

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM AGRONOMIA

ALICE JACOBUS DE MORAES

**DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM  
PLANTAS MEDICINAIS CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS  
E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO**

Marechal Cândido Rondon  
2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM AGRONOMIA

ALICE JACOBUS DE MORAES

**DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM  
PLANTAS MEDICINAIS CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES  
TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO**

Dissertação apresentada a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior

Marechal Cândido Rondon  
2010

Aos meus pais Aida Teresinha Jacobus de Moraes e Jorge Augusto Martins de Moraes pelo incentivo à minha formação acadêmica. Às minhas irmãs Fernanda Jacobus de Moraes pelo companheirismo durante os dois anos de mestrado e Janice Jacobus de Moraes pela força e apoio. Ao meu esposo Braz Roberto do Nascimento pelo apoio, força e por ter assumido muitas das minhas tarefas de mãe durante a realização do mestrado. Em especial ao meu filho, Pedro Augusto Moraes do Nascimento, razão de todos os meus objetivos.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus pela vida.

Ao professor Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior, pelo apoio, incentivo e pela orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A Gilmar Divino Gomes pelo apoio e aos colegas do grupo de pesquisa GESOMA, pelo auxílio na realização das análises e condução dos experimentos de mestrado.

As amigas Patrícia Andrea Bertuol Montovani e Mayra Mitiko Yoshihara pela ajuda e pela presença em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de mestrado e novos amigos com quem realizei trabalhos e com os quais convivi durante este tempo.

Aos professores do Curso de Mestrado em Agronomia, pelos ensinamentos ministrados.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

# DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS MEDICINAIS CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO

## RESUMO

O cultivo e a utilização de plantas medicinais tem acompanhado a evolução do homem através dos séculos. Muitas pesquisas recentes estão voltadas para o conhecimento de práticas agronômicas sustentáveis que possam proporcionar maior qualidade e aproveitamento dos princípios ativos de interesse das plantas medicinais, objetivando oferecer, por exemplo, melhores condições ambientais e nutricionais às plantas. O objetivo deste trabalho foi determinar a disponibilidade de nutrientes e o teor de metais pesados presentes em duas espécies de plantas medicinais, *Ocimum basilicum* (manjeriço) e *Calendula Officinalis* (calêndula), quando submetidas a diferentes tratamentos com adubação orgânica e adubação convencional em solos de diferentes texturas (arenosa e argilosa). Para tanto, foram realizados dois experimentos semelhantes com cada uma das duas espécies escolhidas nos quais os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial (2x2x3) dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo duas texturas de solo, (argilosa e arenosa), duas formas de adubação (química e orgânica) e três doses de adubação (sem adubação, dose recomendada e o dobro da dose recomendada) totalizando 12 tratamentos com quatro repetições. Com o experimento realizado com plantas de manjeriço, pôde-se concluir que os solos argilosos favoreceram a disponibilidade de P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Cd e Pb; os solos de textura arenosa favoreceram a disponibilidade de N, Mn e Cr. A adubação orgânica disponibilizou maiores teores de N, P, Mg e Zn, enquanto a adubação química evidenciou a presença de metais pesados tóxicos (Cd e Pb) nas fontes de NPK utilizadas. No experimento realizado com plantas de calêndula os resultados demonstraram que os solos argilosos favoreceram a disponibilidade de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Fe; os solos de textura arenosa favoreceram a disponibilidade de Ca, Mn, Pb e Cr. A adubação orgânica disponibilizou maiores teores de P e Fe, enquanto o tecido foliar de plantas de calêndula adubadas com adubação química apresentaram concentrações maiores de K e Mn. As plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa apresentaram maior altura e maiores médias de massa seca e massa fresca. Os resultados obtidos nos dois experimentos demonstraram que a adubação química favoreceu a disponibilidade de metais pesados tóxicos no tecido vegetal de plantas medicinais. O solo de textura argilosa e a adubação orgânica favoreceram o aumento da CTC no solo e a disponibilidade de nutrientes que são essenciais às plantas em geral.

**Termos para indexação:** fitodisponibilidade, adubação química, adubação orgânica, planta medicinal.

# AVAILABILITY OF NUTRIENTS AND TOXIC HEAVY METALS IN MEDICINAL PLANTS CULTIVATED IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES AND UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF FERTILIZATION

## ABSTRACT

The cultivation and use of medicinal plants has followed man's evolution through centuries. Since the earliest civilizations, plants were already used for different purposes, especially for eating and in the treatment of diseases. Many recent surveys are pointing to the knowledge of sustainable agronomic practices that can provide higher quality and utilization of the active principles of interest of medicinal plants aiming to provide, for example, better environmental and nutritional conditions to plants. The aim of this study was to determine nutrient availability and content of heavy metals in two species of medicinal plants, *Ocimum basilicum* (Basil) and *Calendula officinalis* (Marigold), when subjected to different treatments with organic fertilization and conventional fertilization in different soil textures (sandy and clayey). For this, two similar experiments were conducted with each of the two species chosen in which the treatments were arranged in factorial scheme (2x2x3) arranged in a completely randomized design (CRD), being two soil textures (clayey and sandy), two forms of fertilizer (chemical and organic) and three levels of fertilization (unfertilized, the recommended dose and twice recommended dose) totalizing 12 treatments with four replications. The experiment conducted with basil plants, It was concluded that the clay soil favored the availability of P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Cd e Pb; the sandy soil favored the availability of N, Mn e Cr. The organic fertilization provided higher levels of N, P, Mg e Zn, while chemical fertilizer showed the presence of toxic heavy metals (Cd e Pb) in the sources of NPK used. The experiment conducted with marigold plants, the results showed that clayey soil favored the availability of N P, K, Mg, Cu, Zn and Fe; the sandy soil favored the availability of Ca, Mn, Pb and Cr. The organic fertilization provided higher levels of P and Fe, while the leaf tissue of marigold plants fertilized with chemical fertilizer showed higher concentrations of K and Mn. Marigold plants grown in clay soil were higher and had the highest average of dry volume and fresh volume. The results obtained with both experiments showed that the use of fertilizer improved the availability of heavy metals in the tissue of medicinal plants. The clay soil and organic fertilization favored the increase of CTC in the soil and the availability of nutrients that are essential to plants in general.

**Index terms:** phytoavailability, chemical fertilizer, organic fertilizer, medicinal plant.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tabela 1. Teores de metais pesados que ocorrem naturalmente em solos sem contaminação. ....	26
Tabela 2. Teores tóxicos de alguns metais pesados em plantas. ....	29
Tabela 3. Valores de referência dos teores foliares de metais pesados adequados para a cultura do milho. ....	29

### CAPÍTULO 2 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO

Tabela 1: Análise granulométrica do solo. ....	56
Tabela 2: Análise química do Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd). ....	57
Tabela 3: Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd). ....	57
Tabela 4: Doses de adubação química utilizadas nos tratamentos nos solos de textura argilosa (LVe) e arenosa (PVd). ....	57
Tabela 5: Análise química do composto orgânico. ....	58
Tabela 6: Análise de variância para os teores de N, P, K, Ca e Mg nas plantas de manjeriço. ....	61
Tabela 7: Análise de variância para os teores dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nas plantas de manjeriço. ....	62
Tabela 8: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn e dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr em plantas de manjeriço cultivadas em solo argiloso (LVe) e no solo arenoso (PVd). ....	62
Tabela 9: Médias das concentrações de N, P, K, Mg, Zn, Mn em plantas de manjeriço e dos metais pesados tóxicos Cd e Pb em função da fonte de adubação do solo. ....	63
Tabela 10: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn e Cd e na interação entre solo e adubação. ....	64

### CAPÍTULO 3 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE CALÊNDULA (*Calendula officinalis*) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO

Tabela 1: Análise granulométrica do solo. ....	74
Tabela 2: Análise química do Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd). ....	75
Tabela 3: Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd). ....	75
Tabela 4: Doses de adubação química utilizadas nos tratamentos nos solos de textura argilosa (LVe) e arenosa (PVd). ....	75
Tabela 5: Análise química do composto orgânico. ....	76
Tabela 6: Análise de variância para os teores de N, P, K, Ca e Mg nas plantas de calêndula. ....	78
Tabela 7: Análise de variância para os teores dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nas plantas de calêndula. ....	79
Tabela 8: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e dos metais pesados tóxicos Pb e Cr no solo argiloso (LVe) e no solo arenoso (PVd) em plantas de calêndula. ....	79
Tabela 9: Médias das concentrações de P, K, Fe e Mn em plantas de calêndula em função da fonte de adubação do solo. ....	81
Tabela 10: Médias das concentrações de N, P, K, Zn, Fe, Mn e Cr na interação entre solo e adubação em plantas de calêndula. ....	82
Tabela 11: Análise de variância para as variáveis biométricas massa fresca (MF), massa seca (MS) e altura em plantas de calêndula. ....	83
Tabela 12: Médias das variáveis biométricas massa fresca (MF), massa seca (MS) e altura das plantas de calêndula no solo argiloso (LVe) e no solo arenoso (PVd). ....	83

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Al – Alumínio

B - Boro

Ca – Cálcio

Cd – Cádmió

cm – Centímetros

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  – Centimol de carga por decímetro cúbico

Co - Cobalto

CTC – Capacidade de troca catiônica

Cr – Cromo

$\text{Cr}^{3+}$  - Cromo III

$\text{Cr}^{6+}$  - Cromo VI

Cu – Cobre

$\text{Cu}^{2+}$  - Cúprico

DIC – Delineamento inteiramente casualizado

Fe – Ferro

$\text{Fe}^{2+}$  – Ferroso

$\text{Fe}^{3+}$  – Férrico

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – Hematita

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  – Magnetita

$\text{FeO(OH)}$  – Limonita

$\text{FeCO}_3$  – Siderita

$\text{FeS}_2$  – Pirita

$\text{FeTiO}_3$  – Ilmenita

g – Gramas

$\text{g cm}^{-3}$  - Gramas por centímetro cúbico

$\text{g dm}^{-3}$  – Gramas por decímetro cúbico

$\text{g ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$  – Gramas por hectare por dia

$\text{g kg}^{-1}$  – Gramas por quilograma

$\text{g mol}^{-1}$  – Gramas por mol

$\text{ha}^{-1}$  – Hectare

Hg – Mercúrio

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

K – Potássio

kg – Quilograma

kg ha<sup>-1</sup> – Quilograma por hectare

LVe – Latossolo Vermelho eutroférico

PVd – Argissolo Vermelho distrófico

m – Metros

Mg – Magnésio

Mg<sup>2+</sup> - íon magnésio

mm – Milímetro

MS – Massa seca

MF – Massa fresca

mg dm<sup>-3</sup> – Miligramas por decímetro cúbico

mg kg<sup>-1</sup> – Miligramas por quilograma

mg L<sup>-1</sup> – Miligramas por litro

mg kg<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> – Miligramas por quilograma por dia

mL – Mililitros

mol L<sup>-1</sup> – Mol por litro

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

N – Nitrogênio

NS – Não significativo

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amônio

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – Nitrato

Ni – Níquel

° – Graus

P – Fósforo

P.A. – para análise

Pb – Chumbo

pH – Potencial hidrogeniônico

PR - Paraná

RS – Rio Grande do Sul

S – Enxofre

Zn – Zinco

ton ha<sup>-1</sup> – toneladas por hectare

V - Vanádio

\* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F (Fisher)

% – Porcentagem

µg – Micrograma

µg dL<sup>-1</sup> – Micrograma por decalitro.

µmol mL<sup>-1</sup> – Micromol por mililitro.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>13</b>
1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 Plantas medicinais .....	15
2.1.1 Manjeriçãõ ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	18
2.1.2 Calêndula ( <i>Calendula officinalis</i> ) .....	19
2.2 Adubaçãõ e nutriçãõ de plantas medicinais .....	21
2.3 Contaminaçãõ em plantas medicinais .....	22
2.4 Metais pesados .....	24
2.4.1 Metais pesados em solos .....	26
2.4.2 Metais pesados em plantas.....	27
2.4.3 Aspectos importantes sobre os metais pesados .....	30
2.4.3.1 Cobre (Cu).....	30
2.4.3.2 Zinco (Zn) .....	31
2.4.3.3 Ferro (Fe) .....	32
2.4.3.4 Manganês (Mn) .....	33
2.4.3.5 Cádmiõ (Cd) .....	34
2.4.3.6 Chumbo (Pb) .....	37
2.4.3.7 Cromo (Cr) .....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
<b>CAPÍTULO 2 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE MANJERICÃO (<i>Ocimum basilicum</i>) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO .....</b>	<b>52</b>
RESUMO.....	52
ABSTRACT .....	53
1 INTRODUÇÃO .....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56

2.1 Delineamento experimental.....	56
2.2 Caracterização dos solos utilizados no experimento.....	56
2.3 Adubação química.....	57
2.4 Adubação orgânica .....	58
2.5 Instalação e condução do experimento .....	58
2.6 Finalização do experimento.....	59
2.7 Análise dos dados .....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
<b>CAPÍTULO 3 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE CALÊNDULA (<i>Calendula officinalis</i>) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO .....</b>	<b>70</b>
RESUMO.....	70
ABSTRACT .....	71
1 INTRODUÇÃO .....	72
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	74
2.1 Delineamento experimental.....	74
2.2 Caracterização dos solos utilizados no experimento.....	74
2.3 Adubação química.....	75
2.4 Adubação orgânica .....	75
2.5 Instalação e condução do experimento .....	76
2.6 Finalização do experimento.....	77
2.7 Análise dos dados .....	77
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
3.1 Tecido vegetal.....	78
3.2 Variáveis biométricas .....	83
4 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	86
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>87</b>

# **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## **1 INTRODUÇÃO**

O cultivo e a utilização de plantas medicinais tem acompanhado a evolução do ser humano através dos séculos. Desde as primeiras civilizações, os vegetais já eram usados com diversos fins, principalmente na alimentação e no tratamento de doenças. Pesquisas recentes estão voltadas para o conhecimento de práticas agronômicas sustentáveis que possam proporcionar maior qualidade e aproveitamento dos princípios ativos de interesse das plantas medicinais, objetivando oferecer, por exemplo, melhores condições ambientais e nutricionais a esses vegetais (DESTRO, 2006).

Assim como o cultivo de plantas medicinais, outras formas de obtenção de alimentos e atividades agropecuárias se intensificaram ao longo desses anos, modificando as relações do ser humano com a natureza e tornando a utilização dos recursos naturais insustentável. A exploração massificada dos solos ocasionou sérios desequilíbrios ambientais que, para o cultivo de diferentes culturas e outras atividades agrícolas, tornaram necessário o emprego de técnicas conhecidas como boas práticas na agricultura. A adubação é uma das técnicas que torna possível e até mesmo mais produtivo, o cultivo em um solo com a concentração de nutrientes reduzida ou exaurida pelo seu uso intensivo.

A adubação orgânica apresenta entre suas inúmeras vantagens um aporte de matéria orgânica ao solo capaz de melhorar sua capacidade de troca catiônica e a retenção de água, entre outros, mesmo apresentando algumas limitações como fonte de nutrientes. A adubação química é a alternativa mais utilizada como fertilização de grandes culturas tendo em vista que oferece ao produtor rápida resposta e desenvolvimento acelerado da cultura, porém pode agregar ao solo e à planta, além dos nutrientes essenciais, substâncias possivelmente nocivas à saúde humana (MALAVOLTA et al., 2002).

Primando pela sustentabilidade nos agroecossistemas deve-se utilizar fontes de adubação que visem fornecer os nutrientes necessários à cultura causando o menor impacto ambiental possível. Dessa forma, é necessário avaliar os benefícios e os prejuízos causados pela adubação orgânica e pela adubação

química com o objetivo de oferecer nutrição às plantas com menos riscos ao meio ambiente (FREIRE, 2004).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo consistiu em determinar a disponibilidade de nutrientes e o teor de metais pesados tóxicos presentes em duas espécies de plantas medicinais, *Ocimum basilicum* (manjeriçã) e *Calendula Officinalis* (calêndula), quando submetidas a diferentes tratamentos com adubação orgânica e adubação convencional em solos de diferentes texturas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Plantas medicinais**

As plantas medicinais têm sido utilizadas pelo ser humano na prevenção e no tratamento de diversas doenças desde a antiguidade aos tempos modernos. Principalmente nas duas últimas décadas, a necessidade de desenvolvimento de novos medicamentos tem provocado o aumento do uso de produtos medicinais à base de plantas em diversos países (YAMASHITA, 2006).

Nos primórdios da humanidade o ser humano provavelmente observou os animais algumas vezes e em outras fez uso da sua própria intuição para usar uma ou outra planta como agente curativo. O que parecia surtir efeito positivo era divulgado e reproduzido por pessoas da comunidade. A comunidade científica sempre encarou esse tipo de prática com desconfiança e incredulidade. Apenas nas últimas décadas pesquisadores de vários seguimentos vêm se interessando em um estudo interdisciplinar que investigue fundamentos científicos para as crenças populares de cura baseadas em produtos vegetais (FREIRE, 2004).

O consumo de fitoterápicos ocorre há 60.000 anos e uma pesquisa recente demonstrou que cerca de 37% da população adulta dos Estados Unidos da América estão utilizando estes produtos (DESTRO, 2006).

Souza et al. (2007) afirmam que, atualmente, o cultivo de plantas medicinais assume importância mundial devido à demanda exercida pelas indústrias químicas, farmacêuticas, alimentícias e de cosméticos. Este fato justifica o forte investimento em pesquisas e a busca por novas ferramentas de investigação, determinação e síntese de produtos naturais.

Nas últimas décadas, houve um aumento expressivo no mercado mundial dos fitomedicamentos, especialmente nos países industrializados, cujo mercado mundial atinge mais de US\$ 20 bilhões anuais. Os países europeus, especialmente a Alemanha, os países asiáticos e os Estados Unidos, possuem os principais mercados consumidores desses medicamentos. Diversas empresas tais como Barrene, BYK, Canonne, Infabra, Fontovit, Hebron, Herbário, Knol, Laboratório Catarinense, Marjan, Milet-Roux, comercializam somas expressivas na área de fitomedicamentos (CALIXTO, 2003).

Até a primeira metade do século XX o Brasil era essencialmente rural e usava amplamente a flora medicinal, tanto nativa quanto introduzida. Atualmente, a medicina popular do país é reflexo das uniões étnicas entre os diferentes imigrantes e o número de povos autóctones que difundiram o conhecimento das ervas locais e de seus usos, transmitidos e aprimorados de geração em geração (LORENZI e MATOS, 2002).

Araújo et al. (2007) citam que a fitoterapia no Brasil foi incluída nas práticas alternativas no Sistema Público de Saúde, por meio da Resolução nº 8 de 1988 da Comissão Interministerial de Planejamento a qual, nos últimos anos, vem sendo implantada em vários municípios. Está incluída na Política Nacional de Medicina Natural e Práticas Complementares (MNPC), no Sistema Único de Saúde (SUS). O mesmo autor confirma que o Brasil é um país com muitas potencialidades neste campo, por possuir a maior diversidade vegetal do mundo. Porém, sob ponto de vista químico e farmacológico, menos de 1% das espécies pertencentes a esta diversidade vegetais foram estudadas.

