

Bio - 256



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
Faculdade de Ciências
**Departamento de Química/
Departamento de Ciências Biológicas**

Trabalho de Licenciatura

**TEMA: ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR,
MILHO E TOMATE NA FITORREMEDIAÇÃO DE
UM SOLO CONTAMINADO POR SULFATOS**

Autor: TELMA DOS ANJOS LEVI JAMISSE MAGAIA

Maputo 2005



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
Faculdade de Ciências
Departamento de Química/
Departamento de Ciências Biológicas

Trabalho de Licenciatura

**TEMA: ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR,
MILHO E TOMATE NA FITORREMEDIAÇÃO DE UM
SOLO CONTAMINADO POR SULFATOS**

Autor: TELMA DOS ANJOS LEVI JAMISSE MAGAIA

Supervisor: Prof. Doutor Orlando A. Quilambo

Co-Supervisores: Prof. Doutor Víctor Skripets

dr^a. Célia Martins

dr. Alexandre Siteo

Maputo 2005

- À Deus por tudo de bom que me tem proporcionado.
- Ao meu supervisor Prof. Doutor Orlando A. Quilambo, pelo apoio incansável demonstrado na transmissão dos seus conhecimentos ao longo do trabalho.
- Aos meus Co-supervisores, Prof. Dr. Víctor Skripets pelo grande apoio na transmissão dos seus conhecimentos e ajuda na procura de soluções para realização das experiências laboratoriais, ao dr. Alexandre Siteo e a dr^a Célia Martins pelo apoio na transmissão dos seus conhecimentos. Muito obrigado.
- À Prof. Dr^a Fung Dai Kim e ao Dr. César Dimande pelo apoio do espectrofotómetro de absorção molecular.
- À dr^a Aidate Mussagy pela ajuda na utilização do nicho e obtenção de água desionizada.
- Ao Instituto de Investigação Agronómica, sr Carlos, sr^a Fátima e sr Cândido pela facilidade prestada na moagem das amostras.
- Ao Dr Albano, Plácido e ao Carlos pela ajuda na familiarização e utilização dos programas estatísticos. Muito obrigado.
- Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique, dr. Filimone e a sr^a Maria Tamele pela facilidade na realização da análise do solo.
- Aos meus colegas de trabalho, Inácio, Rosário, Sitói, Helena, Sabina, Maurício, Machava, dr^a Joana, Maria, Janete, Sandra, Belmira, João, Pedro e sr.Massango, Ofélia, Rosalina, Victória sr^a Deolinda, Lourdes, Lídia, Amélia,....., que sempre me apoiaram de várias formas durante a minha carreira estudantil.
- Aos meus amigos e colegas Diana, Jhan, Irene e Netinho pelo apoio durante os estudos e na ajuda prestada no empacotamento das amostras durante as colheitas e nas experiências laboratoriais.
- A todos colegas do grupo de fisiologia vegetal, Bruno, Yolanda, Célia, Sérgio Jeremias, ..., muito obrigado.
- Agradeço aos meus pais pela educação que me deram, minha mãe Teresa, meus irmãos Lina, Luciana, Lourdes, Epifânia, Mequelina, Leví Luís e Teresa Palmira, pela força e coragem que me transmitiam ao longo da minha formação.
- Finalmente a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para a realização do presente trabalho. O meu muitíssimo obrigado.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial as minhas queridas filhas e ao meu esposo

Lutea Helena Magaia
Shena Pamela Magaia

&

Silva Jacinto Magaia

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que os dados que constam neste presente trabalho são reais e reflectem os resultados obtidos no campo experimental

Maputo, aos 14 de Julho de 2005

Telma dos Anjos Leví Jamisse Magaia

RESUMO

O enxofre é um dos nutrientes da planta que vem recebendo pouca atenção em estudos de fertilidade dos solos, ficando relegado a poucas pesquisas no mundo. É um constituinte natural de todos combustíveis fósseis e durante a combustão, a maior parte é convertida em compostos sulfurosos gasosos. É oxidado na atmosfera e após deposição no solo origina o ião sulfato, que pode ser utilizado pelas plantas. O ião sulfato é a forma de enxofre absorvida pelas raízes das plantas, podendo também ser utilizado pelos organismos do solo.

O ensaio foi montado na estufa (viveiros) pertencente ao Departamento de Ciências Biológicas desde o mês de Abril até Julho de 2004. Para o presente trabalho, foram usadas três culturas nomeadamente feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*) e tomate (*Lycopersicon esculentum*) num tratamento de quatro doses diferentes (0, 15, 30 e 45mg/l) de enxofre na forma de sulfato de potássio.

As colheitas das plantas foram feitas na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira e foram separadas em folha, caule e raiz para posteriormente serem secas durante 48 horas numa estufa à 80°C. Após a secagem o material vegetal foi moído, mineralizado por digestão nítrico-periclórica e do extracto obtido foi determinado o teor de enxofre.

O enxofre introduzido no solo deve ter sido absorvido pelas raízes pois foi encontrado nos caules e folhas da planta. A sua presença não afectou o desenvolvimento normal das culturas, o início da floração e nem a formação dos frutos no feijão vulgar.

As diferentes concentrações de enxofre introduzidas no solo não afectaram a produção da matéria seca das plantas.

De um modo geral não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos efectuados e o controle. Algumas diferenças significativas foram notadas na distribuição final da matéria seca acumulada nas diferentes partes das plantas. A planta de milho foi a que mais matéria seca acumulou, atingindo maiores valores nas folhas, seguindo-se dos caules e por fim as raízes

A correlação existente entre teor total do enxofre e peso total nas culturas de feijão vulgar e tomate foi negativa, relativamente forte e forte respectivamente e correlação positiva e moderada para a cultura de milho.

LISTA DE ABREVIATURAS

- A – Absorvância
AF – área foliar
C – Concentração
CAF – Conteúdo de água nas folhas
CAC – Conteúdo de água nos caules
CAR – Conteúdo de água nas raízes
MS – Matéria seca
mg/l – miligramas por litro
PST – Peso seco total
PSR – Peso seco da raiz
PSC – Peso seco do caule
PSF – Peso seco da folha
Pf – Peso fresco
%RSD – Percentagem do desvio padrão
RAF – Razão da área foliar
RPRPA – Razão do peso da raiz pela parte aérea
T – Transmitância
V – Volume
V_T – Volume tomado
V_f – Volume final

Índice	Páginas
Conteúdo	
1.0–Introdução -----	1
1.1 – Fontes de Poluição atmosférica-----	1
1.2 – Classificação dos Poluentes-----	2
1.3 – Efeitos dos poluentes sobre a saúde humana e vegetação-----	3
1.4 – Uso de plantas para eliminar poluição (Fitorremediação)-----	4
—1.4.1 – Vantagens da fitorremediação-----	5
—1.4.2 – Desvantagens da fitorremediação-----	6
1.5 – Factores ambientais-----	6
1.6 – Enxofre e sua ocorrência-----	7
—1.6.1 – Ciclo de enxofre-----	9
1.7 – Espécies de plantas mais comuns sensíveis ao enxofre-----	10
—1.7.1 – Origem e importância das culturas-----	11
—1.7.1.1 – Feijão vulgar (<i>Phaseolus vulgaris</i>)-----	11
—1.7.1.2 – Milho (<i>Zea mays</i>)-----	11
—1.7.1.3– Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)-----	12
1.8 – Método de análise de enxofre-----	13
—1.8.1 – Turbidimetria de Sulfato de Bário-----	14
—1.8.2 Espectrofotometria de absorção molecular -----	14
—1.8.3 – Mecanismo de absorção-----	15
—1.8.4 – Espectrofotómetro de UV-VIS Cary 100, 1e, versão 9.0 -----	16
—1.8.5 – Componentes e funcionamento do espectrofotómetro de UV-VIS-----	17
1.9 – Área de estudo-----	18
—1.9.1 – Desenho experimental-----	18
2.0 – Objectivos -----	19
— 2.1 – Objectivo Geral	
— 2.2 – Objectivo Específico	
3.0 – Material e Métodos-----	19
4.0 – Montagem do ensaio-----	20
— 4.1 – Planos de colheita-----	21

5.0 – Preparação de soluções-----	21
— 5.1 – Preparação do extracto vegetal -----	21
— 5.2 – Soluções para a leitura -----	22
5.3 – Determinação do teor de sulfato no solo-----	23
6.0 – Análise dos parâmetros de crescimento-----	24
— 6.2 Cálculo do teor do enxofre-----	25
— 6.3 Análise estatística-----	26
7.0 – Resultados -----	27
—7.1.1 – Peso seco total, das folhas, caules e raízes do feijão vulgar-----	27
—7.1.5 – Área foliar do feijão vulgar-----	29
—7.1.6 – Teores de enxofre da planta total, das folhas, caules e raízes do feijão vulgar-----	30
7.2 – Peso seco total, das folhas, caules e raízes da planta de milho-----	33
—7.2.5 – Área foliar do milho-----	35
—7.2.6 – Teor de enxofre da planta total, das folhas, caules e raízes do milho-----	36
7.3 – Peso seco total, das folhas, caules e raízes da planta de tomate-----	38
—7.3.5 – Área foliar do tomate-----	41
—7.3.6 – Teor de enxofre da planta total, das folhas, caules e raízes do tomate-----	41
7.4 – Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das três culturas (4ª semana após a sementeira)-----	44
—7.4.4–Comparação da área foliar entre as três culturas (4ª semana após a sementeira)-----	46
7.5 – Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das três culturas (8ª semana após a sementeira)-----	46
—7.5.1–Comparação da área foliar entre as três culturas (8ª semana após a sementeira)-----	48
7.6 Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das três culturas (12ª semana após a sementeira)-----	49
—7.6.1–Comparação da área foliar entre as três culturas(12ª semana após a sementeira)-----	51
7.7 – Comparação entre o teor da três culturas-----	52
—7.7.1 – Comparação do teor de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas (4ªsemana após a sementeira)-----	52
—7.8 – Comparação do teor de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas (8ªsemana após a sementeira)-----	54

—7.9 – Comparação do teor de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas (12ª semana após a sementeira)-----	56
8.0 – Razão foliar das três culturas-----	58
8.1 – Razão foliar do feijão vulgar-----	59
—8.1.1 – Razão foliar do milho-----	59
—8.1.2– Razão foliar do tomate-----	60
8.2 – Razão da raiz pela parte aérea da planta do feijão vulgar-----	60
—8.1.1 – Razão da raiz pela parte aérea da planta do milho-----	61
—8.2.2 – Razão da raiz pela parte aérea da planta do tomate-----	61
8.3 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do feijão vulgar-----	62
—8.3.1 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do milho-----	64
—8.3.2 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do tomate-----	66
8.4 – Correlação entre o teor de enxofre e peso total no feijão vulgar -----	67
—8.4.1 – Correlação entre o teor de enxofre e o peso total no milho-----	68
—8.4.2 – Correlação entre o teor de enxofre e peso total no tomate-----	69
8.5 – Distribuição final da matéria seca pelas partes da planta do feijão vulgar-----	69
—8.5.1 – Distribuição final da matéria seca pelas partes da planta do milho-----	70
—8.5.2– Distribuição final da matéria seca pelas partes da planta do tomate-----	71
8.6 – Efeito do enxofre no início da floração e formação de frutos no feijão vulgar-----	72
9.0 – Discussão -----	73
10 – Conclusões-----	78
11 – Recomendações -----	79
12.0 – Bibliografia -----	80

Índice de figuras e tabelas

Conteúdo	Páginas
Figura 1 Ciclo de enxofre-----	9
Figura 2 Espectrofotometro de UV-VIS Cay 100, 1e, versão 9.0-----	16
Figura 4a Peso seco total do feijão vulgar-----	27
Figura 4b Peso seco das folhas do feijão vulgar-----	28
Figura 4c Peso seco dos caules do feijão vulgar -----	28
Figura 4d Peso seco das raízes do feijão vulgar-----	29
Figura 4e Área foliar do feijão vulgar-----	30
Figura 4f Teor total de enxofre do feijão vulgar-----	30
Figura 4g Teor de enxofre nas folhas do feijão vulgar-----	31
Figura 4h Teor de enxofre nos caules do feijão vulgar-----	32
Figura 4i Teor de enxofre nas raízes do feijão vulgar-----	32
Figura 5a Peso seco total do milho-----	33
Figura 5b Peso seco das folhas do milho-----	34
Figura 5c Peso seco dos caules do milho-----	34
Figura 5d Peso seco das raízes do milho-----	35
Figura 5e Área foliar do milho-----	35
Figura 5f Teor total de enxofre no milho-----	36
Figura 5g Teor de enxofre das folhas no milho-----	37
Figura 5h Teor de enxofre nos caules do milho-----	37
Figura 5i Teor de enxofre nas raízes do milho-----	38
Figura 6a Peso seco total do tomate-----	39
Figura 6b Peso seco das folhas do tomate-----	39
Figura 6c Peso seco dos caules do tomate-----	40
Figura 6d Peso seco das raízes do tomate-----	40
Figura 6e Área foliar do tomate-----	41
Figura 6f Teor total de enxofre no milho-----	42
Figura 6g Teor de enxofre nas folhas do tomate-----	42
Figura 6h Teor de enxofre nos caules do tomate-----	43
Figura 6i Teor de enxofre nas raízes do tomate-----	43

Figura 7a	Comparação dos pesos secos das folhas das três culturas (4ª semana)	44
Figura 7b	Comparação dos pesos secos dos caules das três culturas (4ª semana)	45
Figura 7c	Comparação dos pesos secos das raízes das três culturas (4ª semana)	45
Figura 7d	Comparação das áreas foliares das três culturas (4ª semana)	46
Figura 8a	Comparação dos pesos secos das folhas das três culturas (8ª semana)	47
Figura 8b	Comparação dos pesos secos dos caules das três culturas (8ª semana)	47
Figura 8c	Comparação dos pesos secos das raízes das três culturas (8ª semana)	48
Figura 8d	Comparação das áreas foliares das três culturas (8ª semana)	49
Figura 9a	Comparação dos pesos secos das folhas das três culturas (12ª semana)	50
Figura 9b	Comparação dos pesos secos dos caules das três culturas (12ª semana)	50
Figura 9c	Comparação dos pesos secos das raízes das três culturas (12ª semana)	51
Figura 9d	Comparação das áreas foliares das três culturas (12ª semana)	52
Figura 10a	Comparação entre o teor de enxofre nas folhas do Feijão vulgar e milho (4ª semana)	53
Figura 10b	Comparação entre o teor de enxofre nos caules do feijão vulgar e milho (4ª semana)	53
Figura 10c	Comparação entre o teor de enxofre nas raízes do feijão vulgar e milho (4ª semana)	54
Figura 11a	Comparação entre o teor de enxofre das folhas nas três culturas (8ª semana)	55
Figura 11b	Comparação entre o teor de enxofre dos caules nas três culturas (8ª semana)	55
Figura 11c	Comparação entre o teor de enxofre das raízes nas três culturas (8ª semana)	56
Figura 12a	Comparação entre o teor de enxofre das folhas nas três culturas (12ª semana)	57
Figura 12b	Comparação entre o teor de enxofre dos caules nas três culturas (12ª semana)	57
Figura 12c	Comparação entre o teor de enxofre das raízes nas três culturas (12ª semana)	58
Figura 13a	Razão foliar do feijão vulgar	59

Figura 13b Razão foliar do milho-----	59
Figura 13c Razão foliar do tomate-----	60
Figura 14a Razão da raiz pela parte aérea da planta do feijão vulgar-----	60
Figura 14b Razão da raiz pela parte aérea da planta do milho-----	61
Figura 14c Razão da raiz pela parte aérea da planta do tomate-----	62
Figura 15a Conteúdo de água nas folhas do feijão vulgar-----	63
Figura 15b Conteúdo de água nos caules do feijão vulgar-----	63
Figura 15c Conteúdo de água nas raízes do feijão vulgar-----	64
Figura 16a Conteúdo de água nas folhas do milho-----	64
Figura 16b Conteúdo de água nos caules do milho-----	65
Figura 16c Conteúdo de água nas raízes do milho-----	65
Figura 17a Conteúdo de água nas folhas do tomate-----	66
Figura 17b Conteúdo de água nos caules do tomate-----	66
Figura 17c Conteúdo de água nas raízes do tomate-----	67
Figura 18a Correlação entre o teor de enxofre e o peso total para o feijão vulgar-----	68
Figura 18b Correlação entre o teor de enxofre e o peso total para o milho-----	68
Figura 18c Correlação entre o teor de enxofre e o peso total para o tomate-----	69
Figura 19a Distribuição final da matéria seca pelas partes do feijão vulgar-----	70
Figura 19b Distribuição final da matéria seca pelas partes do milho-----	71
Figura 19c Distribuição final da matéria seca pelas partes do tomate-----	72
Tabela 1 Desenho experimental-----	18
Tabela 2 Teores de sulfato no solo-----	23

1.0 – INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional bem como com o desenvolvimento industrial, a poluição tornou-se um problema muito sério causando danos ao meio ambiente (Mellanby, 1982).

A poluição é referida como sendo a presença de substâncias tóxicas introduzidas pelo homem no meio ambiente. Contudo, não é só a poluição causada pelo homem que é nociva, embora as súbitas mudanças introduzidas por ele sejam frequentemente mais dramáticas que os efeitos lentos do envenenamento de origem natural (Mellanby, 1982).

O homem primitivo vivia em grupos limitados, produzia pouco efeito nocivo ao seu meio ambiente. O seu esgoto poderia ser absorvido pelos rios, inofensivamente, assim como a fumaça que desaparecia rapidamente na atmosfera. Entretanto com o crescimento populacional e com a urbanização, os seus resíduos começaram a causar efeitos negativos, poluindo o ar e as águas (Mellanby, 1982).

As diferentes formas de poluição afectam a composição e o equilíbrio da atmosfera, das águas do solo e do subsolo, interferem na cadeia alimentar, alteram os mecanismos naturais de protecção do planeta, prejudicam as espécies animais e vegetais existentes (Almeida, 1999).

1.1 – FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A identificação de uma fonte de poluição atmosférica depende, dos padrões adoptados para definir os agentes e seus efeitos sobre homens, animais, vegetais ou outros materiais, assim como dos critérios para medir os poluentes e seus efeitos (Pinheiro e Monteiro, 1982).

As fontes da poluição atmosférica resultam de processos naturais ou antropogênicos que possam libertar ou emitir matéria para atmosfera, tornando-a contaminada ou poluída.

São exemplos de fontes naturais de poluição atmosférica, as emissões de gases provocadas por vegetais e animais, a ressuspensão da poeira do solo pelos ventos, a formação de gás metano em pântanos, os incêndios naturais em florestas, o pólen das flores, etc. (Raven, *et.al.*, 2001).

Os poluentes atmosféricos podem afectar vegetais, facto que pode ser facilmente comprovado quando o poluente se acumula na planta. A evidência é forte, quando a concentração natural desse poluente na planta é baixa (Epstein, 1990).

Diferentes espécies e variedades de muitas plantas diferem na sua sensibilidade a poluentes do ar, podendo ser cultivadas em áreas nas quais se suspeita que exista poluição do ar. Convém cultivar as plantas em solo padrão, em vasos, visto que o solo numa área exposta à poluição durante muito tempo pode estar contaminado e isto afectará o crescimento (Mellanby, 1982).

1.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES

Segundo (Almeida, 1999), os poluentes podem ser classificados **de acordo com a sua origem** como:

- Poluentes primários: aqueles que estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos como resultado de algum processo. Os principais poluentes desta categoria são tanto sólidos, como líquidos e gasosos, ou mesmo radiações.
- Poluentes secundários: são produzidos na atmosfera pela reacção entre dois ou mais poluentes primários, ou pela reacção com constituintes normais atmosféricos, com ou sem fotoactivação.

De acordo com o seu estado os poluentes podem ser:

- Gases e vapores (CO, CO₂, SO₂, O₃, NO_x, NH₃, H₂S, cloro, hidrocarbonetos).
- Partículas sólidas e líquidas (poeiras, névoas de fumaça)

De acordo com a sua composição química podem ser:

- Poluentes orgânicos (aldeídos, ácidos e orgânicos, partículas orgânicas nitro compostos).
- Poluentes inorgânicos (CO, CO₂, SO₂, NO_x, cloro, poeiras).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados genericamente como pertencentes a três grupos básicos de substâncias sólidas, líquidas e gasosas. Entretanto, na prática esses três grupos podem nalgumas vezes estar combinados entre si de tal maneira que nos é permitido restringi-los apenas a dois grupos: os gases e particulados. Material particulado em suspensão tem sido um dos mais importantes parâmetros no estudo da poluição atmosférica, devido aos diversos impactos que ele causa à saúde humana e ao meio ambiente. (Kouimtzi e Sâmara, 1995, citados por Almeida, 1999).

O manufacturamento de vários produtos, como aço e borracha, a construção civil, a descarga de veículos automóveis, a indústria de fertilizantes, o uso de pesticidas e herbicidas e muitas outras actividades humanas contribuem para o lançamento de material particulado. O material particulado é formado por partículas sólidas ou líquidas que se encontram em suspensão na atmosfera, denominados aerossóis. Os aerossóis são nocivos aos seres vivos não só pelos efeitos tóxicos, devido às características químicas de certos poluentes, mas também pelos mecanismos físicos de obstrução que podem agravar problemas pulmonares no homem e causar diminuição da fotossíntese nos vegetais (Pinheiro e Monteiro, 1982).

1.3 – EFEITOS DOS POLUENTES SOBRE A SAÚDE HUMANA E A VEGETAÇÃO

Não há na literatura uma unanimidade de opiniões a respeito dos efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana. Contudo, sabe-se que estes podem prejudicar a saúde humana de diversas formas, que vão desde o desconforto até a morte. Alguns desses efeitos incluem irritação dos olhos e das vias respiratórias; redução da capacidade pulmonar; aumento da susceptibilidade de infecções virais e doenças cardiovasculares; alterações motoras e enzimáticas; agravamento de doenças crónicas do aparelho respiratório, tais como: asma, bronquite, enfisema e pneumoconioses; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas; nascimento de crianças defeituosas e câncer (Almeida, 1999; Pinheiro e Monteiro, 1982).

Os poluentes atmosféricos podem afectar a vegetação por duas vias: via directa e indirecta.

- *Os efeitos directos* resultam da destruição de tecidos das folhas das plantas provocadas pela deposição seca de SO₂, pelas chuvas ácidas ou pelo ozono, reflectindo-se na redução da área fotossintética. A penetração de poluentes, ocorre através das raízes após a deposição de partículas ou dissolução de gases no solo ou ainda através de estômas.
- *Os efeitos indirectos* são provocados pela acidificação dos solos com a consequente redução de nutrientes e libertação de substâncias prejudiciais às plantas, resultando numa menor produtividade e maior susceptibilidade a pragas e doenças (Mudd & Kozlowski, 1975).

1.4 – USO DE PLANTAS PARA ELIMINAR A POLUIÇÃO

Na busca de alternativas para a purificação de áreas contaminadas por diversos compostos, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo exigido pelo processo e menor custo. Neste contexto, cresce o interesse pela utilização da **fitorremediação**. A palavra fitorremediação, provem da palavra grega “fito” que significa “planta” e da palavra latina “remediare” que significa “remédio”. A fitorremediação é definida como sendo o uso de plantas e sua comunidade microbiana associada para remover poluentes no meio ambiente, tornando-os inofensivos oferecendo uma solução natural para a recuperação de áreas contaminadas (Guimarães *et. al.*, 2003; Ribeiro Filho, 2003).

A utilização da técnica de fitorremediação é baseada na selectividade natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de acção. A selectividade é devido ao facto de que os compostos podem ser translocados para outros tecidos da planta, transformando em compostos menos tóxicos.

Nesse contexto temos:

- Fitoextração: uso de espécies específicas de plantas para absorção de grandes quantidades de cátions e aniões no solo e armazenameno nas raízes, ou noutros tecidos, sem modificação;
- Fitovolatilização: uso de plantas para remover contaminantes da superfície, numa forma volátil, a qual é libertada para atmosfera;
- Fitoestabilização: uso de plantas para aumentar o sequestro de contaminantes (cátions e aniões) no solo. O sequestro resulta da alteração do fluxo de água nas plantas que reduz a mobilidade de seus contaminantes;
- Fitodegradação: processo onde as enzimas da planta mineralizam completamente ou quebram praticamente compostos contaminantes (Pires *et. al.*, 2003).

1.4.1 – PRINCÍPAIS VANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO

As principais vantagens da fitorremediação são:

- Menor custo em relação às técnicas tradicionalmente utilizadas envolvendo a remoção do solo para tratamento *ex situ*. Sendo uma das principais vantagens da fitorremediação, segundo (Cunnigham, 1996 citado por Pires *et. al.*, 2003).
- Aplica-se a grandes áreas e a quase grande variedade de poluentes;
- As plantas são mais fáceis de ser monitoradas do que microorganismos;
- As plantas ajudam no controle do processo erosivo, eólico e hídrico, neste caso evitando o carregamento de contaminantes com a água e com o solo, reduzindo a possibilidade de contaminação de lagos e rios;
- Permite a fixação do nitrogénio atmosférico, no caso das leguminosas;
- Permite a utilização da energia solar para realizar os processos;
- Bem aceite socialmente.

Considerando esses factores e o baixo custo esperado para a fitorremediação, ela pode ser usada em maior escala do que seria no caso de outros métodos.

1.4.2 – PRINCÍPAIS DESVANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO

As principais desvantagens da fitorremediação são:

- Dificuldade na selecção de plantas fitorremediadoras;
- O clima, a estação e o solo podem restringir o crescimento de planta no sitio contaminado;
- A concentração de substâncias contaminantes pode ser tóxica;
- É incapaz de reduzir em 100% a concentração do poluente;
- Aplica-se apenas à superfície do solo ou a águas superficiais;
- O tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo (normalmente mais de uma estação de crescimento);
- Necessidade e disposição da biomassa vegetal quando ocorre a fitoextração de poluentes não-metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos;
- Melhorias nas condições do solo pode ser requerida, incluindo a quelação do contaminante para facilitar a sua absorção pelas plantas.

Segundo (Pires *et. al.*, 2003), a técnica de fitorremediação não é aplicável universalmente nem é um sistema perfeito. Apesar de existirem limitações, os benefícios apresentados pela fitorremediação a tornam uma técnica promissora. Contudo, ela requer acção conjunta de profissionais de diversas áreas, no intuito de identificar espécies capazes de actuar na descontaminação de solos e águas.

1.5 – FACTORES AMBIENTAIS

O efeito dos poluentes pode ser alterado essencialmente pelas condições ambientais (Maclen, 1983 citado por Doley, 2002) e o comportamento reflecte a combinação de factores actuando durante o período de exposição.

Por convenção, é tomada a média de 90 dias em ambiente para concentração dos gases, como base de comparação de resposta (Doley, 2002).

É importante notar que o impacto ambiental das emissões aéreas de poluentes ocorre em duas escalas bem distintas. O impacto local depende tanto das emissões próximas como da altura da chaminé de uma fábrica. Uma fábrica com pequena emissão, mas com uma chaminé baixa, pode causar um impacto local mais forte do que uma termoelétrica com

chaminé elevada. A fábrica irá produzir uma alta concentração de poluentes aéreos ao nível do solo enquanto que as emissões a partir da usina termoelétrica sofrerão uma grande dispersão e diluição antes de atingir o ambiente da superfície terrestre (Epstein, 1990).

Poluentes gasosos são capturados mais facilmente durante o dia quando os poros estomacais na superfície das folhas tendem a abrir.

Folhas jovens têm tendência em trocar gases com o ambiente mais rapidamente do que as folhas velhas e existe nas folhas jovens uma tendência em aumentar o peso, reduzindo a concentração do poluente pela adição da matéria seca (Doley, 2002).

1.6 – ENXOFRE E SUA OCORRÊNCIA

O enxofre é um nutriente essencial para as plantas situando-se no quarto lugar no grupo dos macronutrientes, juntamente com o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

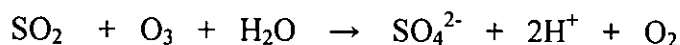
O enxofre é um constituinte natural de todos os combustíveis fósseis. Durante a combustão, a maior parte dele é convertida em compostos sulfurados gasosos (SO_2 e SO_3). Entretanto, a deficiência de enxofre reduz a qualidade de nitrogênio, restringindo o crescimento da planta (Boletim técnico, 2000).

