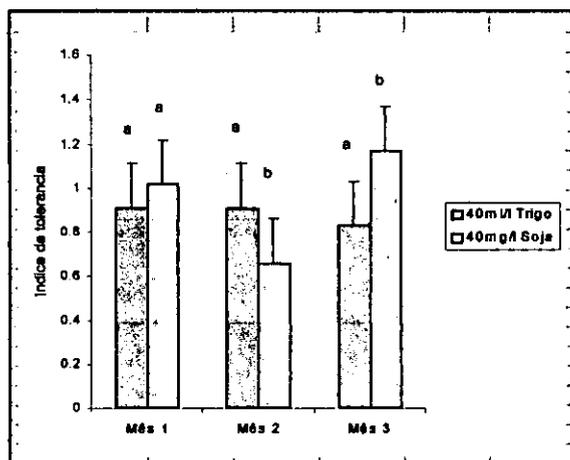


Figura 15a. Efeito do fluoreto no índice de tolerância do trigo e da soja, a 40mg/l. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No primeiro mês não foram encontradas diferenças significativas (Kruskal Wallis, $P > 0.05$). No segundo mês o trigo teve maior índice de tolerância em relação a soja e no terceiro mês verificou-se o contrário. No primeiro mês o trigo registou menor índice de tolerância.

No tratamento 80mg/l a soja, registou o maior índice de tolerância em relação ao trigo. Foram encontradas diferenças significativas nos três meses da experiência (Kruskal Wallis, $P < 0.05$), (figura 15b).

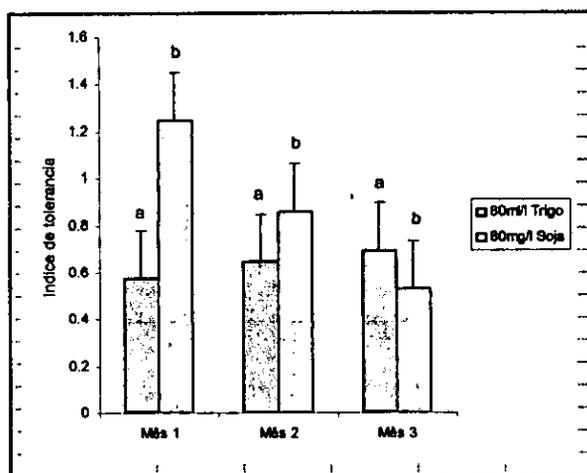


Figura 15b. Efeito do fluoreto no índice de tolerância do trigo e da soja, a 80mg/l. Cada barra representa a média de quatro plantas \pm desvio padrão. No mesmo mês barras com a mesma letra indicam que não há diferenças significativas a $P > 0.05$, Kruskal Wallis.

No primeiro e segundo mês, a soja registou maior índice de tolerância em relação ao trigo. Tendo se registado o contrário no terceiro mês em que o trigo registou o maior índice.

6.0 Discussão

6.1 Desenvolvimento fenológico das espécies em estudo

As espécies de soja e trigo usadas nesta experiência, mostraram diferenças significativas na susceptibilidade ao fluoreto, demonstrado pelo aparecimento de sintomas visíveis após 3 semanas de tratamento em algumas plantas em ambas espécies.

Uma semana após a sementeira três vasos de soja não haviam germinado, enquanto que para o trigo cinco vasos é que não haviam germinado. Este resultado pode ser explicado como sendo consequência do fluoreto ter inibido a germinação ou pela má qualidade das sementes que impediram a germinação. Após um mês as plantas das duas espécies em estudo apresentaram sintomas de toxicidade que incluíram cloroses, necroses, redução no crescimento, que prevaleceram até ao fim da experiência.

No final da experiência, todas as folhas das plantas tratadas com fluoreto apresentaram-se mais amareladas que as do controle.

A presença de um grande número de folhas afectadas pelo fluoreto sugere que as folhas mais novas são mais sensíveis ao fluoreto dissolvido do que as folhas mais velhas, daí que todas as folhas fiquem afectadas. A elevada sensibilidade das folhas jovens foi também constatada por Azevedo *et al.* (1993) para folhas de soja, tendo observado que baixas concentrações foram suficientes para danificar folhas jovens. Por outro lado, Kozlowski (1980), indicou que a resposta das plantas aos poluentes varia com o seu estágio de desenvolvimento, entre outros factores, sendo as folhas mais jovens, recém-expandidas ou próximas à total expansão, mais sensíveis. Este resultado foi igualmente observado neste estudo em que as folhas jovens mostraram sinais de necroses e cloroses.

Amundson *et al.* (1982), McNulty e Newman, (1961) e Wander e McBride, (1956), indicaram que clorose foliar era o primeiro sintoma visível de dano causado por fluoreto nas plantas. Este sintoma, a clorose, pode indicar o decréscimo da capacidade metabólica das células, enquanto que a necrose pode resultar de uma completa desintegração estrutural.

Por outro lado, Garber (1973) e Leece *et al.* (1986), encontraram como sintomas da acção do fluoreto gasoso nas folhas necroses marginais e apicais. Necroses foram igualmente encontradas em outras experiências conduzidas com fluoretos dissolvidos em água de chuva e as alterações anatómicas observadas em plantas de *Dulcis sp.* foram semelhantes às descritas para *Glycine max* e *Panicum maximum* em resposta ao fluoreto (Azevedo *et al.*, 1993 e Chaves, 1997).

O tratamento com fluoreto de sódio não influenciou o crescimento em altura das plantas utilizadas nesta experiência. Isto ocorreu porque provavelmente estas são plantas que absorvem e acumulam fluoreto nos tecidos (folhas e raízes) da planta, ou porque a presença de fluoreto constituiu um estímulo para o seu desenvolvimento e não constituiu um inibidor de crescimento.

Este resultado demonstra que os sintomas foliares indicam a toxicidade do fluoreto, mas a sua intensidade não evidencia a magnitude com que os processos fisiológicos da planta são afectados. As diferenças na acumulação, na translocação, assim como na distribuição do fluoreto explica a grande variabilidade entre espécies e culturas de plantas quanto à susceptibilidade ao fluoreto Jacobson *et al.* (1966).

Dixon e Kuja (1995) nos seus estudos observaram que apesar de terem sido verificados sinais visíveis de danos, em *Gorazema sp.* e *Princeps sp.* não foram observadas alterações no crescimento em altura nas mudas dessas espécies. Estes dados podem ser explicados como sendo resultado da duração da experiência que pode ter sido insuficiente para provocar alterações no crescimento de algumas espécies, como se verifica com outros poluentes.