Os fitoterápicos sempre apresentaram uma parcela significativa no mercado de medicamentos. O setor movimenta globalmente US\$ 21,7 bilhões por ano. No Brasil, estima-se que esse mercado gira em torno de US\$ 160 milhões por ano. E o fator de atração é o ritmo de crescimento das vendas internamente, mais de 15% anuais, contra 4% do que evoluem as vendas dos medicamentos sintéticos. Em toda a cadeia produtiva, o setor fitoterápico movimenta anualmente cerca de R\$ 1 bilhão (CARVALHO et al., 2008).

Segundo a Agência Estadual de Notícias (2009), o estado do Paraná responde por 90% de toda a produção de plantas medicinais cultivadas do País. São 40 mil toneladas por ano, provenientes dos três mil hectares plantados com diferentes culturas. Atualmente, cerca de 1.100 produtores dedicam-se à produção de diferentes espécies de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. Por ano, a atividade movimenta R\$ 25 milhões.

Com o desenvolvimento da tecnologia as plantas medicinais têm seu valor terapêutico pesquisado e ratificado pela ciência e vem crescendo sua utilização recomendada por profissionais de saúde (ARNOUS et al., 2005). Como exemplo, em experimentos realizados por Pereira et al. (2004), foi avaliada a atividade antimicrobiana de óleos essenciais extraídos de *Ocimum gratissimum* L., *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. e *Salvia officinalis* L. contra enterobactérias e

*Pseudomonas aeruginosa* isoladas de infecções do trato urinário, concluindo-se que *S. officinalis* apresentou ação inibitória superior às outras ervas, tendo eficácia de 100% quando testadas em espécies de *Klebsiella* e *Enterobacter*, 96% em *Escherichia coli*, 83% contra *Proteus mirabilis* e 75% contra *Morganella morganii*.

Santurio et al. (2007) avaliaram a atividade antibacteriana de óleos essenciais extraídos de orégano (*Origanum vulgare*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*), frente a 60 isolados da bactéria *Salmonella enterica*, compreendendo 20 sorovares, todos de origem avícola, demonstrando que os óleos essenciais de orégano e tomilho são efetivos contra *Salmonella*.

Souza et al. (2005) avaliaram o efeito do extrato aquoso das plantas medicinais guaco (*Mikania glomerata*), macela (*Achyrocline satureioides*), pata de vaca (*Bauhinia candicans*), chá de bugre (*Casearia sylvestris*), açoita cavalo (*Luehea divaricata*) e sálvia (*Lippia Alba*) sobre a germinação de sementes de alface, que é um organismo altamente sensível ao estresse ambiental, mediante do teste de primeira contagem, germinação, índice de velocidade de germinação, testes usuais para monitorar efeitos alelopático. Os resultados, demonstraram que essas espécies medicinais são potencialmente alelopáticas

Neste contexto é importante mencionar que as plantas, além de seu uso na medicina popular com finalidades terapêuticas, têm contribuído, ao longo dos anos para a obtenção de vários fármacos, amplamente utilizados na clínica. Como exemplo, podemos citar a morfina, a emetina, a vincristina, a colchicina e rutina, entre outros (FILHO e YUNES, 1998).

Trabalhos desenvolvidos com extrato bruto ou óleo essencial, obtidos a partir de plantas medicinais, têm indicado o potencial das mesmas no controle de fitopatógenos, tanto por sua ação fungitóxica direta quanto pela indução de resistência, indicando a presença de compostos com características de eliciadores (BALBI-PEÑA et. al, 2006).

Em um exemplo dessa utilização, Hasse et al. (2007) concluíram que a inclusão de espécies medicinais e aromáticas em área infestadas por *Plasmodiophora brassicae* em sistema de rotação de cultura tem um importante papel na redução do nível de inóculo no solo e vem de encontro com o crescente mercado de plantas medicinais, aromáticas e condimentares.

Outra utilização das plantas medicinais é descrita por Mota et al (2007) citando que o consórcio de culturas é uma atividade que aumenta a lucratividade nas pequenas propriedades. Dentre os diversos sistemas de consórcio relatados na literatura, os estudos envolvendo cultivos consorciados de espécies medicinais e de hortaliças apresentam uma interação favorável, uma vez que tais culturas caracterizam-se pelo rápido crescimento e maturação, reduzindo ataque de pragas ou doenças, devido às interações interespecíficas entre as culturas.

O aproveitamento adequado dos princípios ativos de uma planta exige o preparo correto, ou seja, para cada parte a ser usada, grupo de princípio ativo a ser extraído ou doença a ser tratada, existe forma de preparo e uso mais adequados. Os efeitos colaterais são poucos na utilização dos fitoterápicos, desde que utilizados na dosagem correta. A maioria dos efeitos colaterais conhecidos, registrados para plantas medicinais, são extrínsecos à preparação e estão relacionados a diversos problemas de processamento, tais como identificação incorreta das plantas, necessidade de padronização, prática deficiente de processamento, contaminação, substituição e adulteração de plantas, preparação e/ou dosagem incorretas (ARNOUS et al., 2005).

Contudo, pode-se perceber que é de fundamental importância o estudo das características das plantas medicinais, visando tornar seu cultivo mais produtivo e sua utilização mais segura do ponto de vista da saúde humana e da contaminação ambiental.

### 2.1.1 Manjeriço (*Ocimum basilicum*)

O manjeriço, conhecido popularmente como alfavaca, alfavaca-cheirosa, basílico ou manjeriço comum, é a espécie da família Lamiaceae mais intensamente cultivada. Esta hortaliça foi mais amplamente plantada após a vinda de imigrantes italianos para o Brasil, sendo utilizada como folhas verdes em massas, condimento *in natura* e processado como folhas secas inteiras ou moídas e, ainda, como matéria prima para a indústria de óleos essenciais (REIS et al., 2007).

O manjeriço é uma planta herbácea anual, de polinização cruzada, resultando em grande número de subespécies, variedades e formas. Muito

ramificada, aromática e perfumada, atinge 0,5 a 1m de altura. Possui haste reta com muitas folhas carnosas, ovaladas, sem pêlos e de cor verde brilhante. Na face inferior das folhas existem minúsculas covas, onde se formam gotículas de essências. Suas flores são brancas ou avermelhadas, formando espigas e seus frutos são aquênios (fruto minuto, seco e indeiscente) (EMBRAPA, 2009b).

O manjeriço se destaca por apresentar substâncias de interesse para a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. As propriedades medicinais atribuídas à espécie são as de sedativo suave ajudando a combater dores de cabeça, enxaquecas, gastrites, alivia dores de garganta; cicatriza aftas e controla tosses, resfriados ou crises de bronquite (SOUSA et al., 2007). O óleo essencial é empregado na indústria de perfumaria e na aromatização de alimentos e bebidas, apresentando também propriedades inseticidas e repelentes (FERNANDES et al, 2004).

De acordo com Pravuschi (2008), o cultivo do manjeriço tem como principal argumento o apelo ecológico, pois seu óleo essencial pode salvar uma espécie amazônica da extinção. Desde o início do século passado, o óleo essencial do pau-rosa (*Aniba rosaeodora* D.) tem sido usado de modo não sustentável e em larga escala, para a produção de linalol e fragrâncias para a indústria de perfumaria, levando o IBAMA a incluí-lo na lista de espécies em perigo de extinção. A produção do óleo essencial é baseada na destruição da árvore, cujo tronco é cortado, reduzido a cavacos e extraído em reatores por arraste a vapor para a indústria internacional de perfumaria e cosmética.

### 2.1.2 Calêndula (*Calendula officinalis*)

A *Calendula officinalis* L. pertence à família Asteraceae, é uma planta nativa da região do Mediterrâneo e cultivada em toda a Europa, onde floresce quase o ano todo, sendo comum encontrá-la em jardins como planta ornamental (GAZIM et al., 2007). É uma planta herbácea, anual, com caule ereto, anguloso e ramoso e folhas alternas, sendo as superiores lanceoladas e as inferiores oblongo-lanceoladas. As inflorescências são grandes e dispostas em capítulos solitários e os frutos são do tipo aquênio, arcados e providos de pontuações sobre o dorso (VOLPATO, 2005).

É conhecida popularmente por calêndula, maravilha-dos-jardins, bem-me-quer, mal-me-quer, dentre outros nomes. Suas flores variam de amarelo-claro a alaranjado e a planta pode atingir até 60 cm de altura (COSTA e AYUB, 2001).

Sua inflorescência é a parte da planta mais utilizada com fins terapêuticos com ação cicatrizante, antiinflamatória, emenagoga e antisséptica. Além do uso medicinal, é utilizada também no paisagismo e nas indústrias cosmética e alimentícia e, por isso, possui grande interesse comercial, sendo seu cultivo, economicamente viável na agricultura familiar (LEITE et al., 2005).

Silva et al. (2005) afirmam que formas galênicas preparadas a partir dos extratos das flores de calêndula são amplamente utilizadas como antiinflamatórias e cicatrizantes em doses que variam entre 1,0 a 2,0 g de flor seca por 150 mL de água ou 8,8 a 17,6 mg de flavonóides. Estudo fitoquímico realizado com as flores e os receptáculos de calêndula confirmaram a presença de um amplo espectro de compostos químicos, sobretudo das classes dos flavonóides, terpenos e carotenóides. Ainda segundo os mesmos autores, os triterpenos, sobretudo os monoésteres de faradiol, têm sido relatados como os principais responsáveis pela atividade antiinflamatória da planta.

Em pesquisa realizada por Gazim et al. (2008), foram avaliados terpenos e aromas voláteis das flores de *Calendula officinalis* cultivados no sudoeste do Brasil demonstrando que as flores secas dessa espécie vegetal contêm 0,1% de óleo essencial e foram identificadas 27 substâncias químicas. Dentre as principais estão  $\delta$ -cadinene,  $\gamma$ -cadinene e  $\alpha$ -cadinol.

É normalmente cultivada em regiões de clima quente e solos férteis. As flores devem ser colhidas quando estiverem totalmente abertas e submetidas a uma secagem cuidadosa (EMBRAPA, 2009a).

Araujo et al. (2009) relatam que estudos sobre aspectos agronômicos da calêndula no Brasil são muito escassos, apesar de ser uma alternativa para a rotação de culturas e como fonte de renda para os proprietários de pequenas áreas. Dentre as necessidades primárias de estudo, tem-se a adubação mineral e/ou orgânica, as quais podem contribuir para uma maior produção de biomassa e metabólitos secundários. Afirmam ainda que, em geral, recomenda-se o uso de 20 a 50 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral curtido ou composto orgânico ou 25 t ha<sup>-1</sup> de esterco de aves.

O cultivo da calêndula encontra-se em expansão no Brasil. Suas folhas e caules são, às vezes, consumidos como salada, mas são as flores, frescas ou secas, as partes da planta mais utilizadas em virtude, principalmente, das suas propriedades medicinais e cosméticas (KOEFEENDER et al., 2008).

## **2.2 Adubação e nutrição de plantas medicinais**

A adubação tem como finalidade imediata cobrir a diferença entre a necessidade da planta e o fornecimento de nutrientes pelo solo. Sempre que a necessidade for maior do que a quantidade que o solo pode suprir, é preciso recorrer ao adubo para satisfazer a “fome” da cultura (MALAVOLTA et al., 2002).

A deficiência de micronutrientes nos solos agrícolas representa uma preocupação crescente, com tendência a se acentuar num futuro próximo. O cultivo em solos de baixa fertilidade, a calagem e o aumento da produtividade, são fatores que têm favorecido o aumento das deficiências de micronutrientes (GONÇALVES JR. et al., 2007).

A síntese de princípios ativos nas plantas medicinais é derivada do metabolismo secundário e pode ser regulada tanto por fatores genéticos quanto ambientais. Entre os fatores de estresse que interferem na composição química da planta, a nutrição merece destaque, pois a deficiência ou o excesso de nutrientes pode interferir na produção de biomassa e na quantidade de princípio ativo (COSTA et al., 2008).

Na literatura há poucas informações sobre a fertilização química e exigências nutricionais de plantas medicinais, principalmente no Brasil. De maneira geral, os adubos químicos em poucos casos são prejudiciais aos teores de princípios ativos das plantas, quando usados dentro dos limites técnicos. Os aumentos de biomassa podem compensar uma redução do teor de fitofármacos, mas dependem da análise econômica, que deve ser feita em cada situação (BLANK et al., 2006).

A vantagem do adubo químico mineral é a rápida resposta das plantas, visto que apresentam desenvolvimento acelerado em razão de suas necessidades imediatas serem atendidas. Por outro lado, os fertilizantes minerais têm alto custo para o produtor devido ao gasto energético com a produção e

transporte até a propriedade rural, além de efeitos negativos sobre a vida microbiana do solo, sua degradação, salinização, acidificação e desertificação, quando utilizados de forma inadequada (MAIA et al., 2008).

Malavolta et al. (2002) afirmam que a adubação orgânica é importante para a produtividade de muitos solos, tão grande e tão variados são os seus papéis. A matéria orgânica decompõe-se nos solos tropicais e subtropicais e climas úmidos com grande rapidez. A redução excessiva do teor de matéria orgânica do solo prejudica-o química, física e biologicamente, redundando em diminuição na produção. Nesses casos, em obediência à “Lei do mínimo”, a adubação orgânica torna-se necessária, pois a matéria orgânica baixa começa a limitar as safras. Alguns adubos orgânicos são empregados em doses elevadas, toneladas por hectare, e são pobres nos elementos nutritivos como o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Valem principalmente pela matéria orgânica que, incorporada ao solo, vai se decompor e formar o húmus. Outros, mais concentrados, comportam-se de modo mais semelhante ao dos adubos químicos minerais, funcionando como fonte de N, P, K e outros elementos.

Tanto a adubação química quanto a orgânica apresentam vantagens e desvantagens na utilização: a adubação orgânica além de fornecer nutrientes para as plantas melhora as condições físicas do solo, aumenta a retenção de água, reduz as perdas por erosão, favorece o aumento da capacidade de troca catiônica, elevando o pH e, desta forma, reduz o alumínio trocável, aumentando a disponibilidade de nutrientes, porém tem como desvantagem o alto custo. A adubação mineral, que teve seu ponto alto a partir de 1842, no início da revolução industrial européia, favorece um incremento maior na produção, mas introduz no solo alguns elementos muito nocivos como, por exemplo, alguns metais pesados tóxicos, se não for bem planejada. A recomendação para que se use preferencialmente adubo orgânico, a princípio, seria válida para toda e qualquer cultura, mas em muitos casos inviabiliza o plantio comercial (FREIRE, 2004).

### **2.3 Contaminação em plantas medicinais**

A qualidade dos produtos fitoterápicos à base de plantas medicinais, comercializados no Brasil, é cada vez mais preocupante. Pesquisas científicas

têm apontado a presença de diversas irregularidades que comprometem a eficácia e põem em risco a saúde do consumidor (MELO, 2007).

A maioria das plantas medicinais comercializadas – seja *in natura* ou embalada – apresenta-se fora do padrão de qualidade. Portanto, os produtos utilizados pela população, principalmente urbana, não têm assegurado suas propriedades terapêuticas e aromáticas preconizadas e/ou estão contaminados por impurezas (terra, areia, dejetos animais, outras espécies vegetais, coliformes fecais, etc.). Esta situação foi gerada pela pouca exigência dos consumidores com relação à qualidade do produto e à ação incipiente da fiscalização oficial. Devido a isso, os compradores pagam preços baixos e, em consequência, os produtores oferecem um produto de baixa qualidade, ocasionando um círculo vicioso, em prejuízo ao público interno fraco e desinformado (BRASIL, 2006).

Veiga Jr. et al. (2005), citam como principais fontes de contaminação de plantas medicinais as seguintes:

- Contaminações microbiológicas: oriundas da manipulação, do armazenamento ou da exposição das plantas, principalmente em feiras livres;
- Contaminação por fármacos ou outras plantas medicinais: pela adição de substâncias que podem se tornar contaminantes para que estas potencializem os efeitos da planta medicinal;
- Contaminação por agrotóxicos;
- Contaminação por metais pesados: podem ser originadas acidentalmente, através da contaminação do solo, da água de irrigação, dos insumos contaminados utilizados, entre outros.

Análises microbiológicas realizadas em plantas medicinais e cápsulas de fitoterápicos adquiridas em farmácias de manipulação no Estado de São Paulo, indicaram a presença de fungos e bactérias, relacionados às disfunções gastrointestinais, diminuição da resistência a infecções e câncer hepático. Algumas bactérias da família Bacillaceae, presentes em algumas plantas usadas para preparar chás, são resistentes aos tratamentos térmicos, como os aplicados nas infusões dos chás. Estes fatos contribuem para a indicação de algum tipo de tratamento de descontaminação e conservação destas ervas antes de serem consumidas (VIEIRA et al., 2007).

No Rio Grande do Sul, Zuccolotto et al. (1999)<sup>1</sup>, citados por Melo (2007), avaliando a qualidade de 42 produtos fitoterápicos à base de *Statice brasiliense* Boiss, *Peumus boldus* Molina, *Centella asiática* (L.) Urban, *Mikania glomerata* Spreng, *Pilocarpus jaborandi* Holmes e *Valeriana officinalis* L. comercializados em Porto Alegre-RS, constataram que 71,4% não atendiam aos quesitos mínimos de qualidade, sendo os problemas mais freqüentes as substituições, contaminações e ausência do constituinte químico principal.

De acordo com Vulcano et al. (2008), a presença de metais pesados tóxicos como chumbo (Pb) e cádmio (Cd) nos diversos chás de ervas ocorre, geralmente, em consequência da contaminação do solo por fertilizantes ou pela água de esgotos poluídos pela ação industrial ou de mineração, pelo ar atmosférico contaminado pela emissão de resíduos das grandes indústrias poluidoras ou durante a etapa de processamento dos chás, quando as espécies vegetais ficam em contato com os utensílios industriais.

## 2.4 Metais pesados

Os metais pesados são elementos químicos (metais e alguns semi-metais) que possuem densidade superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  e número atômico maior do que 20 (GONÇALVES Jr. e PESSOA, 2002). Duffus (2002) afirma que tem sido utilizado, cada vez mais frequentemente, o termo “elementos traço” como substituto de “metais pesados”, caracterizados como metais presentes em pequenas concentrações no ambiente e nos seres vivos, sendo alguns considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são.

Os metais pesados são geralmente tóxicos aos organismos vivos, sendo, portanto, considerados poluentes. Alguns metais pesados tóxicos possuem efeito deletério, ocasionando sérios transtornos à saúde humana quando ingeridos em doses inadequadas. Assim, a contaminação por metais pesados tóxicos está diretamente associada à sua biodisponibilidade, podendo ser potencializada por fontes alimentadoras da poluição (GUEDES et al., 2005).

---

<sup>1</sup> ZUCCOLOTTO, T.; APEL, M.; RATES, S.M.K. Avaliação da qualidade de produtos fitoterápicos comercializados em Porto Alegre- RS. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.58, n.2, p. 25-31, 1999.