Vitti & Novaes (1986), citados por Epstein (1990), indicaram numa revisão bibliográfica sobre enxofre, que na planta ele normalmente encontra-se nas proteínas, como componente dos aminoácidos cistina Cys-scy, cisteína CysH e metionina Met desempenhando funções vitais no metabolismo energético de gorduras e de transporte de electrões envolvidos na fotossíntese, na fixação de nitrogênio atmosférico e na redução de óxidos. Entretanto, na planta ele é absorvido activamente pelas raízes na forma predominante de anião sulfato através do fluxo de massa.

O dióxido de enxofre (SO_2), o trióxido de enxofre (SO_3) e o ião sulfato (SO_4^{2-}) têm importância como poluentes.

O sulfato absorvido transloca-se predominantemente na direcção acrópeta, ou seja, da base da planta para cima. A capacidade da planta em mover o enxofre na direcção basípeta, ou seja, de cima para baixo é muito pequena (Boletim técnico, 2000).

O SO₂ é um gás incolor com cheiro irritante. É altamente solúvel em água (11,3g/100ml). O dióxido de enxofre pode ser transportado pelo ar e reagindo com ozono e água originando ião sulfato (SO₄²⁻), segundo a equação:



Esta oxidação é mais rápida na presença de aerossóis aquosos na atmosfera (Epstein, 1990).

O SO₂ é extremamente tóxico para as plantas, inibindo a fotossíntese e causando danos nas folhas, quando presente em altas concentrações. Também pode estimular o crescimento das plantas quando presente em pequenas concentrações, provavelmente devido a disponibilidade baixa do enxofre nos solos (Epstein, 1990). Em alguns casos o enxofre tem uma importância relevante para as plantas, pois participa na síntese de proteínas, para além de que todas as proteínas vegetais o apresentam na sua composição. Contudo a deficiência desse elemento é maior em solos degradados, o que compromete ainda mais o desenvolvimento e a qualidade das plantas forragidas (Santos, 1996).

O SO₂ é um poluente atmosférico mais frequente e agressivo que se difunde para o interior da folha, através de estomas e existem evidências de que a absorção deste poluente por estomas é um importante factor na determinação da sensibilidade do poluente na planta (Clemente, 2003).

1.6.1 – CICLO DE ENXOFRE

O ciclo de enxofre (fig.1) inclui a importância da atmosfera como fonte do nutriente e também como local para onde podem ser perdidas, quantidades apreciáveis do elemento. O teor da matéria orgânica do solo e a taxa de transformações operadas por microorganismos determinam as quantidades do elemento disponível para as plantas.

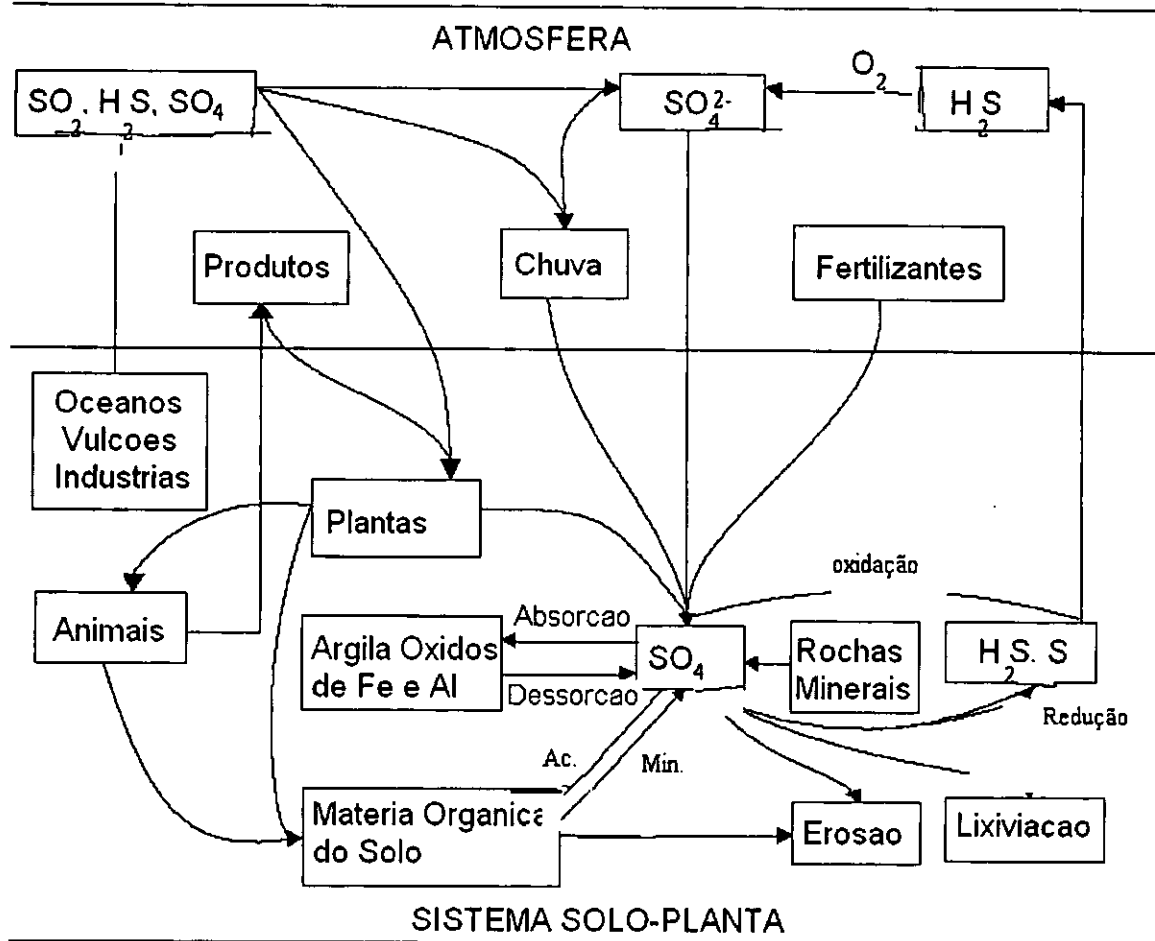


Figura 1. Ciclo de enxofre. Fonte: (Boletim técnico, 2000)

Onde Ac. Significa Acidificação e Min - mineralização

Conforme o estado redox do solo, predominarão formas oxidadas e reduzidas do enxofre, podendo o nutriente ser perdido por lixiviação, fenómeno que pode ser acompanhado pelo empobrecimento em bases, contribuindo para acidificação dos solos.

O ião sulfato (SO_4^{2-}) é a forma de enxofre absorvido pelas raízes das plantas, podendo também ser utilizado pelos organismos. Parte do ião sulfato (SO_4^{2-}) é retido e utilizado pelas raízes, mas a maior parte é transportada para a parte aérea da planta.

A síntese de uma proteína depende basicamente do enxofre. Entretanto, o enxofre é encontrado no solo em combinações de sais de sulfato, sulfetos e minério. Nas proximidades de vulcões, o enxofre é encontrado na sua forma original, razão pela qual há muitas unidades de exploração nestas regiões (Varenes, 2003).

O enxofre é um elemento pouco móvel na planta. As plantas deficientes em enxofre apresentam crescimento normal. Os sintomas característicos iniciam-se pelas folhas mais novas, na forma de manchas irregulares, verde-claras, distribuídas no limbo dos folíolos. Com o desenvolvimento das plantas as folhas tornam-se amarelas, e os folíolos caem facilmente, (Böhm, 1996) e (Etherington, 1974).

1.7 – ESPÉCIES DE PLANTAS MAIS COMUNS SENSÍVEIS AO ENXOFRE

Segundo Mudd & Kozlowski, (1975) e Doley, (2002) são seguintes as espécies mais sensíveis ao enxofre:

- Pepino (*Cucumis sativus*)
- Aveia (*Avena sativa*)
- Aipo (*Apium graveolens*)
- Espinafre (*Spinacea oleracea*)
- Goiaba (*Psidium guajava*)
- Pêssego (*Persea americana*)
- Milho (*Zea mays*)
- Tomate (*Lycopersicum esculentum*)
- Feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris*)

De entre estas culturas sensíveis a este poluente, para o presente estudo foram escolhidos o feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*) e tomate (*Lycopersicum esculentum*), por se tratar de culturas que têm grande importância na dieta alimentar no nosso continente.

1.7.1 – ORIGEM E IMPORTÂNCIA DAS CULTURAS

1.7.1.1 – Feijão vulgar (*Phaseolus Vulgaris*)

Pertence à família das leguminosas e possui o nome botânico de *Phaseolus vulgaris*. É uma planta anual e herbácea (Cermeño, 1977).

O feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris*) é originário das zonas elevadas da América Central, México, Guatemala e Costa Rica (INIA, 1987).

De entre as leguminosas comestíveis o feijão vulgar é uma das mais importantes devido a sua composição nutricional indispensável na dieta alimentar (Debouck *et al.*, 1984 citado por Canda, 1998). Segundo o mesmo autor, o conteúdo proteico do feijão vulgar calculado na base da matéria seca é de 22,5%. Contudo, por se tratar de uma leguminosa que apresenta elevados teores de proteínas, o feijão vulgar exige quantidades elevadas de enxofre para o seu desenvolvimento, pois o nutriente além de estar envolvido em processos enzimáticos e em reacções de oxi-redução, é um constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina (Marscher, 1995 citado por Furtini Neto *et. al.*, 2000).

O feijão vulgar é uma das mais importantes fontes de alimentação na África Oriental e Sul de África e é considerada como a segunda mais importante fonte de proteínas na dieta humana e a terceira mais importante fonte de calorías de todos produtos agrícolas do Sul de África e África Oriental.

Esta cultura prefere temperaturas moderadas, sendo a floração a fase mais crítica. Assim, a temperatura máxima durante a floração deve ser inferior a 30°C, por outro lado este não germina em condições de temperaturas inferiores a 10°C. O feijão vulgar é muito sensível a deficiência de água no solo (Rulkens, 1999).

1.7.1.2 – MILHO (*Zea mays*)

O milho é botanicamente chamado *Zea mays*. Desempenha um papel preponderante porque é a principal fonte de alimentação na África Oriental e Sul de África. A nível

mundial a produção do milho ocupa o terceiro lugar depois do trigo e do arroz (Poehlman, 1986 citado por Mulhanga, 2004).

Em Moçambique, o milho é produzido como cultura base pelos agricultores privados em grandes áreas de terras e em cultivo misto nas machambas familiares. A produção é praticamente destinada para o consumo das populações e uma pequena parte é usada para o consumo dos animais para suplementação da sua dieta (Mulhanga, 2004)

O milho, assim como as outras plantas cultivadas, não vive somente com nitrogênio, fósforo e potássio. O enxofre assim como o cálcio e magnésio são fundamentais para a obtenção de alta produtividade.

O enxofre é constituinte de aminoácidos e proteínas. Portanto, na falta do nutriente, as plantas de milho não conseguem incorporar o nitrogênio e produzem grãos de baixa qualidade.

A planta sadia contém nos seus tecidos 1 parte de enxofre para 12 a 15 partes de nitrogênio. Para tal, é necessário que a adubação seja feita com 1 parte de enxofre para cada 5 partes de nitrogênio garantindo a máxima produção de proteínas nos grãos (Fertilizantes Heringer, 1996).

É muito importante semear o milho dentro do período adequado. Contudo, ele é produzido em duas estações do ano. Na estação quente, têm-se conseguido bons rendimentos devido a uma distribuição regular das chuvas. O milho encontra-se geralmente consociado com outras culturas tais como: feijão nhemba, mandioca e girassol na época quente; e feijão manteiga e hortícolas na época fresca (Ministério de Agricultura, 1985).

1.7.1.3 – TOMATE (*Lycopersicum esculentum*)

O tomate pertence à família das salonáceas e tem o nome botânico de *Lycopersicum esculentum*. É uma das importantes hortícolas cultivadas no mundo (Carmeño, 1977).

Os oito maiores produtores de tomate são: China, Estados Unidos de América, Turquia, Egípto, Itália, Índia, Espanha e Brasil (Ribeiro e Rulkens, 1986).

O tomate é produzido principalmente na época fresca, pois quando produzido na época quente o seu rendimento é afectado devido ao agravamento da incidência de defeitos fisiológicos, pragas e doenças. Este facto leva a que os preços de tomate na época fresca sejam mais baixos em relação à época quente (Shah, 2000).

Segundo Ribeiro e Rulkens (1986), a planta de tomate tem crescimento óptimo num intervalo de temperatura entre 10 a 30°C. A faixa de 20 a 25° C favorece a germinação, enquanto a de 18 a 25°C ajuda o desenvolvimento vegetal. Temperaturas altas nocturnas também contribuem para o rápido crescimento da cultura. O tomate é uma cultura que exige quantidades de água suficiente, mas ressentem-se bastante quando se encontra em excesso. A absorção de nutrientes por esta planta é baixa até o aparecimento das primeiras flores e aumenta atingindo um máximo na fase de aparecimento e crescimento dos frutos, voltando a decrescer durante a maturação dos frutos. A percentagem da matéria seca (macronutrientes sem deficiência de enxofre) é de 1.0- 3.2%.

1.8 – MÉTODO DE ANÁLISE DE ~~SULFATO~~ ENXOFRE

O procedimento clássico para a determinação de enxofre na forma sulfato (SO_4^{2-}) em soluções extraídas a partir de plantas e solos baseia-se na precipitação de sulfato de bário (BaSO_4) que é seguidamente estimado por Gravimetria, Nefelometria, Turbidimetria, Colorimetria ou Espectrofotometria de absorção molecular, UV-VIS e por Florescência de Raio X (Allen, 1989).

Segundo a pesquisa bibliográfica, verificou-se que em vários trabalhos realizados em análise de enxofre nas plantas (vegetais) tem sido recomendado o uso do método de turbidimetria de sulfato de bário monitorado à 420nm por um Neflómetro, Turbidímetro ou por um Espectrofotómetro de UV-VIS. Contudo, para o presente trabalho foi adoptado uso do Espectrofotómetro UV-VIS CARY 100,1e, versão 9.0.

1.8.1 – TURBIDIMETRIA DE SULFATO DE BÁRIO

O método turbidimétrico é um procedimento aplicável para solos, plantas e águas onde é possível detectar cerca de 0.01mg de SO_4^{2-} em 50ml de solução. A determinação de sulfato empregando a reacção com cloreto de bário é um método clássico para determinação do anólito.

A turbidimetria do sulfato de bário, baseia-se na precipitação do enxofre em meio de ácido clorídrico pelo cloreto de bário, na forma de sulfato de bário (BaSO_4) e é medida em Colorímetro ou Espectrofotômetro na forma de transmitância ou absorvância, isto é, medição da atenuação da intensidade da força de um feixe de luz, como resultado de dispersão por partículas de sulfato em suspensão. Um relacionamento análogo é aplicado a lei de Lambert Beer (Allen, 1989).

$$\log (P_0/P) = kac \quad (1.1)$$

$$\text{onde } k=2,303\tau/c$$

P_0 e P são respectivamente as intensidades de feixe de luz que passa directamente antes e depois através de uma solução turva

a é a constante de proporcionalidade

c é a concentração das partículas sólidas

τ é o coeficiente e turbidade

A intensidade de radiação observada por um ângulo médio em particular, depende do número de partículas, sua dimensão, forma e o comprimento de onda de radiação.

1.8.2 – ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR (EAM)

Para a obtenção da curva de calibração dos padrões e leitura das amostras foi usado um espectrofotômetro de absorção molecular (Thomas, 1996).

A espectrofotometria de absorção molecular é definida como o estudo das interações entre as ondas electromagnéticas e a matéria nas zonas do visível (VIS) e ultravioleta (UV), através da medição da absorvância (A) do anólito presente em soluções contidas em pequenas células transparentes (cuvetas).

A espectroscopia de ultravioleta e visível tem aplicação em milhares de determinações desenvolvidas desde os anos passados, isto é, identificação e quantificação de uma variedade real de substâncias químicas e biológicas. Provou particularmente ser útil nas análises bioquímicas e é de importância vital no laboratório clínico e na maioria dos hospitais modernos onde são determinados vários componentes de amostras de sangue ou de urina. É aplicado ainda em estudos ambientais de poluentes, em trabalhos de ciências legais sobre drogas, e em conservação da qualidade de alimentos que consumimos (Thomas, 1996).

1.8.3 – MECANISMO DE ABSORÇÃO

A intensidade de absorção é definida a partir de uma grandeza chamada transmitância, que corresponde à razão da intensidade transmitida sobre a intensidade incidente (I/I_0). A intensidade de uma banda de absorção aumenta com a concentração da amostra, mas não necessariamente de modo linear. Para o caso de soluções concentradas, o desvio da linearidade pode ser grande, deixando de obedecer à lei de Lambert-Beer, isto é, a absorvância não é directa e linearmente proporcional à concentração (Skoog, 1998).

Ao se fazer incidir sobre moléculas uma radiação com frequência característica, as moléculas irão absorver essa radiação. Assim, as moléculas excitadas voltam ao seu estado inicial de energia, parcialmente por emissão à mesma frequência (Skoog, 1998).

A concentração C da substância a analisar é directamente proporcional a absorvância (A), como representado pela equação:

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} = \epsilon \times d \times C \quad (1.0)$$

onde: A – Absorvância; ϵ - Absortividade molar
 T – Transmitância; C – Concentração
 d – Espessura da camada absorvente.

1.8.4 – ESPECTROFOTOMETRO UV-VIS CARY 100, 1e, versão 9.0

Para o presente trabalho, para a leitura das absorvâncias foi usado o espectrofotômetro de Uv-Vis Cary 100e, versão 9.0 apresentado na (figura 3), com a exceção de que o aparelho usado não contém o pré-monocromador (Grelha1).

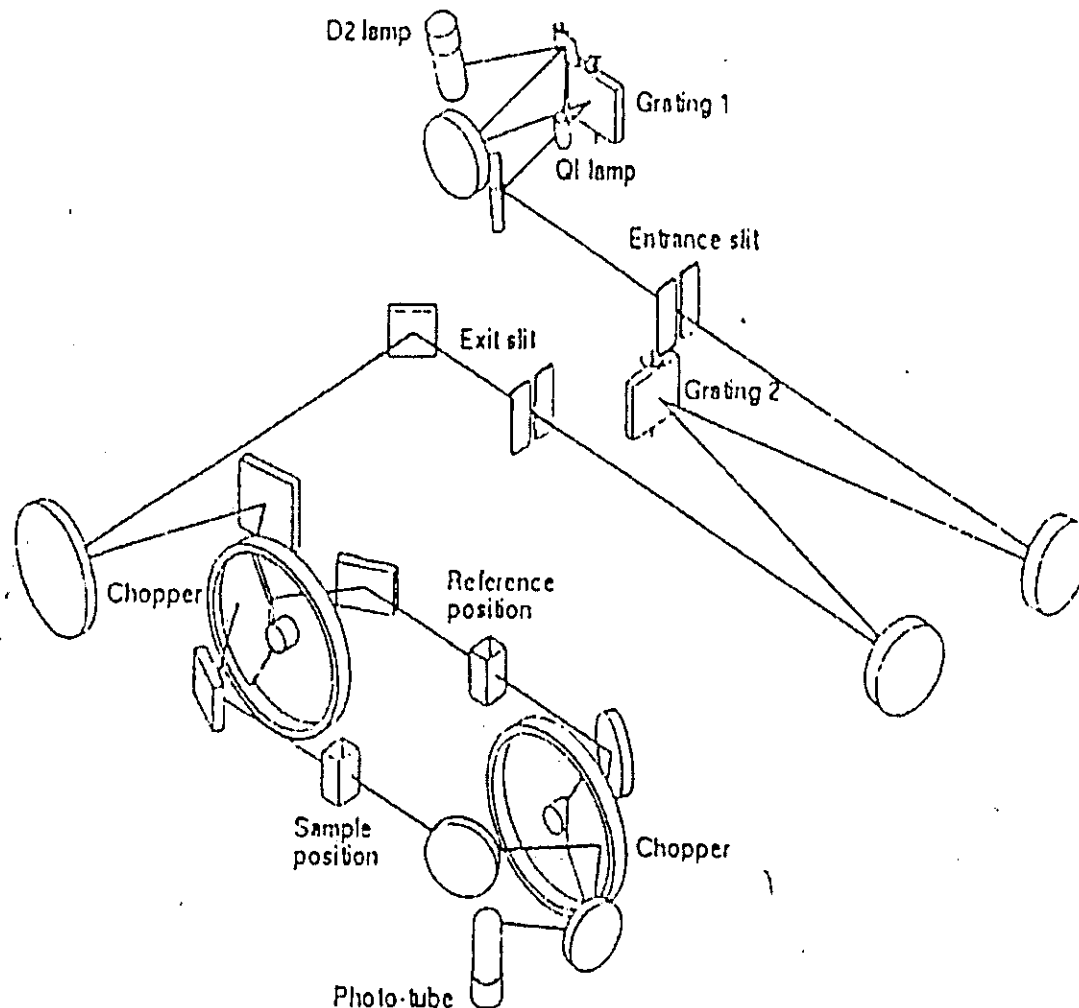


Figura 3. Esquema óptico do espectrofotômetro de UV-Vis Cary100, 1e, versão 9.0

Fonte: Dimande (2003)

1.8.5 – COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DO ESPECTROFOTÓMETRO

Uv-Vis Vary 100, 1e, versão 9.0

➤ *Sistema óptico da fonte de radiação*

A luz emitida pela lâmpada selecionada é reflectida pelo espelho da fonte para a fenda de entrada do monocromador.

➤ *Filtro de rodas*

É um filtro vidrado colorido que se posiciona antes da entrada no monocromador. Este filtro isola a região de comprimento de onda, facilitando assim o trabalho do monocromador. O filtro de rodas é constituído por uma série de filtros, em que o filtro em uso num certo instante depende do comprimento de onda selecionado.

➤ *Monocromador*

O monocromador é o coração de qualquer espectrofotômetro de UV-Vis. A fonte de luz é dirigida através de uma fenda de entrada para o monocromador. Esta fenda de entrada serve para isolar um feixe de luz da largura de um lápis, que é direccionada para o monocromador. O tamanho da fenda de saída é determinado quando se declara o valor da largura da banda espectral (“SBW”) no programa.

➤ *“Chopper”*

A função do “chopper” é de alternativamente dirigir o feixe de luz para duas direcções diferentes, para a amostra e referência (como se de dois feixes se tratasse). Uma das secções do “chopper” é um espelho e reflecte o feixe de luz para a referência (o branco), a outra é oca e permite que o feixe de luz passe directamente para a amostra, enquanto que a última é completamente escura, absorvendo toda luz que nela incidir (Dimande, 2003).

1.9 – ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no viveiro (na estufa) do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane. O solo usado foi retirado na zona industrial da Matola próximo do Posto Administrativo da Matola-Rio.

1.9.1 – DESENHO EXPERIMENTAL

O desenho experimental apresentado na tabela 1, ilustra o tratamento de enxofre usado na forma de sulfato de potássio (K_2SO_4) em diferentes concentrações para as culturas de feijão, milho e tomate.

Tabela 1: Desenho experimental representando o primeiro grupo de plantas, num total de três perfazendo um total de 108 vasos. Os números 0, 15, 30 e 45mg/l, representam as concentrações de enxofre introduzidos no grupo de três vasos para o tratamento de cada cultura. A letra V representa o vaso com solo e os valores 1, 2 e 3 representam o número de vasos usados em cada tratamento para as três culturas.

Tratamento de S(mg/l)	Planta de tomate	Planta de feijão	Planta de milho
0	V ₁₋₀ V ₂₋₀ V ₃₋₀	V ₁₋₀ V ₂₋₀ V ₃₋₀	V ₁₋₀ V ₂₋₀ V ₃₋₀
15	V ₁₋₁₅ V ₂₋₁₅ V ₃₋₁₅	V ₁₋₁₅ V ₂₋₁₅ V ₃₋₁₅	V ₁₋₁₅ V ₂₋₁₅ V ₃₋₁₅
30	V ₁₋₃₀ V ₂₋₃₀ V ₃₋₃₀	V ₁₋₃₀ V ₂₋₃₀ V ₃₋₃₀	V ₁₋₃₀ V ₂₋₃₀ V ₃₋₃₀
45	V ₁₋₄₅ V ₂₋₄₅ V ₃₋₄₅	V ₁₋₄₅ V ₂₋₄₅ V ₃₋₄₅	V ₁₋₄₅ V ₂₋₄₅ V ₃₋₄₅

2.0 – OBJECTIVOS

2.1 – GERAL

- Estudar os efeitos do feijão vulgar, milho e tomate na fitorremediação de um solo contaminado por sulfato.

2.2 – ESPECÍFICOS

- Determinar a susceptibilidade das plantas de feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*) e tomate (*Lycopersicum esculentum*) através da avaliação dos seus parâmetros de crescimento.
- Determinar o teor do enxofre em termos de concentração e percentagem de enxofre presente na materia seca.

3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 – Materiais

- Vidros de relógio
- Agitador magnético
- Pipetas graduadas e volumétricas
- Balões volumétricos
- Vasos plásticos
- Estufa
- Papel caqui
- Erlenmeyer de 125ml
- Cadinhos de teflon

3.1.2 – Aparelhos

- Espectrofotômetro de Absorção Molecular-Cary 100, 1e, versão 9.0, varian, (made in USA)
- Balança electrónica - Analytical standard OHAUS, AS60 com precisão de $\pm 0.0001\text{mg}$, (made in USA)

- Medidor da área foliar, Leaf Area Meter, modelo LI-COR, inc Lincoln, Nebraska
USA: LI-3100 Area Meter

3.1.3– Reagentes

- HNO₃ 70%
- K₂SO₄ p.a
- BaCl₂. 2H₂O puro 99%
- HClO₄ 72%
- HCl 37%
- Água desionizada

p.a – reagentes para análise

4.0 – MONTAGEM DO ENSAIO

O ensaio foi montado numa estufa semi-aberta. Foi usado um total de 108 vasos divididos em grupos de três, isto é, cada cultura com 12 vasos contendo em média duas plantas. O delineamento foi casual 3x4 (três tipos de plantas e quatro doses de enxofre). O solo foi posto a secar durante 48 horas à temperatura ambiente e depois peneirado para eliminar possíveis ervas e pedras. Após o enchimento dos vasos de plástico, o solo recebeu uma adubação básica por adição de 50ml de uma solução nutritiva contendo 30mg de N, 100mg de P, 125mg de K, 2mg de B, 1mg de Zn e 0.5 de Cu, na forma de NH₄NO₃, KH₂PO₄, KCl, H₃BO₃, ZnCl₂ e CuSO₄ 5H₂O respectivamente, para um litro de solução. A sementeira foi feita 24horas após a adubação básica, num total de 12 vasos por cultura totalizando três grupos (conforme o desenho experimental ilustra a tabela 1) e regou-se com diferentes concentrações de enxofre na forma de sulfato de potássio de (K₂SO₄), isto é, 0; 15; 30 e 45 mg S/l. Até as primeiras três semanas as regas eram de dois em dois dias com água da torneira, passando a ser diárias até ao fim da experiência.

4.1 – PLANO DE COLHEITA

Após a sementeira, foram feitas três colheitas destrutivas de quatro em quatro semanas, sendo 8 plantas em cada concentração totalizando 32 por cultura. Em cada uma das colheitas as plantas depois de colhidas foram lavadas com água da torneira separadamente por cultura e foram separadas em folhas, caules e raízes.

—Parâmetros Medidos

a) Folhas

- Determinação da área foliar, usando o instrumento de medição Leaf Area Meter, modelo LI-COR, inc Lincoln, Nebraska USA: LI-3100 Area Meter.
- Pesos frescos e secos através da pesagem imediata e após 48 horas de secagem numa estufa a 80°C, respectivamente.

b) Caules

- Pesos frescos e secos através da pesagem imediata e após 48 horas de secagem numa estufa a 80°C, respectivamente.

c) Raízes

- Pesos frescos e secos através da pesagem imediata e após 48 horas de secagem numa estufa a 80°C, respectivamente.