Por outro lado, Amundson *et al.* (1982), McNulty e Newman, (1961) e Wander e McBride, (1956), observaram que tanto o estímulo como a inibição do crescimento dependem da concentração de fluoretos. O estímulo pode estar relacionado com o aumento das taxas respiratórias causado por concentrações sub-letais de fluoreto. Resultados obtidos por Chang, (1973), indicam que o atraso no crescimento e a aceleração da senescência, induzidos pelo fluoreto, são processos controlados por mudanças directamente relacionadas com a síntese de proteínas.

Segundo, Weinstein (1977), e Miller (1993), os níveis de fluoreto nas folhas considerados normais em ambientes não poluídos situam-se entre 15 a 20 mg.g⁻¹ na matéria seca. Entretanto, algumas espécies podem acumular fluoretos mesmo crescendo em áreas não poluídas ou solos não contaminados (Davison 1983 e Klumpp *et al.*, 1996b). O fluoreto parece acelerar a senescência das folhas, já que, nas espécies em estudo verificou-se abscisão das folhas basais, o mesmo foi observado por Leece *et al.* (1986), para *Vitis vinifera*.

6.2 Avaliação do uso da soja (*Glycine max*) e trigo (*Triticum aestivum*) como fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos.

Os pesos secos totais das duas plantas em estudo, registaram um aumento significativo ao longo do estudo nos dois tratamentos efectuados (40mg/l e 80mg/l), assim como para o controle (figuras 1a e 1b). Este resultado pode ser uma indicação de que as plantas usadas são insensíveis aos fluoretos, podendo desenvolver-se na sua presença em concentrações assimiláveis.

Para ambas espécies o valor mais baixo do peso seco total da planta foi para o tratamento 80mg/l no terceiro mês. Este dado pode ser resultado do excesso de fluoretos acumulados nos tecidos que levou a uma redução no aumento da biomassa.

Para o trigo o tratamento 40mg/l registou maior peso seco da planta o que pode indicar que os 40mg/l estão dentro do limite que as plantas podem tolerar ou então ocorreu a dissolução do fluoreto durante as regas.

Para a soja a tendência de maior crescimento do peso seco total da planta foi para o tratamento 40mg/l o que pode indicar que este nível pode ter servido de estímulo e não inibição ao crescimento normal desta cultura. A inibição no crescimento ocorreu no tratamento 80mg/l indicando que este pode ser o limite que as plantas podem tolerar.

Resultados similares foram encontrados por Weinstein (1977), que encontrou, para cada cultura, um valor limiar para a concentração de fluoretos nos tecidos acima do qual se observam efeitos sobre o metabolismo da planta. VDI (1985), por outro lado, indicou que a concentração limiar está em volta de 30mg/l e 80 mg/l em plantas sensíveis e tolerantes, respectivamente. Neste

estudo foram usadas as concentrações de 40mg/l e 80 mg/l , tendo algumas plantas tolerado e outras não a presença do fluoreto.

Por outro lado, Weinstein (1977), indicou que o fluoreto acumula-se nas plantas e causa danos em espécies susceptíveis, em concentrações atmosféricas 10 a 1000 mais baixas (aproximadamente $0.8\mu\text{g F- m}^{-3}$) que outros poluentes como ozono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogénio. A gravidade do dano depende do genótipo, do estágio de desenvolvimento, de interações entre poluentes, do tempo de exposição, da humidade do solo e de factores climáticos, tais como: a temperatura, a humidade, a duração e a densidade do fluxo de radiação solar. Assim, o uso de plantas como bioindicadoras da emissão de poluentes reque um conhecimento das alterações específicas causadas tanto pela acção imediata do poluente como pelo seu efeito cumulativo.

Segundo, Kumar *et al.* (1995), as plantas devem produzir biomassa suficiente enquanto acumulam altas concentrações de metais pesados, pois em alguns casos, o aumento da biomassa diminui a concentração total do metal nos tecidos da planta, apesar de permitir obter uma quantidade global maior do metal acumulado. Esta situação parece se ter verificado no presente estudo em que houve grande produção de biomassa, apesar de as plantas estarem expostas à presença de fluoretos no solo.

Por outro lado, Jacobson *et al.* (1966), observaram que folhas com pêlos podem acumular mais partículas e assim absorver mais fluoretos do que folhas que não possuem pêlos.

O trigo registou um peso seco total da planta similar entre o controle e os dois tratamentos (40mg/l e 80mg/l), ao longo dos três meses (figura 1a), coincidentemente uma espécie que possui folhas com pêlos.

Na soja, no terceiro mês, no tratamento 80mg/l nota-se que houve um fraco desenvolvimento (figura 1b). Este resultado pode ter ocorrido devido ao facto de o fluoreto não ter sido distribuído igualmente pelos tecidos da planta ou ainda por não ter havido produção de biomassa suficiente para que houvesse uma maior acumulação do poluente pelas plantas.

6.3 Peso seco da raiz e razão do peso seco da raiz

No trigo o maior peso seco da raiz registou-se nos 80mg/l (figura 2a). Este resultado pode indicar que o fluoreto serviu de estímulo para o aumento do peso seco da raiz, ou que ocorreu a dissolução do mesmo durante as regas. Por outro lado, existe ainda a possibilidade de o fluoreto ter sido translocado para outras partes da planta, pois as raízes podem absorvê-lo e depois translocá-lo para a parte aérea da planta. As raízes por serem um ponto de passagem do fluoreto pela planta, não são muitas vezes, a parte mais prejudicada.

Na soja o tratamento 80mg/l registou um peso seco da raiz maior do que o tratamento 40mg/l ao longo de todo o estudo. Este resultado pode indicar que pode ter ocorrido dissolução ou uma distribuição uniforme do fluoreto pela planta o que permitiu o seu desenvolvimento no tratamento 80mg/l, enquanto que no tratamento 40mg/l o desenvolvimento foi fraco, provavelmente porque não ocorreu a translocação do fluoreto, tendo havido uma maior concentração deste nas raízes.

A razão do peso seco da raiz tanto para o trigo como para a soja foi menor no tratamento 80mg/l, (figuras 10a e 10b). Este resultado pode indicar que altas concentrações de fluoretos levam ao menor desenvolvimento das raízes. O controle, registou maior razão do peso seco da raiz para ambas espécies. Estes resultados são provavelmente uma indicação de que a rega com água leva ao aumento da razão do peso seco da raiz.

Tem sido indicado que o fluoreto absorvido pelas plantas algumas vezes é acumulado nas raízes, formando barreiras que diminuem a sua translocação para a parte aérea das plantas (Losi *et al.*, 1994). Esta situação leva a que o fluoreto se acumule nas raízes, podendo levar á diminuição do peso seco da raiz e conseqüentemente, da razão do peso seco da raiz.