Em média, uma planta necessita de 18 elementos para viver e o ser humano necessita de 20. Entre os nutrientes da planta sete são metais pesados (densidade igual a cinco ou maior) e entre os essenciais para o homem o número é nove. Mas sete metais pesados são comuns ao homem e às plantas: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Ni e Bo (MALAVOLTA, 2008).

Gonçalves Jr. et al. (2009) afirmam que metais como cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni) e cromo (Cr) são utilizados no metabolismo biológico e considerados essenciais, enquanto chumbo (Pb) e cádmio (Cd) não são essenciais, portanto, são tóxicos, mesmo em níveis de traço. Os metais essenciais podem também produzir efeitos tóxicos quando em concentrações elevadas. Portanto, nem todo metal pesado é essencialmente tóxico.

Os fertilizantes utilizados para suprir micronutrientes possuem uma composição, que além dos elementos desejáveis, também, em geral, contém metais pesados tóxicos (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

Campos et al. (2005) também afirmam que insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura podem ser uma fonte de contaminação com metais pesados.

Os estudos realizados relativos a metais pesados nos ecossistemas por vários autores citados por Ramalho e Sobrinho (2001), têm indicado concentrações elevadas desses elementos em muitas áreas próximas de complexos industriais urbanos, e também, nas áreas de agricultura altamente tecnificada. Nessas regiões os solos têm sido contaminados com Pb, Cd, Ni, Hg, As e outros metais pesados. O aumento anormal das concentrações desses elementos nos solos de tais áreas resulta da deposição atmosférica e da aplicação de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, água de irrigação e resíduos orgânicos e inorgânicos.

De acordo com Aguiar e Novaes (2002), a atividade de uma substância tóxica depende sempre de sua concentração no organismo, independente do mecanismo de intoxicação. Embora alguns metais sejam biogênicos, isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas, a maioria dos metais pesados, se ingeridos em concentrações demasiadas, são venenos cumulativos para o organismo humano.

### 2.4.1 Metais pesados em solos

Os metais pesados ocorrem naturalmente no solo, uma vez que os mesmos encontram-se presentes nas rochas de origem. Nos solos, os metais apresentam baixa mobilidade devido à tendência de formarem complexos com a matéria orgânica. A toxicidade de metais pesados no solo é, a princípio, muito baixa (CHAVES, 2008). A Tabela 1 apresenta os teores de metais pesados que ocorrem naturalmente em solos sem contaminação.

Tabela 1. Teores de metais pesados que ocorrem naturalmente em solos sem contaminação.

Metal	Teor (g kg <sup>-1</sup> )
Cd	0,0005
Cr	0,0500
Cu	0,0200
Pb	0,0500
Zn	0,0800

Fonte: KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2000).

A adsorção de metais pesados no solo depende da natureza da fase sólida e da proporção dos seus constituintes e das propriedades e espécies metálicas presentes na fase líquida (NAIDU et al., 1994). Nos solos tropicais e intemperizados se encontram minerais secundários como a caulinita, os óxidos de Fe, goethita e hematita, e Al, componentes importantes na retenção de metais pesados. Propriedades como força iônica do meio e pH modificam a superfície de carga dos colóides, regulando a magnitude da adsorção nesses solos (NAIDU et al., 1998; FONTES et al., 2001).

Porém, as atividades antrópicas podem alterar significativamente os ciclos geoquímicos naturais dos metais pesados, aumentando consideravelmente os teores de metais no solo. A acumulação desses elementos na litosfera é preocupante, pois não estão sujeitos a qualquer degradação (BOURG, 2006).

Os metais pesados podem expressar seu potencial poluente diretamente sobre os organismos dos solos, pela disponibilidade às plantas, pela contaminação de águas superficiais, via erosão do solo, e das águas

subsuperficiais, por sua movimentação vertical e descendente no perfil do solo (OLIVEIRA et al., 2002).

Os processos físicos e químicos fazem com que os metais estejam no solo das seguintes formas: solúvel, fixada pelos minerais do solo; precipitado com outros componentes, na biomassa e complexado com alguns componentes da matéria orgânica (WARMAN e COPPER 2000). Assim a toxicidade e a mobilidade dos metais pesados dependem fortemente da sua forma química e das ligações específicas (SUTHERLAND et al., 2000).

O valor de pH e o potencial redox interferem significativamente no comportamento e disponibilidade/mobilidade de metais pesados no solo. Outros atributos tais como teor de matéria orgânica, presença de óxidos de ferro, alumínio ou manganês e quantidade de argila também são fatores que controlam a disponibilidade dos metais pesados em solução do solo (PIERANGELI et al., 2001). A matéria orgânica, devido à presença de grupamentos funcionais, pode complexar metais presentes na solução do solo, diminuindo a toxicidade de poluentes (CANELLAS et al., 1999).

#### 2.4.2 Metais pesados em plantas

Alguns metais pesados são micronutrientes requeridos pela planta numa variedade de processos fisiológicos. Os elementos considerados micronutrientes ou essenciais catiônicos são: Zn, Cu, Fe, Mn, Ni e o metal de transição aniônico Mo (MONTEIRO, 2005). Os elementos considerados benéficos: Co e V, são elementos que colaboram com o desenvolvimento das plantas (MALAVOLTA et al., 2002). Também existem os metais não essenciais ou tóxicos: Cd, Cr, Hg, Pb, entre outros, sendo elementos prejudiciais às plantas (MALAVOLTA, 1994; ALLOWAY, 1995).

A absorção dos metais pelas plantas pode envolver interceptação radicular, difusão ou fluxo de massa, sendo que os dois últimos processos são mais importantes. Os metais pesados chegam ao xilema predominantemente via apoplástico (ZEITUNI, 2005).

Há vários fatores que afetam a disponibilidade dos metais pesados para as plantas, entre eles, solo, espécie vegetal, estágio de maturação, rendimento,

manejo da cultura e clima (MCDOWELL et al., 1993). No entanto, o principal fator é o potencial de absorção, específico e geneticamente fixado para os diferentes nutrientes e diferentes espécies vegetais (MENGEL e KIRKBY, 1987). Outro fator importante que afeta a disponibilidade dos metais pesados às plantas é o pH do solo (WU et al., 2006). Um exemplo desse fator é explicado por Pierangeli et al. (2005) em estudo realizado sobre a adsorção e a dessorção de Cd no solo: em pH ácido, a dessorção de Cd é favorecida, pois íons  $H^+$  podem deslocar uma fração do metal adsorvido em forma não-trocável. A atividade de  $Cd^{2+}$  em solução é altamente dependente do pH (coeficientes de correlação entre a atividade do cátion e o pH  $> 0,9$  e  $> 0,8$  para solos contaminados e não contaminados, respectivamente).

As plantas podem acumular estes metais em todos os tecidos, podendo transferi-los para a cadeia alimentar, e esta acumulação atualmente é um dos temas de interesse ambiental, não apenas pela fitotoxicidade de muitos destes metais, mas também pelos potenciais efeitos nocivos na saúde animal e humana (SHWANTZ et al., 2008).

O acúmulo de metais pesados nas plantas é muito variável de um determinado órgão para outro. Normalmente, a raiz é o órgão de principal acesso e acumulação dos metais pesados (BARCELÓ e POSCHENRIEDER, 1992).

A capacidade de tolerar o estresse de metais pesados depende da natureza do tecido vegetal. Tecidos de suporte dos feixes vasculares podem estar envolvidos na acumulação de metais pesados (VOLLENWEIDER et al., 2005). Esses tecidos são ricos em sítios de ligação de metais. O acúmulo de polifenóis insolúveis, como a lignina na parede celular secundária, ocorre em plantas expostas a metais pesados. Porém, essa lignificação das paredes tem sido associada ao estresse oxidativo celular, tido como efeito indireto da toxidez dos metais (CUNHA et al., 2008).

A Tabela 2 apresenta os teores tóxicos de alguns metais pesados em plantas e a Tabela 3 apresenta valores de referência dos teores foliares de metais pesados adequados para a cultura do milho.

Tabela 2. Teores tóxicos de alguns metais pesados em plantas.

Metal	Teor tóxico ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Cd	5-30
Cr	5-30
Pb	30-300
Cu	5-20
Mn	100-150
Zn	500-1500

Fonte: KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001).

Tabela 3. Valores de referência dos teores foliares de metais pesados adequados para a cultura do milho.

Metal	Teor ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Cu	6-20
Fe	20-250
Mn	20-150
Zn	20-70

Fonte: MARTINEZ et al. (1999)

A partir de determinados níveis de metais pesados no solo, tem sido observada uma redução tanto na biomassa como na qualidade nutritiva das plantas cultivadas. No primeiro caso, a redução de biomassa deve-se a inibição de processos fisiológicos importantes, tais como a fotossíntese, translocação de floema e transpiração (ROSSI e LIMA, 2001). Outro sintoma de toxicidade por metais pesados se expressa no surgimento de manchas cloróticas nas folhas que, em estágios mais avançados, resultam em sintomas típicos de senescência e abscisão (TSUTIYA, 2001). Um dos principais mecanismos pelos quais elevadas concentrações de metais pesados podem causar danos no tecido das plantas é o estímulo na produção de radicais livres, levando ao estresse oxidativo. Metais como Cu, Cd, Zn e Fe podem causar estresse oxidativo pela indução na produção de espécies ativas de oxigênio (EAO), provocando efeitos na fotossíntese e, conseqüentemente, sérios danos a macromoléculas (FERNANDES, 2006).

Soares et al. (2001) avaliaram em casa de vegetação o acúmulo e a distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de vinte espécies arbóreas tropicais crescendo em solo contaminado com Zn, Cd, Cu e Pb e verificaram que algumas das espécies testadas tiveram o crescimento inibido pela contaminação.

Entretanto, o acúmulo de metais pesados nas plantas pode ocorrer sem que haja manifestação de sintomas de toxicidade e prejuízo para a produção das culturas (JEEVAN RAO e SHANTARAN, 1996; CUNHA et al., 2008); interferindo, porém, na qualidade dos alimentos (SOARES et al., 2001).

Rossi e Lima (2001) afirmam que, no que concerne à qualidade nutritiva das plantas, deve-se levar em conta a questão do consumo de alimentos preparados ou consumidos *in natura* provenientes de plantas que assimilaram o metal. Portanto, ao se utilizar plantas medicinais na cura ou tratamento de doenças, é importante que se conheça suas características e sua procedência, de modo a evitar contaminações devido ao seu consumo.

### 2.4.3 Aspectos importantes sobre os metais pesados

#### 2.4.3.1 Cobre (Cu)

O Cu é um metal de transição, possui número atômico 29, massa atômica 63,55 e densidade  $8,92 \text{ g cm}^{-3}$  (IUPAC, 2007). O metal é maleável, dúctil e um excelente condutor de calor e eletricidade (LEE, 1996).

Na crosta terrestre, o teor de Cu é de aproximadamente  $55 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto no solo varia entre 10 e  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ , onde se encontra principalmente na forma divalente ( $\text{Cu}^{2+}$ ) e geralmente como constituinte das estruturas cristalinas dos minerais primários e secundários. No caso dos solos derivados de rochas basálticas e os solos oxídicos de clima tropical, esse teor pode aumentar para  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  (FERNANDES, 2006; FELIX, 2005).

A contaminação de solos por Cu é resultante da utilização de materiais que contem este elemento, tais como fertilizantes, resíduos urbanos ou industriais e por emissões industriais. Industrialmente é amplamente utilizado pelo fato de ser um material condutor de eletricidade (FRANCISCO et al., 2007).

O Cu, embora exigido em pequenas quantidades, entre  $5$  e  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , é essencial para a planta completar seu ciclo vegetativo. Ocorre em compostos enzimáticos de vital importância no metabolismo vegetal, participa da fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, redução e fixação de N,

metabolismo de proteínas e parede celular (CINTRA, 2004). Dessa forma, que uma boa nutrição com Cu pode diminuir a severidade de doenças, uma vez que este nutriente colabora intensamente com os mecanismos de defesa dos vegetais (TOMAZELA et al., 2006).

A deficiência de Cu provoca diminuição na produtividade, inibindo a reprodução das plantas, as folhas tornam-se quebradiças e caem, reduz a lignificação, e em cereais, provoca o abortamento de flores, produzindo espigas pouco granadas (LUCHESE et al., 2004; FERNANDES, 2006). A toxicidade de Cu em plantas inibe o crescimento das plantas e impede importantes processos celulares, como, por exemplo, o transporte de elétrons na fotossíntese (YURUELA, 2005).

Na dieta humana o Cu desempenha um papel importante na formação dos eritrócitos, na liberação de ferro no tecido e desenvolvimento de vários tecidos do corpo. Mesmo em concentrações consideradas baixas na água, pode ser letal a diferentes espécies de peixes (MELO et al., 2008).

#### 2.4.3.2 Zinco (Zn)

O Zn é considerado um metal pesado de transição, possui número atômico 30, densidade  $7,14 \text{ g cm}^{-3}$  e massa atômica 65,38 (IUPAC, 2007). À temperatura ambiente, o Zn encontra-se no estado sólido (LEE, 1996).

O teor de Zn na crosta terrestre é de aproximadamente  $70 \text{ mg kg}^{-1}$ . Nos solos, os teores deste elemento encontram-se na faixa de 10 a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn total e não se correlacionam com sua disponibilidade para as plantas. É encontrado nos solos e nas rochas na forma divalente ( $\text{Zn}^{2+}$ ), sendo que o conteúdo disponível pode ser afetado pelo pH do solo, pois apresenta disponibilidade mínima em pH acima de sete (FERNANDES, 2006).

As principais fontes antropogênicas de Zn para o solo são as atividades de mineração, o uso agrícola de lodo de esgoto, de resíduos e subprodutos de processos industriais e o uso de agroquímicos como os fertilizantes (MELO et al., 2008).

As concentrações de Zn nas plantas variam, sendo que plantas como milho, sorgo, pessegueiro, macieira e cacau são muito sensíveis à deficiência de

Zn. As concentrações consideradas normais situam-se na faixa 25-150 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que concentrações acima de 400 mg kg<sup>-1</sup> são consideradas tóxicas (FERREIRA et al., 2001).

Nas plantas o Zn atua como cofator enzimático, é essencial para a atividade, regulação e estabilização da estrutura protéica ou uma combinação destas. Com a deficiência, a planta sofre efeito drástico sobre a atividade enzimática, desenvolvimento dos cloroplastos, conteúdo de proteínas e ácidos nucléicos. Os sintomas se iniciam nas folhas mais jovens, que apresentam zonas cloróticas que terminam necrosadas, afetando todo o parênquima foliar e as nervuras. Nos casos de toxicidade, as folhas apresentam pigmentações vermelhas no pecíolo e nas nervuras, sendo também verificada clorose devido à baixa concentração de Fe, uma vez que o Zn impede a redução do Fe, bem como pode impedir o seu transporte na planta (FERNANDES, 2006).

O Zn também é um metal essencial ao organismo humano por participar em, pelo menos, 70 metalenzimas conhecidas. O consumo ideal de Zn para homens adultos é da ordem de 15-20 mg dia<sup>-1</sup>, sendo o máximo tolerável de 1 mg kg<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> (MELO et al., 2008). A toxicidade de Zn nos humanos provoca sensações como paladar adocicado e secura na garganta, tosse, fraqueza, dor generalizada, arrepios, febre náusea e vômito (FERREIRA et al., 2001).

#### 2.4.3.3 Ferro (Fe)

O Fe é considerado um metal pesado de transição, possui número atômico 26, massa atômica 55,84 e densidade 7,87 g cm<sup>-3</sup> (IUPAC, 2007). À temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido. É o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre (aproximadamente 5%) e, entre os metais, somente o alumínio é o mais abundante (LEE, 1996).

No solo, o Fe apresenta-se nas formas ferroso (Fe<sup>2+</sup>) e férrico (Fe<sup>3+</sup>), dependendo do estado de oxirredução do sistema. O Fe não trocável é encontrado em numerosos minerais, destacando-se: a hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), a magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), a limonita (FeO(OH)), a siderita (FeCO<sub>3</sub>), a pirita (FeS<sub>2</sub>) e a ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>). Muitos solos apresentam baixo teor de Fe, tanto na solução do solo como na forma trocável (FERNANDES, 2006).

Mundialmente, 98% do minério de ferro comercializado são destinados a manufatura do ferro e do aço e os 2% restantes são utilizadas na indústria do cimento, lastros, pigmentos, produtos agrícolas e especialidades químicas entre outros (BOEIRA e FERNANDES, 1999).

Nas plantas, a principal função do Fe é a ativação de enzimas, atuando em processos de fotossíntese, respiração, fixação biológica do N e assimilação de N e S, síntese de lignina e suberina e no metabolismo de auxina. O Fe também catalisa a biossíntese da clorofila. As concentrações de Fe nas plantas variam entre 10 e 1.500 mg kg<sup>-1</sup>, no entanto valores acima de 80 mg kg<sup>-1</sup> podem apresentar sintomas de toxicidade. Em casos de deficiência, o efeito mais característico é a incapacidade de folhas jovens sintetizar clorofila, tornando-as cloróticas. Em plantas anuais ocorre diminuição em seu crescimento, apresentando aspecto raquítico e redução da produção. Devido à rapidez de conversão do Fe solúvel em compostos insolúveis não disponíveis para a planta, são raros os casos de toxicidade por Fe. Pode ocorrer toxicidade de Fe em condições anaeróbicas, como é o caso de arroz irrigado por inundação, particularmente em solos mais pesados (MALAVOLTA, 2006; FERNANDES, 2006).

O Fe é praticamente encontrado em todos os seres vivos e cumpre numerosas e variadas funções. Tanto o excesso como a deficiência de ferro podem causar problemas no organismo. Sua carência nos humanos pode causar, além da anemia, anorexia, sensibilidade óssea e a clima frio, prisão de ventre, distúrbios digestivos, tontura, fadiga, problemas de crescimento, irritabilidade, inflamação da língua. Seu excesso pode causar: igualmente anorexia, tontura, fadiga e dores de cabeça (MARZZOCO e BAYARDO, 2007).

#### 2.4.3.4 Manganês (Mn)

O Mn é considerado um metal pesado de transição, possui número atômico 25, densidade 7,44 g cm<sup>-3</sup> e massa atômica 54,94 (IUPAC, 2007). À temperatura ambiente, o Mn está no estado sólido. É um metal duro e muito frágil, refratário e facilmente oxidável (LEE, 1996).

O teor de Mn na crosta terrestre é de aproximadamente  $900 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo considerado o décimo primeiro elemento mais abundante na natureza. Nos solos, os teores totais de Mn geralmente encontram-se na média de  $60 \text{ mg kg}^{-1}$ . A forma encontrada com mais frequência nos solos é proveniente de óxidos e sulfetos, mas também são encontradas carbonatos e silicatos. Os principais fatores do solo que determinam a disponibilidade de Mn são o pH, as condições de oxirredução, os teores de matéria orgânica e o equilíbrio com outros cátions (NASCIMENTO et al., 2006). Sua ocorrência nos solos brasileiros é predominantemente pedogênica (BORKERT et al., 2001),

Nas plantas, o Mn é essencial à síntese de clorofila e sua função principal está relacionada com a ativação de enzimas, importante nos processos de fotossíntese, respiração, absorção iônica, controle hormonal, resistência a doenças. Além disso, atua também no metabolismo do N e nos compostos cíclicos, como precursor de aminoácidos, hormônios, fenóis e ligninas (MELARATO et al., 2002).