Após pesagem imediata e secagem a 80°C das folhas, caules e raízes, foram novamente submetidas à secagem a 105°C até peso constante; seguidamente foram moídas num moinho apropriado (*RETFCHMÜHLE*), usando um crivo com 2mm de diâmetro e mineralizadas por digestão de uma mistura de HNO₃ e HClO₄ segundo (Nogueira *et al.*, 1997) e (Zagatto, 1981 citado por Moraes *et al.*, 2002)

5.0 – PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES

5.1 – Preparação da amostra (extracto vegetal)

Após a secagem as folhas, caules e raízes foram moídas num moinho apropriado de modo a facilitar a digestão. Foram pesados aproximadamente 250-500mg (dependendo da

quantidade de matéria seca produzida) num copo de teflon, humedecendo com algumas gotas de água desionizada. Adicionou-se em seguida 6ml da mistura de ácidos concentrados de HNO_3 (70%) e HClO_4 (72%) numa proporção de 2:1(v/v), aquecendo numa placa de aquecimento sobre um nicho e deixando evaporar até a secura com a libertação de fumos branco de HClO_4 . Após o arrefecimento, o resíduo foi dissolvido com uma porção de água desionizada, voltando a aquecer suavemente por alguns minutos. Por último depois do resíduo se dissolver completamente, foi de novo arrefecido e filtrado para eliminar grãos de areia que tenham ficado presos no momento da lavagem do material fresco. Lavou-se o copo de teflon e do papel de filtro com pequenas porções de água desionizada várias vezes de modo que não houvesse perda da substância a analisar e transferiu-se para um balão de 50ml (Nogueira *et. al.*, 1997) e (Zagatto, 1981 citado por Moraes *et. al.*, 2002).

5.2 – Soluções para leituras

a) Solução padrão contendo 1000 ppm de enxofre

Pesou-se 5.434g de K_2SO_4 p.a, previamente seco na estufa, em seguida dissolveu-se num copo com água desionizada e transferiu-se para um balão de 1000ml e completou-se o volume até à marca.

b) Solução de ácido clorídrico 6.0N (contendo 20ppm de enxofre)

Num balão volumétrico de 1000ml, adicionou-se 200ml de água desionizada em seguida adicionou se 500ml de HCl 37% ($d=1.19\text{g/l}$) e 0.1087g de K_2SO_4 previamente seco na estufa durante duas horas à temperatura de 110°C . Misturou-se por agitação até a dissolução completa do sal e completou-se até ao volume final de 50ml com água desionizada.

c) Solução padrão:

Foram preparadas soluções padrão de 0.0, 10, 25, 50, 75 e 100 ppm de enxofre num volume total de 100ml de cada, pipetou-se 0.0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 e 10ml respectivamente

da solução padrão de 1000ppm de enxofre, para balões de 100ml e completou-se até ao volume final com água desionizada.

d) Procedimento para a leitura dos padrões e da amostra

Pipetou-se separadamente uma alíquota de 10ml das soluções padrão de 0.0, 10, 25, 50, 75 e 100ppm de enxofre, para um balão de 50ml, adicionou-se 1ml da solução de HCl 6.0N (contendo 20ppm de S)em seguida adicionou-se aproximadamente 500mg de cristais finos de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ (que passavam por um crivo de 0.75mm de diâmetro ficando retidos no de 0.25mm); agitou-se por três segundos e deixou-se repousar durante um (1) minuto e fez-se a leitura no espectrofotômetro acima indicado a 420nm (Zagatto, 1981 citado por Moraes *et. al.*, 2002).

5.3– Determinação do teor de sulfato no solo.

A determinação do teor de sulfatos nos solos foi feita pelo método gravimétrico (Especificações 157, 1964).

A análise de diferentes solos foi realizada para verificar a presença de sulfatos (tabela 2).

Tabela 2: Teores de sulfato em percentagem existentes no solo da Matola Rio antes da introdução de diferentes concentrações de enxofre, no solo da Matola Rio no fim da experiência, no solo da estufa e no solo de arredores da praia.

Amostras de solo	Teor de SO_4^{2-} (%)
Solo da Matola Rio antes da introdução do poluente	1.55
Solo da Matola Rio no fim da experiência	0.05
Solo de arredores da praia	0.04
Solo da estufa (viveiros)	0.03

A análise do solo da estufa (viveiros) e o de arredores da praia foi feita para dar uma idéia da presença de sulfatos numa zona distante das indústrias e a presença de sulfatos transportados pelo oceano, respectivamente.

6.0 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO

6.1.1 – Razão do peso da raiz pela parte aérea (RPRPA)

Foi determinado como o peso seco da raiz (PSR) por peso seco da parte aérea da planta (PSPA) de acordo com (Fitter & Hay, 1981 citado⁵ por Siteo, 2003).

$$RPRPA = PSR / PSPA \quad (2.0)$$

6.1.2 – Razão da área foliar (RAF)

Foi determinado como o quociente entre a área foliar (AF) e o peso seco total da planta (PST) de acordo com (Fitter & Hay, 1981 citado⁵ por Siteo, 2003).

$$RAF = AF / PST \quad (2.1)$$

6.1.3 – Conteúdo de água nas folhas (CAF)

Foi determinado segundo as equações de (Garmier e Laurent, 1994, citados por Magaia, 2001).

$$CAF = (Pff - Psf) / Pff \quad (2.2)$$

Onde:

Pff é o peso fresco da folha

Psf é o peso seco da folha

6.1.4 – Conteúdo de água nos caules (CAC)

Segundo as equações de (Garmier e Laurent, 1994, citados por Magaia, 2001).

$$CAC = (Pfc - Psc) / Pfc \quad (2.3)$$

Onde:

Pfc é o peso fresco do caule

Psc é o peso seco do caule

6.1.5 – Conteúdo de água nas raízes (CAR)

Segundo as equações de (Garmier e Laurent, 1994, citados por Magaia, 2001).

$$CAR = (Pfr - Psr) / Pfr \quad (2.4)$$

Onde:

Pfr é o peso fresco da raiz

Psr é o peso seco da raiz

6.2 – CÁLCULO DO TEOR DE ENXOFRE

Após a realização das leituras das absorvâncias e das concentrações (anexo) no espectrofotômetro de absorção molecular, foi calculado o teor de enxofre usando as seguintes fórmulas:

$$C = C_1 \times V_T / V_A \quad (2.5)$$

Onde: C é a concentração real da amostra

C_1 é a concentração lida no aparelho em mg/l

V_T é o volume final da solução amostra

V_A é o volume tomado

$$m_1 = C \times V_F \quad (2.6)$$

Onde: m_1 massa real da amostra

C será a concentração calculada

V_F é o volume final para leitura

$$\%S = m_1 / m_0 \times 100 \quad (2.7)$$

onde: S quantidade de enxofre

m_1 é a massa real da amostra

m_0 é a massa da matéria seca usada

Exemplo de cálculo:

Amostra F₁: Folhas de feijão vulgar

Foram pesados 250mg da matéria seca num volume final de 25ml.

a) $C_{F1} = 43\text{mg/l} \times 25\text{ml} / 5\text{ml} = 215\text{mg/l}$

$m_{F1} = 215\text{mg/l} \times 0.025\text{l} = 5,375\text{mg}$

b) $\% S = 5,375\text{mg/l} \times 250\text{mg} \times 100$

$S_{F1} = 2,15\%$

³
6.2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos durante a experiência foram analisados pelos pacotes estatísticos Statistix e Statistica, disponíveis no Departamento de Ciências Biológicas, usando a análise de variância (Anova one way) para verificar a existência de diferenças entre as médias nos tratamentos das culturas e em caso da existência de diferenças, as médias foram discriminadas por meio de teste de comparações múltiplas (Tukey a 5% de probabilidade)

7.0 – RESULTADOS

Os resultados obtidos nas fases de crescimento estão apresentados em forma de gráficos de barras.

7.1 – Peso seco da planta total, das folhas, dos caules e das raízes do feijão vulgar

7.1.1– Peso seco da planta total

O peso seco da planta total do feijão vulgar mostrou um aumento da 4ª à 8ª semana e uma diminuição na 12ª semana (fig.4a). Aproximadamente na 11ª semana, verificou-se um amarelecimento e queda das folhas em algumas plantas.

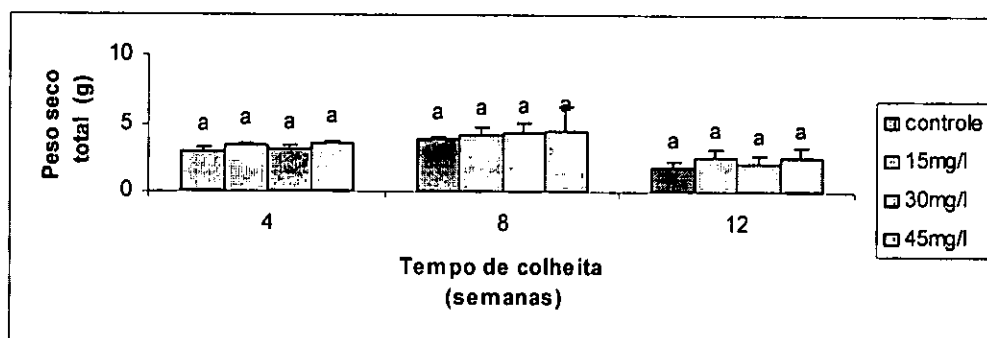


Figura 4a. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco da planta total do feijão vulgar, na 4ª, 8ª e 12ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey 5% de probabilidade).

As mudanças observadas não foram, contudo, estatisticamente significativas como indica a figura 4a.

7.1.2 – Peso seco das folhas

O peso seco das folhas do feijão vulgar mostrou uma ligeira diminuição da 4ª à 8ª semana em todos tratamentos. Enquanto que em relação à 8ª e 12ª semana a diminuição foi mais acentuada (fig. 4b).

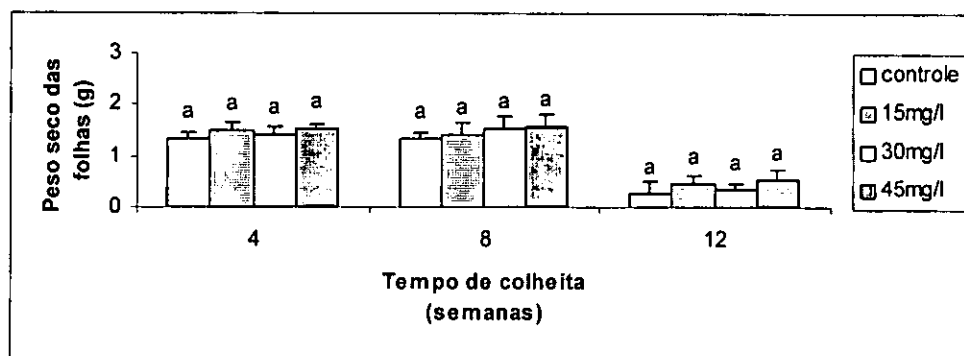


Figura 4b. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das folhas do feijão vulgar, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesmas letras indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Apesar das reduções verificadas entre 4^a, 8^a e 12^a semana estas não foram estatisticamente significativas.

7.1.3 – Peso seco dos caules

O peso seco dos caules do feijão vulgar mostrou um aumento da 4^a a 8^a semana e uma ligeira diminuição no fim do ciclo (fig. 4c).

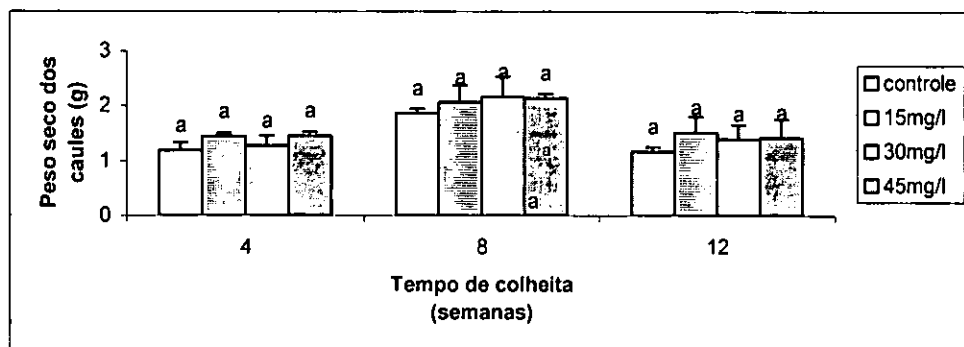


Figura 4c. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco dos caules do feijão vulgar, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5 % de probabilidade).

Como mostra a figura 4c, e à semelhança do peso seco das folhas as variações verificadas nos caules não foram estatisticamente significativas.

7.1.4 – Peso seco das raízes

Verificou-se que o peso seco das raízes do feijão vulgar mostrou comportamento semelhante ao dos caules (fig.4d).

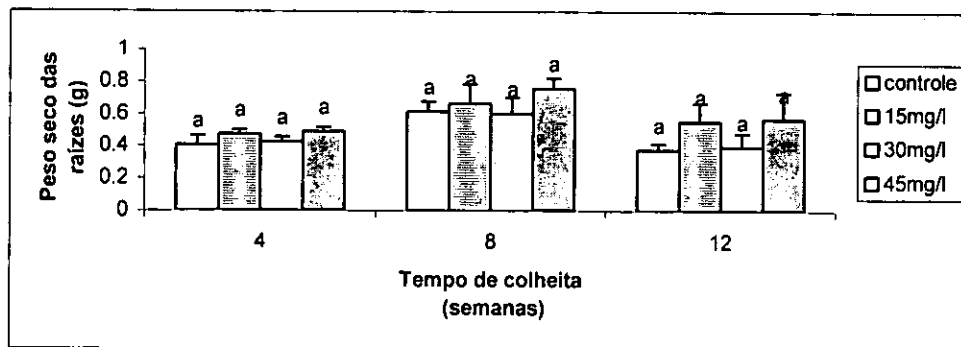


Figura 4d. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das raízes do feijão vulgar, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A figura 4d, mostra uma diminuição na 12^a semana em relação à 8^a semana. No controle e no tratamento 30mg/l a diminuição foi relativamente mais acentuada.

Ao contrário dos pesos secos das restantes partes da planta, o peso seco das raízes teve a tendência de mostrar uma ligeira variação entre a 4^a, 8^a e 12^a semana, contudo, as diferenças não foram significativas.

7.1.5 – Área foliar do feijão vulgar

A área foliar do feijão vulgar mostrou maiores valores na 4^a semana, uma ligeira redução na 8^a semana e uma redução acentuada na 12^a semana (fig.4e).

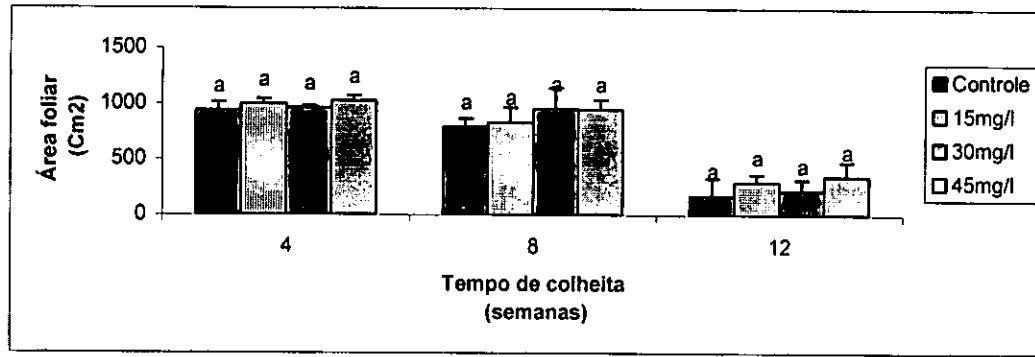


Figura 4e. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre na área foliar do feijão vulgar, na , na 4ª, 8ª e 12ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As variações verificadas ao longo da experiência em todos tratamentos não foram estatisticamente significativas

7.1.6 – Teor de enxofre na planta total, nas folhas, caules e raízes do feijão vulgar

O teor de enxofre na planta total do feijão vulgar mostrou um aumento gradual (Fig.4f)

longa de experiência

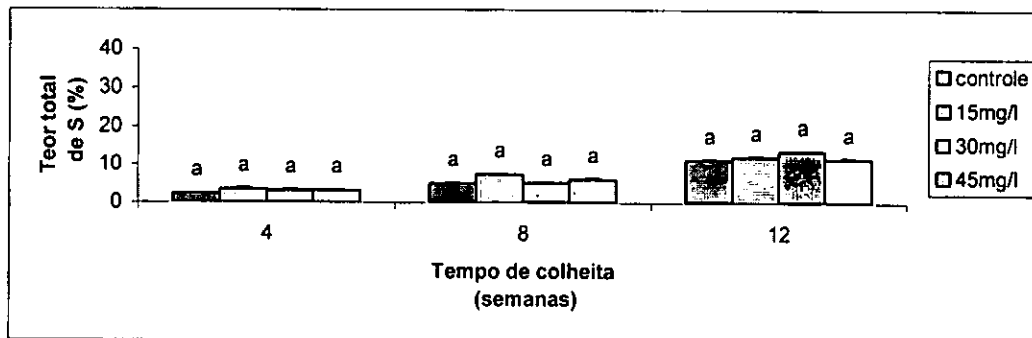


Figura 4f. Teor de enxofre na planta total em diferentes tratamentos no feijão vulgar, na 4ª, 8ª e 12ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5 % de probabilidade).

Na 12ª semana as plantas tiveram tendência de absorver mais enxofre do que na 4ª e 8ª semana. Contudo, esta tendência não foi estatisticamente significativa.

7.1.7– Teor de enxofre nas folhas

O teor de enxofre nas folhas do feijão vulgar mostrou uma redução na 8ª semana em relação à 4ª semana e um aumento na 12ª semana (fig.4g).

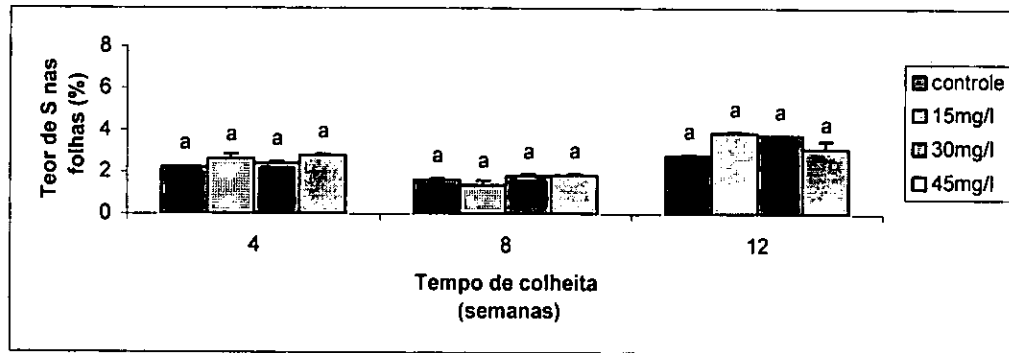


Figura 4g. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas folhas do feijão vulgar, na 4ª, 8ª e 12ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na 12ª semana, as plantas com os tratamentos 15 e 30mg/l de enxofre mostraram maior valores nos teores de enxofre em relação ao controle e tratamento 45mg/l.

À semelhança do teor de enxofre total na planta na 12ª semana, o teor de enxofre na folha mostrou maior percentagem, apesar de as diferenças não terem sido estatisticamente significativas.

7.1.8 – Teor de enxofre nos caules

O teor de enxofre nos caules do feijão vulgar mostrou um aumento na absorção deste poluente ao longo da experiência (fig.4h).

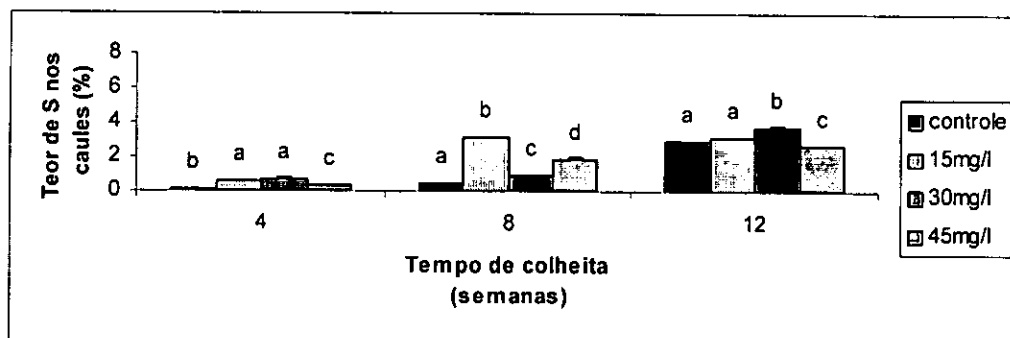


Figura 4h. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nos caules do feijão vulgar, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A partir da figura 4h, pode-se ver que na 8^a semana o tratamento 15mg/l mostrou maior percentagem de acumulação em relação aos restantes. Na 12^a semana todos tratamentos mostraram um aumento. Contudo, apesar deste aumento gradual do teor de enxofre da 4^a à 12^a semana, este foi estatisticamente significativo.

7.1.9 – Teor de enxofre nas raízes

À semelhança ao teor de enxofre da planta total e dos caules, as raízes do feijão vulgar mostraram também um aumento gradual da 4^a à 12^a semana (fig.4i).

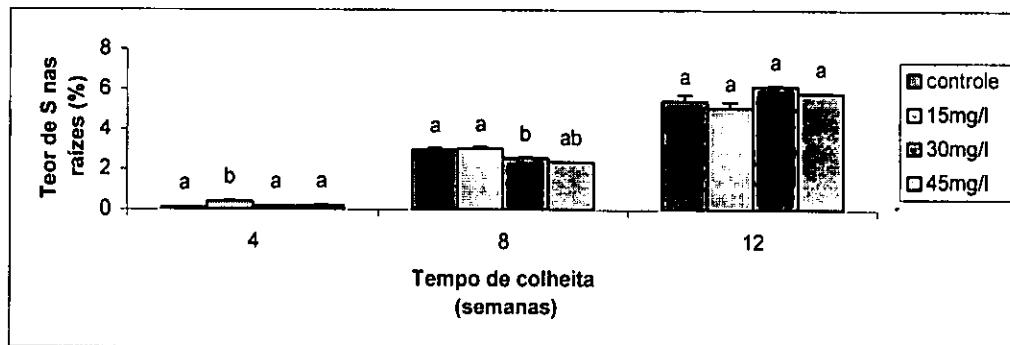


Figura 4i. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas raízes do feijão vulgar, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey).

Como indica a figura 4i, este aumento gradual do teor de enxofre nas raízes entre os tratamentos na 12^a semana não mostrou, contudo, diferenças significativas, sendo que na 4^a e 8^a semana entre os tratamentos as variações verificadas foram estatisticamente significativas.

7.2 – Peso seco da planta total, das folhas, dos caules e das raízes da planta de milho

7.2.1 – Peso seco da planta total

O peso seco total do milho mostrou um aumento da 4^a à 12^a semana (fig.5a).

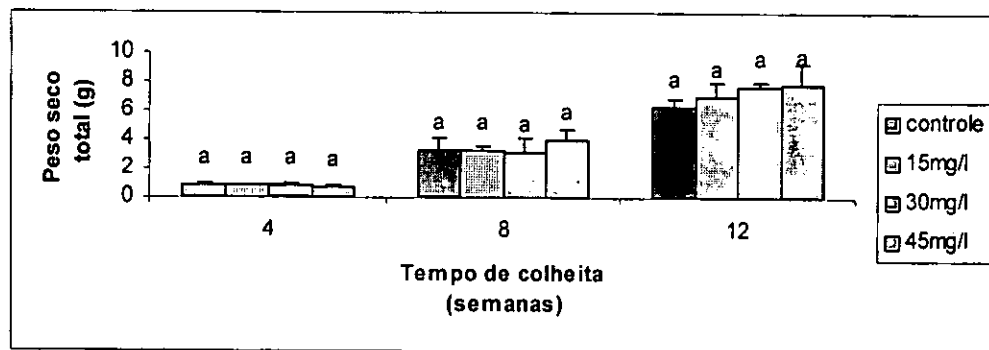


Figura 5a. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco total do milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na 12^a semana nota-se que o peso seco aumentou em função da concentração de enxofre. O aumento gradual verificado no peso seco total da planta do milho ao longo da experiência não mostrou diferenças significativas.

7.2.2 – Peso seco das folhas

À semelhança ao peso seco da planta total, o peso seco das folhas no milho também mostrou um aumento a partir da 4^a semana até a 12^a semana (fig.5b)

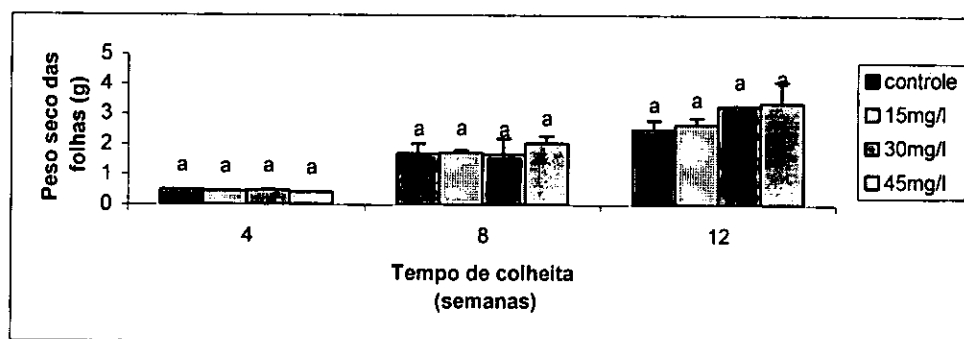


Figura 5b. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das folhas de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Apesar das diferenças não terem sido estatisticamente significativas, o aumento do peso das folhas da 4^a à 8^a semana foi mais acentuado do que da 8^a à 12^a semana.

7.2.3 – Peso seco dos caules

De modo semelhante às folhas, o peso seco dos caules no milho mostrou um aumento ao longo da experiência. A 12^a semana destaca-se por um aumento em função da dose de enxofre introduzida no solo (fig.5c).

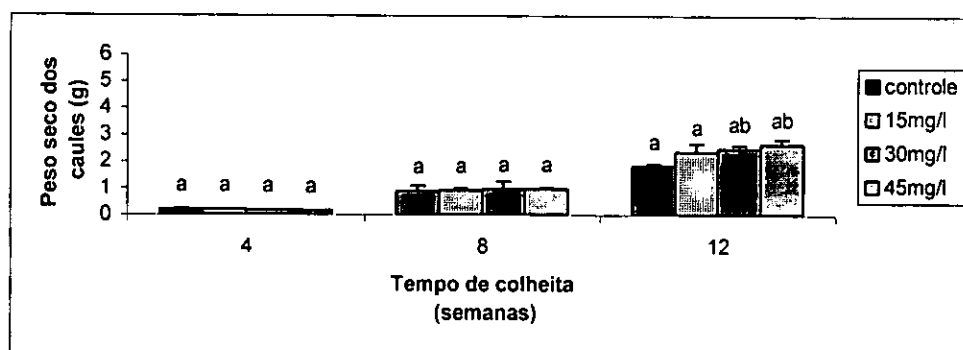


Figura 5c. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco dos caules de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Cada barra representa a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na 12^a semana, como mostra a figura 5c, as diferenças do peso seco dos caules, foram estatisticamente significativas.

7.2.4 – Peso seco das raízes

O peso seco da raiz do milho, mostrou um comportamento semelhante em relação ao peso seco das folhas e dos caules da planta do milho com um aumento desde a 4^a até 12^a semana (fig.5d).