Contrariamente a estes resultados, Braen e Weinstein (1985) indicaram que as possibilidades de absorção de fluoretos pelas raízes são menores, basicamente devido á retenção de pequenas concentrações de fluoretos pelo substrato utilizado (areia lavada) bem como à possível ocorrência de lixiviação. O solo não é importante fonte de níveis tóxicos de fluoretos para a maioria das plantas.

6.4 Peso seco do caule e razão do peso seco do caule

O peso seco do caule e a razão do peso seco do caule, registaram para os dois tratamentos, para ambas espécies, um aumento significativo ao longo dos três meses. Igual resultado registou-se em relação ao controle (figuras 3a, 3b, 9a 9b), respectivamente. Os caules de ambas espécies de plantas, desenvolveram-se normalmente como era de se esperar pois o caule é apenas um local de passagem das substâncias provenientes das raízes para as folhas. Assim o fluoreto pode não ter causado toxicidade aos caules de ambas plantas.

No trigo numa forma geral os 40mg/l, serviram de estímulo para o crescimento e os 80mg/l de inibição. O estímulo deve ter resultado do facto de durante o estudo não ter sido fornecido nenhum nutriente, e talvez a planta tenha usado o fluoreto como nutriente. Apesar de que alguns estudos têm referido que há diminuição do crescimento, o facto de se terem efectuado diversas regas pode ter levado a diluição do fluoreto, facto que terá levado a planta a estar exposta a menores doses de fluoreto. A inibição que ocorreu nos 80mg/l pode ser explicada pelo facto de esta concentração representar um limite, mesmo tratando-se de espécies tolerantes.

Para a soja os 40mg/l serviram de inibição ao aumento do peso seco do caule. A explicação para este resultado, pode ser pelo facto de não ter havido translocação do fluoreto para as folhas o que levou a diminuição do peso seco do caule. O controle, registou maior tendência de crescimento indicando uma insensibilidade a deficiência de nutrientes.

No que se refere à razão do peso seco do caule os 40mg/l e 80mg/l, serviram de estímulo para o crescimento para ambas espécies de plantas, o que pode ser explicado por uma possível translocação do fluoreto ou diluição do mesmo durante as regas e consequente utilização do mesmo pelas outras partes das plantas. É sabido que pequenas quantidades de fluoreto são necessárias ao crescimento. O trigo, por seu lado, no controle registou um baixo peso seco do caule e consequentemente registou uma baixa razão do peso seco do caule o que pode ser um possível indicativo de que o fluoreto é indispensável ao crescimento.

6.5 Peso seco da folha, área foliar, razão da área foliar, a área específica da folha e razão do peso seco da folha.

O peso seco da folha, a área foliar, a razão da área foliar, a área específica da folha e a razão do peso seco da folha, mostraram para os dois tratamentos, para ambas espécies de plantas, um crescimento significativo ao longo dos três meses (figuras 4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b, 7a, 7b, 8a e 8b), respectivamente. Este resultado verificou-se também em relação ao controle. Esse crescimento provavelmente ocorreu porque houve uma produção foliar suficiente para assimilar o fluoreto, tanto para a soja como para o trigo. Assim pode se dizer que o fluoreto estimulou a formação de folhas.

No peso seco da folha do trigo no primeiro mês, no tratamento 80mg/l, o fluoreto serviu de estímulo de crescimento apesar de estar no limite em que as plantas podem tolerar. Este resultado indica que estas folhas são insensíveis a presença do fluoreto. Por outro lado, no tratamento 40mg/l, o fluoreto inibiu o desenvolvimento o que significa que para algumas folhas estimulou e para outras folhas inibiu, tendo se acumulado provavelmente nestas folhas e não conseguiram translocá-lo para outras partes inibindo desse modo os processos metabólicos (figura 4a).

Na soja no primeiro mês houve um estímulo de aumento do peso da folha no tratamento 40mg/l o que pode indicar que estas folhas foram capazes de tolerar o fluoreto e aumentar a sua biomassa. O mesmo aconteceu no segundo mês no tratamento 80mg/l em que houve um estímulo de crescimento, o que pode significar que deve ter distribuído-o pelas folhas aumentando positivamente a sua biomassa, desde o princípio até ao fim do estudo.

O trigo, teve tendência de maior aumento de área foliar no tratamento 40mg/l, um resultado que pode indicar que o trigo em alguns casos é insensível a pequenas concentrações de fluoretos no solo e se desenvolveu. Contudo, o mesmo não se pode dizer em relação ao tratamento 80mg/l que teve uma área foliar baixa nos dois primeiros meses e aumentou no terceiro mês. Este aumento ocorreu provavelmente devido a um estímulo e a insensibilidade ao fluoreto do trigo. O controle, registou uma baixa área foliar, podendo dever-se à falta de nutrientes, não fornecidos no controle.

Na soja houve inibição do aumento da área foliar no segundo mês no tratamento 40mg/l o que pode indicar que houve acumulação de fluoreto em algumas partes das folhas. Por outro lado, no terceiro mês os 40mg/l serviram de estímulo pois houve um grande aumento da área foliar o que pode ser uma indicação de que níveis baixos estimulam o crescimento. O tratamento 80mg/l registou a menor área foliar talvez porque esta concentração esta no limite de tolerância pelas plantas. O controle, teve um baixo crescimento provavelmente devido a falta de nutrientes:

Os resultados do presente estudo indicaram que a razão da área foliar para ambas as espécies não diferiu ao longo do estudo. No trigo os 40mg/l serviram de estímulo ao desenvolvimento pois possivelmente houve assimilação por parte das folhas ou a distribuição do fluoreto foi igual pelas folhas ou por todos os órgãos da planta. Por outro lado, este resultado pode ser justificado pelo facto de neste tratamento ter se verificado uma elevada área foliar, o que esta de acordo com Filter e Hay (1981), que indicaram que quanto maior for a área foliar maior é a razão da área foliar. Comparando os tratamentos com o controle este, registou inibição de aumento da razão da área foliar. Este resultado pode ser justificado pelo facto de o controle ter registado uma baixa área foliar.

Na soja, os 80mg/l no terceiro mês serviram de estímulo ao aumento da razão da área foliar. Este resultado pode ser uma indicação de que o fluoreto serviu de nutriente pois o mesmo no terceiro mês provavelmente já estivesse dissolvido e disponível tendo assim, aumentando a sua área foliar. O decréscimo na razão da área foliar nos tratamentos 40mg/l e 80mg/l e no controle, pode ser explicado pelo facto de as folhas terem sofrido cloroses, não tendo por isso se expandido, o que reduziu a área foliar. Segundo Konigs, (1989), a razão da área foliar baixa a taxa de respiração por unidade de área foliar. Em alguns casos esta discrepância, pode ter sido causado por baixa taxa de fotossíntese e baixa taxa de assimilação aparente. O mesmo autor indica que diferenças na variação da razão da área foliar devem-se a variações na área específica da folha e no peso seco da folha.