O Mn é absorvido pelas plantas na forma de íon divalente, pode estar na fração trocável nas raízes, no apoplasto, onde permanece adsorvido às cargas negativas dos constituintes da parede celular; no citoplasma ou depositado nos vacúolos. Seu transporte das raízes para a parte aérea é feito como íon divalente, via xilema, seguindo a corrente transpiratória, sofrendo pouca remobilização. É um dos nutrientes que apresentam as maiores variações em termos de teor nas plantas (MUKHOPADHYAY e SHARMA, 1991).

As concentrações entre  $20$  e  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  são consideradas adequadas para um crescimento e desenvolvimento normais das plantas. Os sintomas de deficiência de Mn são evidentes por uma ampla variedade de formas cloróticas e manchas necróticas. Quanto à toxicidade, os sintomas, manchas marrons em folhas, são mais visíveis em plantas jovens (MALAVOLTA, 2006).

#### 2.4.3.5 Cádmio (Cd)

O Cd é considerado um metal pesado por apresentar número atômico 48 e densidade  $8,642 \text{ g cm}^{-3}$  (DIAS et al., 2001).

O Cd é um elemento encontrado de forma natural na crosta terrestre, porém é relativamente raro. Sua concentração na crosta terrestre é em torno de  $0,15 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando de acordo com a rocha de origem. O cádmio é geralmente obtido como subproduto da obtenção do Zn, sendo as fontes mais abundantes de Cd são sulfetos de Zn (ZnS), esfalerita e wurtzita, e minerais secundários como a smithsonita ( $\text{ZnCO}_3$ ). Este elemento apresenta forte afinidade com os óxidos de Fe, hematita, em condições de baixa competição com outros cátions, tem tendência de permanecer sob formas menos disponíveis, permanecendo adsorvido especificamente à matéria orgânica, a minerais silicatados e a óxidos. (COSTA et al., 2007).

A mobilidade de Cd no solo depende das condições intrínsecas do solo, sendo que é mais móvel em solos ácidos na faixa de pH 4,5-5,5, apresentando baixa mobilidade em solos alcalinos (ADRIANO, 1986, MALAVOLTA, 2006). De acordo com Alloway (1990) o Cd tende a ser mais móvel no solo e mais disponível que outros metais pesados inclusive o Pb e o Cu.

Dias et al. (2001) comentam que o Cd é amplamente utilizado para revestimento de materiais, em pigmento de tintas e na indústria plástica, podendo ser adicionado ao solo por meio do lixo urbano ou industrial, lodo de esgoto e fertilizantes fosfatados; além disso, é facilmente absorvido e translocado nas plantas tendo potencial de entrar na cadeia alimentar humana, causando sérios problemas de saúde, como anemia, hipertensão, enfizema pulmonar, disfunções gástricas e intestinais (DIAS et al, 2001). O limiar de absorção de Cd pelo corpo acima do qual ocorre insuficiência renal, ocorreria após 50 anos de exposição continuada a aproximadamente  $10 \mu\text{g}$  por dia. É uma causa frequente de hipertensão, câncer e desordens imunológicas (FERREIRA et al., 2001).

Abreu e Suzuki (2002) analisaram os resultados obtidos no estudo com 36 trabalhadores ocupacionalmente expostos a fumos de Cd e ruído e um grupo controle com 36 trabalhadores expostos somente a ruído, concluindo que a associação entre exposição ocupacional ao ruído e aos fumos de Cd levou à alteração auditiva mais acentuada do que a exposição isolada ao ruído.

O Cd existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de  $3 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Rejeitos não-ferrosos e artigos que contem Cd contribuem significativamente para a poluição ambiental. Outras formas de contaminação do solo são os resíduos da fabricação de cimento, da queima de

combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos. Na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo Cd é a utilização de fertilizantes fosfatados. Sabe-se que a captação de cádmio pelas plantas é maior quanto menor o pH do solo. Nesse aspecto, as chuvas ácidas representam um fator determinante no aumento da concentração do metal nos produtos agrícolas (ALBERTINI et al., 2007).

A toxicidade do Cd pode ser causada até mesmo em baixas concentrações e os efeitos biológicos desse metal e sua toxicidade ainda não estão claramente entendidos, apesar de já se saber que ele pode interagir com várias enzimas, interferindo em diferentes vias metabólicas (COUTINHO et al., 2003).

Andrade et al. (2005) avaliaram o efeito do Cd na associação micorrízica e no teor e acúmulo de Cd na raiz e parte aérea de feijão de porco em condição de hidroponia. A associação micorrízica não promoveu crescimento das plantas, mas aumentou a concentração foliar e radicular de Cd. O metal pesado foi acumulado principalmente nas raízes e somente uma pequena quantidade foi translocada para a parte aérea. A colonização micorrízica não foi influenciada pelo Cd adicionado, mas o micélio extrarradicular mostrou-se sensível ao metal, tendo sido reduzido em 25%, principalmente na menor concentração de fósforo (P) adicionado.

Pierangeli et al. (2004) verificou por meio de estudos de vários autores, a influência de substâncias inorgânicas, especialmente fosfatos, na adsorção e dessorção de Cd em solos, constatando que a fertilização fosfatada poderia aumentar a disponibilidade deste elemento nos solos.

Guimarães et al. (2008) afirmam que a alimentação com produtos agrícolas ou hortícolas é a principal causa de contaminação da população humana por Cd. No ser humano, altas concentrações são encontradas nos rins, em níveis maiores do que aqueles encontrados nos alimentos ingeridos, caracterizando um processo de acumulação de Cd no corpo humano, processo presente também em outros animais. Solos ricos em Zn ou Fe podem resultar em plantas com menores níveis de Cd. Dietas deficientes em Fe, Zn e Ca aumentam a absorção de Cd em tecidos de animais.

#### 2.4.3.6 Chumbo (Pb)

O Pb é um elemento metálico sólido cinza azulado conhecido há séculos como potencialmente tóxico. Seu símbolo químico é Pb, número atômico 82 e massa atômica 207,21 g mol<sup>-1</sup>. Ele ocorre naturalmente nos solos e é inerente ao material de origem ocorrendo em níveis muito baixos, não oferecendo maiores riscos quando os solos são usados sob condições naturais (WOWK e MELO, 2003).

De acordo com Quitério et al. (2006), o Pb é um elemento de ocorrência natural, encontrado em relativa abundância na crosta terrestre, quase sempre como sulfeto de chumbo, sendo que as maiores fontes geológicas do metal são as rochas ígneas e metamórficas.

O aumento dos níveis ambientais de Pb ocorreu principalmente com o uso de gasolina aditivada com composto desse metal (KUNO, 2009). Dentre os metais pesados, o Pb tem-se destacado como um dos maiores poluentes do meio, o que pode ser atribuído, principalmente, ao seu largo uso industrial (indústria extrativa, petrolífera, de acumuladores, tintas e corantes, etc.). A contaminação do solo com Pb pode resultar numa série de problemas ambientais, incluindo perda de vegetação, contaminação de águas superficiais e de aquíferos, além de toxicidade direta para microrganismos, animais e humanos (ALVES et al., 2008).

De acordo com Moreira e Moreira (2004), a fisiologia do Pb em humanos normalmente desperta um interesse considerável, gerado pela toxicidade potencial desse elemento. O Pb inorgânico pode afetar uma série de sistemas, cuja grandeza das manifestações clínicas dependerá da intensidade, do tempo de exposição e da sensibilidade individual. A toxicidade está relacionada principalmente aos sistemas nervoso e hematopoiético. Entretanto, podem ocorrer efeitos renais, cardiovasculares e na reprodução, não existindo, porém, evidências adequadas de carcinogenicidade em humanos. Alguns estudos tem correlacionado efeitos adversos à saúde com níveis cada vez mais baixos de Pb no sangue, até mesmo em concentrações menores do que 10 µg dL<sup>-1</sup>, principalmente em crianças.

A contaminação de solos com Pb é um processo cumulativo praticamente irreversível, conseqüentemente aumentando os teores desse metal na superfície

do solo, indicando uma disponibilidade de absorção do mesmo pelas raízes das plantas (GUARACHO, 2005).

Abreu et al. (1998), citando vários autores, relatam que no solo, o Pb geralmente acumula-se na camada superficial em vista de sua baixa mobilidade no perfil. Essa distribuição se deve a sua baixa solubilidade e forte adsorção ao solo. O Pb antropogênico mostra como regra o mesmo tipo de distribuição, embora, em alguns casos, possa atingir profundidades até de 30 a 45 cm.

COSTA et al. (2007), ao estudarem o fracionamento sequencial de Pb adicionados em diferentes solos há 10 anos, verificaram que este elemento predominou nas frações orgânica e residual, concentrando-se principalmente na fração residual. Este elemento apresenta alta retenção, baixa mobilidade e biodisponibilidade (ALLOWAY, 1995), por esse motivo, o Pb é considerado um dos metais menos móveis no solo, podendo formar complexos pela matéria orgânica, quimiossorvido em óxidos e minerais silicatados e precipitado como carbonato, hidróxido ou fosfato em condições de alto pH.

Apesar de não ser um elemento essencial para as plantas, é facilmente absorvido e acumulado em diferentes partes delas. A absorção de Pb é regulada pelo pH, tamanho de partículas e capacidade de troca de cátions dos solos, assim como pela exsudação e outros parâmetros físicoquímicos. Excesso de Pb causa vários sintomas de toxicidade em plantas, por exemplo: redução de crescimento, clorose e escurecimento do sistema radicular. Pb inibe a fotossíntese, altera a nutrição mineral e o balanço hídrico, modifica o estado hormonal e afeta a estrutura e permeabilidade da membrana (SHARMA e DUBEY, 2005).

Guaracho (2005) afirma que nas plantas o chumbo está associado à parede celular onde parte do metal que passa para a célula da raiz da planta pode combinar-se com novos materiais da parede celular e, em seguida, ser removido do citoplasma para a parede da célula. Existem evidências de que há pouca translocação do chumbo remanescente nas células da raiz para outras partes da planta, pois os níveis desse metal encontrados no broto e no tecido foliar são geralmente muito menores do que naquela parte da planta. A captação foliar do chumbo ocorre, mas numa extensão muito pequena.

Em trabalho realizado por Andrade e Silveira (2004), afirma-se que o Pb altera negativamente o carbono da biomassa e a atividade da microbiota rizosférica, ocorrendo interação entre a presença de propágulos de fungo

micorrízico arbuscular (FMA) e o estágio de desenvolvimento da planta, sendo também efeito negativo sobre o carbono da biomassa microbiana do solo com propágulos de FMA.

#### 2.4.3.7 Cromo (Cr)

O Cr possui número atômico 24 e densidade  $7,14 \text{ g cm}^{-3}$  e, à temperatura ambiente, o Cr encontra-se no estado sólido. É um metal de transição, duro, frágil, de coloração cinza semelhante ao aço e muito resistente à corrosão (LEE, 1996).

O Cr é um metal que ocorre no ecossistema como resultado da intemperização do material de origem dos solos bem como pode ser introduzido devido à deposições de resíduos de origem industrial como curtumes e siderurgia. A disposição desses materiais no solo pode causar poluição de aquíferos e do próprio solo quando os efluentes dessas indústrias são depositados ou utilizados na irrigação e/ou como insumo agrícola. É um metal que não possui essencialidade comprovada na nutrição das plantas, porém é requerido pelos microrganismos em alguns processos metabólicos específicos (CASTILHOS et al., 2001).

A disponibilidade do Cr no solo é influenciado pelo pH, pelos teores de matéria orgânica e de fosfatos de Fe, Mn e Al. Em valor de pH 5,5 se encontra quase totalmente precipitado. Apresenta estados de valência que variam de  $2^-$  a  $6^+$ , no entanto, as formas trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ) e hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) são as mais estáveis que existem na superfície dos ambientes. O  $\text{Cr}^{6+}$  prontamente solúvel em solos é tóxico para plantas e animais, inclusive ao homem. Enquanto a adsorção do  $\text{Cr}^{6+}$  diminui com o aumento do pH, a adsorção do  $\text{Cr}^{3+}$  aumenta (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992).

A contaminação pelo Cr pode se dar pela inalação do ar ambiental, ingestão de água e alimentos contaminados e seus efeitos tóxicos associados ao  $\text{Cr}^{6+}$ , que apresenta ação carcinogênica ao homem, e o  $\text{Cr}^{3+}$  cujos efeitos tóxicos são atribuídos às dermatoses, ulcerações e perfurações do septo nasal, rinite atrófica e lesões renais, demonstrando a necessidade de se evitar a exposição a concentrações excessivas do metal, bem como à contaminação ambiental. A

espécie essencial para o homem é o  $\text{Cr}^{3+}$  atuando no metabolismo do colesterol, de ácidos graxos e glicose (SILVA e PEDROZO, 2001).

O Cr é um metal tóxico que pode causar severos danos a plantas e animais. Estresse oxidativo induzido por Cr envolve peroxidação de lipídeos em plantas, o que causa danos severos às membranas celulares. O estresse oxidativo induzido pelo cromo inicia a degradação de pigmentos fotossintéticos, levando à diminuição do crescimento. Sua alta concentração pode causar distúrbios à ultra-estrutura dos cloroplastos e, conseqüentemente, afetar o processo fotossintético. Assim como o Cu e o Fe, o Cr é também um metal redox, e esse comportamento excede o de outros metais como Co, Fe, Zn, Ni, etc. O comportamento redox pode, então, ser atribuído ao direto envolvimento do Cr em induzir estresse oxidativo em plantas. O Cr pode afetar o metabolismo antioxidante em plantas (PANDA e CHOUDHURY, 2005).

Em trabalho realizado por Castilhos et al. (2001), foi constatado que concentrações de  $\text{Cr}^{3+}$  superiores à  $20 \text{ mg L}^{-1}$  diminuiram a produção de matéria seca da parte aérea e radicular da soja, o número e peso de nódulos secos de *Bradyrhizobium*, como também a fixação biológica de nitrogênio e a absorção de P, K, Ca e Mg. Teores de Cr na parte aérea de plantas de soja superiores à  $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$  podem ser considerados fitotóxicos.

Os metais tóxicos Zn, Cu, Ni, Co, Cd e Cr, em pequenas quantidades, são necessários para o crescimento dos microrganismos, enquanto que Hg e Pb não apresentam funções biológicas. Quando em altas concentrações, os metais tóxicos afetam o crescimento, morfologia e metabolismo dos microrganismos, desnaturando suas proteínas ou destruindo a integridade de suas membranas celulares. Desta forma, os microrganismos são o primeiro grupo de organismos que são afetados pela poluição do solo. Como conseqüência da diminuição do tamanho e da diversidade da comunidade microbiana, algumas atividades como mineralização da matéria orgânica, nitrificação e decomposição da serrapilheira ficam prejudicadas (XAVIER et al., 2006).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A; ABREU, M. F; ANDRADE, J. C. Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de dtpa e mehlich-3. **Bragantia**. v. 54. n. 01. Campinas, 1998.

ABREU, M. T; SUZUKI, F. A. Avaliação audiométrica de trabalhadores ocupacionalmente expostos a ruído e cádmio. **Revista Brasileira Otorrinolaringologia**. v.68, n. 04. Jul/ago, 2002.

ADRIANO, D. C. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer- Verlag, 1986. In: MELO, G. P.; MELO, V. P. ; MELO, W. J. . **Uso de lodo de esgoto na agricultura e impacto ambiental por metais pesados** - 98 páginas. Disponível in: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS.HTML>> Acesso em 08 de Abril de 2009.

AEN-Agência Estadual de Notícias. **Paraná lidera produção de plantas medicinais cultivadas**. Publicado em 02 de dezembro de 2005. Disponível em: <<http://www.agenciadenoticias.pr.gov.br/modules/news/article.php?storyid=16852>>. Acesso em 19 de maio de 2009.

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química. Nova**, v. 25, n. 6B, 2002.

ALBERTINI, Silvana, CARMO, Leandro Francisco do e PRADO FILHO, Luiz Gonzaga do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.27, n.01. Jan/mar, 2007.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. New York: Blackie Academic & Professional, 1995.

ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990.

ALVES, J. C.;SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JR., U. A.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C.; SANTOS, D. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, 2008.

ANDRADE, S. A. L.; JORGE, R. A; SILVEIRA, A. P. D. Cadmium effect on the association of jackbean (*Canavalia ensiformis*) and arbuscular mycorrhizal fungi. **Scientia Agricola. (Piracicaba, Brazil)**. v. 62. n. 04. Jul/ago, 2005.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D; Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, dezembro de 2004.

ARAÚJO, C.B.O.; SANTOS, A.M.; FERNANDES, L.A.; MARTINS, E.R.; SAMPAIO, R.A.; COSTA, C.A.; LEITE, G.L.D. Uso da adubação orgânica e cobertura morta na cultura da calêndula (*Calendula officinalis* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v.11, n.2, 2009.

ARAÚJO, E. C.; OLIVEIRA, R. A. G; CORIOLANO, A. T.; ARAÚJO, E. C. Uso de plantas medicinais pelos pacientes com câncer de hospitais da rede pública de saúde em João Pessoa (PB). **Revista Espaço para a Saúde**, Londrina, v.8, n.2, jun.2007.

ARNOUS, A.H, SANTOS A.S, BEINNER, R.P.C. Plantas medicinais de uso caseiro - conhecimento popular e interesse por cultivo comunitário. **Revista Espaço para a Saúde**, Londrina, v.6, n.2, jun. 2005.

BALBI-PEÑA, M.I; BECKER, A; STANGARLIN, J. R; FRANZENER, G; LOPES, M.C; SCHWAN-STRADA, K. R.F. Controle de *Alternaria solani* em tomateiro por extratos de *Curcuma longa* e Curcumina - II. Avaliação *in vivo*. **Fitopatologia Brasileira**. v. 31. n. 04. jun-ago de 2006.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C.; Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v.2, n.2, p.345-361, 1992.

BLANK AF; OLIVEIRA AS; ARRIGONI-BLANK MF; FAQUIN V. 2006. Efeitos da adubação química e da calagem na nutrição de melissa e hortelã-pimenta. **Horticultura Brasileira** v.24, n.2, abr/jun. de 2006.

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/Potafós, 2001.

BOEIRA, J. L. F.; FERNANDES, A. C. **Os limites e as possibilidades da Gestão da Qualidade Total na indústria brasileira de minério de ferro**. 1999. Disponível em [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999\\_A0996.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0996.PDF) acesso em 5 de dezembro de 2009.

BOURG, A. C. M. Speciation of Heavy Metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked mobility. In: OLIVEIRA, L.P. **Tratabilidade de solos tropicais contaminados por resíduos da indústria de revestimentos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2006.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plantas medicinais & orientações gerais para o cultivo**. v. 01. Boas Práticas Agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. Brasília: MAPA/SDC, 2006.

CALIXTO J. B. Biodiversidade como fonte de medicamentos. **Revista Ciência e Cultura**, v.55,n.3, 2003.

CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N.; NETO, A. E. F.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, abr. 2005.

CANELLAS, L. P. SANTOS, G. de A.; SOBRINHO; M. B. do A.; MORAES, A. A.; RUMJAMEK, V. M. Adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 21-26, 1999.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE; V. W.; FERREIRA, L. H. NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**. v.07 n. 02. Mai-ago, 2001.

CARVALHO, A. C.B.; BALBINO, E. E.; MACIEL, A.; PERFEITO, J. S. Situação do registro de medicamentos fitoterápicos no Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v.18, n.2, Abr./Jun. 2008.

CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de manaus pelas espécies de planta *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata***. Tese (Doutorado em biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2008.

CINTRA, A. P. U. **Disponibilidade de cobre relacionada à adubação com dejetos de suínos tratados pelo processo de estabilização alcalina com secagem acelerada na cultura do milho**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, 2004.

COSTA, C. M.; AYUB, R. A. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Calendula officinalis* germinadas *in vitro* com substrato de algodão ou de meio MS. **Revista Ceres**. v. 48, n. 279, 2001.

COSTA, C. N. MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, 2007.

COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. et al. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. **Ciência Rural**, v.38, n.8, novembro de 2008.

COUTINHO, J.; CORTELAZZO, A. L.; SILVA, T. R. G. Efeitos morfofisiológicos do Cádmio em plântulas de nabo e rabanete. **I Semana Científica, Tecnológica e Artística, PUC, Campinas**, 22 a 26 de setembro de 2003.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; PIMENTEL, R.M.M.; ACCIOLY, A. M. A.; SILVA, L. A. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1319-1328, 2008.

DESTRO, M. W. B. et al. Estudo da utilização no pré-operatório de medicamentos ou drogas fitoterápicas que alteram a coagulação sangüínea. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**. Rio de Janeiro, v. 33, n. 02, 2006.

DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J.C; CAMARGO, O. A. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, 2001

DUARTE, A.P., SILVA, A.C. DEUBER, R. Plantas infestantes em lavouras de milho safrinha, sob diferentes manejos, no Médio Paranapanema. **Planta daninha**, v.25. n.02, 2007.

DUFFUS, J. H. "Heavy metals" – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry** (IUPAC Technical Report). v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Calêndula**. Série Plantas Medicinais Condimentares e aromáticas. Disponível em: <<http://www.campinas.snt.embrapa.br/plantasMedicinais/calendula.pdf>>. Acesso em 25 de julho de 2009a.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Manjeriço**. Série Plantas Medicinais Condimentares e aromáticas. Disponível em: <<http://www.campinas.snt.embrapa.br/plantasMedicinais/manjericao.pdf>>. Acesso em 06 de outubro de 2009b.

FELIX, E. F. **Comportamento de cobre aplicado no solo por calda bordalesa**. Piracicaba, 2005. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006.

FERNANDES, P.C.; FACANALI, R.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; MARQUES, M.O.M. Cultivo de manjeriço em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**. v.22, n.2, abril-junho 2004.

FERREIRA, M. E; CRUZ, M. C. P. C; RAIJ, B. V; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001.

FILHO, V, C; YUNES, R. A. Estratégias para a obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais: conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. **Química Nova**, v.21, n.1, Jan./Fev. 1998.

FONTES, M. P. F; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, Curitiba, v.58, n.3, p.627-646, 2001.

FRANCISCO, B. B. A.; LEMOS, F. A.; MASSON, O. C. Fontes Alternativas para a Obtenção de Níquel, Cobalto e Cobre . In: **Anais...** XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2007.

FREIRE, M. F. I. Plantas medicinais: a importância do saber cultivar. **Revista Científica Eletrônica Agronomia**. n.5, junho de 2004.

GAZIM, Z. C.; FERREIRA, G. A.; REZENDE, C. M.; NAKAMURA, C. V.; DIAS FILHO, B. P. CORTEZ, D. A. G. Identificação dos constituintes químicos da fração volátil da *Calendula officinalis* produzida no Paraná. **Horticultura Brasileira**. v. 25, n. 1, jan.-mar. 2007.

GAZIM, Z. C.; REZENDE, C. M.; FRAGA, S. R.; DIAS FILHO, B. P.; NAKAMURA, C. V.; CORTEZ, D. A. G. Analysis of the essential oils from *Calendula officinalis* growing in Brazil using three different extraction procedures. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v.44, n.3, set/jul de 2008.

GONÇALVES Jr, A. C., LUCHESE, E. B. e LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em latossolo vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v.23, n.2, mar./abr. 2000.

GONÇALVES Jr., A. C.; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em Argissolo Vermelho Eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.3, n.1-2, p.19-23, 2002.

GONÇALVES Jr, A. C; POZZA, P. C; NACKE, H; LAZZERI, D. B; SELZLEIN, C; CASTILHA, L.D. Homogeneização e níveis de metais em dejetos provenientes da bovinocultura de leite. **Acta Scientiarum Technology**. v.29. n.02. Maringá, 2007.

GONÇALVES Jr, SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando a remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum Technology**. v. 31, n. 1, Maringá, 2009.

GUARACHO, V. V. **Remediação eletrocínética de chumbo e níquel em solos de landfarming de refinaria**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

GUEDES, J. A.; LIMA, R. F. S.; SOUZA, L. C.; Metais pesados em água do rio Jundiá - Macaíba/RN. **Revista de Geologia**, v.18, n.2, 2005.

GUIMARÃES, M. A.; SANTANA, T. A.; SILVA, E. V.; ZENZEN, I. L.; LOUREIRO, M. E. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas**. v.1, n.3, 2008.

HASSE, I; MAY-DE MIO, L. L; LIMA NETO, V. C. Efeito do pré-plantio com plantas medicinais e aromáticas no controle de *Plasmodiophora brassicae*. **Summa phytopathologica**. v.33. n.01. Jan./mar, 2007.

International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC. **Periodic Table of the Elements.** Disponível em: <[http://old.iupac.org/reports/periodic\\_table/IUPAC\\_Periodic\\_Table-22Jun07b.pdf](http://old.iupac.org/reports/periodic_table/IUPAC_Periodic_Table-22Jun07b.pdf)>. Acesso em: 12 de julho de 2010.

JEEVAN RAO, K. & SHANTARAM, M.V. Effect of urban solid wastes on dry matter yield, uptake of micronutrients and heavy metals by maize plants. **Journal of Environmental Biology**, v. 17, p.25-32, 1996.

KABATA- PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Flórida: CRC Press, 1992. 365p. In: MELO, G. P.; MELO, V. P.; MELO, W. J. **Uso de lodo de esgoto na agricultura e impacto ambiental por metais pesados** - 98 páginas. Disponível in: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS.HTML>> Acesso em 08 de Abril de 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants.** 4 ed., Boca Raton, CRC Press, 2000.

KOEFENDER, J.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; TRENTIN, R. Estimativa do filocrono em calêndula. **Ciência Rural**, v.38, n.5, ago, 2008.

KUNO, R. **Avaliação da poluição ambiental causada por particulado de chumbo emitido por uma reformadora de baterias na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.** Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Doutorado em Ciências, área de Concentração de Medicina Preventiva da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2009.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa.** Tradução da 5ª ed. Inglesa. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

LEITE, G. L. D.; ARAÚJO, C. B. O.; AMORIM, C. A. D.; PÊGO, K. P.; MARTINS, E.R.; SANTOS, E.A.M. Níveis de adubação orgânica na produção de calêndula e artrópodes associados. **Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo.** v.72, n.2, abr./jun., 2005.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUCHESE, A.V; GONÇALVES, A.C.; LUCHESE, E. B.; BRACCINI, M. do C. L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, 2004.

MAIA, S. S. S.; PINTO, J. E. B. P.; SILVA, F. N.; OLIVEIRA, C. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo do bamburral (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.) (Lamiaceae). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** v.3, n.4, Recife, 2008.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes e metais pesados**. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UFMT. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/famev/gemt/textos/MicronutrientesMetaisPesados.pdf>>.

Acesso em: 29 de janeiro de 2008.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E; PIMENTEL-GOMES, F; ALACARDE, J. C. **Adubos e adubações**. Nobel: São Paulo, 2002.

MARTINEZ, M. DEL RAMO, J.; TORREBLANCA, A.; DÍAZ-MAYANS, J. Effect of cadmium exposure on zinc levels in the brine shrimp *Artemia* partenogenetics. **Aquaculture**, v 172, p. 315-325, 1999.

MARZZOCO, A. BAYARDO, B.T. **Bioquímica Básica**. 3 ed. Guanabara Koogan; 2007.

McDOWELL, L.R.; CONRAD, J.H.; HEMBRY, F.G. **Minerals for grazing ruminants in tropical regions**. 2.ed. Gainesville: University of Florida, 1993.

MELARATO, M. PANOBIANCO, M.; VITTI, G. D.; VIEIRA, R. D. Manganês e potencial fisiológico de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p.1069-1071, 2002.

MELO, G. P.; MELO, V. P. ; MELO, W. J. . **Uso de lodo de esgoto na agricultura e impacto ambiental por metais pesados** - 98 páginas. 2008. Disponível in: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS.HTML>> Acesso em 08 de Abril de 2009.

MELO, J. G. **Controle de qualidade e prioridades de conservação de plantas medicinais comercializadas no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Botânica. Recife, 2007.

MENGEL, K.; KIRBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4 ed. Internacional Potash Institute, Berna ,1987.

MONTEIRO, M. F. **Lixo tóxico vira matéria prima**. 2005. Online. Disponível em <<http://www.reporterbrasil.com.br>>. Acesso em abril de 2008.

MOREIRA, F. R., MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v.15, 119-129, 2004.

MOTA, J. H; VIEIRA, M. C; MELO, E. P; ZÁRATE, N. A. H. Produção de alface em cultivo solteiro e consorciado com marcela. **Congresso brasileiro de olericultura**, Horticultura Brasileira. Porto Seguro: UESB/ABH, 2007.

MUKHOPADHYAY, M.J.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botanical Review**, v. 57, p.117-149, 1991.

NAIDU, R.; BOLAN, N.S.; KOOKANA, R.S. & TILLER, K.G. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. **European Journal of Soil Science**, v.45, p. 419-429, 1994.

NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; HARTER, R.D. Sorption of heavy metals in strongly weathered soils: an overview. **Environmental Geochemistry and Health**, Dordrecht, v.20, p.5-9, 1998.

NASCIMENTO, S. C.; HYPOLITO, R.; RIBEIRO, A. F. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n. 3, p. 196-202, 2006.

OLIVEIRA, F. C., MATTIAZZO, M. E., MARCIANO, C. R. *et al.* Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37. n. 12, dezembro de 2002.

PANDA, S.K.; CHOUDHURY, S. Chromium stress in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 01. n. 17. Jan./mar. 2005.

PEREIRA, R. S.; SUMITA, T. C.; FURLAN, M. R.; JORGE. O. A. C.; UENO, M. Atividade antibacteriana de óleos essenciais em cepas isoladas de infecção urinária. **Revista de Saúde Pública**. v.3, n. 8(2), 2004.

PIERANGELI, M. A. P., GUILHERME, L. R. G., CURI, N. *et al.* Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de Latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, n.02. Mar./abr. 2004.

PIERANGELI, M. A.P; GUILHERME, L. R.G; CURI, N.; SILVA, M. L N; L. R. OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J. L. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 25, p. 279-288, 2001.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. M; LIMA, J. L; COSTA, T. T. S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do solo** 2005, v.29, n.4, 2005.

PRAVUSCHI, P. R. **Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção do óleo essencial do manjeriço**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2008.

QUITÉRIO, S. L.; MOREIRA, F.R.; SILVA, C. R. S.; ARBILLA, G.; ARAÚJO, U. C.; MATTOS, R. C. O. Avaliação da poluição ambiental causada por particulado de chumbo emitido por uma reformadora de baterias na cidade do Rio de Janeiro, Brasil **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.22, n.9. set, 2006.

RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**. v. 8, n.1, jan./dez. 2001.

REIS, A.; MIRANDA, B. E. C.; BOITEUX, L. C. S.; HENZ, G. P. Murcha do manjeriço (*Ocimum basilicum*) no Brasil: agente causal, círculo de plantas hospedeiras e transmissão via semente. **Summa Phytopathologica**. Botucatu, v. 33, n. 2, p. 137-141, 2007.

ROSSI, C.; LIMA, G. P. P. Cádmio e a atividade de peroxidase durante a germinação de sementes de feijoeiro. **Scientia Agrícola**. 2001, v.58, n.1, p. 197-199, 2001.

SANTURIO, J. M.; SANTURIO, D. F.; POZATTI, P.; MORAES, C.; FRANCHIN, P. R.; ALVES, S. H. Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de orégano, tomilho e canela frente a sorovares de *Salmonella enterica* de origem avícola. **Ciência Rural**, v.37, n.3, mai-jun, 2007.

SILVA, E.J.R.; AGUIAR, F. J. S.; GONÇALVES, E. S.; SOUSA, I. M. V.; DIMECH, G. S.; FRAGA, M. C. C. A.; COELHO, M. C. O. C.; WANDERLEU, A. G.. Avaliação do tratamento subcrônico com o extrato hidroalcoólico de *Calendula officinalis* L. sobre os parâmetros bioquímicos e hematológicos em ratas Wistar. **Revista Brasileira de farmacognosia**. v.15, n.2, abr/jun de 2005.

SILVA, S. C. PEDROZO, M. F. M. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. **Cadernos de referência ambiental**. v. 05. Centro de Recursos Ambientais: Salvador, 2001.

SHARMA, P. DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**., v.17. n.01. Jan./mar de 2005.

SHWANTZ, M.; FERREIRA, J. J.; FRÖEHLICH, P.; ZUANAZZI, J.A. S.; HENRIQUES, A. T. Análise de metais pesados em amostras de *Peumus boldus* Mol. (Monimiaceae). **Brazilian Journal of Pharmacognosy** n.18, v.1, Jan./Mar. 2008.

SOARES, CL. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. C. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.13, n.3, pp. 302-315, 2001.

SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JR., G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p.351-355, 2007.

SOUZA, M. A. A, et al. Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. **Horticultura Brasileira**. v. 5, n.1, 2007.

SOUZA, S. A. M.; CATELLAN, L. V.; VARGAS, D. P., PIANA, C. F. B.; BOBROWSKY, V. L.; ROCHA, B. H. G.; Efeito de extratos aquosos de plantas medicinais nativas do Rio Grande do Sul sobre a germinação de sementes de alface. **Publicações UEPG Ciências Biológicas e de Saúde**, v.11 n.3(4), set./dez. 2005.

SUTHERLAND, R. A.; TACK, F. M. TOLOSA, C.A; VERLOO, M.G. Characterization of selected element concentrations and enrichment ratios in background and anthropogenically impacted roadside areas. **J. Environ. Qual**, v. 29, p. 1431, 2000.

TOMAZELA, A.L.; FAVARIN, J. L.; FANCELLI, A. L.; MARTIN, T. N.; DOURADO, D. N.; REIS, A. R. Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a severidade da ferrugem e atributos morfológicos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 192-201, 2006.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. *IN: TSUTIYA et al. Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001.

VEIGA Jr., V. F., PINTO, A. C. e MACIEL, M. A. M. Plantas medicinais: cura segura?. **Química Nova**, v.28, n.3, maio/jun. 2005.

VIEIRA, I. F. R.; LEAL, A. S.; KRAMBROCK, K.; TAMBOURH, E. B. Identificação de plantas medicinais irradiadas através da ressonância paramagnética eletrônica. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.10, n.1, Campinas, 2007.

VOLPATO, A. M. M. **Avaliação do potencial antibacteriano de *Calendula officinalis* (Asteraceae) para seu emprego como fitoterápico**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Química. Área de Concentração em Química Orgânica. Curitiba, 2005.

VOLLENWEIDER, P; COSIO, C.; GUNTARDT-GOERG, M.S. & KELLER, C. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.) Part II Microlocalization and cellular effects of cadmium. **Environ. Exper. Bot.**, v.58, p.1-16, 2005.

VULCANO, I. R. C.; SILVEIRA, J. N.; ALVAREZ-LEITE, E. M. Teores de chumbo e cádmio em chás comercializados na região metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v.44, n.3, 2008.

WARMAN, P.R.; COPPER J.M. Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: effects on soil and tissue Ca, Mg, S, B, Cu, Fe Mn and Zn. **Canadian Journal of Soil Science**, v.80, p. 345-352, 2000.

WOWK, G. I. T. H. MELO, V. F. **Avaliação da contaminação do solo por chumbo proveniente da reciclagem de sucatas de baterias em área de várzea no município de Paula Freitas (Pr)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Curitiba, 2003.

WU, J.; NORVELL, W.A.; WELCH, R.M. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. **Geoderma**, n.134, p.187-199, 2006.

XAVIER, J. L. C. EGLER, S.G. RIZZO, A. C. L Comunidade de microorganismos do solo: tolerância ao cromo em áreas com poluição industrial na baixada fluminense, Rio de Janeiro, RJ. **XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM**. Rio de Janeiro, 2006.

YAMASHITA, C. I. **Estudo sobre os constituintes inorgânicos presentes em diferentes espécies da planta medicinal do gênero *Cesária* coleta em regiões distintas da Mata Atlântica em São Paulo**. Dissertação de Mestrado apresentada no Instituto de Pesquisas Energéticas e nucleares da USP. São Paulo, 2006.

YURUELA, I. Copper in plantas. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina,v.17, n.1, 2005.

ZEITUNI, R. F. **Análise Crítica da norma CETESB P 4.230 - “Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto”**. Campinas: 2005. 211 p Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Agrônomo de Campinas.

## **CAPÍTULO 2 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO**

### **RESUMO**

Realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar a disponibilidade do teor de nutrientes e metais pesados tóxicos presentes em plantas de manjerição (*Ocimum basilicum*) submetidas a diferentes tratamentos com adubação orgânica e adubação convencional em solos de textura arenosa e argilosa. Foram realizados ensaios em casa de vegetação utilizando-se um Latossolo Vermelho eutroférrico e um Argissolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3, com quatro repetições, utilizando-se a dose zero e as doses recomendadas pela análise química de solo de adubação química e orgânica, bem como o dobro da dose recomendada em ambos os solos. P de-se concluir que os solos argilosos favoreceram a disponibilidade de P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Cd e Pb; os solos de textura arenosa favoreceram a disponibilidade de N, Mn e Cr. A adubação orgânica disponibilizou maiores teores de N, P, Mg e Zn, enquanto a adubação química evidenciou a presença de metais pesados tóxicos (Cd e Pb) nas fontes de NPK utilizadas.