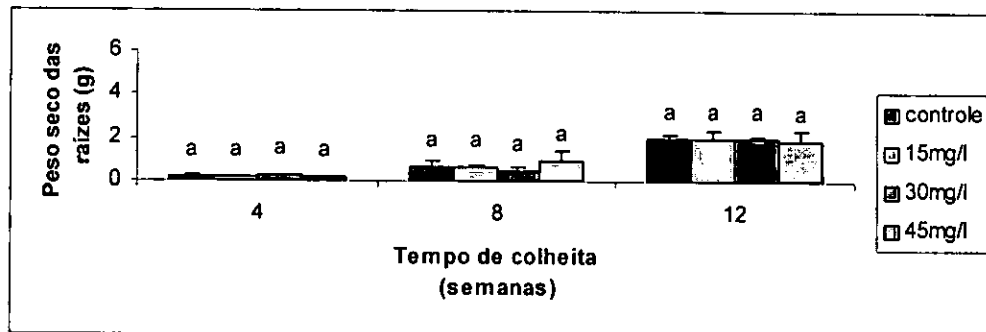


Figura 5d. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das raízes de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Este peso seco das raízes do milho, contrariamente ao peso seco dos caules, não foi estatisticamente significativo.

7.2.5 – Área foliar do milho

A área foliar do milho caracterizou-se por um aumento ao longo da experiência (fig.5e).

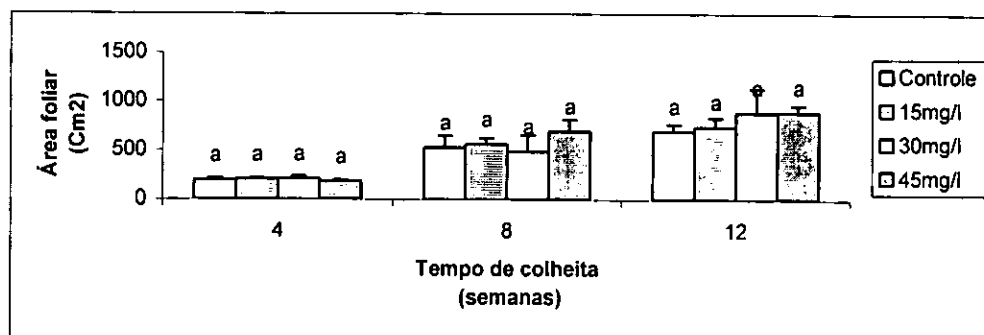


Figura 5e. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre na área foliar do milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na figura 5e, o aumento verificado foi mais acentuado entre 4^a e 8^a semana, contrariamente ao verificado entre a 8^a e 12^a semana. Contudo, este aumento, não foi estatisticamente significativo.

7.2.6 – Teor de enxofre na planta total, das folhas, caules e raízes do milho

7.2.6.1 – Teor de enxofre na planta total

O teor total de enxofre absorvido pela planta de milho mostrou um aumento ao longo da experiência, contudo notou-se uma redução na 12^a nos tratamentos controle e 30mg/l (Fig.5f).

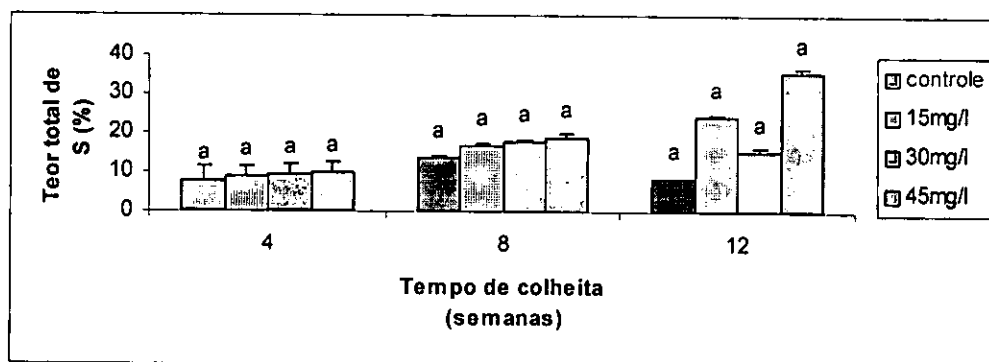


Figura 5f. Teor de enxofre na planta total em diferentes tratamentos no milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a semeadura. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Apesar de a redução no controle e 30mg/l ter sido próxima dos níveis obtidos na 4^a e 8^a semana, respectivamente, este aumento não foi estatisticamente significativo.

7.2.7 – Teor de enxofre nas folhas

O teor de enxofre nas folhas do milho mostrou um ligeiro aumento da 4^a à 8^a semana (fig.5g).

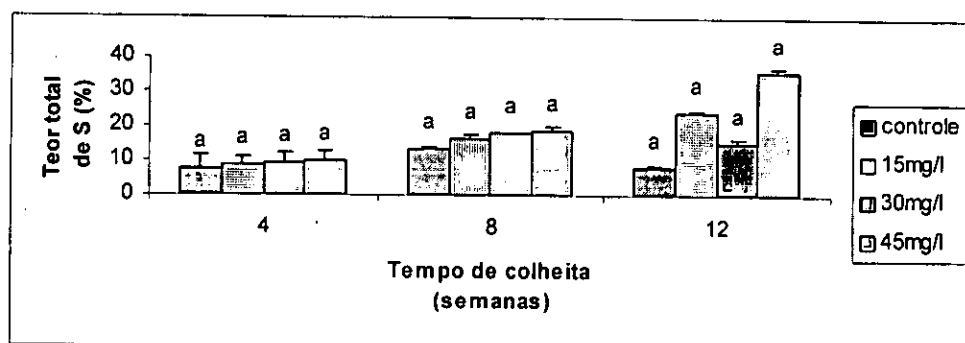


Figura 5g. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas folhas de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A figura 5g. mostra que o teor de enxofre na concentração 15mg/l na 12^a semana foi mais acentuado em relação aos restantes tratamentos, ao contrário da concentração de 30mg/l que mostrou uma ligeira diminuição. As diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos só se verificaram na 12^a semana, pois na 4^a e 8^a semana os teores de enxofre nas folhas não foram estatisticamente significativas.

7.2.8 – Teor de enxofre dos caules

Os teores de enxofre nos caules do milho aumentaram da 4^a à 8^a semana, enquanto que na 12^a semana o controle mostrou uma redução em relação ao controle na 4^a e 8^a semana. Da 8^a à 12^a semana observou-se uma redução do teor de enxofre nos caules no tratamento 15mg/l e um aumento acentuado no tratamento 45mg/l (fig.5h).

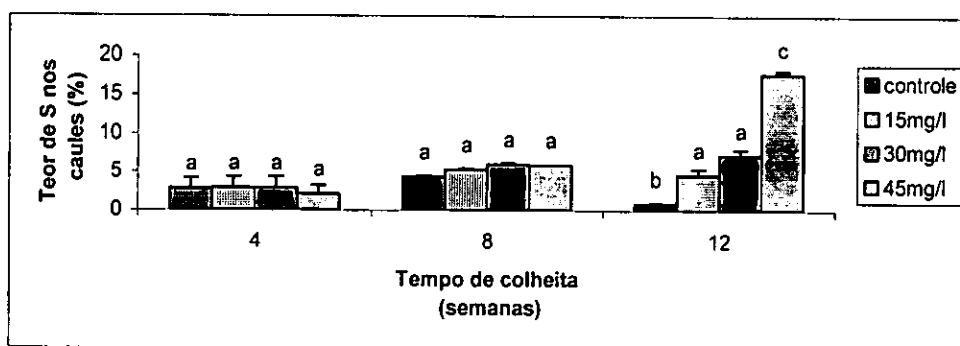


Figura 5h. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nos caules de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como indica a figura 5h

O aumento acentuado do teor de enxofre no tratamento 45mg/l na semana 12 e redução no controle em relação aos tratamentos 15 e 30mg/l não foi estatisticamente significativo.

7.2.9 – Teor de enxofre ns raízes

O teor de enxofre nas raízes de milho mostrou aumento significativo da 4^a à 8^a semana. Na 12^a semana foram obtidos teores significativamente mais baixos em relação à 8^a semana no controle e no tratamento de 15mg/l (fig.5i).

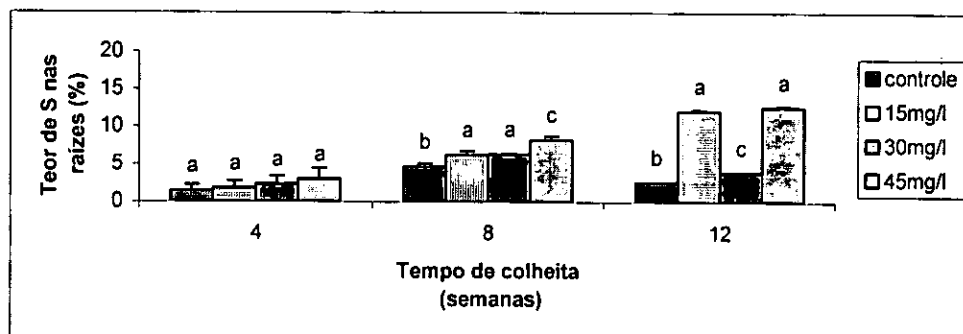


Figura 5i. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas raízes de milho, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As mudanças verificadas nos teores de enxofre nas raízes do milho da 8^a à 12^a semana mostraram ser estatisticamente significativas.

7.3 – Peso seco da planta total, das folhas, dos caules e das raízes do tomate

7.3.1 – Peso seco da planta total

O peso seco total da planta de tomate mostrou um aumento ao longo da experiência (fig.6a).

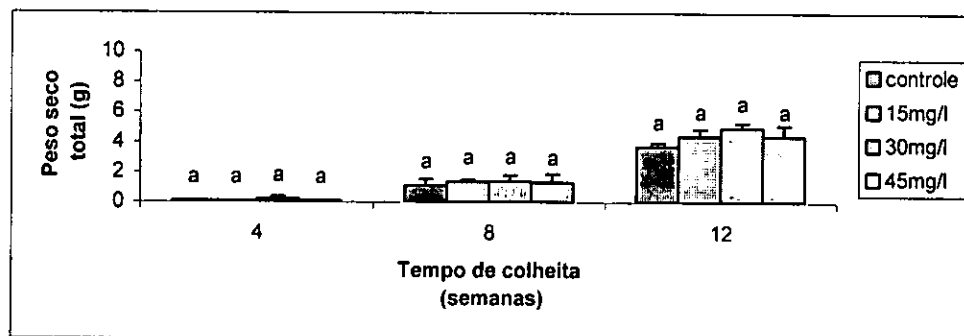


Figura 6a. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco total do tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Os pesos secos obtidos na 4^a semana foram muito reduzidos, contudo foram aumentando ao longo da experiência com valores máximos na 12^a semana. Estes aumentos não foram estatisticamente significativos.

7.3.2 – Peso seco das folhas

As folhas de tomate mostraram um aumento do peso seco ao longo da experiência, à semelhança do que foi verificado com o peso da planta total (fig.6b).

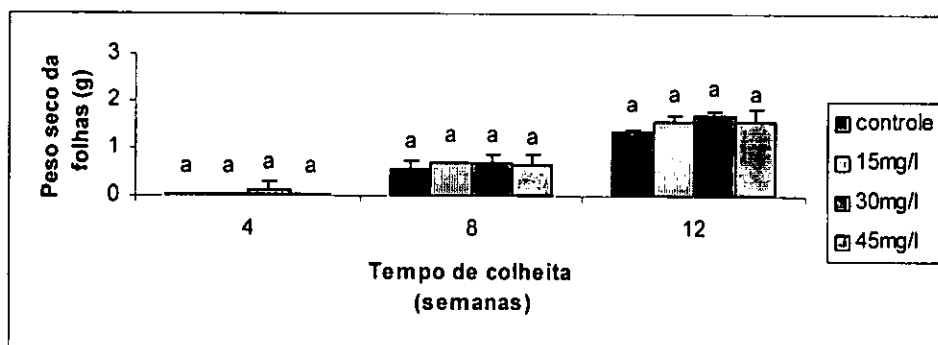


Figura 6b. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das folhas do tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Este aumento ao longo da experiência, como mostra a figura 6b, não foi estatisticamente significativo.

7.3.3 – Peso seco dos caules

Os pesos secos dos caules à semelhança ao peso seco total da planta e das folhas mostraram um aumento gradual ao longo da experiência (fig.6c).

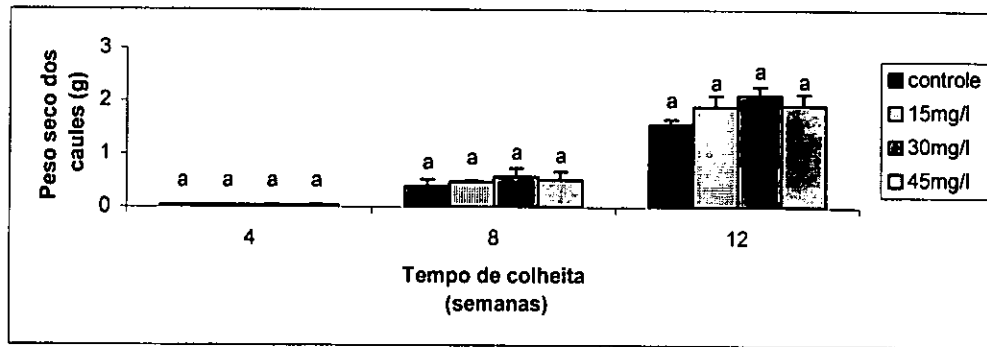


Figura 6c. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco dos caules do tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A figura mostra que o aumento gradual foi mais acentuado da 8^a à 12^a semana, apesar de não ter sido estatisticamente significativo.

7.3.4 – Peso seco das raízes

Foi verificado que assim como o peso seco da planta total, das folhas e dos caules, o aumento do peso seco das raízes ao longo da experiência foi também gradual (Fig.6d).

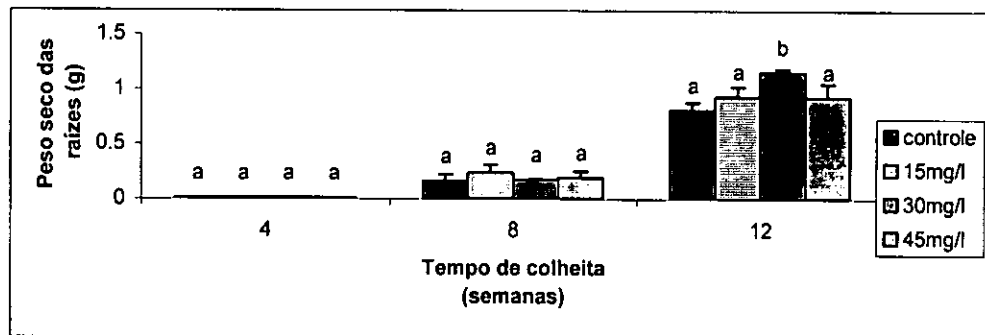


Figura 6d. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre no peso seco das raízes do tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O aumento verificado na figura 6d, foi estatisticamente significativo na 12^a semana, com os tratamentos 15 e 45mg/l, mostrando valores de pesos semelhantes.

7.3.5 – Área foliar do tomate

A área foliar do tomate mostrou um aumento ao longo de toda experiência (fig.6e).

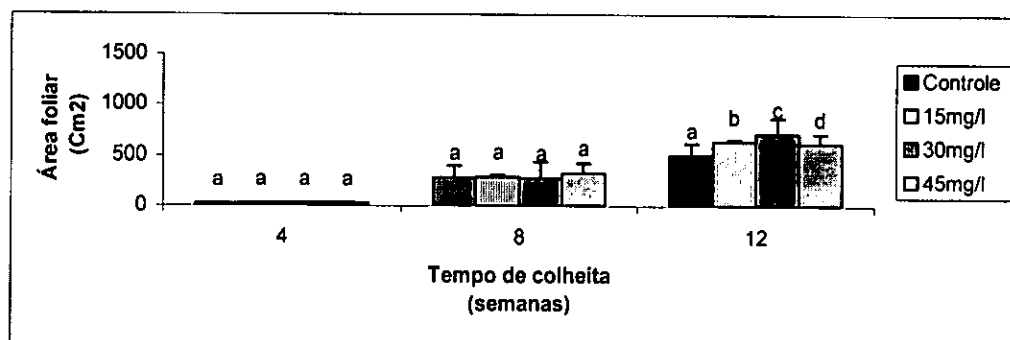


Figura 6e. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre na área foliar do tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como mostra a figura 6e, verificou-se um aumento acentuado na 12^a semana e as diferenças foram estatisticamente significativas.

7.3.6 – Teor de enxofre na planta total, nas folhas, caules e raízes do tomate

Os teores de enxofre para a planta de tomate foram somente obtidos na 8^a e 12^a semana depois da sementeira, dado que na 4^a semana a quantidade de matéria seca obtida não foi suficiente para a preparação das soluções para análise

7.3.6.1 – Teor total de enxofre

O teor total de enxofre na 8^a e 12^a semana mostraram valores similares nos diferentes tratamentos (fig.6f).

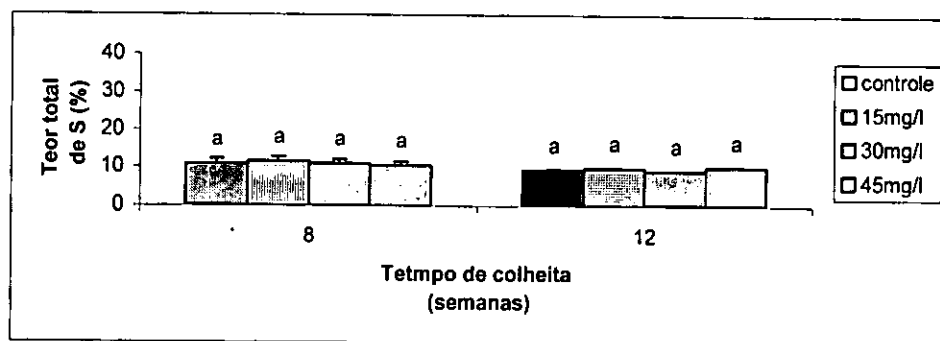


Figura 6f. Teor de enxofre na planta total em diferentes tratamentos no tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As diferenças no teor de enxofre da planta total não foram estatisticamente significativas.

7.3.7 – Teor de enxofre nas folhas

As folhas de tomate mostraram uma redução no teor de enxofre na 12^a semana nos tratamentos controle, 15 e 30mg/l (fig.6g).

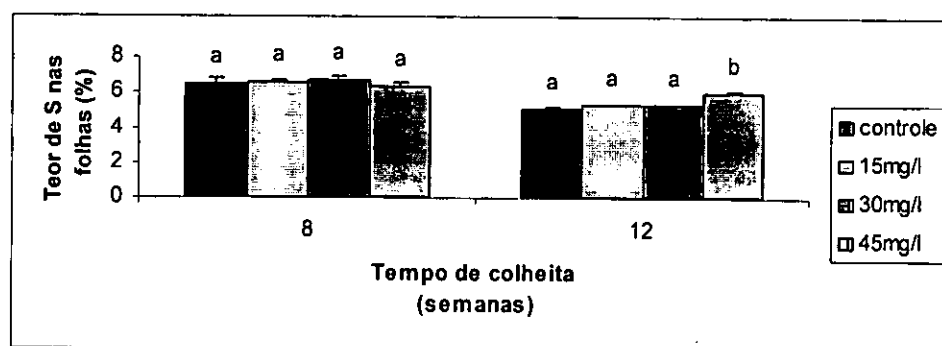


Figura 6g. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas folhas de tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão)

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A redução verificada foi estatisticamente significativa na 12^a semana, assim como mostra a figura 6g. Contudo, o tratamento 45mg/l mostrou uma tendência de um aumento maior do que os restantes tratamentos.

7.3.8 – Teor de enxofre nos caules

Os caules da planta do tomate mostraram uma redução na acumulação do teor de enxofre da 8^a à 12^a semana (fig.6h).

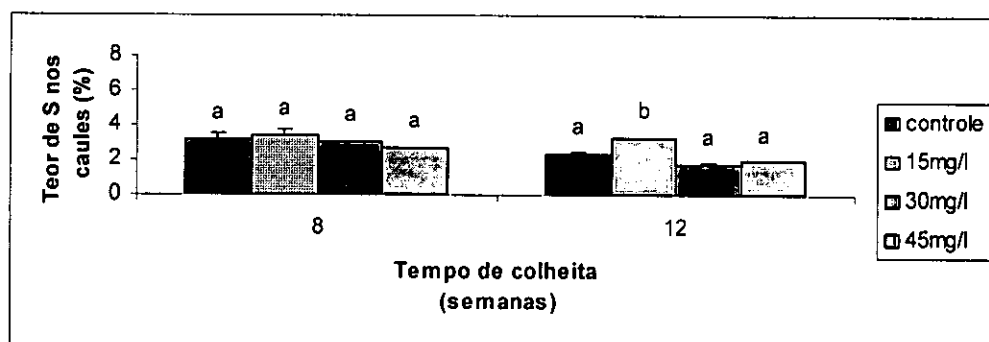


Figura 6h. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nos caules de tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como mostra a figura 6h, a diminuição do teor de enxofre na 12^a semana, com particular realce para o controle e os tratamentos 30 e 45 mg/l, foi estatisticamente significativa.

7.3.9 – Teor de enxofre nas raízes

O teor de enxofre nas raízes mostrou um ligeiro aumento da 8^a à 12^a semana (fig.6i).

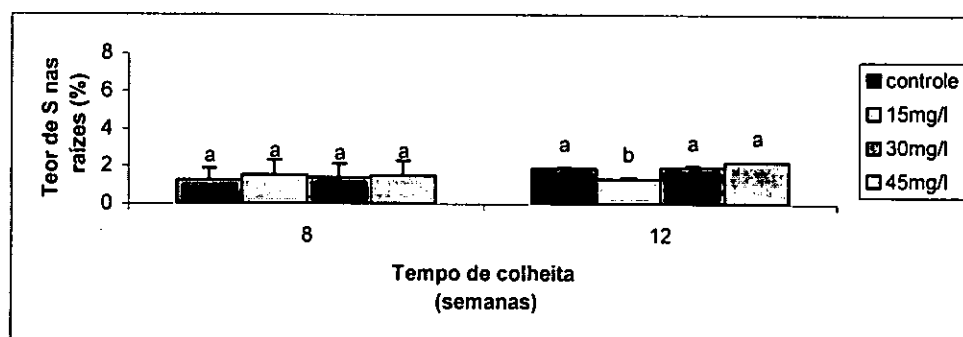


Figura 6i. Teor de enxofre em diferentes tratamentos nas raízes de tomate, na 4^a, 8^a e 12^a semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O aumento verificado (fig.6i) na 12^a semana mostrou variações entre os tratamentos. Pela figura 6i verifica-se que o tratamento 15mg/l mostrou uma redução em relação aos restantes tratamentos e as diferenças foram estatisticamente significativas.

7.4 – Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das três culturas

Para a comparação do comportamento do peso seco das diferentes partes das plantas nas três culturas, foi usado o teste não paramétrico de kruskal – Wallis one –way e comparação de médias ao nível de confiança de 95%.

7.4.1 – Peso seco das folhas (4^a semana após a sementeira)

Os pesos secos das folhas do feijão vulgar, milho e tomate na 4^a semana após a sementeira, mostraram-se diferentes em todos tratamentos (fig.7a).

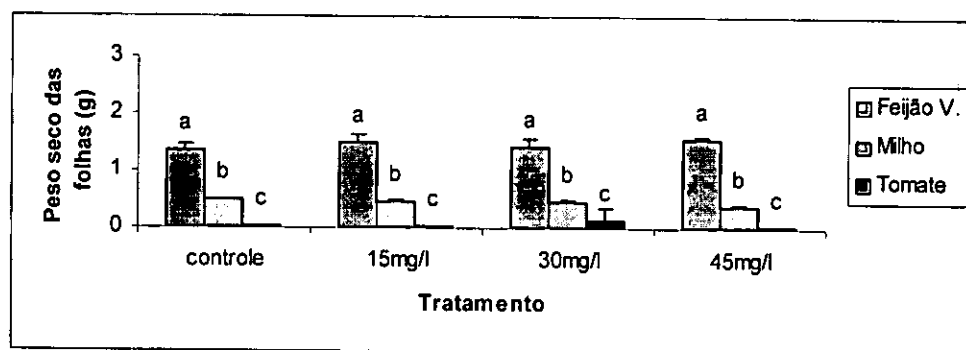


Figura 7a. Comparação dos pesos secos entre as folhas em diferentes tratamentos de enxofre na 4^a semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as culturas (kruskal – Wallis one –way, $P < 0.05$).

O peso seco do feijão vulgar mostrou-se com valores máximos em todos os tratamentos seguindo-se o milho e por fim o tomate. O peso seco das folhas do tomate mostrou um ligeiro aumento no tratamento 30mg/l em relação aos restantes tratamentos. As diferenças dos pesos secos das três culturas foram estatisticamente significativas.

7.4.2 – Peso seco dos caules (4ª semana após a sementeira)

Tal como no peso seco das folhas, os caules das três culturas mostraram um padrão semelhante nos diferentes tratamentos (fig.7b).

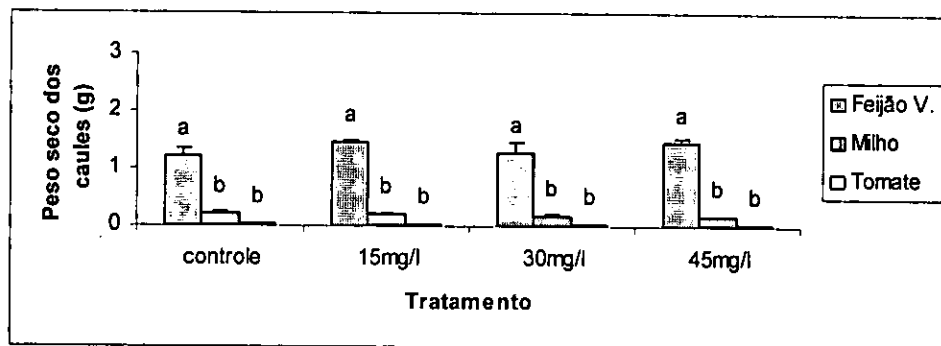


Figura 7b. Comparação dos pesos secos dos caules em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P>0.05$).

As diferenças verificadas em todos tratamentos das três culturas foram estatisticamente significativas.

7.4.3 – Peso seco das raízes (4ª semana após a sementeira)

As comparações dos pesos secos das raízes entre as três culturas, mostraram sucessivamente valores elevados para o feijão vulgar, seguido do milho e do tomate respectivamente em todos tratamentos (fig.7c)

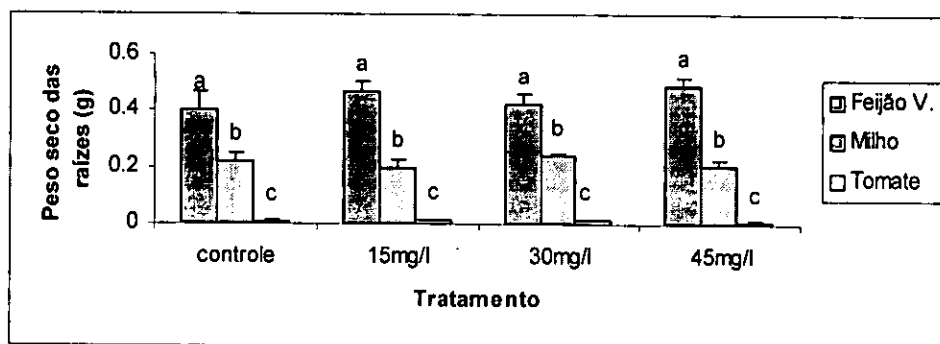


Figura 7c. Comparação dos pesos secos das raízes em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as culturas (kruskal – Wallis one –way, $P<0.05$).

Na figura 7c, as diferenças entre os pesos secos das raízes foram estatisticamente significativas, contudo, notou-se que os tratamentos 15 e 45mg/l do feijão vulgar mostraram valores elevados em comparação ao controle e 30mg/l.

7.4.4 – Comparação das áreas foliares entre as culturas (4ª semana após a sementeira)

As culturas de feijão vulgar e milho mostraram maiores valores de área foliar em relação ao tomate que mostrou valores mais baixos (fig.7d).