Segundo Radosevich *et al.*, (1997), a área específica da folha, depende da área foliar e do peso seco da folha e quanto maior for a área foliar maior será a área específica da folha. Neste estudo verificou-se uma elevada área foliar no tratamento 40mg/l no trigo, ao longo de todo o estudo e

um peso seco da folha baixo o que resultou numa área específica da folha elevada, tendo se verificado o contrário em relação ao tratamento 80mg/l e ao controle. Este resultado pode ser uma indicação de que o fluoreto serviu de estímulo ao aumento da área específica da folha, através do aumento da área foliar em detrimento do peso seco da folha.

Na soja, a área foliar no controle, foi elevada e peso seco da planta foi normal o que levou a uma área específica relativamente elevada, isto pode ser uma indicação de que o solo ainda tivesse nutrientes e que os mesmos foram absorvidos e aumentando assim a área específica da folha. Com o passar do tempo a área específica da folha foi diminuindo o que pode ser uma indicação de que os nutrientes escassearam. Nos tratamentos 40mg/l e 80mg/l a área específica da folha foi baixa, devido a sensibilidade destes ao fluoreto.

Segundo, Ledbetter *et al.* (1960) análises de plantas e estudos com isótopo radioactivo ^{18}F mostraram que a folha é o principal sítio de acumulação de fluoreto na planta. Geralmente, assume-se que a translocação subsequente para a raiz da planta é pequena.

De acordo com Amthor e McCree (1990), plantas expostas a fluoretos, tanto no solo como no ar, que apresentam redução da fotossíntese, a produção de biomassa foliar é a menos afectada porque a poluição inibe a translocação de carboidratos das folhas para as raízes (Rennenberg *et al.*, 1996) alterando, portanto, as razões entre a biomassa de partes da planta em relação à planta inteira.

6.6 Taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação aparente e matéria seca

No trigo a menor tendência de acumulação de matéria seca foi nos tratamentos 40mg/l e 80mg/l, este resultado pode ser uma indicação de que o fluoreto inibiu os processos metabólicos da planta por acumulação dos mesmos nos tecidos da planta. O trigo no segundo e no terceiro mês nos tratamentos (40mg/l e 80mg/l), teve uma baixa acumulação de matéria seca quando comparado com o controle (figuras 11a e 11b).

Klumpp *et al.* (1994) e Jaeschke (1997) estes autores em suas experiências verificaram que é frequente a ocorrência de episódios fitotóxicos de poluentes, que resultaram na redução de

crescimento (Treshow e Anderson 1991, e Schmiedén e Wild 1995), o que poderia também estar relacionado com os resultados obtidos no presente estudo, pois houve um decréscimo no crescimento a medida que a experiência foi decorrendo.

Na soja houve maior acumulação no tratamento 80mg/l e menor no controle e 40mg/l. Este resultado pode justificar-se pelo facto desta planta ser insensível a presença do fluoreto, ou ainda tenha havido uma distribuição igual do poluente pelos órgãos da planta. Na soja não houve um grande crescimento no controle devido provavelmente, a falta dos nutrientes necessários ao desenvolvimento destas plantas que não foram fornecidos não tendo conseguido adaptar-se a este défice. O fluoreto é necessário ao crescimento mas em pequenas quantidades capazes de serem assimiladas pelas plantas.

A taxa de assimilação aparente no trigo no primeiro e segundo mês teve maior tendência de aumento no tratamento 80mg/l e 40mg/l respectivamente (figuras 12a). Este resultado pode ser uma indicação de que estas duas espécies são insensíveis a presença do fluoreto ou que houve uma distribuição igual pela planta. Comparando os tratamentos com o controle este registou maior taxa de assimilação aparente apenas no terceiro mês, este resultado pode ser uma indicação de que as plantas do controle adaptaram-se ao stress inicial a que estavam expostas e conseguiram, aumentar a sua taxa de assimilação aparente.

Na soja, as taxas de assimilação aparente nos tratamentos (80mg/l e 40mg/l), foram similares ao longo de todo o estudo (figura 12b). A taxa de assimilação aparente foi baixa provavelmente devido a sensibilidade pela soja ao fluoreto, estas concentrações constituíram um factor de inibição. O controle, registou maior taxa de assimilação aparente, o que pode ser uma indicação de que a falta de fluoreto pode favorecer o crescimento.

A soja e o trigo mostraram no tratamento 80mg/l uma baixa área foliar o que pode ter resultado numa taxa de assimilação aparente baixa. No trigo, no controle, a área foliar foi reduzida o que pode ter resultado na redução da taxa de assimilação aparente, tendo se verificado o contrário em relação a soja onde ambos foram elevados. Segundo Radosevich *et al.*, (1997), a taxa de

assimilação aparente representa o acúmulo de massa, num intervalo de tempo, por unidade de área foliar preexistente, assumindo, portanto, carácter fisiológico.

A taxa de crescimento relativo do trigo foi elevada logo no início e foi diminuindo ao longo do estudo (figura 13a). O tratamento 80mg/l registou maior tendência de aumento da taxa de crescimento relativo em relação ao tratamento 40mg/l. Este resultado por ter se dado devido ao facto de o fluoreto servir de estímulo e não de inibição ao crescimento do trigo. O controle teve a menor tendência de crescimento provavelmente porque deve necessitar de fluoreto para o seu desenvolvimento normal.

A taxa de crescimento relativo da soja foi similar ao trigo pois no início foi rápida e a mesma foi diminuindo até ao fim do estudo (figura 13b). Os tratamentos 40 e 80mg/l, registaram um crescimento similar, isto ocorreu provavelmente porque o fluoreto pode ter sido usado como nutriente por ambas espécies.

Segundo Seibert e Pearce (1993) a razão da área foliar relaciona-se positivamente com a taxa de crescimento relativo e com a taxa de assimilação aparente. Por sua vez Horak & Loughin (2000), também observaram associação entre a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação aparente. A razão da área foliar é uma variável morfológica que expressa quanto da massa total foi alocada para as folhas da planta e influencia positivamente a taxa de crescimento relativo.

Resultados deste estudo mostraram que a taxa de assimilação aparente e a razão da área foliar no tratamento 40mg/l foram elevados o que resultou numa maior tendência de aumento da taxa de crescimento relativo, contrariamente ao controle onde a taxa de assimilação aparente registou a menor tendência a taxa de crescimento relativo também teve a menor tendência.