**Termos para indexação:** fitodisponibilidade, adubação química, adubação orgânica, planta medicinal.

## ABSTRACT

### AVAILABILITY OF NUTRIENTS AND TOXIC HEAVY METALS IN BASIL PLANTS (*Ocimum basilicum*) CULTIVATED IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES AND UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF FERTILIZATION

This study was performed aiming to assess the availability of the content of nutrients and toxic heavy metals present in basil plants (*Ocimum basilicum*), subjected to different treatments with organic fertilizer and conventional fertilizer in sandy and clay soils. Tests were conducted in a greenhouse using Oxisol and Ultisol. The experimental design used was completely randomized in factorial scheme 2x2x3, with four replications, using zero and the recommended doses by the chemical analysis of the soil with organic and chemical fertilizers, as well as with twice recommended dose in both soils. It was concluded that the clay soil favored the availability of P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Cd e Pb; the sandy soil favored the availability of N, Mn e Cr. The organic fertilization provided higher levels of N, P, Mg e Zn, while chemical fertilizer showed the presence of toxic heavy metals (Cd e Pb) in the sources of NPK used.

**Index terms:** phytoavailability, chemical fertilizer, organic fertilizer, medicinal plant.

## 1 INTRODUÇÃO

O manjeriço (*Ocimum basilicum*) se destaca por apresentar substâncias de interesse para a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética (SOUZA et al., 2006).

A síntese de princípios ativos nas plantas medicinais é derivada do metabolismo secundário e pode ser regulada tanto por fatores genéticos quanto ambientais como, por exemplo, a nutrição (COSTA et al., 2008a).

Freire (2004) cita dois exemplos da influência da nutrição de plantas medicinais sobre a produção de seus princípios ativos: o primeiro exemplo citado pela autora é o de Vömel (1984), que ao estudar *Atropa belladonna* L., demonstrou que o teor total de alcalóides era reduzido, proporcionalmente, nas plantas nas quais havia incremento de matéria seca em função da adubação. O segundo exemplo do mesmo comportamento é fornecido pelos estudos de Ming, (1998), que avaliou a influência de diferentes dosagens de adubação orgânica (esterco de gado curtido) na produção de óleo essencial em erva-cidreira *Lippia alba*.

Em estudo comparando o efeito da adubação química e diferentes fontes de adubação orgânica na produção de biomassa, teor e rendimento do óleo essencial de capim-limão, Costa et al. (2008b), verificaram maior número de perfilhos, aumento na biomassa seca da parte aérea e radicular e rendimento de óleo essencial em plantas adubadas com esterco avícola.

Santos et al. (2003) afirmam que os fertilizantes minerais e os defensivos agrícolas contêm frequentemente impurezas, dentre elas metais pesados. O mesmo autor cita estudos de Ramalho et al. (1999) sobre a contribuição de fertilizantes fosfatados no aumento dos teores de metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar. Neste estudo pode-se observar um aumento significativo de Cd em solos que receberam fertilizantes fosfatados, durante o período de 25 anos.

O aumento anormal das concentrações de metais pesados nos solos de agricultura altamente tecnificada é resultado da deposição atmosférica e da aplicação de agrotóxicos, resíduos orgânicos e inorgânicos urbanos industriais, fertilizantes e corretivos (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

Os metais pesados são elementos químicos (metais e alguns semi-metais) que possuem densidade superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  e número atômico maior do que 20

(GONÇALVES Jr. e PESSOA, 2002). Duffus (2002) afirma que tem sido utilizado, cada vez mais frequentemente, o termo “elementos traço” como substituto de “metais pesados”, caracterizados como metais presentes em pequenas concentrações no ambiente e nos seres vivos, sendo alguns considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são.

Gonçalves Jr. et al. (2009) afirmam que metais como Cu, Zn, Ni e Cr são utilizados no metabolismo biológico e considerados essenciais, enquanto Pb e Cd não são essenciais, portanto, são tóxicos, mesmo em níveis de traço. Os metais essenciais podem também produzir efeitos tóxicos quando em concentrações elevadas. Portanto, nem todo metal pesado é essencialmente tóxico.

As plantas podem acumular estes metais em todos os tecidos, podendo transferi-los para a cadeia alimentar, e esta acumulação atualmente é um dos temas de interesse ambiental, não apenas pela fitotoxicidade de muitos destes metais, mas também pelos potenciais efeitos nocivos na saúde animal e humana (SHWANTZ et al., 2008). Soares et al. (2001) avaliaram em casa de vegetação o acúmulo e a distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de vinte espécies arbóreas tropicais crescendo em solo contaminado com Zn, Cd, Cu e Pb e verificaram que algumas das espécies testadas tiveram o crescimento inibido pela contaminação.

Conduziu-se este estudo, com o objetivo de avaliar o teor dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr, e dos elementos N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn presentes em plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum*) submetidas a diferentes tratamentos com adubação orgânica e adubação convencional em solos de diferentes texturas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se o ensaio em área experimental de cultivo protegido da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), no município de Marechal Cândido Rondon, PR.

### 2.1 Delineamento experimental

Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial (2x2x3) dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo duas texturas de solo, (argilosa e arenosa), duas formas de adubação (química e orgânica) e três doses de adubação (sem adubação, dose recomendada e o dobro da dose recomendada) totalizando 12 tratamentos com quatro repetições dispostos em 48 vasos plásticos com capacidade para 5 kg de solo.

### 2.2 Caracterização dos solos utilizados no experimento

Os solos utilizados no experimento foram coletados na camada de 0-20 cm de profundidade. O solo de textura argilosa foi coletado no município de Marechal Cândido Rondon - PR e classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e o solo de textura arenosa coletado no município de Palotina - PR e classificado como Argissolo Vermelho distrófico (PVd) (EMBRAPA, 1999).

Para determinar a distribuição das partículas primárias de solo (areia, silte e argila) foi realizada uma análise granulométrica, conforme metodologia de Coelho et al. (2009), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise granulométrica do solo.

	Argila	Silte	Areia
	g kg <sup>-1</sup>		
LVe	697,00	230,93	72,07
PVd	60,00	50,78	889,22

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados da análise química dos solos realizada de acordo com Pavan et al. (1992).

Tabela 2: Análise química do Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

	<b>P</b>	<b>MO</b>	<b>pH</b>	<b>H+Al</b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	-----			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%	
<b>LVe</b>	8,40	21,20	5,12	3,49	0,10	0,60	4,17	0,86	5,60	9,10	61,8
<b>PVd</b>	2,19	6,84	4,46	2,81	0,15	0,04	0,60	0,16	0,80	3,61	22,1

Tabela 3: Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd)

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						
<b>LVe</b>	14,90	173,00	45,20	3,40	3,00	48,00	5,00
<b>PVd</b>	2,80	72,00	8,61	0,60	1,00	20,00	ND

\* Não determinado pelo método

### 2.3 Adubação química

Para a recomendação da adubação química utilizou-se a análise química dos solos (Tabelas 2 e 3).

Os valores das doses utilizadas para adubação química (recomendada e o dobro da dose recomendada) encontram-se na Tabela 4 (RAIJ et al., 1997). As fontes de N, P e K utilizadas foram sulfato de amônio P.A. ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) P.A., cloreto de potássio P.A. (KCl) e fosfato de monoamônio P.A. (MAP) respectivamente.

Tabela 4: Doses de adubação química utilizadas nos tratamentos nos solos de textura argilosa (LVe) e arenosa (PVd).

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Dose recomendada LVe	30	50	20
Dobro da dose recomendada LVe	60	100	40
Dose recomendada PVd	30	120	80
Dobro da dose recomendada PVd	60	240	160

## 2.4 Adubação orgânica

Para recomendação da adubação orgânica foi utilizado o Boletim 100 do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), que recomenda, para ervas medicinais de 20 a 50 ton ha<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1997). Desta forma a dose recomendada para o solo argiloso no experimento foi de 30 ton ha<sup>-1</sup> e o dobro foi 60 ton ha<sup>-1</sup>, já para o solo arenoso a dose recomendada foi de 40 ton ha<sup>-1</sup> e o dobro foi de 80 ton ha<sup>-1</sup> de composto orgânico.

O composto orgânico utilizado no experimento foi preparado com esterco de suínos retirado de um tanque de decantação de dejetos e seco ao sol, misturado com restos de corte de gramado. A pilha de compostagem foi constituída de camadas de aproximadamente 10 cm, sendo que a primeira camada era composta por gramado, a camada seguinte composta por esterco de suínos, a camada seguinte composta novamente por gramados, seguindo nesta ordem até atingir cerca de 1 m de altura (CENTEC, 2004).

Durante o processo de compostagem as pilhas foram reviradas a cada 15 dias visando manter a aeração e a umidade do composto. Aos 60 dias o composto apresentou aspecto de “terra preta” característico de adubo orgânico. O composto orgânico foi caracterizado quimicamente por meio de digestão nitroperclórica (AOAC, 2005) e a determinação dos elementos feita por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA/chama) (WELZ e SPERLING 1999). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Análise química do composto orgânico

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>								
13,13	10,83	2,00	41,30	5,20	314,00	250,00	416,00	536,00	2,00	62,00	17,00

## 2.5 Instalação e condução do experimento

Para utilização dos solos no experimento estes foram peneirados na granulometria de 5 mm. Para o solo arenoso, foi necessária a realização de calagem para elevação da saturação por bases a 50%, utilizando-se calcário calcítico como corretivo (SANTIN et al. 2007).

Foram semeadas cerca de 10 sementes de manjeriço por vaso e, no sétimo dia após a semeadura, realizado o desbaste restando apenas quatro plantas por vaso. A retirada de plantas invasoras foi realizada diariamente, e não houve necessidade de controle de pragas ou doenças na cultura. Os vasos eram regados diariamente visando manter a capacidade de campo do solo.

## **2.6 Finalização do experimento**

Aos 60 dias de cultivo todas as plantas foram cortadas rente ao solo e lavadas com água corrente (de torneira) e em seguida com água deionizada e destilada. Após a lavagem o material vegetal foi pesado, com objetivo de se obter a massa fresca das plantas e acondicionado separadamente em sacos de papel identificados e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C (LACERDA et al., 2009).

Após a secagem, o material pesado com o objetivo de obter-se a sua massa seca e, posteriormente, foi moído em moinho tipo Wiley com peneira de 2 mm. As amostras moídas foram acondicionadas em sacos de polietileno separadas individualmente para serem analisadas quimicamente, com objetivo de determinar os teores de metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr e dos elementos K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn, por meio de digestão nitroperclórica (AOAC, 2005) seguida de determinação EAA/chama, em um aparelho GBC 932AA (WELZ e SPERLING, 1999). Como limite de detecção dos elementos analisados, foi utilizado o manual do fabricante (GBC, 1998).

Para a quantificação de N e P utilizou-se digestão sulfúrica (AOAC, 2005) seguida de Espectrofotometria de Ultravioleta Visível (UV-VIS) para determinação de P total (SOARES et al., 2001) e destilação em Microdestilador Kjeldhal para determinação de N total (MANTOVANI et al., 2005).

## **2.7 Análise dos dados**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao Teste de Tukey utilizando-se o programa SISVAR, considerando 5% de probabilidade a fim

de verificar o efeito dos tratamentos em relação à disponibilidade dos elementos avaliados na cultura do manjeriço. Foi realizada a transformação de dados para a variável Cr, para tanto utilizou-se a transformação de raiz quadrada + 1 para os valores desta variável.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos quadrados médios obtidos na análise de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn e dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr nas plantas de manjeriço encontram-se e nas Tabelas 6 e 7.

Os resultados demonstram que a textura do solo influenciou de forma significativa ( $P < 0,05$ ) na absorção de todos os elementos, com exceção do Mg. Para as fontes de adubação obteve-se diferença significativa para os elementos N, P, K, Mg, Zn, Mn, Cd e Pb nas plantas de manjeriço. Com relação às doses de adubação, assim como para os solos, obteve-se diferença significativa para todos os elementos, com exceção do Mg.

Na interação entre solo e adubação e na interação entre solo e doses observa-se que ocorreram diferenças significativas para todos os elementos avaliados. Já para a interação entre adubação e doses ocorreu diferença estatística significativa para todos os elementos, com exceção do Fe e do Cu (Tabela 6 e 7). Na interação tripla entre solo, adubação e doses foi constatado a diferença significativa entre todos os elementos avaliados nas plantas de manjeriço (Tabela 6 e 7).

Tabela 6: Análise de variância para os teores de N, P, K, Ca e Mg nas plantas de manjeriço.

Fonte de variação	GL	N	P	K	Ca	Mg
		QM				
Solo	1	0,56*	21,29*	206,88*	30,48*	0,270 <sup>NS</sup>
Adubação	1	1,23*	7,53*	17,22*	0,53 <sup>NS</sup>	1,613*
Dose	2	0,75*	11,59*	35,42*	40,76*	0,058 <sup>NS</sup>
Solo x Adubação	1	0,09*	1,50*	70,69*	10,22*	0,300*
Solo x Dose	2	2,23*	1,87*	11,61*	29,04*	0,327*
Adubação x Dose	2	0,23*	2,92*	2,07*	3,36 <sup>NS</sup>	0,156*
Solo x adubação x Dose	2	0,01*	0,11*	45,93*	37,37*	0,295*
CV(%)		15,45	10,43	9,79	6,42	3,16
DMS		0,15	0,26	0,85	1,16	0,15

\*, significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

<sup>NS</sup> - não significativo pelo teste de F.

Tabela 7: Análise de variância para os teores dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nas plantas de manjeriço.

Fonte de variação	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
		QM						
Solo	1	1008,33*	792,19*	1407846,25*	52602,52*	2,297*	627,130*	50,86*
Adubação	1	2,52 <sup>NS</sup>	325,52*	85809,79 <sup>NS</sup>	173280,33*	2,297*	115,630*	0,23 <sup>NS</sup>
Dose	2	67,28*	492,13*	160150,72*	70059,25*	1,130*	101,880*	7,54*
Solo x Adubação	1	27,00*	35,02*	2458,17*	520,08*	1,505*	35,880*	14,03*
Solo x Dose	2	67,04*	5,67*	281575,50*	17981,82*	0,609*	87,286*	0,34*
Adubação x Dose	2	1,04 <sup>NS</sup>	249,72*	14927,67 <sup>NS</sup>	41953,44*	0,578*	120,161*	0,69*
Solo x Adubação x Dose	2	4,05*	91,47*	87112,33*	3826,19*	1,290*	140,068*	12,49*
CV(%)		20,76	18,55	25,69	18,00	17,3	12,62	42,37
DMS		1,66	4,29	103,82	26,30	0,240	3,033	0,66

\*, significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

<sup>NS</sup> - não significativo pelo teste de F.

Na Tabela 8 são apresentadas as concentrações de N, P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr encontradas nas plantas de manjeriço em função dos dois tipos de solo utilizados no experimento. Para esta fonte de variação, apenas o elemento Mg não apresenta diferença estatística em seus resultados.

Tabela 8: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn e dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr em plantas de manjeriço cultivadas em solo argiloso (LVe) e no solo arenoso (PVd).

	N	P	K	Ca	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
	g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>						
<b>LVe</b>	1,59b	4,91a	16,95a	31,64a	18,27a	43,58a	861,62a	216,54b	2,58a	44,69a	1,64b
<b>PVd</b>	1,81a	3,57b	12,80b	30,05b	9,10b	35,45b	519,10b	282,75a	2,14b	37,46b	3,70a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O fato de ocorrer maior disponibilidade de N no solo de textura arenosa pode ser explicado por Heinheimer et al. (2000). Esses autores demonstram que a aplicação de calcário e de fertilizantes nitrogenados proporcionou a formação de sais solúveis de nitrato, forma na qual o N se encontra disponível para as plantas no solo.

A Tabela 8 mostra que a concentração de P, K, Ca, Cu, Zn e Fe nas plantas de manjeriço cultivadas em solo de textura argilosa foi maior que as concentrações dos mesmos elementos encontrada nas plantas cultivadas em solo arenoso.

Colombo (2010) afirma que os nutrientes podem ser inferidos indiretamente pela textura do solo. Solos arenosos são pobres em nutrientes e apresentam alta porosidade, o que dificulta a retenção de cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), permite um curto tempo de residência da água e rápido escoamento expondo as plantas a uma condição de estresse nos períodos secos. Ao contrário, solos mais argilosos, retêm melhor a água e os cátions, facilitando o crescimento das plantas.

Os teores de Cu encontrados neste experimento foram maiores nas plantas de manjeriço cultivadas em solos de textura argilosa. O Mn, por sua vez, apresentou-se em maiores concentrações nas plantas de manjeriço cultivadas em solos arenosos. Esta relação inversa pode ser explicado por Lima et al. (2008), que afirmaram que os dois nutrientes (Cu e Mn) competem entre si na absorção celular e o excesso de um reduz a concentração do outro em tecidos vegetais.

Os metais pesados tóxicos Cd e Pb apresentaram concentrações maiores em plantas de manjeriço cultivadas em solos de textura argilosa. Korf et al. (2008) avaliaram a retenção de metais em solos de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos e observaram o significativo potencial de retenção de metais nos solos argilosos.

Na Tabela 9 são apresentadas as concentrações de N, P, K, Mg, Zn, Mn, Cd e Pb encontradas nas plantas de manjeriço em função dos dois tipos de adubação utilizados no experimento. Para esta fonte de variação, os elementos Ca, Cu, Fe e Cr não apresentaram diferença estatística em seus resultados.

Tabela 9: Médias das concentrações de N, P, K, Mg, Zn, Mn em plantas de manjeriço e dos metais pesados tóxicos Cd e Pb em função da fonte de adubação do solo.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
<b>Química</b>	1,54b	1,52b	3,84b	8,10b	36,92b	309,72a	2,58a	42,62a
<b>Orgânica</b>	1,86a	1,85a	4,64a	8,47a	42,12a	189,56b	2,14b	39,52b

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O N apresentou maior disponibilidade nas plantas de manjeriço adubadas com composto orgânico. Segundo Maia e Cantarutti (2004), a principal reserva de N do solo é a matéria orgânica, com grande significado para o suprimento do

nutriente para as culturas. O N orgânico é mineralizado à amônia que, nas condições de acidez predominante nos solos, é convertida a  $\text{NH}_4^+$  ou, então, a  $\text{NO}_3^-$ , pela ação das bactérias nitrificantes tornando-se disponível às culturas.

Para os teores de P a adubação orgânica mostrou-se a fonte que mais disponibilizou o nutriente para as plantas de manjeriço cultivadas neste experimento. Em trabalho sobre acúmulo de K e P em sistema de plantio direto adubado com dejetos de suínos, Dortzbach (2009) pôde verificar o aumento dos teores desses dois elementos em cultivo orgânico. Porém neste experimento, o K apresentou concentrações maiores em plantas adubadas com fertilizante químico.

As concentrações de Zn foram superiores nas plantas de manjeriço adubadas com composto orgânico que apresentou alta concentração deste elemento. Girotto et al. (2007) explicam que os dejetos de suínos, material do qual foi preparado o composto orgânico utilizado neste experimento, possuem alta concentração de Zn.

Os teores de Cd e Pb encontrados nas plantas de manjeriço foram superiores nos tratamentos em que utilizou-se a adubação química. Freitas et al. (2009), evidenciaram a presença de Pb e Cd nos fertilizantes utilizados e a disponibilidade dos metais no solo para as plantas analisadas.

A Tabela 10 apresenta as concentrações dos elementos N, P, K, Mg, Zn, Mn, Cd e Pb as quais apresentaram diferença estatística na interação entre as duas texturas de solo (argilosa e arenosa) e as duas fontes de adubação (química e orgânica).