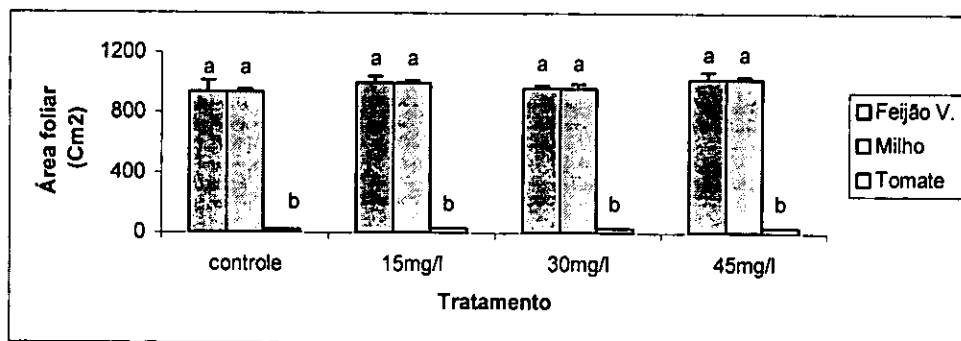


Figura 7d. Comparação das áreas foliares em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P > 0.05$).

As diferenças entre o feijão vulgar e o milho não foram estatisticamente significativas entre si, sendo-o apenas em relação ao tomate.

7.5 – Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das culturas na 8ª semana após a sementeira

7.5.1 – Peso seco das folhas (8ª semana após a sementeira)

Os pesos secos das folhas nas três culturas não mostraram variações visíveis nos tratamentos, contudo, pode-se ver que o milho mostra maior peso seco das folhas em relação ao feijão vulgar e tomate (fig.8a).

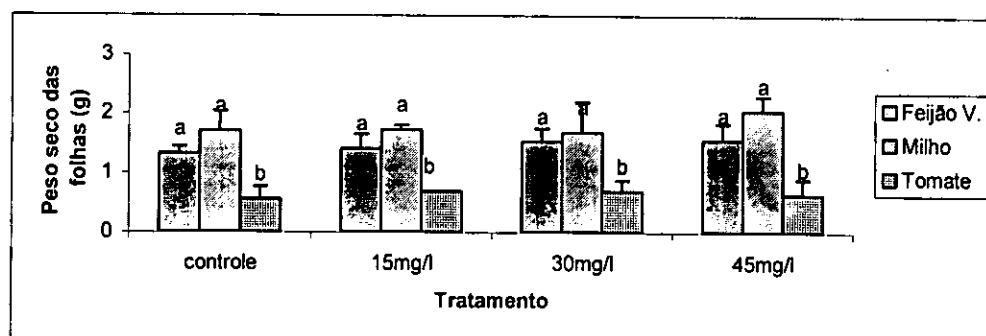


Figura 8a. Comparação entre pesos secos das folhas em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P>0.05$).

Como mostra a figura 8a, existem diferenças estatisticamente significativas no tomate em relação ao feijão vulgar e milho, sendo que entre o feijão vulgar e o milho as diferenças não foram significativas.

7.5.2 – Peso seco dos caules (8ª semana após a sementeira)

O peso seco dos caules na 8ª semana mostrou um ligeiro aumento para o feijão vulgar nos tratamentos 15, 30 e 45mg/l em relação ao controle e para o milho e tomate em todos tratamentos verificaram-se valores de pesos secos similares (fig. 8b).

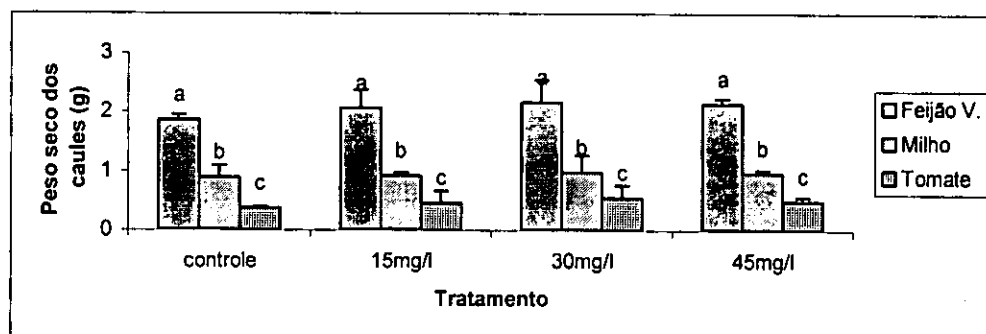


Figura 8b. Comparação entre pesos secos dos caules em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as culturas (kruskal – Wallis one –way, $P<0.05$).

Como se pode ver na figura 8b, as diferenças verificadas entre os pesos secos dos caules entre as três culturas em todos tratamentos como se pode ver na figura 8b, foram estatisticamente significativas.

7.5.3 – Peso seco das raízes (8ª semana após a sementeira)

O peso seco das raízes do feijão vulgar e do milho mostraram valores similares em relação aos do tomate (fig. 8c).

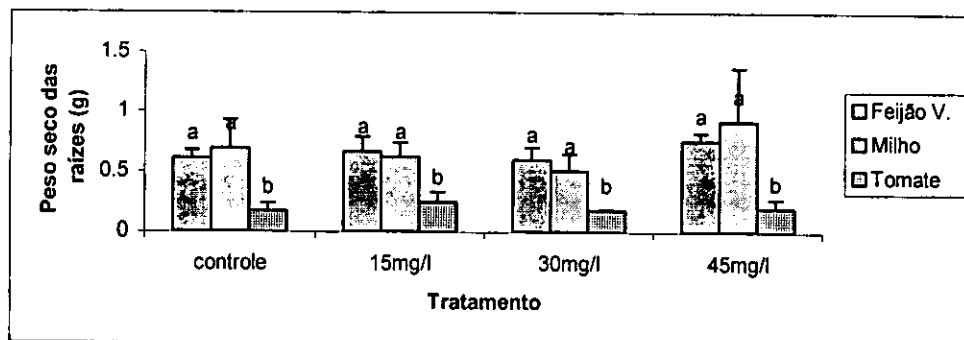


Figura 8c. Comparação entre o peso seco das raízes em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P > 0.05$).

As diferenças nos pesos secos da raiz, não foram significativas entre o feijão vulgar e o milho, enquanto que em relação ao tomate essa diferença foi significativa.

7.5.4 – Área foliar entre as culturas (8ª semana após a sementeira)

A área foliar na 8ª semana após a sementeira mostrou diferenças entre as culturas em todos tratamentos (Fig.8d).

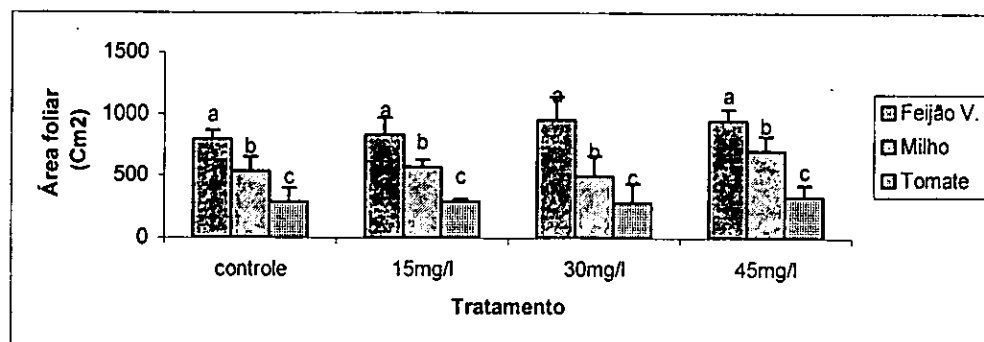


Figura 8d. Comparação das áreas foliares em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as culturas (kruskal – Wallis one –way, $P < 0.05$).

As diferenças verificadas entre as culturas foram estatisticamente significativas, com um ligeiro aumento a partir do controle até a dose máxima de 45mg/l para o feijão vulgar. Por outro lado, verificou-se uma diminuição no tratamento 30mg/l em relação ao controle, 15 e 45mg/l para a cultura do milho. O tomate não mostrou alterações consideráveis, sendo que o feijão vulgar foi a cultura que mostrou uma área foliar maior.

7.6 – Comparação entre o peso seco das folhas, caules e raízes das culturas na 12ª semana após a sementeira

7.6.1 – Peso seco das folhas (12ª semana após a sementeira)

A comparação entre o peso seco das folhas na 12ª semana mostrou maior peso para a cultura de milho e menor para o feijão vulgar em todos tratamentos (fig. 9a)

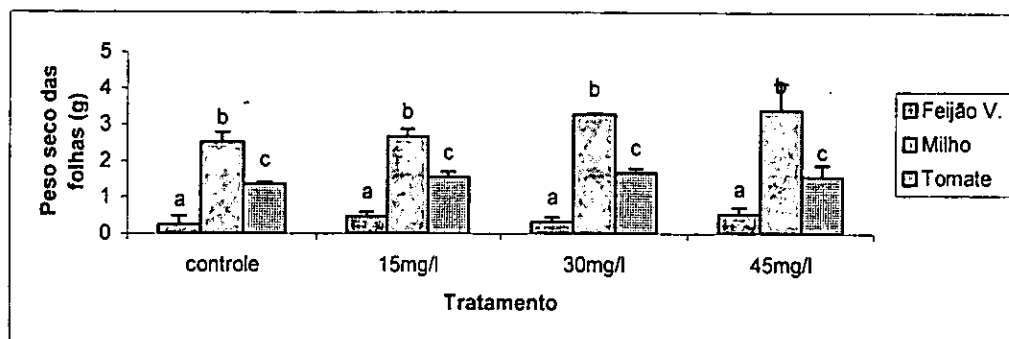


Figura 9a. Comparação entre o peso seco das folhas em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as culturas (kruskal – Wallis one –way, $P < 0.05$).

A partir da figura 9a, pode-se ver que a cultura de milho mostrou um aumento em função da concentração, obtendo maior peso na dose máxima (45mg/l). Por outro lado, o feijão vulgar e o tomate mostraram valores constantes em todos tratamentos. As diferenças observadas entre as culturas foram estatisticamente significativas.

7.6.2 – Peso seco dos caules (12ª semana após a sementeira)

Os caules na 12ª semana mostram uma similaridade dos seus pesos nas culturas de feijão vulgar e milho (fig.9b).

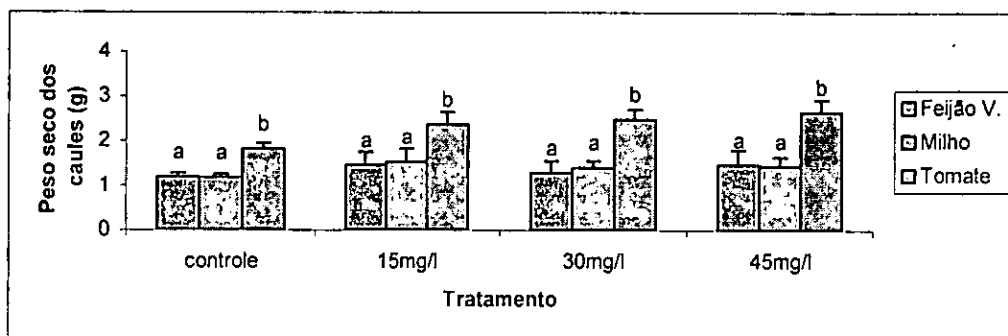


Figura 9b. Comparação entre o peso seco dos caules em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P > 0.05$).

Como indica a figura 9b, os pesos dos caules do tomate mostraram um aumento partir do controle e mantendo-se constantes até a dose máxima de 45mg/l

As diferenças entre os pesos das culturas de milho e feijão vulgar em relação ao tomate foram estatisticamente significativas.

7.6.3 – Peso seco das raízes (12^a semana após a sementeira)

A relação do peso seco das raízes entre as culturas na 12^a semana mostrou maiores pesos secos para a cultura de milho seguido do tomate (fig.9c).

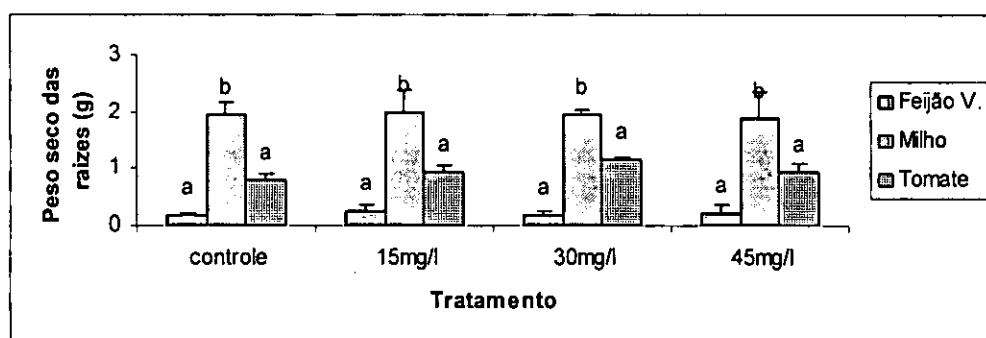


Figura 9c. Comparação entre os peso seco das raízes em diferentes tratamentos de enxofre na 12^a semana após a sementeira para as três colheitas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P > 0.05$).

As diferenças existentes na figura 9c entre os pesos secos das culturas mostraram valores constantes em todos tratamentos. As diferenças verificadas entre feijão vulgar, tomate em relação ao milho foram estatisticamente significativas.

7.6.4 – Área foliar entre as culturas (12^a semana após a sementeira)

A relação entre as áreas foliares na 12^a semana, mostrou maiores valores para o milho e tomate (fig.9d).

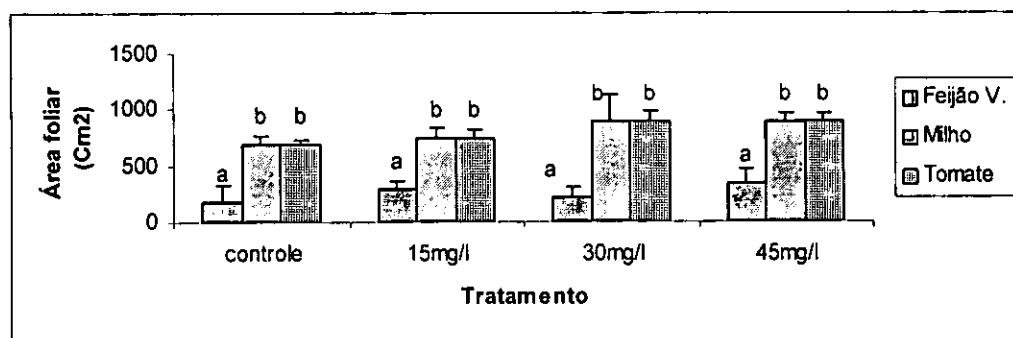


Figura 9d. Comparação entre as áreas foliares em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (kruskal – Wallis one –way, $P>0.05$).

A figura 9d, mostrou para as culturas de milho e tomate, valores elevados e constantes nos tratamentos 30 e 45mg/l em comparação ao controle. Verificou-se maior valor de área foliar no tratamento 45mg/l do feijão vulgar, estas diferenças entre as culturas foram estatisticamente significativas.

7.7–Comparação entre os teores de enxofre das culturas

Na primeira colheita os pesos secos obtidos pela cultura de tomate foram baixos, isto é, a quantidade não foi suficiente para preparação do extracto vegetal daí que não foi apresentado o teor de enxofre. A comparação do teor de enxofre foi feita entre o feijão vulgar e milho, usando o Teste T (Two sample T Test).

7.7.1–Comparação entre os teores de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas na 4ª semana após a sementeira

7.7.1.1 – Teor de enxofre nas folhas (4ª semana após a sementeira)

O teor de enxofre obtido na 4ª semana após a sementeira para as culturas de feijão vulgar e milho, mostrou maior acumulação do enxofre na cultura de milho em relação ao feijão vulgar em quase todos tratamentos (Fig.10a).

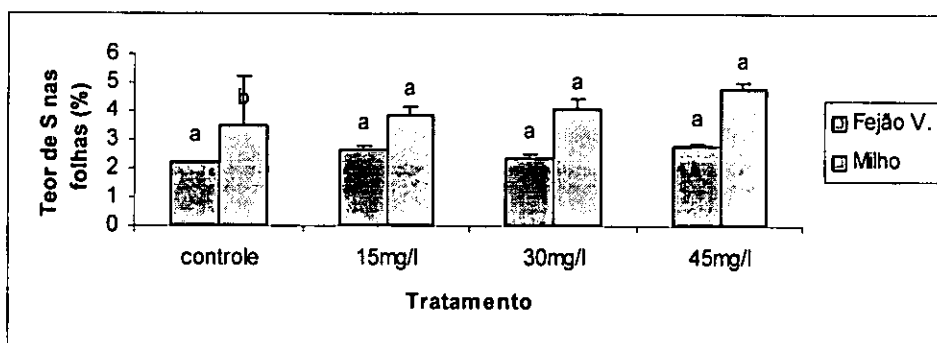


Figura 10a. Comparação entre o teor de enxofre nas folhas entre o feijão vulgar e milho em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das duas culturas não diferem entre si (Teste T, $P > 0.05$).

A acumulação do enxofre entre o feijão vulgar e milho foi estatisticamente significativa no controle, uma vez que nos restantes tratamentos as diferenças não foram estatisticamente significativas.

7.7.2 – Teor de enxofre nos caules (4ª semana após a sementeira)

À semelhança do teor de enxofre nas folhas entre as culturas, os caules mostraram um comportamento similar entre as culturas (fig. 10b).

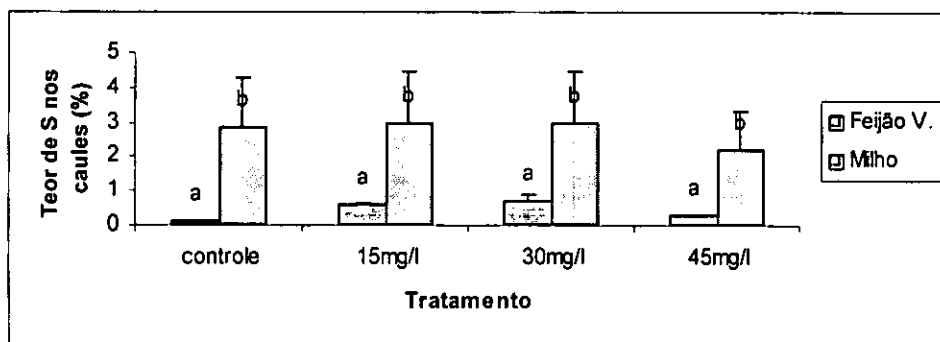


Figura 10b. Comparação entre o teor de enxofre nos caules entre feijão vulgar e milho em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as duas culturas (Teste T, $P < 0.05$).

Na figura 10b, verificou-se uma diminuição no tratamento 45mg/l do milho em comparação aos restantes tratamentos. A figura mostra que as plantas de feijão vulgar que receberam tratamentos intermédios mostraram maiores teores de enxofre, mas as diferenças entre as culturas foram estatisticamente significativas.

7.7.3 – Teor de enxofre nas raízes (4ª semana após a sementeira)

À semelhança ao teor das folhas e caules na 4ª semana após a sementeira as raízes também mostraram baixos teores de enxofre para o feijão vulgar e um aumento em função da concentração para o milho (fig.10c).

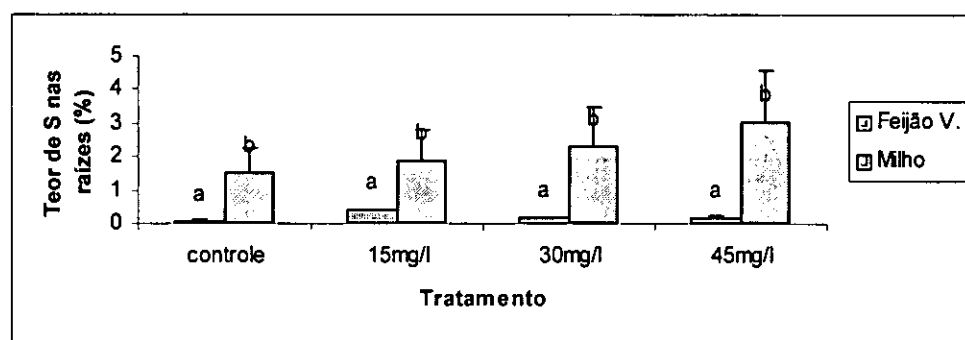


Figura 10c. Comparação entre o teor de enxofre nas raízes entre feijão vulgar e milho em diferentes tratamentos de enxofre na 4ª semana após a sementeira. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão).

Na mesma semana barras com letras diferentes indicam que existem diferenças significativas entre as duas culturas (Teste T, $P < 0.05$).

As diferenças observadas (fig.10c) na acumulação de enxofre nas raízes foram estatisticamente significativas.

7.8 – Comparação entre os teores de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas na 8ª semana após a sementeira

Para a comparação do comportamento do teor de enxofre nas diferentes partes das plantas para as três culturas na 8ª e 12ª semana, foi usado a análise de variância (Anova one way) para verificar a existência de diferenças entre as médias nos tratamentos das culturas e em caso da existência de diferenças, as médias foram discriminadas por meio de teste de comparações múltiplas (Tukey a 5% de probabilidade)

7.8.1 – Teor de enxofre nas folhas (8ª semana após a sementeira)

A segunda colheita (8ª semana) mostrou diferenças entre os teores de enxofre das três culturas (fig. 11a).

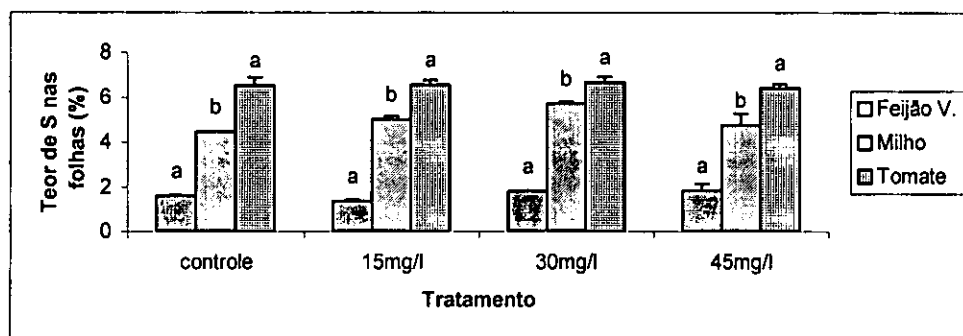


Figura 11a. Comparação entre o teor de enxofre nas folhas em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anov, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As diferenças verificadas mostraram maior percentagem de teor de enxofre no tomate em relação ao milho e feijão e foram estatisticamente significativas.

7.8.2 – Teor de enxofre nos caules (8ª semana após a sementeira)

Os teores de enxofre nos caules de milho na segunda colheita, mostraram em todos tratamentos maior percentagem em relação ao tomate e feijão vulgar (fig. 11b).

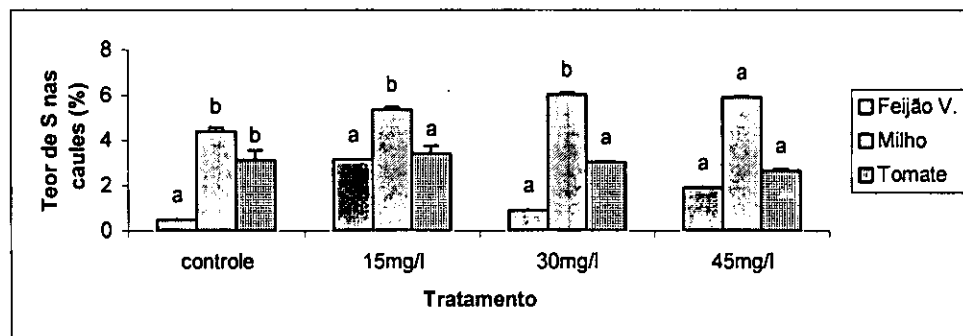


Figura 11b. Comparação entre o teor de enxofre nos caules em diferentes tratamentos de enxofre na 8ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As diferenças observadas na figura 11b, nos teores dos caules só foram significativas no controle e nos tratamentos 15 e 30mg/l, pois em relação ao tratamento 45mg/l não se verificaram diferenças significativas.

7.8.3 – Teor de enxofre nas raízes (8^a semana após a sementeira)

Verificou-se de igual modo que os teores das raízes na 8^a semana mostraram um padrão semelhante ao dos caules do milho. As raízes do tomate mostraram baixos teores em relação ao feijão vulgar em todos tratamentos (fig.11c).

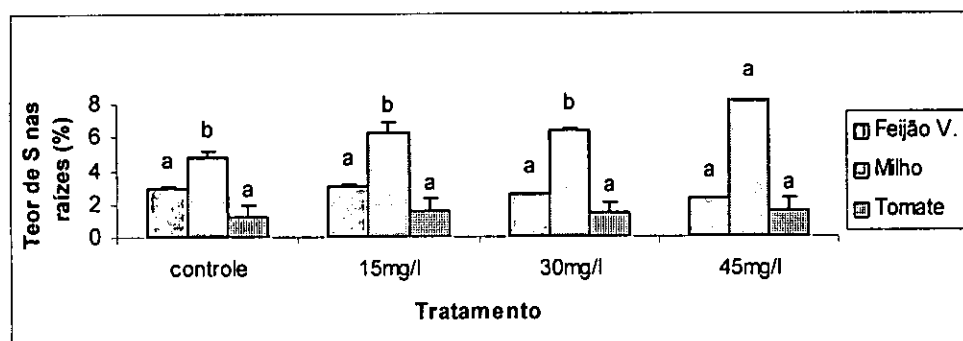


Figura 11c. Comparação entre o teor de enxofre nas raízes em diferentes tratamentos de enxofre na 8^a semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Os teores de enxofre (fig.11c) só foram, contudo, significativas no controle e nos tratamentos 15 e 30mg/l, sendo que no tratamento 45 mg/l, estas diferenças não foram significativas.

7.9 – Comparação entre os teores de enxofre nas folhas, caules e raízes das culturas na 12^a semana após a sementeira

7.9.1 – Teor de enxofre nas folhas (12^a semana após a sementeira)

Na última fase da experiência os teores de enxofre para as culturas do feijão vulgar, milho mostraram diferenças nos tratamentos (Fig.12a).

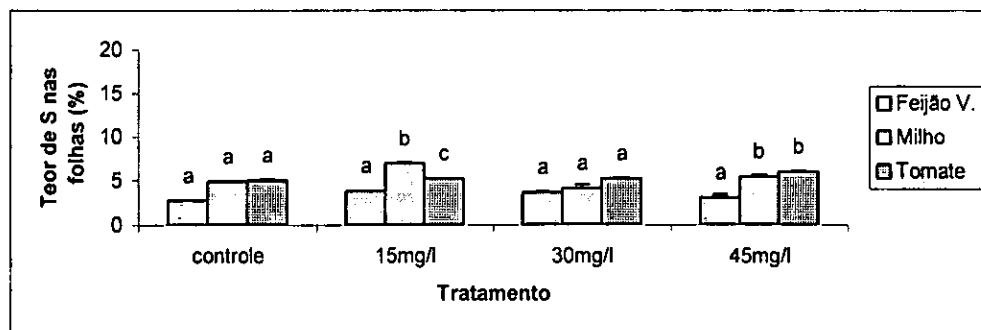


Figura 12a. Comparação entre o teor de enxofre nas folhas em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O teor de enxofre das folhas nos tratamentos 15 e 45mg/l mostrou diferenças estatisticamente significativas, ao contrario do controle e 30mg/l que não mostrou nenhuma diferenças significativas.

O tratamento 15mg/l do milho mostrou maior percentagem de teor de enxofre em relação ao controle, 30 e 45mg/l.

7.9.2 – Teor de enxofre nos caules (12ª semana após a sementeira)

Os teores de enxofre dos caules nesta colheita mostraram diferenças entre as culturas. A maior percentagem verificou-se na cultura de milho nas plantas que receberam diferentes doses de enxofre em relação ao controle (fig.12b).