A relação entre a taxa de assimilação aparente e a razão da área foliar, foram igualmente demonstrados na soja onde a taxa de crescimento relativo teve a menor tendência nos tratamentos 40 e 80mg/l devido a redução da taxa de assimilação aparente no tratamentos 40 e 80mg/l. No controle onde a taxa de assimilação aparente foi elevada apesar da redução da razão de área foliar a taxa de crescimento teve a maior tendência de aumento da taxa de crescimento relativo.

Segundo Mooney e Winner (1988), embora a redução da fotossíntese possa resultar em redução de crescimento, a relação entre esses dois parâmetros não é necessariamente linear, pois a exposição a poluentes causa frequentemente alterações na distribuição do carbono entre os órgãos da planta, ocorrendo maior produção de biomassa foliar, em detrimento das raízes (Klumpp et al. 1997, Domingos 1998, Klumpp et al. 1998). No milho, Rathore (1992) observou redução de área foliar, taxa de assimilação líquida e taxa de crescimento em plantas tratadas com fluoreto. Neste estudo foi observado resultado similar, o que pode confirmar que o poluente aplicado constitui uma fonte de alteração do metabolismo.

6.7 Concentração de clorofila

A clorofila nesta experiência oscilou bastante, pois foi decrescendo ao longo dos três meses; o que indica que houve folhas que sofreram danos, tendo este facto provavelmente afectado os cloroplastos e conseqüentemente diminuição da clorofila.

No trigo o fluoreto no tratamento 80mg/l constituiu um estímulo ao desenvolvimento, e o mesmo verificou-se em relação as clorofilas nos dois comprimentos de onda analisados (figura 14a). Este resultado demonstra que o trigo é insensível a presença do fluoreto, chegando o trigo provavelmente a utilizar o fluoreto como nutriente. O controle, registou menor concentração, resultado que se verificou em relação aos outros parâmetros analisados demonstrando dificuldades de crescimento na ausência do fluoreto.

A soja registou para os dois tratamentos 80 e 40mg/l, concentrações baixas de clorofila. Este resultado pode ser uma indicação de que o fluoreto acumulou-se nos cloroplastos diminuindo a concentração da clorofila, segundo Chang e Thompson, (1966) os cloroplastos são o principal sítio de acumulação de fluoreto seguidos, pelas mitocôndrias. No presente estudo observou-se uma redução na concentração da clorofila, sinal que o fluoreto induz a sua redução.

Horak e Loughin (2000), indicam que uma causa que pode estar associada à elevada velocidade de crescimento relativo é a presença de elevada teor de clorofila, o que pode ser uma explicação para o rápido aumento da taxa de crescimento relativo no início do estudo e a diminuição da mesma observada neste estudo.

A fotossíntese é um processo sensível à poluição e sua redução tem sido constatada com frequência em plantas nativas ou exóticas em locais poluídos (Inoue e Reissmann 1994, Pandey e Agrawal 1994, Pfanz *et al.*, 1994, Reich *et al.*, 1994). Segundo Pell *et al.*, (1994), o processo fotossintético pode ser afectado pela ocorrência de danos envolvendo os movimentos estomáticos, a colecta de luz ou a etapa bioquímica de fixação do dióxido de carbono, neste estudo houve redução da concentração da clorofila que influencia directamente a fotossíntese.

Segundo Mooney e Winner (1988), Treshow e Anderson (1991), a nível do organismo, a fotossíntese é um dos primeiros processos alterados por acção de poluentes, ocorrendo sua redução, via de regra, antes que a planta apresente sintomas visíveis. Resultados similares foram encontrados por Lal e Ambasht (1981) em que a redução no conteúdo de clorofila nas folhas acompanhou a acumulação de fluoretos nos cloroplastos, que tiveram sua ultra-estrutura prejudicada (Horvath *et al.*, 1978). A redução dos teores de clorofila associada com um aumento da resistência estomática (Poovaiah e Wiebe, 1973) afecta igualmente a fotossíntese. O conteúdo celular também se altera e ocorre a desintegração dos cloroplastos. Em fase mais adiantada do dano, todo o conteúdo citoplasmático também se desintegra. Sendo a fotossíntese um processo ligado a nutrição das plantas, quando a sua concentração diminui, igualmente diminui o crescimento, resultado que foi observado neste estudo.

Segundo McNulty e Newman, (1961), o fluoreto pode afectar os primeiros estágios da síntese de pigmentos e também induzir a degradação da estrutura do cloroplasto, o que pode estar por detrás da redução da concentração da clorofila e consequentemente do crescimento das espécies em estudo.

Adicionalmente, Horak e Loughin (2000) observaram que *Amaranthus* spp. Apresenta elevada razão da área foliar e possui elevado potencial fotossintético por planta. A elevada razão da área foliar indica que as plantas possuem alta área foliar por unidade de massa, o que pode elevar sua capacidade fotossintética. Contrariamente a estes autores, apesar da elevada área foliar e razão da área foliar a capacidade fotossintética presume-se que foi baixa devido a baixa concentração da clorofila.

O trigo registou maior índice de tolerância no segundo mês no tratamento 40mg/l e no terceiro mês no tratamento 80mg/l tendo a soja no tratamento 40mg/l registado maior índice de tolerância no primeiro e terceiro mês e no tratamento 80mg/l nos dois primeiros meses. Estes resultados podem ser uma indicação de que a soja é melhor fitoremediador do que o trigo.

7. Conclusão

1. O fluoreto estimulou no trigo: aumento da taxa de crescimento relativo (no tratamento 80mg/l), razão da área foliar (no tratamento 40mg/l), taxa de assimilação aparente (no tratamento 40mg/l), concentração de clorofila (no tratamento 80mg/l), área foliar (no tratamento 40mg/l), área específica da foliar (no tratamento 40mg/l) e na razão do peso seco da folha (no tratamento 40mg/l).
2. O fluoreto estimulou na soja: o aumento da matéria seca (no tratamento 80mg/l), concentração de clorofila (no tratamento 80mg/l), área específica da foliar (no tratamento 80mg/l), razão do peso seco da folha (no tratamento 80mg/l).
3. Os sintomas de toxicidade por fluoretos registados foram: necroses e cloroses nas folhas.
4. A soja registou maior índice de tolerância em relação ao trigo.
5. As duas espécies podem ser usadas em solos contaminados com fluoreto.
6. O soja mostrou neste estudo ser melhor fitoremediador do que a trigo.

8. Recomendações

1. Recomenda-se que se, efectue um estudo similar em épocas diferentes do ano para verificar a influência dos factores ambientais no desenvolvimento destas culturas na presença do fluoretos.
2. Recomenda-se que se, efectue um estudo similar mas para além do fornecimento do fluoretos que se forneçam igualmente os nutrientes necessários ao desenvolvimento destas culturas, para a verificação do efeito destes no seu crescimento.
3. Recomenda-se que se, efectue um estudo similar e que na medida do possível se meça a quantidade do fluoretos nos tecidos e no solo no princípio e no fim do estudo.
4. Recomenda-se que se, efectue um estudo usando outras culturas e em lugares maiores.