Tabela 10: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn e Cd e na interação entre solo e adubação

		g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			
		N	P	K	Mg	Zn	Mn	Cd
<b>LVe</b>	Química	1,47b	4,34b	16,33b	8,10a	40,12b	273,33a	2,62a
	Orgânica	1,71a	5,48a	17,56a	8,31a	47,04a	159,75b	2,54a
<b>PVd</b>	Química	1,61b	3,36b	14,61a	8,10a	33,70a	346,12a	2,54a
	Orgânica	2,01a	4,34a	10,98b	8,62b	37,20a	219,37b	1,75b

Para cada tipo de solo, médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Para os elementos N e P foram ocorreram maiores concentrações em plantas de manjeriço cultivadas em ambas as texturas de solo (arenosa e argilosa) adubados com composto orgânico. Para o elemento K, as

concentrações maiores em plantas de manjeriço foram apresentadas no cultivo em solo argiloso adubado com composto orgânico e em solo de textura arenosa no qual foi utilizada a adubação química.

O Mg apresentou teores maiores em plantas de manjeriço cultivadas em solo arenoso adubadas com o composto orgânico. Para este elemento, não houve diferença estatística entre as duas formas de adubação (química e orgânica) nos tratamentos onde utilizou-se solos de textura argilosa.

Para o elemento Zn foram encontradas maiores concentrações nas plantas de manjeriço cultivadas em solo argiloso adubado com composto orgânico, não havendo diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre as duas fontes de adubação (química e orgânica) no solo de textura arenosa para este elemento.

Na interação entre solo e adubação, o elemento Mn apresentou concentrações maiores em plantas de manjeriço cultivadas em solo de textura argilosa e arenosa adubados nos quais utilizou-se adubação química. O elemento Cd apresentou concentrações maiores em plantas de manjeriço cultivadas em solo arenoso nos quais foi utilizada a adubação química.

## 4 CONCLUSÃO

Com este trabalho pôde-se concluir que as texturas de solo (argilosa e arenosa) e as fontes de adubação (química e orgânica) influenciaram significativamente a disponibilidade dos elementos avaliados.

A adubação química disponibilizou maiores concentrações dos elementos K, Mn, Cd e Pb, evidenciando a presença de metais pesados tóxicos nas fontes de NPK utilizadas. A adubação orgânica favoreceu a disponibilidade de N, P, Mg e Zn, favorecida pelo incremento de matéria orgânica no solo.

O solo de textura argilosa favoreceu a disponibilidade da maioria dos elementos (P, K, Ca, Cu, Zn, Fe, Cd e Pb) devido à sua capacidade de troca de cátions. Os solos de textura arenosa, por sua vez, disponibilizaram os elementos N, Mn e Cr.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official methods of analysis**. 18 ed. Maryland: AOAC, 2005.

CENTEC. **Produtor de plantas medicinais-Cadernos tecnológicos**. Instituto Centro de Ensino Tecnológico. 2.ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2004.

COELHO, G. F.; GONÇALVES Jr., A. C.; SEIDEL, E.; CARVALHO, E. A.; SCHWANTES, D. Avaliação da granulometria de solos de sete municípios da região oeste do Paraná. **Revista Sinergismus scyentifica**. Pato Branco, v.4, n.01, 2009.

COLOMBO A. F. Textura de solo, abertura de dossel e a abundância da palmeira ***Astrocaryum sciophilum (Arecaceae)***. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 2010. Disponível em:< <http://www.inpa.gov.br/~pdbff/cursos/efa/livro/2006/pdfs/pfalexandre.pdf>>. Acesso em 06 de abr. de 2010.

COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. et al. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. **Ciência Rural**, Santa Maria,v.38, n.8, p. 2173-2180, Nov. de 2008a.

COSTA, L. C .B.; ROSAL, L. F.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. Efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. Botucatu, v.10, n.1, p.16-20, 2008b.

DORTZBACH, D. Acúmulo de fósforo e potássio em solo adubado com dejetos suínos cultivado com milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 4, n. 2, novembro de 2009.

DUFFUS, J. H. "Heavy metals" – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry** (IUPAC Technical Report). v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999.

FREIRE, M. F. I. Plantas Mediciniais: a importância do saber cultivar. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**.Garça, n. 05, junho de 2004.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART, D. F. SILVA, J. P. S. Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, n.6, pp. 1899-1907. 2009.

GBC Scientific Equipament. **Flame methods manual for atomic absorption by GBC Scientific Equipament**. Victoria, 1998.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; LORENSINI, F.; TRENTIN, E. E. Acúmulo de cobre e zinco no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Gramado, 05 a 10 de agosto de 2007.

GONÇALVES, Jr., A. C. LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo em soja, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**. São Paulo, v.23, n.2, pp. 173-177, 2000.

GONÇALVES Jr., A. C.; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho Eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.3, n.1-2, p.19-23, 2002.

GONÇALVES Jr, A. C.; SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando a remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 31, n. 1, p.103-108, 2009.

HEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**. 2000, v.30, n.2, pp. 263-268. 2000.

KORF, E. P.; MELO, E. F. R. Q.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A.V. Retenção de metais em solos da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo-RS. **Revista de Ciências Ambientais**. Canoas, v.2, n.2, p. 43 a 60, 2008.

LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 185-190, May./June 2009.

LIMA, R. L. S. et al. Variação sazonal de micronutrientes em folhas de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.32, n.3, p. 869-874, 2008.

MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B.; Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.8, n.1, p.39-44, 2004.

MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARBOSA, J. C. Comparação de procedimentos de quantificação de nitrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, n.01, p. 53-59, jan. 2005.

MING, L. C. Adubação Orgânica no cultivo de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br-Verbenaceae. In: **Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares: avanços na pesquisa agrônoma**, v. 1, p.165-192, UNESP-Botucatu,SP, 1998.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**; Londrina: IAPAR, 1992. (Circular, 76).

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed.rev. Campinas: IAC. p.93-95 (Boletim Técnico, 100), 1997.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISMANN, C. B.; ROVEDA, L. F.; WEDLING, I. Calagem no crescimento de mudas de Erva Mate (*Ilex paraguayensis* St. Hill). **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Gramado, 05 a 10 de agosto de 2007.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Consequências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agroecossistema com feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n.27 p.191-198, 2003.

SHWANTZ, M.; FERREIRA, J. J.; FRÖEHLICH, P.; ZUANAZZI, J.A. S.; HENRIQUES, A. T. Análise de metais pesados em amostras de *Peumus boldus* Mol. (Monimiaceae). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. Rio de Janeiro, n.18, v.1, p.98-101, Jan./Mar. 2008.

SOARES, CL. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. C. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.13, n.3, pp. 302-315, 2001.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; AVILA, F. W. Nutrição fosfatada e rendimento do feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. **Ciência & Agrotecnologia**. Lavras, v.30, n.4, pp. 656-664, 2006.

VÖMEL, A. Problems and Advantages of Mineral Fertilization with Medicinal Plants. **Acta Horticulturae**, n 144, p. 115-121 , 1984.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 2 ed. Weinheim: Wiley- VCH, 1999.

### **CAPÍTULO 3 - DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS TÓXICOS EM PLANTAS DE CALÊNDULA (*Calendula officinalis*) CULTIVADAS EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO**

#### **RESUMO**

Realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar a disponibilidade de nutrientes e de metais pesados tóxicos presentes em plantas de calêndula (*Calendula officinalis*). Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial (2x2x3) dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo duas texturas de solo, (argilosa e arenosa), duas formas de adubação (química e orgânica) e três doses de adubação (sem adubação, dose recomendada e o dobro da dose recomendada) totalizando 12 tratamentos com quatro repetições. Os resultados demonstraram que os solos argilosos favoreceram a disponibilidade de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Fe; os solos de textura arenosa favoreceram a disponibilidade de Ca, Mn, Pb e Cr. A adubação orgânica disponibilizou maiores teores de P e Fe, enquanto o tecido foliar de plantas de calêndula adubadas com adubação química apresentaram concentrações maiores de K e Mn. As plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa apresentaram maior altura e maiores médias de massa seca e massa fresca.

**Termos para indexação:** plantas medicinais, adubação química, adubação orgânica

## ABSTRACT

### **AVAILABILITY OF NUTRIENTS AND TOXIC HEAVY METALS IN MARIGOLD PLANTS (*Calendula officinalis*) CULTIVATED IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES AND UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF FERTILIZATION**

This study was performed aiming to assess the availability of nutrients and toxic heavy metals present in marigold plants (*Calendula officinalis*). The treatments were arranged in factorial scheme (2x2x3) in a completely experimental randomized design (CRD), with two textures of soil, (sandy and clayey), two forms of fertilization (organic and chemical) and three doses of fertilization (without fertilization, the recommended dose and twice the recommended dose) totalizing 12 treatments with four replications. The results showed that clayey soil favored the availability of N P, K, Mg, Cu, Zn and Fe; the sandy soil favored the availability of Ca, Mn, Pb and Cr. The organic fertilization provided higher levels of P and Fe, while the leaf tissue of marigold plants fertilized with chemical fertilizer showed higher concentrations of K and Mn. Marigold plants grown in clay soil were higher and had the highest average of dry volume and fresh volume.

**Index terms:** phytoavailability, chemical fertilizer, organic fertilizer.

## 1 INTRODUÇÃO

A calêndula (*Calendula officinalis* L.) pertencente à família Asteraceae, é importante pelo seu uso como planta medicinal e ornamental (CARVALHO et al., 2007).

A síntese de princípios ativos nas plantas medicinais é derivada do metabolismo secundário (COSTA et al., 2008). Gobbo-Neto e Lopes (2007) afirmam que os nutrientes podem influenciar a produção de diferentes metabólitos secundários, e o impacto de mudanças em sua disponibilidade na produção de metabólitos secundários.

Em experimento realizado por Blank et al. (2005), com plantas de manjerição comparando os efeitos de fontes minerais e orgânicas de adubação, a adubação mineral e orgânica não afetou significativamente a altura das plantas. Porém, o comprimento das folhas e a produção de matéria seca da parte aérea e o teor de óleo essencial foram superiores em plantas que foram adubadas com adubo químico.

Santos et al. (2003) afirmam que os fertilizantes minerais e os defensivos agrícolas contêm frequentemente impurezas, dentre elas metais pesados. O mesmo autor cita estudos de Ramalho et al. (1999) sobre a contribuição de fertilizantes fosfatados no aumento dos teores de metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar. Neste estudo pode-se observar um aumento significativo de Cd em solos que receberam fertilizantes fosfatados, durante o período de 25 anos.

O aumento anormal das concentrações de metais pesados nos solos de agricultura altamente tecnificada é resultado da deposição atmosférica e da aplicação de agrotóxicos, resíduos orgânicos e inorgânicos urbanos industriais, fertilizantes e corretivos (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

Os metais pesados são elementos químicos (metais e alguns semi-metais) que possuem densidade superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  e número atômico maior do que 20 (GONÇALVES Jr. e PESSOA, 2002). Duffus (2002) afirma que tem sido utilizado, cada vez mais frequentemente, o termo “elementos traço” como substituto de “metais pesados”, caracterizados como metais presentes em pequenas concentrações no ambiente e nos seres vivos, sendo alguns considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são.

GONÇALVES Jr. et al. (2009) afirmam que metais como cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni) e cromo (Cr) são utilizados no metabolismo biológico e considerados essenciais, enquanto chumbo (Pb) e cádmio (Cd) não são essenciais, portanto, considerados tóxicos, mesmo em níveis de traço. Os metais essenciais podem também produzir efeitos tóxicos quando em concentrações elevadas. Portanto, nem todo metal pesado é essencialmente tóxico.

As plantas podem acumular estes metais em todos os tecidos, podendo transferi-los para a cadeia alimentar, e esta acumulação atualmente é um dos temas de interesse ambiental, não apenas pela fitotoxicidade de muitos destes elementos, mas também pelos potenciais efeitos nocivos na saúde animal e humana (SHWANTZ et al., 2008). Soares et al. (2001) avaliaram em casa de vegetação o acúmulo e a distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de vinte espécies arbóreas tropicais crescendo em solo contaminado Zn, Cd, Cu e Pb e verificaram que algumas das espécies testadas tiveram o crescimento inibido pela contaminação.

Frente ao exposto, conduziu-se este estudo com o objetivo de avaliar o teor de metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr, e dos elementos essenciais N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe e Mn presentes em plantas de calêdula (*Calendula officinalis*) submetidas a diferentes tratamentos com adubação orgânica e adubação convencional em solos de diferentes texturas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se o ensaio em área experimental de cultivo protegido da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), no município de Marechal Cândido Rondon, PR.

### 2.1 Delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial (2x2x3) dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo duas texturas de solo, (argilosa e arenosa), duas formas de adubação (química e orgânica) e três doses de adubação (sem adubação, dose recomendada e o dobro da dose recomendada) totalizando 12 tratamentos com quatro repetições dispostos em 48 vasos plásticos com capacidade para 5 kg de solo.

### 2.2 Caracterização dos solos utilizados no experimento

Os solos utilizados no experimento foram coletados na camada de 0-20 cm de profundidade. O solo de textura argilosa foi coletado no município de Marechal Cândido Rondon - PR e classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e o solo de textura arenosa coletado no município de Palotina - PR e classificado como Argissolo Vermelho distrófico (PVd) (EMBRAPA, 1999).

Para determinar a distribuição das partículas primárias de solo (areia, silte e argila) foi realizada uma análise granulométrica, conforme metodologia de Coelho et al., (2009) sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise granulométrica do solo.

	Argila	Silte g kg <sup>-1</sup>	Areia
LVe	697,00	230,93	72,07
PVd	60,00	50,78	889,22

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados da análise química dos solos realizada de acordo com Pavan et al. (1992).

Tabela 2: Análise química do Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

	<b>P</b> mg dm <sup>-3</sup>	<b>MO</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>pH</b> CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	<b>H+Al</b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b> %
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----										
<b>LVe</b>	8,40	21,20	5,12	3,49	0,10	0,6	4,1	0,86	5,6	9,10	61,8
<b>PVd</b>	2,19	6,84	4,46	2,81	0,15	0,0	0,6	0,16	0,8	3,61	22,1

Tabela 3: Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e do Argissolo Vermelho distrófico (PVd)

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
<b>LVe</b>	14,90	173,00	45,20	3,40	3,00	48,00	5,00
<b>PVd</b>	2,80	72,00	8,61	0,60	1,00	20,00	ND

### 2.3 Adubação química

Para a recomendação da adubação química utilizou-se a análise química dos solos (Tabelas 2 e 3).

Os valores das doses utilizadas para adubação química (recomendada e o dobro da dose recomendada) encontram-se na Tabela 14 (RAIJ et al., 1997). As fontes de N, P e K utilizadas foram sulfato de amônio P.A. ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), cloreto de potássio P.A. (KCl) e fosfato de monoamônio P.A. (MAP) respectivamente.

Tabela 4: Doses de adubação química utilizadas nos tratamentos nos solos de textura argilosa (LVe) e arenosa (PVd).

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
Dose recomendada LVe	30	50	20
Dobro da dose recomendada LVe	60	100	40
Dose recomendada PVd	30	120	80
Dobro da dose recomendada PVd	60	240	160

### 2.4 Adubação orgânica

Para recomendação da adubação orgânica foi utilizado o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que recomenda, para plantas medicinais de 20 a 50 ton ha<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1997). Desta forma, baseando-se no resultado da análise química de solo (Tabelas 2 e 3), a dose recomendada para o solo argiloso

no experimento foi de 30 ton ha<sup>-1</sup> e o dobro foi 60 ton ha<sup>-1</sup>, já para o solo arenoso a dose recomendada foi de 40 ton ha<sup>-1</sup> e o dobro foi de 80 ton ha<sup>-1</sup> de composto orgânico.

O composto orgânico utilizado no experimento foi preparado com esterco de suínos retirado de um tanque de decantação de dejetos e seco ao sol e com restos de corte de gramado. A pilha de compostagem foi constituída de camadas de aproximadamente 10 cm, sendo que a primeira camada era composta por gramado, a camada seguinte composta por esterco de suínos, a camada seguinte composta novamente por gramados, seguindo nesta ordem até atingir cerca de 1 m de altura (CENTEC, 2004).

Durante o processo de compostagem as pilhas foram reviradas a cada 15 dias visando manter a aeração e a umidade do composto. Aos 60 dias o composto apresentou aspecto de “terra preta” característico de adubo orgânico. O composto orgânico foi caracterizado quimicamente por meio de digestão nitroperclórica (AOAC, 2005) e a determinação dos elementos feita por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA/chama) (WELZ e SPERLING, 1999). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Análise química do composto orgânico

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>								
13,13	10,83	2,00	41,30	5,20	314,00	250,00	416,00	536,00	2,00	62,00	17,00

## 2.5 Instalação e condução do experimento

Para utilização dos solos no experimento estes foram peneirados na granulometria de 5 mm. Para o solo arenoso, foi necessária a realização de calagem para elevação da saturação por bases a 50%, utilizando calcário calcítico como corretivo (SANTIN et al. 2007).

Foram semeadas cerca de 10 sementes de calêndula por vaso e, no décimo quinto dia após a semeadura, realizou-se o desbaste restando apenas quatro plantas por vaso. A retirada de plantas invasoras foi realizada diariamente, e não houve necessidade de controle de pragas ou doenças na cultura. Os vasos eram regados diariamente visando manter a capacidade de campo do solo.

## 2.6 Finalização do experimento

Aos 90 dias de cultivo todas as plantas foram cortadas rente ao solo e lavadas com água corrente (de torneira) e em seguida com água deionizada e destilada. Após a lavagem o material vegetal foi pesado, com objetivo de se obter a massa fresca das plantas e acondicionado separadamente em sacos de papel identificados e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C (LACERDA et al., 2009).

Após a secagem, o material pesado com o objetivo de obter-se a sua massa seca e, posteriormente, foi acondicionado separadamente em sacos de papel identificados e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C (LACERDA et al., 2009).

Após a secagem, o material foi moído em moinho tipo Wiley com peneira de 2 mm. As amostras moídas foram acondicionadas em sacos de polietileno separadas individualmente para serem analisadas quimicamente, com objetivo de determinar os teores de metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr e dos elementos K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn por meio de digestão nitroperclórica (AOAC, 2005), seguida de determinação EAA/chama, em um aparelho GBC 932AA (WELZ e SPERLING, 1999). Como limite de detecção dos elementos analisados, foi utilizado o manual do fabricante (GBC, 1998).

Para a quantificação de N e P utilizou-se digestão sulfúrica (AOAC, 2005) seguida de Espectrofotometria de Ultravioleta Visível (UV-VIS) para determinação de P total (SOARES et al., 2001) e destilação em Microdestilador Kjeldhal para determinação de N total (MANTOVANI et al., 2005).

## 2.7 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao Teste de Tukey utilizando-se o programa SISVAR, considerando 5% de probabilidade a fim de verificar o efeito dos tratamentos em relação à disponibilidade dos elementos avaliados na cultura da calêndula.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Tecido vegetal

Os resultados dos quadrados médios (QM) obtidos na análise de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg e dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nas plantas de calêndula encontram-se e nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Observa-se que a textura do solo influenciou de forma significativa ( $P < 0,05$ ) na absorção de todos os elementos, com exceção do Cd.