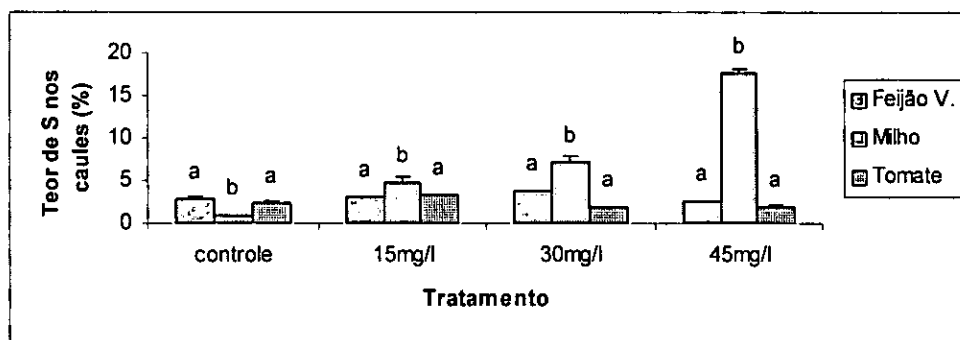


Figura 12b. Comparação entre o teor de enxofre nos caules em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com a letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como indica a figura 12b, os tratamentos 15, 30 e 45mg/l não mostraram diferenças no teor de enxofre entre o feijão vulgar e tomate. A maior percentagem do teor de enxofre nas plantas que receberam diferentes doses de enxofre evidencia as diferenças significativas existentes entre o milho e as culturas do feijão vulgar e tomate, contudo, a cultura de milho mostrou um teor muito baixo no controle em relação às outras culturas.

7.9.3 – Teor de enxofre nas raízes (12ª semana após a sementeira)

O teor de enxofre nas raízes da última colheita mostrou valores baixos no controle e no tratamento 30mg/l e um aumento no tratamento 15 e 45 mg/l para a cultura de milho (fig.12c).

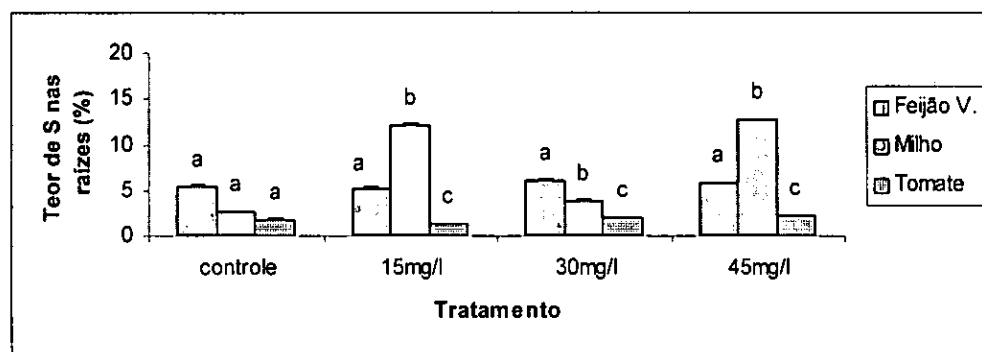


Figura 12c. Comparação entre o teor de enxofre nas raízes em diferentes tratamentos de enxofre na 12ª semana após a sementeira para as três culturas. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). No mesmo tratamento barras com mesma letra indicam que as médias das três culturas não diferem (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Estes valores foram estatisticamente significativos nos tratamentos 15, 30 e 45mg/l em comparação ao controle. Por outro lado, como se ver pela figura 12c, plantas com os tratamentos 15 e 45mg/l de enxofre mostraram a maior percentagem para a cultura de milho seguido do feijão vulgar e tomate respectivamente.

8.0 – RAZÃO DA ÁREA FOLIAR (RAF)

A razão da área foliar nos diferentes tratamentos mostrou uma redução acentuada durante a experiência para todas culturas.

8.1 – Razão da área foliar do feijão vulgar

A razão da área foliar do feijão vulgar mostrou uma redução gradual durante a experiência (fig.13a).

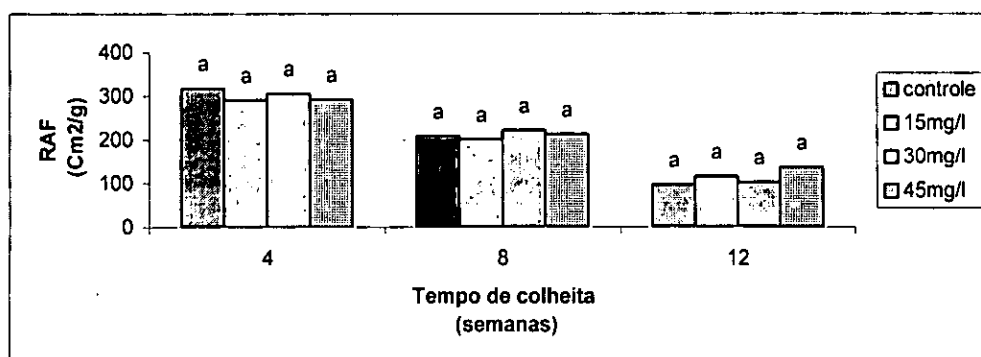


Figura 13a. Razão da área foliar do feijão vulgar em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A redução verificada na figura 13a não foi estatisticamente significativa.

8.1.1 – Razão da área foliar do milho

A razão da área foliar do milho mostrou um padrão semelhante ao da área foliar do feijão vulgar (fig.13b)

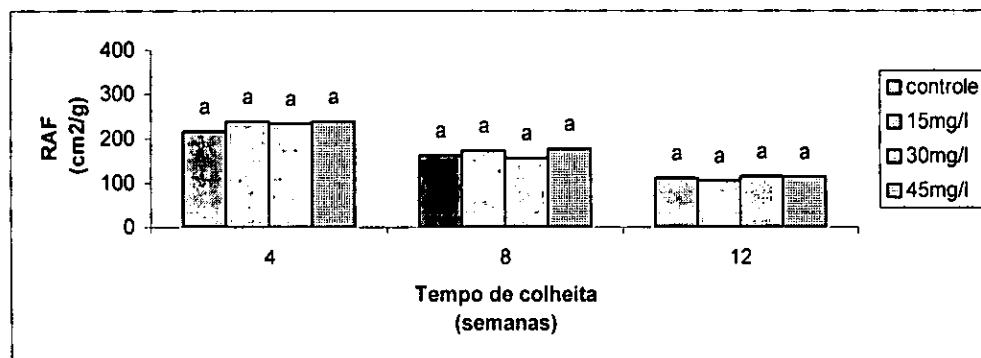


Figura 13b. Razão da área foliar do milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como a figura 13b mostra, a redução não foi estatisticamente significativa.

8.1.2 – Razão da área foliar do tomate

O tomate mostrou redução na razão da área foliar como verificada nas culturas de feijão vulgar e milho (fig.3c).

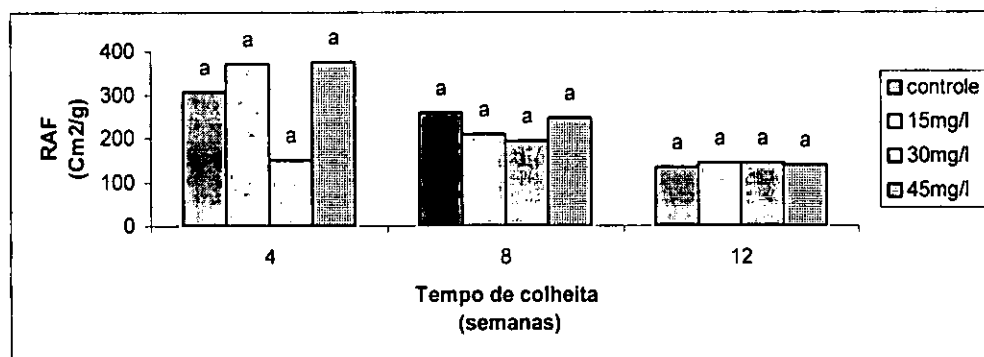


Figura 13c. Razão da área foliar do tomate em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova , $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A figura 13c mostrou uma redução entre a 4^a e 8^a semana, apesar de estas diferenças não terem sido estatisticamente significativas.

8.2 – Razão do peso seco da raiz pela parte aérea (RPRPA) do feijão vulgar

A razão do peso seco da raiz pela parte aérea para a cultura de feijão vulgar mostrou um aumento na 12^a semana em relação à 4^a e 8^a semana (fig.14 a).

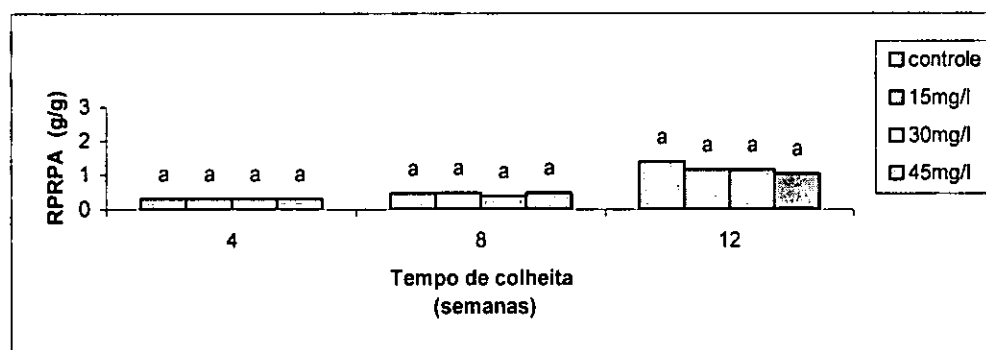


Figura 14a. Razão do peso seco da raiz pela parte aérea do feijão vulgar em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova , $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na 12^a semana (figura 14a), verificou-se uma ligeira redução da razão em função da concentração, contudo, estas reduções não foram estatisticamente significativas ao longo da experiência.

8.2.1 – Razão do peso seco da raiz pela parte aérea do milho

A cultura do milho mostrou uma redução insignificante na RPRPA da segunda colheita (8^a semana) e um aumento no fim da experiência (fig. 14b).

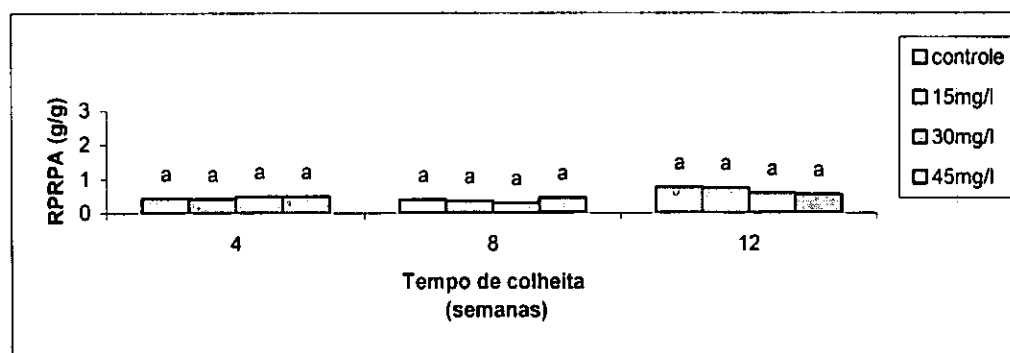


Figura 14b. Razão do peso seco da raiz pela parte aérea do milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

As variações observadas, como mostra a figura 14b, não foram estatisticamente significativas.

8.2.2 – Razão do peso seco da raiz pela parte aérea do tomate

A RPRPA para o tomate mostrou variações a partir da 8^a semana e uma redução na 12^a semana (fig. 14c).

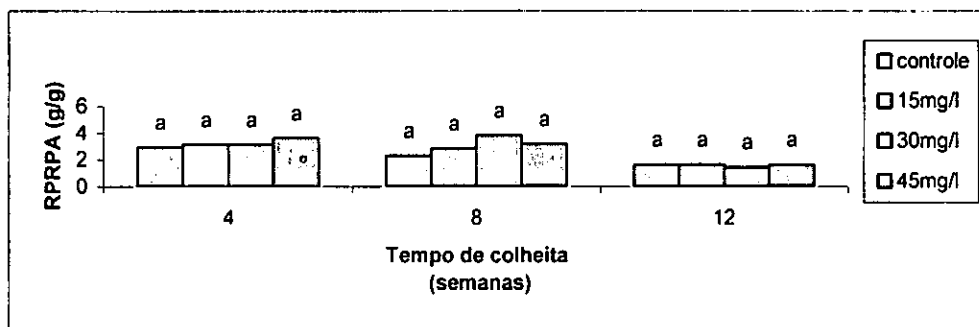


Figura 14c. Razão do peso seco da raiz pela parte aérea do tomate em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na RPRPA (fig.14c) do tomate verificou-se que o tratamento 45mg/l na 4ª semana e o tratamento 30mg/l na 8ª mostraram valores relativamente elevados em relação aos restantes tratamentos, mas sem que as diferenças fossem significativas.

8.3 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do feijão vulgar

8.3.1.1 – Conteúdo de água nas folhas

O conteúdo de água nas folhas de feijão vulgar mostrou que a quantidade de água acumulada pelas plantas em todos tratamentos foi praticamente constante ao longo da experiência, com exceção do controle na 12ª semana que mostrou uma ligeira diminuição (fig.15a).

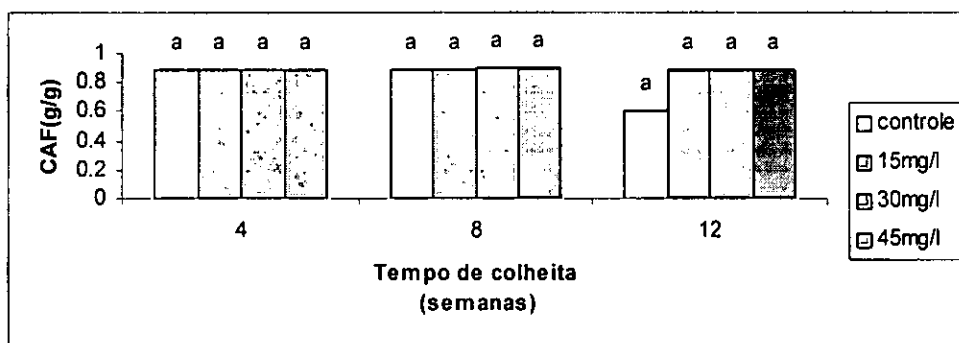


Figura 15a. Conteúdo de água nas folhas de feijão vulgar em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade)

A figura 15a mostrou que a redução na 12^a semana no conteúdo da água nas folhas, não foi estatisticamente significativa.

8.3.1.2 – Conteúdo de água nos caules

Os caules do feijão vulgar mostraram um padrão semelhante ao das folhas em relação a conteúdo de água (fig.15b).

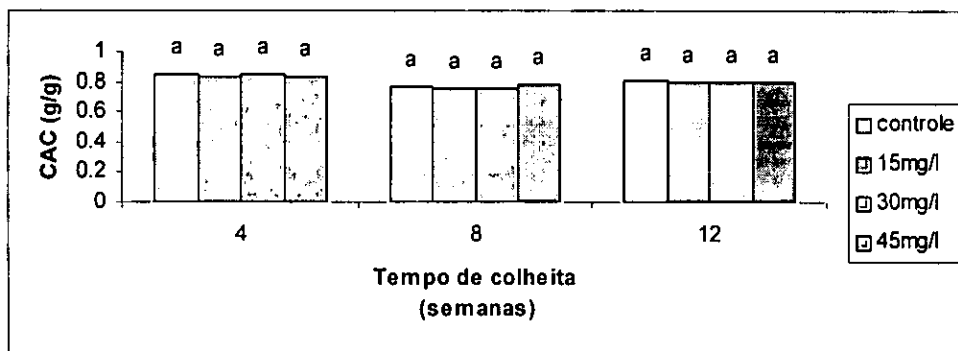


Figura 15b. Conteúdo de água nos caules de feijão vulgar em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O conteúdo de água nos caules do feijão vulgar, como se pode ver na figura 15b não mostrou diferenças significativas.

8.3.1.3 – Conteúdo de água nas raízes

As raízes do feijão vulgar também mostraram um valor constante no conteúdo de água (fig. 15c).

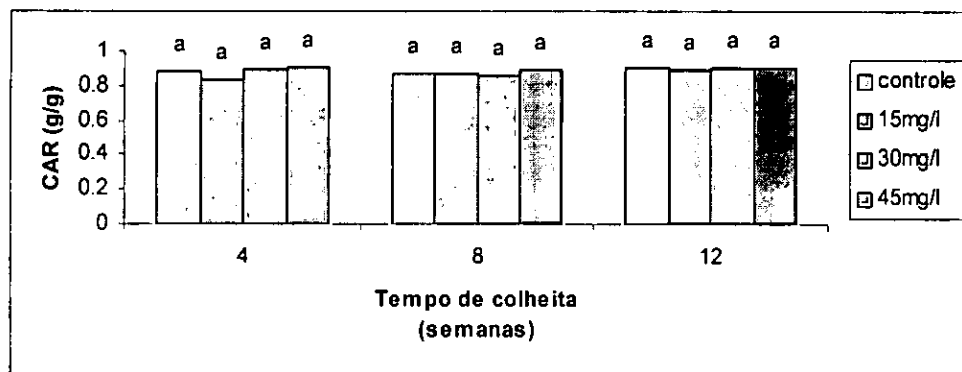


Figura 15c. Conteúdo de água nas raízes de feijão vulgar, em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Estes valores não foram estatisticamente significativos.

8.4 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do milho

8.4.1 – Conteúdo de água nas folhas

A quantidade de água acumulada nas folhas de milho não sofreu nenhuma variação ao longo da experiência (fig 16a).

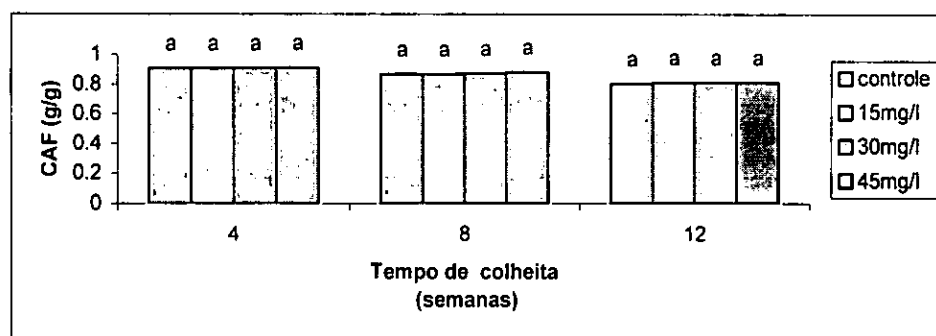


Figura 16a. Conteúdo de água nas folhas de milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na figura 16a, à semelhança das folhas do feijão vulgar, as folhas de milho também não mostraram diferenças significativas, no conteúdo de água.

A figura 15a mostrou que a redução na 12ª semana no conteúdo da água nas folhas, não foi estatisticamente significativa.

8.3.1.2 – Conteúdo de água nos caules

Os caules do feijão vulgar mostraram um padrão semelhante ao das folhas em relação a conteúdo de água (fig.15b).

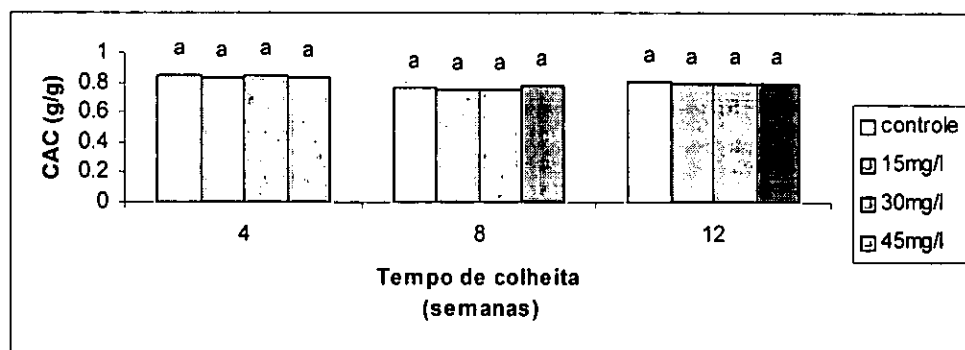


Figura 15b. Conteúdo de água nos caules de feijão vulgar em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O conteúdo de água nos caules do feijão vulgar, como se pode ver na figura 15b não mostrou diferenças significativas.

8.3.1.3 – Conteúdo de água nas raízes

As raízes do feijão vulgar também mostraram um valor constante no conteúdo de água (fig. 15c).

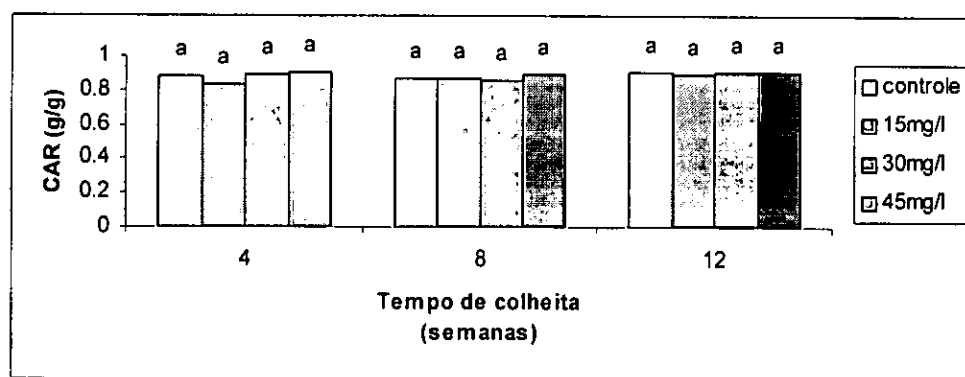


Figura 15c. Conteúdo de água nas raízes de feijão vulgar, em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Estes valores não foram estatisticamente significativos.

8.4 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do milho

8.4.1 – Conteúdo de água nas folhas

A quantidade de água acumulada nas folhas de milho não sofreu nenhuma variação ao longo da experiência (fig 16a).

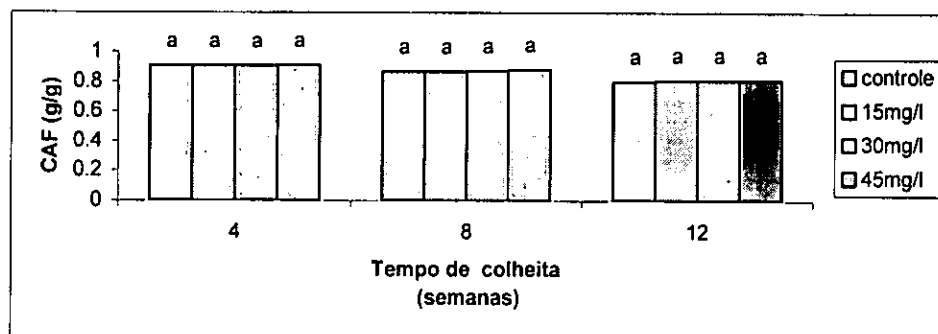


Figura 16a. Conteúdo de água nas folhas de milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Na figura 16a, à semelhança da folhas do feijão vulgar, as folhas de milho também não mostraram diferenças significativas, no conteúdo de água.

8.4.2 – Conteúdo de água nos caules

Não foram verificadas variações na quantidade de água acumulada pelos caules entre os tratamentos ao longo da experiência (fig.16b).

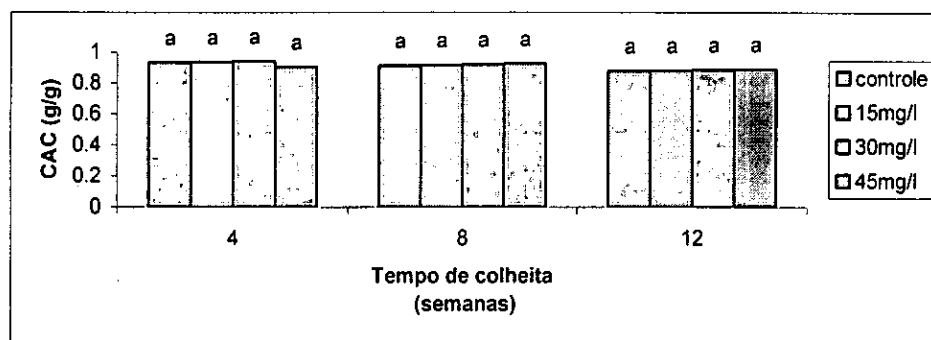


Figura 16b. Conteúdo de água nos caules de milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

O conteúdo de água nos caules do milho (fig.16b), como mostra a figura 16b não foi estatisticamente significativo.

8.4.3 – Conteúdo de água nas raízes

A cultura de milho mostrou uma pequena redução na 8ª semana no conteúdo de água nas raízes (fig.16c).

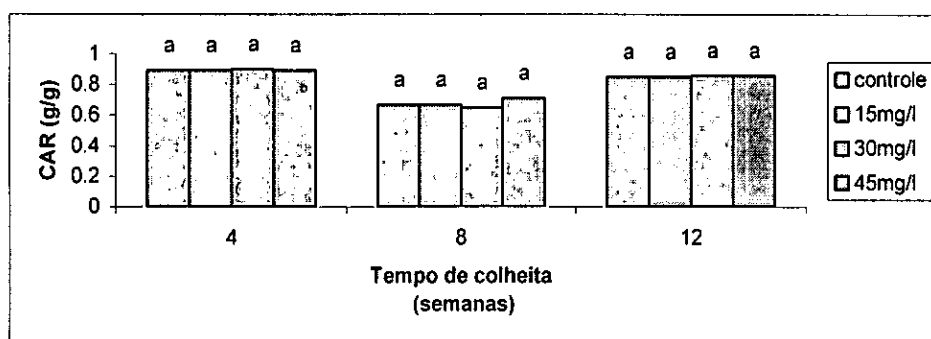


Figura 16c. Conteúdo de água nas raízes de milho em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P > 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Apesar da redução verificada na 8ª semana, esta não foi estatisticamente significativo.

8.5 – Conteúdo de água nas folhas, caules e raízes do tomate

8.5.1 – Conteúdo de água nas folhas

A cultura de tomate mostra similaridade no conteúdo de água das folhas ao longo da experiência (fig.17 a).

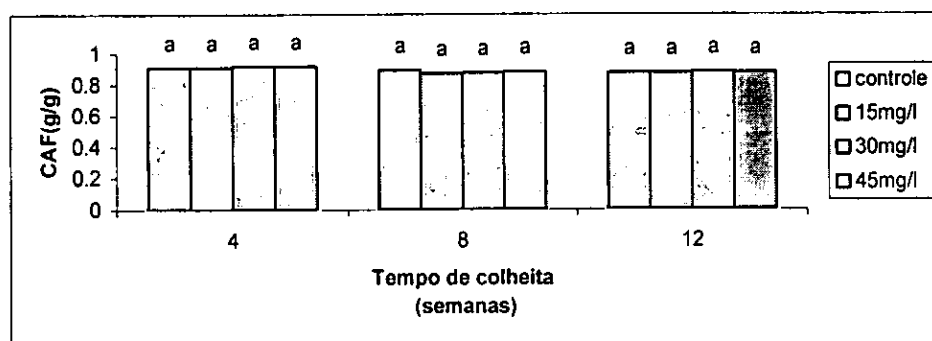


Figura 17a. Conteúdo de água nas folhas de tomate em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

Como mostra a figura 17a, o conteúdo de água nas folhas de tomate não mostrou diferenças estatisticamente significativas.

8.5.2 – Conteúdo de água nos caules

O conteúdo de água nos caules do milho mostrou um padrão semelhante ao das folhas desta cultura (fig.17b).

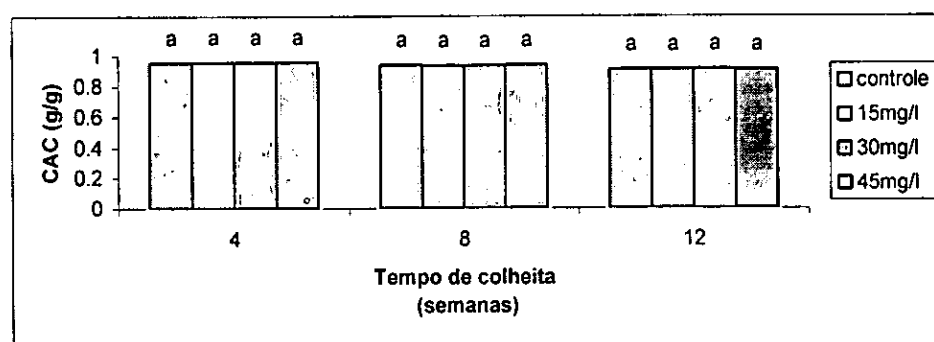


Figura 17b. Conteúdo de água nos caules de tomate em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

À semelhança as outras culturas e às folhas do milho, o conteúdo de água nos caules não mostrou diferenças significativas.