9.0 Limitações

1. Não foi possível medir a quantidade do fluoreto absorvido pelas plantas, devido a falta do aparelho de medição, o fluxómetro.
2. Muitas plantas foram atacadas por vírus, o que levou a um rápido amarelecimento das folhas e não foi possível obter-se os frutos.

10. Bibliografia

- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and disease Registry (2001). Managing Hazardous Material Incidents. Volume III – Medical Management Guidelines for Acute Chemical Exposure: Fluorine, Hydrogen Fluoride And Fluorides. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Amthor, J.S.&McCree, K. (1990). Carbon balance of stressed plants: a conceptual model for integrating research results. In Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms (R.G. Alscher & J.R. Cumming, eds.). Wiley-Liss, New York, p.1-15.
- Amundson, R.G.; Weinstein, L.H.; Van Leuken, P.; Colavito, L.J. (1982) Joint action of HF and NO₂ on growth, fluorine accumulation, and leaf resistance in marcross sweetcorn. *Environmental and Experimental Botany* 22:49-55.
- Azevedo, C.M.A.; Diniz, K.M.; Pradella, D.Z.A. (1995) Contaminação da vegetação por fluoretos em Cordeirópolis, SP. São Paulo: CETESB, 12p. (Informação Técnica).
- Baker, A.J.M., Reeves, R.D. & McGrath, S.P. (1991). In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants—a feasibility study. Butterworth-Heinemann, Boston, pp. 600–605.
- Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Sidoli, C.M.D. & Reeves, R.D. (1994). The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resour. Conserv. Recycl.* 11 : 41–49.
- Braen, R.N. & Weinstein, L.H. (1985) Uptake of fluoride and aluminium by plants grown in contaminated soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 24:215-223.
- Brooks, R. R (1998) Phytoremediation by volatilisation. In Brooks, R.R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, pp. 289 – 312
- Catski & Jarvis, (1985). Methods of Growth Analysis in Plant Photosynthetic Production: Manual of methods. 10:343-385.
- Chang, C.W. & Thompson C.R. (1966) Site of fluoride accumulation in navel orange leaves. *Plant Physiology*, 41:221- 231.
- Chang, C.W. (1973) Biochemical and biophysical investigation into growth and aging of corn seedlings treated with fluoride. *Fluoride*, 6(3):162-178.

- Chaves, A.L.F. (1997). Acção do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (capim-Rhodes) – Poaceae. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Cunningham, S.D., Berti, W.R. & Huang, J.W., (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol.* 13: 393–397.
- Cunningham, S.D. & Ow, D.W. (1996). Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiol.* 110: 715–719.
- Davison, A.W. (1983). Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluoride by vegetation. In Fluorides: effects on vegetation, animals and humans (J.L. Shupe, H.B. Peterson & N.C. Leone, eds.). Paragon Press, Salt Lake City, p.61-82.
- Dixon, M.J. & Kuja, A.L. 1995. Effects of simulated acid rain on the growth, nutrition, foliar pigments and photosynthetic rates of sugar maple and white spruce seedlings. *Water, Air and Soil Pollution* 83:219-236.
- Domingos, M. (1998). Biomonitoramento da fitotoxicidade da poluição aérea e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cogn. como espécie bioindicadora. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fitter, A. H. & Hay, R. K. (1981) Environmental Physiology of Plants. New York. Academic Press. 355pp. ISBN.122577604.
- Fowler, J. & Cohen, L. (1996) Practical Statistics For Field Biology, John Willey Sons. Chichester. New York. Brisbane. Toronto. Singapore, 225pp.
- Garber, K. (1973). The differential diagnosis of fluoride damage to plants. *Fluoride* 6:33-40
- Glass, D. J (1998). The 1998 United States Market for Phytoremediation, D. Glass Associates, Needham, 139pp.
- Horvath, I.; Klasova, A.; Navara, J. (1978) Some physiological and ultrastructural changes of *Vicia faba* after fumigation with hydrogen fluoride. *Fluoride*, 11(2):89-99.
- Jacobson, J.S.; Weinstein, L.H.; McCUNE, D.C.; Hitchcock, A.E. (1966) The accumulation of fluorine by plants. *Journal of Air Pollution Control Association*, Pittsburgh, v.16, p.412-417,.

- Jaeschke, W. (1997). Chemistry module. In Air pollution and vegetation damage in the tropics - the Serra do Mar as an example - Final report 1990-1996 (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, p.III.1-III.77.
- Klumpp, A., Klumpp, G. & Domingos, M. (1994). Plant as bioindicators of air pollution at the Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Environmental Pollution* 85:109-116.
- Klumpp, A., Klumpp, G., Domingos, M. & Silva, M.D. (1996b). Fluoride impact on native tree species of the Atlantic forest near Cubatão, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution* 87:57-71.
- Klumpp, A., Domingos, M., Moraes, R.M. & Klumpp, G. (1998). Effects of complex air pollution on tree species of the Atlantic rain forest near Cubatão, Brazil. *Chemosphere* 36:989-994.
- Kozłowski, T.T. & Pallardy, S.G. (1997). Growth control in woody plants. Academic Press, London.
- Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H. & Rasakin, I. (1995). Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.* 29 : 1232-1238.
- Lal, B. & Ambasht, R.S. (1981) Impairment of chlorophyll content in leaves of *Diospyros melanoseylon* by fluoride pollution. *Water, Air and Soil Pollution* 16:361-365.
- Lambers, H. & Poorter, H. (1992). Inherent Variation in Growth Rate between Higher Plants. *Advances in Ecological Research* 48: 57-64.
- Ledbetter, M. C.; Mavrodineanu, R Weiss, A.J. (1960) Distribution studies of radioactive fluoride-18 and stable fluoride-19 in tomato plants. *Contribution of the Boyce Thompson Institute*, 20:331-348.
- Leece, D.R., Scheltema, J.H. & Anttonen, T. (1986). Fluoride accumulation and toxicity in grapevines *Vitis vinifera* L. in New South Wales. *Environmental Pollution* 40:145-172
- Losi, M.E.; Amrhein, C.; Frankenberger, W.T. (1994). Environmental biochemistry of chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, v.135, p.91-121.
- Martin, I. and Bardos, P., (1996). A review of full scale treatment technologies for the remediation of contaminated land. , *EPP Publications*, Richmond, Surrey.