Para as fontes de adubação utilizadas neste experimento foram encontradas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) apenas para os elementos P, K, Fe e Mn nas plantas de calêndula (Tabelas 6 e 7).

As doses das duas fontes de adubação utilizadas neste experimento (sem adubação, dose recomendada e dobro da dose recomendada) apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para os elementos N, P, Mg, Zn, Fe e Mn.

Na interação entre solo e adubação observou-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os teores de N, P, K, Zn, Fe e Mn. Na interação tripla entre solo, adubação e doses foi constatado a diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre todos os elementos avaliados nas plantas de calêndula com exceção do Cu e do Cd (Tabelas 6 e 7).

Para todas as interações, os valores de Cd foram inferiores ao limite de detecção deste metal para o método utilizado,  $0,009 \text{ mg L}^{-1}$  para este metal (GBC, 1998).

Tabela 6: Análise de variância para os teores de N, P, K, Ca e Mg nas plantas de calêndula.

Fonte de variação	GL	N	P	K	Ca	Mg
		QM				
Solo	1	6133,41*	0,64*	2270,81*	220,16*	81,64*
Adubação	1	50,20 <sup>NS</sup>	0,22*	87,8*	16,80 <sup>NS</sup>	1,20 <sup>NS</sup>
Dose	2	241,74*	1,64*	14,33 <sup>NS</sup>	55,33 <sup>NS</sup>	7,56*
Solo x Adubação	1	152,97*	0,17*	177,29*	91,30 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>
Adubação x Dose	2	422,17*	0,11*	19,46 <sup>NS</sup>	9,84 <sup>NS</sup>	15,15*
Solo x adubação x Dose	2	488,78*	0,07*	4,00*	41,11*	2,85*
CV(%)		17,13	13,47	23,61	15,52	11,17
DMS		2,22	0,12	2,13	2,51	0,58

\*, significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

<sup>NS</sup> - não significativo pelo teste de F.

Tabela 7: Análise de variância para os teores dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nas plantas de calêndula.

Fonte de variação	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
		QM						
Solo	1	972,00*	2241,33*	1048924,81*	87040,33*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	462,52*	102,08*
Adubação	1	36,75 <sup>NS</sup>	12,00 <sup>NS</sup>	1026189,51*	606150,75*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	15,12 <sup>NS</sup>	6,75 <sup>NS</sup>
Dose	2	27,44 <sup>NS</sup>	313,39*	206500,82*	201345,77*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	113,81 <sup>NS</sup>	7,27 <sup>NS</sup>
Solo x Adubação	1	80,08 <sup>NS</sup>	1408,33*	95021,74*	23674,08*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	275,52 <sup>NS</sup>	44,08*
Adubação x Dose	2	26,06 <sup>NS</sup>	234,81*	197176,64*	23817,06*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	58,56 <sup>NS</sup>	0,44 <sup>NS</sup>
Solo x Adub. x Dose	2	133,39 <sup>NS</sup>	299,39*	38379,68*	8294,14*	0,0(ND) <sup>NS</sup>	26,52*	15,27 <sup>NS</sup>
CV(%)		40,84	26,18	33,23	28,75	0,0(ND) <sup>NS</sup>	43,94	45,41
DMS		4,12	5,92	180,77	56,73	0,0(ND) <sup>NS</sup>	4,26	1,32

\*, significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

<sup>NS</sup> - não significativo pelo teste de F.

(ND) – não detectado pelo método (EEA/Chama)

Na Tabela 8 são apresentadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Pb e Cr encontradas nas plantas de calêndula em função das duas texturas de solo utilizadas no experimento. Para esta fonte de variação, apenas o elemento Cd não apresentaram diferença estatística em seus resultados.

Tabela 8: Médias das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e dos metais pesados tóxicos Pb e Cr no solo argiloso (LVe) e no solo arenoso (PVd) em plantas de calêndula.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cr
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					
<b>LVe</b>	33,51a	1,67a	22,30a	24,48b	10,17a	21,75a	45,50a	1076,67a	294,50b	13,46b	3,50b
<b>PVd</b>	10,90b	1,44b	8,55b	29,76a	7,56b	12,75b	31,83b	781,29b	379,67a	19,67a	6,42a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A Tabela 8 demonstra que as plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa apresentaram maior concentração de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Fe em seu tecido foliar.

As concentrações superiores de N no solo de textura argilosa podem ser explicadas por Sangoi et al. (2003), que afirmam que esta textura de solo possui maior capacidade de retenção de N, principalmente na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, em comparação a solos arenosos. A maior capacidade de retenção de água nos solos argilosos reduz a percolação de nitratos solúveis para as camadas inferiores do solo, tornando assim este elemento disponível para as plantas. O mesmo se dá em relação às concentrações de P em solos de textura argilosa, pois, de

acordo com Falcão e Silva (2004), em estudos realizados com solos de Manaus, puderam verificar que a capacidade máxima de absorção de P apresentou correlação positiva com os teores de argila dos solos.

O fato de as plantas de calêndula apresentarem teor de P superior ao teor do mesmo elemento no solo de textura arenosa deve-se à maior capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos argilosos, que possibilita maior retenção deste elemento no solo, evitando perdas por lixiviação e, conseqüentemente, maior disponibilidade para as plantas (WERLE et al., 2008). Os cátions  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , também apresentam-se disponíveis para as plantas influenciados pela CTC da textura argilosa do solo (VITTI et al., 2008).

Os resultados apresentados na Tabela 8 também demonstram que as plantas de calêndula cultivadas em solo de textura arenosa apresentaram maior disponibilidade de Ca, Mn, Pb e Cr em seu tecido foliar.

Prado e Natale (2004), em trabalho analisando o sistema radicular de goiabeiras, afirmam que a calagem aumenta a disponibilidade e absorção de Ca pela planta. No experimento com calêndula, foi realizada apenas a calagem do solo arenoso, havendo maior disponibilidade de Ca no tecido vegetal das plantas cultivadas nesta textura de solo.

O Mn encontra-se na solução do solo como  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$  e  $Mn^{4+}$  sendo absorvido pelas plantas na forma divalente e a disponibilidade deste elemento diminui com a elevação de pH, realizado por meio da calagem, em solos orgânicos onde permanece complexado (MOTTA et al., 2007). Desta forma, justifica-se os teores de Mn encontrados no tecido foliar das plantas de calêndula cultivadas em solo de textura arenosa conforme os resultados apresentados na Tabela 8.

Os metais pesados tóxicos Pb e Cr apresentaram-se em maior concentração no tecido foliar de plantas de calêndula cultivadas em solo de textura arenosa, diferindo dos resultados encontrados por Korf et al. (2008) que, avaliando a retenção de metais pesados tóxicos em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos observaram o significativo potencial de retenção destes elementos em solos de textura argilosa (Tabela 8).

Na Tabela 9 são apresentadas as concentrações de P, K, Fe e Mn encontradas nas plantas de calêndula em função dos dois tipos de adubação utilizados no experimento. As fontes de adubação não apresentaram diferença

estatística ( $P < 0,05$ ) para a disponibilidade dos outros elementos avaliados no tecido vegetal de calêndula.

Tabela 9: Médias das concentrações de P, K, Fe e Mn em plantas de calêndula em função da fonte de adubação do solo.

	P	K	Fe	Mn
	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
<b>Química</b>	1,49b	16,78a	782,90b	449,46a
<b>Orgânica</b>	1,62 <sup>a</sup>	14,07b	1075,33a	224,71b

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A concentração dos elementos P e Fe forma superiores no tecido foliar de plantas de calêndula adubadas com composto orgânico. Dortzbach (2009) pôde verificar o aumento dos teores de P e K em cultivo orgânico utilizando dejetos de suínos como fonte de composto. Porém, as plantas de calêndula apresentaram maior concentração de K quando adubadas com adubo químico (Tabela 9)

Os elementos Mn e K apresentaram-se em maiores teores no tecido vegetal de plantas de calêndula adubadas com adubo químico, de acordo com a Tabela 9.

Motta et al. (2007) afirmam que além de apresentarem a mesma valência na forma absorvida e tamanho semelhante, Fe e Mn são muito suscetíveis ao processo de oxirredução, fator que contribui para ocorrência de interação entre estes dois elementos, sendo o aumento da concentração de um, causador da deficiência do outro. Neste experimento pode-se perceber que a concentração de Fe foi superior nas plantas de calêndula adubadas com composto orgânico, ao contrário do Mn (Tabela 9).

A Tabela 10 apresenta-se as concentrações dos elementos N, P, K, Zn, Fe, Mn e Cr, as quais apresentaram diferença estatística ( $P < 0,05$ ) na interação entre as duas texturas de solo (argilosa e arenosa) e as duas fontes de adubação (química e orgânica).

Tabela 10: Médias das concentrações de N, P, K, Zn, Fe, Mn e Cr na interação entre solo e adubação em plantas de calêndula.

		N	P	K	Zn	Fe	Mn	Cr
		g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			
<b>LVe</b>	Química	30,70a	1,55b	21,73a	51,42a	975,22a	384,67a	4,08a
	Orgânica	36,31b	1,80a	22,87a	39,58b	1178,67a	204,33b	2,92a
<b>PVd</b>	Química	11,66a	1,44a	11,82a	26,92b	590,58b	514,25a	5,08b
	Orgânica	10,14a	1,45a	5,27b	36,75a	972,00a	245,08b	7,75a

Para cada tipo de solo, médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Os elementos N, e o P apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) apenas para a textura argilosa de solo, sendo que o N apresentou maiores concentrações em tecido vegetal de plantas de calêndula adubadas quimicamente e o P apresentou-se em maiores teores em plantas adubadas com composto orgânico. Tal fato deve-se à CTC dos solos de textura argilosa, que, sendo superior à CTC dos solos de textura arenosa, torna-os mais capazes de reter estes elementos e disponibilizá-los para as plantas (WERLE et al., 2008).

Para os elementos K, Fe e o Cr foi obtida diferença estatística ( $P < 0,05$ ) apenas para a textura de solo arenosa, tendo sido o K encontrado em maiores teores no tecido vegetal das plantas de calêndula adubadas quimicamente e os elementos Fe e Cr encontrados em concentrações superiores nas plantas de calêndula adubadas com composto orgânico. Como os solos arenosos possuem menos matéria orgânica, as formas mais disponíveis destes elementos encontram-se nos adubos químicos (CETESB, 2010).

Para os elementos Zn e Mn houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre as fontes de adubação para as duas texturas de solo utilizadas no experimento. No solo argiloso, o Zn e o Mn apresentaram-se em maiores teores em plantas adubadas com adubação química. No solo de textura arenosa os teores de Mn foram superiores em plantas adubadas quimicamente e o Zn apresentou maiores teores em plantas de calêndula adubadas com composto orgânico.

### 3.2 Variáveis biométricas

Os resultados dos quadrados médios obtidos na análise de variância para as variáveis biométricas massa fresca (MF), massa seca (MS) e altura das plantas encontram-se e na Tabelas 11.

Tabela 11: Análise de variância para as variáveis biométricas massa fresca (MF), massa seca (MS) e altura em plantas de calêndula.

Fonte de variação	GL	MF	MS	Altura
		QM		
Solo	1	26306,28*	356,43*	769,60*
Adubação	1	121,92 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	13,65 <sup>NS</sup>
Solo x Adubação	1	4,02 <sup>NS</sup>	3,74 <sup>NS</sup>	25,52 <sup>NS</sup>
CV(%)		26,08	25,38	16,11
DMS		8,7	1,14	1,89

Os resultados apresentados na Tabela 11 demonstram que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) apenas em relação as texturas de solo utilizadas no experimento (argilosa e arenosa) para as variáveis massa fresca, massa seca e altura de plantas de calêndula.

A Tabela 12 apresenta os valores médios de matéria fresca, matéria seca, e altura de plantas para as duas texturas de solo utilizadas no experimento (argilosa e arenosa).

Tabela 12: Médias das variáveis biométricas massa fresca (MF), massa seca (MS) e altura das plantas de calêndula no solo argiloso (Lve) e no solo arenoso (PVd).

	MF	MS	Altura
	g		cm
Lve	80,75a	10,40a	24,10a
PVd	33,93b	4,95b	16,09b

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

As plantas de calêndula apresentaram maior massa seca e fresca e maior altura quando cultivadas em solo de textura argilosa, fato este explicado em trabalho realizado por Moreira et al. (2005) que afirmam que N e P foram importantes para o desenvolvimento da calêndula, aumentando suas produções

de massas frescas e secas da parte aérea e de capítulos florais. Como visto anteriormente, os teores de N e P neste experimento foram superiores no tecido foliar de plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa (Tabela 8). Pereira et al. (2008) afirmam que os solos de textura argilosa aumentam a transmissão de água e nutrientes para as plantas, favorecendo assim o seu desenvolvimento.

## 4 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que as texturas de solo (argilosa e arenosa) e as fontes de adubação (química e orgânica) influenciaram de forma significativa a disponibilidade dos elementos e metais pesados tóxicos avaliados nas plantas de calêndula cultivadas.

Os resultados demonstraram que os solos argilosos favoreceram a disponibilidade de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Fe; os solos de textura arenosa favoreceram a disponibilidade de Ca, Mn, Pb e Cr. A adubação orgânica disponibilizou maiores teores de P e Fe, enquanto o tecido foliar de plantas de calêndula adubadas com adubação química apresentaram concentrações maiores de K e Mn. As plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa apresentaram maior altura e maiores médias de massa seca e massa fresca.

Para os metais pesados tóxicos, apenas o solo de textura arenosa apresentou diferença significativa para a concentração de Cr e Pb no tecido vegetal das calêndulas.

As plantas de calêndula cultivadas em solo de textura argilosa apresentaram maior altura e maiores médias de massa seca e massa fresca.

## REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis**. 18 ed. Maryland: AOAC, 2005.

BLANK, A. F.; SILVA, A. P.; ARRIGNI-BLANK, M. F.; MANNS, R. S.; BARRETO, M. C. V. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo de manjeriço cv. Genovese. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, maio - ago., 2005: 175 -180

CENTEC. **Produtor de plantas medicinais-Cadernos tecnológicos**. Instituto Centro de Ensino Tecnológico. 2.ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2004.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Propriedades do solo**. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo/propriedades.asp>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

COELHO, G. F.; GONÇALVES Jr., A. C.; SEIDEL, E.; CARVALHO, E. A.; SCHWANTES, D. Avaliação da granulometria de solos de sete municípios da região oeste do Paraná. **Revista Sinergismus scyentifica**. Pato Branco, v.4, n.01, 2009.

CARVALHO, P. R.; NETO, N. B. M.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes condições de estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 29, nº 1, p.114-124, 2007

COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. et al. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p. 2173-2180, Nov. de 2008.

DORTZBACH, D. Acúmulo de Fósforo e Potássio em Solo Adubado com Dejetos Suínos Cultivado com Milho sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 4, n. 2, novembro de 2009.

DUFFUS, J. H. "Heavy metals" – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry** (IUPAC Technical Report). v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**. v. 34, n.3, p. 337 – 342, 2004.

GBC Scientific Equipment. **Flame methods manual for atomic absorption by GBC Scientific Equipment**. Victoria, 1998.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**.v.30, n.2, p. 374-381., 2007.

GONÇALVES, Jr., A. C. LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio em soja, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**. São Paulo, v.23, n.2, pp. 173-177, 2000.

GONÇALVES Jr., A. C.; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em Argissolo Vermelho Eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.3, n.1-2, p.19-23, 2002.

GONÇALVES Jr, A. C.; SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando a remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 31, n. 1, p.103-108, 2009.

KORF, E. P.; MELO, E. F. R. Q.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A.V. Retenção de metais em solos da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo-RS. **Revista de Ciências Ambientais**. Canoas, v.2, n.2, p. 43 a 60, 2008.

LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 185-190, May./June 2009.

MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARBOSA, J. C. Comparação de procedimentos de quantificação de nitrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, n.01, p. 53-59, jan. 2005.

MOREIRA, P. A.; MARCHETTI, M. E.; VIEIRA, M. C.; NOVELINO, J. O.; ROBAINA, A. D.; GONÇALVES, M. C. Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com N e P. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 18-23, 2005

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: Edição do autor, 2007.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**; Londrina: IAPAR, 1992. (Circular, 76).

PRADO, R. M., NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1007-1012, out. 2004.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; FILHO, A. L. S.; RODRIGUES, A. C. P.; SILVA, M. R. Influência de solos de diferentes textura no desenvolvimento de plantas de (*Eucalyptus urograndis*) submetidas a déficit hídrico. **Irriga**. v.13, n.2, p.249-260, abr-jun, 2008.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed.rev. Campinas: IAC. p.93-95 (Boletim Técnico, 100), 1997.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999.

SANGOI, L. ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**. v.33, n.1, p.65-70, jan/fev, 2003.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISMANN, C. B.; ROVEDA, L. F.; WEDLING, I. Calagem no crescimento de mudas de Erva Mate (*Ilex paraguayensis* St. Hill). **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Gramado, 05 a 10 de agosto de 2007.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Consequências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agroecossistema com feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n.27 p.191-198, 2003.

SHWANTZ, M.; FERREIRA, J. J.; FRÖEHLICH, P.; ZUANAZZI, J.A. S.; HENRIQUES, A. T. Análise de metais pesados em amostras de *Peumus boldus* Mol. (Monimiaceae). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. Rio de Janeiro, n.18, v.1, p.98-101, Jan./Mar. 2008.

SOARES, CL. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. C. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.13, n.3, pp. 302-315, 2001.

VITTI, C. G. CERQUEIRA, P. H. ALFONSI, A. L. A. Dinâmica e absorção de nutrientes e novas tendências da nutrição de plantas. International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas**. n.12, junho de 2008.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 2 ed. Weinheim: Wiley- VCH, 1999.

WERLE, R. GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, p.2297-2305, 2008.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho demonstraram que tanto a textura do solo quanto as fontes de adubação influenciam na disponibilidade dos elementos avaliados para as duas espécies de plantas cultivadas.

No experimento realizado com manjeriço pode-se perceber que a adubação orgânica e o solo argiloso demonstraram maior disponibilidade de elementos de suma importância para o desenvolvimento das plantas em geral.

A adubação química, tanto nos solos de textura arenosa quanto argilosa, demonstrou ser uma fonte de adubação que disponibiliza concentrações maiores dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr para as plantas de manjeriço.

Para as plantas de calêndula a adubação química e o solo argilosos favoreceram a disponibilidade da maioria dos nutrientes avaliados neste experimento.

O metal pesado Cd não apresentou disponibilidade nos tratamentos utilizados neste experimento, porém o Cr e o Pb apresentaram-se disponíveis em solos de textura arenosa.

Estes resultados permitem concluir que a adubação orgânica e o solo de textura argilosa favorecem a produtividade das plantas medicinais estudadas, enquanto o solo arenoso e a adubação química são apresentaram-se como fontes de metais pesados tóxicos para as plantas cultivadas.