8.5.3 – Conteúdo de água nas raízes

As raízes do tomate mostraram comportamento similar as raízes de milho, onde na 8ª semana se verificaram ligeiras diferenças no conteúdo de água (fig.17c).

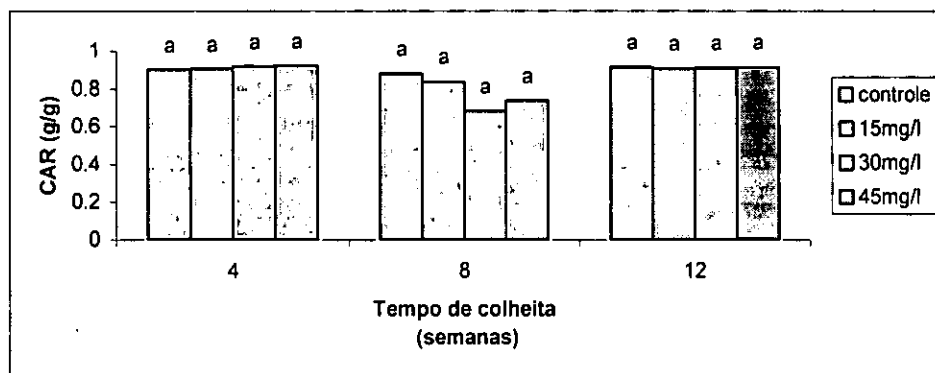


Figura 17c. Conteúdo de água nas raízes de tomate em diferentes tratamentos de enxofre. Os dados referem-se a média de 8 plantas.

Na mesma semana barras com mesma letra indicam que as médias nos tratamentos não diferem entre si (Anova, $P>0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

A figura 17c mostrou uma redução nesta fase da experiência nos tratamentos 30 e 45mg/l, contudo, esta redução foi estatisticamente significativa.

8.6 – Correlação entre o teor do enxofre e o peso seco da planta total

8.6.1 – Correlação entre o teor do enxofre e o peso seco da planta total no feijão vulgar

A figura 18a, mostra a análise de regressão linear, com as respectivas equações da recta e valor de coeficiente de determinação (r^2), entre o teor de enxofre e peso seco da planta total do feijão vulgar.

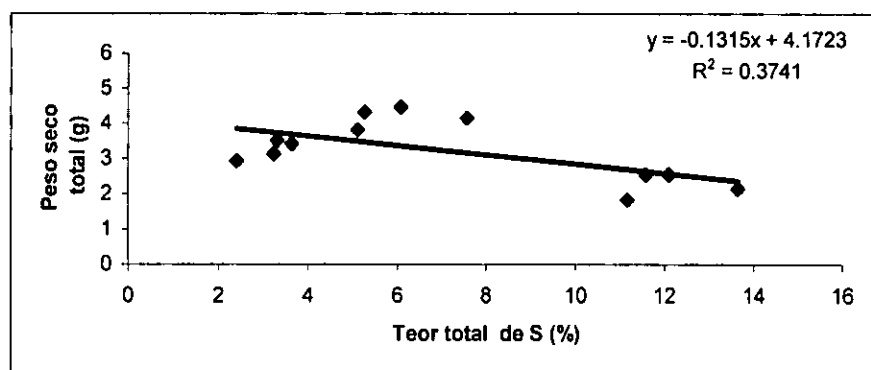


Figura 18a. Correlação entre o teor do enxofre e o peso seco da planta total do feijão vulgar.

A análise de correlação de Pearson (fig.18a), entre o teor de enxofre e o peso seco total no feijão vulgar mostrou uma correlação negativa e moderada entre os dois parâmetros ($r = -0.6116$, $P < 0.05$)

8.6.2 – Correlação entre o peso seco total e o teor total de enxofre no milho

A análise de regressão linear, com as respectivas equações da recta e valor do coeficiente de determinação (r^2) entre peso seco da planta total e o teor total de enxofre do milho correlacionaram-se positivamente (figura 18b).

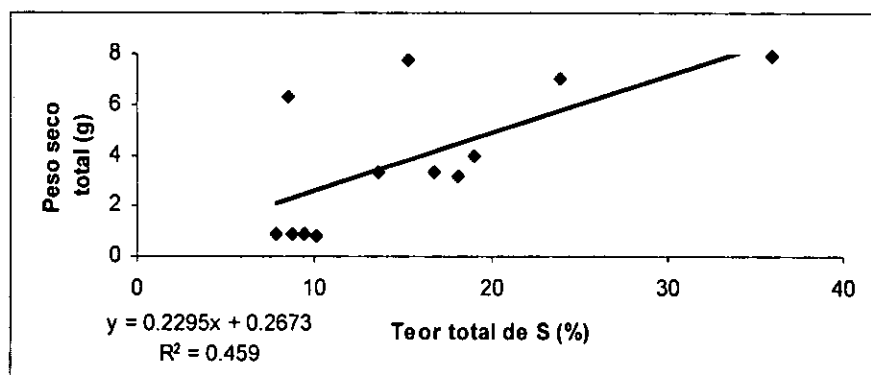


Figura 18b. Correlação entre o teor total de enxofre e o peso seco da planta total do milho.

A correlação existente entre o peso seco da planta total e o teor total de enxofre do milho foi positiva e relativamente forte ($r = 0.6775$, $P < 0.05$).

8.6.3 – Correlação entre o teor de enxofre e o peso seco da planta total do tomate

As respectivas equações da recta e valor do coeficiente de determinação (r^2) observadas entre o teor de enxofre e peso seco da planta total do tomate mostraram correlação negativa e forte (fig 18c)

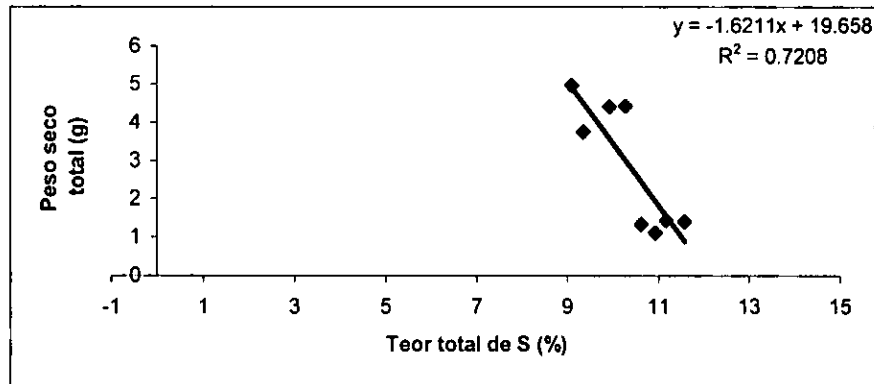


Figura 18c. Correlação entre o teor do enxofre e o peso seco da planta total do tomate.

Na planta do tomate a correlação foi avaliada com os dados da 8ª e 12ª semana. A correlação existente entre o teor de enxofre e o peso seco total no tomate foi negativa e forte ($r = -0.8490$, $P < 0.05$).

8.7 – Distribuição final da matéria seca pelas diferentes partes da planta

8.7.1 – Distribuição final da matéria seca no feijão vulgar

A distribuição final da matéria seca nas diferentes partes da planta de feijão vulgar nos tratamentos efectuados na 4ª, 8ª e 12ª semana (1), (2) e (3) respectivamente mostrou diferenças nas folhas, nos caules e nas raízes (Fig.19a)

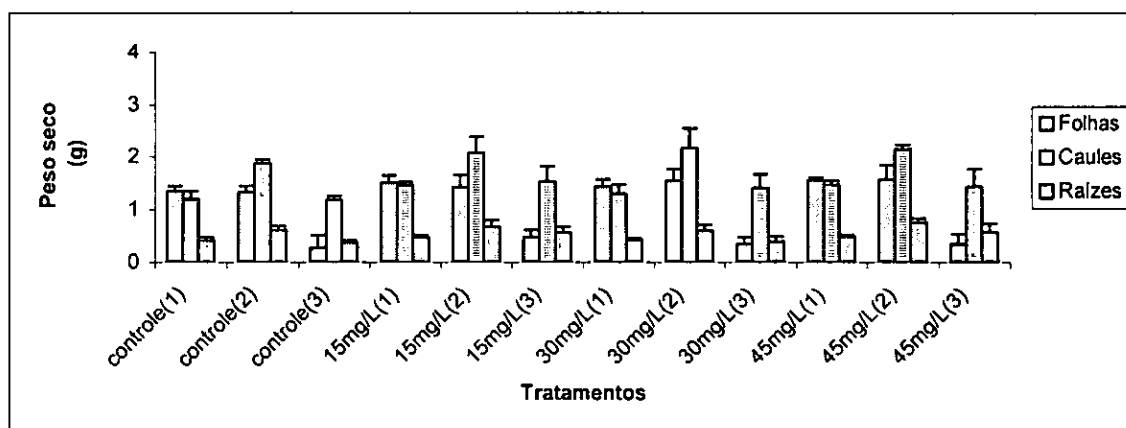


Figura 19a. Efeito do enxofre na distribuição final da matéria seca das folhas, caules e raízes no feijão vulgar. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). Os números 1, 2 e 3 dentro dos parênteses, representam as fases das colheitas, isto é, 4^a, 8^a e 12^a semana respectivamente.

Os caules do feijão vulgar (fig.19^a) mostraram maior quantidade de matéria seca na 8^a semana (2), em todos tratamentos, seguido das folhas e raízes respectivamente (fig.19a) Na 4^a e 12^a semanas (1) e (3) respectivamente, os valores dos pesos secos não variaram em quase todos tratamentos. A análise estatística mostrou diferenças significativas na distribuição da matéria seca nas diferentes partes das plantas (Anova, $P < 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

8.7.2 – Distribuição final da matéria seca no milho

A distribuição final da matéria seca nas diferentes partes da planta do milho e nos tratamentos efectuados na 4^a, 8^a e 12^a semana (1), (2) e (3) respectivamente, mostrou variações ao longo da experiência (fig.19b)

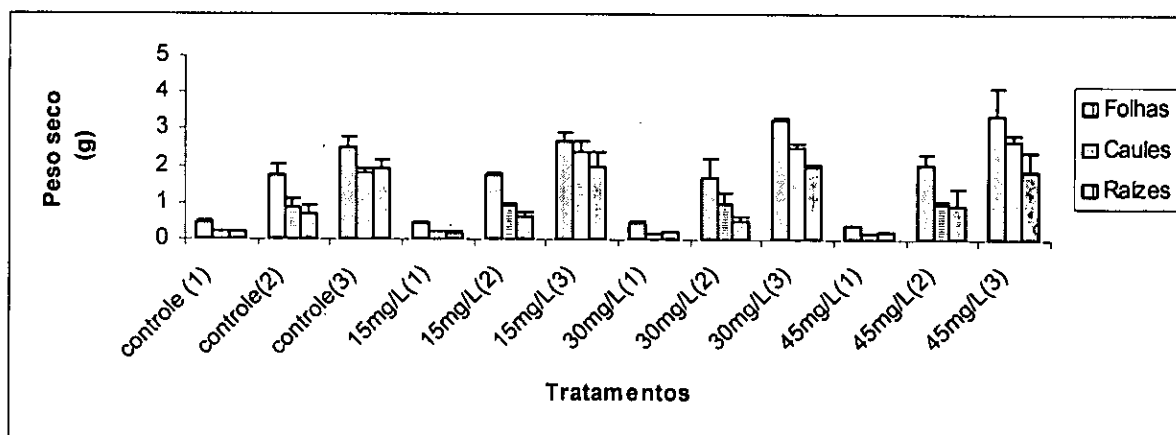


Figura 19b. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre na distribuição final da matéria seca no milho. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). Os números 1, 2 e 3 dentro dos parênteses, representam as fases das colheitas, isto é, 4^a, 8^a e 12^a semana respectivamente.

Os pesos secos aumentaram ao longo da experiência. Em todos os tratamentos, a 4^a semana (1) mostrou valores baixos nas folhas, caules e raízes na acumulação da matéria seca enquanto que na 12^a semana (3) os valores foram mais altos. Nesta cultura, as folhas acumularam maior quantidade de matéria seca em comparação as raízes que mostraram valores reduzidos relativamente próximos aos dos caules em todos tratamentos.

Para a planta de milho, foram também encontradas diferenças significativas na distribuição da matéria seca (Anova, $P < 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

8.7.3 – Distribuição final da matéria seca no tomate

À semelhança ao feijão vulgar e milho, a distribuição final da matéria seca nas diferentes partes da planta de tomate nos tratamentos efectuados na 4^a, 8^a e 12^a mostrou algumas variações ao longo da experiência (figura.19c).

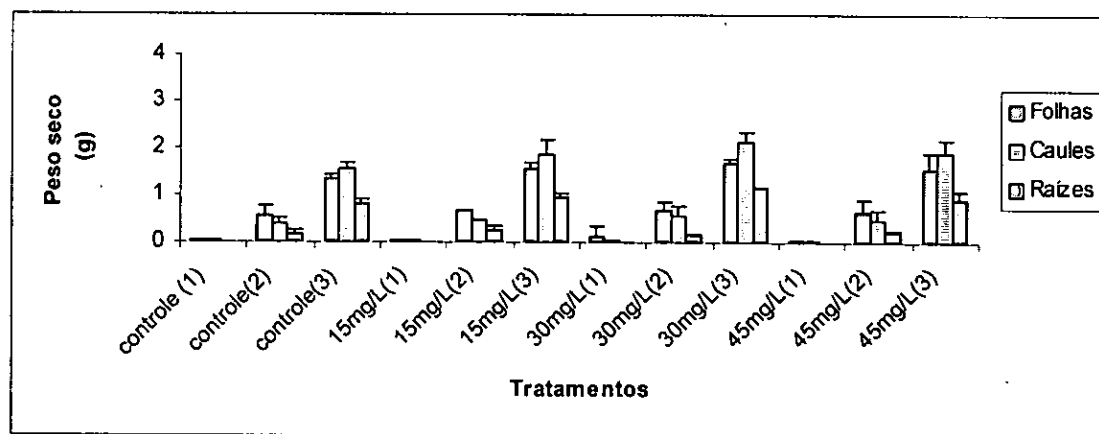


Figura 19c. Efeito de diferentes tratamentos de enxofre na distribuição final da matéria seca no tomate. Os dados referem-se a média de 8 plantas (\pm desvio padrão). Os números 1, 2 e 3 dentro dos parênteses, representam as fases das colheitas, isto é, 4^a, 8^a e 12^a semana respectivamente.

Na 8^a semana (2), as folhas de tomate acumularam maior quantidade de matéria seca em relação aos caules e raízes, enquanto que na 12^a semana (3) a maior quantidade de matéria seca se verificou nos caules, concretamente nos tratamentos 15, 30 e 45mg/l seguidos pelas folhas e por fim as raízes. Na figura 19c, pode-se ver que no tratamento 30mg/l da 4^a semana (1), as folhas de tomate tiveram maior quantidade de matéria seca em relação aos restantes tratamentos no mesmo período.

As diferenças observadas estatisticamente foram significativas (Anova, $P < 0.05$ e Tukey a 5% de probabilidade).

8.8—Efeito do enxofre na fase da floração e formação de frutos

No presente estudo, verificou-se o aparecimento das primeiras flores em algumas plantas de feijão vulgar, no fim da 4^a semana após a sementeira, enquanto que o aparecimento dos primeiros frutos deu-se próximo do fim da sexta semana. Na última colheita cada planta de feijão vulgar tinha em média dois frutos. A introdução de diferentes concentrações no solo não afectou a início da floração nem da formação dos frutos. Para o caso de milho e tomate, esta fase não foi atingida.

9.0–DISCUSSÃO

9.1—Teor de enxofre nos solos

O solo serve de suporte às plantas terrestres que nele desenvolvem as raízes que obtemos grande parte dos elementos nutritivos de que carecem (Varenes, 2003).

O teor de enxofre avaliado no solo usado para experiência encontra-se no intervalo de 0.05 a 1.55%. Estes valores estão dentro do intervalo recomendado pelo (Varenes, 2003), segundo a qual o teor de enxofre nos solos pode variar de 0.002 a 3.5%.

9.2 – Comportamento geral das plantas ao longo da experiência

De um modo geral, o feijão vulgar foi a cultura que mostrou um bom crescimento desde o início da experiência, com pesos relativamente altos em comparação as culturas de milho e tomate.

Na 5ª semana após a sementeira todas culturas foram afectadas por uma praga de “lagartixa americana” que atacou de forma geral as folhas jovens, reduzindo assim o crescimento. Para a cultura do feijão vulgar o efeito negativo desta praga foi maior, visto que as plantas já atingiam uma boa fase de crescimento e encontrava-se no meio do ciclo de vida (floração). A eliminação desta praga foi possível por meio de pulverização usando a insecticida ciprimitrina preparada na proporção de 1:5000 (1ml da insecticida para 5000ml de água).

9.3–Efeito do enxofre no peso seco da planta total, folhas, caules e raízes

O peso seco total das plantas de feijão vulgar (fig.4a) e milho (fig.5a) aumentou com o tempo, em resposta à diferentes concentrações de enxofre na forma de sulfato de potássio introduzidas. A cultura do tomate na sua fase inicial mostrou pouca capacidade de resposta mostrando deste modo valores de pesos muito baixos nos caules e raízes (fig.6c e 6d), enquanto que o peso seco da planta total e o peso seco das folhas (fig.6a e 6b) mostraram resposta positiva. O argumento dado pelo autor Cruz, (2003), é de que a quantidade de nutrientes extraída pela planta de tomate tem sido relativamente pequena enquanto a exigência é maior, porque a eficiência de absorção de nutrientes por parte do

tomate tem sido relativamente baixa, principalmente antes da fase de floração, atingindo o máximo na fase de crescimento dos frutos e decresce durante a maturação.

O aumento do peso seco das folhas, caules e raízes foi também observado no milho (fig. 5b, 5c, e 5d), conduziram a que se possa afirmar que a aplicação de enxofre promoveu produção da matéria seca da parte aérea das plantas como foi igualmente referido por Furtini Neto *et. al.* (2000).

O feijão vulgar mostrou um aumento no seu peso seco da planta total até ao meio do ciclo e uma ligeira diminuição na fase final (12^a semana). Resultados semelhantes foram descritos por Texeira & Ricardo, (1983), citados por Machava, (2000) em que ao longo da fase de crescimento verificaram um aumento e uma redução no fim do ciclo. Este comportamento foi justificado como uma tendência de aumentar o crescimento vegetativo, parando na fase da floração. A competição entre a parte vegetativa e generativa na assimilação de fotossintatos (Uguru & Ezeh, 1997, citados por Macahva, 2000) é a razão da variação da matéria seca.

O peso seco total, pesos das folhas, caules e raízes do feijão vulgar, aumentou ao longo do ciclo (4^a e 8^a semana) e reduziu na 12^a semana. Essa redução pode ter sido devido ao ataque pela praga e pelo ciclo de vida curto do feijão vulgar, que se evidenciou pelo amarelecimento e queda de algumas folhas. Por outro lado, Fageira, *et.al.* (1997); Fageira & Santos, (1998), citados por Fageira, (2001) indicaram que a diminuição da matéria seca também pode estar relacionada com a translocação dos produtos fotossintéticos para os grãos no feijão vulgar. A maior produção de matéria seca das folhas verificadas no meio do ciclo do feijão vulgar pode ter sido influenciada pela maior intensidade de acumulação de nutrientes (Landeweert, 1997, citado por Machava, 2000).

9.4– Efeito do enxofre na área foliar

Em estudos realizados por Watson, (1952), citado por Boaro *et.al.* (1996), foi indicado ser facto conhecido que a área foliar das plantas é bastante dependente da nutrição, embora não se tenham analisado os mecanismos ou processos que na folha são influenciados pelo suprimento de nutrientes minerais. Igualmente Lopes *et.al.* (1982),

citados por Boaro *et.al.* (1996), registraram a importância da área foliar para a produtividade das culturas.

No presente estudo, observou-se um aumento da área foliar para a cultura do milho (fig.5e) e tomate (fig.6e) ao longo da experiência e uma redução para o feijão vulgar (fig.4e), quando submetidas a diferentes concentrações de enxofre na forma de sulfato de potássio no solo. Um aumento da área foliar foi também observado por Machava (2000) no feijão jugo durante a fase vegetativa. A tendência de diminuição da área foliar com a idade da planta referida por Gruszynski (2002), não foi constatada nas plantas de milho e tomate. Segundo Batista (2003) quanto maior for a área foliar maior será a superfície de exposição das folhas e portanto, maior será a capacidade fotossintética da planta.

A área foliar desempenha um papel importante na determinação do uso da água e absorção de carbono pela planta, podendo ser inibida quando submetida ao stress hídrico. A inibição pode ser causada pela deterioração do conteúdo da água nas folhas (Boyer, 1985 citado por Martins, 1999).

9.5–Teor de enxofre total na planta, folhas, caules e raízes.

O teor dos nutrientes nas plantas depende dos seus movimentos no solo e da taxa em que são absorvidos pelas células radiculares. Normalmente este é o primeiro processo que limita o crescimento vegetal, sendo assim que nos modelos de crescimento considera-se que todo nutriente que chega à raiz é absorvido, desde que a quantidade esteja de acordo com as necessidades da planta Varennes (2003).

O teor de enxofre na planta total (fig.4f), dos caules e raízes do feijão vulgar (fig. 4h e fig. 4i) respectivamente, aumentou gradualmente ao longo da experiência em resposta ao tratamento de enxofre usado no solo. O aumento do teor de enxofre nas plantas em função do aumento da sua disponibilidade no solo está de acordo com a proposição feita por Rennenberg, (1984), citado por Moreira *et al.* (1997), segundo a qual as células do sistema radicular não apresentam um mecanismo suficientemente capaz de evitar a absorção do excesso de enxofre pelas plantas.

As folhas do milho, observaram similaridade na acumulação da quantidade de enxofre na 4ª e 8ª semana, contrariamente aos caules e raízes que mostraram um aumento no mesmo

período. A variação observada na 12^a semana, pode ter sido originada pelo esgotamento dos nutrientes ou por perdas gasosas de dióxido de enxofre (SO₂) através dos estomas (Teixeira, 2004).

O teor de enxofre obtido nas raízes das três culturas encontra-se no intervalo de 1.5 a 12%. Segundo Teixeira, (2004), na recuperação do enxofre aplicado ao solo em cultivares de milho, soja e alfafa, verificou que o sistema radicular apresentava valores da ordem de 2 a 30% do enxofre acumulado na planta e que o enxofre acumulado nas folhas e raízes está directamente relacionado com a matéria seca produzida pelas culturas. O aumento da matéria seca tem sido um dos principais factores que proporcionam maior extração de enxofre pelo milho.

9.6–Efeito do enxofre na razão da área foliar

A razão da área foliar para as três culturas, isto é, do feijão vulgar (fig.13a), milho (fig.13b) e do tomate (fig.13c), foi reduzindo ao longo da experiência em todos tratamentos e não mostrou diferenças estatisticamente significativas. Este resultado pode ser explicado como reflectindo a incapacidade de nutrientes de reduzir a área foliar das plantas. Um comportamento semelhante foi constatado por Machava, (2000) no feijão jugo, sendo um indicativo de que apesar de ter se registado maior investimento da matéria seca na parte aérea da planta, não é onde mais se acumula, facto que pode ser confirmado pelo elevado peso seco das folhas como indicado por Siteo, (2003), no feijão vulgar e no amendoim.

A diminuição da razão da área foliar segundo Kemp, (1981), citado por Quilambo, (2000), principalmente no seu estágio inicial de crescimento poderá estar associado à falta de fotossintatos para o crescimento normal da planta.

9.7–Efeito do enxofre na razão da raiz pela parte aérea da planta

A alteração no padrão da distribuição de fotossintatos para o crescimento radicular pode constituir importante mecanismo de adaptação a condições de estresse nutricional (Clarkson, 1985, citado por Furtini Neto *et. al.* 2000), o que pode sustentar o facto de as

culturas de feijão apresentarem maior relação raiz pela parte aérea, tanto em condições de deficiência, como em doses excessivas de enxofre.

A razão do peso seco da raiz por parte aérea aumentou para todos tratamentos na sua fase de crescimento para o caso do feijão vulgar (fig.14a).

Para a cultura do milho (fig.14b), esta razão mostrou uma ligeira diminuição da 4^a à 8^a semana e uma subida ligeira na 12^a semana. No tomate (fig.14c), verificou-se uma redução na razão do peso seco da raiz por parte aérea ao longo da experiência nos tratamentos, sendo que estas diferenças significativas.

As plantas que crescem em meios deficientes em nutrientes tendem a proteger o sistema de raízes através do aumento dos nutrientes absorvidos e o seu transporte para a parte aérea da planta Rondall e Bennett, (1993), citados por Siteo, (2003), o que resulta no aumento da razão do peso seco da raiz pela parte aérea e uma diminuição da biomassa aérea.

9.8–Conteúdo de água nas diferentes partes da planta

A água armazenada no solo é importante pois é a principal fonte deste componente para as plantas, bem como é o meio no qual estão solúveis os nutrientes essenciais à planta (solução do solo). A ausência da água dificulta a vida das plantas e animais (Silva & Falcão 2002).

O conteúdo de água nas diferentes partes da planta de feijão vulgar (fig.15 a ,b e c); da planta de milho (fig.16 a, b e c) e da planta de tomate (fig.17a, b e c) no presente estudo, não sofreu variações ao longo da experiência, podendo-se afirmar que a quantidade de água que as plantas absorveram foi suficiente para o seu desenvolvimento normal. Este comportamento vai de acordo com o argumento feito por Gruszynski, (2002), de que do ponto de vista vegetal, a disponibilidade de água depende da razão com que a água pode ser suprida às raízes em relação à demanda da planta por água e não da presença de poluentes.

9.9– Distribuição final da matéria seca pelas diferentes partes das plantas

A distribuição final da matéria seca nas diferentes partes da planta do milho (fig.19b), mostrou variações na acumulação da matéria seca, tendo-se verificado que as folhas em comparação aos caules e raízes mostraram maior acumulação da matéria seca em todos tratamentos. Ao contrário do milho, nas plantas de feijão vulgar (fig.19a) e tomate (fig.19c), a maior acumulação da matéria seca foi verificada nos caules e menor nas raízes. Baixas acumulações da matéria seca nas raízes foram também constatadas por Machava, (2000) e Magaia, (2000) no feijão jugo e por Siteo, (2003) no feijão jugo e amendoim. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Silveira *et. al.* (2003) que reportaram uma distribuição da matéria seca nas várias partes da planta, com valores de 29% para as folhas e caules e 18% para as raízes e obedecendo à seguinte ordem: folhas>caules>raízes.

10.0 – CONCLUSÕES

—A adição de diferentes concentrações de enxofre, influenciou positivamente, o peso seco (das folhas, caules e raízes) e na área foliar do feijão vulgar, milho e tomate.

— A adição de enxofre reduziu a razão da área foliar e razão do peso seco da raiz pela parte aérea nas três culturas.

— O milho acumulou maior enxofre nas folhas, caules e raízes que no feijão vulgar e tomate e as raízes foram o maior centro de acumulação.

— Existe uma correlação positiva entre o peso seco total da planta e o teor de enxofre total na cultura do milho e correlação negativa para as culturas de feijão vulgar e tomate.

— O feijão vulgar, o milho e o tomate, mostraram capacidade em acumular o enxofre nas diferentes partes das plantas, isto é, podem ser usadas como plantas fitorremediadoras. De entre elas, o milho foi a planta que mostrou maior capacidade de acumular o enxofre no solo na forma de sulfato.

11.0 – RECOMENDAÇÕES

— Não foi possível através deste estudo fazer-se análise separada de folhas jovens e velhas para avaliação da capacidade de acumulação do nutriente, devido ao número de culturas escolhidas. Deste modo, recomenda-se que seja tratado somente um tipo de cultura de modo a permitir que durante a análise foliar, sejam analisadas folhas novas e velhas separadamente.