- McGrath, S. P (1998) Phytoextraction for soil remediation. In Brooks, R. R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, pp. 261 – 287
- McNulty, I.B.; Newman, D.W. (1961) Mechanisms of fluoride induced chlorosis. *Plant Physiology*, Sofia, v.36, p.385-388.
- Munn, D.A., Coffing G., Sautter G. (1998). Response of corn, soybean, and wheat crops to fertilizer and herbicides in Ohio compared with low-input production practices. *Am. J. Alt. Agric.* 13:181-189.
- Pandey, J.&Agrawal,M. (1994). Evaluation of air pollution phytotoxicity in a seasonally dry tropical urban environment using three woody perennials. *New Phytologist* 126:53-61.
- Pell, E.J., Eckart, N.A. & Glick, R.E. (1994). Biochemical and molecular basis for impairment of photosynthesis potential. *Photosynthesis Research* 39:453-462.
- Pfan, H., Vollrath, B., Lomsky, Oppmann, B., B.,Hynek, V., Beyschlag, W. Bilger, W., White, M.V. & Materna, J. (1994). Life expectancy of spruce needles under extremely high air pollution stress: performance of trees in the Ore Mountains. *Trees* 8:213-222.
- Poovaiah, B.W. & Wiebe, H.H. (1973) Influence of hydrogen fluoride fumigation on the water economy of soybean plants. *Plant Physiology*, 51:396-399,.
- Reddy, D.R., Prasad, V.S., Reddy, J.J. and Prasad, B.C. (1993). Neurology of Skeletal Fluorosis. *Ann. Acad. Med. Singapore*. 22: suppl. 31:493-500.
- Reich, P.B., Oleksyn, J. & Tjoelker, M.G. (1994). Relationship of aluminium and calcium to net CO₂ exchange among diverse Scots pine provenances under pollution stress in Poland. *Oecologia* 97:82-92.
- Sharma, D.R. and Rao, S.L.N., (1997). Fluoride Concentration in ground waters of Vsaknapatran, India. *Bull. Enviro. Toxicology* 58:241.247.
- Schmieden, U. & Wild, A. (1995). The contribution of ozone to forest decline. *Physiologia Plantarum* 94:371-378.
- Schnoor, J.R., (1997). Phytoremediation. Technical evaluation report for Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center. Available from <http://www.gwrtac.org/html/tech_eval.html#PHYTO> .

- Treshow, M. & Anderson, F.K. (1991). Plant stress from air pollution. John Wiley & Sons, Chichester.
- USAEC, (1997). "Phytoremediation of Lead" in Innovative Technology Demonstration, Evaluation and Transfer Activities, FY 96 Annual Report, Report No. SFIM-AEC-ET-CR-97013, pp. 89-92
- VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, 1985. 25p.
- Viessman, W., Lewis, G.L. and Knapp, J.W. (1989). Introduction to Hydrology. third ed., Harper & Row Publishers, New York, NY.
- Wander, I.W.; McBride Jr., J.J. (1956) Chlorosis produced by fluorine on citrus in Florida. *Science*, Washington, v.123, p.933-934.
- Weinstein, L.H. (1977) Fluoride and plant life. *Journal of Occupational*.

ANEXOS

Tabela 1a. Efeito do fluoreto no peso seco total das plantas do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	desvio1	desvio2	desvio3
Controle	0.043925	0.12505	0.348175	0.0078	0.0163	0.1315
40mg/l	0.04005	0.114075	0.28935	0.007174	0.0556	0.1402
80mg/l	0.025425	0.081225	0.2428	0.00568	0.0308	0.0358

Tabela 1b. Efeito do fluoreto no peso seco total das plantas da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	desvio1	desvio2	desvio3
Controle	0.3469	0.852925	1.8085	0.1208	0.4288	0.2888
40mg/l	0.35415	0.56335	2.11775	0.0263	0.1564	1.0517
80mg/l	0.434025	0.73425	0.965525	0.3437	0.2959	0.2776

Tabela 2a. Efeito do fluoreto no peso seco das raízes do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.0042	0.0254	0.1634	0.0026	0.0123	0.1227
4 g/l	0.0060	0.0542	0.1186	0.0017	0.0591	0.0056
8 g/l	0.0123	0.0719	0.2549	0.0027	0.0171	0.1241

Tabela 2b. Influência do flúor no peso seco das raízes da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.0250	0.0785	0.5277	0.0089	0.0120	0.3326
4 g/l	0.0284	0.1018	0.1671	0.0072	0.0520	0.1284
8 g/l	0.0285	0.1303	0.4994	0.0131	0.0976	0.2163

Tabela 3a. Influência do fluoretos no peso seco do caule do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.00828	0.02430	0.03050	0.00156	0.00694	0.00636

4 g/l	0.00520	0.01430	0.04670	0.00076	0.00564	0.03500
8 g/l	0.00950	0.01720	0.01250	0.00128	0.00340	0.00647

Tabela 3b. Influência do fluoretos no peso seco do caule da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.1951	0.3224	1.0289	0.0192	0.0971	0.4311
4 g/l	0.1384	0.3883	0.5152	0.0288	0.1544	0.1302
8 g/l	0.1762	0.4241	0.8839	0.0656	0.1474	0.2798

Tabela 4a. Efeito do fluoreto no peso seco das folhas do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.0276	0.0491	0.0955	0.0046	0.0516	0.0645
4 g/l	0.0143	0.0446	0.0775	0.0037	0.0161	0.0075
8 g/l	0.0219	0.0360	0.0809	0.0037	0.0074	0.0367

Tabela 4b. Influência do fluoretos no peso seco das folhas da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos por mês. foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.1341	0.1625	0.5572	0.0092	0.0716	0.2950
4 g/l	0.2673	0.2442	0.2833	0.3517	0.0959	0.1217
8 g/l	0.1232	0.2985	0.4253	0.0426	0.1612	0.1080

Tabela 5a. Influência do fluoretos na área foliar do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	1.129998	0.612653	0.237091	0.0638	0.1182	0.0466
4 g/l	1.556106	1.772063	1.084523	0.2409	0.8611	0.8189
8 g/l	1.071976	0.955798	0.839186	0.252	0.2015	0.1188

Tabela 5b. Influência do fluoretos na área foliar da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	2.559986	1.473632	0.808402	0.1341	0.4084	0.2465
4 g/l	2.145751	1.008796	1.011333	0.2142	0.5053	0.0729

8 g/l	1.751825	1.482246	1.26657	0.8007	0.4383	0.3609
-------	----------	----------	---------	--------	--------	--------

6a. Influência do fluoretos na razão da área foliar do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	1.129998	0.612653	0.237091	0.0638	0.1182	0.0466
4 g/l	1.556106	1.772063	1.084523	0.2409	0.8611	0.8189
8 g/l	1.071976	0.955798	0.839186	0.252	0.2015	0.1188