— Recomenda-se igualmente o controlo da radiação solar e temperatura de modo a avaliar a sua influência em relação ao nutriente a ser usado.

12.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, S. E., (1989) Chemical analysis of ecological materials Blackwell Scientific Publications, second edition.
- [2] ALMEIDA, I.T., (1999), Poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto, tese de mestrado, São Paulo-Brazil.
- [3] BATISTA, K., (2003), Respostas do capim – Marandau a combinações de doses de enxofre e nitrogênio. Universidade de São Paulo, Tese 91pp.
- [4] BÖHM, G.M., (1996), Como as principais poluentes provocam doenças, 6pp.
- [5] BOLETIM TECNICO, (2000), Fertilizantes, A importância do enxofre, 5pp.
- [6] BOARO, C.S.F., Rodrigues, J.D., Pedras, J.F., Rodrigues, S.D., Delachiave, M.E., Mischan, M.M., (1996), Níveis de magnésio em soluções nutritivas e o desenvolvimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L. C.v carioca), Avaliação de Parâmetros Biométricos, Sci. Agric., Piracicaba, São Paulo- Brasil, 53 (2/3): 254-260
- [7] CANDA, G.N., (1998), Estudo do rendimento de 16 variedades de feijão vulgaris (phaseolus vulgaris L.), nas estações agrárias do Chóckwe e Umbeluzi; Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Departamento de Produção e Protecção Vegetal, Trabalho de licenciatura. UEM, 50pp.
- [8] CERMEÑO, Z.S., (1977), Cultivo de plantas hortícolas em estufa, Editorial AEDOS. Litexa- Portugal, 310pp: p207-209 e 287.
- [9] CLEMENTE, A.D., (2003), Melhoramento florestal aplicado a condições ambientais específicas, São Paulo – Brazil. 89pp.
- [10] CRUZ, AC.R., (2003), Consumo de água por culturas de citrus cultivado em latossolo vermelho amarelo, Universidade de São Paulo – Piracicaba – Brasil, 103pp.
- [11] DIMANDE, C.L., (2003), Guião de aula laboratorial-I, Espectroscopia I. Departamento de Química, Faculdade de Ciências. UEM, Maputo, 12pp.
- [12] DOLEY, D., (2002), Terrestrial flora and predicted effect of fluoride, Environmental Impact statement. Appendix Q, vol.2, 35pp.
- [13] EPSTEIN, M., (1990), Impacto ambiental das emissões áreas de usinas termoelectricas – emissões de SO₂. Revista Brasileira de energia, vol.1 n °2 .15pp.
- [14] ESPECIFICAÇÕES 157, (1964), Determinação do teor de Sulfatos, série B – Secção 5, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 5pp.

- [15] ETHERINGTON, J.R. (1974), Environment and Plant Ecology, John Wiley & sons, New York-Toronto, 572pp:236-258.
- [16] FAGEIRA, N.K., (2001), Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental vol.5 n°3, p 416-424
- [17] FERTILIZANTE HERINGER, (1996), Cultura do milho com enxofre, 4pp.www.heringer.com.Br
- [18] FURTINI NETO, A E., Fernandes, L.A.A , Faquim, V., Silva, I.R. e Accioly, A M. A , (2000), Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre, Pesq. agroec. Brás. Brasília, Vol. 35 n°3, p567-573.
- [19] GUIMARÃES, C.S., Lacorte, C. E Brasileiro, A.C.M., (2003), Transformação genética em espécies florestais, Ciência florestal, vol.13 n°1.
- [20] GRUSZYNSKI, C., (2002), Resíduo agro-industrial “Casa de Tungue” como componente de substrato para plantas, Universidade Federal do Rio Grande, Tese de Mestrado, Porto Alegre, 99pp.
- [21] Instituto de investigação agrônômica (INIA). (1987), Feijão vulgar (série de divulgação n°5).
- [22] Laboratório de engenharia de Moçambique (LEM). (1964), Determinação do teor de sulfatos (Série B – Secção 5)
- [23] MACHAVA, W.J, (2000), O processo de infecção das raízes do feijão jugo (Vigna subterrânea L.) por fungos micorrízios no solo arenoso do campus e viveiros da estufa. Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo, 54pp.
- [24] MAGAIA, M.A, (2001) Estudo das relações hídricas e acumulação da prolina em duas variedades de feijão jugo (vigna subterranea) que diferem na cor da testa da semente, Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo 54pp.
- [25] MARTINS, C.L. (1999), Análise do padrão de crescimento de duas variedades de feijão jugo (Vigna subterrânea), em condições de stress hídrico, Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo, 50pp.
- [26] MELLANBY, Kenneth.(1982), Biologia da poluição, São Paulo-Brazil.

- [27] **Ministério de Agricultura**, (1985), Cultura do milho, série Agricultura, 63pp.
- [28] **MORAES, R.M.; Klamp, A; Furlan, C.M.; Klamp, G.; Domingos, M.; Rinaldi, M.C.S. e Modesto, I.F.** (2002), Tropical fruit trees as bioindicadores of industrial air pollution in southeast Brazil – Environmental international, 8pp, p.367 – 374.
- [29] **MOREIRA, A**, Envagelista, A.R., Carvalho, J.G., (1997), Efeito de fontes e doses de enxofre na produção e composição mineral do trevo-branco, Universidade de São Paulo, 6pp.
- [30] **MUDD, J.B e KOZLOWSKI T.T.** (1975). Responses of plants to air pollution. Academic Press New York, San Francisco London, 383pp: p.9-11 e 58-61.
- [31] **MULHANGA, H.S.**, (2004), Papel do Milho(zea mays, L.) no sistema de produção em Macassane e Nguenha, Distrito de Matutuine, Maputo. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Departamento de Produção e Protecção Vegetal, Trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo, 43 pp.
- [32] **NOGUEIRA, A.R.de A.; Souza, G.B.; Silva, F.V.; Zagatto, E.A.G.** (1997) Sistema polivalente de análises químicas por injeção em fluxo: Determinação espectrofotométrica de cálcio, magnésio e fósforo em plantas, Sci.agric. vol.54 n°3 Piracicaba são Paulo-Brasil, 4pp.
- [33] **PINHEIRO, A.C.B.e MONTEIRO, A.B.A.**, (1982), Ciência do ambiente- Ecologia, Poluição e Impacto Ambiental, São Paulo- Brazil, p.56-60.
- [34] **PIRES, F.R.;Souza, C.M.; Silva, A.A**, (2003), Phytoremedition of Herbecide – Polluted Soils. Planta daninha, Revista brasileira Botânica, vol.21,n °2.
- [35] **QUILAMBO, O.A.**, (2000), Functioning of peanut (Arachis hypogaea L.) under nutrient deficiency and drought stress in relation to symbiotic associations Van Denderen B.V., Groningen ISBN 90 367 1284 x, 168pp.
- [36] **RAVEN, P.H.; Evert, R.F e Eichhorn, S.E.** (2001), Biologia Vegetal, 6ª edição Rio de janeiro - Brasil
- [37] **RIBEIRO FILHO, M.R.**, (2003), Materiais inorgânicos como Agentes Amenizantes da toxidez de Metais Pesados no Solo, Tese de doutoramento, Universidade Federal de Lavras – Brazil, 102 pp.

- [38] RIBEIRO, J e RULKENS, A.,(1986), O Tomateiro, Coleção jovem agricultor, AJAP/AJAM, Maputo, 116pp.
- [39] RULKENS, (1999), Apontamentos de produção e protecção vegetal, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, UEM – Maputo, 29pp.
- [10] SANTOS, J.Q. (1996), Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos, 2ªedição Lisboa, 441pp: p 96.
- [41] SHAH, H.J., (2000), Resposta de quatro variedades de tomateiro à época quente; Faculdade de Agronomia e Engenharia florestal, Departamento de produção e Protecção Vegetal, trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo, 38pp.
- [42] SILVA, J.R.A. e FALCÃO, N.P.S., (2002), Caracterizaçãode sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivada em solução nutritiva, Acta Amazônica nº32, p529-539.
- [43] SILVEIRA, R.L.V.A.; Luca, E.F., Silveira, L.V.A., Luz, H.F. (2003), Matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes em mudas de eucalyptus grandis em função da idade, SCIENTIA FORESTALIS, nº64, p-136 – 149.
- [44] SITOIE, A.S. (2003), Efeitos da deficiência de elementos nutrientes no desenvolvimento de amendoim (Arachis hypogaea) e feijão jugo (Voandzeia subterranea), Faculdade de Ciências, Departamento de ciências Biológicas, Trabalho de Licenciatura, UEM, Maputo, 68pp.
- [45] SKOOG, D.A.; Holler F.J.and NIEMAN T.A., (1991), Principles of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing, Philadelphia, Chicago, 4ª ed., 849pp: p602-604.
- [46] SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J. and NIEMAN, T.A., (1998) Principles of Instrumental Analysis, 5ªed., Saunders College Publishing, Philadelphia, Chicago, p 299-325
- [47] TEIXEIRA, G.M., (2004), Recuperação de enxofre (³⁴S) aplicado ao solo em cultivos sucessivos com milho ou soja e alfafa, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, 95pp.
- [48] THOMAS, M.J.K., (1996), Ultraviolet and Visible Spectroscopy, 2ªed., Analytical Chemistry by Open Learning, John Wiley & Sons, Toronto, 229pp: p1; 16-22.
- [49] VARENNES, A., (2003), Produtividade dos solos e ambiente, Editora escolar, 490pp.

ANEXOS

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 1. Pesos secos de folhas, caules e raízes de feijão vulgar

	<i>Pesos secos das folhas</i>				<i>Pesos secos dos caules</i>				<i>Pesos secos das raízes</i>			
	<i>Controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	1.4901	1.4606	1.6225	1.5874	1.1215	1.4373	1.3091	1.3705	0.4816	0.4325	0.4494	0.4947
	1.2514	1.3541	1.3104	1.4883	1.0688	1.3946	1.4954	1.5305	0.4044	0.4733	0.3817	0.4505
	1.2775	1.6889	1.3587	1.5918	1.4043	1.5287	1.0652	1.4979	0.3298	0.5096	0.4499	0.5214
2ªcolheita	1.2708	1.5262	1.7393	1.1938	1.9914	2.3485	2.3710	2.2172	0.5228	0.6210	0.6341	0.8540
	1.2097	1.0735	1.6508	1.8052	1.8123	1.6428	1.6521	2.1982	0.6820	0.5442	0.4612	0.7101
	1.4927	1.6363	1.2179	1.6982	1.8062	2.2346	2.5037	2.0174	0.6370	0.8370	0.7106	0.7185
3ªcolheita	0.0444	0.6110	0.2030	0.7322	1.2873	1.8477	1.5417	1.4427	0.3558	0.5151	0.4484	0.4790
	0.5900	0.5294	0.3055	0.2885	1.0952	1.5893	1.0433	1.8378	0.3405	0.7122	0.2784	0.8050
	0.1848	0.2928	0.5193	0.6346	1.1566	1.1429	1.6399	1.0162	0.4315	0.4393	0.4666	0.4287

Anexo 2. Pesos secos de folhas, caules e raízes de milho

	<i>Pesos secos das folhas</i>				<i>Pesos secos dos caules</i>				<i>Pesos secos das raízes</i>			
	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/</i>	<i>45mg/l</i>	<i>Controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	0.4945	0.4478	0.4768	0.4262	0.2308	0.2148	0.1790	0.1812	0.2595	0.1658	0.2456	0.2144
	0.4928	0.4918	0.5081	0.3792	0.1650	0.2169	0.2095	0.1525	0.2105	0.2289	0.2278	0.1725
	0.4887	0.4449	0.4537	0.4210	0.2302	0.1887	0.1671	0.1506	0.1927	0.1988	0.2511	0.2301
2ªcolheita	1.5530	1.8488	0.9596	1.8522	0.7560	1.0059	0.5766	0.9486	0.6358	0.5836	0.3523	1.5564
	2.1723	1.6923	2.0021	2.4020	1.1807	0.9137	1.1278	1.0465	1.0147	0.4953	0.4875	0.6868
	1.4259	1.6711	2.1040	1.9127	0.7538	0.8783	1.2415	0.9424	0.4336	0.7901	0.6905	0.5298
3ªcolheita	2.4822	2.8577	3.2948	3.8001	1.8750	2.7672	2.4353	2.7010	1.7908	2.1148	2.0505	2.4322
	2.8947	2.3770	3.3227	3.9927	1.8676	2.0356	2.3323	2.8656	2.2533	1.4875	1.8823	1.9396
	2.1748	2.8158	3.2335	2.3797	1.7100	2.2873	2.6770	2.3801	1.7973	2.3908	1.9684	1.2506

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA
FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 3. Pesos secos de folhas, caules e raízes do tomate

	<i>Pesos secos das folhas</i>				<i>Pesos secos dos caules</i>				<i>Pesos secos das raízes</i>			
	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	0.0375	0.0394	0.0335	0.0394	0.0382	0.0318	0.0450	0.0421	0.0116	0.0129	0.0106	0.0108
	0.0257	0.0351	0.3780	0.0395	0.0322	0.0350	0.0372	0.0441	0.0080	0.0128	0.0116	0.0107
	0.0333	0.0413	0.0320	0.0406	0.0344	0.0449	0.0372	0.0338	0.0130	0.0110	0.0146	0.0113
2ªcolheita	0.3334	0.7043	0.6395	0.6842	0.3703	0.4613	0.5117	0.6365	0.2007	0.2126	0.1780	0.1924
	0.7256	0.6932	0.5492	0.3494	0.5460	0.4447	0.3875	0.2603	0.2190	0.1758	0.1832	0.1291
	0.6463	0.6852	0.9114	0.8880	0.2113	0.4954	0.7820	0.5977	0.0896	0.3445	0.1844	0.2759
3ªcolheita	1.3279	1.4602	1.8064	1.4878	1.4324	1.6773	1.8834	1.8919	0.7615	0.9594	1.1954	0.8248
	1.3513	1.5244	1.6030	1.2986	1.5817	1.7840	2.2951	1.6451	0.7606	0.8265	1.1570	0.8631
	1.4223	1.7159	1.6370	1.9275	1.6741	2.2043	2.1765	2.1989	0.9122	1.0343	1.1185	1.1091

Anexo 4. Áreas foliares do feijão vulgar, milho e tomate respectivamente

	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	1046.199	1006.491	946.535	1093.216	224.185	222.018	199.625	165.227	24.028	32.433	28.369	36.248
	893.168	946.535	947.859	989.001	178.783	184.490	253.504	205.615	24.850	30.516	28.140	35.990
	872.376	1047.906	992.065	995.486	192.578	212.839	179.607	183.257	22.725	35.184	33.904	30.227
2ªcolheita	902.296	959.173	1159.755	846.556	401.808	520.544	265.105	749.211	139.750	271.478	238.512	386.047
	739.940	642.168	1001.429	1067.535	690.646	653.224	582.720	821.014	418.750	317.340	109.153	192.910
	741.068	896.819	708.913	934.355	509.011	532.032	640.535	536.446	305.762	292.340	493.244	410.997
3ªcolheita	20.589	341.079	116.307	392.482	703.515	859.546	1083.774	992.977	488.920	523.904	697.379	679.863
	385.417	352.014	190.092	173.028	791.515	623.161	1051.104	843.207	475.762	650.319	622.886	519.537
	125.577	192.238	353.801	479.439	610.118	747.589	554.553	868.406	543.360	736.236	826.180	655.101

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA
FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 5. Teores de enxofre das folhas, caules e raízes do feijão vulgar

	Folhas				Caules				Raízes			
	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	2.15	2.82	2.29	2.84	0.14	0.61	0.50	0.31	0.06	0.43	0.18	0.23
	2.25	2.40	2.49	2.73	0.09	0.64	0.88	0.32	0.12	0.38	0.15	0.19
2ªcolheita	1.61	1.31	1.84	1.55	0.49	3.14	0.95	1.86	2.91	2.98	2.61	2.32
	1.63	1.42	1.77	2.12	0.52	3.15	0.85	1.96	3.09	3.14	2.53	2.37
3ªcolheita	2.74	3.91	3.67	2.72	2.99	3.12	3.84	2.65	5.09	4.76	6.13	5.80
	2.83	3.84	3.77	3.49	2.96	3.19	3.67	2.70	5.73	5.39	6.21	5.80

Anexo 6. Teores de enxofre das folhas, caules e raízes do milho

	Folhas				Caules				Raízes			
	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
1ªcolheita	3.49	4.15	3.78	4.56	2.86	2.97	2.97	2.22	1.52	1.88	2.33	3.03
	0.00	3.61	4.40	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2ªcolheita	4.43	4.90	5.80	4.26	4.22	5.23	6.14	5.98	5.19	6.87	6.20	8.82
	4.49	5.16	5.67	5.28	4.58	5.49	5.97	5.89	4.29	5.78	6.52	7.83
3ªcolheita	4.89	6.99	3.69	5.28	0.88	3.93	6.64	17.25	2.57	12.04	3.89	12.60
	5.02	7.11	4.64	5.74	0.98	5.44	7.81	18.15	2.65	12.40	3.95	12.90

Anexo 7. Teores de enxofre das folhas, caules e raízes do tomate

	Folhas				Caules				Raízes			
	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>	<i>controle</i>	<i>15mg/l</i>	<i>30mg/l</i>	<i>45mg/l</i>
2ªcolheita	6.18	6.77	6.46	6.25	3.57	3.09	3.02	2.73	1.28	1.57	1.43	1.54
	6.89	6.39	6.91	6.60	2.67	3.76	3.08	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
3ªcolheita	4.99	5.28	5.30	6.09	2.18	3.25	1.75	1.92	1.81	1.24	1.94	2.25
	5.20	5.31	5.34	6.02	2.52	3.34	1.84	2.03	1.99	1.44	2.03	2.23

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA
FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 8. Dados das folhas de feijão vulgar obtidos no espectrofotômetro.

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/l			30mg/l			45mg/l		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Colheitas												
Concentração (mg/l)	43.0	16.1	27.5	56.5	13.1	39.3	45.7	18.5	36.9	56.9	15.6	27.5
	45.0	16.3	28.4	48.1	14.2	38.6	49.9	17.7	37.9	54.6	21.2	34.9
	0.6517	0.1715	0.2311	0.8335	0.1581	0.3037	0.6882	0.1827	0.2886	0.8387	0.1695	0.2298
Absorvância	0.6788	0.1728	0.2366	0.7197	0.1632	0.2992	0.7444	0.1790	0.2948	0.8075	0.1950	0.2767
%RSD	0.11	0.15	0.10	0.02	0.20	0.04	0.05	0.13	0.05	0.04	1.86	0.13
	0.02	0.08	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.13	0.04	0.05	0.36	0.03

Anexo 9. Dados dos caules de feijão vulgar obtidos no espectrofotômetro.

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/l			30mg/l			45mg/l		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Nº de colheitas												
Concentração (mg/l)	2.7	4.9	30.1	12.1	31.6	31.8	10.1	9.6	39.0	6.1	18.7	27.1
	1.8	5.2	29.5	12.7	34.8	32.4	17.5	8.6	37.0	6.4	19.7	27.6
	0.2672	0.1212	0.2470	0.4858	0.2421	0.2573	0.4408	0.1422	0.3015	0.3455	0.1836	0.2283
Absorvância	0.2455	0.1225	0.2430	0.5003	0.2566	0.2613	0.6131	0.1376	0.2919	0.3546	0.1881	0.2316
%RSD	0.02	0.33	0.02	0.01	0.83	0.04	0.05	0.14	0.04	0.04	0.11	0.06
	0.05	0.15	0.09	0.01	0.63	0.02	0.01	0.16	0.04	0.00	0.05	0.07

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA
FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 10. Dados das raízes de feijão vulgar obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/l			30mg/l			45mg/l		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Nº de colheitas												
Concentração (mg/l)	1.2	58.1	51.5	8.7	59.9	48.2	52.6	62.1	4.6	4.6	46.4	58
	2.4	62.2	58	7.5	63.1	54.4	50.9	61.3	3.8	3.8	47.8	58
Absorvância	0.225	0.3622	0.3622	0.5796	0.3705	0.3586	0.3351	0.337	0.4442	0.3826	0.3092	0.4189
	0.2804	0.3807	0.3807	0.5226	0.3849	0.3968	0.3297	0.4392	0.3456	0.3456	0.3155	0.4189
%RSD	0.04	0.08	0.08	0.01	0.21	0.08	0.14	0.17	0.42	0.05	0.08	0.03
	0.04	0.74	0.74	0.01	0.12	0.03	0.04	0.07	0.18	0.05	0.11	0.02

Anexo 11. Dados das folhas de milho obtidos no espectrofotômetro.

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/l			30mg/l			45mg/l		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Nº de colheitas												
Concentração (mg/l)	35.0	45.1	49.4	42.2	49.7	70.4	37.8	58.6	37.1	45.5	43.4	53.3
		45.6	50.5	36.7	52.3	71.7	44.0	57.3	46.5	49.8	53.6	57.9
Absorvância	0.2868	0.3704	0.3259	0.3351	0.4104	0.4196	0.3057	0.4892	0.2710	0.3574	0.3560	0.3430
		0.3746	0.3307	0.2984	0.4336	0.4252	0.3476	0.4776	0.3128	0.3868	0.4447	0.3639
%RSD	0.14	0.08	0.21	0.01	0.09	0.08	0.21	0.05	0.22	0.10	0.05	0.15
		0.04	0.21	0.01	0.06	0.04	0.10	0.05	0.06	0.06	0.10	0.36

TESE DE LICENCIATURA – ESTUDO DOS EFEITOS DO FEIJÃO VULGAR, MILHO E TOMATE NA
FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR ENXOFRE

Anexo 12. Dados dos caules de milho obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/l			30mg/l			45mg/l		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Nº de colheitas												
Concentração (mg/l)	28.7	42.5	8.9	29.4	52.7	39.5	29.5	62.1	33.4	22.6	60.3	86.8
		46.3	9.9		55.1	54.6		60.7	39.3		59.4	91.5
Absorvância	0.2433	0.3477	0.1147	0.2482	0.4370	0.3093	0.2486	0.5191	0.2707	0.2005	0.5037	0.6108
		0.3812	0.1212		0.4585	0.4058		0.5074	0.3083		0.4961	0.6407
%RSD	0.02	0.14	0.03	0.07	0.04	0.16	0.05	0.09	0.13	0.01	0.10	0.07
		0.15	0.11		0.07	0.10		0.15	0.09		0.21	0.14

Anexo 13. Dados das raízes de milho obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle			15mg/L			30mg/L			45mg/L		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Nº de colheitas												
Concentração (mg/l)	14.1	21.0	12.9	17.3	27.7	60.7	23.6	25.0	19.5	29.3	35.7	63.5
		17.4	13.3		23.4	62.8		26.3	19.9		31.7	65.0
Absorvância	0.1386	0.1590	0.1406	0.1616	80.0000	0.4450	0.2062	0.1940	0.1824	0.2462	0.2877	0.4623
		0.1277	0.1426		0.1807	0.4576		0.2060	0.1852		0.2527	0.4716
%RSD	0.06	0.09	0.16	1.37	0.14	0.02	0.02	0.15	0.12	0.00	0.06	0.04
		0.80	0.30		0.06	0.42		0.07	0.15		0.08	0.05

Anexo 14. Dados das folhas de tomate obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle		15 mg/L		30 mg/L		45 mg/L	
Nº de colheitas	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª
Concentração (mg/l)	61.8	50.2	68.5	52.8	64.9	53.1	62.5	61.0
	69.2	52.2	64.5	53.1	69.7	53.4	66.3	60.4
Absorvância	0.4531	0.3294	0.4956	0.3411	0.4728	0.3424	0.4574	0.3777
	0.5002	0.3383	0.4702	0.3425	0.5034	0.3436	0.4820	0.3749
%RSD	0.03	0.16	0.12	0.14	0.09	0.04	0.13	0.10
	0.02	0.07	0.15	0.06	0.02	0.08	0.06	0.07

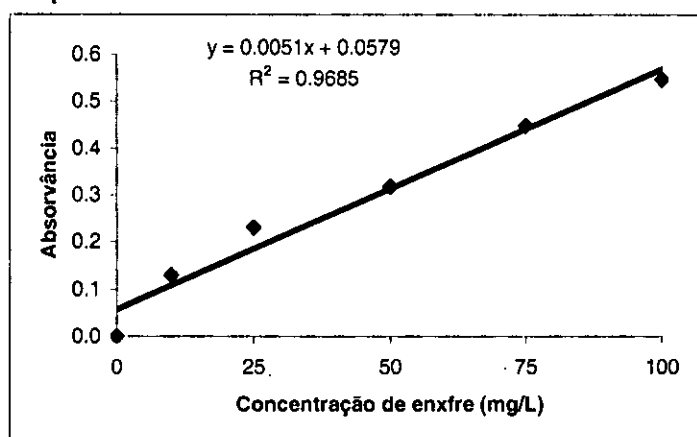
Anexo 15. Dados dos caules de milho obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle		15 mg/l		30 mg/l		45 mg/l	
Nº de colheitas	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª
Concentração (mg/l)	36.1	43.7	31.3	65.0	30.4	35.1	27.5	38.6
	26.9	50.7	37.9	67.0	31.2	37.0	26.1	40.5
Absorvância	0.2884	0.3151	0.2576	0.4318	0.2518	0.2680	0.2333	0.2786
	0.2293	0.3537	0.2998	0.4431	0.2573	0.2786	0.2247	0.2873
%RSD	0.05	0.08	0.09	0.02	0.11	0.22	0.09	0.16
	0.06	0.66	0.06	0.05	0.11	0.07	0.17	0.24

Anexo 16. Dados das raízes de milho obtidos no espectrofotômetro

Níveis de enxofre (mg/l)	Controle		15 mg/L		30 mg/L		45 mg/L	
Nº de colheitas	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª
Concentração (mg/l)	25.4	36.2	31.5	24.7	28.6	39.0	31.1	45.3
		39.9		28.9		40.5		44.7
Absorvância	0.2198	0.2834	0.2591	0.2158	0.2406	0.2795	0.2562	0.3075
		0.2158		0.2346		0.2860		0.3050
%RSD	0.37	0.14	1.19	0.07	0.15	0.21	0.27	0.67
		0.08		0.69		0.55		0.08

Anexo 17. Curva de calibração usada para determinação do teor de enxofre nas diferentes partes das plantas



Anexo 18

Determinação do teor do sulfato no solo

Reagentes

- HCl 36%, $d=1.18g/l$
- Solução de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ à $100g/l$
- Água destilada

Ataque da amostra

Pesou-se 1 grama de cada uma das amostras separadamente e adicionou-se 5ml de HCl até não haver efervescência; juntou-se em seguida mais 5ml de HCl e aqueceu-se até a ebulição durante 15min. Filtrou-se de seguida usando o papel de filtro nº40 para um copo de 500ml e foram feitas lavagens do papel filtro com cinco porções de água destilada quente e acrescentou-se água até ao volume de 250ml aquecendo-se novamente até a ebulição. Adicionou-se em seguida, gota a gota e lentamente 10ml da solução de cloreto de bário ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) quente, mantendo em ebulição

até a formação completa do precipitado. De seguida deixou-se repousar tapado com um vidro de relógio, durante 12 horas. A solução foi novamente filtrada com papel de filtro nº 40 e lavou-se o papel com cinco porções de água destilada quente. Passou-se o papel de filtro contendo o precipitado para um cadinho de porcelana previamente tarado, secou-se e incinerou-se sem inflamar o papel de filtro e por fim foi calcinado numa mufla a $850^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 1 hora. Deixou-se arrefecer num excicador e as pesagens. Em paralelo fez-se um ensaio em branco com água destilada, adicionando-se todos os reagentes usados nas amostras. O cálculo do teor de sulfato nos solos foi feito usando a seguinte fórmula:

$$\% \text{SO}_4 = (m_2 - m_3) / m_1 \times 34.3$$

Sendo que:

m_1 = massa do solo

m_2 = massa do resíduo calcinado

m_3 = massa do resíduo do ensaio em branco calcinado

34.3 é o factor conversão para os sulfatos