Tabela 6b. Efeito do fluoreto na razão da área foliar da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	2.559986	1.473632	0.808402	0.1341	0.4084	0.2465
4 g/l	2.145751	1.008796	1.011333	0.2142	0.5053	0.0729
8 g/l	1.751825	1.482246	1.26657	0.8007	0.4383	0.3609

Tabela 7a. Efeito do fluoreto na área específica das folhas do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	2.096021	2.136268	1.127397	0.1043	0.3513	0.4821
4 g/l	2.245862	7.919567	3.933578	0.2785	11.3100	3.9641
8 g/l	1.921552	1.731539	2.629233	0.4517	0.3662	0.4625

Tabela 7b. Efeito do fluoreto na área específica das folhas da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	7.211197	4.232185	3.399201	0.3410	0.9526	0.3888
4 g/l	5.715814	3.471063	3.896859	1.0571	1.0040	0.1190
8 g/l	4.909964	4.388763	4.281501	2.8254	1.1027	0.3840

Tabela 8a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco da folha do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
------------	-------	-------	-------	---------	---------	---------

Avaliação do uso do trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*), como fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos

Controle	0.539728	0.290178	0.248384	0.0333	0.0651	0.1264
4 g/l	0.691838	0.479533	0.340561	0.0414	0.2471	0.1900
8 g/l	0.557574	0.552271	0.323972	0.0404	0.0110	0.0519

Tabela 8b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco da folha da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.355136	0.344947	0.239944	0.0139	0.0410	0.0743
4 g/l	0.380066	0.280533	0.259319	0.0354	0.0590	0.0124
8 g/l	0.465662	0.334144	0.300767	0.2532	0.0228	0.1039

Tabela 9a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco do caule do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.181029	0.137893	0.037255	0.0047	0.0282	0.0173
4 g/l	0.208318	0.255065	0.139524	0.0295	0.0952	0.1075
8 g/l	0.207627	0.178188	0.181328	0.0234	0.0327	0.1052

Tabela 9b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco do caule da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.564974	0.509503	0.488359	0.0172	0.0460	0.0628
4 g/l	0.550454	0.572898	0.503275	0.0258	0.0571	0.0447
8 g/l	0.441302	0.5288	0.540313	0.2068	0.0155	0.0398

Tabela 10a. Efeito do fluoreto na razão do peso seco das raízes do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.279243	0.57193	0.71436	0.0344	0.0908	0.1414
4 g/l	0.099844	0.265402	0.519915	0.0508	0.1651	0.1981
8 g/l	0.234799	0.269541	0.4947	0.0441	0.0337	0.0601

Tabela 10b. Efeito do fluoreto na razão do peso seco das raízes da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.07989	0.14555	0.271696	0.0086	0.0414	0.1114
4 g/l	0.06948	0.146569	0.237406	0.0209	0.0406	0.0341
8 g/l	0.093036	0.137056	0.15892	0.0470	0.0292	0.0995

Tabela 11a. Efeito do fluoreto na matéria seca do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.127524	0.213695	0.360904	0.0035	0.0227	0.1355
4 g/l	0.093012	0.128064	0.16533	0.0212	0.0408	0.0520
8 g/l	0.158511	0.173337	0.200286	0.0245	0.0109	0.0189

Tabela 11b. Efeito do fluoreto na matéria seca da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.12681	0.192853	0.175271	0.0146	0.0164	0.0129
4 g/l	0.136489	0.205811	0.216306	0.0163	0.0151	0.0229
8 g/l	0.233038	0.239457	0.229846	0.1935	0.0149	0.0123

Tabela 12a. Efeito do fluoreto na taxa de assimilação aparente do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	3.548159	13.50842	51.94277	0.1969	3.1249	9.0715
4 g/l	2.617367	5.17713	17.22978	0.4068	1.8645	13.1590
8 g/l	3.93039	8.69473	14.5164	1.1381	2.0767	2.0537

Tabela 12b. Efeito do fluoreto na taxa de assimilação aparente da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	1.565706	5.848906	15.77125	0.0815	2.0501	4.1053

Avaliação do uso do trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*), como fitoremediadores de solos contaminados com fluoretos

4 g/l	1.877827	9.220758	11.91432	0.1831	3.5969	0.9028
8 g/l	3.150443	5.92082	10.10141	2.5542	2.3780	2.9460

Tabela 13a. Efeito do fluoreto na taxa de crescimento relativo do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.783787	0.26062	0.092378	0.0408	0.0154	0.03160
4 g/l	0.80766	0.286547	0.111997	0.0475	0.0773	0.04560
8 g/l	0.922465	0.320985	0.118606	0.0539	0.0496	0.0118

Tabela 13b. Efeito do fluoreto na taxa de crescimento relativo da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio1	Desvio2	Desvio3
Controle	0.275648	0.054434	0.004048	0.0847	0.0210	0.00104
4 g/l	0.260045	0.075515	0.007992	0.0191	0.0359	0.00385
8 g/l	0.258496	0.052918	0.012413	0.1741	0.0410	0.0235

Tabela 14a. Efeito do fluoreto na Concentração de clorofila a 642.5nm do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	0.7515	0.4005	0.5385	0.3279	0.1419	0.1138
40mg/l	0.3330	0.6035	0.5113	0.0141	0.0930	0.0966
80mg/l	1.0743	0.4470	0.4363	0.2462	0.3433	0.0891

Tabela 14b. Efeito do fluoreto na concentração de clorofila a 642.5nm da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	1.3832	1.5348	1.1130	0.8026	0.6240	0.1293
40mg/l	0.3572	0.6655	0.6590	0.0229	0.1352	0.0978
80mg/l	0.6108	0.7385	0.4235	0.0650	0.1580	0.0855

Tabela 15a. Efeito do fluoreto na taxa de clorofila a 660nm do trigo (*Triticum aestivum*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	1.7605	1.1545	1.0045	0.7217	0.4012	0.1581
40mg/l	0.9110	1.6253	1.1468	0.0539	0.2156	0.2923
80mg/l	2.4845	1.4325	1.3043	0.2542	0.5584	0.1197

Tabela 15b. Efeito do fluoreto na taxa de clorofila a 660nm da soja (*Glycine max*), em diferentes tratamentos. Por mês, foram usadas quatro plantas e calculou-se a média, \pm desvio padrão.

Tratamento	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Desvio 1	Desvio 2	Desvio 3
Controle	2.2190	2.5665	2.5338	0.8433	0.6078	0.2799
40mg/l	0.8110	1.7830	1.8038	0.0130	0.3422	0.2088
80mg/l	1.5750	1.9328	1.2480	0.1421	0.3504	0.0569